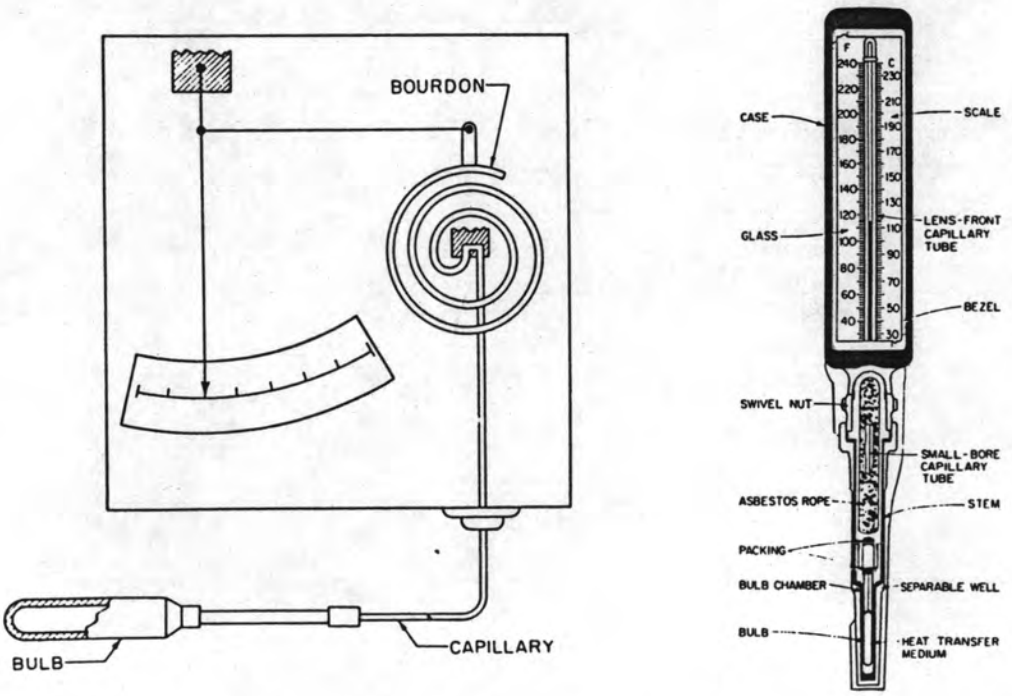
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีของระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

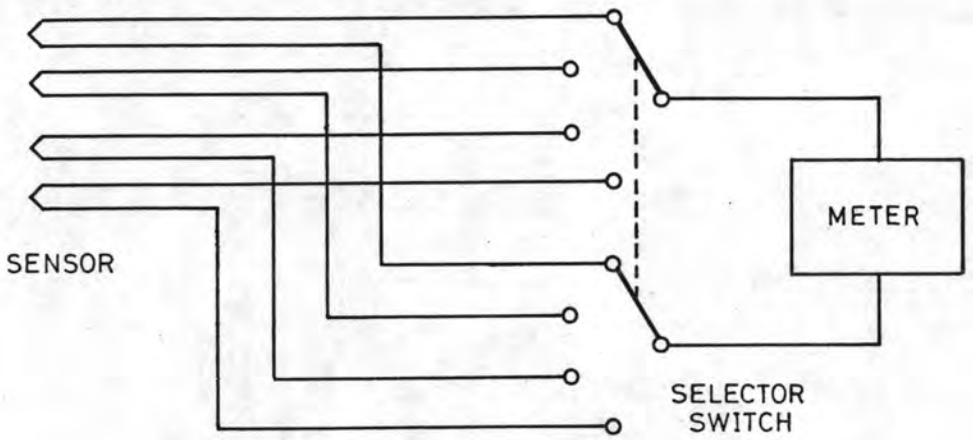
2.1 ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

การวัดปริมาณทางฟิสิคส์ที่นิยมใช้กันมานาน และราคาไม่แพง มักจะใช้หลักการง่าย ๆ เช่น การขยายตัวของวัตถุเมื่อได้รับความร้อน การคลายตัวของท่อขดสปริง (Bourdon tube) เมื่อความดันภายในท่อมากขึ้น เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การอ่านค่าข้อมูลที่วัดจะอ่านได้จากสเกล เครื่องวัดประเภทนี้จะต้องติดอยู่ที่ตำแหน่งที่ทำการวัดค่านั้น ๆ เมื่อมีการสร้างทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ทำการวัดนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถนำเครื่องวัดไปติดไว้ที่ตำแหน่งห่างจากจุดที่วัดได้ โดยมากจะนำเครื่องวัดแต่ละจุดมารวมไว้ในที่เดียวกัน สามารถอ่านและบันทึกค่าได้ง่าย ในกรณีที่ตำแหน่งที่จะวัดมีมาก และข้อมูลเป็นข้อมูลชนิดเดียวกัน มักจะติดเฉพาะหัววัดแต่ละตำแหน่งเท่านั้น แต่จะใช้เครื่องวัดร่วมกัน โดยต่อเข้ากับสวิทช์เลือก



รูปที่ 2.1 เครื่องวัดปริมาณทางฟิสิคส์แบบง่าย ๆ

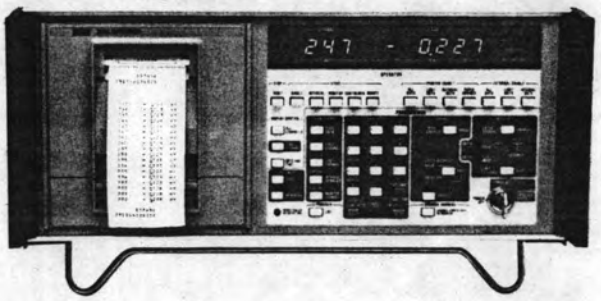
(Selector switch) เลือกอ่านค่าทีละหัววัด ต่อมาได้มีการสร้างเครื่องควบคุมการวัดข้อมูล โดยใช้มอเตอร์ขับสวิทช์เลือก หรือใช้สเตปรีเลย์ (Step relay) เลือกอ่านข้อมูลจุดต่าง ๆ ได้โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครื่องควบคุมการวัดหลาย ๆ จุดนี้ เรียกว่า สแกนเนอร์ (Scanner) การบันทึกผลของการวัดแบบอัตโนมัตินิยมใช้การบันทึกลงบนสเกลกราฟเทียบกับเวลา โดยมีหัวเข็มบันทึกหลาย ๆ หัวอยู่ในเครื่องเดียวกัน เครื่องบันทึกผลแบบหลายจุดนี้ เรียกว่า มัลติพอยท์เรคคอร์ดเดอร์ (Multipoint recorder)



รูปที่ 2.2 การวัดข้อมูลหลายตำแหน่งโดยใช้เครื่องวัดร่วมกัน

เมื่อมีการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ และไมโครโปรเซสเซอร์ได้ถูกสร้างขึ้น ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกในปัจจุบันจึงนิยมนำไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาควบคุม เนื่องจากไมโครโปรเซสเซอร์สามารถที่จะควบคุมการทำงานทุกอย่างภายในระบบได้ ตั้งแต่ควบคุมการวัดข้อมูลโดยการต่อหัววัดตำแหน่งต่าง ๆ เข้ากับวงจรวัด ควบคุมการอ่านค่าสัญญาณแบบอะนาลอกเพื่อแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขภายในวงจรวัด และแสดงผลเป็นตัวเลข ควบคุมการส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณเชิงเลขไปสู่เครื่องพิมพ์เพื่อบันทึกค่า ควบคุมการรับคำสั่งของผู้ใช้จากแป้นกดข้อมูล และสามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อบอกเวลาขณะบันทึกค่า นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ไปสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ระบบอื่นได้ ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกชนิดที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์นี้มีบริษัทต่างประเทศหลายบริษัทที่ได้ผลิตขึ้นและส่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทย เช่น TEMPERATURE DATA ACQUISITION SYSTEM TYPE 3873 ของบริษัท

YOGOGAWA ELECTRIC WORKS, LTD ประเทศญี่ปุ่น และ DATA LOGGER MODEL 2240C ของบริษัท FLUKE ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เครื่องดังกล่าวมานี้จะมีราคาสูง เมื่อคิดที่จะซื้อเข้ามาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง หรือห้องปฏิบัติการวิจัยทั่ว ๆ ไป



DATA LOGGER MODEL 2240C

TEMPERATURE DATA ACQUISITION SYSTEM TYPE 3873

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกของบริษัทต่างประเทศ

ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกที่ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามค่าทางฟิสิคส์ที่วัดนั้น และเครื่องวัดที่รับสัญญาณจากหัววัดหลาย ๆ จุด แล้วนำข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลผล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จากนั้นนำข้อมูลออกแสดงผล และส่งไปยังเครื่องพิมพ์ ในส่วนของเครื่องวัดประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้า หรือฮาร์ดแวร์ (Hardware) เช่น ภาคขยายสัญญาณ ภาคเลือกสัญญาณ และระบบไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และส่วนที่เป็นโปรแกรมควบคุมการทำงาน หรือซอฟท์แวร์ (Software) เช่น ระบบควบคุมการทำงาน การประมวลผลข้อมูล และการพัฒนาระบบ เป็นต้น

2.2 ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

ทรานสดิวเซอร์ คือ ตัววัดค่าทางฟิสิคส์ต่าง ๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ระยะทาง และอื่น ๆ โดยแปลงค่าทางฟิสิคส์จากรูปที่วัดเป็นค่าทางไฟฟ้าหรือรูปอื่น ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าทางฟิสิคส์ที่วัดนั้น ในที่นี้จะกล่าวถึงทรานสดิวเซอร์ ซึ่งแปลงค่าทางฟิสิคส์ที่วัดเป็นค่าทางไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากมีใช้กันมาก และสามารถนำค่าทางไฟฟ้าที่ได้ป้อนเข้าวงจรเครื่องวัดเพื่อนำไปแสดงค่าหรือบันทึกค่าต่อไป ในที่นี้จะแบ่งกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ ตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า คือ

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistive transducer)

คือ ทรานสดิวเซอร์ซึ่งให้ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าทางฟิสิคส์ที่ทำการวัด เช่น

ก. กระเปาะความต้านทาน (Resistance bulb) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยทั่วไปความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ในโลหะส่วนใหญ่โดยเฉพาะที่มีความบริสุทธิ์สูงพบว่า ในทางทฤษฎีถือได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear) กับอุณหภูมิ สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$R_t = R_o(1+at) \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดย R_o คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ 0°C มีหน่วยเป็น โอห์ม

R_t คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ t°C มีหน่วยเป็น โอห์ม

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ

(Temperature coefficient of resistance)

มีหน่วยเป็น โอห์ม / โอห์ม / °C

แต่ในทางปฏิบัติ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิจะไม่เป็นเชิงเส้นตรง ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$R_t = R_o(1+a_1 t^1+a_2 t^2+a_3 t^3 +.....a_n t^n) \quad \text{.....(2.2)}$$

โดย $a_1, a_2, ..., a_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่หาได้จากการทดลอง

เช่น กรณีของทองคำขาว (Platinum) มีค่า

$a_1 = 3.985 \times 10^{-3}$

$a_2 = 5.856 \times 10^{-7}$

$a_3 = 4.330 \times 10^{-10}$ เป็นต้น

การเลือกโลหะมาทำกระเปาะความต้านทานเพื่อเป็นตัวรับรู้ในการวัดอุณหภูมินั้น ควรเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติดังนี้

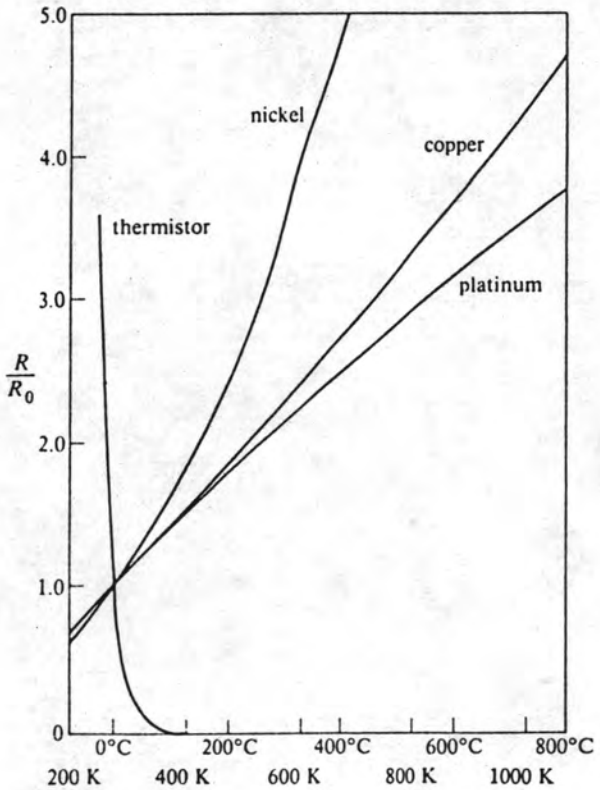
1) มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ความไวในการวัดสูง สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องแม่นยำ
2) มีความต้านทานไฟฟ้าต่อหน่วยสูง ทำให้ไม่ต้องใช้สายโลหะยาวเกินไป ขนาดจะเล็กกระทัดรัด และช่วยให้ได้ความไวในการวัดดีด้วย
3) มีความคงทนถาวร แม้จะใช้เป็นเวลานาน หรือใช้ในอุณหภูมิช่วงกว้างมาก ๆ ก็ไม่ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเสื่อมหรือเปลี่ยนแปลงไป
4) มีความต้านทานไฟฟ้าสัมพันธ์กับอุณหภูมิเป็นเชิงเส้นตรง หรือใกล้เคียง เพื่อจะให้สเกลเครื่องวัดเป็นเชิงเส้นตรง สะดวกแก่การปรับเครื่องวัด เช่น การปรับจุดศูนย์ เป็นต้น

5) มีความสัมพันธ์ของความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เป็นค่าคงที่แน่นอนคือมีฮีสเตอรีซีส (Hysteresis) น้อย หรืออีกในหนึ่งก็คือ ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งจะต้องมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แน่นอนเพียงค่าเดียว

6) ทำเป็นเส้นได้ง่าย และมีความแข็งแรงในเชิงโครงสร้าง และถ้าเป็นไปได้ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่อความร้อนต่ำ

7) มีความบริสุทธิ์สูง

โลหะที่นิยมนำมาใช้ทำตัวความต้านทาน ก็คือ ทองคำขาว ทองแดง และนิเกิล โลหะที่ได้รับความนิยมสูงสุด คือ ทองคำขาว เพราะสามารถวัดในช่วงอุณหภูมิกว้างกว่า มีความต้านทานต่อหน่วยสูง มีสัมประสิทธิ์ความต้านทานสูง และมีความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงคุณสมบัติของโลหะที่ใช้ทำตัวความต้านทาน และในรูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของโลหะต่าง ๆ

