

ทฤษฎีของ เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแมคคาณิกส์⁽⁸⁾

ในยุคแรกที่ยังไม่มีเครื่องชั่งน้ำหนัก การแลกเปลี่ยนสินค้าจะกระทำโดยการประมาณด้วยสายตา หรือการยกเปรียบเทียบด้วยมือ ต่อมาเมื่อคนเรารู้จักใช้กิ่งไม้วางพาดโหล่เพื่อหาลังของ จึงนำไปสู่การพัฒนาเป็นเครื่องชั่งแบบแขนเท่ากันสองข้าง ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องชั่งแบบแรก เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแมคคาณิกส์แบ่งเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 3 ชนิดคือ

2.1.1 เครื่องชั่งแบบไม่แสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง (Non-selfindicating weighing machines)

เครื่องชั่งแบบนี้จะทราบค่าน้ำหนักของวัตถุที่นำมาชั่ง ได้จากค่าของกอนน้ำหนักมาตรฐานที่นำมาเป็นตัวเปรียบเทียบ ส่วนเข็มชี้ของเครื่องชั่งจะบอกเพียงสภาพสมดุลในการชั่ง ตัวอย่างของเครื่องชั่งแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1

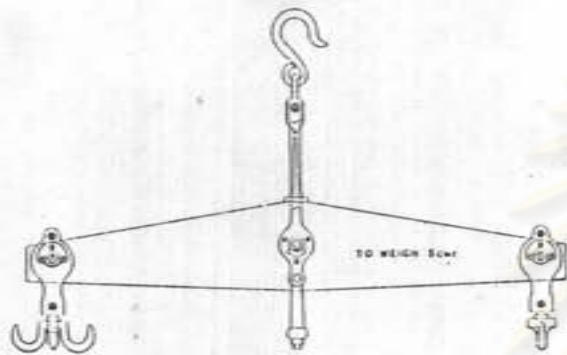
2.1.2 เครื่องชั่งแบบกึ่งแสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง (Semi-selfindicating weighing machines)

เครื่องชั่งแบบนี้จะแสดงค่าน้ำหนักของวัตถุที่นำมาชั่ง ออกมาเพียงบางส่วนของสเกลหน้าปัด และน้ำหนักอีกส่วนหนึ่งจะทราบจากกอนน้ำหนักมาตรฐานที่นำมาวางบนเครื่องชั่ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

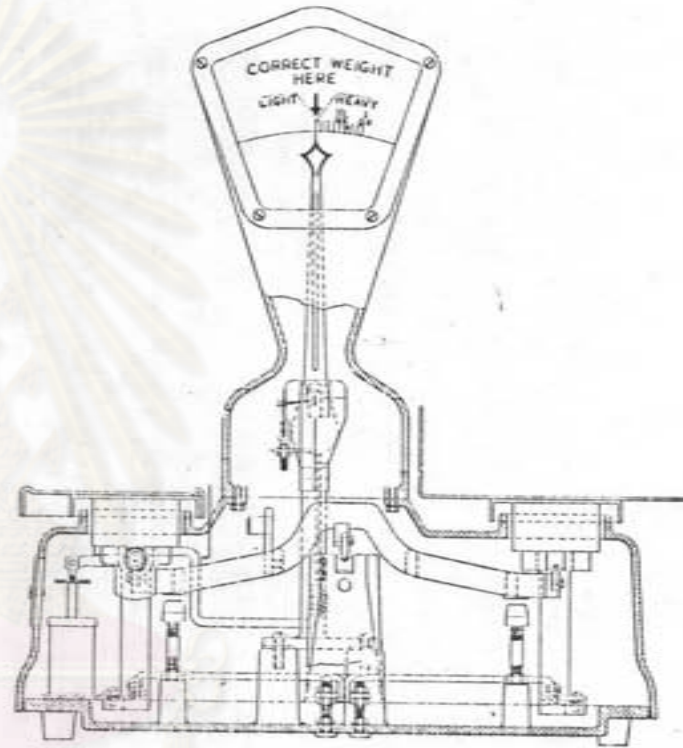
2.1.3 เครื่องชั่งแบบแสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง (Self-indicating weighing machines)

เป็นเครื่องชั่งที่สามารถแสดงค่าน้ำหนักของวัตถุที่นำมาชั่ง บนสเกลหน้าปัดโดยอัตโนมัติ เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3

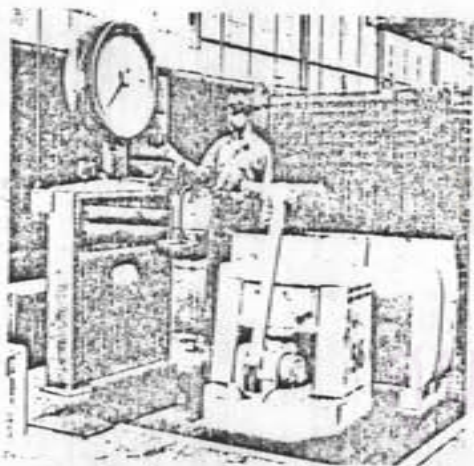
ข้อบกพร่องและขีดจำกัดความสามารถของเครื่องชั่งแบบแมคคาณิกส์ กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1



รูปที่ 2.1 เครื่องชั่งแบบไม่แสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง



รูปที่ 2.2 เครื่องชั่งแบบกึ่งแสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง



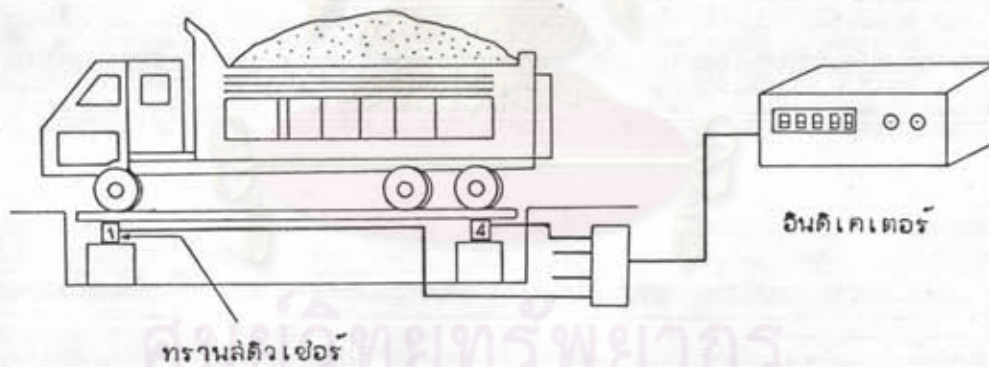
รูปที่ 2.3 เครื่องชั่งแบบแสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์

ในยุคแรกของการพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนัก จะมีการนำเอาอุปกรณ์ทางไฟฟ้าบาง อย่างมาใช้ร่วมกับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบแมคคาณิกส์ เช่น คอนแทคสวิตช์แบบต่าง ๆ เพื่อใช้ ตรวจสอบสับการเคลื่อนไหวของส่วนกลไก และสวิตช์เหล่านี้จะต่อเข้ากับระบบควบคุมต่าง ๆ ในยุคหลังที่การพัฒนาทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น ซึ่งไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวได้จึงลดการสึกหรอ ทำให้รักษาความ แม่นยำได้เป็นระยะเวลานาน

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่าทรานสดิวเซอร์ (Transducer) จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ ซึ่งในที่นี้คือน้ำหนักของวัตถุที่นำ มาชั่งให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า และส่วนที่สองเรียกว่าอินดิเคเตอร์ (Indicator) จะทำการ จัดรูปของปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ให้สามารถอ่านค่าน้ำหนักออกมาโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง เครื่องชั่งน้ำหนักรถบรรทุกแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3 ทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ไปเปลี่ยนค่าน้ำหนักไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามีชื่อเรียกว่า โหลดเซลล์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น Capacitive load cell, Reluctive load cell และ Piezoelectric load cell แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษา และสร้างโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจความต้านทาน (Resistance strainage load cell) ซึ่งเป็นโหลดเซลล์แบบที่ไ้กันมากที่สุด มีขนาดรับน้ำหนักตั้งแต่ 5 กก. จนถึง 3,000,000 กก. สำหรับโหลดเซลล์ชนิดอื่นนั้น รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้จากหนังสืออ้างอิงเล่มที่ 6

โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจมีส่วนประกอบที่สำคัญคือชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (Sensing element) และสเตรนเกจแบบความต้านทาน เมื่อมีน้ำหนักมากกระทำต่อชิ้นส่วนรับน้ำหนัก จะเกิดความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ขึ้นในเนื้อของวัสดุ ส่วนสเตรนเกจจะทำหน้าที่เปลี่ยนความเครียดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.3.1 ชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (1,6,10)

ในการทำงานของชิ้นส่วนรับน้ำหนักนั้น จะเกิดการยืดหรือหดตัวเท่านั้น (ประมาณ 1/100-1/10 มิลลิเมตร) จึงไม่มีการเสียดสีของชิ้นส่วน ทำให้ลดการสึกหรอ และลดความผิดไปได้ จากกฎของฮุก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (แรง) ที่กระทำต่อชิ้นส่วนรับน้ำหนัก กับค่าความเครียดดังนี้

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ E = โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่น (กก./ ซม.²) σ = ความเค้น (กก./ ซม.²)

ε = ความเครียด (ซม./ ซม.) F = น้ำหนักที่กระทำ (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (ซม.²) L = ความยาวเดิม (ซม.)

