

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานชุดควบคุมการประหยัพลังงานไฟฟ้าสำหรับปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump) โดยออกแบบวงจรไฟฟ้าเพื่อลดภาระการทำงานของปั๊มไฮดรอลิกจำเป็นต้องศึกษาความรู้ด้านซึ่งในบทนี้จะนำเรื่องที่ได้ศึกษาหาความรู้เพื่อมาใช้ในการทำโครงงานดังนี้

- 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Current Motor)
- 2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
- 2.3 ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)
- 2.4 การควบคุมแบบพรอพอร์ชันนัล (Proportional Control)
- 2.5 การควบคุมด้วยพีไอดี (Proportional Integral Derivative Control : PID Control)
- 2.6 การควบคุมด้วยฟัซซี่ (Fuzzy Logic Control)
- 2.7 โปรแกรมแลปวิว (Program LabVIEW)

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือ มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือ ขดลวดในสเตเตอร์ (Stator) และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกลคือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้า ตัวสเตเตอร์ก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งการสร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวด และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไป สนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งสนามแม่เหล็กจะไปตัดกับขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

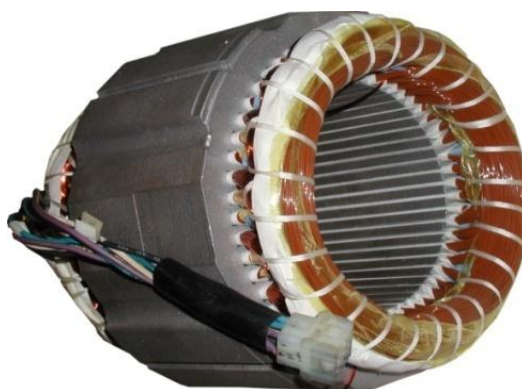


ภาพที่ 2.1 มอเตอร์กระแสสลับ

2.1.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ใหญ่ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัส (Asynchronous) และมอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous) ซึ่งเป็นมอเตอร์อะซิงโครนัสที่เรียกว่า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) จะมีขนาดตั้งแต่ แรงม้าต่ำๆ ไปจนถึงขนาดหลายร้อยแรงม้า (Horse Power) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็น มอเตอร์ชนิด 1 เฟส (Phase) และชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำนั้นส่วนมาก จะหมุนด้วยความเร็วคงที่แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ เช่น มอเตอร์ชนิด ขดลวดพัน (Wound Rotor Motor) หรือมอเตอร์สลลิ่ง (Slip Ring Motor) ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ ชนิด 3 เฟส มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้า ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกลในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้า โดยตรง แต่จะได้จากการเหนี่ยวนำดังนั้น จึงเรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage) ซึ่งมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสและชนิดที่เป็น 3 เฟส และ มอเตอร์ชนิดขดลวดพัน (Wound Rotor Motor) หรือมอเตอร์สลลิ่ง (Slip Ring Motor) ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส โดยแล้วทั่วไปมอเตอร์ทุกประเภทก็จะมีส่วนประกอบหลัก หรือส่วนประกอบเบื้องต้นคล้ายกับเตเตอร์หรือตัวที่อยู่กับที่ และโรเตอร์หรือตัวหมุนซึ่งจะมีความ แตกต่างกันในเรื่องรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อย

2.1.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.2.1 สเตเตอร์ หรือตัวอยู่กับที่จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครง ของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด



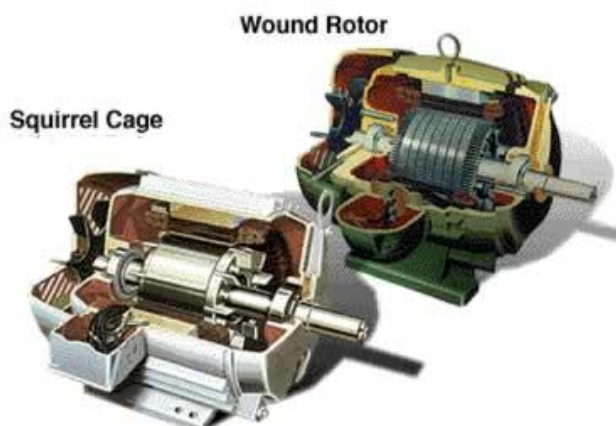
ภาพที่ 2.2 โครงมอเตอร์

2.1.2.2 โครงมอเตอร์จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างเป็นขาตั้งมีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้างโครง จะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะที่เป็นครีบริบเพื่อช่วยในการระบายความร้อนในกรณีที่เป็นมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กโครงมอเตอร์จะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมาก แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อก็จะให้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก

2.1.2.3 แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะกลมมีรูเจาะตรงกลาง และเจาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนต (Laminate) ซึ่งจะถูกล้อมด้วยซิลิกอน (Silicon) เหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว หลังจากนั้นจึงนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสมเรียกว่าแกนเหล็กสเตเตอร์

2.1.2.4 ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะที่เป็นเส้นลวดทองแดงที่มีการเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่างๆ ของการพันมอเตอร์

2.1.2.5 โรเตอร์หรือตัวหมุนของมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือโรเตอร์แบบกรงกระรอก และโรเตอร์แบบขดลวดพันซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพล



ภาพที่ 2.3 โรเตอร์

2.1.2.6 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนต (Laminate) ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์มีลักษณะเป็นแผ่นกลมๆ เซาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลลา และจะเจาะรูรอบๆ รูตรงกลางที่สวมเพลลาทั้งนี้เพื่อช่วยในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลลา แล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งทองแดง หรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วยวงแหวนตัวนำ ทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้า หรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์ แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่องก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่อง และจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็กขดลวดในโรเตอร์จะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออะลูมิเนียมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงกระรอก

2.1.2.7 โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound Rotor) โรเตอร์ชนิดนี้จะมีส่วนประกอบคล้ายๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือ มีแกนเหล็กที่เป็นแผ่นลามิเนตอัดเข้าด้วยกันแล้วสวมเข้าที่เพลลา แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขดลวดจะเป็นเส้นลวดชนิดที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนอีนาเมล (Enamel) พันลงไปในเรื่องสล็อต (Slot) ของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับที่พันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟสแล้วต่อวงจรขดลวดเป็นแบบสตาร์ (Star) โดยนำปลายทั้ง 3 ที่เหลือต่อเข้ากับวงแหวนตัวนำ

2.1.2.8 ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรูกลมใหญ่เพื่ออัดแบร์ริง (Bearing) หรือค้ำลูกปืนรองรับแกนเพลลาของโรเตอร์

2.1.2.9 ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียว ขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดีมีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟส และมอเตอร์ 1 เฟสขนาดใหญ่

2.1.2.10 ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อที่มีลักษณะที่เท่ากันทุกกริบ จะสวมยึดอยู่บนเพลาด้านตรงข้ามกับเพลางานใบพัด ซึ่งจะช่วยในการระบายอากาศ และความร้อนได้มากทีเดียวใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟส และมอเตอร์ 1 เฟส ขนาดย่อย ถึงขนาดใหญ่เช่นเดียวกับฝาครอบใบพัด

2.1.2.11 สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครงถ้าเป็น มอเตอร์ 1 เฟส ขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์สปลิตเฟส (Split Phase Motors) จะเป็นสลักเกลียวยาวตลอด ความยาวของตัวมอเตอร์ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์หรือเรียกว่า เอซีไดรฟ์ (Alternative Current Drives : AC Drives) ก็คืออุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือเอซิมอเตอร์ (ซึ่งบางครั้ง ก็ถูกเรียกว่า อะซิงโครนัสหรือมอเตอร์แบบกรงกระรอก) ซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถ ควบคุมได้เนื่องจากความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีการเปลี่ยนแปลง สัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ดังต่อไปนี้

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (2.1)$$

โดยที่	N_s	หมายถึง	ความเร็วซิงโครนัส (รอบ/นาที)
	f	หมายถึง	ความถี่กระแสไฟฟ้า (เฮิร์ตซ์)
	P	หมายถึง	จำนวนขั้วแม่เหล็ก

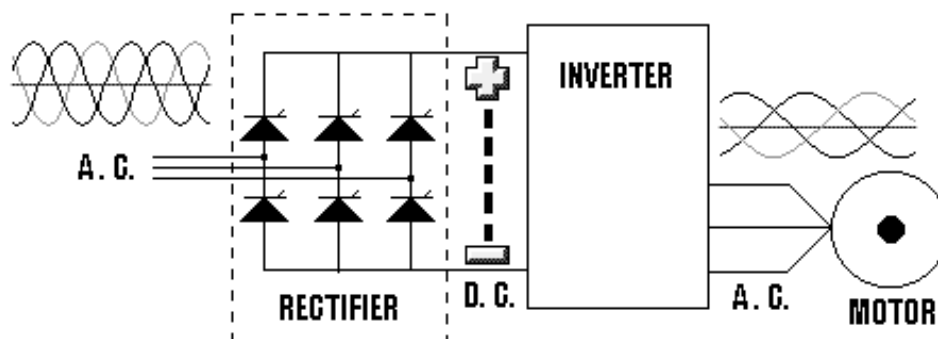
จากสมการ 2.1 จะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ลักษณะ คือ เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole) และ เปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency) ของกระแสไฟฟ้าที่จ่าย ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้างั้นหากความถี่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่คือ 50 เฮิร์ตซ์ (Hertz : Hz) หรือ 60 เฮิร์ตซ์ ในบางประเทศ เช่น อเมริกา ความเร็วรอบของมอเตอร์ แต่ละตัวก็จะมีความเร็วรอบ ที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์แต่ละตัวซึ่งสามารถสรุปตามตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ความเร็วรอบของมอเตอร์

จำนวนขั้ว	2	4	6	8	10	15
จำนวนรอบที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ (รอบต่อนาที)	3000	1500	1000	750	600	500
จำนวนรอบที่ความถี่ 60 เฮิรตซ์ (รอบต่อนาที)	3600	1800	1200	900	720	600

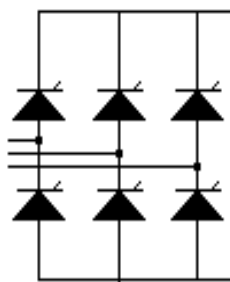
จากตารางที่ 2.1 สรุปความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าวิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กนั้น ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปครั้งละมากๆ เช่น เปลี่ยนจาก 3000 รอบต่อนาที (Revolutions Per Minute : RPM) ไปเป็น 1500 รอบต่อนาที หรือจาก 1500 รอบต่อนาที ไปเป็น 3000 รอบต่อนาที (กรณีเปลี่ยนจากการต่อแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กไปเป็นการต่อแบบ 4 ขั้วแม่เหล็ก หรือจาก 4 ขั้วแม่เหล็ก ลดลงมาเหลือ 2 ขั้วแม่เหล็ก) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ในลักษณะนี้ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงจะไม่ละเอียดทำได้เฉพาะในขณะที่ไม่มีโหลด (No Load) และที่สำคัญคือต้องใช้มอเตอร์ที่ออกแบบพิเศษ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้เท่านั้น ทำให้ไม่เหมาะสมกับความต้องการของงานในหลายๆ ประเภทที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบในขณะมีโหลดเพื่อให้ความเร็วรอบมอเตอร์เหมาะสมกับความเร็วรอบของกระบวนการผลิต ดังนั้นในกระบวนการผลิตทั่วไปจึงนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมให้มอเตอร์ด้วยความเร็วคงที่ ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงมากกว่า

2.2.1 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ จากรูปภาพที่ 2.4 เป็นหลักการทำงานพื้นฐานอย่างง่ายของอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญๆ และมีการทำงานดังนี้



ภาพที่ 2.4 การทำงานของอินเวอร์เตอร์

2.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) สำหรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรประกอบด้วย เพาเวอร์ไดโอด 4 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียว หรือมีเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบ 3 เฟส (สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier : SCR) ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจรดีซีลิงก์ (Direct Current Link : DC Link)



ภาพที่ 2.5 วงจรเรียงกระแส

2.2.3 ดีซีลิงก์หรือวงจรเชื่อมโยงทางกระแส คือ วงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแส และวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) ที่มีขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 400 โวลต์ (Voltage) แหล่งจ่ายไฟตรง หรือ 800 โวลต์แหล่งจ่ายไฟตรง โดยขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุตเป็นแบบเฟสเดียวหรือ 3 เฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้น เนื่องจากการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว สำหรับกรณีที่ใช้งานกับโหลดที่มีแรงเฉื่อยมากๆ และต้องการหยุดอย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงดันสูงย้อนกลับมาตกคร่อมตัวเก็บประจุและทำให้เสียหาย ดังนั้นในทางปฏิบัติจะมีวงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit) โดยต่อตัวความต้าน (Resistor) อนุกรมกับทรานซิสเตอร์ (Transistor) และต่อขนานกับตัวเก็บประจุไว้โดยทรานซิสเตอร์จะทำให้ที่เป็นสวิตช์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้น

2.2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจรดีซีลิงก์) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรจะประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM)

2.2.5 วงจรควบคุมจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้เช่น รับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการเข้าไปทำการประมวลผล และส่งนำเอาต์พุต (Output) ออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์เพื่อจ่ายแรงดัน และความถี่ให้ได้ความเร็วรอบและแรงบิดตามที่ผู้ใช้งานต้องการทำไมจึงต้องแปลงผันจากไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) และ

แปลงผันกลับจากดีซีเป็นเอซีอีกครั้ง เนื่องจากการแปลงจากเอซีไปเป็นเอซี โดยตรงเลขนั้น ความถี่ทางด้านเอาต์พุต (Output) จะได้สูงสุดไม่เกินความถี่ทางด้านอินพุต (Input) ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้มีความเร็วมากกว่าความเร็วที่บอกไว้บนแผ่นป้ายของมอเตอร์ แต่การเปลี่ยน เอซี ไปเป็น ดีซี และแปลงกลับมาเป็น เอซี อีกครั้งจะทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างความถี่ ได้สูงกว่าความถี่ทางด้านอินพุต

2.3 ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)

ระบบการทำงานที่ใช้ของไหลเป็นตัวการส่งถ่ายกำลังทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และแรงกระทำเกิดขึ้นปัจจุบันระบบไฮดรอลิก ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการทำงานอุตสาหกรรมของเครื่องมือเครื่องจักรเนื่องจากระบบไฮดรอลิกนั้นมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น สามารถส่งถ่ายกำลังได้แรงจำนวนมากโดยใช้อุปกรณ์ขนาดเล็ก สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างนิ่มนวลและแน่นอนเป็นระบบที่สามารถหล่อลื่นอุปกรณ์ได้ด้วยตัวเอง ทำให้เกิดการสึกหรอน้อย หลักการทางฟิสิกส์ของระบบไฮดรอลิก จะเกี่ยวข้องกับเรื่องความเร็ว ความดัน เวลา และอุณหภูมิ

2.3.1 กฎของนิวตัน (Newton) เป็นกฎสากลที่ใช้ได้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชนิดทั้งบนโลกและนอกโลก กฎการเคลื่อนที่ทั้งสามกฎของนิวตันจะแสดงถึงหลักการธรรมชาติของสภาพการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ

2.3.1.1 วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่งหรือสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวตรง นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำ

2.3.1.2 เมื่อมีแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุนั้น วัตถุจะมีความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดของความเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

2.3.1.3 ทุกแรงกิริยามีแรงปฏิกิริยา ซึ่งมีขนาดเท่ากันและทางตรงข้ามกันเสมอ

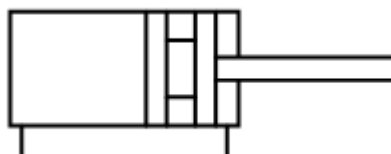
2.3.2 กฎความดันไฮดรอลิก เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับแรง และการส่งถ่ายกำลังโดยใช้มวลของไหล ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่แสดงให้เห็นถึงแมคคานิกส์ (Mechanic) ของไหลเกิดขึ้นจากการกระทำสถิตศาสตร์ของไหล (Hydrostatics) และกลศาสตร์ของไหล (Hydrodynamic)

$$P_s = h \times p \times g \quad (2.2)$$

โดยที่	P_s	หมายถึง ความดันของของไหล (บาร์)
	h	หมายถึง ความสูงของของไหล (เมตร)
	p	หมายถึง ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	g	หมายถึง แรงดึงดูดของโลก (เมตร/วินาที ²)

2.3.3 สัญลักษณ์อุปกรณ์ของระบบไฮดรอลิก เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในระบบไฮดรอลิก เนื่องจากสัญลักษณ์จะช่วยให้ทำความเข้าใจในวงจรไฮดรอลิกได้ง่าย และยังช่วยทำให้การออกแบบการทำงานของวงจรระบบไฮดรอลิกได้อย่างถูกต้อง รวมถึงการตรวจสอบวงจรและบำรุงรักษา ระบบไฮดรอลิกได้อย่างรวดเร็ว และสามารถประหยัดเวลามากขึ้น อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก มีจำนวนค่อนข้างมากและอุปกรณ์ส่วนใหญ่ของระบบไฮดรอลิกมีทำงานค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้น จึงทำให้สัญลักษณ์อุปกรณ์ไฮดรอลิกมีความสำคัญมากขึ้นตามมาในที่นี้ จึงขอกล่าวถึงสัญลักษณ์ และอุปกรณ์ที่สำคัญๆ เช่น อุปกรณ์ทำงาน อุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์ต้นกำลัง อุปกรณ์ท่อ และข้อต่อ วิธีการบังคับให้อุปกรณ์ทำงาน และอุปกรณ์อื่นๆที่ช่วยในการทำงานของระบบไฮดรอลิก

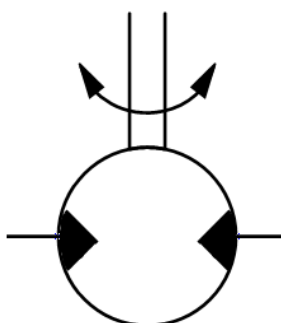
2.3.4 สัญลักษณ์กระบอกสูบไฮดรอลิก ซึ่งจะมีลักษณะทำงานการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง สัญลักษณ์ของกระบอกสูบจะมีส่วนประกอบของกระบอกสูบ คือ กระบอกสูบ ลูกสูบ และ ก้านสูบ จากภาพที่ 2.6 สัญลักษณ์กระบอกสูบไฮดรอลิกจะประกอบด้วย กระบอกสูบแบบทำงานทางเดียว อาจใช้แทนอุปกรณ์ทำงานแบบเชิงเส้นอื่นๆ ได้ เช่น กระบอกสูบแบบทำงานสองทาง มีก้านสูบ เดียว กระบอกสูบแบบทำงานสองทางมีสองก้านสูบ กระบอกสูบแบบมีชุดกันกระแทกอยู่ภายใน กระบอกสูบ มีชุดกันกระแทกปรับค่าได้ กระบอกสูบแบบทำงานสองทางก้านสูบขนาดใหญ่



ภาพที่ 2.6 สัญลักษณ์กระบอกสูบไฮดรอลิก

2.3.5 สัญลักษณ์ของมอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor) เป็นอุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกแบบหนึ่งที่น่าสนใจมาใช้นั้น โครงสร้างโดยทั่วไปก็คล้ายคลึงกับปั๊มไฮดรอลิก แตกต่างกันที่การทำงาน คือ ปั๊มไฮดรอลิกจะเปลี่ยนพลังงานกลในน้ำมันที่ได้รับจากวาล์ว หรือปั๊มในระบบ ให้เป็นพลังงานกลด้วยการหมุน สัญลักษณ์ของมอเตอร์ไฮดรอลิกจะคล้ายๆกับปั๊ม คือมีลักษณะเป็นวงกลมมีลูกศรทึบแสดงทิศทางการไหลของน้ำมัน เนื่องจากสัญลักษณ์ของ มอเตอร์ไฮดรอลิกคล้ายคลึงกับปั๊มไฮดรอลิกมาก ทำให้บางคนเข้าใจผิดได้โดยง่าย ดังนั้นจึงต้อง สังเกตความแตกต่าง คือทิศทางการไหลของน้ำมันที่เข้ามอเตอร์ไฮดรอลิกจะเปลี่ยนพลังงานกลของน้ำมันให้เป็นแรงบิดจากการเคลื่อนที่แบบหมุน จุดที่สำคัญที่แสดงให้เห็นทิศทางการไหลของน้ำมันก็คือ ลูกศรทึบ ซึ่งหัวลูกศรทึบในสัญลักษณ์ของมอเตอร์ไฮดรอลิกนั้นจะมีทิศทางแตกต่างกับปั๊มไฮดรอลิก จากภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์มอเตอร์ไฮดรอลิกจะประกอบด้วย มอเตอร์แบบ มีทิศทางการไหลทางเดียวที่มีลูกศรทึบ 1 ตัว และมีทิศทางการไหลได้สองทางที่มีลูกศรทึบ 2 ตัว

มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบปรับค่าอัตราการไหลได้ จะเพิ่มเส้นลูกศรพาดผ่านสัญลักษณ์มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบปรับค่าอัตราการไหลไม่ได้



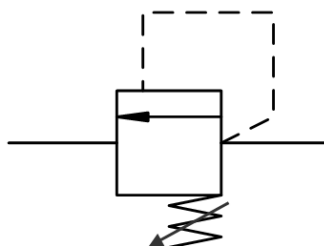
ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์มอเตอร์ไฮดรอลิก