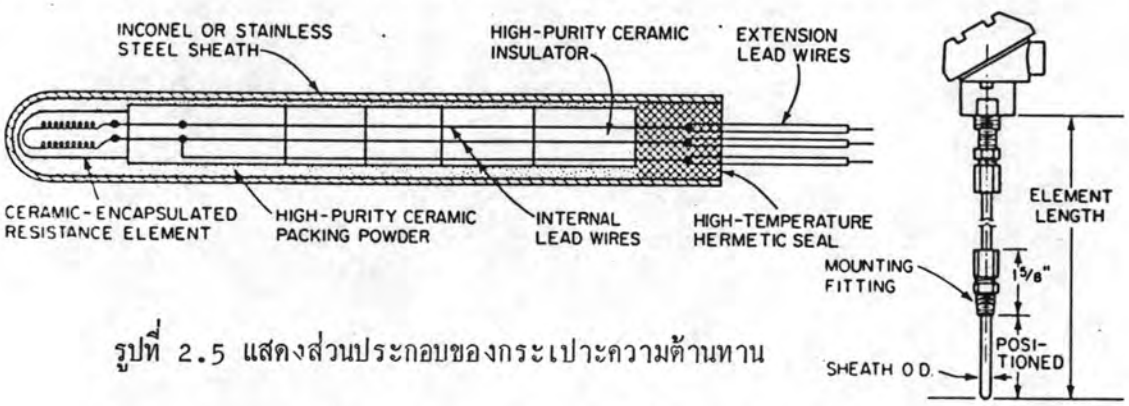


รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของโลหะต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของโลหะที่ใช้ทำตัวความต้านทาน

โลหะ	สัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ	ความต้านทานต่อหน่วยไมโครโอห์ม ต่อ ซม.	ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งาน(°C)
ทองคำขาว	0.00392	9.83	-258 ถึง 900
นิเกิล	0.0063 - 0.0066	6.38	-150 ถึง 300
ทองแดง	0.00425	1.56	-150 ถึง 120

ตัวความต้านทานที่เป็นตัวรับรู้อุณหภูมิ จะถูกยึดอยู่ในกระเปาะ ทำให้เพิ่มความแข็งแรง สะดวกในการใช้ป้องกันการรบกวน การสั่นสะเทือน หรือการสัมผัสโดยตรงกับน้ำ ก๊าซ หรือสารที่เป็นอันตรายอื่น ๆ และป้องกันไม่ให้ลวดความต้านทานลัดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือขนาดของตัวกระเปาะซึ่งมีผลโดยตรงต่อความเร็วของการตอบสนองกับค่าอุณหภูมิที่แท้จริง รวมถึงพื้นที่ที่ต้องการวัดอุณหภูมิว่าเป็นจุด พื้นผิว ที่แคบหรือลึก เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของกระเปาะความต้านทาน

ค่าความต้านทานของตัวความต้านทาน จะมีค่าตั้งแต่ 2.5 โอห์ม จนถึงหลายร้อยโอห์ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของโลหะที่ใช้ จุดประสงค์ที่จะใช้วัด และใช้กับวงจร หรือเครื่องวัดชนิดใด นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึง ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวความต้านทาน เมื่อมีกระแสไหลผ่าน ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป นิยมใช้ทองคำขาว ที่มีค่าความต้านทาน 100 โอห์ม และ 50 โอห์ม ที่ 0°C สำหรับในห้องปฏิบัติการ จะใช้ทองคำขาว ที่มีค่าความต้านทาน 25.5 ± 0.1 โอห์ม ที่ 0°C กระเปาะความต้านทาน ที่ใช้กับขดฟิลด์ และอาร์เมเจอร์ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือมอเตอร์ มักจะใช้ทองแดงมีความต้านทาน 10 โอห์ม ที่ 25°C

ข. เทอร์มีสเตอร์ (Thermister) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเช่นกัน ทำมาจากออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น โคบอลท์ เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส นิเกิล เป็นต้น นำมาอัดให้ได้รูปร่างที่ต้องการ และผ่านวิธีการจัดการทางความร้อน (Heat treatment) จะได้ตัวความต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิ เทอร์มีสเตอร์ โดยทั่วไปความต้านทานของตัวมันจะลดลงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (Negative temperature coefficient) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งความสัมพันธ์โดยประมาณ ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มีสเตอร์กับอุณหภูมิเป็นไปตามสมการ

$$R = R_O \exp_B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_O}\right) \qquad \text{.....(2.3)}$$

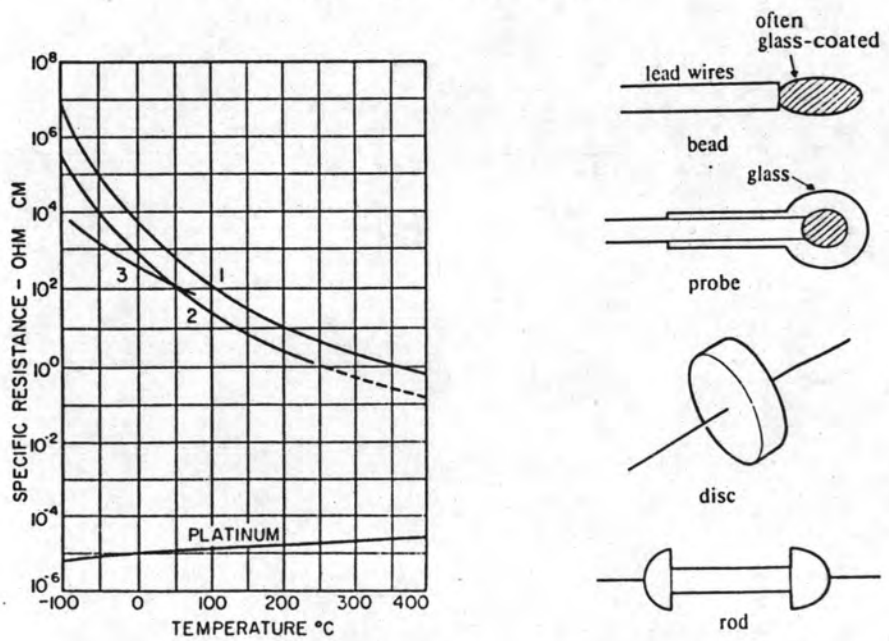
โดย R คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิใด ๆ T มีหน่วยเป็น โอห์ม

R_O คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง T_O มีหน่วยเป็น โอห์ม

T คือ อุณหภูมิใด ๆ มีหน่วยเป็น เคลวิน (Kelvin)

T_O คือ อุณหภูมิอ้างอิง มีหน่วยเป็น เคลวิน

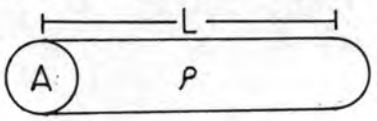
B คือ ค่าคงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับขบวนการผลิต และโครงสร้าง โดยปกติผู้ผลิตจะกำหนดมาให้



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ และ รูปร่างต่าง ๆ ของเทอร์มีสเตอร์

เทอร์มีสเตอร์มีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดทนกำลังไฟฟ้าได้เป็นไมโครวัตต์ จนถึง 25 วัตต์ และมีช่วงความต้านทานจาก โอห์ม จนถึง เมกโอห์ม มีข้อดีคือ สัมประสิทธิ์ค่าคงตัวต่ออุณหภูมิสูงมาก สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำขนาด 0.001 °C มีราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ ช่วงการวัดอุณหภูมิแคบ มักจะใช้วัดอุณหภูมิในช่วงไม่เกิน 200 °C และมีลักษณะสมบัติอุณหภูมิความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นตรง การนำเทอร์มีสเตอร์ไปใช้งาน อาจนำไปใช้เป็นหัววัด สำหรับวัดอุณหภูมิโดยตรง หรือนำไปใช้เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิ เพื่อปรับค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรายรอบ

ค. โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เป็นทรานสดิวเซอร์ ที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากตัวนำไฟฟ้า จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากน้อยขึ้นอยู่กับ ความยาว และพื้นที่หน้าตัด ของตัวนำนั้น ๆ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ



รูปที่ 2.7 แท่งตัวนำไฟฟ้า

$$R = \rho L/A \qquad \text{.....(2.4)}$$

โดย R คือ ความต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม

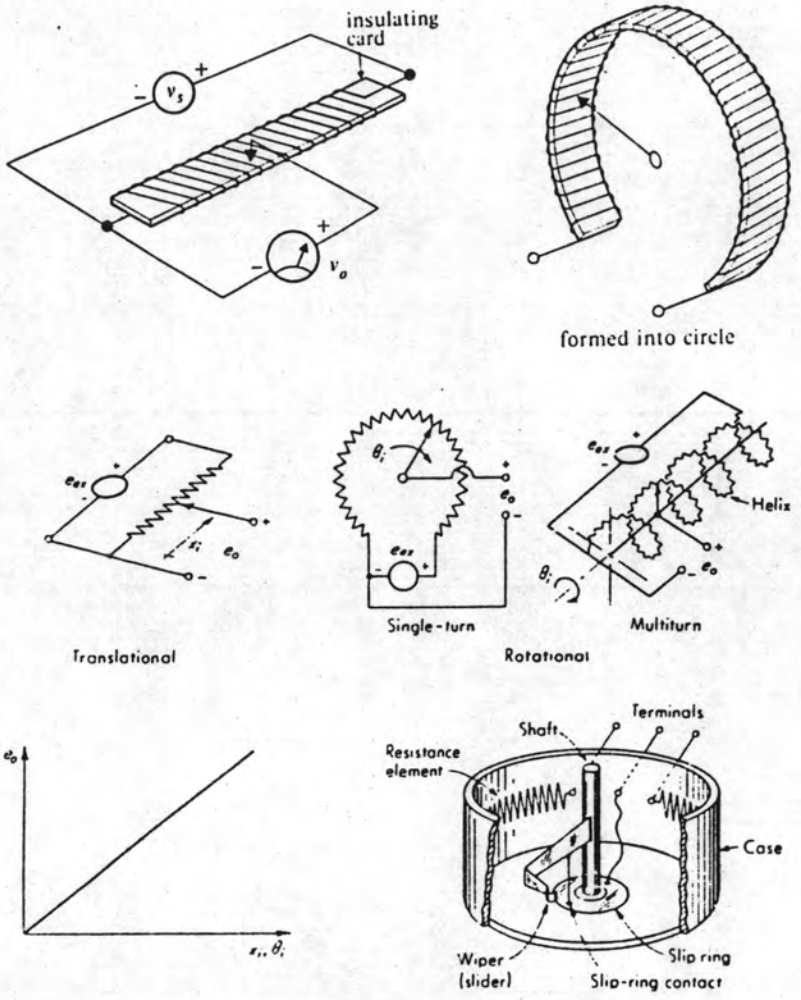
ρ คือ ความต้านทานจำเพาะ (Resistivity) มีหน่วยเป็น โอห์ม.เมตร

L คือ ความยาวของตัวนำ มีหน่วยเป็น เมตร

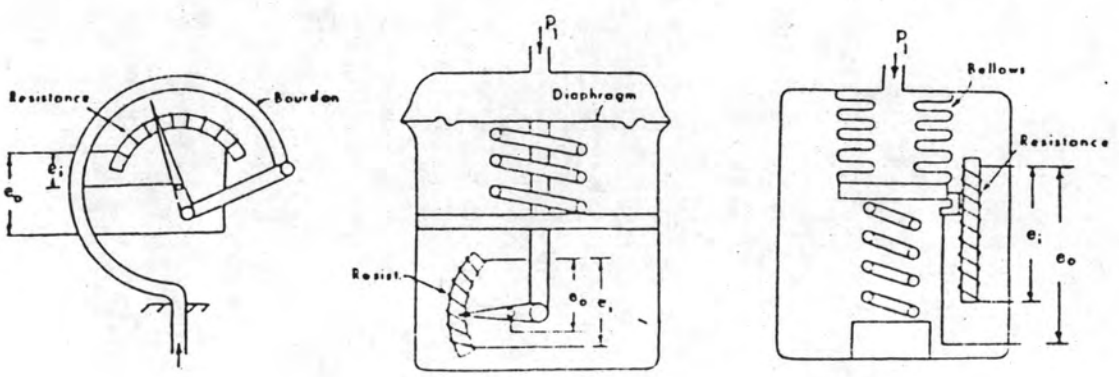
A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

โพเทนชิโอมิเตอร์ ประกอบด้วย ขั้นหรือขดความต้านทาน และจุดสัมผัสที่เคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของจุดสัมผัส มีหลายแบบ แล้วแต่ชนิดของการใช้งาน เช่น เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Translational) เคลื่อนที่เป็นวงรอบ (Single turn rotational) และเคลื่อนที่เป็นเกลียว (Multiturn rotational) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อจุดสัมผัสเคลื่อนที่ไป ความต้านทานระหว่างจุดอ้างอิงและจุดสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไป การใช้งานโพเทนชิโอมิเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ทางกล เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าทางฟิสิคส์ให้เป็นการเคลื่อนที่ เช่น ท่อขดสปริง เบลโล (Bellow) และไดอะแฟรม (Diaphragm) เป็นต้น โดยมากจะอาศัย

หลักการง่าย ๆ ของเครื่องวัดแบบเก่ามาดัดแปลงให้หัววัดสามารถให้การเปลี่ยนแปลงเป็นค่าทางไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

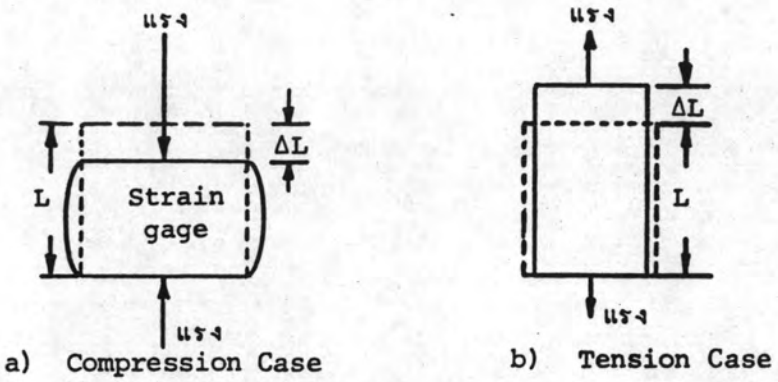


รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบและชนิดต่าง ๆ ของโพเทนชิโอมิเตอร์