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป (ซม.)

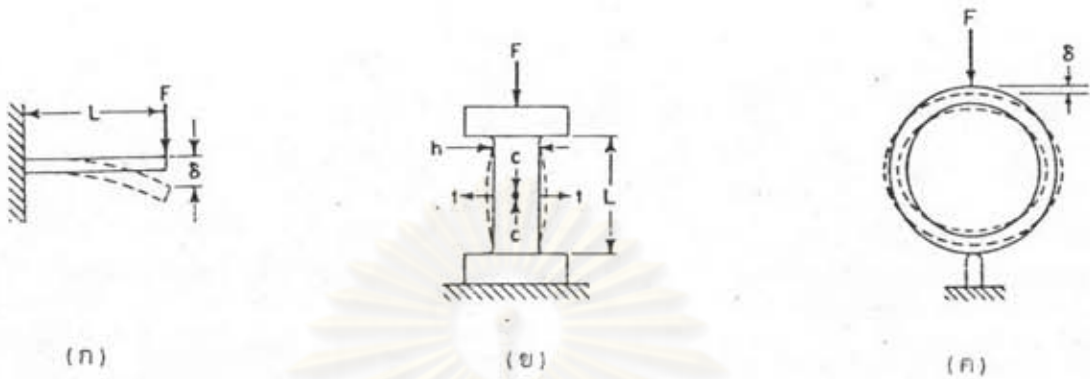
ชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่ใช้ทำโหลดเซลล์มีรูปร่างต่าง ๆ กันดังนี้

ก. แบบคาน (Beam)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่มีรูปร่างแบบคานนี้ จะเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ดังแสดงในรูปที่

2.5 (ก) โดยจะยึดปลายด้านหนึ่งไว้ ในขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่ง จะทำหน้าที่รับน้ำหนัก จุดที่

เกิดความเครียดสูงที่สุดจะอยู่ที่ปลายด้านที่ปิดไว้



รูปที่ 2.5 แสดงชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบต่าง ๆ

ย. แบบคอสัมภ์ (Column)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคอสัมภ์แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 (ข) จุดที่เกิดความเครียดสูงจะอยู่ที่ตรงกลาง c หมายถึงแรงอัดหรือแรงกด ส่วน t หมายถึงแรงดึงที่เกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุ

ค. แบบวงแหวน (Proving ring)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวน แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 (ค) เป็นแบบที่มีความไวค่อนข้างสูง ค่าความเครียดสูงที่สุดจะเกิดที่จุดมีแรงกระทำและส่วนโค้งที่มุม 90 องศา กับจุดแรงกระทำ

จากการวิจัยของบริษัทฟิลิปส์ ซึ่งเป็นผู้ผลิตโพลีเอสเตอร์รายหนึ่ง ได้สรุปถึงความเหมาะสมในการใช้งาน ของชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่มีรูปร่างทั้ง 3 แบบ ดังนี้⁽¹⁰⁾

1. แบบคานใช้กับโพลีเอสเตอร์ในช่วง 20 กก. ถึง 500 กก.
2. แบบวงแหวนใช้กับโพลีเอสเตอร์ในช่วง 200 กก. ถึง 2 ตัน
3. แบบคอสัมภ์ใช้กับโพลีเอสเตอร์ในช่วง 2 ตันถึง 1000 ตัน

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ที่ขนาดหนักที่สุดที่จะชั่งเท่ากับ 20 ตัน ดังนั้นชิ้นส่วนรับแรงที่จะเลือกใช้จึงเป็นแบบคอสัมภ์

2.3.2 สเตรนเกจแบบความต้านทาน (2,3,7)

ในการใช้งาน สเตรนเกจแบบความต้านทานจะถูกติดไว้กับผิวของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก เมื่อความเครียดถูกส่งผ่านมายังสเตรนเกจ จะทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนแปลง และจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งจะได้ออกมาทั้งวิธีการแปลงในภายหลัง

สเตรนเกจแบบความต้านทานยังแบ่งออกเป็น สเตรนเกจแบบเส้นลวด (Wire strain gage) สเตรนเกจแบบแผ่นโลหะบาง (Foil strain gage) และสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ

ก. สเตรนเกจแบบเส้นลวดและแบบแผ่นโลหะบาง

สเตรนเกจทั้ง 2 แบบดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 มีหลักการทำงานเหมือนกัน คือ ค่าความต้านทานของเส้นลวดและแผ่นโลหะบางจะเปลี่ยนแปลงเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวขึ้นในสเตรนเกจ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวนี้ จะมีความสัมพันธ์กับความเครียดดังแสดงในสมการ (2.1) ไว้แล้ว ค่าความต้านทานของสเตรนเกจมีสมการดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ R = ค่าความต้านทานของสเตรนเกจ (โอห์ม)

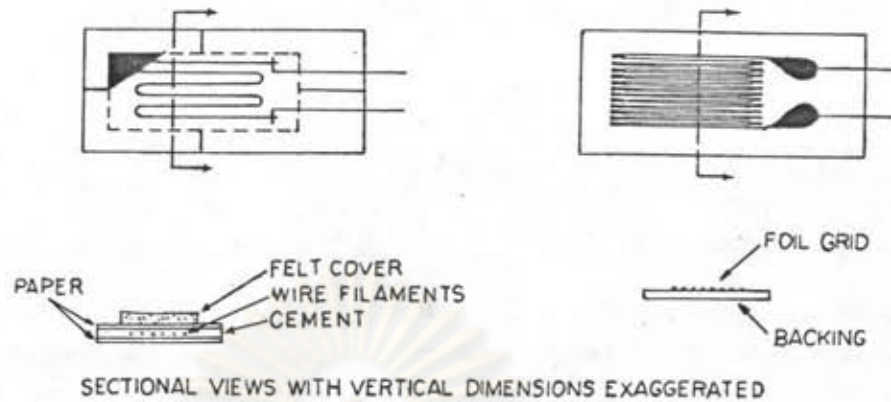
ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะที่ทำสเตรนเกจ (โอห์ม-ซม.)

L = ค่าความยาวทั้งหมดของโลหะ (ซม.)

A = พื้นที่หน้าตัดขวางของโลหะ (ซม.²)

จากสมการ (2.2) จะเห็นว่า ค่าความต้านทานจะมากขึ้น หรือลดลง เมื่อความยาว (L) เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามลำดับ สำหรับค่าความไวของสเตรนเกจ หรือ เกจแฟคเตอร์ (Gage factor) เป็นอัตราส่วนของความต้านทาน ที่เปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วยกับความยาวที่เปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วย ซึ่งเขียนเป็นสมการได้

$$\text{Gage factor} = G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของลิเตรนเทกแบบเส้นลวดและแผ่นโลหะบาง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวนำชนิดต่าง ๆ

Common name	Composition	Gage factor	Temp coef. of resistance †	Resistance, ohms per ft. in 1-mil diam.	Stress equivalent to 10°C on steel psi.
Nichrome.....	Ni-0.80, Cr-0.20	+2.0	+300	638	+2,000
Manganin.....	Ni-0.04, Mn-0.12, Cu-0.84	+0.47	Nil	260	-400
Advance		+2.1	.....	.....	-66
Copel	Ni-0.45, Cu-0.55	+2.4	2	290	-200
Constantan & Chromel-C.....	Ni-0.64, Fe-0.25, Cr-0.11	+2.1	.....	.....	-60
		+2.5	.....	640	+980
Iso-elastic....	Ni-0.36, Cr-0.08, Fe-0.52, Mo-0.005	+3.5	+175	680	+5,000
Nickel.....	.....	-12.1	+6,000	70	-13,500 ‡
Platinum.....	.....	+4.8	+3,000	80	
Soft iron.....	.....	+4.2	+5,000	68	
Carbon.....	.....	+20.0	-500	45,000	

* These data are not to be taken too literally, since most of the characteristics vary markedly with small changes in composition, with degree of cold-working, etc.
 † Ohms per ohm per degree centigrade $\times 10^6$.
 ‡ Constantan is the name also applied to a 60-40 alloy with somewhat different properties.
 § Unstable.