2.3.6 อุปกรณ์ควบคุมการไหลชนิดที่นิยมใช้กันมากคือแบบประตู (Gate) การควบคุมอัตราการไหลของวาล์วแบบนี้ควบคุมได้ไม่แน่นอนเท่าที่ควร ดังนั้นหากต้องการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านวาล์วได้อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับอัตราการไหลได้แสดงในภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์อุปกรณ์ควบคุมการไหลประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลปรับช่องคออดไม่ได้ อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลที่ปรับช่องคออดได้มีวาล์วก้นกลับ (Check Valve) แต่ไม่มีการขีดเซยอุปกรณ์ควบคุมการไหล อุปกรณ์ควบคุมการไหลทางเดียว อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลแบบช่องคออดได้มีวาล์วก้นกลับ และมีชุดเซยอุณหภูมิและความดัน



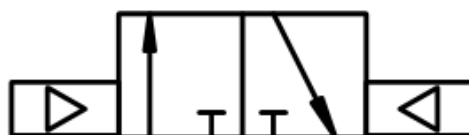
ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์อุปกรณ์ควบคุมการไหล

2.3.7 อุปกรณ์ควบคุมความดัน ลักษณะนี้จะแทนสัญลักษณ์ควบคุมความดันด้วยรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นอุปกรณ์ที่ให้น้ำมันไหลผ่าน หรือ ปิดกั้นเอาไว้ลักษณะของอุปกรณ์ควบคุมความดันมีอุปกรณ์ควบคุมความดันชนิดระบายความดัน อุปกรณ์ควบคุมความดันชนิดจัดอันดับการไหล และอุปกรณ์ควบคุมความดันชนิดลดโหลด หรือปลดความดัน



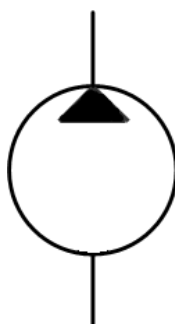
ภาพที่ 2.9 สัญลักษณ์อุปกรณ์ควบคุมความดัน

2.3.8 อุปกรณ์ควบคุมทิศทางมีสัญลักษณ์ของวาล์วแบบทำงานหลายตำแหน่ง จะรูปสี่เหลี่ยมหลายรูปทั้งนี้อาจจะมีสี่เหลี่ยมตั้งแต่ 2 รูปขึ้นไป ซึ่งสี่เหลี่ยมแต่ละรูปจะหมายถึง ตำแหน่งของวาล์ว และภายในตำแหน่งจะมีทิศทางการไหลผ่านของน้ำมัน จะแสดงด้วยเส้นลูกศรภายในสี่เหลี่ยม จากรูปที่ 2.10 สัญลักษณ์อุปกรณ์ควบคุมทิศทางประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมทิศทางการไหล 2 ตำแหน่ง 3 ทิศทาง อุปกรณ์ควบคุมทิศทางการไหล 2 ตำแหน่ง 4 ทิศทาง ในตำแหน่งปกติอุปกรณ์ควบคุมทิศทางการไหลแบบ 3 ตำแหน่ง 4 รู 4 ทิศทางตำแหน่งกลางปิด อุปกรณ์ควบคุมทิศทางการไหลแบบ 3 ตำแหน่ง 4 รู 4 ทิศทางตำแหน่งกลางไหลถึงกันทั้งหมด



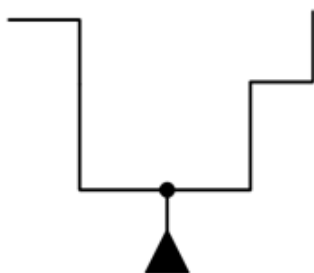
ภาพที่ 3.10 สัญลักษณ์วาล์วเปลี่ยนทิศทางการไหล

2.3.9 ปัมป์ไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอัตราการไหลน้ำมัน ในระบบไฮดรอลิกให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยได้รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านเพลาคัปมาหมุนปัมป์ จากภาพที่ 2.11 สัญลักษณ์ปั๊มจะประกอบด้วย ปั๊มแบบอัตราการไหลคงที่มีทิศทางการไหลทางเดียว ปั๊มแบบอัตราการไหลคงที่มีทิศทางการไหลสองทาง ปั๊มแบบปรับอัตราการไหลได้ ปั๊มแบบปรับอัตราการไหลได้แบบค่อนข้างสมบูรณ์ ปั๊มแบบทิศทางการไหลสองทางสามารถปรับอัตราการไหล ปั๊มแบบสมบูรณ์ที่มีทิศทางการไหลสองทาง ปรับอัตราการไหลได้และเพลาคัปปั๊มหมุนได้สองทาง



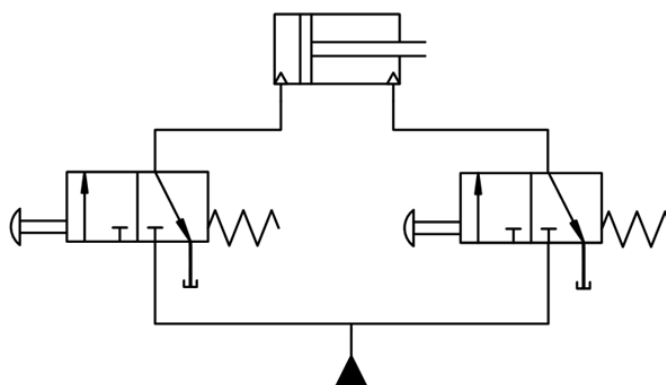
ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างสัญลักษณ์ปั๊มไฮดรอลิก

2.3.9 อุปกรณ์ท่อและข้อต่อ มีหน้าที่เพื่อให้น้ำมันสามารถไหลผ่านเข้าไปยังอุปกรณ์ต่างๆ มีผลทำให้ระบบไฮดรอลิกสามารถทำงานได้ตามความต้องการ จากภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์อุปกรณ์ท่อและข้อต่อจะประกอบด้วยท่อใช้งาน ท่อควบคุม ท่อระบายน้ำมัน จุดต่อรั้วท่อไฮดรอลิกแบบหักงอได้ ท่อใช้งานต่อกัน ท่อใช้งานคร่อมกันทิศทางการไหลของน้ำมันไหลทางเดียวเท่านั้น ทิศทางการไหลของน้ำมันไหลได้ทั้งสองทางท่ออยู่ต่ำกว่าระดับของน้ำมันในถัง ซึ่งปลายท่อจะอยู่เหนือกว่าระดับของน้ำมันในถังปลายท่อถูกอุด และจุดท่อระบายร่วม



ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์อุปกรณ์ท่อและข้อต่อ

2.3.10 สัญลักษณ์และวิธีการบังคับให้อุปกรณ์ทำงานและวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมทิศทางนั้น มีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี คือการควบคุมแบบธรรมดาที่ควบคุมด้วยแรงจากคน การควบคุมแบบทางกล การควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า และการควบคุมด้วยน้ำมัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สัญลักษณ์วิธีการบังคับให้อุปกรณ์ทำงานจะประกอบด้วย การบังคับแบบร่องยี่ดให้ค้างตำแหน่ง การบังคับให้วาล์วทำงานแบบธรรมดาด้วยแรงคน การบังคับแบบลูกกลิ้งการบังคับ โดยใช้ความดันท่อควบคุมการบังคับแบบปุ่มกด การบังคับแบบคันโยกมือ การบังคับแบบคันเหยียบ การบังคับแบบเดียวการบังคับแบบโซลินอยด์ (Solenoid) และการบังคับแบบร่วม



ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์วิธีการบังคับให้อุปกรณ์ทำงาน

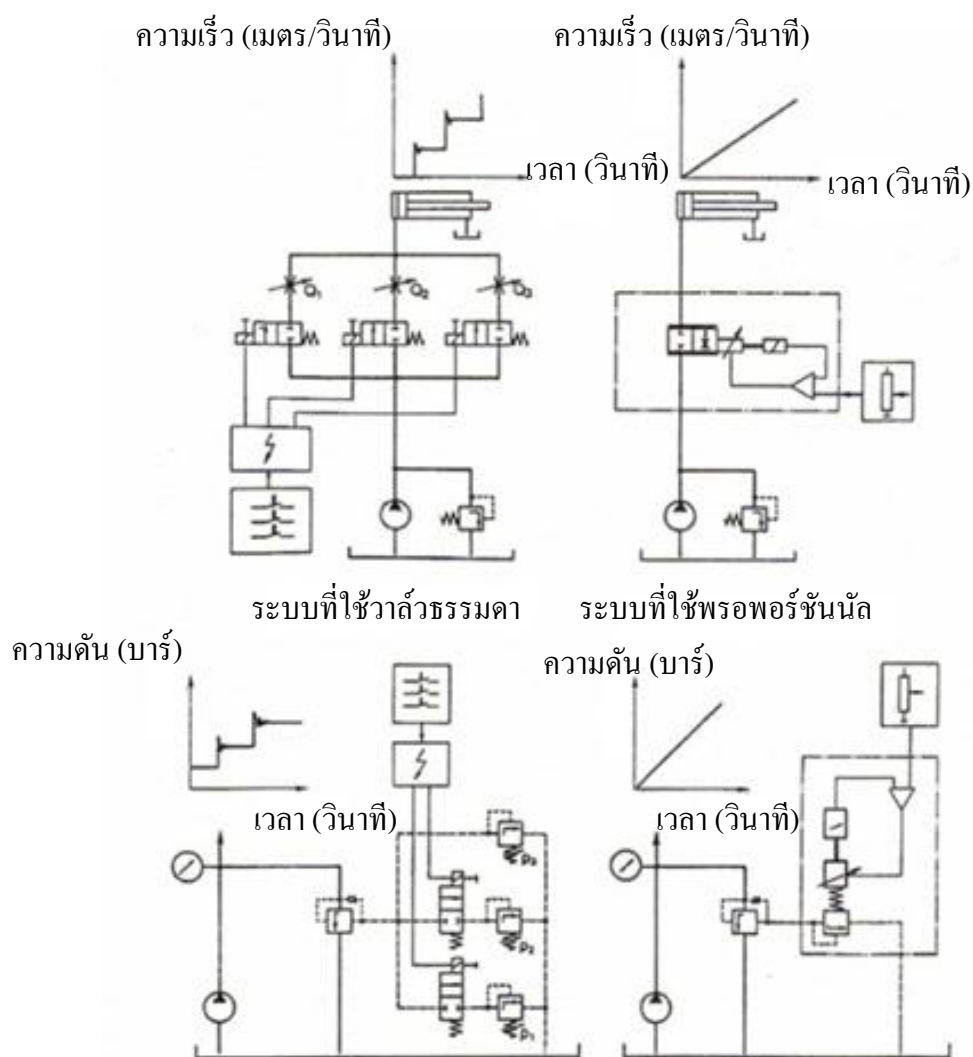
2.3.11 อุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานของระบบไฮดรอลิก ยังมีอยู่อีกมากมายหลายอย่าง เช่น ถังพักน้ำมัน ถังสะสมความดัน เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) กรองน้ำมัน เป็นต้น สัญลักษณ์อุปกรณ์อื่นๆ ที่ช่วยในการทำงานของระบบไฮดรอลิกจะประกอบด้วย สัญลักษณ์เส้นกรอบอุปกรณ์ สัญลักษณ์ถังพักน้ำมันแบบเปิดและแบบปิด สัญลักษณ์เกจวัดความดัน สัญลักษณ์เกจวัดอุณหภูมิ สัญลักษณ์อุปกรณ์วัดอัตราการไหล สัญลักษณ์มอเตอร์ไฟฟ้า สัญลักษณ์ถังสะสมความดัน (Accumulator) สัญลักษณ์กรองน้ำมัน สัญลักษณ์ตัวเพิ่มความร้อน สัญลักษณ์ระบายความร้อน และสวิตช์ความดัน (Pressure Switch) เป็นต้น



ภาพที่ 2.14 อุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานของระบบไฮดรอลิก

2.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ

เนื่องจากในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี เครื่องจักรกล และอุปกรณ์การทำงาน ได้เพิ่มประสิทธิภาพ แม้แต่ในด้านการควบคุมเองก็ตามได้มีการคิดสร้างอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ควบคุม ให้มีความสามารถตรงตามวัตถุประสงค์ของเครื่องจักรในเรื่องของระบบไฮดรอลิก ได้เกิดอุปกรณ์ขึ้นใหม่ขึ้นมาในระบบ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของกระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกให้ทำงานได้อย่างนุ่มนวลและเที่ยงตรงตลอดเวลา หรือเอาไว้ใช้เพื่อลดความเสียหายของการทำงานที่มีอุปกรณ์ที่จะต้องมีการกระแทกกันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก จึงเกิดคำว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

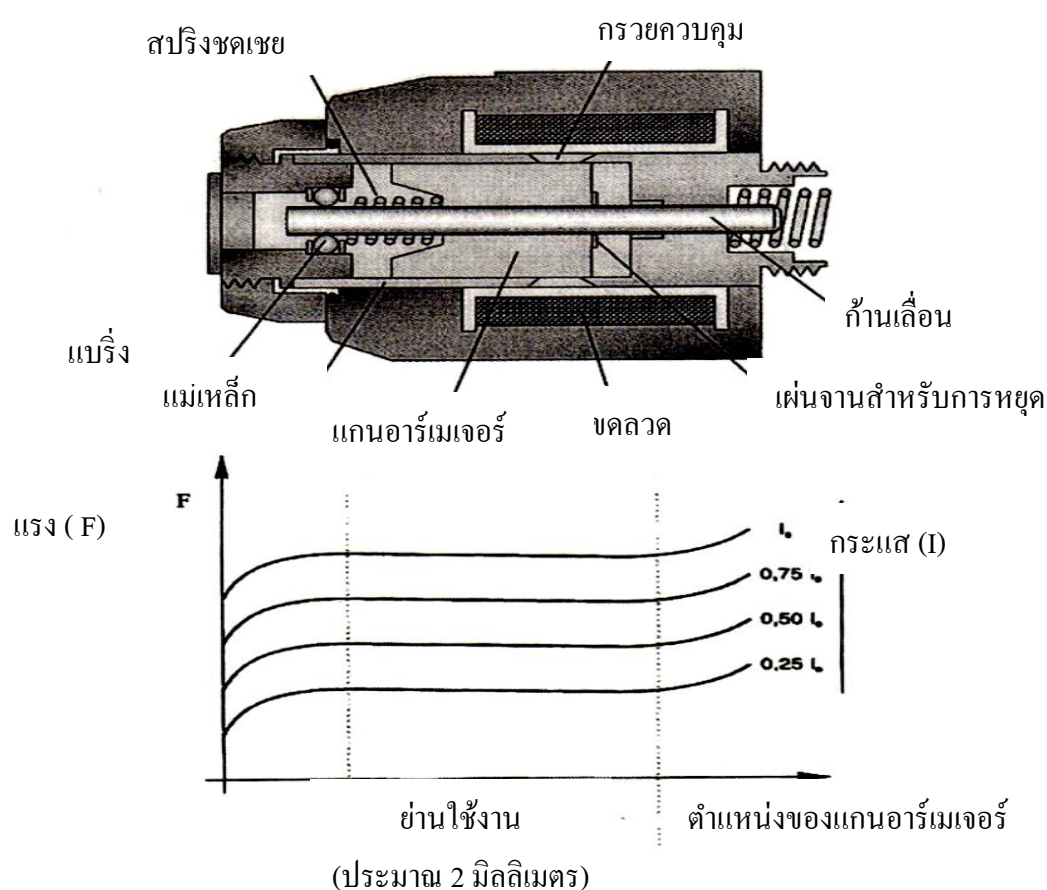


ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างการใช้พรอพอร์ชันนัลแทนวาล์วธรรมดาในระบบไฮดรอลิก

ข้อได้เปรียบของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิกที่ใช้วาล์วเปิด/ปิดธรรมดาทั่วไปสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

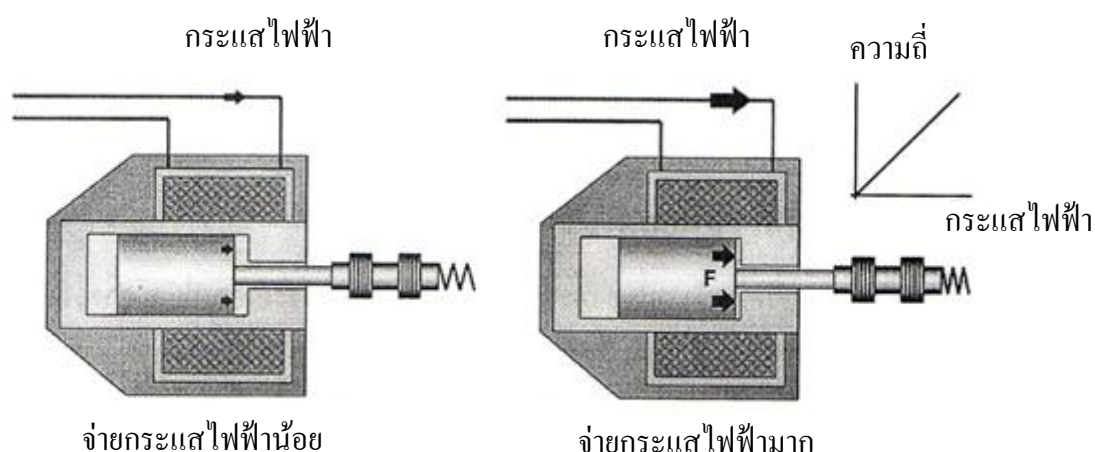
2.4.1 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) จากส่วนประกอบหลักของระบบ พรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกในภาพที่ 2.16 ในอันดับแรกเราจะมาทำความรู้จักกับพรอพอร์ชันนัลวาล์วก่อน (Proportion ความหมายในภาษาไทย คือ สัดส่วน)

2.4.1.1 พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์ (Proportional Solenoid) โครงสร้างและหลักการทำงานของพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์ จะมีส่วนที่แตกต่างออกไปจากวาล์วเปิด/ปิดทั่วไปคือมีกรวยควบคุม (Control Cone) ที่สร้างจากวัสดุที่เป็นแม่เหล็กไม่ได้ (Non-Magnet Sable Material) โดยกรวยดังกล่าวจะมีผลต่อ การจัดเรียงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น และจากโครงสร้างที่เพิ่มเข้ามา นี้เองทำให้แรงที่ได้เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของระดับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้า จึงเป็นที่มาของคำว่า พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะการทำงานเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งต่างจากโซลินอยด์ทั่วไปที่เป็นการทำงานแบบเปิด/ปิด



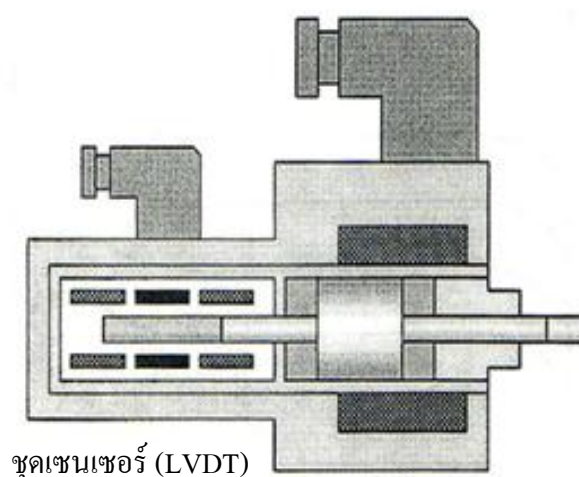
ภาพที่ 2.17 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์

จากที่ได้กล่าวมาว่าแรงที่ได้พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไปในชุดขดลวดที่นำมาใช้ร่วมกับวาล์ว (กลายเป็นพรอพอร์ชันนัลวาล์ว)



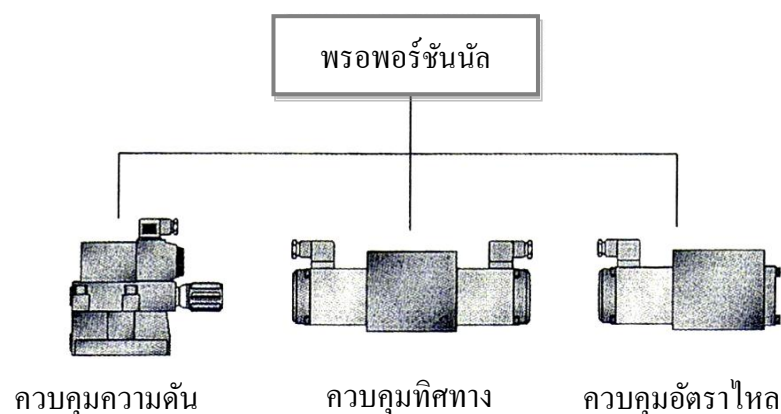
ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการนำเอาพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์มาใช้ร่วมกับวาล์ว

จากภาพที่ 2.18 จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าน้อยๆ ให้กับโซลินอยด์แรงที่เกิดขึ้นจะน้อย ส่งผลให้ระยะในการเคลื่อนที่น้อยตามไปด้วย และในทำนองเดียวกัน ถ้าทำการเพิ่มปริมาณการจ่ายกระแสให้กับชุดโซลินอยด์ แรงที่เกิดขึ้นก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะการเคลื่อนที่มากขึ้นตามไปด้วยเช่นกันเนื่องจากผลที่เกิดจากการทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก แรงเสียดทาน รวมทั้งแรงจากการไหลของน้ำมัน มีผลต่อการทำงานของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว คือจะมีผลทำให้ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของแกนอาร์เมเจอร์ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงและไม่สอดคล้องกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป ดังนั้นสำหรับงานบางประเภทที่ต้องการความแม่นยำสูงจึงจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ (Sensor) ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของแกนอาร์เมเจอร์หรือสปลูทของวาล์วซึ่งอาจเรียกพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์ดังที่กล่าวนี้ ว่าเป็นแบบควบคุมช่วงชัก (Stroke Controlled)