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการใช้งานโพเทนชิโอมิเตอร์

ง. สเตรนเกจ (Strain gauge) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามระยะทางเช่นกัน แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวนำ เมื่อตัวนำนั้นถูกแรงกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของตัวนำเมื่อถูกแรงกระทำ

อัตราการการเปลี่ยนแปลงของขนาดวัตถุ เมื่อถูกแรงกระทำ เรียกว่า ความเครียด (Strain) มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\varepsilon = \Delta L/L \qquad \text{.....(2.5)}$$

โดย ε คือ ความเครียด

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปเมื่อมีแรงกระทำ

L คือ ความยาวเดิม

เมื่อตัวนำเปลี่ยนขนาดไป ความต้านทานซึ่งวัดในแนวแรง ก็จะเปลี่ยนไปตามสมการ (2.4) โดยค่าความต้านทานจะมากขึ้น หรือลดลง เมื่อความยาวของตัวนำเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามลำดับ สำหรับค่าความไวของสเตรนเกจ (Strain sensitivity) หรือ เกจแฟคเตอร์ (Gauge factor) จะเป็นอัตราส่วนของ ความต้านทานที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วย กับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อหน่วย ดังสมการ

$$G = \frac{\Delta L/L}{\Delta R/R} \qquad \text{.....(2.6)}$$

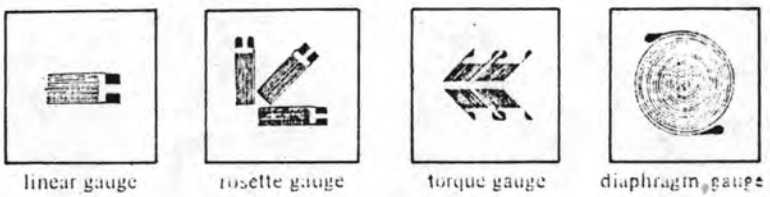
โดย G คือ เกจแฟคเตอร์

R คือ ความต้านทานที่ความยาว L

ΔR คือ ความต้านทานที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความยาวเปลี่ยนไป ΔL

โลหะที่ใช้ทำสเตรนเกจ จะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีค่าเกจแฟคเตอร์สูง โดยทั่วไปจะมีค่าเกจแฟคเตอร์ระหว่าง 2-4 มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานต่ำ โลหะที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน เป็นโลหะผสม เช่น ADVANCE COPEL และ CONSTANTAN นอกจากสเตรนเกจที่ทำมาจากโลหะแล้ว ยังมีสเตรนเกจที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ที่เป็นผลึกซิลิกอน ค่าเกจแฟคเตอร์ของสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ จะมีค่าสูงกว่าแบบที่เป็นโลหะมาก แต่ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานก็มีค่าสูงเช่นกัน

การใช้งานสเตรนเกจ จะนำแผ่นสเตรนเกจซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ไปติดไว้กับผิวของชิ้นส่วนที่รับแรง เมื่อชิ้นส่วนนั้นได้รับแรง ความเครียดจะถูกส่งผ่านมายังสเตรนเกจ ทำให้ค่าของสเตรนเกจเปลี่ยนไป โดยมากมักจะนำไปใช้ในการวัดค่าที่เกี่ยวกับแรง เช่น แรงดึง แรงกด แรงบิด ตัวอย่างที่นำสเตรนเกจไปใช้งานได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเลคทรอนิคส์ เป็นต้น

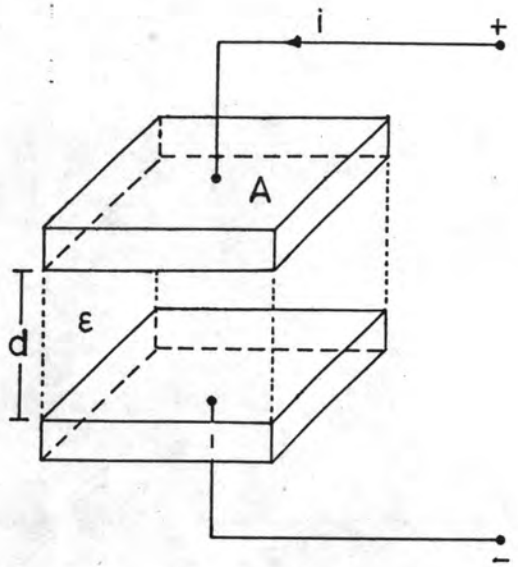


รูปที่ 2.11 แสดงสเตรนเกจรูปร่างต่าง ๆ

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive transducer) คือทรานสดิวเซอร์ ซึ่งให้ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าทางฟิสิคส์ที่ทำการวัด ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนาน (Parallel-plate capacitor) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จะมีค่าความจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ตัวกลาง พื้นที่ และระยะห่าง ระหว่างแผ่นขนานทั้งสองโดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$C = \varepsilon A/d \qquad \text{.....(2.6)}$$

009613



รูปที่ 2.12 ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนาน

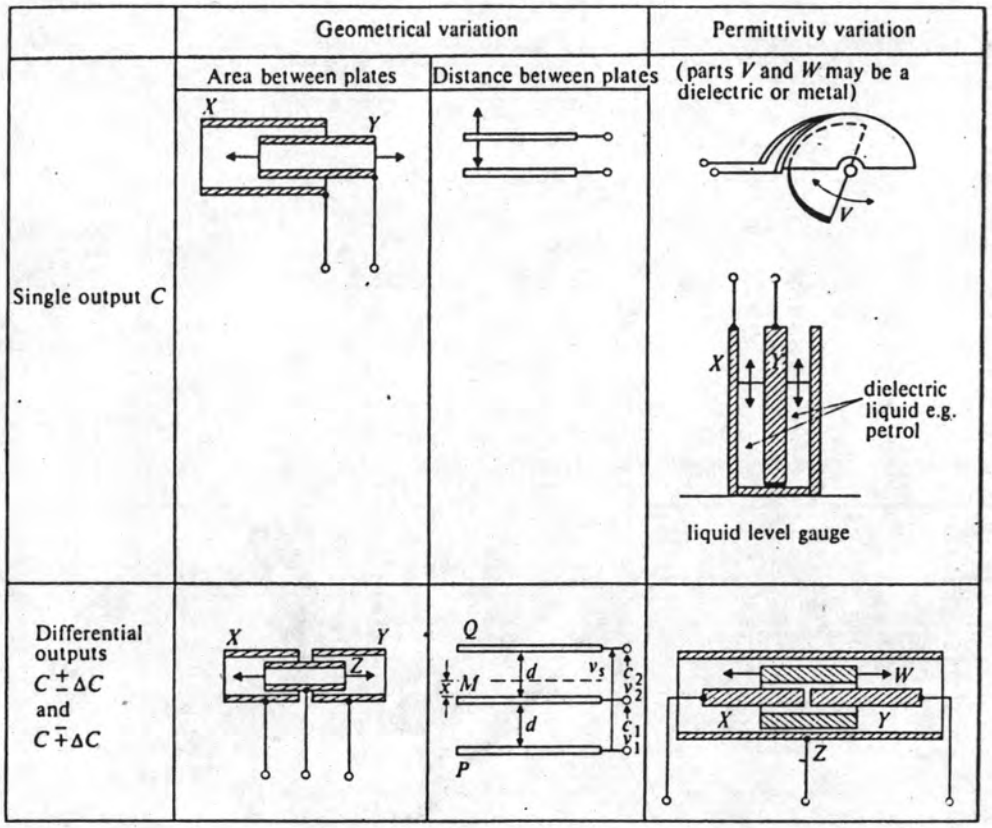
โดย C คือ ความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad)

ε คือ ค่าเพอร์มิตติวิตี (Permittivity or Absolute dielectric constant) ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างแผ่นขนานทั้งสอง มีหน่วยเป็น ฟารัด / เมตร

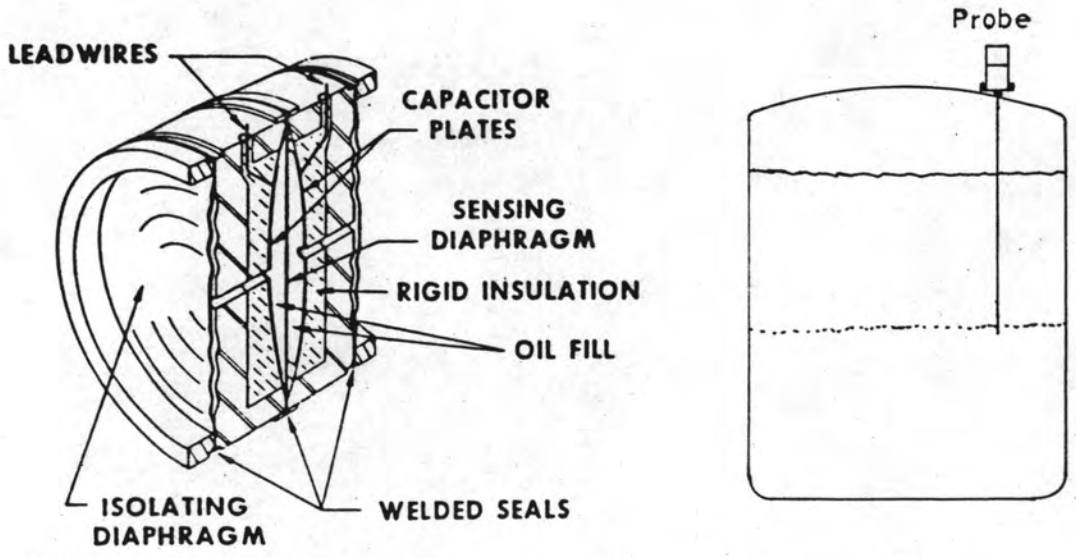
A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้า และเป็นพื้นที่ซึ่งเส้นแรงไฟฟ้าผ่าน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นขนานทั้งสอง มีหน่วยเป็น เมตร

การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า โดยมากจะเกิดจากการเคลื่อนที่ทำให้ ตัวกลาง พื้นที่ และ ระยะห่างระหว่างแผ่นขนานทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ดังนั้นการนำไปใช้งานจะต้องต่อกับอุปกรณ์ทางกลเช่นเดียวกับโพเทนชิโอมิเตอร์ ตัวอย่างของทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ ที่เปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างแผ่นขนานทั้งสอง ได้แก่ ตัวส่งสัญญาณความดันต่าง (Differential pressure transmitter) สำหรับตัวอย่างของทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนค่าเพอร์มิตติวิตี ได้แก่ การวัดระดับของวัสดุในถัง (Level indicator) โดยมีหัวจับ (Probe) และตัวถังทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.14



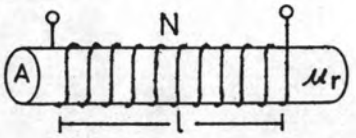
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการทำงานของทรานสดิวเซอร์ชนิดความจุไฟฟ้า



Differential pressure transmitter Level indicator

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างทรานสดิวเซอร์ชนิดความจุไฟฟ้า

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductive transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ซึ่งให้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance) เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าทางฟิสิคส์ที่ทำการวัด



รูปที่ 2.15 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของขดลวด ดังแสดงในรูปที่ 2.15 จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของแกน จำนวนรอบ พื้นที่หน้าตัด และความยาวของขดลวด โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$L = \mu_o \mu_r AN/l \qquad \text{.....(2.7)}$$

โดย L คือ ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เฮนรี (Henry)

μ_o คือ ค่าเพอร์มีบิลิตี (Permeability) ของสูญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4*10$ เฮนรี / เมตร

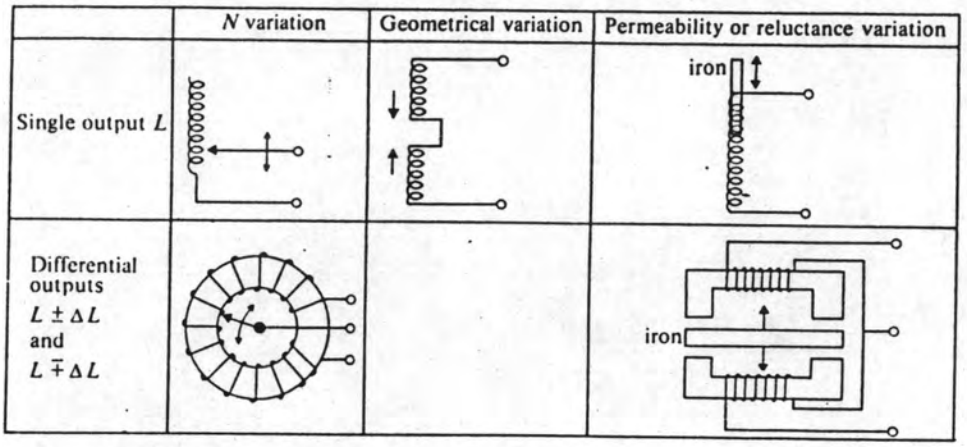
μ_r คือ ค่าเพอร์มีบิลิตีสัมพัทธ์ ของแกนขดลวด

l คือ ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็น เมตร

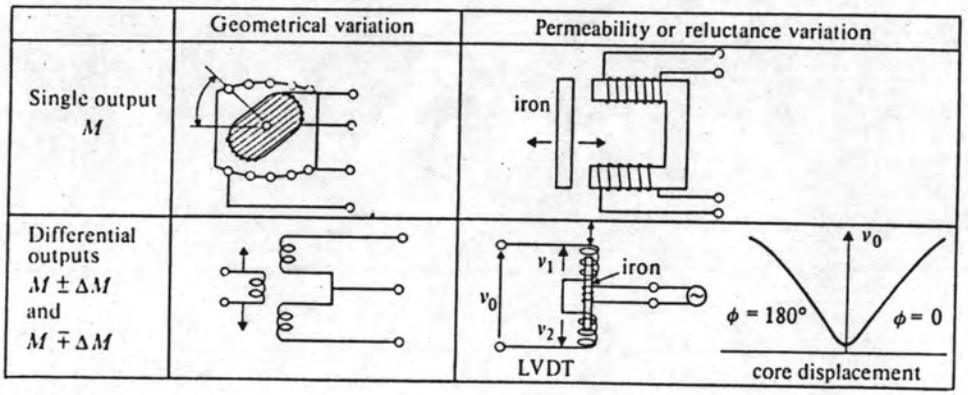
A คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