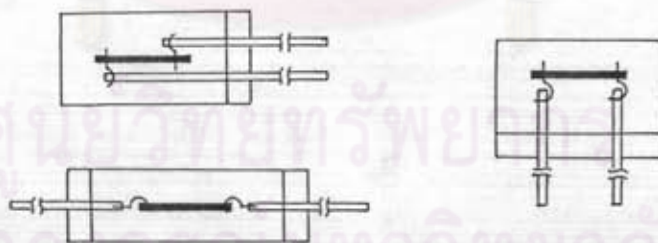
โลหะที่จะใช้ทำสัเทรนเกกจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีค่าเกกแฟคเตอร์สูง และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานต่ำ จากตารางที่ 2.1 โลหะ Advance, Copel และ Constantan จะเหมาะสมและใช้กันมากในปัจจุบัน

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นรอง (Backing material) จะต้องเป็นวัสดุที่สามารถยึดหยุ่นได้ดี และที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่

1. กระดาษซึ่งบางมาก จะใช้กับสัเทรนเกกแบบเส้นลวด
2. Polyimide มีความเหนียวและยึดหยุ่นดี ใช้กับงานทั่ว ๆ ไป
3. Epoxy และ Phenolic-glass จะให้ความถูกต้องและความแข็งแรงสูง สามารถใช้กับอุณหภูมิได้ถึง 400 °ซ แต่มีจุดอ่อนคือเปราะและแตกหักง่าย จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการติดตั้งใช้งาน

ข. สัเทรนเกกแบบลวดกึ่งตัวนำ (3,7)

หลักการทำงานจะเหมือนกับสัเทรนเกกแบบเส้นลวดและแผ่นโลหะบางที่กล่าวมาแล้ว แต่สัเทรนเกกแบบกึ่งตัวนำจะประกอบด้วยผลึกเดี่ยวของซิลิกอน ซึ่งทำเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าบางมาก ติดอยู่บนแผ่นรองยึดเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว และแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยทั่วไปแล้ว ค่าเกกแฟคเตอร์ของสัเทรนเกกแบบลวดกึ่งตัวนำจะสูงประมาณ 100 เท่าของค่า



รูปที่ 2.7 แสดงสัเทรนเกกแบบลวดกึ่งตัวนำแบบต่าง ๆ

เกกแฟคเตอร์ของสัเทรนเกก แบบเส้นลวดและแผ่นโลหะบาง และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานก็สูงเป็น 100 เท่าเช่นกัน สัเทรนเกกแบบลวดกึ่งตัวนำแบ่งเป็นแบบ P-type ซึ่งมีค่าเกกแฟคเตอร์เป็นบวก และแบบ N-type ซึ่งมีค่าเกกแฟคเตอร์เป็นลบ

ลัตรีนเกดที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 ชนิด ล่ามารถลัรูปเปรียบเทียบกันได้ ดังตารางที่ 2.2 ในการทำวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้ลัตรีนเกดแบบแผ่นโลหะบาง เนื่องจกมิลค่าลัสมประลัทธิจุดหฤมิควมต้านทานต่ำ ยัวงจุดหฤมิใช้งำนกว้ง ยิตค่ากัตควมเคริบค่อนยังสูง มิลค่าควมต้านทานสูงให้เลือกเพื่อทำให้เกิดควมร้อน (Heat dissipation) น้อยขณะใช้งำน และมีรคากถูกกว้

ตารางที่ 2.2 แล้ดงยัเปรียบเทียบของลัตรีนเกดแบบต้ง ๆ

	แบบเส้นลวด	แบบแผ่นโลหะบาง	แบบลัารกังตัวนำ
1. ค่ำเกดแฟคเตอร์	ต่ำ (≈ 2)	ต่ำ (≈ 2)	สูง ($\approx \pm 100$)
2. ค่ำลัสมประลัทธิจุดหฤมิของควมต้านทาน	ต่ำ ($\approx \pm 2$)	ต่ำ ($\approx \pm 2$)	สูง ($\approx \pm 100$)
3. ยัวงจุดหฤมิใช้งำน	$-100 \sim +80^{\circ}\text{C}$.	$-200 \sim +550^{\circ}\text{C}$.	$\approx 50 \sim +170^{\circ}\text{C}$.
4. ยิตค่ากัตควมเคริบค่อน	$1.5 \% \sim 18 \%$	$1.8 \% \sim 10 \%$	$\approx 0.5 \%$
5. ค่ำควมต้านทาน	$25 \sim 120 \Omega$	$120 \sim 1000 \Omega$	$120 \sim 2000 \Omega$
6. รคาก	ถูก	ถูก	แพง

2.3.3 วงจรของลัตรีนเกด

การวัดค่าควมต้านทานที่เปลี่ยนไป (ΔR) ของลัตรีนเกดก็เป็ลสิ่งลัคัญมากอยัางหนึ่ง เนื่องจกมิลค่าค่อนยังน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ำปกติของลัตรีนเกด (R) การใช้โอหมิเตอร์วัดค่าโดยตรง จึงไม่ถึยมกัน มีวงจรท้งไฟฟ้ไอยู 2 วงจรที่ถึยมนำมาใช้ แปลงค่าของควมต้านทานที่เปลี่ยนไปให้เป็ลสัญญาณหรือแรงดันท้งไฟฟ้ไ คือ วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer circuit) และวงจรวิลลัโตนบริดจ (Wheatstone bridge circuit) ซึ่งมิลรคากละเอียดดังนี้

ก. วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์ (2,3,6)

วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์ ดังแล้ดงในรูป 2.8 เหมาะที่จะใช้กับการวัดแบบ

โดยนัยนี้ ให้ V เป็นแรงดันที่จ่ายให้วงจร ซึ่งมีความต้านทาน R_1 และ R_2 อยู่ในวงจร แรงดันคร่อม R_1 จะเท่ากับ V_0 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้

$$V_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V = \frac{1}{1 + r} V \dots \dots \dots (2.4)$$

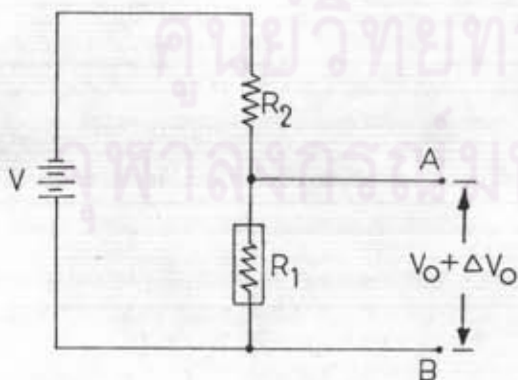
โดยให้ $r = R_2/R_1$ ในการใช้งานโดยทั่วไป จะให้ R_1 เป็นสเตรนเกจแบบ ความต้านทาน และมีค่าเพิ่มขึ้น ΔR_1 ส่วน R_2 จะเป็นความต้านทานที่มีค่าคงที่ ดังนั้น $\Delta R_2 = 0$ จะทำให้ได้แรงดันออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ ΔV_0 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta V_0 = \frac{r}{(1 + r)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) (1 - \eta) V \dots \dots \dots (2.5)$$

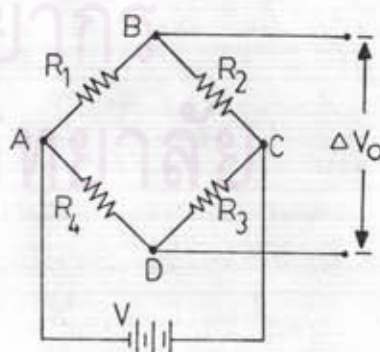
ค่า η เป็นค่าความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear term) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\eta = 1 - \frac{1}{1 + [1/(1+r)] (\Delta R_1/R_1)} \dots \dots \dots (2.6)$$

จากสมการ (2.5) ค่า ΔV_0 จะเป็นเส้นตรงที่สุดเมื่อค่า η มีค่าน้อยมาก ซึ่ง η ในสมการ (2.6) จะมีค่าน้อยเมื่อ r มีค่ามาก แต่ก็ไม่ควรมากจนเกินไป เพราะจะทำให้ ΔV_0 ลดลงด้วย ค่า $r = 9$ เป็นค่าที่ไต่กันมาก เพราะจะทำให้ ประสิทธิภาพพุ่งสุดเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.8 วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์



รูปที่ 2.9 วงจรวีทลิตอนบริดจ์

ข. วงจรวีทลัโตนบรีดจ์^(2,3,6)

วงจรวีทลัโตนบรีดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะสามารถจะวัดได้ทั้งแบบไดนามิก และสถิต (Static) แรงดันออกที่เปลี่ยนแปลง ΔV_o จะแปรผันกับความเครียดหรือน้ำหนักที่กระทำต่อชิ้นส่วนรับน้ำหนัก ถ้าให้ V_o เป็นแรงดันออกของวงจรซึ่งเท่ากับ V_{BD} จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V \dots\dots\dots(2.7)$$