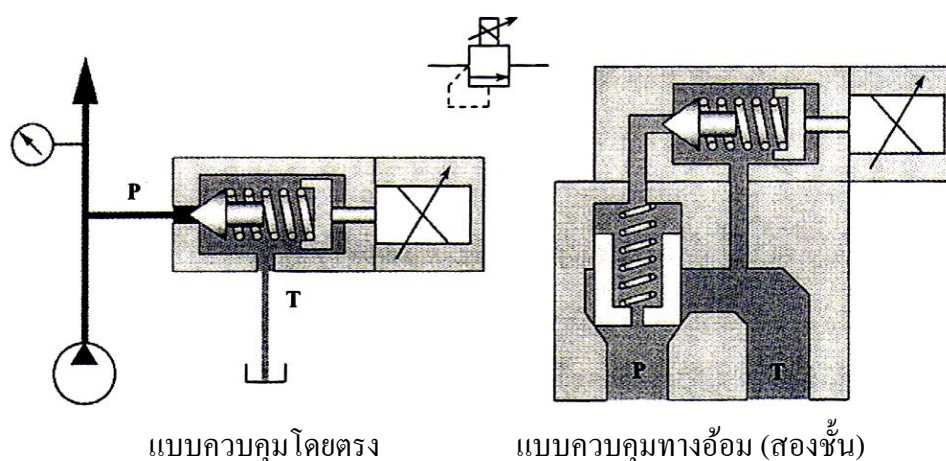
ภาพที่ 2.19 การใช้เซ็นเซอร์ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์

2.4.1.2 ประเภทของพรอพอร์ชันนัลวาล์วในระบบไฮดรอลิก โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันซึ่งนั่นหมายถึง พรอพอร์ชันนัลวาล์วก็สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกันเช่นกัน คือ วาล์วควบคุมความดัน ควบคุมทิศทางและวาล์วควบคุมอัตราการไหล



ภาพที่ 2.20 ประเภทของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

- พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดัน (Proportional Relief Valve) สามารถปรับค่าความดันน้ำมัน ไฮดรอลิกได้โดยผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าป้อนให้กับพรอพอร์ชันนัลควบคุมความดันแสดงในภาพที่ 2.21 เป็นการแสดงตัวอย่างหลักการของวาล์วปลดความดันแบบพรอพอร์ชันนัล

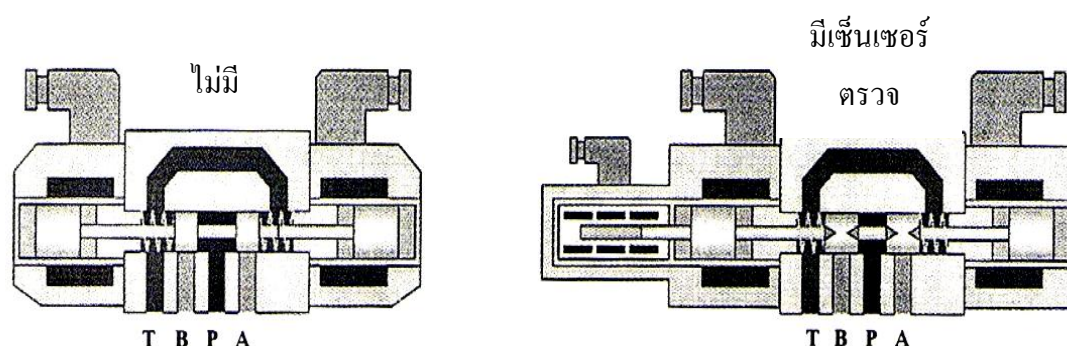


ภาพที่ 2.21 วาล์วปลดความดันแบบพรอพอร์ชันนัล

หากมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องของวาล์วควบคุมความดันอย่างเพียงพอ ดังนั้นสำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดันคงไม่มีปัญหาอะไร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้มือปรับมาใช้สัญญาณทางไฟฟ้าปรับการทำงานแทนนั่นเองจากภาพที่ 2.21 ความดันที่ช่อง P จะกระทำกับหน้ากรวยควบคุมซึ่งผ่านน้ำมันมาจากช่องนำน้ำมัน (Pilot) ของลิ้นควบคุมความดัน

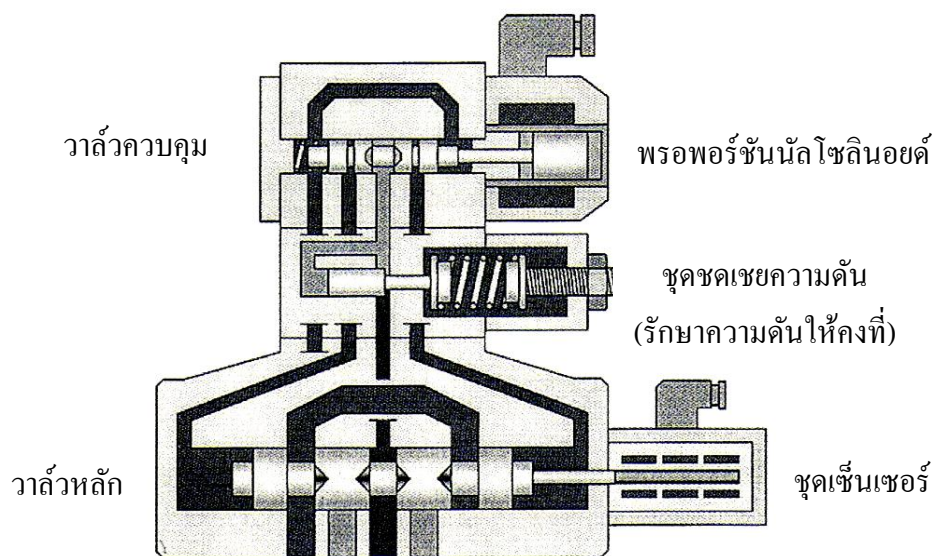
โดยพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะออกแรงดันในทิศทางตรงข้าม ซึ่งการปรับค่าขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าโซลินอยด์ กล่าวคือ กรวยน้ำมันจะยังคงปิดช่องน้ำมัน T อยู่ตลอดจนกว่าแรงที่เกิดจากโซลินอยด์มีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดจากความดันน้ำมัน น้ำมันจึงจะถูกระบายออกที่ช่อง T ได้

- พอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง ซึ่งเป็นวาล์วสำหรับควบคุมทิศทาง มีลักษณะของการออกแบบคล้ายคลึงกับวาล์ว 4/3 ทัวไป (ตำแหน่งกลางปกติปิด) แต่จะมีลักษณะพิเศษสามารถปรับอัตราการไหลได้ในภาพที่ 2.22 เป็นการแสดงโครงสร้างและหลักการทำงาน



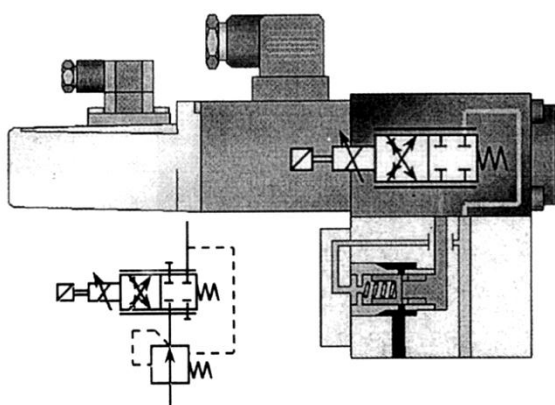
ภาพที่ 2.22 พอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางชนิดควบคุมโดยตรง

จากภาพที่ 2.22 หากสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับศูนย์แล้วจะอยู่ตรงกลางด้วยแรงของสปริงทั้งสองด้านแต่หากเราค่อยๆ จ่ายสัญญาณไฟเข้าไปยังสัญญาณไฟโซลินอยด์ด้านขวามือก็จะทำให้ลิ้นวาล์วค่อยๆ เลื่อนไปทางซ้ายมือ น้ำมันจากช่อง P จะต่อกับช่อง B และ A จะต่อกับ T และหากค่อยๆ จ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ด้านซ้ายมือ ก็จะทำให้ลิ้นวาล์วค่อยๆ เลื่อนไปทางขวามือ น้ำมันจากช่อง P จะต่อกับ A และ B จะต่อกับ T ดังที่ได้อธิบายมา จะเห็นว่าพอร์ชันนัลวาล์วแบบนี้ นอกจากการควบคุมทิศทางน้ำมันได้แล้วยังสามารถควบคุมการไหลของน้ำมันได้อีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปยังโซลินอยด์ในการควบคุม ที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูงสุด ทางด้านโซลินอยด์จะต้องมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนที่ติดตั้งร่วมอยู่ด้วย นอกจากนั้นหากเป็นระบบไฮดรอลิกขนาดใหญ่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานทางไฟฟ้า การทำงานของวาล์วต้องเป็นชนิดที่สั่งงานทางอ้อมซึ่งการตรวจจับตำแหน่งอาจจะอยู่ที่วาล์วลัก หรืออาจใช้เซ็นเซอร์ชุดก็ได้เช่นกัน ในภาพที่ 2.23 เป็นอีกตัวหนึ่งของพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง



ภาพที่ 2.23 พรอพอร์ชันนัลวาล์วชนิดสั่งงานทางอ้อมและมีเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่ง

- พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหล ซึ่งในปัจจุบันวาล์วในกลุ่มนี้จะไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากว่าพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางการไหลสามารถควบคุมการไหลได้ภายในตัวของมันเอง อย่างไรก็ตามสำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหล อัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับ การเปิดของลิ้นปะควบคุม (ซึ่งถูกกำหนดมาจากสัญญาณไฟฟ้าควบคุม) และความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ที่ตัววาล์ว ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมเพียงอย่างเดียว จึงจำเป็นต้องรักษาความดันตกคร่อมให้มีค่าคงที่ไว้ ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีเช่นเพิ่มส่วนสร้างระดับความสมดุลของความดันรวมไว้ในตัววาล์ว

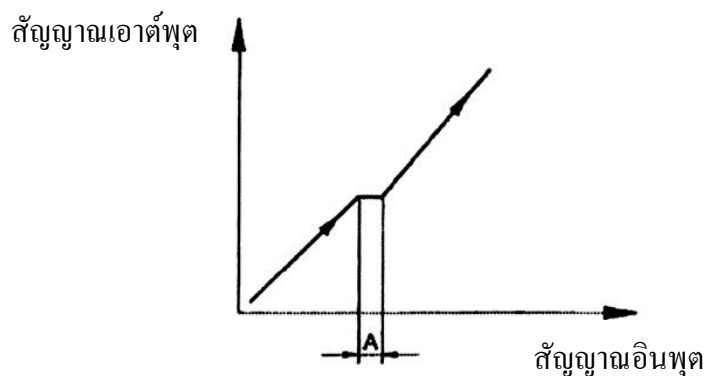


ภาพที่ 2.24 พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหลแบบมีชุดรักษาระดับความดัน

2.4.1.3 คุณสมบัติพรอพอร์ชันนัลลาล์ว นั้น มีความเป็นไปได้น้อยมากที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตซึ่งในที่นี้คือ ค่ากระแสไฟฟ้าและตัวแปรเอาต์พุต ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของแรงดันหรืออัตราไหลจะเกิดเป็นกราฟเชิงเส้น ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายๆประการด้วยกัน เช่น ความเสียดทานของสปูล รูปร่างของบ่า ลูกสูบสปูล การเหลื่อมของบ่าลูกสูบสปูล (Overlap) แรงต้านทานจากสปริง และผลจากการสร้างอำนาจแม่เหล็ก

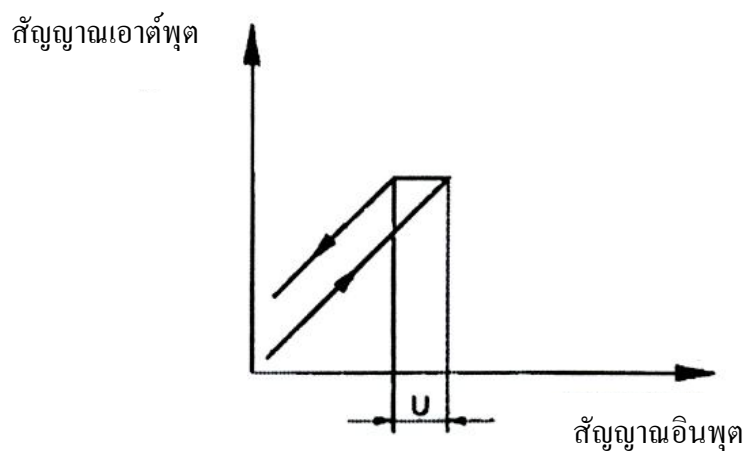
- พฤติกรรมของพรอพอร์ชันนัลลาล์ว นั้นจะมีการเบี่ยงเบนจากพฤติกรรมในอุดมคติของพรอพอร์ชันนัลลาล์วไม่ว่าจะเกิดขึ้นจากเหตุผลก็ตาม จะทำให้เกิดพฤติกรรมต่างๆ ขึ้นกับพรอพอร์ชันนัลลาล์วดังนี้

ก. ความเร็วในการตอบสนอง (Response Sensitivity) ในกรณีที่กระแสไฟฟ้า ไหลผ่านทางโซลินอยด์โดยแกนอาร์เมเจอร์จะเคลื่อนที่ และทันทีที่แกนกระแสไฟฟ้า คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้แกนอาร์เมเจอร์จะหยุดการเคลื่อนที่ หากต้องการให้แกนอาร์เมเจอร์เริ่มมีการเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางเดิม ก็จะต้องมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย การเพิ่มค่าในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้เรียกว่า “ความเร็วในการตอบสนอง



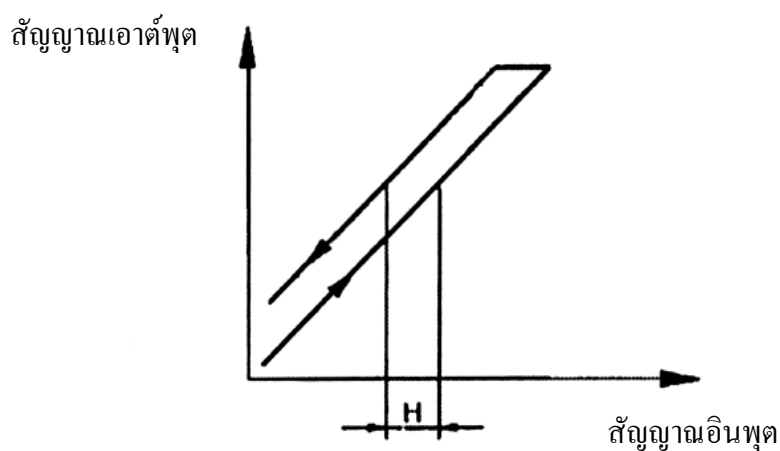
ภาพที่ 2.25 กราฟแสดงความเร็วในการตอบสนอง

ข. ช่วงของการผันกลับ (Inversion Range) พฤติกรรมดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีของความไวในการตอบสนอง แต่จะต่างกันตรงที่เป็นการให้แกนอาร์เมเจอร์เคลื่อนที่กลับในทิศทางการจ่ายไฟฟ้าลงจากตอนแรก ซึ่งช่วงระยะความแตกต่างที่เกิดขึ้นของเส้นกราฟนี้เรียกว่า “ช่วงของการผันกลับ”



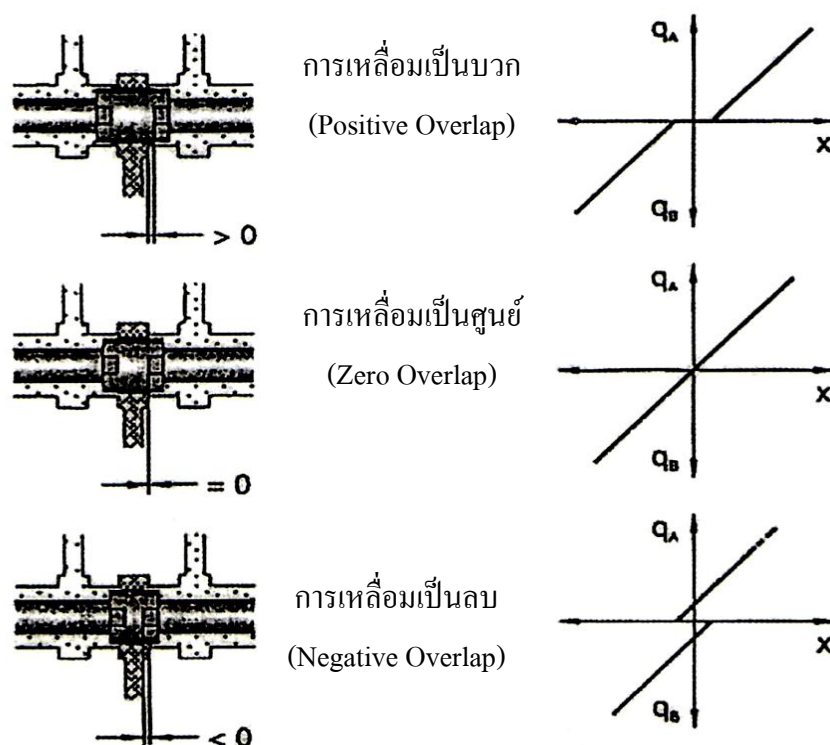
ภาพที่ 2.26 กราฟแสดงช่วงของการผันกลับ

ก. ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ในกรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพรอพอร์ชันนัลวาล์วตลอดย่านที่ถูกกำหนดไว้ ทั้งตอนที่เพิ่มขึ้นและลดลงแม้ว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าอินพุตเป็นค่าเดียวกันก็ตามแต่สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าที่แตกต่างกัน และช่วงระยะความแตกต่างที่มากที่สุดเรียกว่า “ฮิสเทอรีซิส”



ภาพที่ 2.27 กราฟแสดงฮิสเทอรีซิส

ง. การเหลื่อมของลิ้นวาล์ว (Overlap) การเหลื่อมกันของลิ้นวาล์ว หรือสปลูกับช่องทางของน้ำมันที่ตัวเลื่อนของวาล์ว จะมีผลต่ออัตราการไหลต่อสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ควบคุม และในลำดับต่อไปนี้จะกล่าวถึงการเหลื่อมที่เกิดขึ้นในพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง

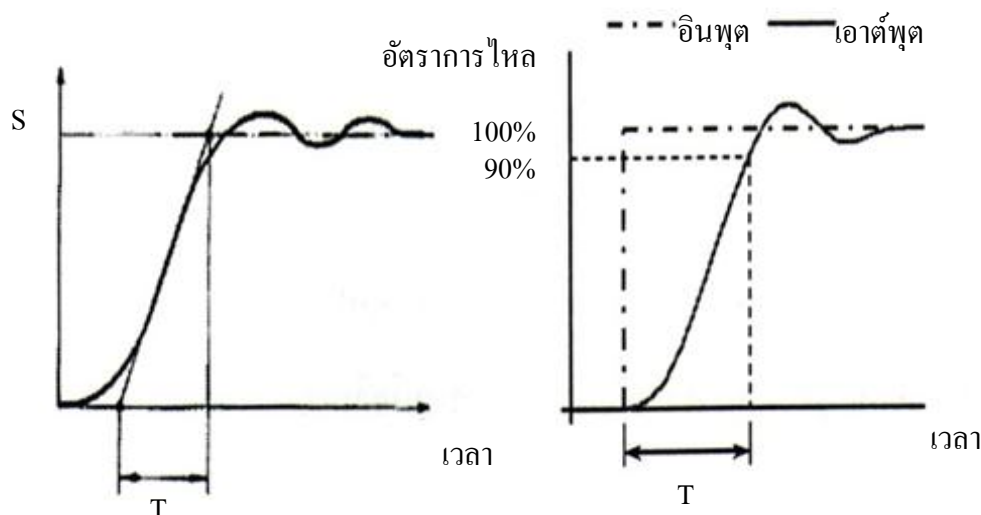


ภาพที่ 2.28 การเหลื่อมและอัตราการไหล / สัญญาณไฟฟ้า

จากภาพที่ 2.28 จะพบการเหลื่อมมีสามรูปแบบด้วยกันคือการเหลื่อมเป็นบวก (Positive) หมายถึงความยาวของสปูลจะมีค่ามากกว่าช่องทางของน้ำมัน ดังนั้นในสภาพปกติน้ำมันจึงไม่สามารถรั่วไหลออกไปที่ช่องน้ำมันได้ แต่ตอนสั่งงานจะต้องมีสัญญาณช่วงหนึ่งที่ใช้ให้สปูลเลื่อนพ้นระยะดังกล่าว ซึ่งช่วงนี้อาจเรียกว่า “Dead Band” โครงสร้างของวาล์วโดยส่วนใหญ่ มักมีการเหลื่อมเป็นแบบบวกนี้ ส่วนวาล์วที่มีการเหลื่อมเป็น (Negative) ไม่ค่อยพบเห็นเนื่องจากในสภาพปกติจะมีน้ำมันรั่วไหลออกที่ช่องน้ำมัน ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ทำงานที่ต่อร่วมอยู่ได้ และสำหรับการเหลื่อมที่เป็นศูนย์จริงๆ แล้วการเหลื่อมแบบนี้เป็นสิ่งที่ต้องการแต่ในทางปฏิบัติ เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากและราคาแพง (มีการใช้เซอร์โววาล์ว)

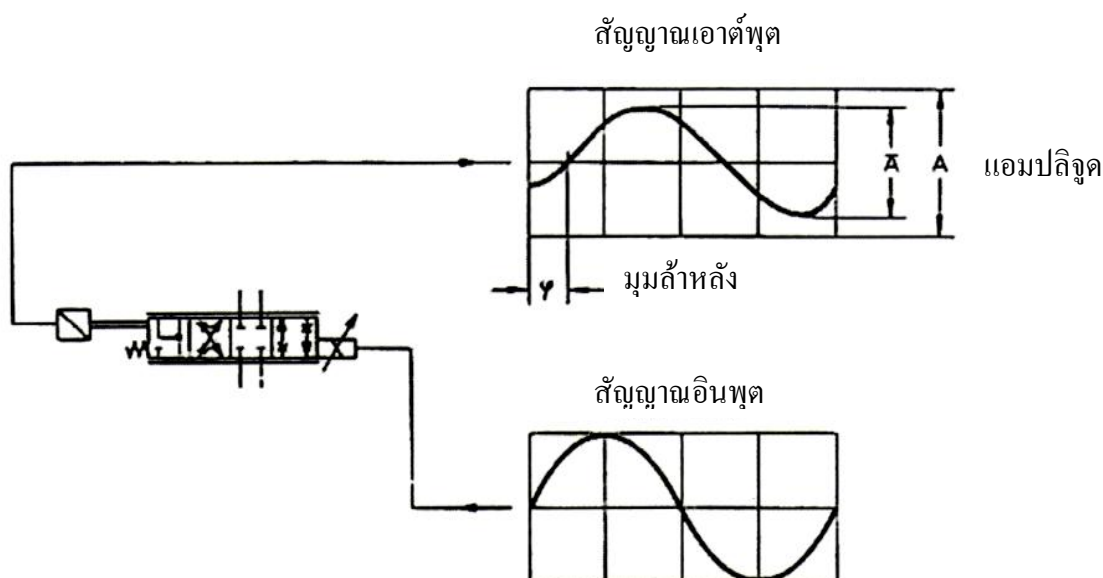
- คุณสมบัติทางพลวัตหรือไดนามิก (Dynamic) ในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการกล่าวถึงค่าตัวแปร คุณสมบัติของพรอพอร์ชันนัลวาล์วในสภาวะคงตัว (Steady State) ในการควบคุมนอกจากจะพิจารณาค่าดังกล่าวแล้ว ค่าของคุณสมบัติขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง หรือคุณสมบัติทางไดนามิกก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน โดยทั่วไปความเร็วในการสั่งงานของพรอพอร์ชันนัลวาล์วสามารถพิจารณาได้จาก 2 ค่าคือ เวลาในการตอบสนอง (Response Time) และการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) เวลาในการตอบสนองทันทีที่ป้อนสัญญาณไปยังอินพุตไปยังโซลินอยด์จะทำให้สปูลมีการเคลื่อนตัว และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ไปตั้งแต่สปูลเริ่ม

เลื่อนตัว (น้ำมันเริ่มไหล) จนกระทั่งสิ้นสุดปลายตำแหน่งของการทำงาน (น้ำมันไหลคงที่สูงสุด)
 เวลาดังกล่าวนี้ก็คือ เวลาการตอบสนอง



ภาพที่ 2.29 เวลาในการตอบสนองการเลื่อนวาล์ว

เวลาในการตอบสนองการเลื่อนวาล์วแบบพรอพอร์ชันนัลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 มิลลิวินาที โดยทั้งนี้จะมีค่าเวลาในการตอบสนองที่แตกต่างกันไป โดยเฉพาะในกรณีของการป้อนสัญญาณที่เป็นบวกและเป็นลบ การตอบสนองความถี่ ในการวัดการตอบสนองความถี่ สามารถกระทำได้ โดยการป้อนสัญญาณควบคุมอินพุตแบบรูปคลื่นไซน์ แล้วใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จับสัญญาณเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตซึ่งได้จากการเลื่อนตัวของสปูล



ภาพที่ 2.30 การตอบสนองความถี่ของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

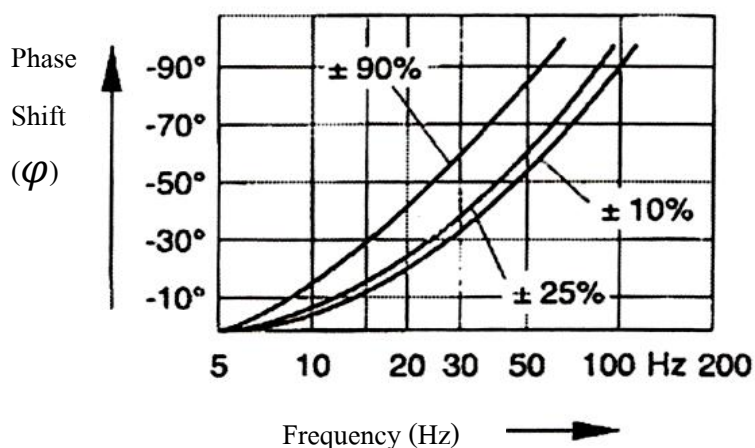
การตอบสนองความถี่ในวาล์วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ 2 ตัวแปรที่สำคัญ คือการตอบสนองแอมพลิจูด (Amplitude Response) และการตอบสนองเฟส (Phase Response) การตอบสนองแอมพลิจูด กรณีที่ความถี่ของสัญญาณควบคุมต่ำ แอมพลิจูดในการแกว่งของสปูลจะมีค่าใกล้เคียงกับของสัญญาณควบคุม แต่ในกรณีที่เพิ่มความถี่ของสัญญาณควบคุมมากขึ้นมีผลทำให้ สปูลของวาล์วไม่สามารถเคลื่อนที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ทันส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดมีขนาดน้อยลง การตอบสนองแอมพลิจูดที่ความถี่ใดๆ โดยปกติมีหน่วยเป็น dB ซึ่งได้มาจาก

$$dB = 20 \times \log \frac{A_o}{A} \quad (2.3)$$

โดยที่ A_o หมายถึงแอมพลิจูดเอาต์พุตในที่นี้คือการเคลื่อนตัวของสปูล (dB)

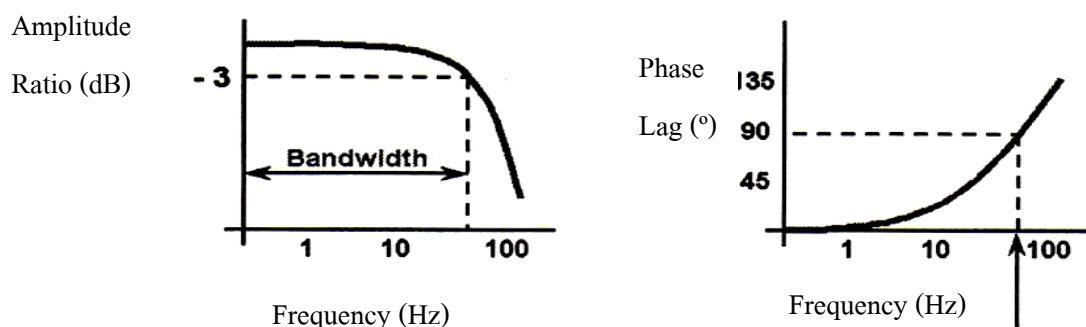
A หมายถึงแอมพลิจูดอินพุตในที่นี้คือสัญญาณควบคุม โวลต์อินพุต (dB)

การตอบสนองเฟส ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณเอาต์พุตหรือในที่นี้คือการเคลื่อนตัวของ สปูลไม่สามารถตามสัญญาณอินพุตสั่งงานได้ทันทำให้เกิดการการล่าหลังกดังกล่าว โดยทั่วไปจะถูกกำหนดเป็นองศาแสดงในภาพที่ 2.31



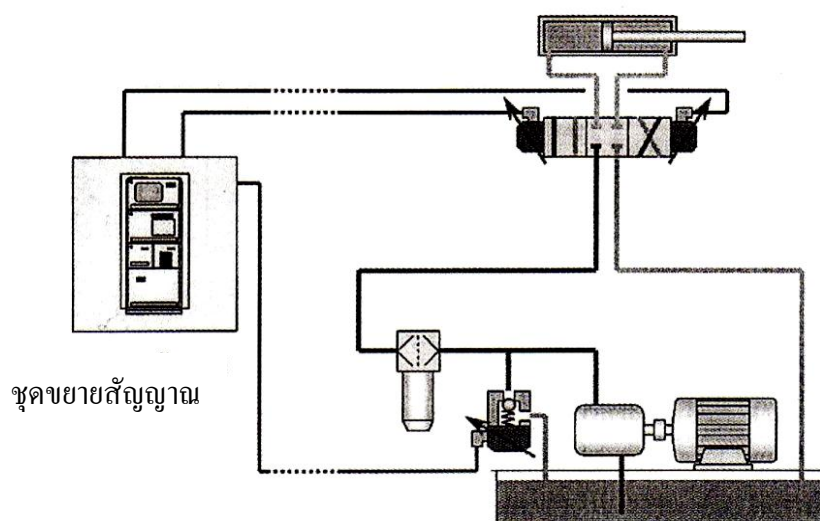
ภาพที่ 2.31 กราฟแสดงความตอบสนอง

ความถี่วิกฤติ (Critical Frequency) ความถี่วิกฤติหมายถึง ความถี่ที่มีการตอบสนองแอมพลิจูดตกลงเป็น 70.7% หรือ -3dB โดยส่วนใหญ่ค่าความถี่ของพรอพอร์ชันนัลวาล์วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 100 เฮิรตซ์



ภาพที่ 2.32 ความถี่วิกฤตที่จำกัดการทำงาน

2.4.2 ชุดขยายสัญญาณ ดังที่ได้ทราบมาตั้งแต่ตอนต้นแล้วว่า โครงสร้างของระบบพอร์พอร์ชันนัลไฮดรอลิกจำเป็นที่จะต้องมียูนิตประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ ชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์ว (Valve Amplifier) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของพอร์พอร์ชันนัลวาล์วชนิดต่างๆ ให้ทำงานได้ตามความต้องการ

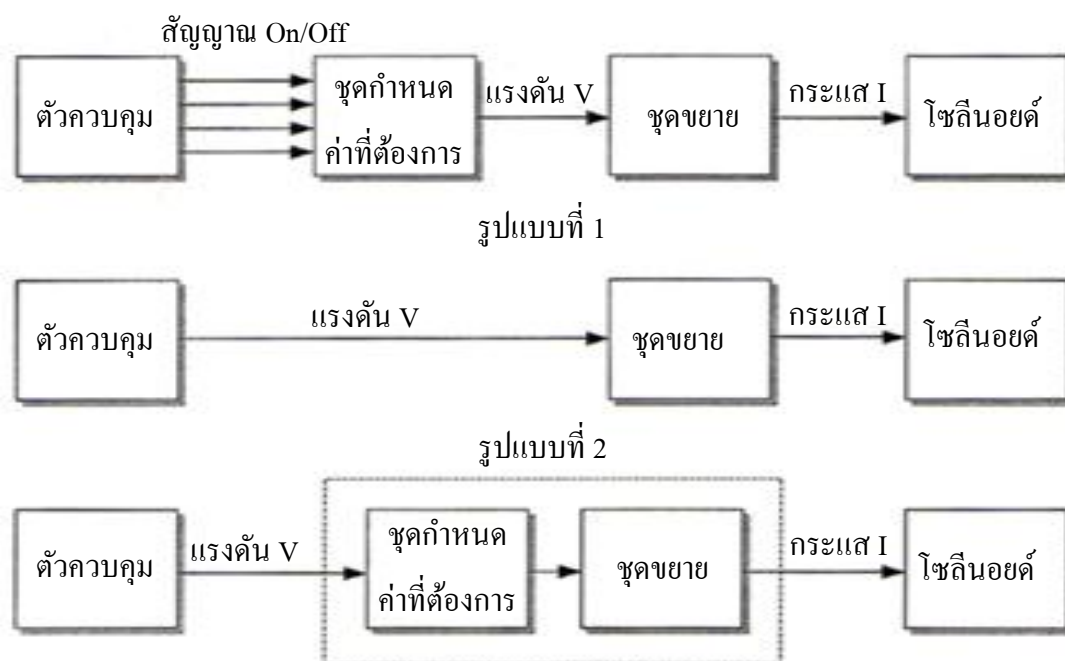


ภาพที่ 2.33 ชุดขยายสัญญาณให้พอร์พอร์ชันนัลวาล์ว

โดยทั่วไปสัญญาณควบคุมสำหรับพอร์พอร์ชันนัลวาล์วนั้น เกิดจากการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือในที่นี้ก็คือ ชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วซึ่งขยายสัญญาณดังกล่าวจะทำหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ คือ กำหนดค่าปรับตั้งที่ต้องการ (Set-Point Value Specification) และขยายสัญญาณเพื่อไปควบคุมพอร์พอร์ชันนัลวาล์วให้ทำงาน

2.4.2.1 รูปแบบของชุดขยายสัญญาณ สำหรับชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์ว โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทที่ประกอบรวมอยู่กับวาล์ว (Built in Integrated Electronics)

และประเภทที่แยกออกจากตัววาล์วเป็นลักษณะโมดูลหรือการ์ด (Card) อย่างไร ก็ตามเมื่อนำมาควบคุมร่วมกันเป็นระบบพอร์พอร์ชันนัลไฮดรอลิกจะมีรูปแบบสัญญาณดังนี้



ภาพที่ 2.34 รูปแบบของการส่งสัญญาณในการควบคุมพอร์พอร์ชันนัลโซลินอยด์

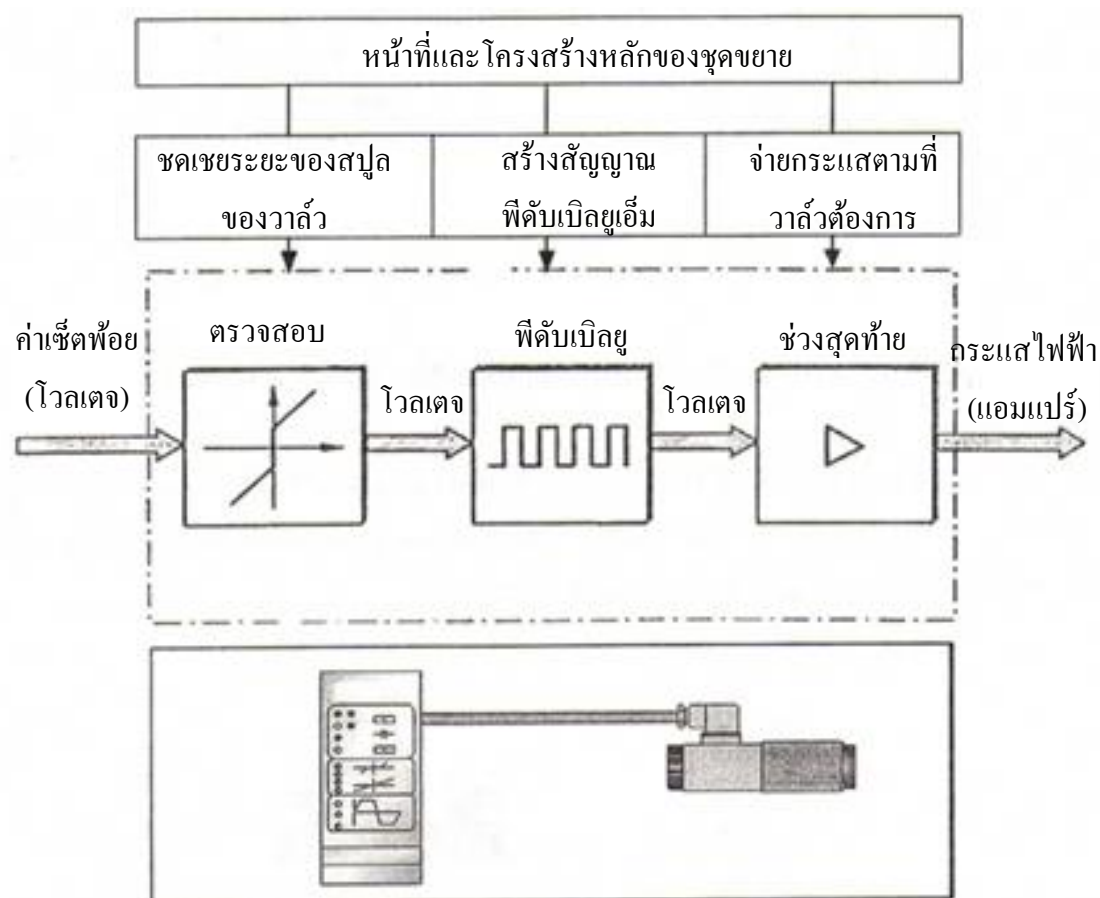
สำหรับรูปแบบที่ 1 ของภาพที่ 2.34 ตัวควบคุมจะให้สัญญาณ แบบเปิด/ปิด เท่านั้น เช่น พีแอลซี (Programmable Logic Control) , ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งในกรณีนี้กำหนดค่าที่ต้องการเซตพอยท์ (Set Point) กับชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วจะแยกออกจากกัน ส่วนรูปแบบที่ 2 ตัวควบคุมจะให้สัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่มีการปรับตั้งค่าที่ต้องการ ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะมีเฉพาะตัวขยายสัญญาณให้กับวาล์วเท่านั้น และในรูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบผสมและนิยมใช้กันมาก เนื่องจากตัวควบคุมระบุค่าสัญญาณ โดยเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นจึงมีการรวมเอาชุดกำหนดค่าที่ต้องการและชุดขยายสัญญาณมาไว้เป็นชุดเดียวกัน

2.4.2.2 หน้าที่และโครงสร้างของชุดขยาย หน้าที่และโครงสร้างหลักของชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่งของสปูล โดยทั่วไปมี 3 ส่วนคือ

- ส่วนที่สร้างการชดเชยระยะในการเคลื่อนตัวของสปูล
- ส่วนที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ พีคดับเบิลยูเอ็ม
- ส่วนที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าตามที่วาล์วต้องการซึ่งจะมีอยู่หลายค่าและโดย

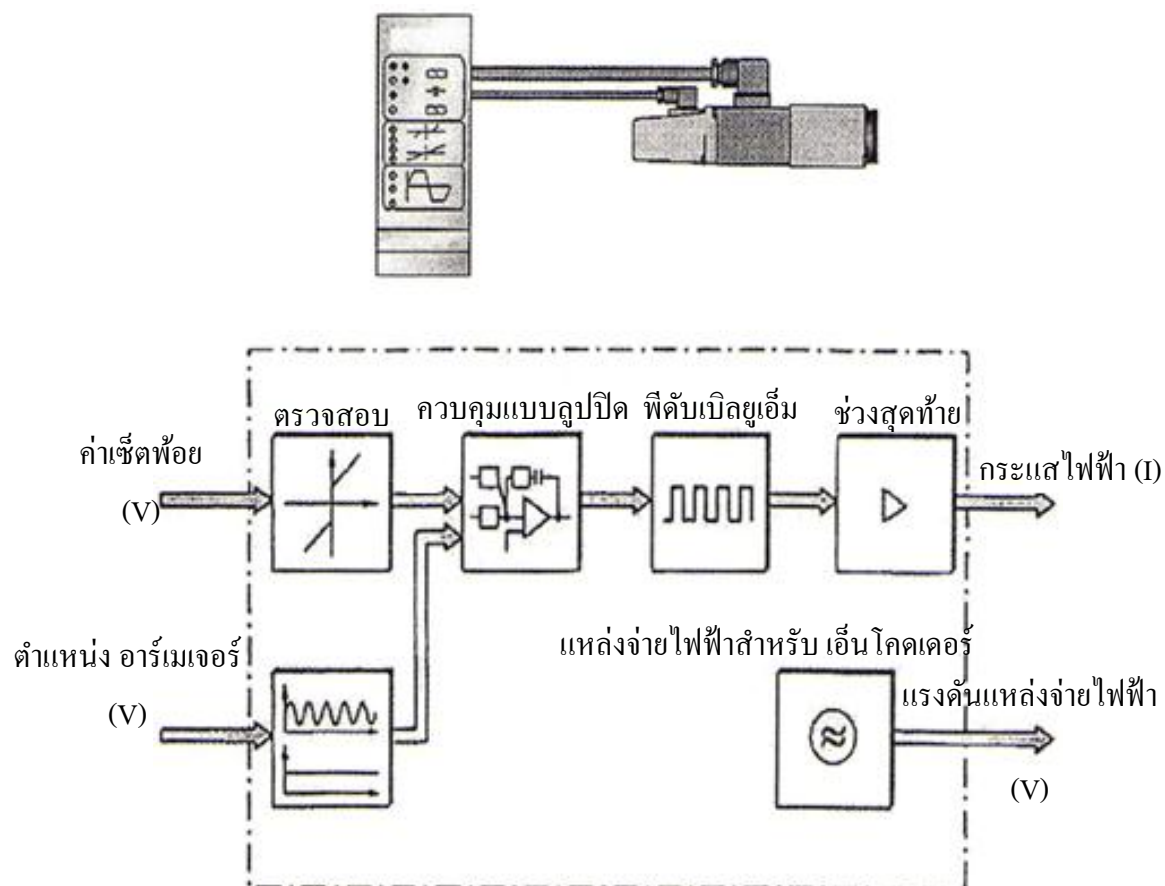
ปกติจะมีค่า 0-800 มิลลิแอมป์ , 0 - 1600 มิลลิแอมป์ หรือ 0 - 2400 มิลลิแอมป์

Setpoint Value

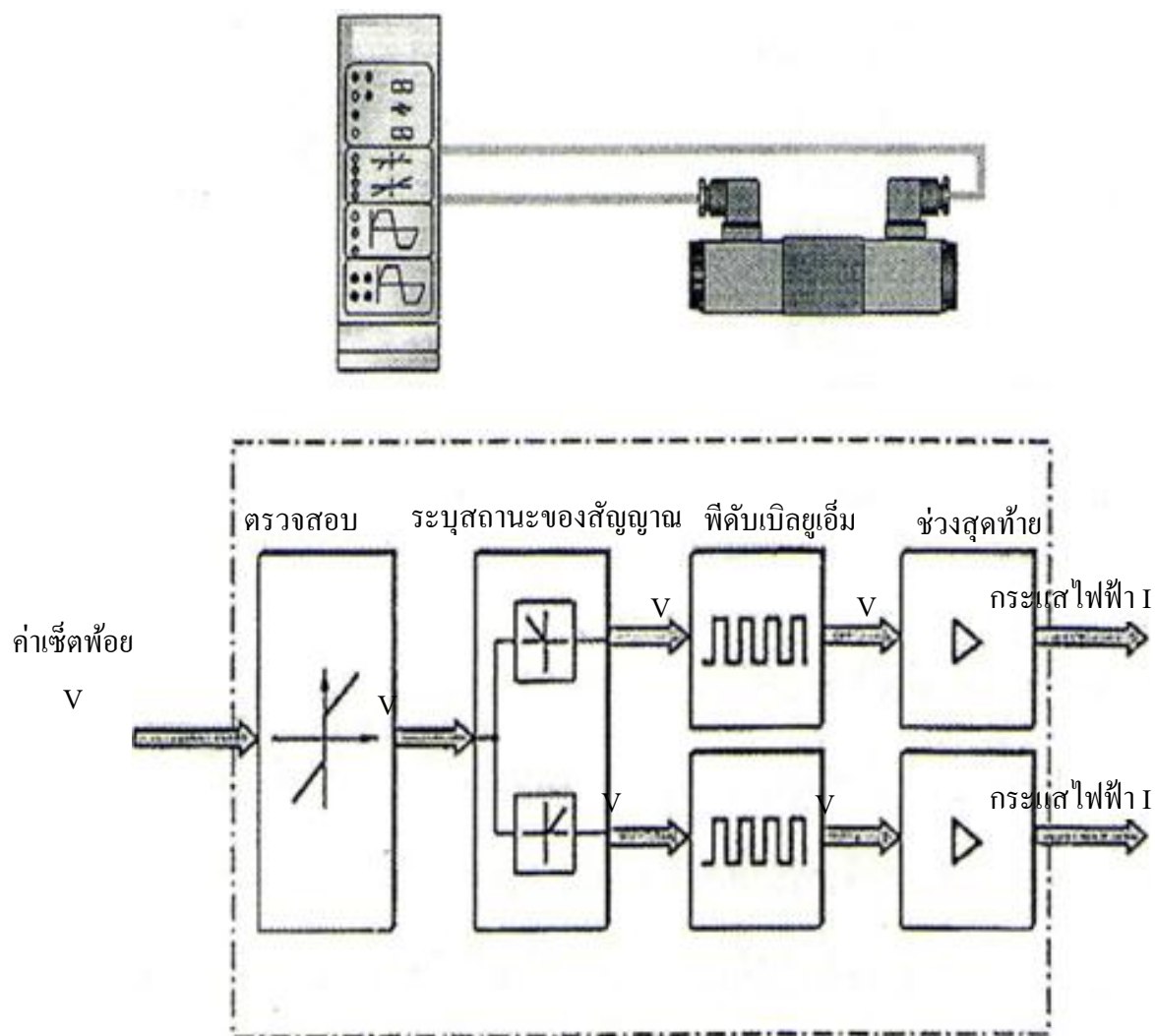


ภาพที่ 2.35 โครงสร้างชุดควบคุมขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่งของสปลู

ในกรณีที่พรอพอร์ชันนัลวาล์วเป็นชนิดที่มี การควบคุมตำแหน่งของสปลูซึ่งจะมีเซ็นเซอร์ และการควบคุมแบบวงจรรปิด (Closed Loop Control) ประกอบรวมอยู่ในชุดขยายนั้นจำเป็นต้องมี ฟังก์ชันเพิ่มเติมอื่นๆ เข้ามาด้วยดังนี้ คือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซ็นเซอร์ วัดตำแหน่งของสปลู และตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จาก เซ็นเซอร์ รวมทั้งตัวควบคุมแบบวงจรรปิดซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าที่กำหนดไว้ กับตำแหน่ง ของสปลูให้เป็นไปตามที่ต้องการ

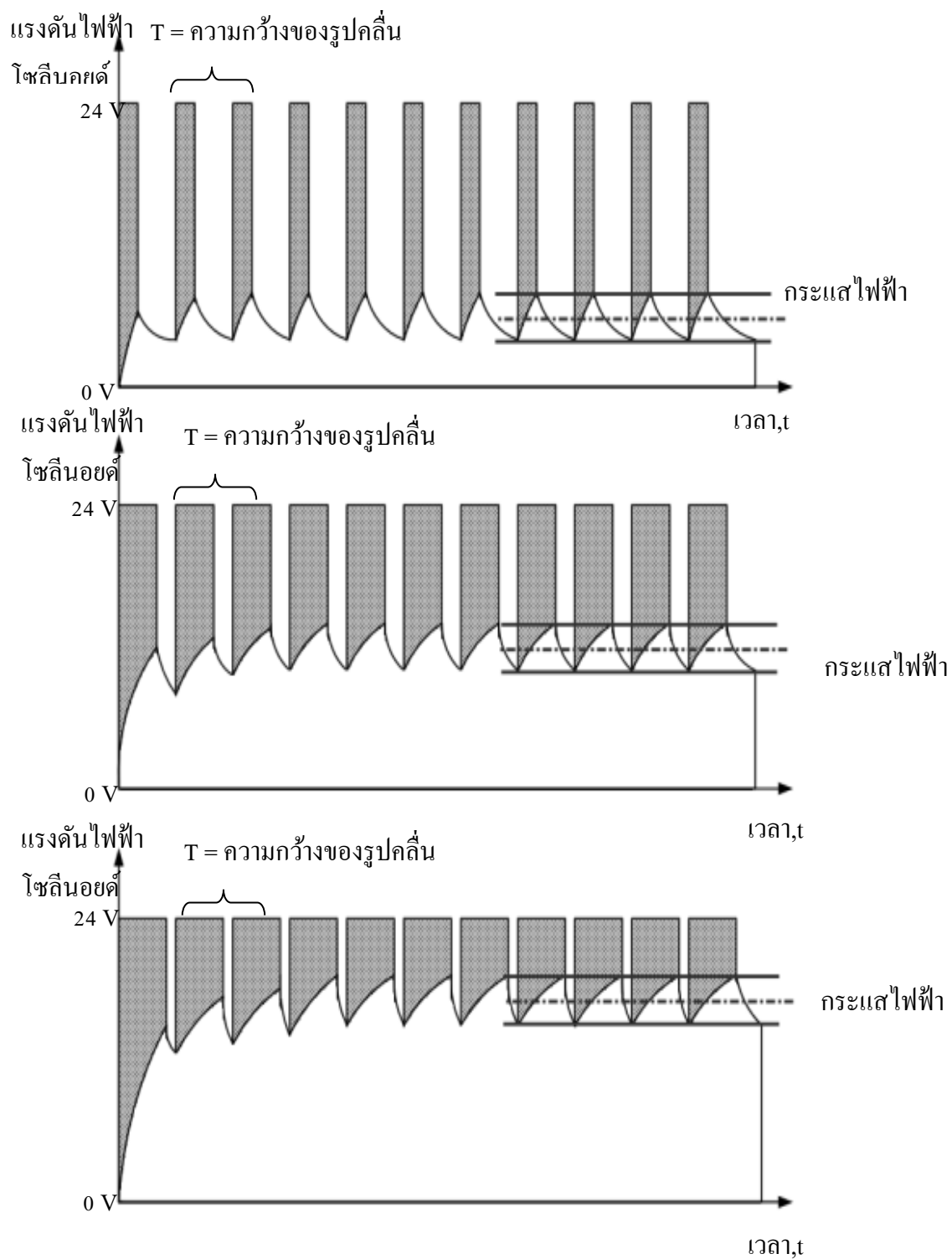


ภาพที่ 2.36 โครงสร้างชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่มีการควบคุมตำแหน่งของสปูล
 สำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วชนิดมีโซลินอยด์สองข้างนั้น จำเป็นต้องใช้ชุดขยายแบบ
 2 ช่องสัญญาณ โดยที่ชุดขยายดังกล่าวจะมีการระบุสถานะของสัญญาณควบคุม (Sign Recognition)
 เพื่อนำไปกำหนดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ด้านใดด้านหนึ่งให้ทำงานตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.37 ชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วแบบ 2 ช่องสัญญาณ

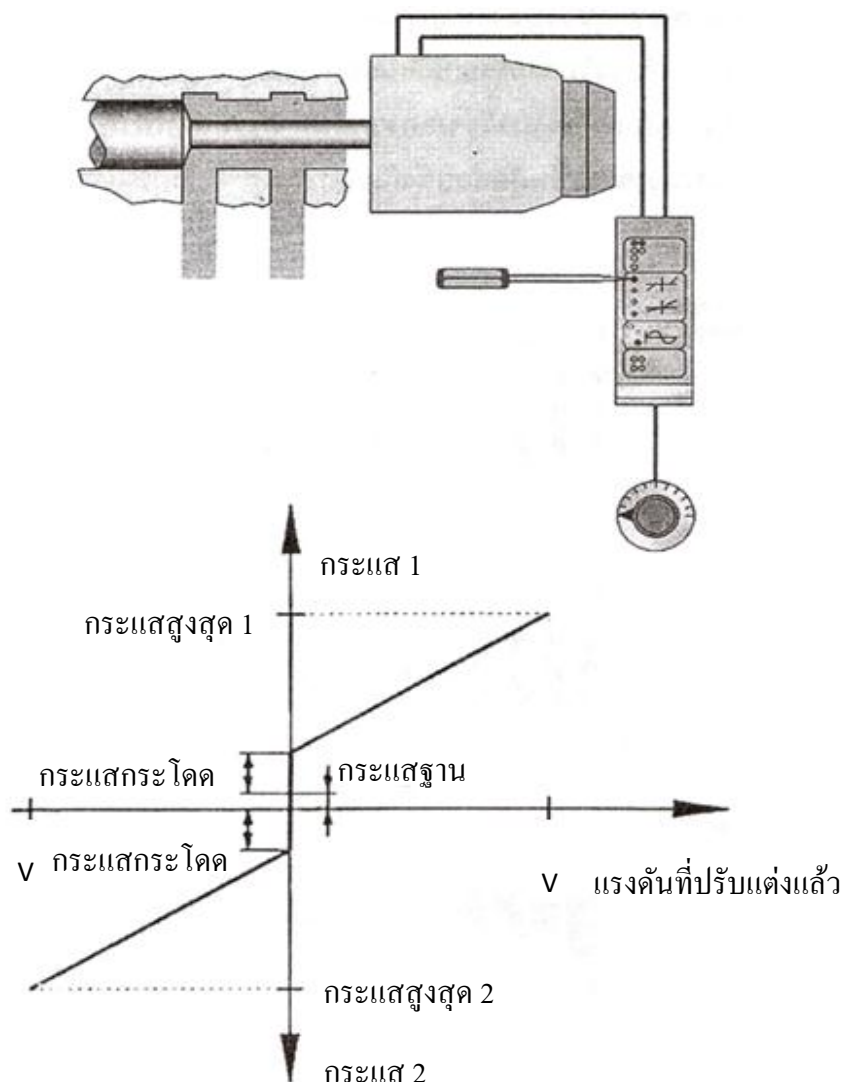
การมอดูเลตความกว้างพัลส์ หรือการผสมสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีการปรับความกว้างได้แสดงในภาพที่ 2.38 หากสังเกตก็จะพบว่าในช่วงปลายสัญญาณพัลส์กระทำกับโซลินอยด์เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำในขดลวด กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เร็วเท่ากับแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าใช้งานจริง แล้วนอกจากนั้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวโซลินอยด์ และแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตของชุดขยายสัญญาณจะเป็นสัดส่วนซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 2.38 การมอดูเลตความกว้างพัลส์

จากวงจรพีคเบิ้ลยูเอ็มนี้เองที่ทำให้เกิด ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นตัว (Dither Frequency) ซึ่งความถี่ดังกล่าวนี้จะทำให้สเปก มีการสั่นตัวตลอดเวลาทั้งนี้เพื่อลดแรงเสียดทานสถิตส่งผลให้ ความเร็วในการตอบสนองดีขึ้น รวมทั้งเป็นการลดช่วงเวลาของการผันกลับและฮิสเทอรีซิสของ วาล์วลง โดยทั่วไปความถี่นี้จะใช้อยู่ที่ประมาณ 50-100 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูดสูงสุด ประมาณ 30% ของกระแสปกติ

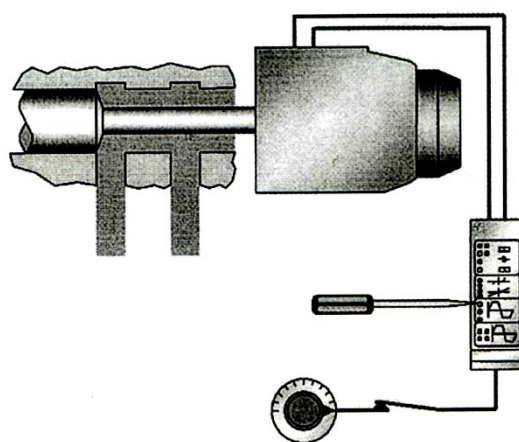
2.4.2.3 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดขยายสัญญาณ ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ ของชุดขยายสัญญาณสามารถทำได้ ถึงแม้ว่าจะนำไปใช้กับการขับวาล์วต่างขนาดกันนอกจากนั้น ยังสามารถชดเชยปัญหาอันเนื่องมาจากค่าระยะการเหลื่อมของสเปกได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.39 การปรับค่าพารามิเตอร์ของชุดขยายสัญญาณ

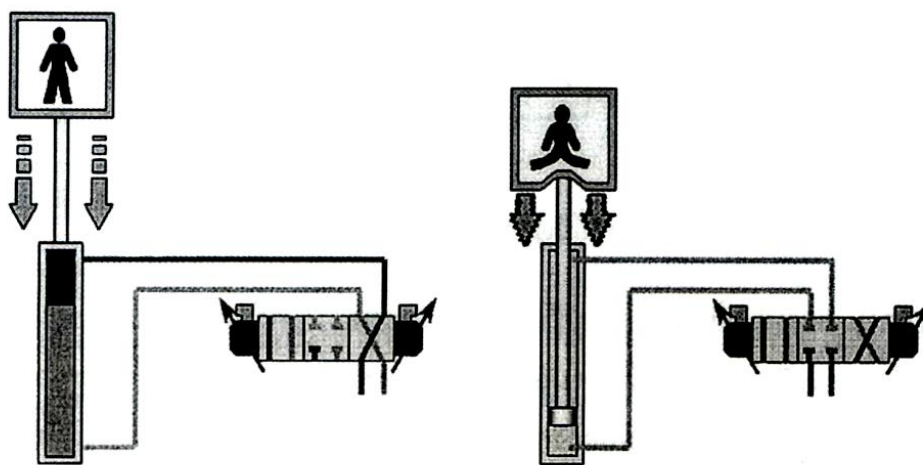
ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแปร ที่ควรทราบได้แก่กระแสฐานเนื่องจากในกระบวนการผลิตวาล์วพบว่าตำแหน่งของสปูลวาล์วจะไม่อยู่ตรงกลางพอดี เมื่อยังไม่รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ทั้งสองด้าน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับชดเชยระยะดังกล่าวด้วยค่ากระแสฐาน (โดยจะปรับได้ที่ Offset Setting) กระแสสูงสุด (Maximum Current) โดยทั่วไปการปรับตั้งค่า กระแสสูงสุดจะหมายถึงการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า ตามที่วาล์วต้องการสูงสุด เช่น 800 มิลลิแอมป์ หรือ 1600 มิลลิแอมป์ กระแสกระโดด (Jump Current) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ปรับเพื่อชดเชยผลจากการเสียดสีกันของสปูล ซึ่งค่ากระแสดังกล่าวโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1-20% ของกระแสปกติหรือกระแสสูงสุดที่ต้องการ(สามารถปรับตั้งค่าได้ที่ Signal Characterizer)

2.4.3 ชุดสร้างสัญญาณแรมป์จากภาพที่ 2.40 ส่วนประกอบของระบบพรอพรอร์ชันนัลไฮดรอลิก ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึง พรอพรอร์ชันนัลวาล์วชุดขยายสัญญาณ และในลำดับต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึง ชุดสร้างสัญญาณแรมป์ (Ramp Generator) ซึ่งโดยทั่วไปในปัจจุบันชุดดังกล่าวจะรวมอยู่กับชุดขยายเสียงเป็นส่วนใหญ่ หากถามว่าชุดสร้างสัญญาณแรมป์นี้หน้าที่ทำอะไร

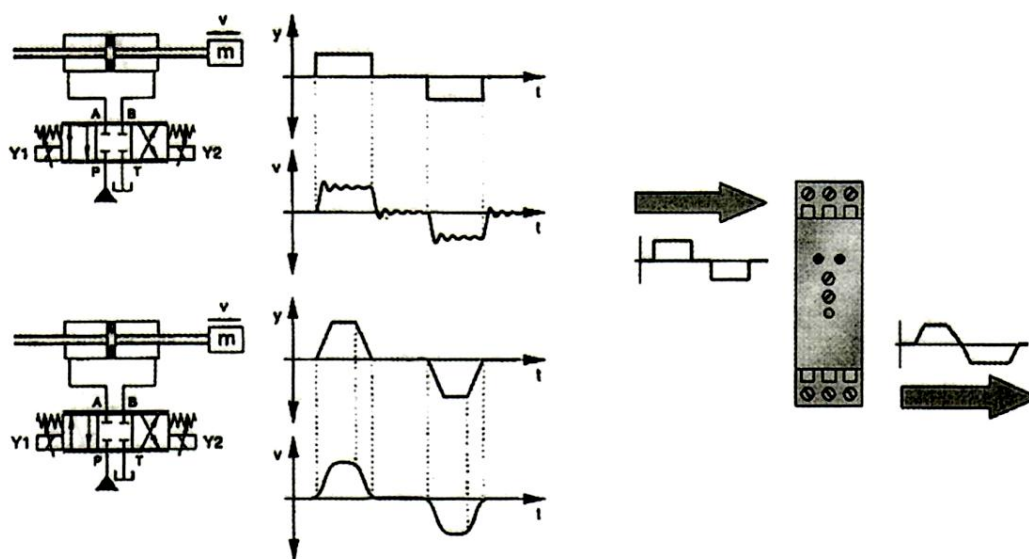


ภาพที่ 2.40 ชุดขยายสัญญาณที่มีการรวมเอาชุดสร้างสัญญาณแรมป์เข้าไว้ด้วยกัน

มีความเป็นไปได้ที่จะปรับตั้งค่าการปิด/เปิดของวาล์ว และความเร็วที่แตกต่างกัน โดยปรับตั้งการควบคุมในพรอพรอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางให้ “ปิดวาล์ว” กับ “เปิดวาล์ว” แต่การกระทำดังกล่าวจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการกระตุกของความเร็ว และเกิดการสั่นขึ้นที่กระบอกสูบเพื่อให้การเคลื่อนที่ที่มีความราบเรียบขึ้น จึงได้มีการปรับความชันของสัญญาณ และสัญญาณดังกล่าวนี้เกิดจากชุดสร้างสัญญาณแรมป์นั่นเอง

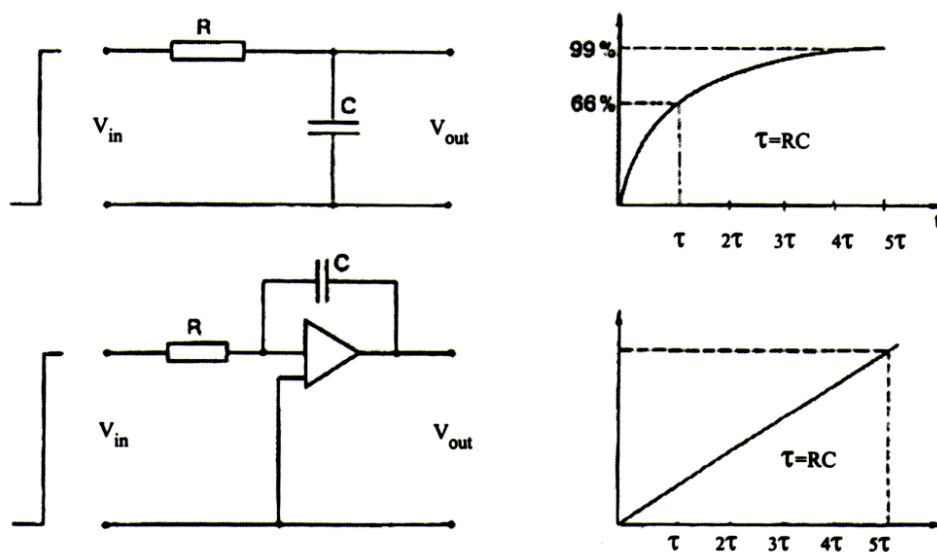


ภาพที่ 2.41 การเปิดปิดวาล์วแบบทันทีทันใดทำให้เกิดการกระตุกอันเนื่องมาจากความดัน



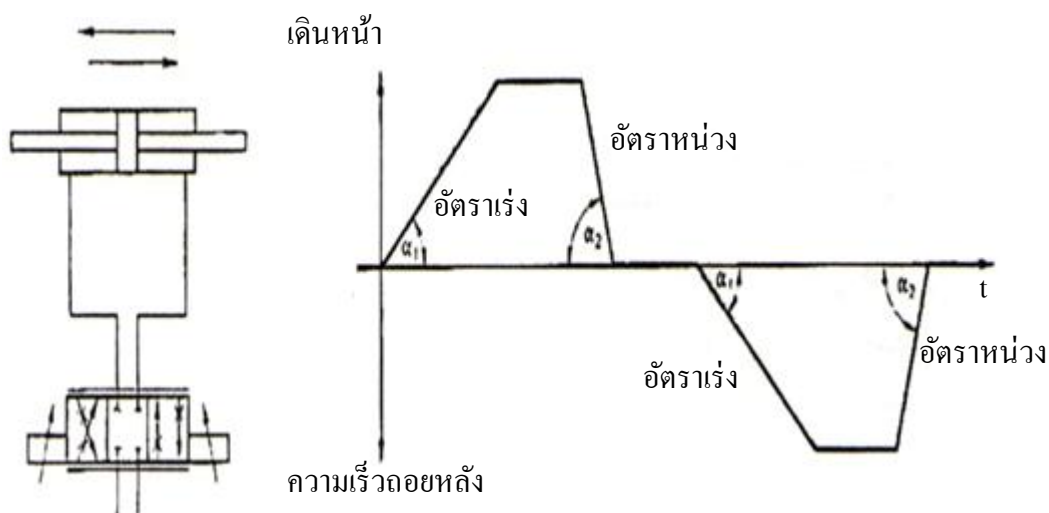
ภาพที่ 2.42 การแก้ปัญหาการกระตุก และล้นด้วยการปรับตั้งค่าแรมป์ หรือความชัน

หลักการทำงานพื้นฐานของตัวสร้างสัญญาณแรมป์คือ การใช้ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ที่อาศัยการเก็บประจุ ดังแสดงในภาพที่ 2.43 หรือหากต้องการความเป็นเชิงเส้นมากขึ้นก็นำมาใช้ร่วมกับออปแอมป์ (Op-Amp) และวงจรดังกล่าว อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า วงจรอินทิเกรต (Integral Circuit) อย่างไรก็ตามจากวงจรทั้งสองจะเห็นว่า ค่าความชันของระดับแรงดันจะขึ้นอยู่กับค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มหรือลดความชันของสัญญาณก็ให้ปรับค่าความต้านทาน หรือค่าการเก็บประจุ

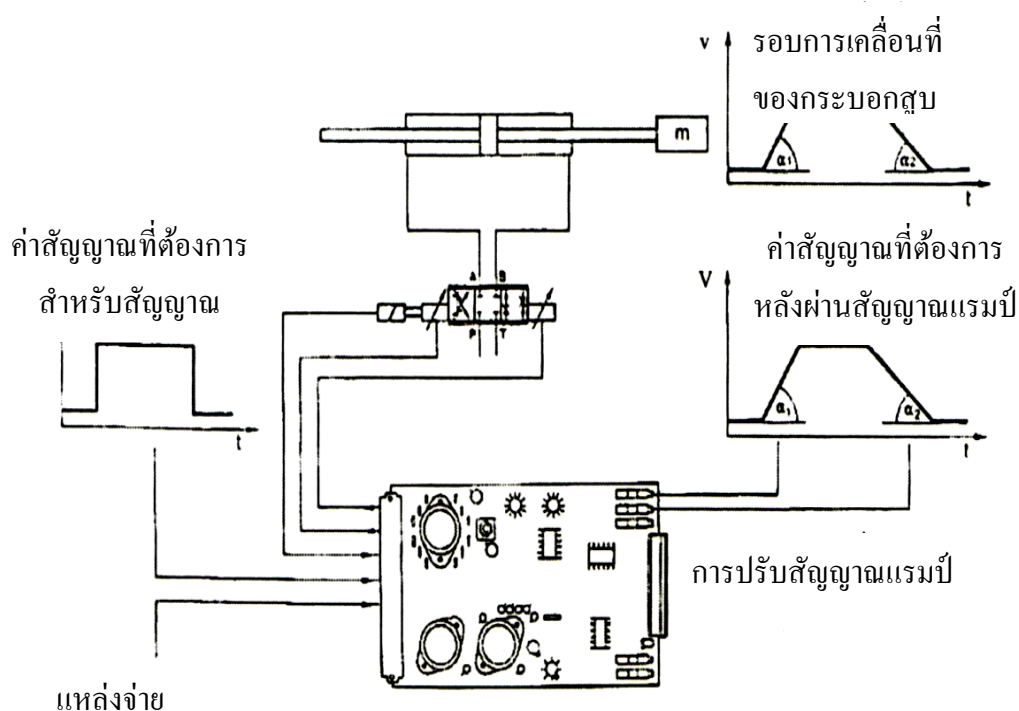


ภาพที่ 2.43 หลักการของตัวสร้างสัญญาณแรมป์

ในทางปฏิบัติหรือการนำสัญญาณแรมป์มาใช้งานในที่นี้ เราคงไม่ได้ให้ความสนใจในเรื่องของเวลา แต่จะสนใจในเรื่องของระดับความชัน (α) เป็นหลักเพราะมีผลต่ออัตราเร่งในการเปิด/ปิด ตัวของพรอพอร์ชันนัลวาล์วและจะส่งผลกระทบต่ออีกประการคือการทำงาน

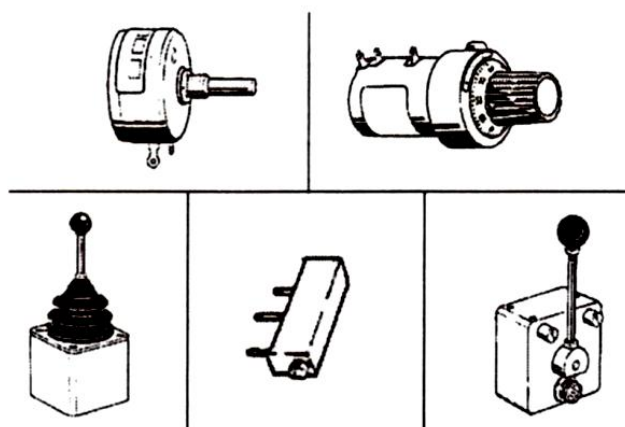


ภาพที่ 2.44 การปรับค่าความชันซึ่งมีผลต่ออัตราเร่งและอัตราหน่วง



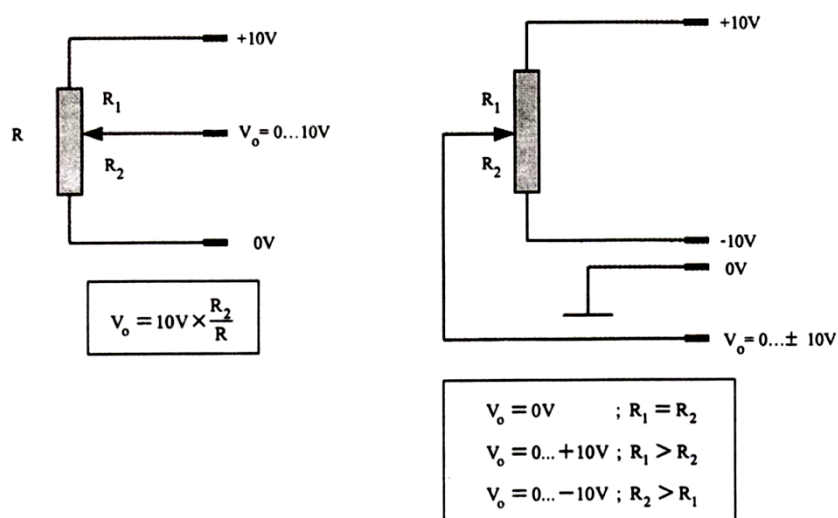
ภาพที่ 2.45 ตัวอย่างการปรับระดับความชันของสัญญาณรบกวนที่ชุดควบคุม

2.4.4 ชุดกำหนดค่าสัญญาณที่ต้องการจากส่วนประกอบหลัก ของระบบพอร์ซันนัลไฮดรอลิกในภาพที่ 2.51 ซึ่งเคยถึงไว้ในตอนต้น ในลำดับต่อไปนี้เราจะมาศึกษาถึงรายละเอียดของชุดกำหนดค่าสัญญาณที่ต้องการ (Set Point or Desired-Value) สำหรับเป็นตัวจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับชุดควบคุมพอร์ซันนัลแล้ว ชุดสร้างสัญญาณรบกวนปรับสัญญาณแล้วส่งต่อให้ชุดขยายโดยทั่วไปอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการปรับค่าของระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อป้อนให้กับชุดควบคุมพอร์ซันนัลแล้วมักใช้เป็น โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) หรือตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้



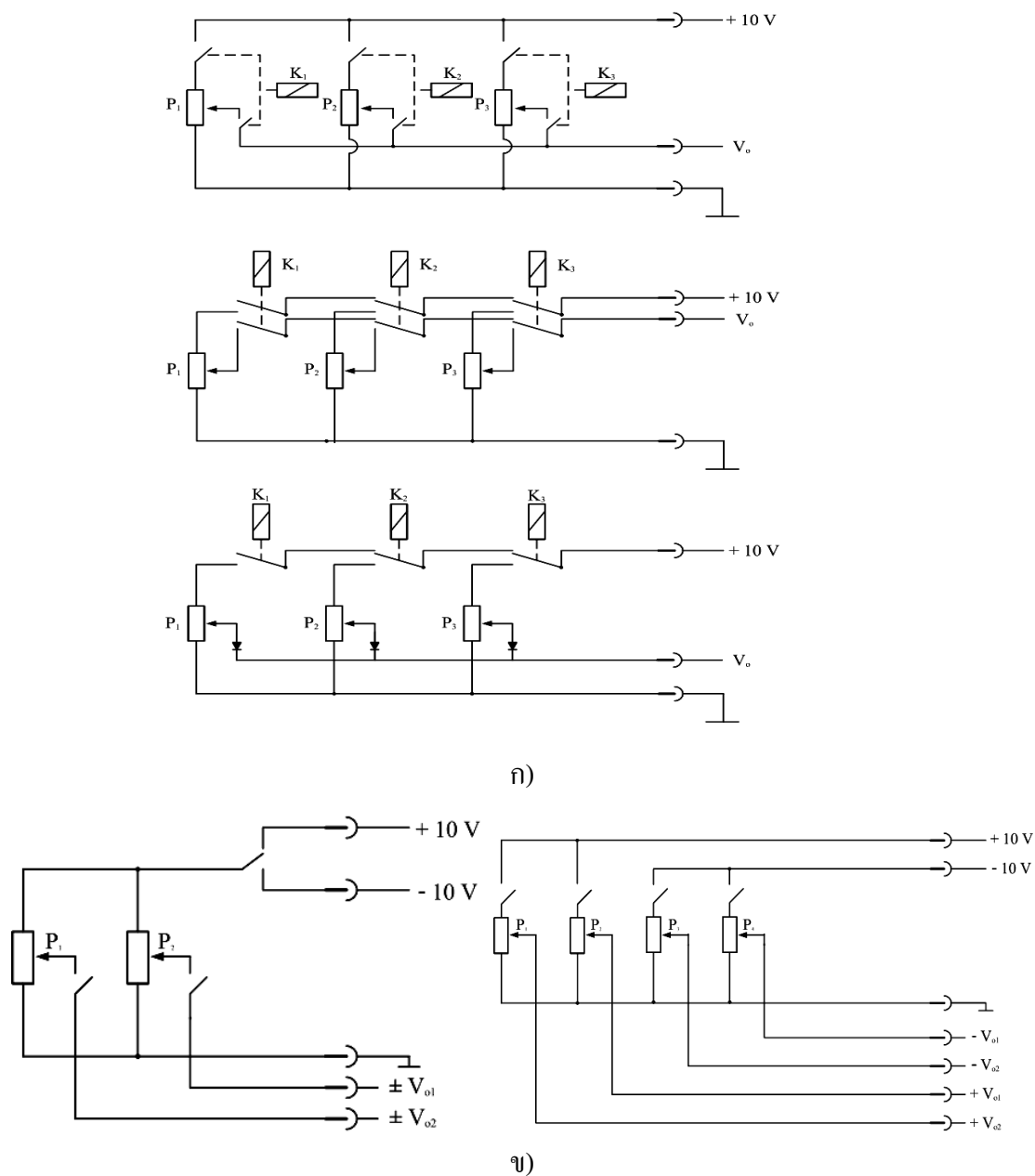
ภาพที่ 2.46 ตัวอย่างโพเทนชิโอมิเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

การนำเอาโพเทนชิโอมิเตอร์มาใช้งานจะใช้หลักการวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ดังแสดงด้วยภาพที่ 2.47



ภาพที่ 2.47 หลักการนำโพเทนชิโอมิเตอร์มาใช้งาน

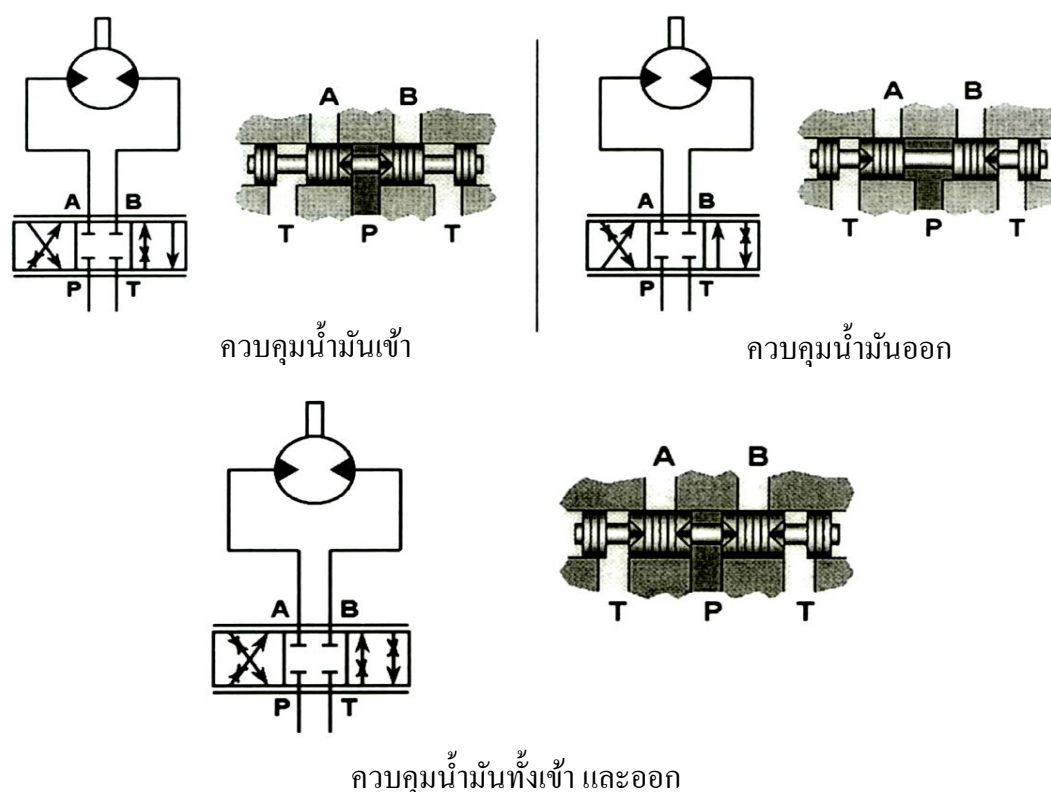
สำหรับการนำเอาโพเทนชิโอมิเตอร์หลายๆชุดมาเป็นตัวจ่ายสัญญาณให้กับชุดสร้างสัญญาณแรมป์สามารถใช้รีเลย์หรือ ฟิแอลซ์มาเป็นตัวควบคุมในการตัดต่อเพื่อให้เกิดสัญญาณที่มีค่าหลายๆระดับได้ดังแสดงด้วยภาพที่ 2.49



ภาพที่ 2.48 การใช้รีเลย์หรือพีแอลซีควบคุมโพเทนชิโอมิเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณให้มีค่าหลายระดับ

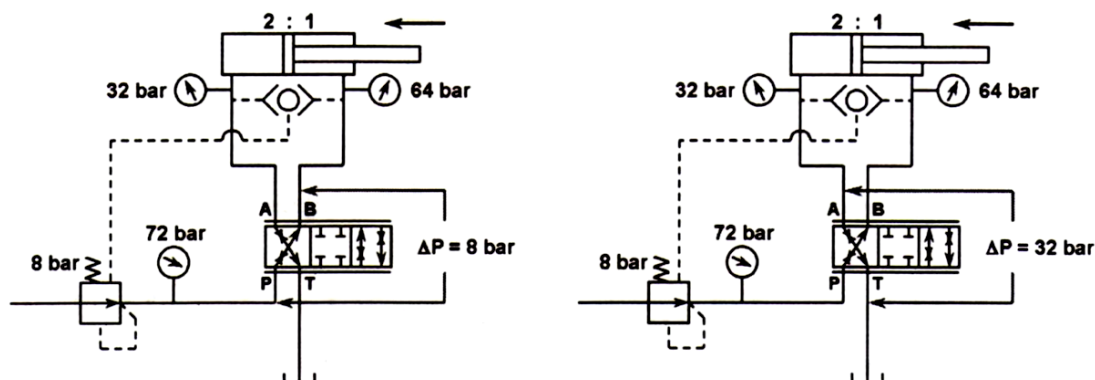
- ก) V_o สำหรับต่อเข้ากับชุดสร้างสัญญาณแรมป์ที่ต้องการจากระดับแรงดัน 0-10 โวลต์
- ข) V_o สำหรับต่อเข้ากับชุดสร้างสัญญาณแรมป์ที่ต้องการระดับแรงดัน ± 10 โวลต์

2.4.5 เทคนิคการใช้พรอพอร์ชันนัลวาล์ว เทคนิคการควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ทำงานแบบควบคุมน้ำมันเข้า (Meter-In) และควบคุม (Meter-Out) สำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วในปัจจุบันสามารถเลือกวิธีการควบคุมน้ำมันดังกล่าวได้ด้วยการเลือกรูปแบบโครงสร้างของสปีด ที่อยู่ในดังแสดงในภาพที่ 2.49 (สังเกต ร่องบากตรงที่ สปีดจะต่างกัน)



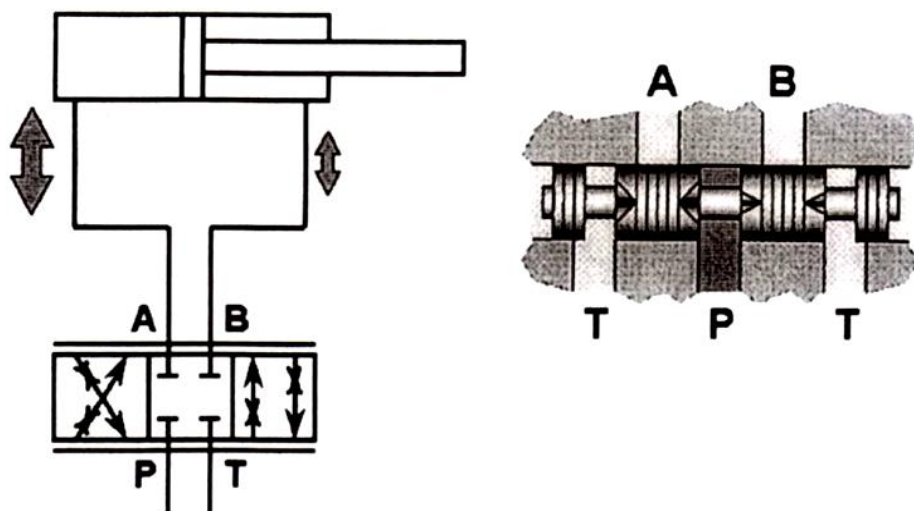
ภาพที่ 2.49 รูปแบบสปีดของพรอพอร์ชันนัลวาล์วที่สามารถควบคุมน้ำมันเข้าหรือออกได้

สำหรับการควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ทำงาน ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฮดรอลิกหรือกระบอกสูบจะต้องรักษาความดันที่ตกคร่อมวาล์วให้คงที่ ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากความเร็วจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหล และอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับความดันที่ตกคร่อมวาล์วดังที่กล่าวไว้ตั้งแต่ตอนต้น การรักษาความดันอาจใช้วาล์วลดความดันมาต่อร่วมก็ได้ การใช้พรอพอร์ชันนัลวาล์ว เพื่อสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกหรือ กระบอกสูบที่มีก้านสูบสองด้าน คงไม่เกิดปัญหาอะไร เพราะพื้นที่ที่มีผลต่อความดันจะเท่ากัน ส่งผลให้ความดันที่ตกคร่อมวาล์วมีค่าเท่ากันทั้งตอนที่เคลื่อนที่ไปด้านหน้า และถอยกลับแต่หากเป็นกระบอกสูบที่มีพื้นที่ลูกสูบไม่เท่ากัน เช่น พื้นที่หลังต่อด้านก้านสูบมีค่าเป็น 2:1 จะส่งผลต่อความดันที่ตกคร่อมวาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 2.86

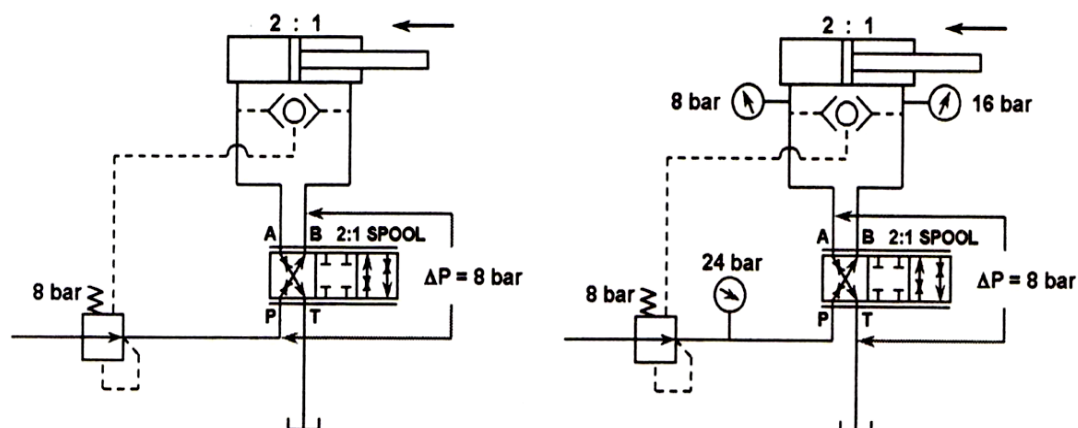


ภาพที่ 2.50 ตัวอย่างความดันตกคร่อมวาล์วเมื่อพื้นที่ของลูกสูบต่างกันเป็น 2:1

ในภาพที่ 2.50 เมื่อความดันที่ตกคร่อมวาล์วมีค่าไม่เท่ากันแน่นอนว่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้นย่อมต่างกันส่งผลถึงความเร็วของกระบอกสูบ และนั่นก็หมายความว่าเร็วจะเปลี่ยนไป คือ ความเร็วขณะตอนเคลื่อนที่ออกและเข้าจะไม่เท่ากัน โดยที่การเคลื่อนที่เข้าจะเร็วกว่าการเคลื่อนที่ออก ซึ่งหลักการควบคุมความเร็วโดยทั่วไปเราจะให้ความดันตกคร่อมวาล์วคงที่ไว้ที่ค่าหนึ่ง เพื่อให้อัตราการไหลขึ้นอยู่กับสัญญาณคำสั่งเพียงอย่างเดียว แต่โดยใช้สปีดที่มีพื้นที่ 2:1 (ให้สังเกตขนาดของร่องบาก) แก้ปัญหาดังแสดงด้วยภาพที่ 2.51



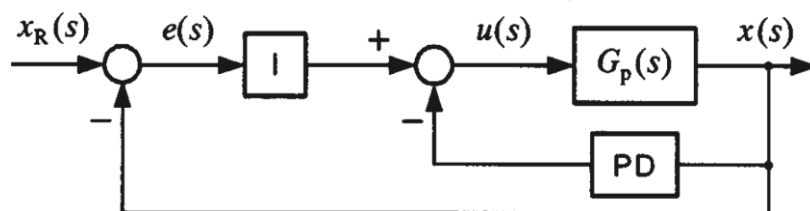
ภาพที่ 2.51 สปีดของวาล์วที่มีพื้นที่ 2:1



ภาพที่ 2.52 ตัวอย่างความดันตกคร่อมวาล์ว เมื่อพื้นที่ของสปูลมีค่าเป็น 2:1

2.5 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Control)

ระบบควบคุม (Control System) คือการจัดองค์ประกอบส่วนต่างๆ ให้มีการทำงานที่สัมพันธ์ เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการพลาเน็ต (Plant) คือสิ่งที่ต้องจะควบคุม อาจเป็นเครื่องมือหรือ เครื่องจักรหรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ดิสเตอร์บแลนด์ (Disturbance) คือสัญญาณรบกวนที่เรามาภายในระบบ ทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป การควบคุมป้อนกลับ (Feedback) คือการพยายามลดค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิงหรือ อินพุต ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) คือระบบที่ควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุตให้ใกล้เคียงกับ ค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองนี้ ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม (Controller) เซอร์โวแมคคาทรอนิกส์ (Servomechanisms) คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) หรือ อัตราเร่ง (Acceleration) ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือระบบควบคุมแบบเปิด (Open-Loop Control System) และ ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-Loop Control System) เมื่อระบบควบคุมเปิดไม่สามารถให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการ พิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุม มาใช้งานโดยการนำสัญญาณ เอาต์พุตจากระบบป้อนกลับมา เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งมีผลต่าง ระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้น จะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาดเพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณ ป้อนกลับเข้าสู่ตัวควบคุมให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิด ขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุต ของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ



ภาพที่ 2.53 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด

ตัวควบคุมพีไอคือประกอบด้วยภาคต่างๆ ดังนี้ ตัวควบคุมแบบ พี (Proportional-action controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_p(e) \quad (2-4)$$

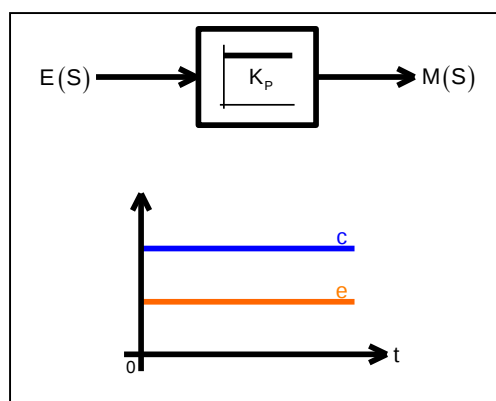
$$M(s) = K_p E(s) \quad (2-5)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable)

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.54 ไดอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (กระทำตามสัดส่วน)

คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller : P Controller) ก็คือ จะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต (Actuating Error; e) แบบทันทีขนาดของเอาต์พุต (Manipulating Variable; m) นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุต แล้วยังขึ้นกับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain; K_p) จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุต จะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณอินพุต หรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสถานะสม่ำเสมอเท่านั้น

(Steady-State Error) ซึ่งเท่ากับ $e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p}$ (Steady-State; ss) การควบคุมแบบสัดส่วนต้องการค่า

ความผิดพลาดเพื่อกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้นจึงกล่าวว่าการควบคุมแบบสัดส่วนไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบ ที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุมแบบสัดส่วน การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller : D-Controller) เป็นการการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time Integral of the Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_d \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (2-6)$$

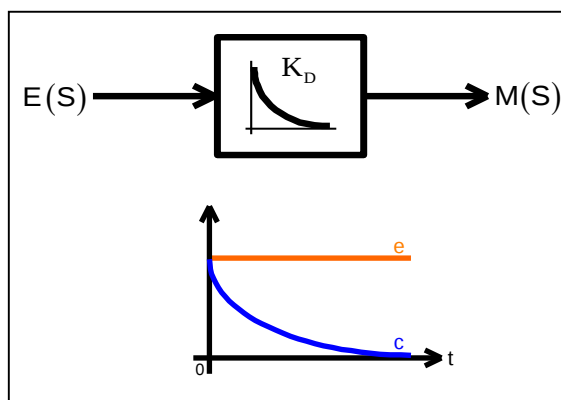
$$M(s) = K_d S \quad (2-7)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulation Variable)

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Derivative Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.55 ไดอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (การกระทำอนุพันธ์)

จากสมการ 2-10 จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาดเป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์จะให้สัญญาณเอาต์พุต (Manipulating Variable : m) ที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตเท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสถานะคงที่

การควบคุมแบบอนุพันธ์ทำให้ระบบ สามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อนที่ค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้นแต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสถานะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียว จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบการชดเชยข้อผิดพลาด กล่าวได้ว่าได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน และการควบคุมแบบปริพันธ์ เพื่อทำให้คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

ตัวควบคุมแบบ ไอ (Integral-Action Controller : I Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบปริพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอินทิกรัล ของค่าความผิดพลาด (Time Integral Of The Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_i (\int e dt) \quad (2-8)$$

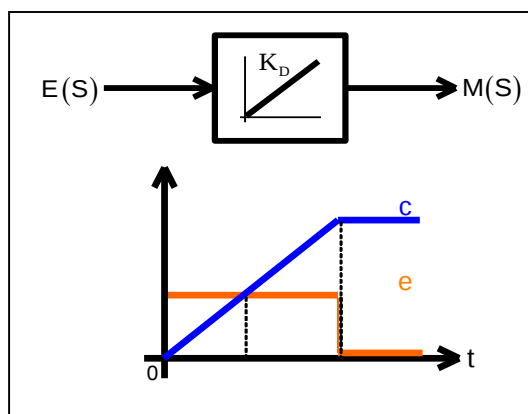
$$M(s) = K_i [E(s)] \quad (2-9)$$

โดยที่ m คือปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable)

K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.56 ไดอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (ตัวกระทำปริพันธ์)

จากสมการ 2-12 จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุต (Manipulating Variable ; m) เป็นค่าสะสมของสัญญาณอินพุต トラバใดที่ยังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษาค่าให้คงที่ไว้เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (Error ; $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุต นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับการควบคุมแบบปริพันธ์

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์หรือ Integral reset time ; T_i จะเห็นได้จากการอนุพันธ์สมการ B ซึ่งจะได้ $\left(\frac{dm}{dt}\right) = K_i(e)$ แสดงให้เห็นว่า อัตราการแก้ไขความผิดพลาดเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด ดังนั้นตัวควบคุมแบบปริพันธ์จึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบจนกระทั่งไม่มีความผิดพลาดเหลืออยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนอง

ของระบบข้างล่าง เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วนแล้ว จะเห็นว่าการควบคุมแบบป้อนกลับมีคุณสมบัติของการหน่วงเวลาร่วมอยู่

2.6 การควบคุมด้วยฟัซซี่ (Fuzzy Logic Controller)

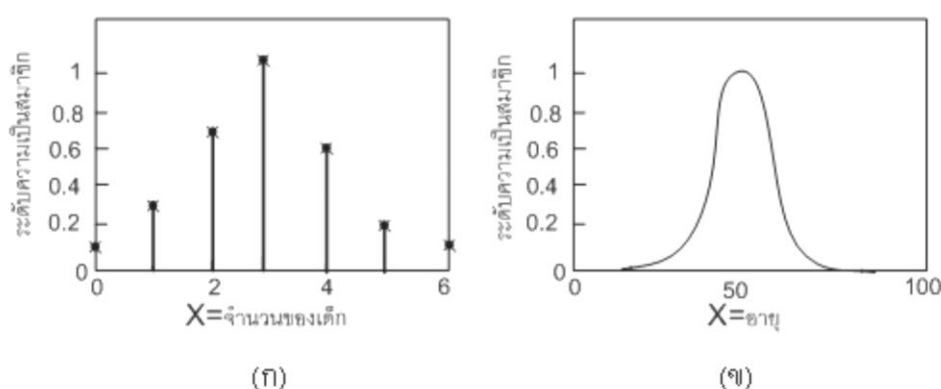
เซตแบบฉบับ (Classical Set) คือเซตที่มีขอบเขต ตัวอย่างเช่น เซต A มีขอบเขตมีค่ามากกว่า 6 แสดงดังสมการที่ 2-13

$$A = \{(x) > 6\} \quad (2-10)$$

2.6.1 นิยามพื้นฐานและคำศัพท์ นิยาม ฟัซซี่เซต และ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซี่เซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid X \in x\} \quad (2-11)$$

เมื่อ $A \mu X$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซี่เซต A สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ A ”) ฟัซซี่เซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples) เมื่อ A หมายถึงฟัซซี่เซต A และ x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set Membership) $\mu_A(x)$ หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร



ภาพที่ 2.57 (ก) $A = \text{“จำนวนของเด็กในครอบครัว”}$ (ข) “จุดกึ่งกลางของอายุเป็น 50”

นิยาม ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต (Support of Fuzzy Set) ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต คือ คลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราเป็น สมาชิกของฟัซซี่เซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\text{Support}(A) = \{x \mu_A \mid (x) > 0\} \quad (2-12)$$

นิยาม ความสูงของฟัซซี่เซต (Core) คือ ศูนย์กลางของฟัซซี่เซต A คือ เซตของ x ทั้งหมดใน X ดังเช่น (...) $A \mu x = \text{Core}(A)$

$$\text{Core}(A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (2-13)$$

นิยาม นอร์มอล คือ ฟัซซี่เซต A จะถูกเรียกว่านอร์มอล (Normal) ก็ต่อเมื่อความสูงเท่ากับหนึ่งสามารถหาจุด $x \in X$ ดังเช่น $\mu_A(x) = 1$

นิยาม จุดแบ่งของฟัซซี่ (Crossover Point of Fuzzy Set)

จุดแบ่งของฟัซซี่ คือ จุดใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

$$\text{Crossover}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 0.5\} \quad (2-14)$$

นิยาม ฟัซซี่เซตซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton) คือ ชัฟพอร์ดของฟัซซี่ ที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียวใน X ด้วย $\mu_A(x) = 1$ รูปที่ 2-12(a) และ 2-12 (b) แสดง ศูนย์กลาง, ชัฟพอร์ด และจุดแบ่งของฟัซซี่ แบบฟังก์ชันระฆังคว่ำ โดยมีอายุหนุ่ม และมีฟัซซี่เซตซิงเกิลตันที่ อายุ 45 ปี

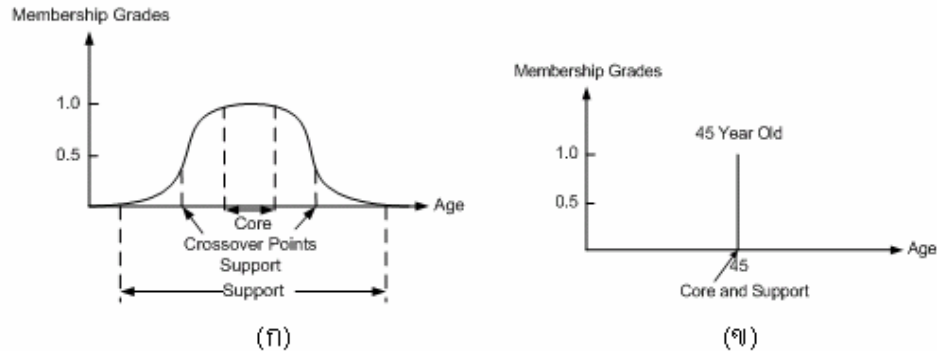
นิยาม α - cut เซตของฟัซซี่เซต (α - cut Set of Fuzzy Set) คือคลิป์เซตของสมาชิก x ทั้งหมด ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ α

เขียนแทนด้วย

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2-15)$$

$$A'_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) = \alpha\} \quad (2-16)$$

$$\text{Support}(A) = A'_0 \text{ และ } \text{core}(A) = A_1$$

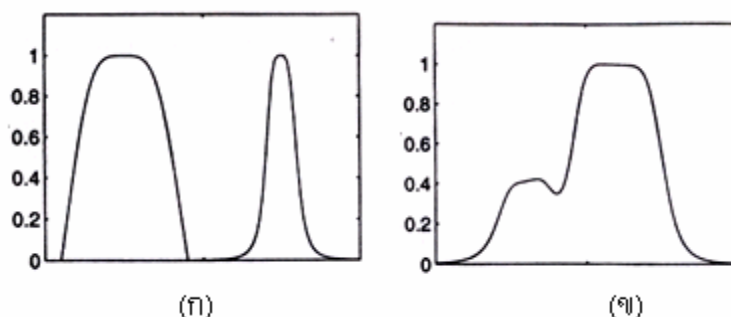


ภาพที่ 2.58 ความสูงของฟัซซี่เซต ชัฟพอร์ด และ จุดแบ่งของฟัซซี่

นิยาม คอนเวกซ์ฟัซซี่ คือฟัซซี่เซต A จะเป็นคอนเวกซ์ได้ถ้า $x_1, x_2 \in X$ และ $\lambda \in [0,1]$

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)\} \quad (2-17)$$

$$f(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \lambda f(x_1) + (1-\lambda)f(x_2) \quad (2-18)$$



ภาพที่ 2.59 (ก) สองคอนเวกซ์ของความเป็นสมาชิก (ข) ไม่เป็นคอนเวกซ์ของสมาชิก

2.6.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตเป็นฟังก์ชันที่ใช้แปลงตัวแปรอินพุต e และ Δe ให้อยู่ในฟัซซี่เซต มีข้อกำหนดดังนี้

2.6.2.1. กำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาด e เท่ากับ $[-1,1]$ เอกภพสัมพัทธ์ของอัตราการผิดพลาด Δe เท่ากับ $[-1,1]$

2.6.2.2. มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 %

2.6.2.3. จำนวนเทอมของฟัซซี่เซต 3,5,7 ของเทอมและกำหนดค่าลิงก์กวีตติก 3,5,7 ระดับ (แสดงดังในรูปที่ 2-14 , 2-15 , 2-16 , 2-17 , 2-18)

3 ระดับ

NB หมายถึง Negative

Ze หมายถึง Zero

Medium PB หมายถึง Positive Big

5 ระดับ

NB หมายถึง Negative Big

NS หมายถึง Negative Small

ZE หมายถึง Zero

PS หมายถึง Positive Small

PB หมายถึง Positive Big

7 ระดับ

NB หมายถึง Negative Big

NM หมายถึง Negative

NS หมายถึง Negative

Small

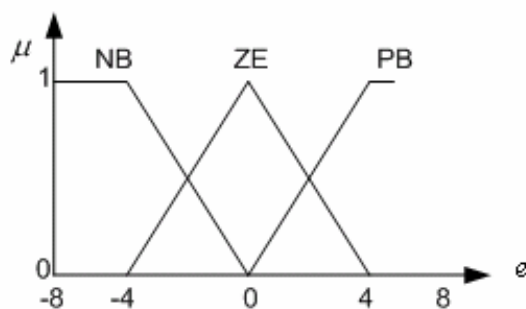
ZE หมายถึง Zero

PS หมายถึง Positive Small

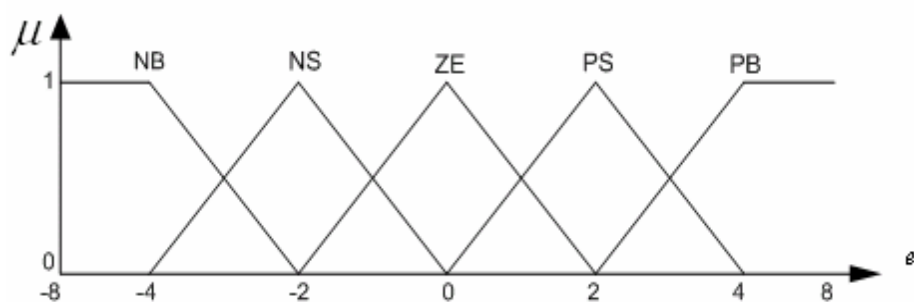
PM หมายถึง Positive

Medium

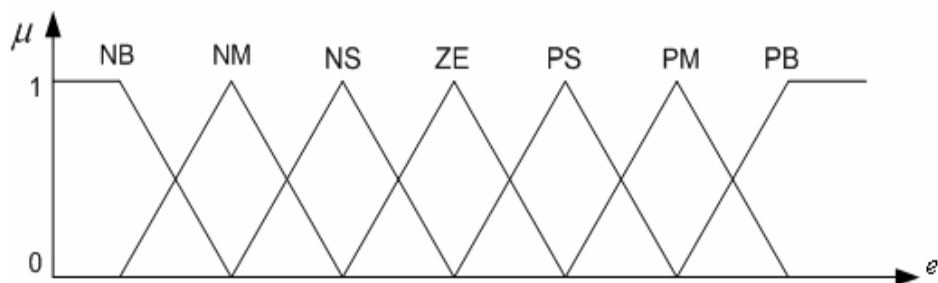
PB หมายถึง Positive Big



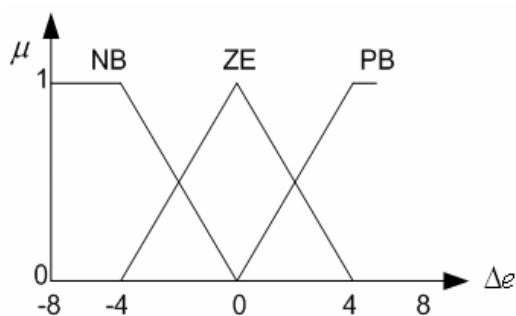
ภาพที่ 2.60 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 3 สมาชิก



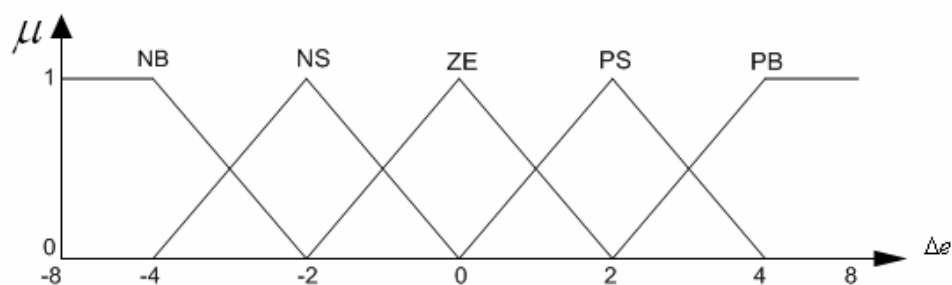
ภาพที่ 2.61 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 5 สมาชิก



ภาพที่ 2.62 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 7 สมาชิก



ภาพที่ 2.63 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการผิดพลาด (Δe) แบบ 3 สมาชิก



ภาพที่ 2.64 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการผลิต (Δe) แบบ 5 สมาชิก

ความหมายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแต่ละเทอม

Negative Big (NB) หมายถึง ค่าแรงดันไฟลบมาก

Negative Medium (NM) หมายถึง ค่าแรงดันไฟลบปานกลาง

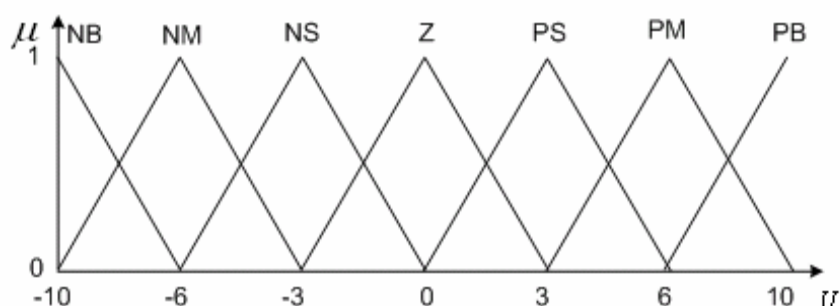
Negative Small (NS) หมายถึง ค่าแรงดันไฟลบน้อย

Zero (Z) หมายถึง ค่าแรงดันไฟเป็นศูนย์

Positive Small (PS) หมายถึง ค่าแรงดันไฟบวกน้อย

Positive Medium (PM) หมายถึง ค่าแรงดันไฟบวกปานกลาง

Positive Big (PB) หมายถึง ค่าแรงดันไฟบวกมาก



ภาพที่ 2.65 แสดงสมาชิกเอาต์พุตแบบ 7 สมาชิก

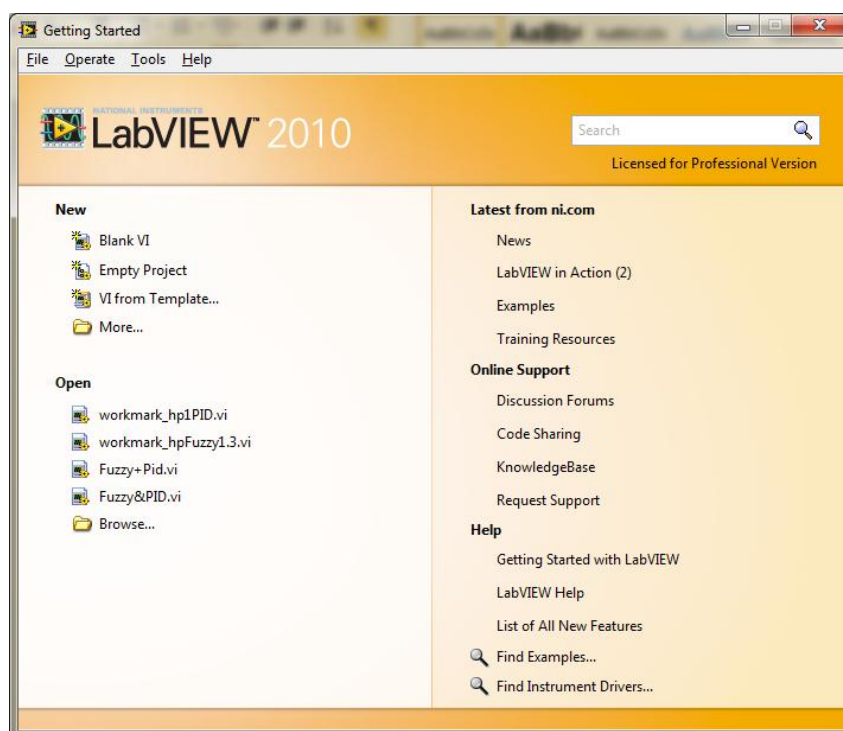
2.6.3 ออกแบบการสร้างกฎ (Rule) เนื่องจากมีสมาชิกอินพุต 2 อินพุตแต่ละอินพุตมี 5 สมาชิก ดังนั้นจำนวนกฎจึงเท่ากับ $5 \times 5 = 25$ กฎ และแต่ละกฎที่ตั้งขึ้นมานี้จะไม่ซ้ำกันแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2-3 ออกแบบการสร้างกฎ (Rule)

Δe e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NM	NM	NS	Z
NS	NM	NM	NS	Z	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM
PS	NS	Z	PS	PM	PM
PB	Z	PS	PM	PM	PB

2.7 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

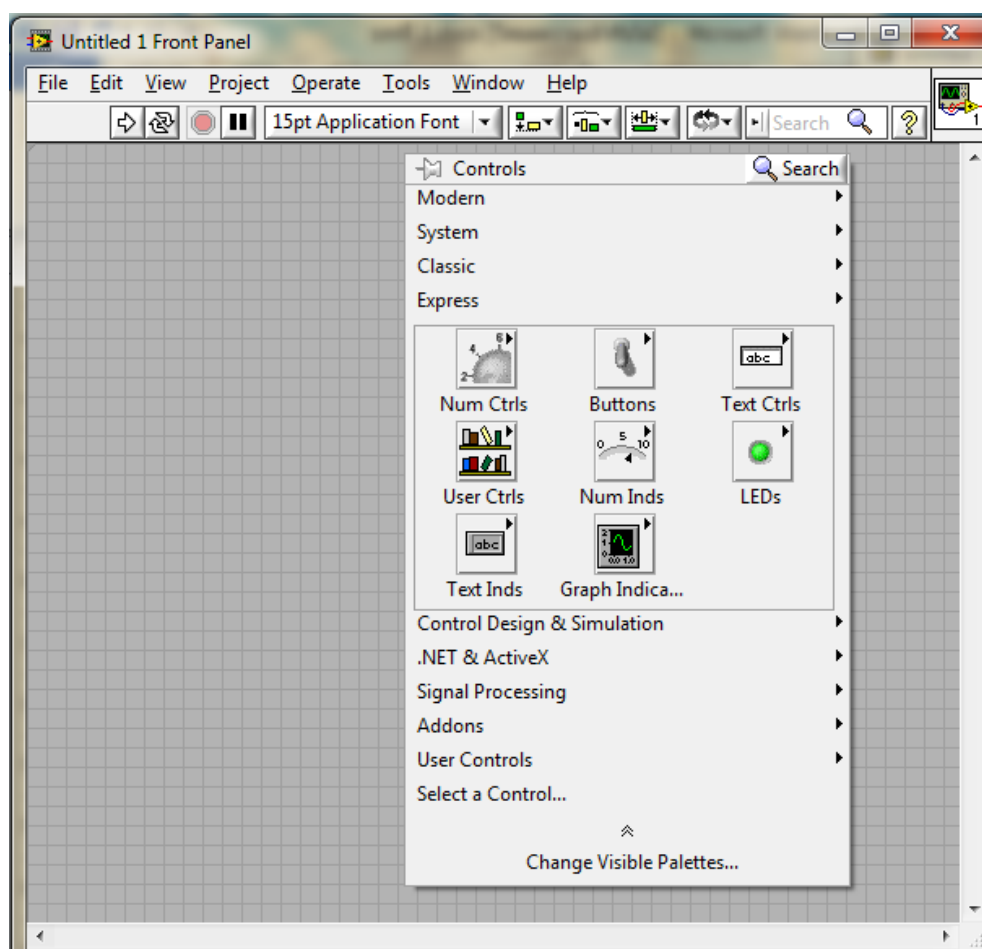
Lab VIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Work Bench) จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่แลปวิวเป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) คือจะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยรูปไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชัน แทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อกไดอะแกรม (Block -Diagram) ของโปรแกรม สิ่งที่ทำให้แลปวิวต่างจากซอฟต์แวร์ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านงานวัด และงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของแลปวิวโดยจะมีเครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือนจริง (Virtual Instrument หรือ VI)



ภาพที่ 2.66 หน้าจอของ LabVIEW 2010

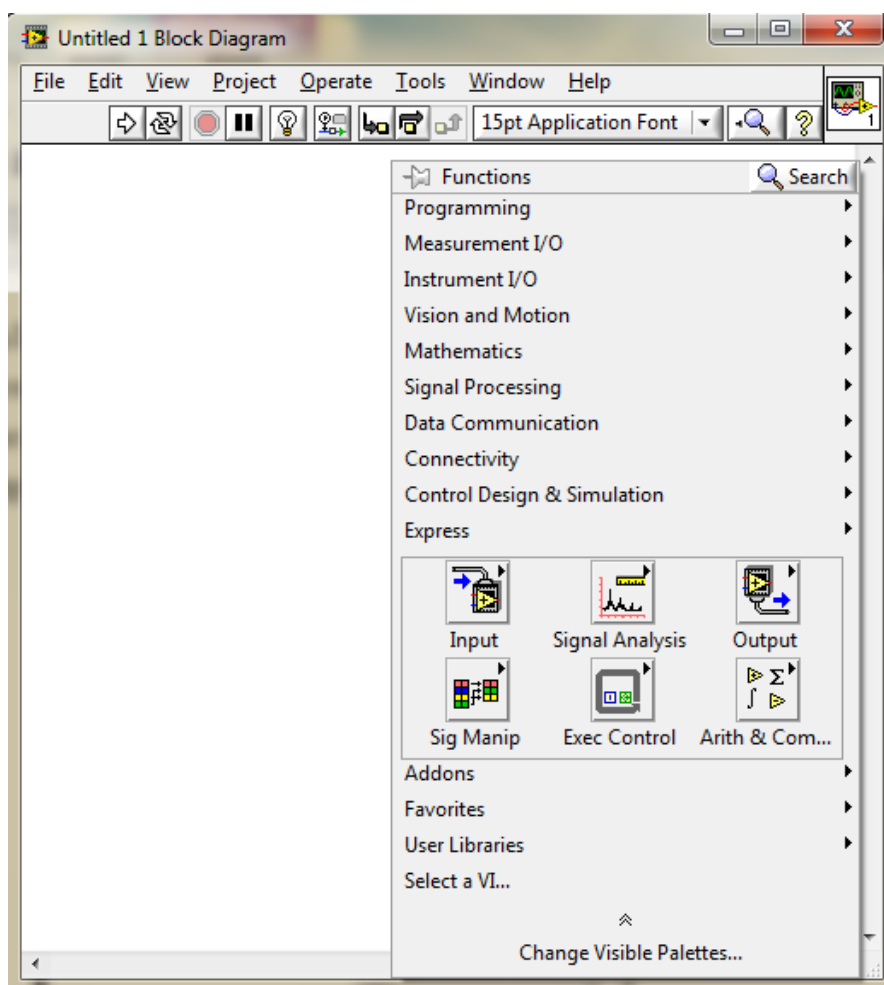
2.7.1 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้แลปวิว เป็นซอฟต์แวร์ภาษาอย่างหนึ่งที่ใช้พัฒนาโปรแกรมใช้งานอื่นๆ โดยเน้นไปทางด้านการใช้งานในงานวัดและควบคุมอัตโนมัติโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้แลปวิวนี้เรียกว่า วีไอ (Virtual Instrument :VI) คือการจำลองรูปแบบของส่วนต่างๆ ในเครื่องมือที่ใช้งานวัดคุม เช่น มิเตอร์, บาร์สเกล, กราฟ, สวิตช์และปุ่มมาไวบนคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุม และแสดงผลข้อมูลจุดเด่นในการออกแบบโปรแกรมด้วย แลปวิวคือ

2.7.1.1 ฟรอนพานัล (Front Panel) โปรแกรมวีไอที่สร้างโดยแลปวิวจะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่าฟรอนพานัลซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุมเช่น การป้อนข้อมูล , ปุ่ม , สวิตช์และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น มิเตอร์ , บาร์สเกล , และกราฟ เป็นต้นส่วนต่างๆ เหล่านี้สามารถเลือกได้จากกรุปไอคอนในฟรอนพานัลแล้วนำมาวางประกอบกันเป็นฟรอนพานัลผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้น โดยผ่านฟรอนพานัลนี้เช่น การกดปุ่ม , เลื่อนแถบสไลด์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ดพร้อมทั้งยังสามารถดูผลข้อมูลได้



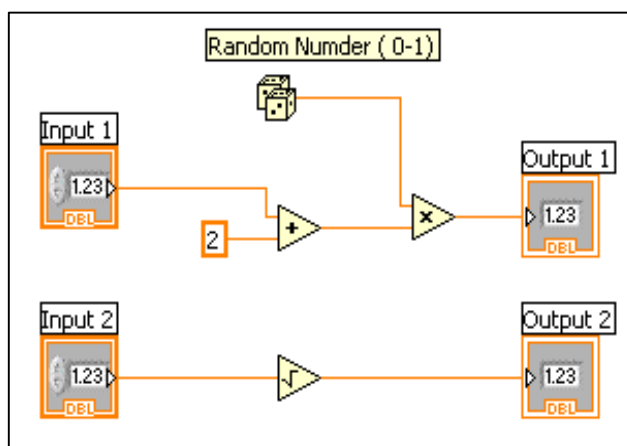
ภาพที่ 2.67 หน้าจอเพื่อนพาดและชุดควบคุม

2.7.1.2 กราฟฟิคัลบล็อกไดอะแกรม (Graphical Block Diagram) การสร้างโปรแกรม วิโอบนแลปวิวทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรม ซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชัน ต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการใช้ภาษามากมายเหมือนกับการเขียน โปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ สามารถเลือกบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ได้จาก Functions Palette มา วางและเชื่อมโยงบล็อกต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อระบุว่าจะมีการส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึง ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต การปฏิบัติการ เกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลและอื่น ๆ อีกมากมาย



ภาพที่ 2.68 หน้าจอบล็อกไออะแกรมและชุดฟังก์ชัน

2.7.1.3 คำศัพท์โปรแกรมมิ่ง (Dataflow Programming) โปรแกรมวิโอที่สร้างด้วยแลปวิโอมีรูปแบบการทำงานในลักษณะของ Dataflow Programming คือการทำงานขึ้นอยู่กับ การไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน (Simultitasking and Multithreaded Systems) นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับโปรแกรมวิโออื่นๆ เพื่อรับส่งข้อมูลได้



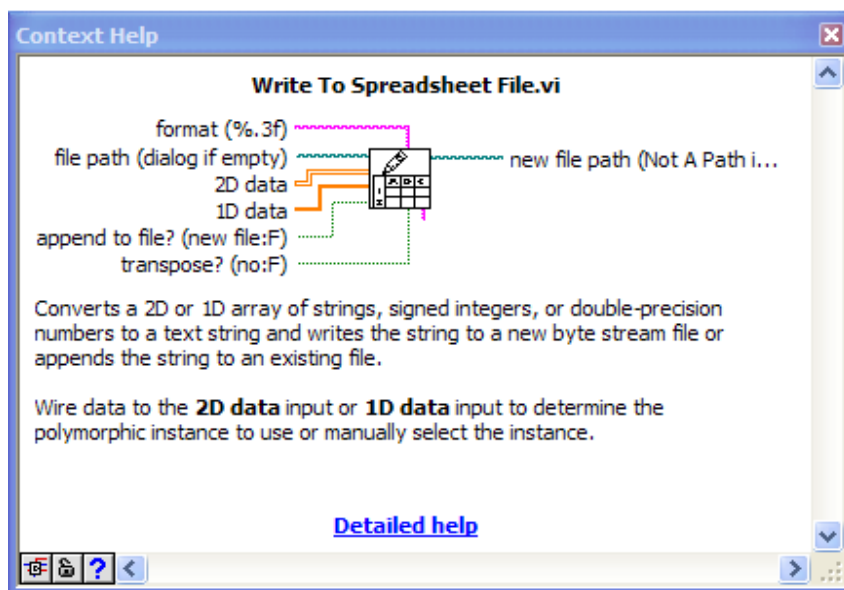
ภาพที่ 2.69 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรมแลปวิว

2.7.1.3 ค่า数据类型 (Data type) เนื่องจากข้อมูลภายในแลปวิวนั้นมีหลายแบบคือ เลขทศนิยม, เลขจำนวนจริง, ตัวอักษร หรือค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้นเพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบแลปวิวจึงได้กำหนดให้ลักษณะของ wires สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าวยังอาจมีลักษณะเป็น scalars, 1-D array, 2-D array ได้ซึ่งลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างออกไปอีก

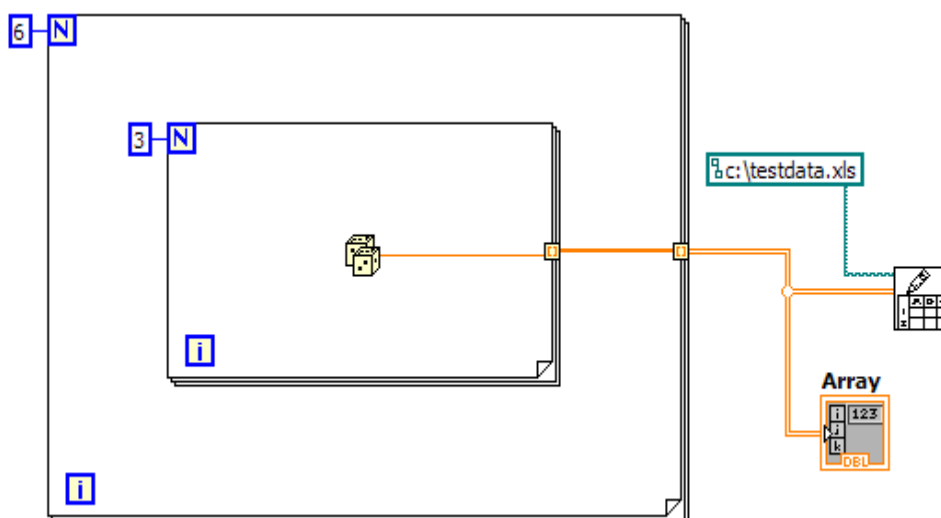
ตารางที่ 2-4 ตารางลักษณะของเส้นข้อมูลแต่ละชนิดในแลปวิว

	Scalars	1-D Array	2-D Array	สี
เลขทศนิยม				ส้ม
เลขจำนวนเต็ม				น้ำเงิน
Boolean				เขียว
ตัวอักษร				ชมพู

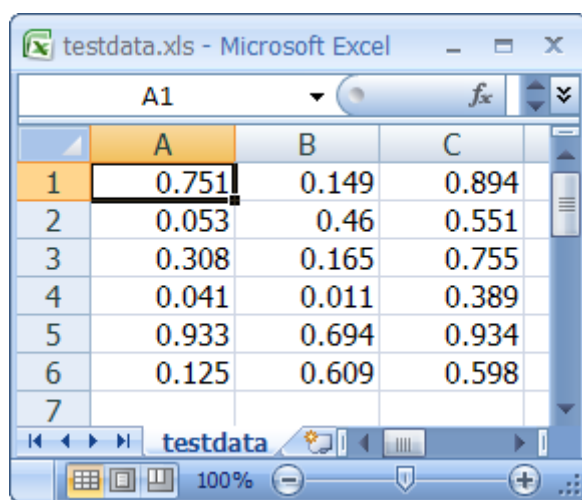
2.7.1.4 การบันทึกและอ่านไฟล์ในโปรแกรมแลปวิว (Data logging VI) การใช้งานของแลปวิวแพลตฟอร์ม เพื่อการพัฒนาเชิงกราฟิกให้มากขึ้นด้วยแลปวิว Signal Express ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบโต้ตอบที่จะให้การทำการบันทึกข้อมูลจากแลปวิวลงไฟล์ และการอ่านข้อมูลจากไฟล์ นำมาใช้ในแลปวิวในการควบคุมอุปกรณ์ด้วยความสามารถในการวิเคราะห์และรายงานผลของการโปรแกรมมิ่ง แบบกราฟิกของแลปวิว“LabVIEW SignalExpress” จึงมีฟังก์ชัน drag-and drop สำหรับควบคุมเครื่องมือวัดนับร้อย



ภาพที่ 2.70 ฟังก์ชัน Write To Spreadsheet File.vi รับข้อมูลได้ทั้งแบบ Double, Integer, และ String ทั้งแบบ Array หนึ่งมิติและสองมิติ



ภาพที่ 2.71 ตัวอย่างฟังก์ชัน Write To Spreadsheet File.vi และการต่อใช้งานในแลปVIEW



	A	B	C
1	0.751	0.149	0.894
2	0.053	0.46	0.551
3	0.308	0.165	0.755
4	0.041	0.011	0.389
5	0.933	0.694	0.934
6	0.125	0.609	0.598
7			

ภาพที่ 2.72 เมื่อทดลองรันโปรแกรมจะบันทึกค่าในโปรแกรมเอ็กเซล