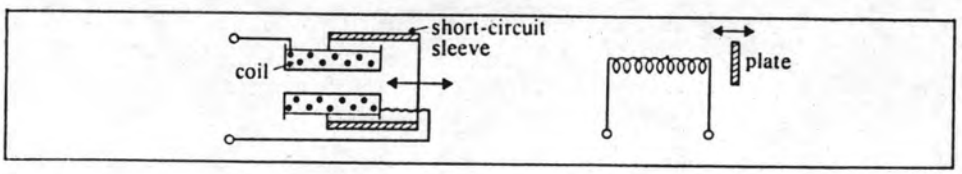
การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า มีลักษณะเช่นเดียวกับ ทรานสดิวเซอร์ ชนิดความจุไฟฟ้า คือ ค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเคลื่อนที่ของส่วนประกอบของขดลวด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ LINEAR VALIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER (LVDT) ซึ่งให้สัญญาณขาออกเป็นสัญญาณไฟฟ้า ที่สัมพันธ์กับระยะทางของแกนวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.17 และ 2.18 ส่วนในรูปที่ 2.19 แสดงถึงการนำเอา LVDT ไปใช้ในการวัดความดัน โดยต่อเข้ากับท่อขดสปริง



ก. แบบเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำเฉพาะตัว (Self inductance)

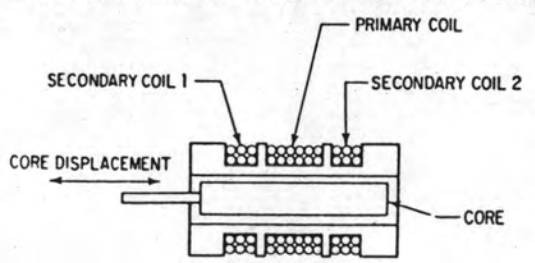


ข. แบบเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance)

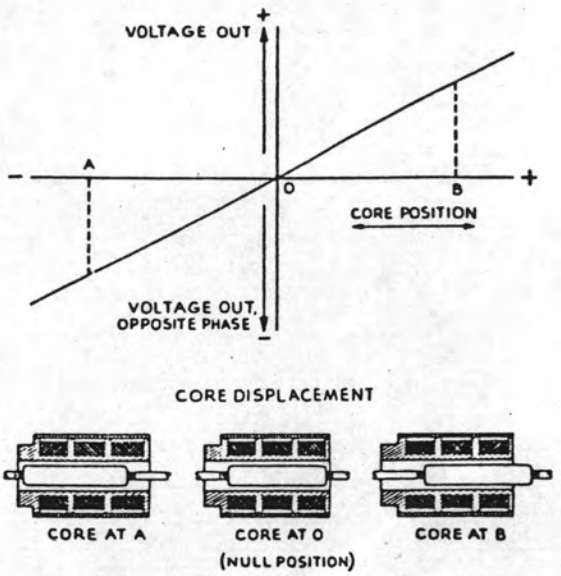


ค. แบบกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy current)

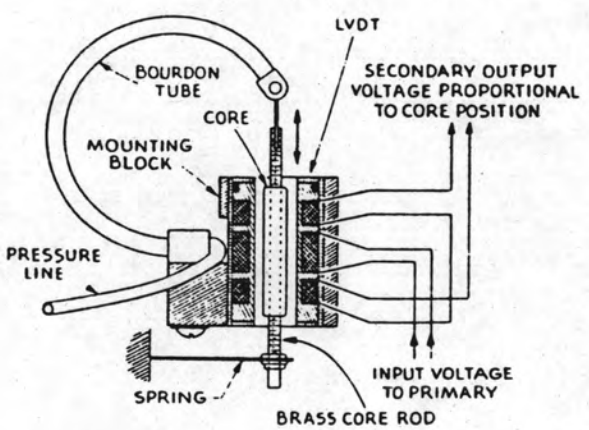
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการทำงานของทรานสดิวเซอร์ชนิดความเหนี่ยวนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของ LVDT



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณออกกับตำแหน่งแกนของ LVDT



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการใช้ LVDT ในการวัดความดัน

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ซึ่งให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าทางฟิสิคส์ที่ทำการวัด ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ บางทีเรียกว่า แอคตีฟทรานสดิวเซอร์ (Active transducer) เนื่องจากเป็นทรานสดิวเซอร์ที่ให้สัญญาณออกเป็นแรงดันไฟฟ้า สามารถต่อเข้ากับภาคขยายได้โดยตรง ไม่ต้องมีภาคจ่ายไฟให้กับทรานสดิวเซอร์ เช่น

ก. อิเล็กโตรแมกเนติคอินดัคชัน (Electromagnetic induction)คือทรานสดิวเซอร์ที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงตามความเร็วในการเคลื่อนที่ จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law of electromagnetic induction) ที่ว่าเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวนำนั้น สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E = BLV \qquad \text{.....(2.8)}$$

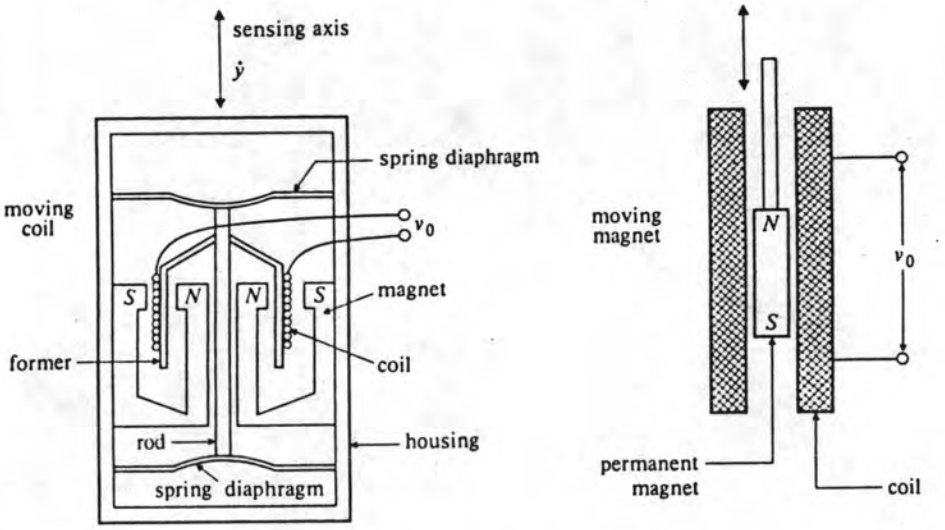
โดย E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลท์

B คือ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ / ตารางเมตร

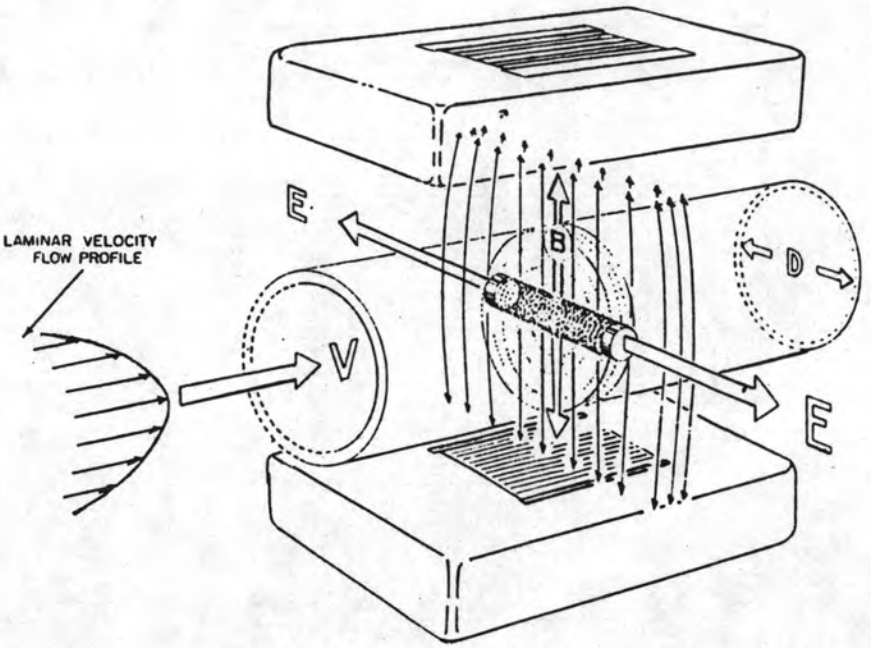
L คือ ความยาวของตัวนำ มีหน่วยเป็น เมตร

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น เมตร / วินาที

ด้วยหลักการนี้ จะพบเห็นในงานทั่ว ๆ ไป ก็คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตัวอย่างในการวัดค่าทางฟิสิคส์ ได้แก่ TRANSLATION-VELOCITY TRANSDUCER (Moving coil and moving magnet pickups) ดังแสดงส่วนประกอบอย่างง่าย ในรูปที่ 2.20 และ ELECTROMAGNETRIC FLOWMETER ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ตัวนำในตัวอย่างนี้ คือ ของไหล (Fluid) ดังนั้นเครื่องวัดนี้จะใช้ได้เฉพาะ ของไหลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำเท่านั้น

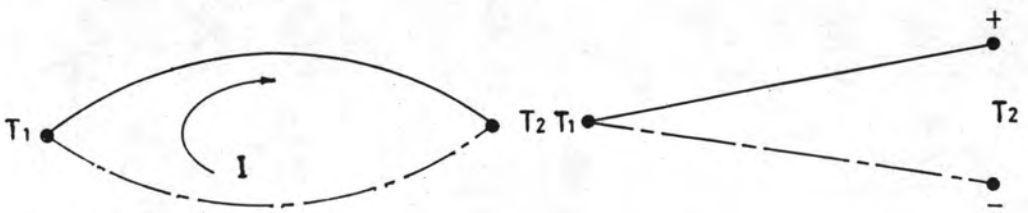


รูปที่ 2.20 แสดงส่วนประกอบของ TRANSLATION-VELOCITY TRANSDUCER



รูปที่ 2.21 แสดงส่วนประกอบของ ELECTROMAGNETIC FLOWMETER

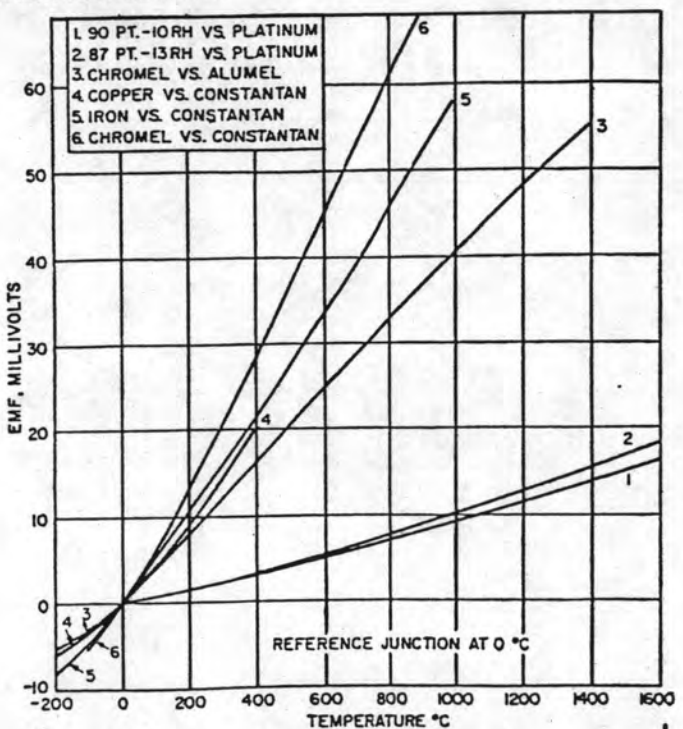
ข. เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ มีหลักการว่า เมื่อนำลวดโลหะสองชนิด มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้าง ถ้าจุดเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างได้รับอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งแปรผันกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และเกิดกระแสไหลในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.22 กระแสที่ไหลนี้จะขึ้นกับค่าความต้านทานของลวดโลหะ ถ้าตัดปลายด้านหนึ่ง ที่ปลายด้านที่ตัดจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า ขนาดและทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองข้าง แต่ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาดของโลหะ และอุณหภูมิตอนกลางของโลหะเลย ดังนั้นถ้าเรารู้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า และอุณหภูมิที่ปลายด้านหนึ่ง ก็สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ปลายอีกข้างหนึ่งได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 2.22 แสดงหลักการของเทอร์โมคับเปิล

โลหะคู่ชนิดต่าง ๆ จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เกิดจากคู่โลหะชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม รายละเอียดของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของเทอร์โมคับเปิลแต่ละชนิด จะมีกำหนดเป็นตารางมาตรฐาน และใช้กันในอุตสาหกรรม การเลือกคู่โลหะเพื่อทำเป็นเทอร์โมคับเปิล จะพิจารณาถึง

- ช่วงอุณหภูมิที่ใช้วัด ดังแสดงในตารางที่ 2.2
- ความสัมพันธ์เชิงเส้นของอุณหภูมิ ต่อค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน
- ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน ต่อองศาของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาถึงความถูกต้องแน่นอน
- ความคงทนถาวร ทนการกัดกร่อน ทนอุณหภูมิสูง
- ความเหมาะสมของราคา



รูปที่ 2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคับเปิลชนิดต่าง ๆ

การใช้เทอร์โมคับเปิลในการวัดอุณหภูมิ มักจะรักษาอุณหภูมิที่ปลายข้างหนึ่ง ไว้ที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า จุดอ้างอิง และปลายอีกข้างหนึ่งต่อไปบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิ การวัดที่แม่นยำ

ตารางที่ 2.2 แสดงช่วงอุณหภูมิที่ใช้วัดของเทอร์โมคับเปิลชนิดต่าง ๆ

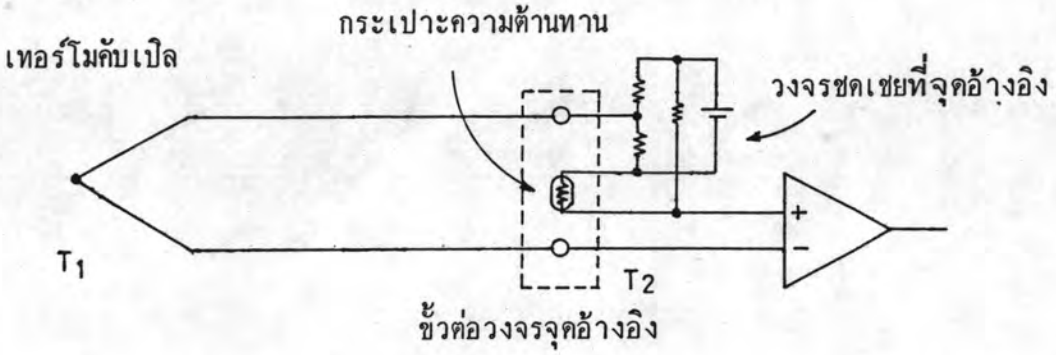
Name	Positive Element	Negative Element	Range °C	Max. °C	Standard name				
					J I S	N B S	I S A	D I N	B S
Platinum - Platinum Rhodium	90%Pt - 10%Rh	Platinum	0~1450	1700	—	Platinum VS Platinum-10% Rhodium	Type S	Pt Rh - Pt	Platinum/10% Rhodium V. Platinum
Platinum - Platinum Rhodium	87%Pt - 13%Rh	Platinum	0~1450	1700	P R	Platinum VS Platinum-13% Rhodium	Type R	—	Platinum/13% Rhodium V. Platinum
Chromel - Alumel	Chromel (90%Ni - 10%cr)	Alumel (94%Ni; 3%Al 1%Si; 2%Mn)	-200~1100	1200	C A	Chromel - Alumel	Type K	Ni.Cr - Ni	Nickel/Chromium V.Nickel/Aluminium
Copper - Constantan	Copper	Constantan (55%Cu - 45%Ni)	-200~350	600	C C	Copper - Constantan	Type T	Cu - Konst	Copper V. Constantan
Iron - Constantan	Iron	Constantan (55%Cu - 45%Ni)	-200~750	1000	I C	Iron - Constantan	Type J	Fe - Konst	Iron V. Constantan
Chromel - Constantan	Chromel (90%Ni - 10%Cr)	Constantan (55%Cu - 45%Ni)	-100~1000	1000	C R C				

Note 1 : N B S = I S A

Note 2 : I S A = A S A (American Standard Association)

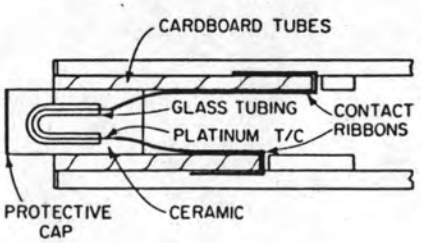
A S A Chromel - Constantan (Type E) J I S

มักจะให้อุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเป็น 0 °C แต่ในทางปฏิบัติมักจะไม่สะดวก จึงรักษาอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงไว้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient temperature) เล็กน้อย และนำผลจากการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาลบออกจากอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงนี้ นอกจากนี้ในเครื่องวัดบางชนิดจะมีการชดเชยอุณหภูมิของจุดอ้างอิงโดยอัตโนมัติ โดยปล่อยจุดอ้างอิงไว้ที่อุณหภูมิโดยรอบ แต่ไปชดเชยค่าอุณหภูมิที่เครื่องวัด โดยการต่อตัวความต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิ เช่น เทอร์มีสเตอร์ หรือกระเปาะความต้านทาน เข้ากับวงจรบริดจ์ ที่จะให้แรงดันไฟฟ้า สำหรับชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ถ้าอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเปลี่ยนไป ความต้านทานจะเปลี่ยนไปทำให้การชดเชยเป็นไปอย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 2.24 แสดงการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง

เทอร์โมคับเปิลที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรม จะถูกสร้างขึ้นในลักษณะที่สะดวกในการติดตั้งและบำรุงรักษา โดยทั่วไปลวดเทอร์โมคับเปิล จะมีฉนวนแยกลวดทั้งสองออกจากกัน และอยู่ภายในหลอดป้องกัน (Protecting tube) ดังแสดงในรูปที่ 2.25 สำหรับการต่อเทอร์โมคับเปิลไปยังเครื่องวัด สายต่ออาจใช้สายชนิดเดียวกับสายเทอร์โมคับเปิล แต่เพื่อเป็นการประหยัด และเพื่อความแข็งแรงทนทานในการใช้งาน อาจใช้สายที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อนเช่นเดียวกันหรือคล้ายกัน ตลอดช่วงอุณหภูมิที่จำกัดได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

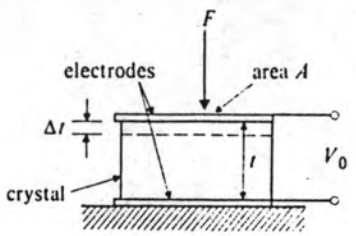


รูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบภายในของเทอร์โมคับเปิล

ตารางที่ 2.3 แสดงสายต่อเทอร์โมคับเปิลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน

Thermocouple		Extension wire	
+	-	+	-
Platinum-Rhodium	Platinum	Copper	Copper-Nickel alloy
Chromel	Alumel	Chromel	Alumel
		Copper	Constantan
		Iron	Copper-Nickel alloy
Iron	Constantan	Iron	Constantan
Copper	Constantan	Copper	Constantan

ค. เพียโซอิเล็กตริก (Piezoelectric transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามแรงกระทำ เป็นสารจำพวกผลึก (Crystalline) หรือเซรามิค (Ceramic) เช่นผลึกควอทซ์ (Quartz) ผลึกแบเรียมติตาเนท (bariumtitanate) มีคุณสมบัติในการให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า เมื่อตัวมันเองถูกกระทำด้วยแรงจากภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.26 และ สามารถเขียนเป็นสมการ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า กับแรงกระทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.26 แสดงผลึกเพียโซอิเลคตริคเมื่อถูกแรงกระทำ

$$V = gtF/A \qquad \text{.....(2.9)}$$

โดย v คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลท์

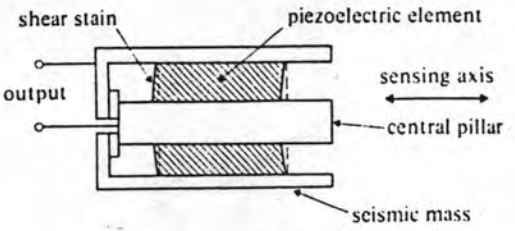
g คือ ความไวแรงดันของผลึก (Crystal voltage sensitivity) มีหน่วยเป็น โวลท์.เมตร / นิวตัน

t คือ ความหนาของผลึก มีหน่วยเป็น เมตร

F คือ แรงที่กระทำต่อชิ้นผลึก มีหน่วยเป็น นิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของผลึก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

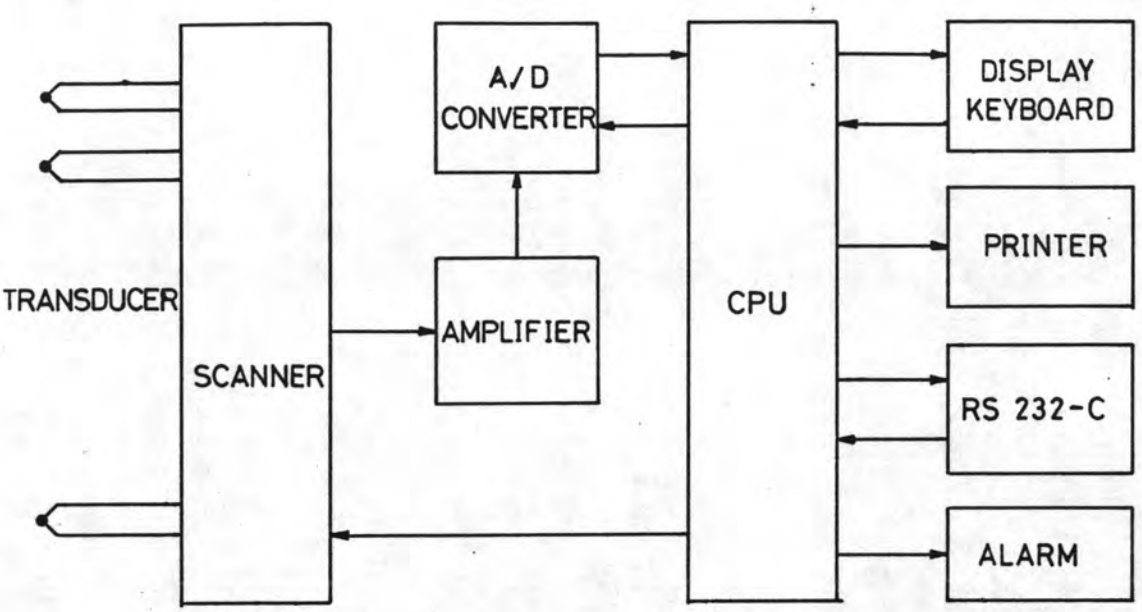
จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่กำเนิดในเพียโซอิเลคตริคจะแปรตามแรงที่กระทำ แต่ถ้าแรงกระทำเป็นแรงที่มีค่าคงที่ (Static force) ก็จะไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น ดังนั้นการใช้งานจะต้องใช้กับการวัดค่า ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตัวอย่างการใช้งาน คือ ใช้ในการวัดความดัน วัดปริมาณการไหล (Flow) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวัดอัตราเร่งในการเคลื่อนที่ (Acceleration) ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างเพียโซอิเลคตริคทรานสดิวเซอร์

2.3 เครื่องวัดและเก็บข้อมูล

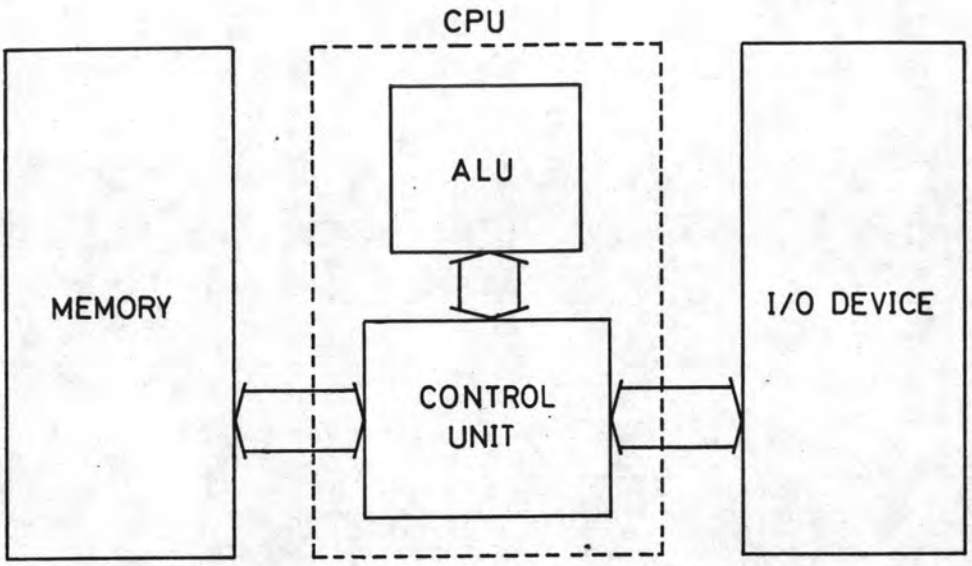
เครื่องวัดและเก็บข้อมูล จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากทรานสดิวเซอร์ทีละหัววัด เก็บข้อมูลที่อ่านได้ และแสดงผลข้อมูล โครงสร้างของเครื่องวัดและเก็บข้อมูล ดังแสดง ในรูปที่ 2.28 ทรานสดิวเซอร์หลาย ๆ ตัว จะถูกต่อเข้ามาที่ภาคเลือกสัญญาณ (Scanner) ซึ่งภายในเป็นสวิทช์สามารถต่อสายของหัววัด เข้ากับภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก ให้มีขนาดสัญญาณที่เหมาะสม ก่อนที่จะเข้าภาคแปลงสัญญาณแบบอะนาลอกเป็นสัญญาณแบบเชิงเลข (A/D Converter) การตัดต่อสวิทช์ในภาคเลือกสัญญาณจะได้รับการควบคุมจาก ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor system) ซึ่งระบบไมโครโปรเซสเซอร์นี้ จะควบคุมการทำงานทั้งระบบ โดยเริ่มจากการส่งสัญญาณ ไปควบคุมให้สวิทช์ปิด ส่งสัญญาณให้ภาคขยายทำงาน ส่งสัญญาณให้ภาคแปลงสัญญาณเริ่มทำการแปลงสัญญาณ อ่านค่าวัดซึ่ง



รูปที่ 2.28 แสดงโครงสร้างระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

เป็นสัญญาณแบบเชิงเลข ทำการประมวลผลข้อมูล เปรียบเทียบข้อมูลกับค่าที่กำหนดถ้าค่าที่อ่านได้เกินขีดจำกัดจะส่งสัญญาณไปที่ภาคเตือนภัย (Alarm) เก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ นำข้อมูลออกแสดงผล (Display) รับคำสั่งจากแป้นกดข้อมูล ส่งข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ และส่งข้อมูลไปที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ระบบอื่นทางบัส อาร์เอส 232 - ซี (RS 232-C) ส่วนประกอบของเครื่องวัดและเก็บข้อมูลที่เป็นวงจรไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็นภาค ๆ ดังนี้คือ

2.3.1 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ หลักการทำงานของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำงานของคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป ภายในระบบประกอบด้วย ส่วนประกอบพื้นฐานคือ CPU (Central processing unit) ที่รวมวงจรควบคุม (Control unit) และ ALU (Arithmetic logic unit) เข้าด้วยกัน และหน่วยความจำ (Memory) นอกจากนั้นเป็นการติดต่อรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ อินพุทและเอาท์พุท (Input and Output device) ซึ่งจะผ่านวงจรควบคุม ALU จะทำหน้าที่คำนวนทางเลขคณิต เช่น การบวก การลบ เป็นต้น และการคำนวนทางลอจิก เช่น AND OR เป็นต้น

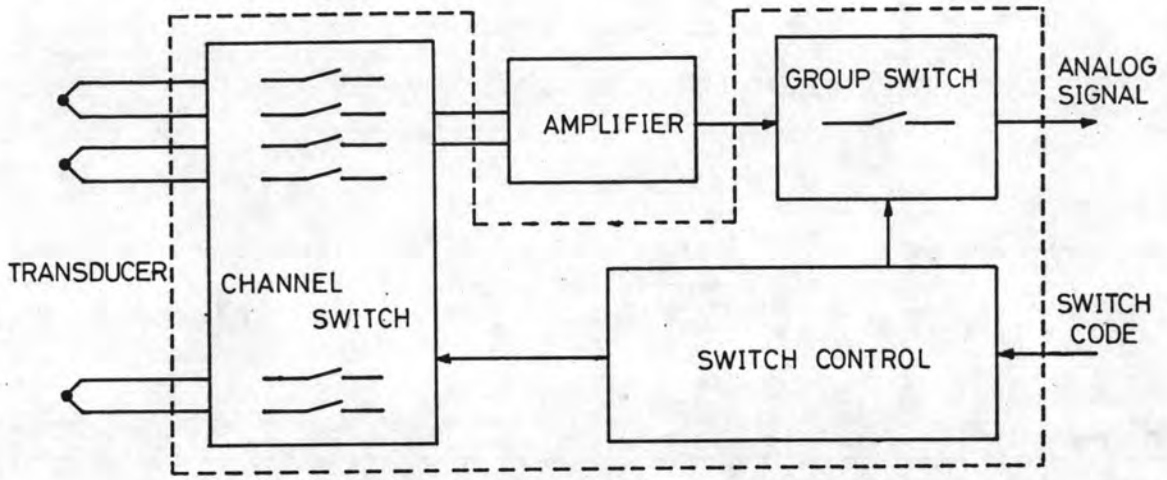


รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของระบบไมโครโปรเซสเซอร์

วงจรควบคุม จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทุกอย่างในระบบ รวมทั้งการสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่จะใช้ในการซิงโครไนซ์ (Synchronize) ส่งถ่ายข้อมูลเข้าออก ALU หน่วยความจำ และอุปกรณ์อินพุท เอาท์พุท การส่งถ่ายข้อมูลจะผ่านทาง บัสแอดเดรส (Address bus) และบัสข้อมูล (Data bus) และจะแปลความหมายของสัญญาณต่าง ๆ บนบัสควบคุม (Control bus) หน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของวงจรควบคุม คือ การอ่านคำสั่งที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาถอดรหัส (Decode) และทำงานตามคำสั่งนั้น กลุ่มคำสั่งที่เขียนไว้ในหน่วยความจำเรียกว่า โปรแกรม (Program)

หน่วยความจำจะทำหน้าที่เป็นหน่วยเก็บข้อมูลและคำสั่ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ROM (Read only memory) คือ หน่วยความจำที่สามารถใช้อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว มีคุณสมบัติพิเศษ คือ เป็นหน่วยความจำแบบนอนโวลาไทล์ (Non-volatile) คือ ข้อมูลจะไม่สูญหาย แม้จะดับแหล่งจ่ายไฟก็ตาม จึงสะดวกในการใช้สำหรับเก็บคำสั่งสำคัญ ๆ ของระบบ หรือ ข้อมูลที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลง เช่น ตาราง (Table) ต่าง ๆ หน่วยความจำอีกชนิดหนึ่ง คือ RAM (Random access memory) คือหน่วยความจำที่ใช้ได้ทั้งการอ่านและการเขียนข้อมูล ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงบ่อย หรือเก็บข้อมูลแสดงสภาวะ (Status) ของระบบ

2.3.2 ภาคเลือกสัญญาณ ประกอบด้วยสวิทช์เลือกช่องสัญญาณ (Channel switch) สวิทช์เลือกกลุ่ม (Group switch) และวงจรควบคุมสวิทช์ (Switch control) ดังแสดงในรูปที่ 2.30

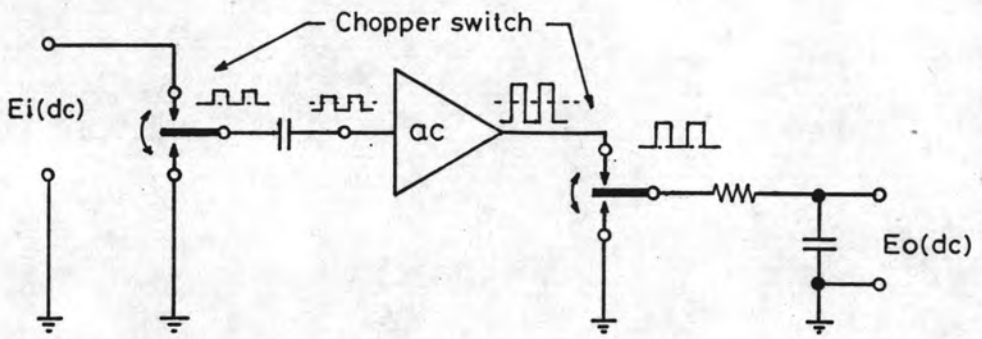


รูปที่ 2.30 แสดงโครงสร้างของภาคเลือกสัญญาณ

ภาคเลือกสัญญาณทำงานโดย วงจรควบคุมสวิทช์จะได้รับรหัส (Code) ของช่องที่ต้องการวัด และรหัสที่ตรงกับกลุ่มสวิทช์นี้ ก็จะทำการถอดรหัส สั่งให้สวิทช์ตัวนั้นทำงาน ให้สัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ผ่านเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณได้ และผ่านออกจากภาคขยายสัญญาณไปสู่ภาคแปลงสัญญาณ เมื่อรหัสที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงไป ช่องเลือกอ่านสัญญาณก็เปลี่ยนไปตามรหัส ทำให้สัญญาณเข้าสู่เครื่องได้ทีละสัญญาณ ตามรหัสที่เข้ามา สวิทช์ที่ใช้ในการเลือกช่อง ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ รีเลย์ และอะนาลอกสวิทช์ การเลือกใช้ชนิดไหนนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณ เช่น ถ้าเป็นสัญญาณขนาดเล็ก การใช้รีเลย์จะให้ค่าถูกต้องแน่นอนกว่า การใช้อะนาลอกสวิทช์ อาจมีการรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้าภายในตัวสวิทช์ แต่ถ้าเป็นสัญญาณขนาดใหญ่พอสมควร อะนาลอกสวิทช์สามารถใช้งานได้ดีกว่า เนื่องจาก ทำงานได้เร็วกว่า และอายุการใช้งานยาวนานกว่ารีเลย์มาก

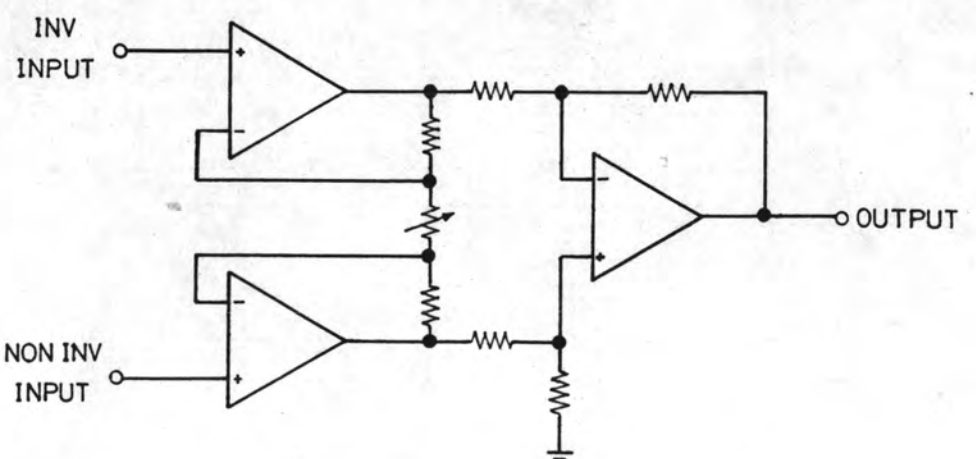
2.3.3 ภาคขยายสัญญาณ ในการใช้งานทั่ว ๆ ไป สัญญาณจากทรานสดิวเซอร์มักจะมีขนาดเล็กมาก และเปลี่ยนแปลงกับเวลาค่อนข้างช้าเกือบจะถือได้ว่าสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณไฟตรง นอกจากนั้นทรานสดิวเซอร์มักจะติดตั้งห่างจากเครื่องวัดมาก สัญญาณรบกวนจึงมีมากด้วย ดังนั้นการขยายสัญญาณจึงทำได้ยาก วงจรขยายสัญญาณจะต้องมีคุณภาพและความแน่นอนสูง วงจรขยายสัญญาณที่ใช้กันมากสำหรับงานประเภทนี้ ได้แก่

ก. วงจรขยายแบบชอปเปอร์ (Chopper amplifier) เป็นวงจรขยายที่ใช้หลักการแปลงสัญญาณไฟตรงที่มีขนาดเล็ก ให้เป็นสัญญาณไฟสลับก่อน และขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณไฟสลับ ให้มีขนาดสูงตามความต้องการ แล้วจึงแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.31 วงจรขยายสัญญาณแบบนี้ให้ความแน่นอนสูง มีค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำ แต่การออกแบบและสร้างวงจรทำได้ยาก และมีราคาแพง



รูปที่ 2.31 แสดงหลักการทำงานของวงจรขยายแบบชอบเปอร์

ข. วงจรขยายสัญญาณไฟตรง (DC Amplifier) เพื่อมีการสร้างออปแอมป์ขึ้น การขยายสัญญาณไฟตรงก็สามารถทำได้ง่ายขึ้น แต่การใช้ออปแอมป์ตัวเดียว มาขยายสัญญาณโดยตรงมักจะมีปัญหาเรื่อง ดริฟท์ (Drift) มีค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาออปแอมป์หลายตัวมาต่อเข้าด้วยกัน เป็นวงจรขยายสัญญาณไฟตรงที่มีคุณภาพและความแน่นอนสูงดังแสดงในรูปที่ 2.32 วงจรขยายแบบนี้เรียกว่าวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน



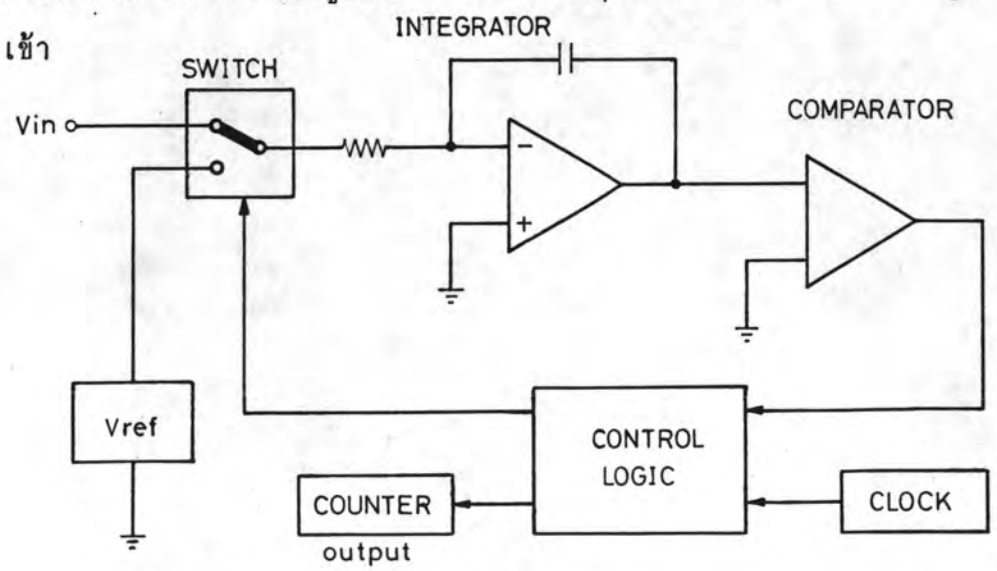
รูปที่ 2.32 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน

(Instrumentation amplifier) เป็นวงจรที่ได้มีการนำไปใช้งาน ในเครื่องมือวัดต่าง ๆ มากที่สุดในปัจจุบัน จะเห็นว่าวงจรขยายสัญญาณนี้เป็นวงจรขยายสัญญาณต่าง ซึ่งสัญญาณขาเข้าจะผ่านวงจรบัฟเฟอร์ก่อนทำให้ความต้านทานขาเข้าของวงจรมีค่าสูงและถ้าออปแอมป์ทั้งหมดมีลักษณะที่คล้ายกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ และดริฟท์ จะเกิดการหักล้างกัน ทำให้สัญญาณออกมีความแน่นอนสูง ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีผู้ผลิตออปแอมป์จำนวนมากได้ผลิตออปแอมป์หลาย ๆ ตัวอยู่ในชิป (Chip) เดียวกัน ทำให้ได้ออปแอมป์ที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยชิปแต่ละตัวทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชันที่สมบูรณ์ได้เลย

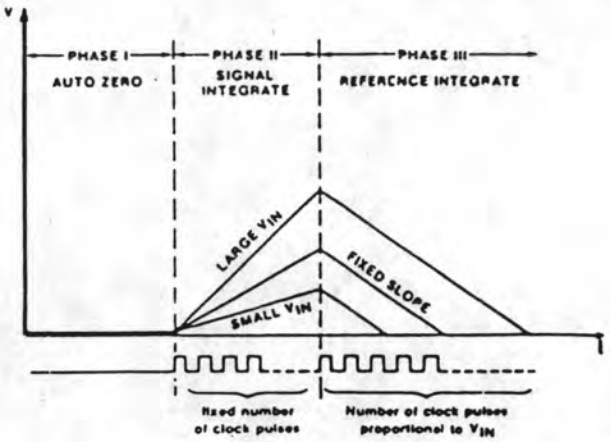
2.3.4 ภาคแปลงสัญญาณแบบอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงเลข ทำหน้าที่รับสัญญาณที่มีขนาดเหมาะสมจากภาคขยายสัญญาณ แล้วเปลี่ยนสัญญาณนั้นเป็นสัญญาณเชิงเลข ซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณนั้น วงจรแปลงสัญญาณนี้มีหลายชนิด ตั้งแต่แบบใช้กลไก จนกระทั่งถึงแบบวงจรที่เป็นอิเลคทรอนิคส์ แต่ที่นิยมมากในปัจจุบันได้แก่

ก. แบบ DUAL SLOPE เป็นวงจรแปลงสัญญาณที่ใช้หลักการ การอินทิเกรต หรือเฉลี่ยขนาดของสัญญาณ ทำให้ค่าที่วัดได้แม่นยำ และมีเสถียรภาพดี ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณอื่น ดังแสดงโครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณแบบนี้ในรูปที่ 2.33 การทำงานแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงการปรับศูนย์ (Auto zero) เป็นช่วงที่สัญญาณเข้าของวงจร ถูกต่อลงกราวด์ ค่าแรงดันออฟเซทภายในจะถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ และถือว่าระดับนี้เป็น ระดับศูนย์ของสัญญาณเข้า



รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณแบบ DUAL SLOPE



รูปที่ 2.34 แสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแบบ DUAL SLOPE

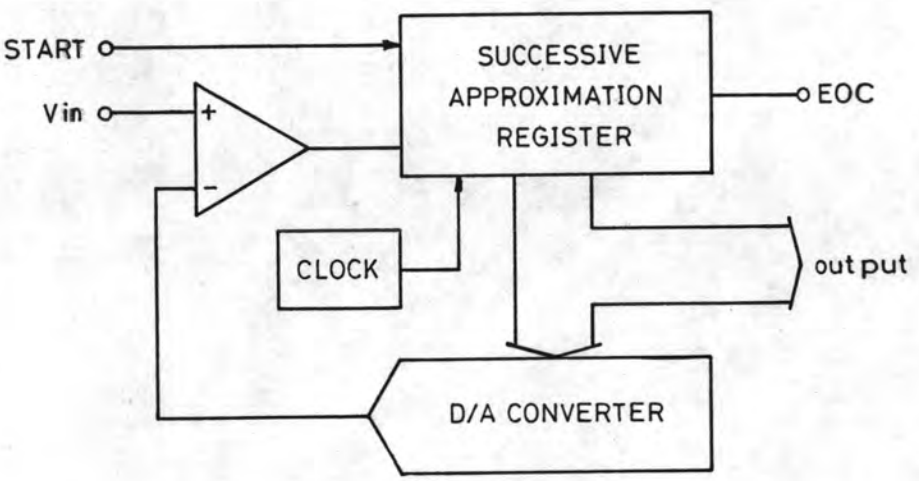
2) ช่วงการอินทิเกรตสัญญาณ (Signal integrate) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจร จะถูกต่อกับสัญญาณที่จะวัด และทำการอินทิเกรตด้วยเวลาคงที่ ซึ่งจะกำหนดด้วยจำนวนพัลส์นาฬิกา ความชันของการอินทิเกรต จะเป็นสัดส่วนของแรงดันไฟเข้า ดังแสดงในรูปที่ 2.34

3) ช่วงการอินทิเกรตแรงดันอ้างอิง (Reference integrate) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจรจะต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง แล้วอินทิเกรตด้วยความชันคงที่ เนื่องจากใช้แรงดันอ้างอิงที่คงที่ตลอด การอินทิเกรตในช่วงนี้จะมีการนับพัลส์นาฬิกา จนกระทั่งแรงดันถึงระดับศูนย์ จำนวนพัลส์นาฬิกาที่นับได้ ในช่วงนี้จะเป็นค่าขนาดของแรงดันแบบเชิงเลข ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันเข้าซึ่งเป็นแบบอะนาลอก

การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแบบ DUAL SLOPE จะเห็นว่าในการแปลงสัญญาณจะต้องใช้เวลามากในการที่จะอินทิเกรตสัญญาณ ดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณแบบนี้จึงมีข้อเสียอย่างหนึ่ง คือ ไม่สามารถทำงานได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงเหมาะกับการแปลงสัญญาณที่ไม่ต้องการแปลงสัญญาณที่ไม่ต้องการความเร็ว แต่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ และมีเสถียรภาพที่ดี

ข. แบบ SUCCESSIVE APPROXIMATION เป็นวงจรแปลงสัญญาณที่ใช้หลักการเปรียบเทียบสัญญาณเข้า กับแรงดันอ้างอิงที่ถูกสร้างขึ้นจากสัญญาณเชิงเลข วงจรชนิดนี้สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็วมาก แต่มีข้อเสีย คือ ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าสัญญาณเปรียบเทียบขณะใดขณะหนึ่ง ดังนั้นถ้ามีสัญญาณรบกวนเข้ามาโอกาสผิดพลาดจึงมีมาก โครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณแบบนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.35 ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ วงจรแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นสัญญาณ

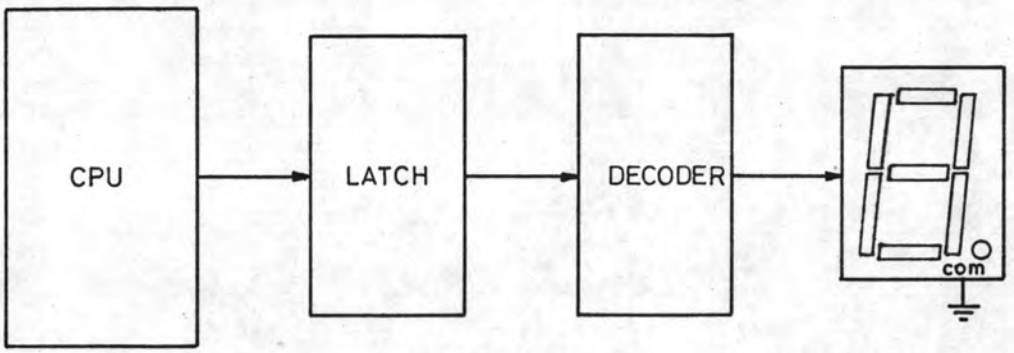
แบบอะนาลอก (D/A Converter) SAR (Successive approximation register) และวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) แรงดันไฟที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณเชิงเลข จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณเข้า โดยการเปรียบเทียบทีละบิท โดยเริ่มจากบิทที่มีนัยสำคัญมากที่สุด (MSB) ไปสู่บิทที่มีค่านัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) บิทที่จะเปรียบเทียบจะถูกเซทค่าเป็น " 1 " ถ้าแรงดันไฟจากวงจรแปลงสัญญาณเชิงเลข มีค่าน้อยกว่าสัญญาณเข้า และ บิทนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น " 0 " ถ้ามีค่ามากกว่าสัญญาณเข้าจากนั้นจะเปลี่ยนไปเปรียบเทียบบิทต่อไป เมื่อเสร็จการแปลงในแต่ละรอบ ก็จะมีสัญญาณออกและส่งค่าที่ได้ไปที่บัฟเฟอร์ และแปลงค่ารอบต่อไป



รูปที่ 2.35 แสดงโครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณ
แบบ SUCCESSIVE APPROXIMATION

2.3.5 ภาคแสดงผล ทำหน้าที่แสดงผลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลที่ทำการวัดแต่ละช่อง เวลาขณะวัด ค่าสูงสุดหรือต่ำสุดที่ตั้งไว้ เป็นต้น การแสดงผลที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นการแสดงผลออกเป็นตัวเลข 7 ขีด (7-Segment LED display) วงจรที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ

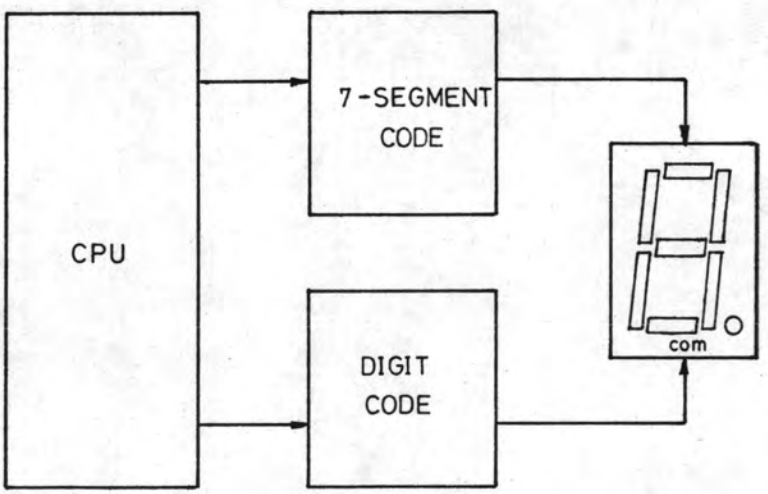
ก. การแสดงผลข้อมูลโดยตรง เป็นการส่งข้อมูลที่ต้องการแสดงผล แต่ละหลักออกไป แล้วให้ค่าข้อมูลค้างอยู่ และถ้าต้องการเปลี่ยนค่าข้อมูล ก็ส่งข้อมูลใหม่เข้าไปอีก ข้อมูลจะถูกส่งเข้าไปในวงจรคงสถานะ (Latch) เป็นรหัส BCD (Binary code decimal) และจะถูกแปลงเป็นรหัสตัวเลข 7 ขีด โดยวงจรถอดรหัส (Decoder) ดังแสดงในรูปที่ 2.36 วงจร



รูปที่ 2.36 แสดงโครงสร้างของการแสดงผลโดยตรง

แสดงผลประเภทนี้ สะดวกในการใช้งาน แต่วงจรมีขนาดใหญ่ และยุ่งยากในการประกอบวงจร ถ้าจำนวนหลักที่จะแสดงผลมีมาก และกินกำลังไฟมากด้วย

ข. การแสดงผลข้อมูลด้วยการมัลติเพลกซ์ (Multiplex) ข้อมูลที่จะแสดงผล จะถูกแสดงผลทีละหลัก เมื่อแสดงผลครบหลักแล้วก็จะเริ่มรอบต่อไป การแสดงผลจะเริ่มจากการส่งข้อมูลที่เป็นรหัส 7 ขีด (7-Segment code) ของหลักที่จะแสดงผลออกไป แล้วตามด้วยรหัสที่ระบุหลัก (Digit code) ดังแสดงในรูปที่ 2.37 การมัลติเพลกซ์ข้อมูลจะทำด้วยความเร็วสูง พอทำให้ตาเราไม่สามารถสังเกตุการกระพริบได้ วิธีการแสดงผลแบบนี้ สามารถประกอบวงจรได้ง่าย แต่จะต้องมีโปรแกรมควบคุมการมัลติเพลกซ์ ซึ่งเพิ่มความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม และการแบ่งเวลาของ CPU

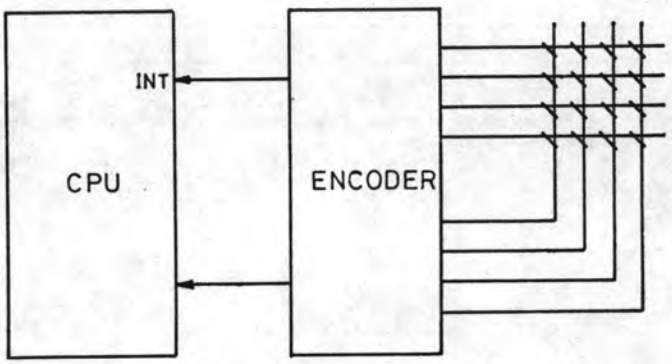


รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของการแสดงผลด้วยการมัลติเพลกซ์

i 18042995

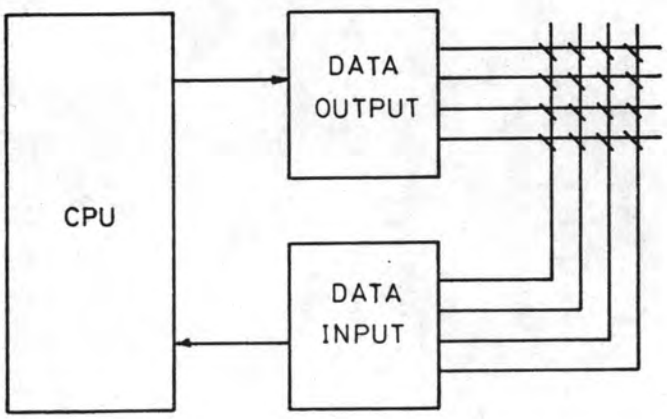
2.3.6 แป้นกดข้อมูล เป็นส่วนที่จะรับคำสั่งจากผู้ใช้ ว่าต้องการให้ระบบทำงานอะไร เช่น ต้องการให้แสดงผลของข้อมูลใด หรือ ต้องการพิมพ์ผลข้อมูลทางเครื่องพิมพ์ เป็นต้น วงจรของแป้นกดข้อมูลโดยทั่ว ๆ ไป ที่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถรับรู้คำสั่ง หรือความต้องการจากแป้นกดข้อมูลมี 2 แบบคือ

ก. โดยการเข้ารหัส (Encode) คือ เมื่อแป้นกดข้อมูลถูกกด จะมีสัญญาณไปอินเตอร์รัพท์ CPU ให้มาอ่านค่าปุ่มกดที่วงจรเข้ารหัส (Encoder) ดังแสดงในรูปที่ 2.38โดยวงจรเข้ารหัส จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์ และรหัสหมายเลขของปุ่มกด การต่อวงจรแบบนี้ค่อนข้างยุ่งยากและสิ้นเปลืองมาก แต่สะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 2.38 แสดงโครงสร้างแป้นกดข้อมูลแบบเข้ารหัส

ข. โดยการสแกน (Scan) วิธีนี้ CPU จะตรวจหาปุ่มที่ถูกกดทีละแถว โดยส่งรหัสแถวที่ต้องการตรวจไป และอ่านข้อมูลเข้ามาตรวจดูว่ามีปุ่มที่ถูกกดหรือไม่ เมื่อพบปุ่มที่ถูกกด ก็จะทำการเข้ารหัสด้วยการนับขณะที่ตรวจ วิธีนี้การต่อวงจรทำได้ง่าย แต่ยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม โครงสร้างของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างแป้นกดข้อมูลแบบสแกน

2.3.7 ภาครับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก ทำหน้าที่จัดส่งข้อมูล ไปยังอุปกรณ์ภายนอก เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ระบบอื่น เป็นต้น การรับส่งข้อมูลทำได้สองแบบคือ

ก. การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel) เป็นการรับส่งข้อมูลพร้อมกันทุกบิท การรับส่งข้อมูลเสร็จสิ้นลงภายในหนึ่งพัลส์นาฬิกา (Clock pulse) เหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูง สายส่งสัญญาณประกอบด้วย บัสข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งเข้าหรือออกผ่านทางบัสนี้ และจำนวนสายส่งข้อมูล จะเท่ากับจำนวนบิทของข้อมูล บัสแอดเดรส เป็นสัญญาณบอกว่าอุปกรณ์ใดต้องการรับส่งข้อมูล และบัสควบคุม จะเป็นสัญญาณบอกสภาวะการรับส่งข้อมูลว่าเรียบร้อยหรือไม่ จะเห็นว่าการรับส่งข้อมูลแบบขนานนี้ เหมือนกับบัสที่ใช้อยู่ภายในระบบ แต่จะแตกต่างกันที่จำนวนสายส่งสัญญาณของแต่ละบัสว่ามีมากน้อยเท่าใด บัสมาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบขนานที่นิยมใช้กันมากได้แก่ S100 IEEE-488 และ CENTRONICS เป็นต้น

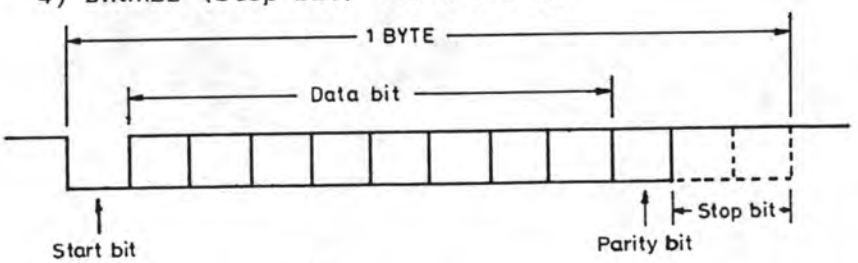
ข.การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial) ใช้หลักการของชิฟท์รีจีสเตอร์ (Shift register) ส่งข้อมูลโดยการเลื่อนออกทีละบิท ใช้สายส่งข้อมูลเพียงสองเส้น ไม่ว่าข้อมูลจะมีจำนวนบิทมากน้อยเท่าไรก็ตาม ระยะเวลาในการส่งข้อมูลนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนบิทของข้อมูล เพราะว่าในหนึ่งพัลส์นาฬิกา จะส่งข้อมูลได้หนึ่งบิท การรับส่งข้อมูลชนิดนี้ เหมาะสำหรับการติดต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วต่ำ บัสมาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ RS232C RS422 และ RS423 เป็นต้น รูปแบบของข้อมูลในการรับส่งหนึ่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.40 จะประกอบไปด้วย

1) บิทสตาร์ท (Start bit) 1 บิท

2) บิทข้อมูล 5-8 บิท

3) บิทตรวจสอบพาริตี (Parity bit) 1 บิท ซึ่งจะมีหรือไม่มีก็ได้

4) บิทสตอป (Stop bit) จำนวน 1-2 บิท



รูปที่ 2.40 แสดงรูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.3.8 ภาคนาฬิกา ทำหน้าที่บอกเวลา วัน เดือน ปี ในขณะที่ทำการอ่านข้อมูล ภาคนาฬิกานี้สามารถสร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ 3 แหล่ง คือ

ก. ความถี่จากไฟบ้าน เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 Hz เป็นคลื่นรูปซายน์ (Sine wave) นำมาเปลี่ยนรูปคลื่นให้เป็น พัลส์ แล้วนำสัญญาณพัลส์นี้ไปอินเตอร์รัพท์ CPU ให้โปรแกรมนาฬิกาทำงาน

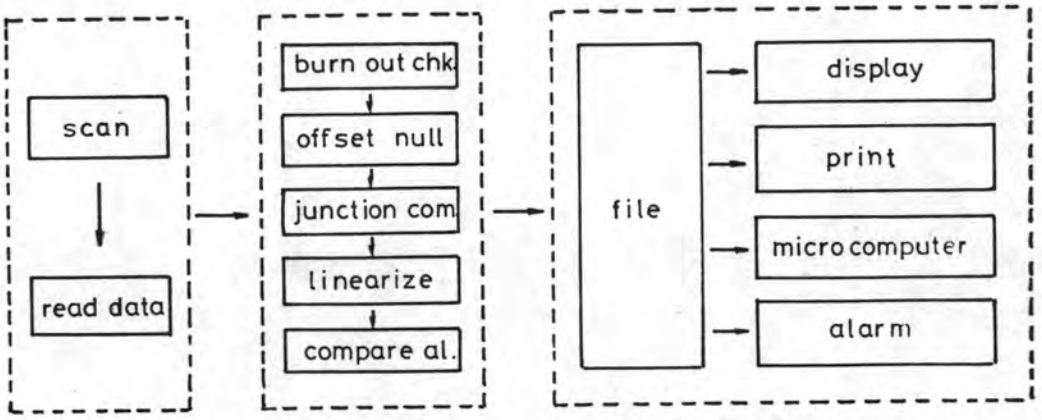
ข. ความถี่ของระบบ เป็นสัญญาณพัลส์นาฬิกา ที่ใช้ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ นำสัญญาณพัลส์นี้มาผ่านวงจรหารความถี่ ให้ความถี่ต่ำลง แล้วนำไปอินเตอร์รัพท์ CPU เช่นกัน

ค. ความถี่ที่สร้างขึ้น โดยมากจะใช้วงจรที่เป็นนาฬิกาภายในตัวเอง คือ มีภาคกำเนิดสัญญาณความถี่ภายในตัวเองและนำความถี่นั้นไปเปลี่ยนเป็นเวลาจริง ข้อมูลที่ได้เป็นเวลาจริงและสามารถตั้งเวลาให้ตัวมันได้

2.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

การทำงานของระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกจะกำหนดด้วยซอฟท์แวร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ โปรแกรมนี้จะถูกเก็บไว้ใน ROM ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบกึ่งถาวร CPU จะอ่านโปรแกรมจาก ROM ทีละคำสั่งแล้วทำงานตามนั้น ดังนั้นฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบจะถูกกำหนดด้วยโปรแกรมควบคุมนี้

2.4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ งานของระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกจะประกอบด้วย การอ่านข้อมูลจากทรานสดิวเซอร์ต่าง ๆ โดยการเลือกอ่านทีละหัววัด และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวนเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปเก็บไว้และนำออกแสดงผล ขั้นตอนการทำงานของระบบดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.41 สามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนคือ การอ่านข้อมูล ได้แก่ การสแกนเลือกอ่านข้อมูลทีละหัววัด คือ การกำหนดเบอร์สวิทช์และควบคุมให้สัญญาณผ่านเข้ามาที่วงจรวัด จากนั้นจะควบคุมการอ่านค่าที่วัดได้ซึ่งจะแปลงเป็นสัญญาณแบบเชิงเลข เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล โดยทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง การประมวลผลในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล การชดเชยออฟเซท การชดเชยอุณหภูมิที่



รูปที่ 2.41 แสดงขั้นตอนการทำงานภายในของระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

จุดอ้างอิง การทำให้เป็นเชิงเส้นตรง การเปรียบเทียบค่าสูงสุดและต่ำสุด เป็นต้น เมื่อข้อมูลที่ได้ถูกต้องแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การจัดการข้อมูล ได้แก่ การเก็บข้อมูลไว้ในไฟล์ การนำข้อมูลออกแสดงผล และการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ภายนอก เป็นต้น

2.4.2 การประมวลผลข้อมูล ข้อมูลที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์ มักจะไม่สามารถนำมาใช้งานได้ทันที เนื่องจากความผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในวงจรอิเลคทรอนิคส์ หรือ ตัวทรานสดิวเซอร์เอง เช่น ออฟเซท ความไม่เป็นเชิงเส้นตรงของ วงจรขยาย หรือ ทรานสดิวเซอร์ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลที่อ่านเข้ามาได้ไปทำการประมวลผลตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

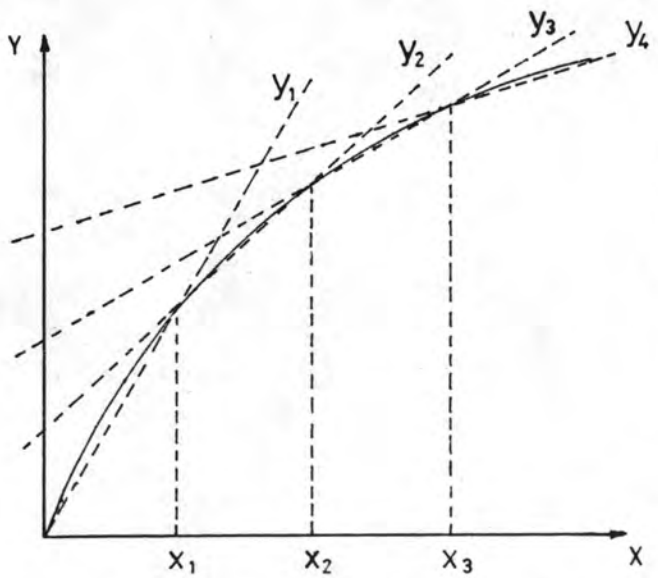
ก. ตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล เป็นการตรวจสอบทรานสดิวเซอร์ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ เช่น สายต่อของทรานสดิวเซอร์ขาด ลัดวงจร หรือ ตัวทรานสดิวเซอร์ชำรุดเสียหาย เป็นต้น ถ้ามีอาการผิดปกติภาคขยายจะเกิดภาวะอิ่มตัว (Saturate) ข้อมูลที่อ่านจากภาคแปลงสัญญาณ จะเกินช่วงการแปลงสัญญาณ (Over range) ทำให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติได้

ข. ชดเชยออฟเซท (Offset compensation) โดยทั่วไปภาคขยายจะมีออฟเซทภายในตัวเอง ทำให้สัญญาณออก มีค่าไม่สัมพันธ์กับสัญญาณเข้า ดังนั้น จึงต้องทำการชดเชยออฟเซทที่เกิดขึ้น ด้วยการให้สัญญาณเข้าเป็นศูนย์ แล้วอ่านค่าสัญญาณออกเก็บไว้ จากนั้นนำมาหักลบกับค่าที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์

ค. ชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง (Cold junction compensation) จะทำการชดเชยในกรณีที่ทรานสดิวเซอร์เป็น เทอร์โมคับเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิเท่านั้น โดยจะมีทรานสดิวเซอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่เทอร์โมคับเปิล วัดค่าอุณหภูมิที่บริเวณที่จุดอ้างอิง แล้วนำค่าอุณหภูมินี้ไปคำนวนหาแรงดันที่เกิดขึ้นที่จุดอ้างอิงนั้น นำไปหักลบกับข้อมูลที่อ่านได้จากเทอร์โมคับเปิล ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลแรงดันที่เกิดขึ้นที่จุดนั้น

ง. การทำเป็นเชิงเส้นตรง (Linearization) เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ส่วนมากมักจะมีสัญญาณออกไม่เป็นเชิงเส้นตรงกับข้อมูลทางฟิสิคส์ที่ทำการวัด ดังนั้นจึงต้องทำการแก้ไขเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง การทำเป็นเชิงเส้นตรง ทำได้โดยการหาฟังก์ชัน เพื่อนำมาประมาณค่าลักษณะสมบัติของทรานสดิวเซอร์ วิธีการที่นิยมใช้กันได้แก่

1) PIECEWISE LINEAR APPROXIMATION เป็นวิธีการที่แบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ และในแต่ละช่วง จะประมาณค่าด้วยสมการเส้นตรง (Linear equation) เช่น $y = ax+b$ ดังแสดงในรูปที่ 2.42 ข้อมูลที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์จะนำไปเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลว่าอยู่ในช่วงใด เมื่อทราบแล้วก็จะทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสมการเส้นตรง จากสมการนั้นจากนั้นคำนวนหาค่าข้อมูลที่ถูกต้อง ข้อมูลหลังการคำนวน จะเป็นข้อมูลที่ถูกต้องสามารถนำไปแสดงผลได้ วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมาก เหมาะสำหรับลักษณะสมบัติของทรานสดิวเซอร์ ที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นตรงไม่มากนัก



RANGE	LINEAR EQUATION
$0 - x_1$	$y_1 = a_1x_1$
$x_1 - x_2$	$y_2 = a_2x_2 + b_2$
$x_2 - x_3$	$y_3 = a_3x_3 + b_3$
$x_3 - x_4$	$y_4 = a_4x_4 + b_4$

รูปที่ 2.42 แสดงหลักการของ PIECEWISE LINEAR APPROXIMATION

2) POLYNOMIAL APPROXIMATION วิธีนี้จะใช้ในกรณีที่ลักษณะสมบัติของทรานสดิวเซอร์มีความไม่เป็นเชิงเส้นตรงมาก และต้องการความแม่นยำในการประมาณค่ามากขึ้น แทนที่จะใช้สมการเส้นตรงทั่วไป ในการประมาณค่าก็จะใช้เป็นสมการที่มีอันดับสูงขึ้น (Higher order equation) แทน

จ. เปรียบเทียบกับค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ จะต้องนำข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดหรือต่ำสุดว่า ข้อมูลนั้นมีค่าเกินขีดจำกัดหรือไม่ การเปรียบเทียบจะใช้การบวกลบทางเลขคณิตธรรมดา ถ้าค่าที่อ่านได้เกินขีดจำกัด ก็จะระบุข้อมูบนั้นไว้ในหน่วยความจำว่า ค่าที่ได้เกินขีดจำกัดสูงสุดหรือต่ำสุด และ ส่งสัญญาณไปให้หน่วยเตือนภัยทำงาน

ขั้นตอนการประมวลผลดังที่กล่าวมาแล้ว เป็นขั้นตอนที่จำเป็น ที่จะต้องกระทำในระบบเก็บข้อมูลทั่วไป แต่ถ้าต้องการให้ระบบการทำงานมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น อาจจะต้องมีการประมวลผลมากขึ้น เช่น การกรองข้อมูล (Filtering) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีสัญญาณกวนน้อยที่สุด การคำนวนหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป การคำนวนหาผลต่างของสัญญาณกับสัญญาณช่องอื่น เป็นต้น

2.4.3 การจัดการข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล มักจะเป็นข้อมูลที่เป็นรหัสไบนารี เนื่องจากง่ายในการคำนวนค่าในโปรแกรมการประมวลผลต่าง ๆ แต่ข้อมูลนั้นไม่สามารถนำมาใช้งานได้ จะต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบของรหัสข้อมูลก่อนจึงสามารถส่งข้อมูลไปตามอุปกรณ์ที่ต้องการได้ ข้อมูลจะถูกจัดการส่งไปเก็บในหน่วยความจำ และส่งไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้คือ

ก. การเก็บข้อมูลไว้ในไฟล์ ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะต้องนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเก็บข้อมูลนี้จะเก็บไว้อย่างมีระเบียบทุกค่าวัดจะมีรูปแบบในการเก็บที่เหมือนกัน เรียกว่า เก็บไว้ในไฟล์ เพื่อสะดวกในการอ่านข้อมูลออกมาใช้งานทีหลังอีกทีหนึ่ง ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในไฟล์นี้จะเก็บไว้เป็นรหัส BCD ซึ่งเป็นรหัสที่สามารถอ่านได้เข้าใจ ดังนั้นก่อนนำข้อมูลไปเก็บในไฟล์จะต้องแปลงรหัสไบนารีของข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลมาเป็นรหัส BCD

ข. การส่งข้อมูลออกแสดงผล การแสดงผลจะนำข้อมูลที่เก็บไว้ในไฟล์ ส่งออกไปที่ภาคแสดงผล ดังนั้นการจัดการข้อมูลการแสดงผลนี้ จะขึ้นอยู่กับชนิดของการแสดงผล ถ้าภาคแสดงผลเป็นการแสดงผลข้อมูลโดยตรง ข้อมูลรหัส BCD สามารถส่งออกไปได้โดยตรง แต่ถ้าภาคแสดงผลเป็นการแสดงผลข้อมูลด้วยการมัลติเพล็กซ์ ก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไปจะต้องแปลงข้อมูลรหัส BCD ให้เป็นรหัส 7 ขีด จากนั้นจึงส่งข้อมูลออกไปภาคแสดงผล

ค. การส่งข้อมูลออกไปอุปกรณ์ภายนอก อุปกรณ์ภายนอกที่จะรับข้อมูลจากระบบได้-แก่ เครื่องพิมพ์ และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ระบบอื่น โดยทั่วไปอุปกรณ์เหล่านี้จะรับข้อมูลเป็นรหัส ASCII ดังนั้นจะต้องมีการแปลงรหัส BCD ของข้อมูลในไฟล์ให้เป็นรหัส ASCII ก่อน-ส่งออกไป นอกจากนี้จะต้องตรวจดูการรับส่งข้อมูลว่าเป็นแบบอนุกรมหรือขนาน และต้องการรหัสควบคุมใดหรือไม่