ถ้าบรีดจ์สมดุลคือ $R_1 R_3 = R_2 R_4$ จะทำให้ $V_o = 0$ ดังนั้นในการใช้งานวัดแบบสถิตจะปรับให้บรีดจ์สมดุลในตอนเริ่มต้น ซึ่งเมื่อค่า R_1, R_2, R_3 และ R_4 มีค่าเปลี่ยนแปลงเท่ากับ $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3$ และ ΔR_4 จะทำให้ได้แรงดันออกเท่ากับ

$$\Delta V_o = V \frac{r}{(1+r)^2} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] (1-\eta) \dots(2.8)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r+1}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + r \left[\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right]}} \dots\dots\dots(2.9)$$

โดย $r = R_2/R_1$ และ η เป็นค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ในกรณีของสเตรนเกจแบบลาร์กิงตัวนำ ซึ่งมีค่าเกจแฟคเตอร์สูง ค่า $\Delta R/R$ จะมีค่ามาก ทำให้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น (η) มีค่ามากด้วย แต่ในกรณีของสเตรนเกจแบบเส้นลวดและแบบแผ่นโลหะบางที่มีค่าเกจแฟคเตอร์ต่ำ จะได้ $\Delta R/R$ มีค่าน้อย ซึ่งทำให้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น (η) มีค่าน้อย ซึ่งพิจารณาตัดทิ้งไปได้ ทำให้เขียนสมการ (2.8) ใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta V_o = V \frac{r}{(1+r)^2} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

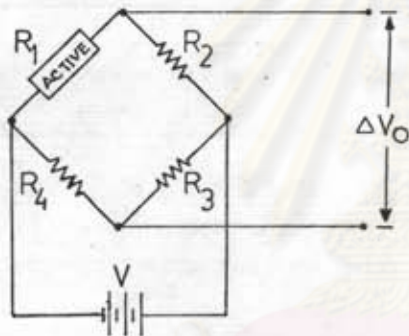
ในการชั่งน้ำหนักทั่วไปจะเป็นโหลดแบบสถิต วงจรที่จะนำมาใช้จึงเป็นวงจรแบบวีทลัโตนบรีดจ์ นอกจากนี้ยังสามารถจะยืดหยุ่นจุดเหตุมิภายในวงจรบรีดจ์ และสามารถเพิ่มค่า

ค่าแรงดันออกให้สูงขึ้นได้ถึง 4 เท่า โดยที่วงจรโพเทนชิโอเมเตอร์ทำไม่ได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

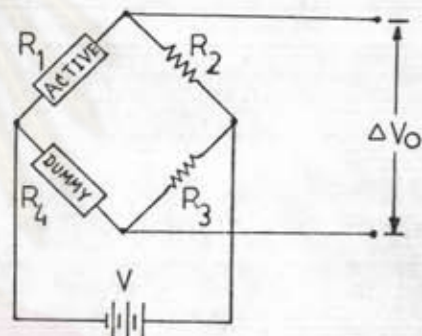
2.3.4 สัญญาณออกและความไวของวงจรวีลต์โตนบริดจ์⁽⁶⁾

ในการใช้งานสี่แตรนเกกโดยติดกับชิ้นส่วนรับน้ำหนัก หรือกับวัสดุทดสอบทั่วไป สามารถจะแบ่งออกได้หลายแบบ ตามลักษณะการวางและจำนวนของสี่แตรนเกกดังนี้

แบบที่ 1 ใยแอคทีฟเกก (active gage) 1 ชิ้น ส่วนที่เหลือจะใช้ความต้านทานค่าคงที่แบบค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เมื่อมีน้ำหนักกระทำบนชิ้นส่วนรับน้ำหนัก จะเกิดความเครียดขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานของสี่แตรนเกกเปลี่ยนไป ΔR_1 ส่วน $\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$



รูปที่ 2.10 การสั้ดวงจรแบบที่ 1



รูปที่ 2.11 การสั้ดวงจรแบบที่ 2

ในการพิจารณานี้ให้ค่าแรงดัน V ที่จ่ายให้วงจรมีค่าคงที่ จากสมการ (2.1), (2.3) และ (2.10) จะหาค่าของ ΔV_o และ η ได้เท่ากับ

$$V_o = \frac{r}{(1+r)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) V = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot \frac{VGF}{AE} \dots\dots(2.11)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r+1}{\Delta R_1/R_1}} \dots\dots\dots(2.12)$$

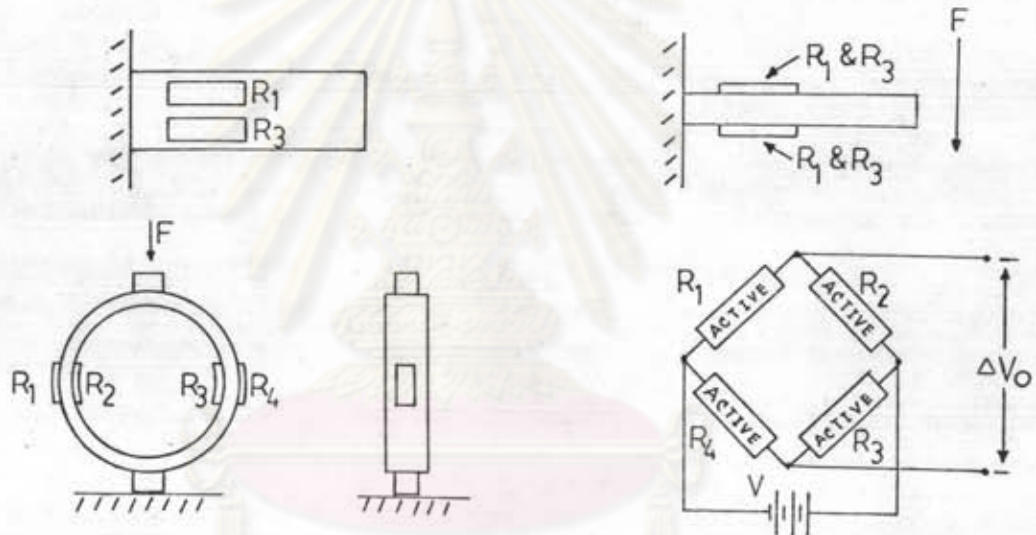
ให้ S เป็นความไวของวงจรเท่ากับแรงดันออกต่อความเครียดจะได้

$$S = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot GV \dots\dots\dots(2.13)$$

จากสมการ (2.12) ถ้า r มีค่ามากจะทำให้ความไม่เชิงเส้นลดลง แต่ค่าแรงดันออกและความไวจะลดลงด้วย ในทางปฏิบัติจะให้ $r = 1$

แบบที่ 2 จะใช้แอคทีฟเกจ 1 อัน และตัวมีเกจ (Dummy gage) 1 อัน ตามรูปที่ 2.11 เป็นการชดเชยผลของอุณหภูมิ โดยใส่เตรนเกจที่ใช้จะเป็นชนิดเดียวกัน สำหรับค่าแรงดันออก ความไว และค่าความไม่เชิงเส้น จะเหมือนกับแบบที่ 1

แบบที่ 3 ใช้แอคทีฟเกจ 4 อัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 สเตรนเกจ 2 อันแรกจะรับแรงดึง (Tension) ส่วนอีก 2 อันที่เหลือจะรับแรงอัด (compression)



รูปที่ 2.12 การสัตวงจรแบบที่ 3

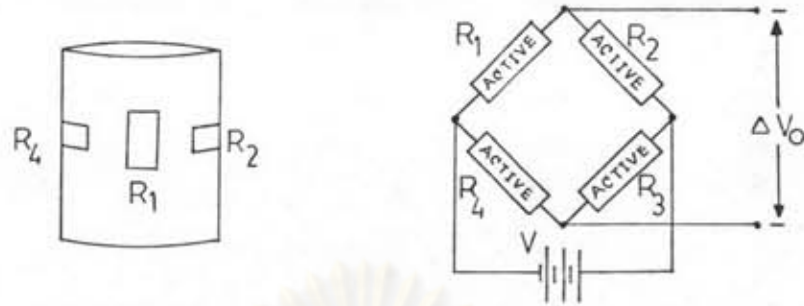
ถ้า $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ เมื่อชิ้นส่วนรับน้ำหนัก ถูกแรงกระทำ จะส่งผลให้สเตรนเกจมีค่าเปลี่ยนไปเป็น $\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R$ และ $\Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R$ ซึ่งจะได้แรงดันออก ค่าความไม่เชิงเส้นและความไวดังนี้

$$\Delta V_o = \frac{\Delta R}{R} \cdot V = \frac{GFV}{AE} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\eta = 0 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$S = GV \dots\dots\dots (2.16)$$

แบบที่ 4 ไบแอคตีฟเกด 4 ฮัน โดยจัดวางดังลากกันดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การจัดวงจรแบบที่ 4

สเตรนเกด R_1 และ R_3 รับแรงกด ส่วน R_2 และ R_4 จะรับแรงดึงที่เกิดจากการขยายตัวของพื้นหน้าตัดเนื่องจาก Poisson's ratio (ν) และทำหน้าที่ชดเชยผลของอุณหภูมิด้วย เมื่อชิ้นส่วนรับน้ำหนักเกิดความเครียดขึ้น $\Delta R_1 = \Delta R_3 = -\Delta R$

$\Delta R_2 = \Delta R_4 = \nu \cdot \Delta R$ จะทำให้ได้แรงดันออก ความไม่เชิงเส้น และความไว ดังนี้

$$\Delta V_o = \frac{\Delta R V}{2R} (1+\nu) = \frac{VGF}{2AE} (1+\nu) \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{\Delta R}{R}(1-\nu)}} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$S = \frac{VG}{2} (1+\nu) \dots\dots\dots(2.19)$$

การจัดวงจรสเตรนเกด ทั้ง 4 แบบ ที่กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปเป็นข้อเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.3 โดยกำหนดให้ค่า $r=1$ ในแบบที่ 1 และ 2 ส่วนค่า ν ของโลหะโดยทั่วไปจะประมาณ 0.3

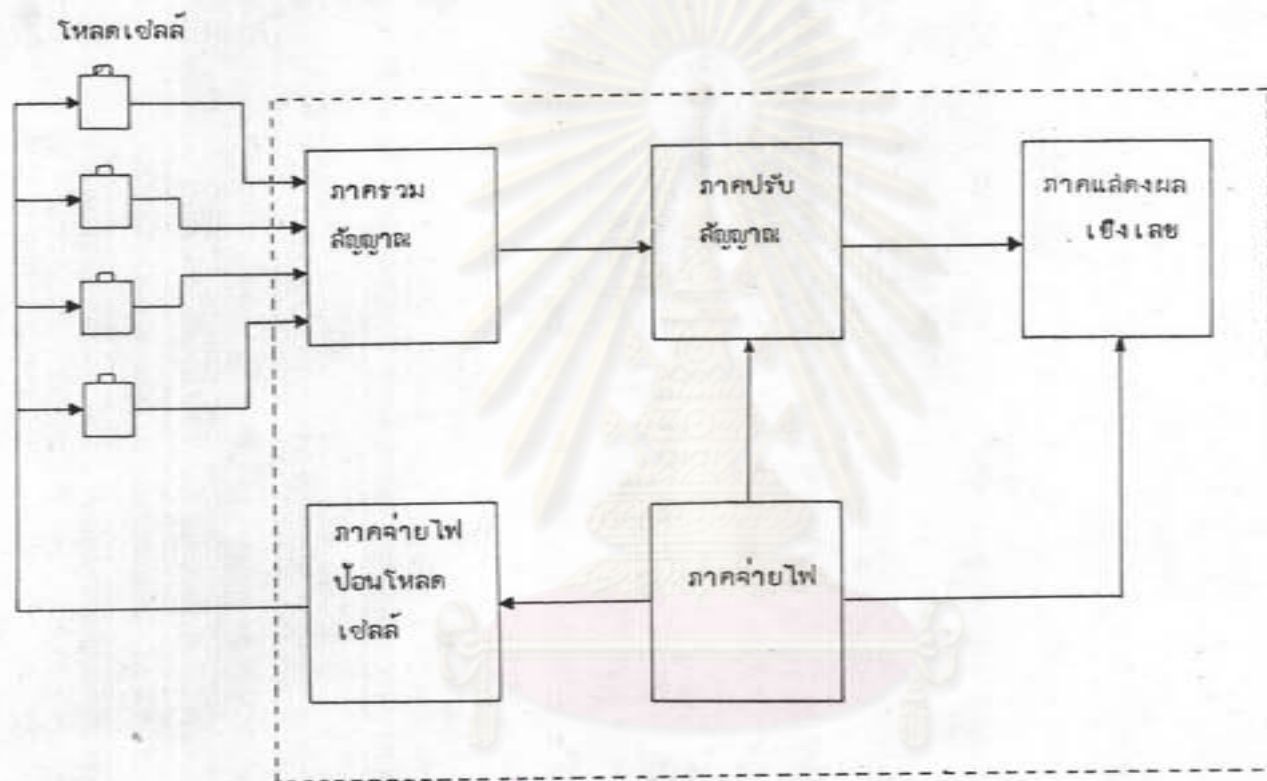
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการสัตวงจรวีลัโตนบรีดจ์แบบต่าง ๆ

	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
1. แรงดันออก	1	1	4	2.6
2. ความไม่เป็นเชิงเส้น	1	1	0	1.4
3. ความไว	1	1	4	2.6
4. การขยับเยยผลของอุณหภูมิ	ไม่มี	มี	มี	มี
5. จำนวนลัเตรนเกจ	1	2	4	4

เนื่องจากชิ้นส่วนรับแรงที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์ เป็นแบบคอสม์มี ดังนั้นวงจรวีลัโตนบรีดจ์ที่เลือกใช้ได้ จึงมีแบบที่ 1, แบบที่ 2 และแบบที่ 4 แต่จากการพิจารณาถึงข้อดีข้อเสีย แล้วได้เลือกวงจรวีลัโตนบรีดจ์แบบที่ 4 ทั้ง ๆ ที่ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นจะมากกว่า และใช้จำนวนลัเตรนเกจมากกว่า แต่ราคาก็ไม่ต่างกันไม่มาก ข้อดีเปรียบของวงจรวีลัโตนบรีดจ์แบบที่ 4 คือ จะได้แรงดันออกและความไวสูงกว่าถึง 2.6 ทำให้การขยายแรงดันในอินทิเกรเตอร์ ไม่ต้องใช้อัตราขยายสูงเกินไปเป็นการลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน

2.4 อินทิเกรเตอร์

แรงดันหรือสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโวลต์เซลล์ ยังมีระดับของสัญญาณต่ำมากประมาณ 10 - 30 มิลลิโวลต์ ซึ่งจำเป็นต้องนำมายขยายให้มีระดับสัญญาณสูงขึ้น จนมีขนาดพอเหมาะที่จะป้อนให้ภาคแสดงผล สำหรับภาคแสดงผลแบ่งออกได้เป็นแบบเข็มหรือแบบอนาลอก (Analog) และแบบเชิงเลขหรือแบบดิจิตอล (Digital) แต่การแสดงผลแบบเข็มนั้นจะให้ค่าความถูกต้องแม่นยำ ไม่ได้ไปกว่าเครื่องยั่งแบบแมคคาณิกส์ ในภาคแสดงผลแบบเชิงเลขสัญญาณที่ถูกขยายแล้ว จะได้รับการแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขโดยวงจรแปลงแอนะล็อก (A/D converter) และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการอ่านผล มีค่าความแม่นยำสูง และข้อมูลที่ได้จากวงจรแปลงแอนะล็อก ยังง่ายต่อการนำไปโปรเซสในรูปแบบต่าง ๆ กัน ในรูปที่ 2.14 จะแสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคอินทิเกรเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยภาครวมสัญญาณเพื่อรวมแรงดัน



รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอินดิเคเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากหลาย ๆ โหลดเซลล์ ภาคปรับสัญญาณเพื่อขยายและกรองสัญญาณจากโหลดเซลล์ ภาค
แสดงผลเชิงเลขสำหรับค่าน้ำหนักเป็นตัวเลข ภาคจ่ายไฟและภาคจ่ายไฟป้องกันโหลดเซลล์
รายละเอียดมีดังนี้

2.4.1 ภาครวมสัญญาณ (Summing unit)

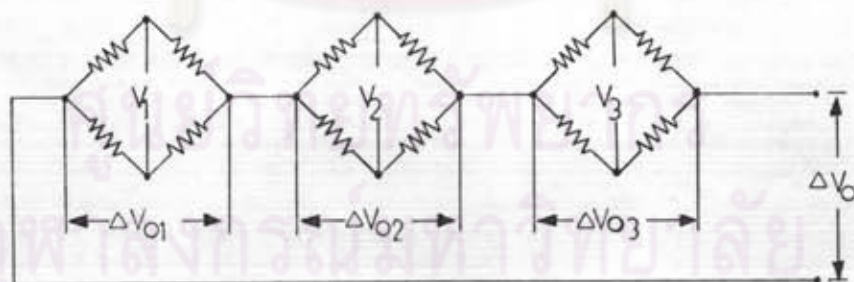
ในการใช้งานบางอย่างอาจจะใช้โหลดเซลล์มากกว่าหนึ่งตัวขึ้นไป จึงจำเป็นต้องมี
ภาครวมสัญญาณ เพื่อนำเอาสัญญาณของโหลดเซลล์แต่ละตัวมารวมเป็นสัญญาณเดี่ยวก่อน
แล้วจึงป้อนเข้าสู่ภาคปรับสัญญาณ (Signal conditioner) ต่อไป การนำเอา จากแต่ละ
โหลดเซลล์มารวมกัน สามารถกระทำได้สองวิธี⁽¹⁰⁾ คือ

1. การต่อโหลดเซลล์แบบอนุกรม
2. การต่อโหลดเซลล์แบบขนาน

การต่อโหลดเซลล์แบบอนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.15 ภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้โหลดเซลล์
แต่ละตัวจะต้องแยกจากกัน ซึ่งให้เท่ากับ V_1, V_2 และ V_3 ผลรวมของสัญญาณจะเท่ากับ

$$\Delta V_o = \Delta V_{o_1} + \Delta V_{o_2} + \Delta V_{o_3} \dots\dots\dots (2.20)$$

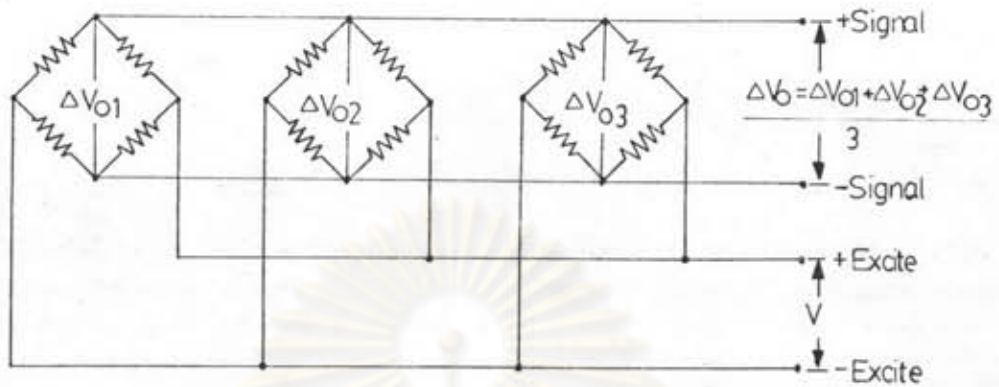
นั่นคือเป็นผลรวมทางพีชคณิตของสัญญาณจากแต่ละโหลดเซลล์ ทำให้ได้สัญญาณรวม



รูปที่ 2.15 การต่อโหลดเซลล์แบบอนุกรม

มีระดับสูงขึ้น ง่ายต่อการปรับสัญญาณหรือขยายสัญญาณ แต่ก็ยังมีข้อเสียที่จะต้องมีการจ่ายไฟ
เท่ากับจำนวนของโหลดเซลล์ ซึ่งยุ่งยากและมีราคาสูงด้วย การต่อโหลดเซลล์แบบอนุกรม
จึงไม่ได้รับความนิยมเหมือนการต่อโหลดเซลล์แบบขนาน ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และ

แสดงไว้ดังรูปที่ 2.16

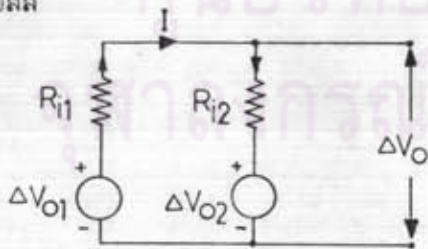


รูปที่ 2.16 การต่อโหนดเซลล์แบบขนาน

ในการต่อโหนดเซลล์แบบขนาน ต้องการภาคจ่ายไฟให้โหนดเซลล์เพียงชุดเดียว สัญญาณรวมที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณจากโหนดเซลล์ทั้งหมด

$$\Delta V_o = \frac{\Delta V_{o1} + \Delta V_{o2} + \Delta V_{o3}}{3} \dots\dots\dots (2.21)$$

โดยมีข้อกำหนดว่า ค่าความต้านทานขาออกของแต่ละโหนดเซลล์จะต้องเท่ากัน ในรูปที่ 2.17 แสดงวงจรสมมูลของโหนดเซลล์ 2 ตัว เมื่อนำมาต่อขนานกัน R_{i1} และ R_{i2} เป็นค่าความต้านทานภายในของโหนดเซลล์ ΔV_{o1} และ ΔV_{o2} เป็นสัญญาณของแต่ละโหนดเซลล์



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลของโหนดเซลล์ 2 ตัว ต่อขนานกัน

กระแส I ที่เกิดขึ้นในวงจรเท่ากับ

$$I = \frac{\Delta V_{o1} - \Delta V_{o2}}{R_{i1} + R_{i2}} \dots\dots\dots (2.22)$$

ถ้าเรากำหนดให้ค่าความต้านทานของโหนดเซลล์ $R_{i1} = R_{i2}$ จะได้สัญญาณรวมของวงจรเท่ากับ

$$\Delta V_o = \frac{\Delta V_{o1} + \Delta V_{o2}}{2} \dots\dots\dots (2.23)$$

ในการใช้งานจริงอาจจะใช้โหนดเซลล์มากกว่า 2 อัน เช่น ในการย้งน้ำหนักรถบรรทุกที่มีขนาดยาว จะใช้โหนดเซลล์ 6-8 อัน

จากที่กล่าวมาแล้วจะพบว่า ในวงจรรวมสัญญาณแบบขนาน แม้ว่าจะมีสัญญาณรวมออกมาน้อยกว่า แต่ก็มีข้อดีเปรียบอย่างอื่นคือใช้ภาคจ่ายไฟป้อนโหนดเซลล์เพียงชุดเดียว ทำให้การออกแบบสร้างระบบเป็นไปได้ง่ายกว่า และราคาถูกกว่า

2.4.2 ภาคจ่ายไฟป้อนโหนดเซลล์ (Excite Supply)

ภาคจ่ายไฟป้อนโหนดเซลล์ที่เสถียรภาพดี และมีประสิทธิ์จุดอุณหภูมิ (Temperature Coefficient) ต่ำ บ่อมทำให้ได้สัญญาณออกจากโหนดเซลล์มีค่าถูกต้องและแม่นยำด้วย

ในยุคแรก ๆ ของเครื่องย้งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ จะใช้ไฟลึกลับป้อนให้กับโหนดเซลล์ แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้ไฟกระแสตรงแทนเพราะสามารถจะสร้างให้มีเสถียรภาพดีได้ง่าย และราคาถูกลง ซึ่งเป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ ภาคจ่ายไฟกระแสตรงยังสามารถจะแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

- ก. แบบแรงดันคงที่ (Constant voltage)
- ข. แบบกระแสคงที่ (Constant Current)

สำหรับภาคจ่ายไฟแบบแรงดันคงที่ สามารถที่จะใช้ได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสเตรนเกจแบบเส้นลวดและแบบแผ่นโลหะบาง เพราะค่า $\Delta R/R$ มีค่าน้อย ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรบริดจ์ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยมาก แต่ถ้าใช้สเตรนเกจแบบลวดทั้งตัว ค่า $\Delta R/R$ จะมีค่ามาก จึงจำเป็นต้องใช้ภาคจ่ายไฟแบบกระแสคงที่ เพื่อจะได้ลดค่าความไม่เป็นเชิงเส้นลง (3,4)

2.4.3 ภาคปรับสัญญาณ (Signal conditioner)

ในการใช้งานทั่ว ๆ ไป โหลดเซลล์มักจะติดตั้งอยู่ห่างจากอินดิเคเตอร์ ตั้งแต่ไม่กี่เมตรจนถึงหลายสิบเมตร สัญญาณรบกวนอาจจะเข้าสู่ภาคขยายทางสายเคเบิล และสัญญาณรบกวนนี้บางครั้งจะมีระดับสัญญาณสูงกว่า สัญญาณจากโหลดเซลล์ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณจะต้องมีคุณภาพและความแม่นยำสูง ในการเลือกขยายเฉพาะสัญญาณจากโหลดเซลล์เท่านั้น นอกจากนี้ภาคปรับสัญญาณยังมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนอีกชั้นหนึ่ง ขนาดของสัญญาณที่ได้ออกมาจากภาคปรับสัญญาณนี้ จะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของ วัตถุที่นำมาชั่งบนโหลดเซลล์ วงจรขยายสัญญาณที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ก. มีอัตราขยายสัญญาณสูง และความไม่เป็นเชิงเส้นต่ำ
- ข. สัญญาณรบกวนที่เข้าต่ำ
- ค. Common mode rejection ratio สูง
- ง. ค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (Temp. drift) ต่ำ

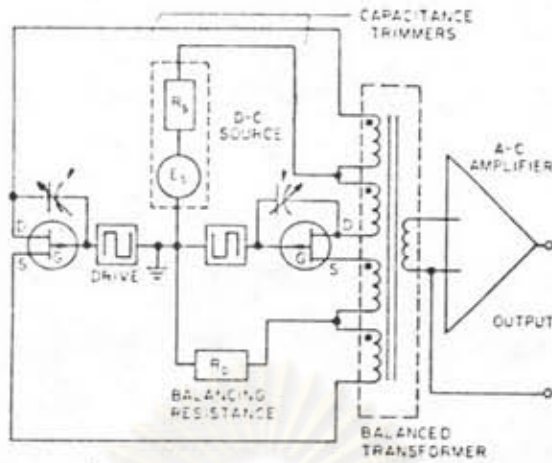
วงจรรขยายสัญญาณที่นำมาใช้กันมากในภาคปรับสัญญาณ และมีคุณสมบัติดังที่กล่าวมามีอยู่ 3 ชนิด คือ วงจรรขยายแบบชอปเปอร์ วงจรรขยายสัญญาณผลต่าง และวงจรรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน

1. วงจรรขยายแบบชอปเปอร์ (Chopper Amplifier)

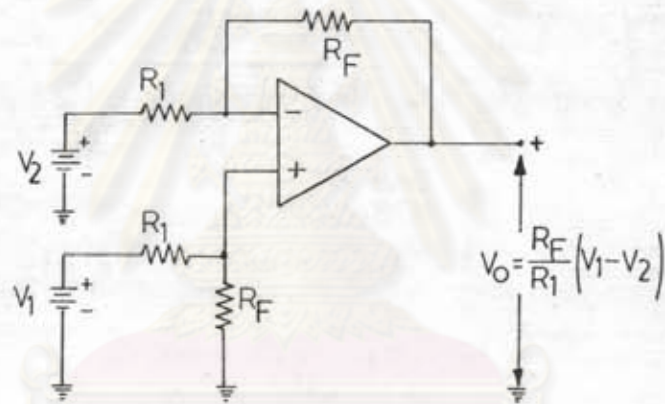
หลักการทํางานของวงจรรขยายแบบชอปเปอร์คือ เปลี่ยนสัญญาณไฟตรงที่ต้องการขยาย ให้เป็นสัญญาณไฟล้สับ และขยายสัญญาณด้วยวงจรรขยายสัญญาณไฟล้สับ ให้มีขนาดสูงขึ้นเสียก่อน แล้วจึงแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟตรงวงจรรขยายแบบชอปเปอร์มีข้อดี คือ มีค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำ แต่ก็ยังเป็นวงจรที่ค่อนข้างจะสร้างได้ยาก และมีราคาแพง ดังรูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างของวงจรรขยายแบบชอปเปอร์ที่ใช้เฟท

2. วงจรรขยายสัญญาณผลต่าง (Differential Amplifier)

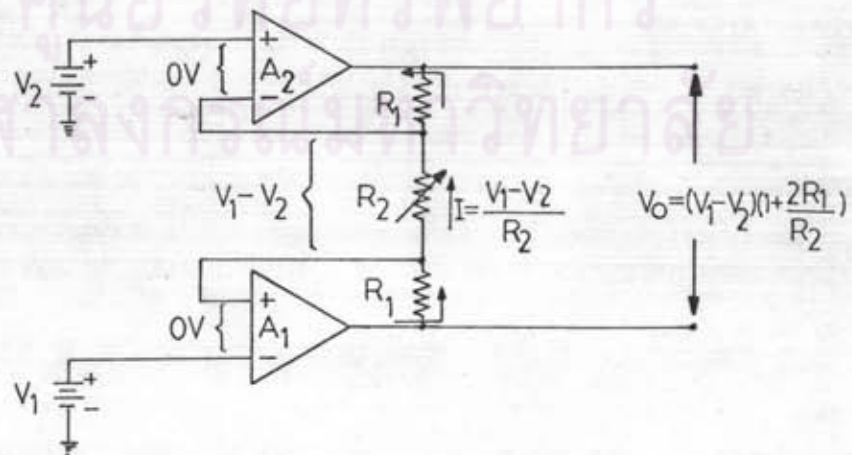
การทํางานของวงจรนี้คือ ทําหน้าที่ขยายเฉพาะผลแตกต่างระหว่างสัญญาณเข้าสองสัญญาณ วงจรรขยายสัญญาณผลต่างสามารถสร้างได้จากออปแอมป์ (Op. Amp.) หนึ่งตัว และความต้านทานที่มีค่าผิดพลาดต่ำอีก 4 ตัว ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 2.19 จะได้ลิมิตการขยายแรงดันออกเท่ากับ



รูปที่ 2.18 วงจรขยายแบบช้อปเปอร์ใช้เฟด



รูปที่ 2.19 วงจรขยายสัญญาณผลต่างใช้โอปแอมป์



รูปที่ 2.20 แสดงการปรับปรุงวงจรขยายสัญญาณผลต่าง

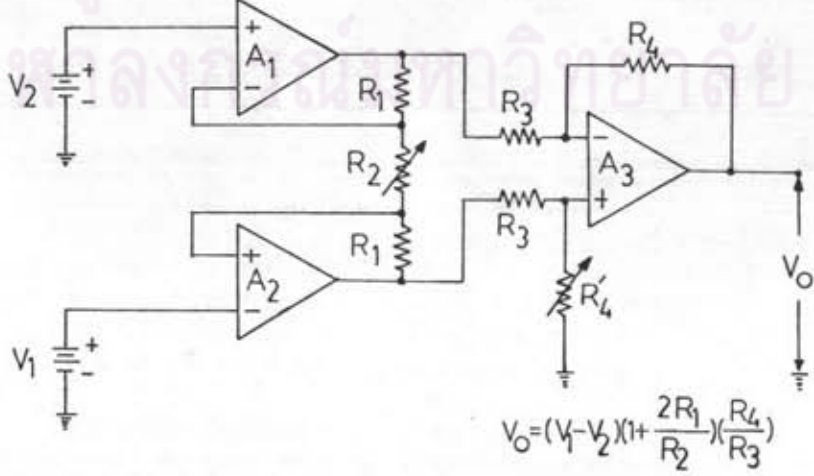
$$V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_1 - V_2) \dots\dots\dots (2.24)$$

วงจรรขยายสัญญาณผลต่างตามรูปที่ 2.19 ยังมีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ ความต้านทานจุดสัญญาณเข้ามีค่าต่ำ และการเปลี่ยนแปลงค่าขยายสัญญาณทำได้ไม่สะดวก จึงมีการปรับปรุงวงจรดังในรูปที่ 2.20 ออปแอมป์ทั้งสองตัวจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ด้วย ทำให้ความต้านทานจุดสัญญาณเข้าสูง สำหรับการปรับค่าขยายก็ทำได้ง่ายโดยการเปลี่ยนค่า R_2 เพียงตัวเดียว แต่ก็มีข้อเสียอยู่เหมือนกันคือ สัญญาณออกจะเป็นแบบผลต่างเหมือนกับสัญญาณเข้า และมีสมการดังนี้

$$V_o = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \dots\dots\dots (2.25)$$

3. วงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentation Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน เป็นวงจรที่ได้รับการนำไปใช้งานในเครื่องมือวัดต่าง ๆ มากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งวงจรมีจะนำเอาข้อดีของวงจรรขยายสัญญาณผลต่างทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาแล้ว มาไปใช้งานร่วมกันและจะได้วงจรใหม่ดังรูปที่ 2.21 ภาคแรกจะเป็นวงจรรขยายสัญญาณผลต่างแบบบัฟเฟอร์ ทำให้ได้ความต้านทานจุดสัญญาณเข้าสูง และภาคหลังจะเป็นวงจรรขยายสัญญาณผลต่างแบบสัญญาณออกเดี่ยว ความต้านทาน R'_4 จะปรับเพื่อให้ได้ค่าขยายคอนมูนโหมดเท่ากับศูนย์ แรงดันออกของวงจรจะเท่ากับ



รูปที่ 2.21 วงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน

$$V_o = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) \dots\dots\dots(2.26)$$

ข้อสรุปเกี่ยวกับวงจรขยายที่กล่าวมาทั้ง 3 แบบ ความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ทำให้สามารถวางขยายไฟตรงที่มีคุณภาพสูงได้ เช่น มีค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของแรงดันอินพุตต่อฟิเชทต่ำมาก ถึงแม้จะยังไม่ทัดเทียมกับวงจรขยายแบบฮอปเปอร์ แต่เมื่อรวมคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงค่าขยาย (Gain drift) ราคาและความง่ายในการสร้างเป็นต้น ทำให้วงขยายไฟตรงทั้งวงขยายผลต่างและแบบอินตทิเรตเมนต์อื่น ๆ ได้รับความนิยมใช้กันมากในเครื่องมือวัดที่ต้องการความแม่นยำและแน่นอน สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช่วงขยายแบบอินตทิเรตเมนต์อื่น เพราะเป็นแบบที่รวมข้อดีของวงขยายสัญญาณผลต่างทั้ง 2 แบบเข้าด้วยกัน

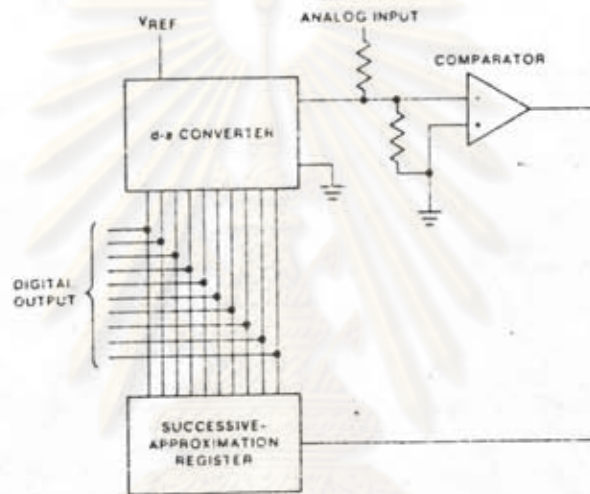
2.4.4 ภาคแสดงผลเชิงเลข (Digital display)

ภาคแสดงผลเชิงเลขจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอก ที่ได้เอ่ออกมาจากภาคปรับสัญญาณให้เป็นสัญญาณเชิงเลขเพื่อแสดงค่าน้ำหนักของ วัดดูที่นำมาซึ่งออกมาเป็นตัวเลขโดยตรง ภาคแสดงผลเชิงเลขแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงเลข (Analog to Digital Converter) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า วงจรแปลงแอนาดี และ วงจรแสดงผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. วงจรแปลงแอนาดี เป็นส่วนที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณเชิงเลขที่บ่งขนาดของแรงดันไฟนั้น วงจรแปลงแอนาดี มีหลายชนิด ตั้งแต่แบบใช้กลไก จนกระทั่งถึงแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถแบ่งออกง่าย ๆ ได้สองประเภทคือ ประเภทที่ไม่มีการอินทิเกรต (Non-integrating type) กับประเภทมีการอินทิเกรต (Integrating type)

1. ประเภทไม่มีการอินทิเกรต จะใช้การเปรียบเทียบแรงดันไฟกับแรงดันไฟมาตรฐานชนิดต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น โดยแรงดันไฟมาตรฐานเหล่านี้ได้มาจากสัญญาณเชิงเลขหรือสามารถแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขได้ง่าย ตัวอย่างของวงจรประเภทนี้ได้แก่ Parallel comparator type, Counter-type และ Successive approximation type เป็นต้น วงจรประเภทนี้สามารถแปลงแรงดันไฟเป็นสัญญาณเชิงเลขได้รวดเร็ว แต่มีจุดอ่อนตรงค่าที่วัดได้เป็นค่าแรงดันไฟจุดใดจุดหนึ่ง (Instantaneous value) ไม่ได้วัดค่าเฉลี่ยในรอบ 1 คาบเวลาของสัญญาณนั้น ดังนั้น ค่าที่วัดได้จึงมักจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเสมอ รูปที่ 2.22

จะแสดงโครงสร้างของวงจรแปลงแอนะล็อกแบบ Successive approximation type ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญคือ วงจรแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to analog converter) หรือวงจรแปลงดิจิทัล (D/A Converter) และ Successive approximation register (SAR) แรงดันโวลต์ที่ออกจากวงจรแปลงดิจิทัลจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาล็อกหรือแรงดันโวลต์ โดยการเปรียบเทียบทีละบิต (Bit)

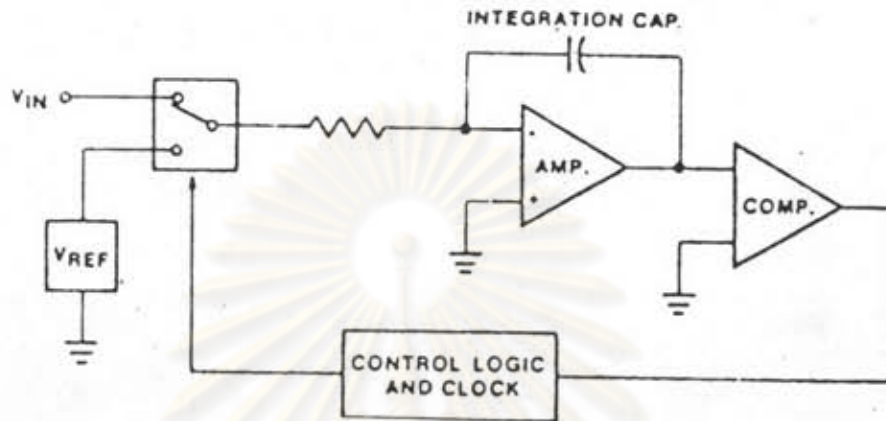


รูปที่ 2.22 โครงสร้างของวงจรแปลงแอนะล็อกแบบ Successive approximation type

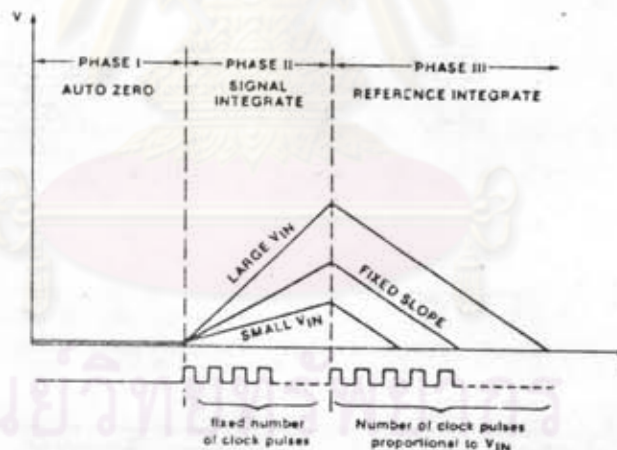
เริ่มจากบิตที่มีค่านัยสำคัญมากที่สุด (MSB) ไปสู่อบิตที่มีค่านัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) บิตที่จะเปรียบเทียบจะถูกเช็คว่าเป็น "1" ถ้าแรงดันโวลต์จากวงจรแปลงดิจิทัลมีค่ามากกว่าแรงดันโวลต์เข้า บิตนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น "0" แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าจะคงค่าบิตนั้นเป็น "1" จากนั้น SAR จะเลื่อนไปเปรียบเทียบบิตต่อไป เมื่อเสร็จการแปลงในแต่ละรอบ สัญญาณเชิงเลขจะถูกส่งไปยังวงจรแสดงผล

2. ประเภทมีการอินทิเกรต จะทำการอินทิเกรตหรือเฉลี่ยขนาดของแรงดันโวลต์ จึงทำให้ค่าที่วัดได้แม่นยำ และมีเสถียรภาพดี ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนอื่น ๆ วงจรประเภทนี้ได้แก่ V to F Converter, Pulse width modulation type และ

Dual slope type เป็นต้น ดังในรูปที่ 2.23 จะแสดงโครงสร้างของวงจรแปลงแบบ Dual slope type วงจรชนิดนี้นิยมใช้กันมากเพราะราคาถูกและให้ความแม่นยำสูง การทำงานของวงจรแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง



รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างของวงจรแปลงแบบ Dual slope type



รูปที่ 2.24 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรแปลงแบบ Dual slope type

ช่วงที่ 1 การปรับศูนย์ (Auto Zero) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะถูกต่อลงกราวด์ ค่าแรงดันออฟเซตของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ

ช่วงที่ 2 อินทิเกรตสัญญาณ (Signal Integrate) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะต่อกับแรงดันไฟเข้า และอินทิเกรตด้วยเวลาคงที่ ซึ่งจะกำหนดด้วยจำนวนพัลส์นาฬิกา

ความชันของการอินทิเกรตจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟเข้า ดังรูปที่ 2.24

ย่่วงที่ 3 อินทิเกรตแรงดันอ้างอิง (Reference Integrate) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง และอินทิเกรตด้วยความชันคงที่จนกระทั่งแรงดันออกของวงจรอินทิเกรตเป็นศูนย์ ส่วนวนพัลส์นาฬิกาที่นับได้ ในย่่วงนี้จะเป็นค่าเชิงเลขของแรงดันเข้า

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีการอินทิเกรต จะมีความเหมาะสมในการทำเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า เพราะเป็นการเฉลี่ยขนาดของสัญญาณที่จะวัด ค่าที่ได้จึงแม่นยำ และในการชั่งน้ำหนักก็ไม่ต้องการเวลาในการแปลงเร็วนัก

ข. วงจรแสดงผล

สัญญาณเชิงเลขที่ได้จากวงจรแปลงแอนะล็อกจะอยู่ในรูปของรหัส เช่น รหัสเลขไบนารี (Binary code) รหัสบีซีดี (BCD-Binary code decimal) ซึ่งรหัสเหล่านี้ยากต่อการอ่านค่าออกมาโดยตรง ค่าเป็นจะต้องแปลงเป็นรหัสเจ็ดขีด (7-Segment code) เพื่อขับแผงแสดงผลเป็นตัวเลขให้สามารถอ่านได้โดยง่าย แผงแสดงผลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบ เช่น แผงแสดงผลแบบฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent display) แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) และแผงแสดงผลแบบแอลอีดี (LED) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย