

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการพัฒนาตัวควบคุมสำหรับขับตรงในเซอร์โวไฮดรอลิกส์ โดยการควบคุมแบบพีและแบบพีไอ มีความจำเป็นต้องศึกษาความรู้หลายๆด้าน ซึ่งในบทนี้จะนำเรื่องที่ได้ศึกษาหาข้อมูลเพื่อมาใช้ในการทำโครงการดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีระบบไฮดรอลิกส์, กระบอกสูบ, และปั๊ม (Hydraulic Cylinder Controls and Pumps)
- 2.2 ทฤษฎีสำหรับการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)
- 2.3 เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo Motor)
- 2.4 เซอร์โวไดรฟ์ (Servo Drive)
- 2.5 โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW)

2.1 ระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic System)

2.1.1 การใช้งานของระบบไฮดรอลิกส์ (Task of Hydraulic Installation) ไฮดรอลิกส์ หมายถึง การประยุกต์ใช้งานที่ก่อให้เกิดแรงและการเคลื่อนที่ โดยการใช้ของไหล ซึ่งของไหล ไฮดรอลิกส์ จะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการส่งกำลัง ซึ่งลักษณะพื้นฐานของระบบไฮดรอลิกส์แบ่งแยกได้ระหว่าง

2.1.1.1 ระบบไฮดรอลิกส์แบบอยู่กับที่ (Stationary Hydraulic) ระบบไฮดรอลิกส์แบบอยู่กับที่ที่มีการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆต่อไปนี้

- 2.1.1.1.1 เครื่องจักรกลที่ใช้ในระบบการผลิตและประกอบทุกประเภท
- 2.1.1.1.2 เส้นทางกลลำเลียง
- 2.1.1.1.3 อุปกรณ์ยกและขนถ่าย
- 2.1.1.1.4 งานกดอัด

- 2.1.1.1.5 เครื่องฉีดพลาสติก
- 2.1.1.1.6 เส้นทางลำเลียงแบบลูกกลิ้ง
- 2.1.1.1.7 ลิฟต์

ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้งานของระบบไฮดรอลิกส์แบบอยู่กับที่



ภาพที่ 2-1 เครื่องฉีดพลาสติก

ในเครื่องจักรกลรุ่นใหม่เช่น เครื่องฉีดพลาสติกที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีการฉีดด้วยระบบไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 2-2 เครื่องกดอัด

2.1.1.2 ระบบไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่ (Mobile Hydraulic) จะเคลื่อนที่บนล้อหรือราง ซึ่งจะไม่เหมือนกับระบบไฮดรอลิกส์แบบอยู่กับที่ จะต้องควบคุมให้ทำงานโดยการใช่มือบังคับ แต่ถ้าเป็นระบบไฮดรอลิกส์แบบอยู่กับที่จะใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุม ส่วนระบบไฮดรอลิกส์อื่นๆประกอบด้วย ระบบไฮดรอลิกส์

สำหรับเรือเดินทะเล ระบบไฮดรอลิกส์สำหรับเหมืองแร่ (Mining Hydraulic) และระบบไฮดรอลิกส์สำหรับอากาศยานทุกชนิด (Aircraft Hydraulic)

ซึ่งระบบไฮดรอลิกส์สำหรับอากาศยานจะเป็นแบบพิเศษ เพราะจะต้องมีความปลอดภัยสูง ระบบไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่ หรือ ไฮดรอลิกส์สำหรับยานยนต์ ซึ่งมีตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสำหรับไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่ ได้แก่

- 2.1.1.2.1 เครื่องจักรกลงานก่อสร้าง
- 2.1.1.2.2 รถตีม, รถขุด, แท่นยก
- 2.1.1.2.3 อุปกรณ์ยกและขนถ่าย
- 2.1.1.2.4 เครื่องจักรกลการเกษตร

ในระบบไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่มีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ ตัวอย่างเช่น ระบบไฮดรอลิกส์สำหรับรถบรรทุก (Car Carrier) โดยระบบไฮดรอลิกส์ แต่จะรวมถึงการควบคุมการเคลื่อนที่หรือเลื่อนของเฟือง ตัวอย่างเช่น การยก ก็เป็นการควบคุมทางไฮดรอลิกส์ด้วย สำหรับการเคลื่อนที่ทำงานแนวเส้นตรงเกิดขึ้นโดยอุปกรณ์ทำงานแบบเส้นตรง (กระบอกสูบ) ส่วนการเคลื่อนที่แนววงกลม หรือแบบหมุนสามารถทำได้โดยอุปกรณ์ทำงานแบบหมุน (มอเตอร์, อุปกรณ์ขับเคลื่อนอื่นๆ)



ภาพที่ 2-3 ไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่

2.1.2 งานสำหรับของของไหลไฮดรอลิกส์ (Tasks for Hydraulic Fluids) ของไหลที่ใช้ในงานไฮดรอลิกส์จะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปได้แก่

2.1.2.1 การส่งถ่ายความดัน (Pressure Transfer)

2.1.2.2 การหล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

2.1.2.3 การระบายความร้อน หลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน (การสูญเสียความดัน)

2.1.2.4 การป้องกันการแกว่งของสัญญาณ (Cushioning of Oscillations) ที่มีสาเหตุจากความดันกระตุก

2.1.2.5 ป้องกันการผุกร่อน

2.1.2.6 ส่งสัญญาณ (Signal Transmission)

2.1.3 ส่วนต้นกำลัง (Power Supply Section) ส่วนต้นกำลัง มีหน้าที่จัดเตรียมพลังงานเพื่อการใช้งานของระบบใช้งานไฮดรอลิกส์ อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในส่วนนี้คือ

2.1.3.1 ตัวขับ (Driver)

2.1.3.2 ปั๊ม (Pump)

2.1.3.3 วาล์วระบายความดัน (Pressure Relief Valve)

2.1.3.4 ตัวต่อดัดต่อกำลัง (Coupling)

- 2.1.3.5 ถังพักน้ำมัน (Reservoir)
- 2.1.3.6 ตัวกรอง (Filter)
- 2.1.3.7 ตัวทำความเย็น (Cooler)
- 2.1.3.8 ตัวทำความร้อน (Heater)

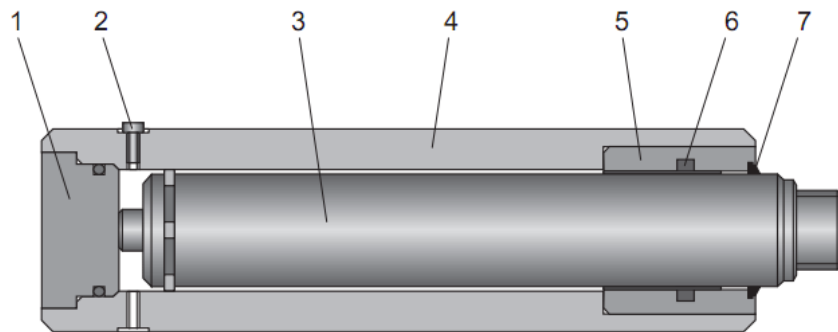
นอกจากนี้ทุกๆระบบไฮดรอลิกส์จะติดอุปกรณ์บริการแสดงผล เพื่อความปลอดภัยและเส้นทางการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฮดรอลิกต่างๆ



ภาพที่ 2-4 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Power Unit)

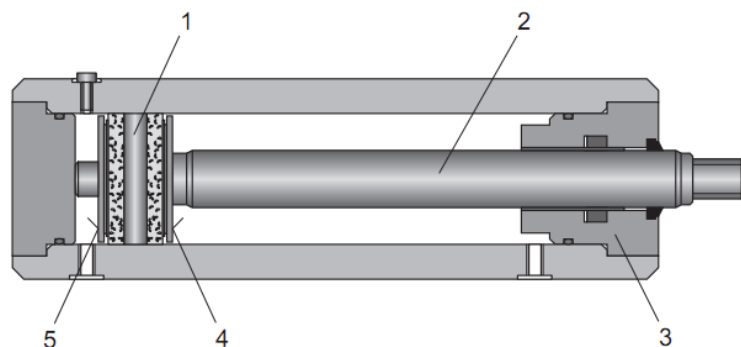
2.1.4 กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Cylinder) กระบอกสูบไฮดรอลิกส์จะเปลี่ยนพลังงานไฮดรอลิกส์ไปเป็นพลังงานกล มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เหมือนกับมอเตอร์เชิงเส้น (Linear Motor) กระบอกสูบไฮดรอลิกส์โดยพื้นฐานจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

- 2.1.4.1 กระบอกสูบทำงานทางเดียว (Single Acting Cylinder)
- 2.1.4.2 กระบอกสูบทำงานสองทาง (Double Acting Cylinder)



- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Mounting Screw | 5. Piston Rod Bearing |
| 2. Vent Screw | 6. Piston Rod Seal |
| 3. Piston Rod | 7. Wiper |
| 4. Cylinder Barrel | |

ภาพที่ 2-5 กระบอกลูกสูบทำงานทางเดียว

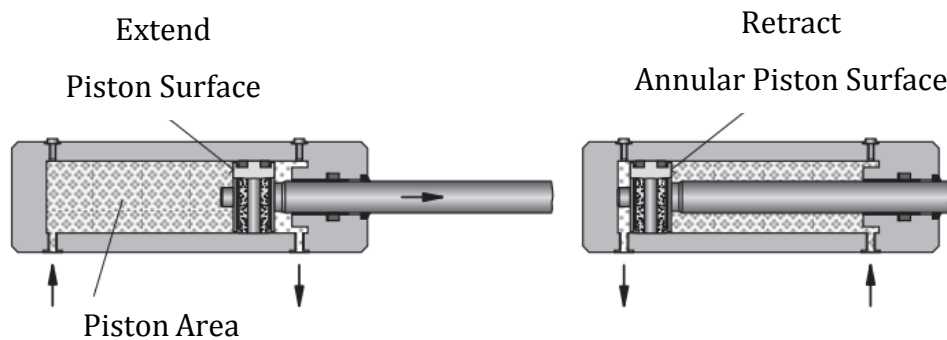


- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Piston | 4. Annular Piston Surface |
| 2. Piston Rod | 5. Piston Surface |
| 3. Piston Rod Bearing | |

ภาพที่ 2-6 โครงสร้างกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง

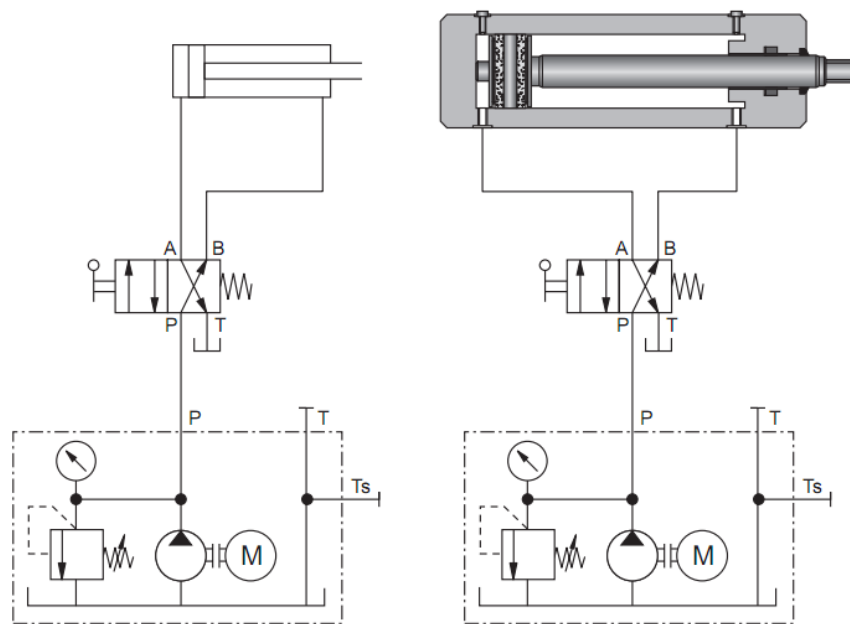
กระบอกลูกสูบทำงานสองทาง สามารถมีความดันไปกระทำบนพื้นที่ของลูกสูบได้ทั้งสองด้าน ดังนั้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานได้ทั้งสองทิศทาง กระบอกลูกสูบชนิดนี้จะทำงานขึ้นอยู่กับหลักการดังนี้ น้ำมันไฮดรอลิกส์จะไหลไปยังพื้นที่ของลูกสูบทำให้เกิดความดันกระทำที่ลูกสูบ ความต้านทานภายในและ

ภายนอก จะทำให้เกิดความดันสูงขึ้น ซึ่งจะนำไปตาม
สูตรแรง ($F = P \times A$) จะมีผลจากความดัน(P)และพื้นที่ผิวลูกสูบ(A)
เมื่อสามารถเอาชนะความต้านทานได้จะทำให้ก้านสูบเลื่อนออก
พลังงานไฮดรอลิกจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล



ภาพที่ 2-7 กระบอกสูบทำงานสองทาง

จากภาพที่ 2-7 แสดงให้เห็นเมื่อก้านสูบเคลื่อนที่ออกน้ำมัน
จะไหลเข้าไปดันทางด้านพื้นที่ลูกสูบ ขณะที่น้ำมันทางด้านก้านสูบ
จะถูกดันออกผ่านท่อไปยังถังพักน้ำมัน การเคลื่อนที่กลับน้ำมัน
ไฮดรอลิกจะไหลเข้าไปยังพื้นที่ด้านก้านสูบ และน้ำมันจากพื้นที่
ลูกสูบจะถูกลูกสูบดันไหลออก



ภาพที่ 2-8 การต่อใช้งานกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง

กระบอกลูกสูบทำงานสองทางชนิดก้านสูบเดี่ยว จะเกิดความแตกต่างของแรง ($F = P \times A$) และความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าและออก ที่อัตราไหลเท่ากันเนื่องจากพื้นที่แตกต่างกัน (พื้นที่ลูกสูบและพื้นที่วงแหวน) ความเร็วเคลื่อนที่กลับจะสูงกว่า ถึงแม้ว่าอัตราไหลจะเท่ากัน เนื่องจากพื้นที่เล็กกว่าด้านที่ทำให้เคลื่อนที่ออก สามารถพิสูจน์ได้จากสมการต่อไปนี้

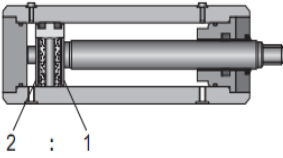
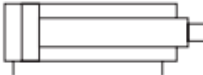
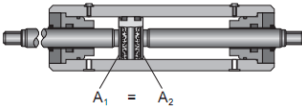
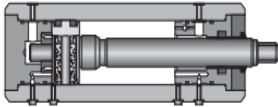
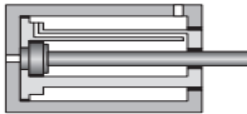
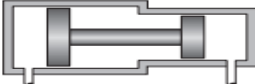
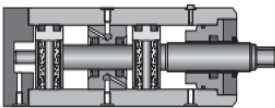
$$v = \frac{Q}{A} \quad (2-1)$$

v หมายถึง ความเร็วการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที: m^3/s)

Q หมายถึง อัตราการไหล (เมตรต่อวินาที: m/s)

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร: m^2)

ตารางที่ 2-1 ชนิดของกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง (Cylinder Types)

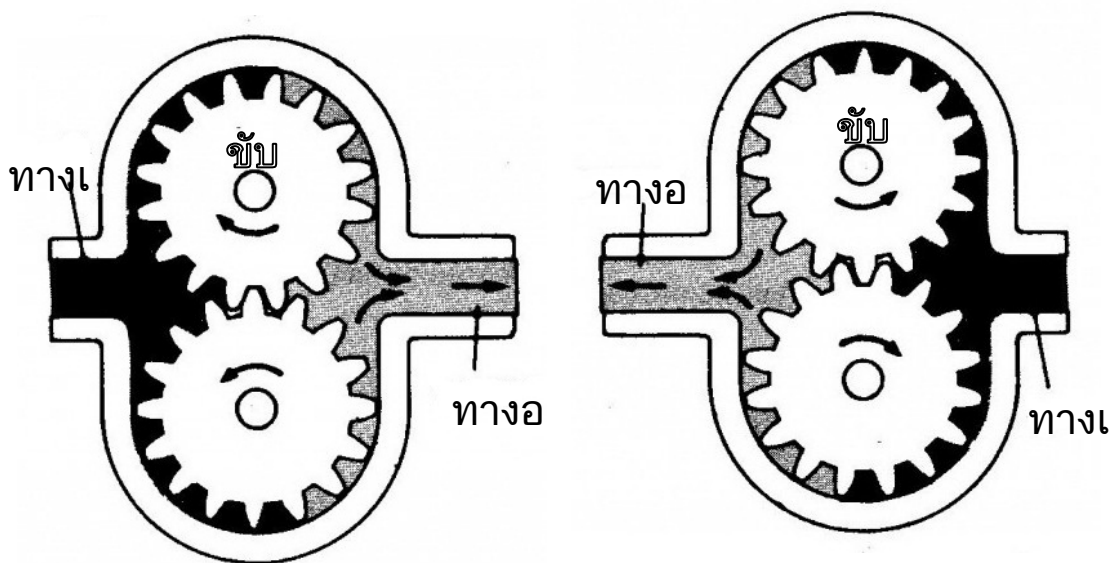
Differential Cylinder	อัตราส่วนพื้นที่ 2:1 (พื้นที่ลูกสูบ : พื้นที่วงแหวน) ลูกสูบเลื่อนกลับ เร็วเป็นสองเท่า ของการเลื่อน ออก		
Synchronous Cylinder	พื้นที่ลูกสูบทั้ง สองด้านเท่ากัน เลื่อนออกและ เลื่อนเข้า ความเร็วเท่ากัน		
Cylinder with End-Position Cushioning	สำหรับความเร็ว ปานกลาง ใน กรณีมีมวลขนาด ใหญ่และป้องกัน การกระแทกที่ รุนแรง		
Telescopic Cylinder	ช่วงชักยาวขึ้น		
Pressure Intensifier	เพิ่มความดัน สูงขึ้น		
Tandem Cylinder	เมื่อต้องการแรง มากและเส้นผ่าน ศูนย์กลาง กระบอกสูบ ขนาดเล็ก		

2.1.5 ปั๊มไฮดรอลิกส์

ปั๊มไฮดรอลิกส์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลหรือจะกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ปั๊มคืออุปกรณ์ที่สร้างการไหลของน้ำมัน เมื่อน้ำมันไหล แล้วมีสิ่งกีดขวางจะทำให้เกิดความดัน

2.1.5.1 ปั๊มไฮดรอลิกส์แบบทำงานสองทิศทาง ชนิดเฟือง

ปั๊มแบบเฟืองจะมีเฟือง 2 ตัว ขบกัน โดยเฟืองขับ จะต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อหมุนเฟืองให้ดูดน้ำมัน และส่งน้ำมันเข้าปั๊มไฮดรอลิกส์ เมื่อเฟืองขับหมุนจะทำให้เฟืองอีกตัวคือเฟืองตาม หมุนตาม ทำให้เกิดสุญญากาศที่ท่อ ทำให้น้ำมันถูกดูดขึ้นผ่านทางท่อน้ำมัน ซึ่งปั๊มไฮดรอลิกส์แบบทำงานสองทิศทางจะสามารถหมุนจ่ายน้ำมันได้ทั้งสองทิศทางดังในภาพที่ 2-9



(ก). เฟืองขับหมุนตามเข็มนาฬิกา
ขับเคลื่อนทวนเข็มนาฬิกา

(ข). เฟือง

ภาพที่ 2-9 ปั๊มไฮดรอลิกส์แบบทำงานสองทิศทาง ชนิดเฟือง

จากภาพที่ 2-9 ในขณะที่มอเตอร์หมุนขับให้ปั๊มทำงาน เฟืองขับจะหมุนไปขับเฟืองตามให้หมุนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้น้ำมันจากถังพัก ถูกดูดเข้ามาในตัวปั๊มและถูกบีบให้ไหลออกทางด้านข้างของเฟืองทั้งสองก่อนที่จะไหลออกไปใช้งาน ซึ่งปั๊มไฮดรอลิกส์แบบทำงานสองทิศทาง เฟืองขับจะสามารถหมุนได้ทั้งในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

2.2 ทฤษฎีสำหรับการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

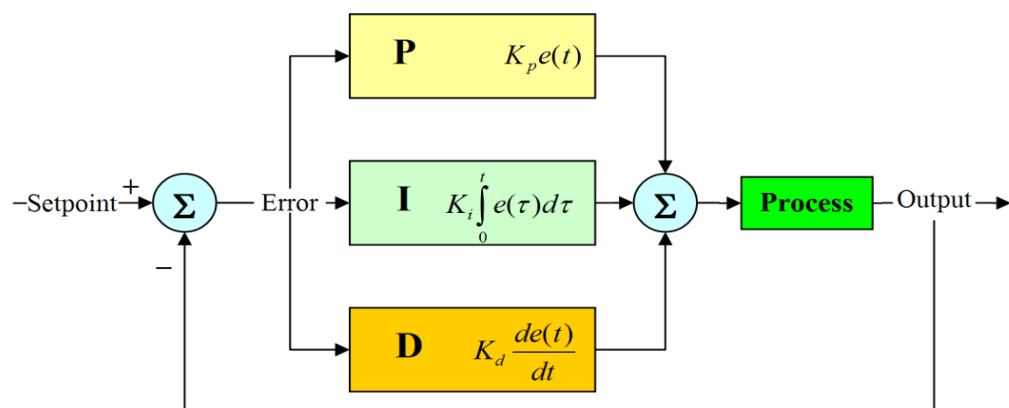
ระบบควบคุม (Control System) คือ การจัดองค์ประกอบส่วนต่างๆ ให้มีการทำงานที่สัมพันธ์ เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการพลานต์ (Plant) คือ สิ่งที่จะต้องควบคุมอาจเป็นเครื่องมือ หรือเครื่องจักรหรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ดิสเบอรับลานต์ (Disturbance) คือ สัญญาณรบกวนที่เรามาภายในระบบ ทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป การควบคุมป้อนกลับ (Feedback) คือ การพยายามลดค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิงหรืออินพุต ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) คือ ระบบที่ควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุต ให้ใกล้เคียงกับ ค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองนี้ ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม เซอร์โวแมคคาณิกส์ (Servo Mechanisms) คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) หรือ อัตราเร่ง (Acceleration) ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

- ระบบควบคุมแบบปิด (Open-Loop Control System)
- ระบบควบคุมแบบเปิด (Closed-Loop Control System)

แต่ที่ในโครงงานนี้ใช้ระบบควบคุมแบบปิด

ระบบควบคุมแบบปิด คือ เมื่อระบบควบคุมเปิดไม่สามารถให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุม มาใช้งาน

โดยการนำสัญญาณเอาต์พุต จากระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งมีผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้น จะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาดเพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับเข้าตัวควบคุมให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุต ของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ



ภาพที่ 2-10 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด พีไอดี

2.2.1 ตัวควบคุมพีไอดี ประกอบด้วยภาคต่างๆ ดังนี้

2.2.1.1 ตัวควบคุมแบบพี(Proportional-Action Controller : P Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

Take Laplace สมการที่ 2-2 แล้วได้ตั้งสมการที่ 2-3

$$M(s) = K_p E(s)$$

(2-3)

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด(Manipulating Variable)

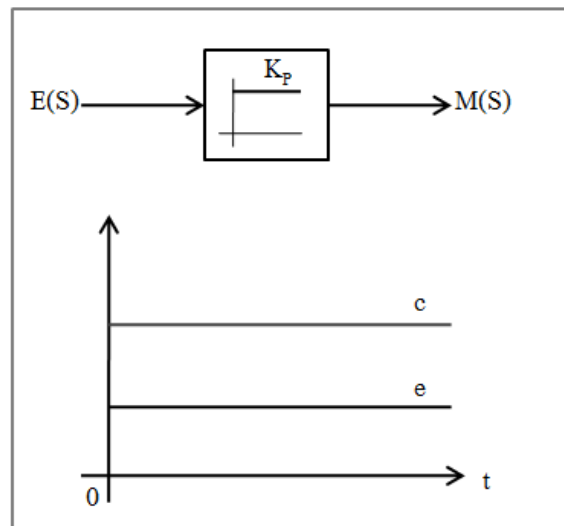
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน
(Proportional Gain)

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

$M(s)$ คือ เอาต์พุตในโดเมนของลาปลาซ

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-11 ไดอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (กระทำตามสัดส่วน)

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วน (P Controller) คือ จะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต (Actuating Error ; e) แบบทันที ขนาดของเอาต์พุต (Manipulating Variable ; m) นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตแล้วยังขึ้นกับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain; K_p)

จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณอินพุต หรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสถานะ

สม่ำเสมอเท่านั้น (Steady-State Error) ซึ่งเท่ากับ $e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p}$ (Steady-State; ss) การควบคุมแบบสัดส่วน ต้องการค่าความผิดพลาดเพื่อกำเนตสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้นจึงกล่าวว่า การควบคุมแบบสัดส่วนไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุม แบบสัดส่วน

2.2.1.2 การควบคุมแบบดี (Derivative Controller : D Controller) หรือเรียกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time Integral of the Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_d \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (2-4)$$

$$M(s) = K_d S[E(s)] \quad (2-5)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

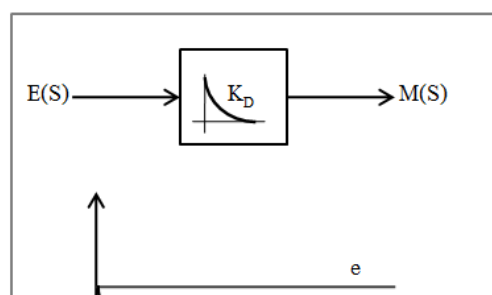
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงในโดเมนของลาปลาซ

$M(s)$ คือ เอาต์พุตในโดเมนของลาปลาซ

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-12 ไตอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (การกระทำอนุพันธ์)

จากสมการ 2-4 จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาดเป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์จะให้สัญญาณเอาต์พุต ที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตเท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสภาวะคงที่ การควบคุมแบบอนุพันธ์ทำให้ระบบสามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อนที่ค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้น แต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียว จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบ การชดเชยข้อด้อยดังกล่าวทำได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน และการควบคุมแบบปริพันธ์เพื่อทำให้คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

2.2.1.3 ตัวควบคุมแบบ ไอ (Integral-Action Controller : I Controller) หรือ ที่เรียกว่า การควบคุมแบบปริพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่

เป็นส่วนโดยตรงกับการปริพันธ์ ของค่าความผิดพลาด (Time Integral Of The Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_i (\int e dt) \quad (2-6)$$

Take Laplace สมการที่ 2-6 แล้วได้ตั้งสมการที่ 2-7

$$M(s) = \frac{K_i [E(s)]}{s} \quad (2-7)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

e คือ ค่าความผิดพลาด

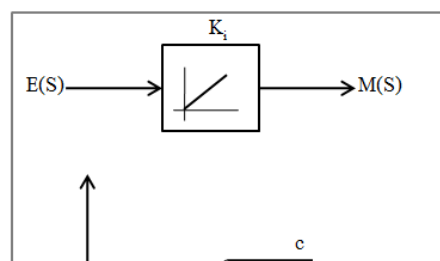
K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบ

ปริพันธ์

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงในโดเมนของลาปลาซ

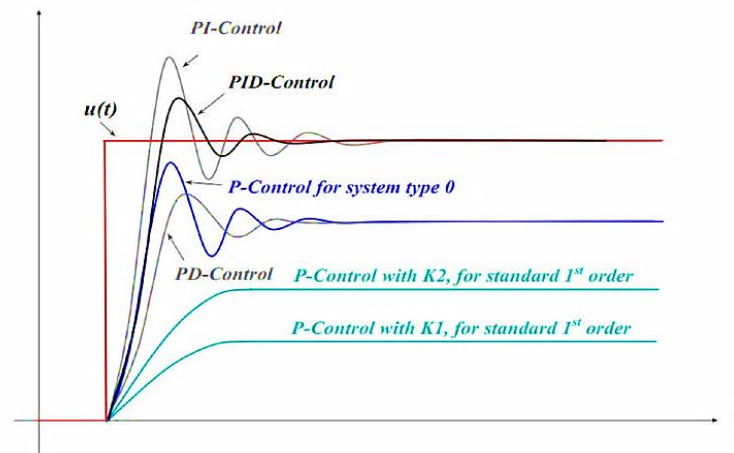
$M(s)$ คือ เอาต์พุตในโดเมนของลาปลาซ

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-13 ไตอะแกรมเวลาของขั้นตอนการตอบสนอง (ตัวกระทำปริพันธ์)

จากสมการ 2-6 จะเห็นว่า สัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าสะสมของ สัญญาณอินพุต ตราบใดที่ยังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความ ผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษา ค่าให้คงที่ไว้ เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (Error ; $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุต นอกจากจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับการควบคุมแบบปริพันธ์ คุณสมบัติสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์ หรือ (Integral Reset Time ; T_i) จะเห็นได้จากการอนุพันธ์สมการ B ซึ่งจะได้ $(\frac{dm}{dt}) = K_i(e)$ แสดงให้เห็นว่าอัตราการแก้ไขความผิดพลาด เป็น สัดส่วนกับค่าความผิดพลาด ดังนั้นตัวควบคุมแบบปริพันธ์ จึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบกระทั่งไม่มีความ ผิดพลาดเหลืออยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนอง ของระบบช้าลง เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วนแล้ว จะ เห็นว่าการควบคุมแบบปริพันธ์มีคุณสมบัติของการหน่วงเวลารวม อยู่



ภาพที่ 2-14 กราฟเปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบต่างๆ

ตารางที่ 2-2 ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในตัวควบคุมแบบ พีไอ ดี ต่อการตอบสนองของระบบ

ค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม	ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time : T_r)	ค่าพุ่ง เกิน สูงสุด (Maximum Overshoot : M_p)	เวลาเข้าสู่ ตำแหน่ง (Setting Time : T_s)	ค่าความ ผิดพลาด ณ สถานะ อยู่ตัว (Steady state error : e_{ss})
K_p	ช่วยลดเวลา T_r	ถ้าปรับ มาก M_p จะ เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลง น้อยมาก	ช่วยลด e_{ss} ลง
K_i	ช่วยลดเวลา T_r	ถ้าปรับ มาก M_p จะ เพิ่มขึ้น	ถ้าปรับมาก ทำให้ T_s เพิ่มขึ้น	ช่วยกำจัด e_{ss} จนหมดไป

K_d	เปลี่ยนแปลง น้อยมาก	ช่วยลด M_p	ลดลง	เปลี่ยนแปลง น้อยมาก
-------	------------------------	-----------------	------	------------------------

จากตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ K_p จะทำให้ช่วงเวลาขึ้นลดลง และลดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัว แต่ไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัวให้หมดได้ ค่าพารามิเตอร์ K_i จะมีหน้าที่หลักในการลดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัวให้หมดไป แต่การเพิ่มค่าพารามิเตอร์ K_i มากเกินไป ก็จะทำให้ผลการตอบสนองชั่วคราวของระบบเสียไปได้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ K_d มีหน้าที่หลักในการลดค่าพุงเกินสูงสุดลง และ ทำให้ผลการตอบสนองชั่วคราวของระบบดีขึ้น

2.2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี

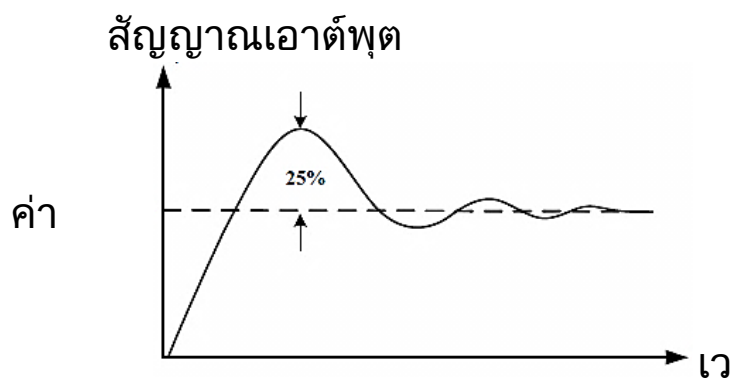
ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมต่างๆ ผู้ควบคุมจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมตลอดจนคุณสมบัติของโปรเซสนั้นรวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการควบคุมทั้งหมดเพื่อใช้เป็นข้อมูล ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อโปรเซส อันเนื่องมาจากการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก และผลการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมตัวอื่นในระบบ ซึ่งจะทำให้ผู้ควบคุมสามารถทำการเลือกชนิดของการควบคุม และสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมได้อย่างเหมาะสม การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นมากที่ต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะให้ได้ผลการตอบสนองของการควบคุมที่ดี และมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์นี้โดยทั่วไปสามารถกระทำได้หลายวิธี บางวิธีอาศัยการพิจารณาจากผลตอบสนองของโปรเซส บางวิธีจะอาศัยจาก

ประสบการณ์ในการควบคุมหรือบางวิธี ก็อาจจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการหาค่า พารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดีนั้น สามารถที่จะสรุปวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

2.2.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์การควบคุมด้วยพีไอดี โดยวิธีของZiegler-Nichols

วิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดีวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากในปัจจุบัน มีการตีพิมพ์ในหนังสือหลายเล่มโดยจะพิจารณาจากคุณลักษณะของโปรเซสหรือผลตอบสนองของโปรเซส โดยการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุม

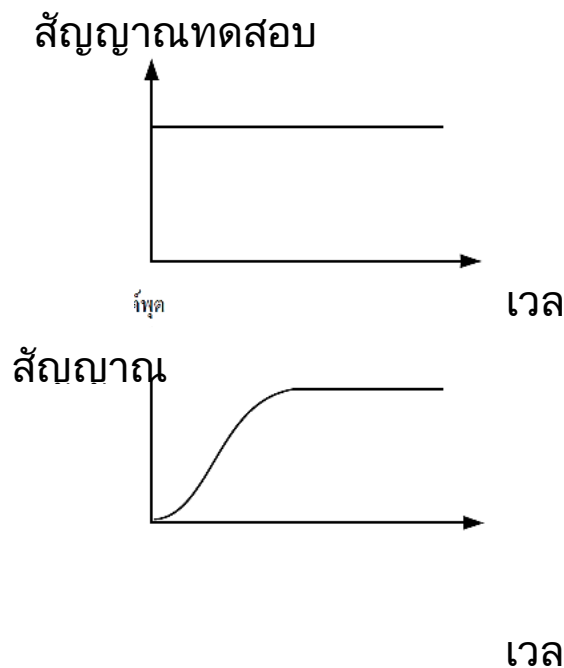
ค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดีที่ได้จากวิธีนี้จะให้ผลตอบสนองของโปรเซส มีค่าพุ่งเกิน ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่บางโปรเซสอาจจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีเพิ่มเติมอีก เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของโปรเซสต่อการควบคุมที่ดีและเหมาะสม



ภาพที่ 2-15 ผลตอบสนองของโปรเซส มีค่าพุ่งเกิน ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์

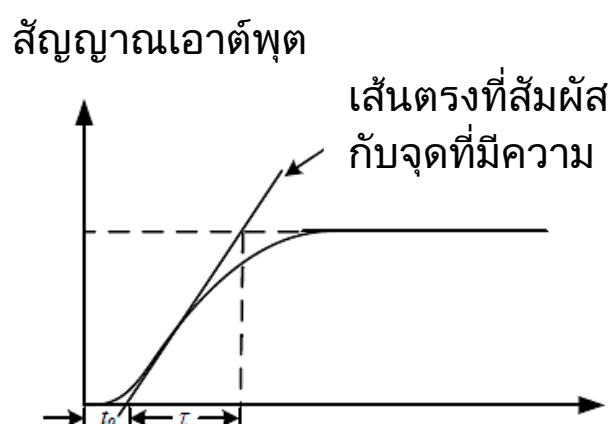
2.2.2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีด้วยวิธี Process Reaction Curve

การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี ในวิธีนี้จะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของโปรเซส ด้วยวิธีทดสอบโดยการเปลี่ยนระบบควบคุม เป็นรอบเปิด(Open Loop) จากนั้นทดลองป้อนสัญญาณทดสอบเป็นสัญญาณอินพุต แล้วสังเกต การเปลี่ยนแปลงของโปรเซสทางด้านเอาต์พุต



ภาพที่ 2-16 ผลตอบสนองของโปรเซสต่อสัญญาณทดสอบ

จากการพิจารณาผลตอบสนองของโปรเซส เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณระดับหนึ่งหน่วยโดยในกรณีนี้ระบบต้องไม่มีตำแหน่งโพลอยู่ที่จุดกำเนิดหรือต้องไม่มีตำแหน่งโพลเชิงซ้อน(Dominant Complex Conjugate Poles) และไม่ได้ต่อรวมกับอุปกรณ์ควบคุมโปรเซส ดังนั้นผลตอบสนองของกระบวนการในเชิงเวลาจะอยู่ในลักษณะตัว S



เวล

ภาพที่ 2-17 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Process Reaction Curve

ในภาพที่ 2-17 เราจะพิจารณาค่าคงที่ได้สองค่าก็คือ ค่าเวลาหน่วง (Delay Time, t_0) และค่าคงที่เวลา (Time Constant, τ) ซึ่งหาได้โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับจุดที่มีความชันสูงสุดและจะได้เส้นตรงนี้ตัดกับแกนเวลาและแกนเอาต์พุต

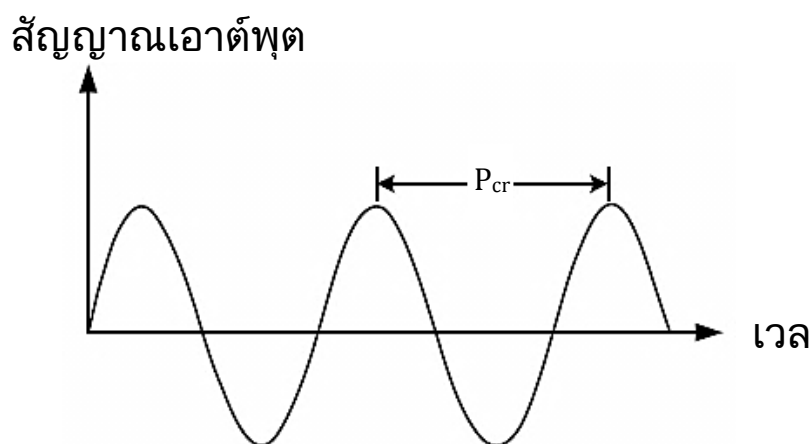
จากวิธี Process Reaction Curve สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแต่ละชนิดได้ตามตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุม ด้วยวิธี Process Reaction Curve

การควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{t_0}$	-	-
PI	$0.9 \frac{\tau}{t_0}$	$\frac{t_0}{0.3}$	-
PID	$1.2 \frac{\tau}{t_0}$	$2t_0$	$0.5t_0$

2.2.2.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดี ด้วยวิธี Ultimate Method

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีวิธีนี้ จะอาศัยผลตอบสนองของโปรเซส ซึ่งถูกควบคุมแบบพี ต่อ สัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณระดับหนึ่งหน่วย โดยปรับค่า อัตรา ขยายของการควบคุมแบบพี หรือ K_p ไปจนกระทั่ง ผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2-18 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ultimate Method

จากวิธีการหาค่าพารามิเตอร์แบบ Ultimate Method สามารถ คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแต่ละชนิด ได้ตาม ตารางที่ 2-4 เมื่อ K_{CR} คืออัตราขยาย ที่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Critical Gain) และ P_{CR} คือ คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Oscillation Period)

ตารางที่ 2-4 การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุม ด้วยวิธี Ultimate Method

การควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	-	-

PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$1.25P_{cr}$

การปรับค่าอัตราขยายการควบคุมแบบพี หรือ K_p เพื่อให้ผลตอบสนองของโปรเซสเกิดการแกว่งอย่างต่อนื่องนั้น จะใช้เวลาค่อนข้างนานโดยเฉพาะกับโปรเซสที่มีอัตราห้วงมาก ๆ เช่น กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้วิธีการ Ultimate Method นี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันมากนัก และวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมด้วยพีไอดีโดยวิธีของ Ziegler-Nichols ทั้งสองวิธี ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว เป็นค่าที่ได้จากการประมาณให้ใกล้เคียงเท่านั้น รวมทั้งผลตอบสนองของโปรเซสยังมีความพุ่งเกินสูงสุดถึง 25 เปอร์เซ็นต์อีกด้วย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงต้องปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้อีกครั้งหนึ่ง

2.2.2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี ด้วยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error Tuning)

การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี โดยใช้สมการสำเร็จรูปจากการวิเคราะห์และทดลองด้วยวิธีการต่าง ๆ บางครั้งก็ไม่สามารถทำให้ผลของการควบคุมได้ดีเท่าที่ควรที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะ โปรเซสที่ใช้ในการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ สำหรับนำไปใช้ปรับแต่งตัวควบคุมแบบพีไอดีนั้น อาจมีคุณสมบัติบางอย่างแตกต่างไปจากโปรเซสจริงที่ต้องการควบคุม นอกจากนี้แล้ว ค่าพารามิเตอร์ที่

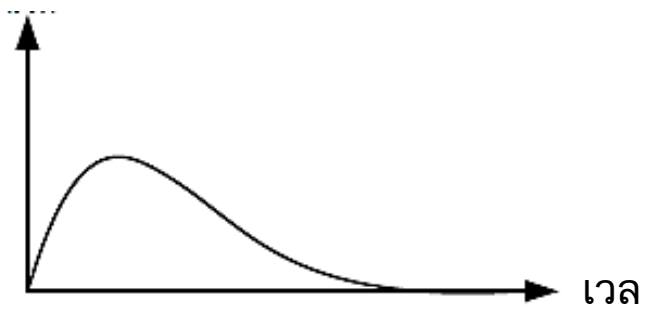
ได้จากวิธีการบางวิธี ยังได้มาจากการประมาณค่าอีกด้วย ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการสำเร็จรูป จึงเป็นเพียงค่าเริ่มต้นในการปรับค่าการควบคุม เพื่อไม่ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดี ด้วยวิธีลองผิดลองถูก จึงเป็นวิธีการอีกแนวทางหนึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ควบคุมโปรเซส โดยอาศัยการสังเกตผลของการควบคุมจากการพิจารณาผลตอบสนองของโปรเซสที่เกิดขึ้น ดังขั้นตอนที่พอสรุปได้ดังนี้

2.2.2.4.1 ปรับอุปกรณ์ควบคุมให้กระบวนการอยู่ในสถานะที่สมดุลโดยที่ปราศจากการเปลี่ยนแปลงค่าของสภาพกระบวนการและสัญญาณควบคุม

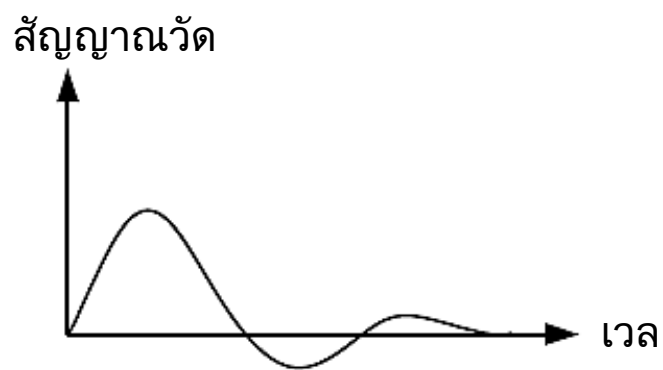
2.2.2.4.2 เปลี่ยนค่าเป้าหมายการควบคุมและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสภาพกระบวนการจากสัญญาณวัด

2.2.2.4.3 ปรับอัตราขยายการควบคุมแบบพี K_p จนกระทั่งได้ผลตอบสนองของกระบวนการมีผลการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2-19

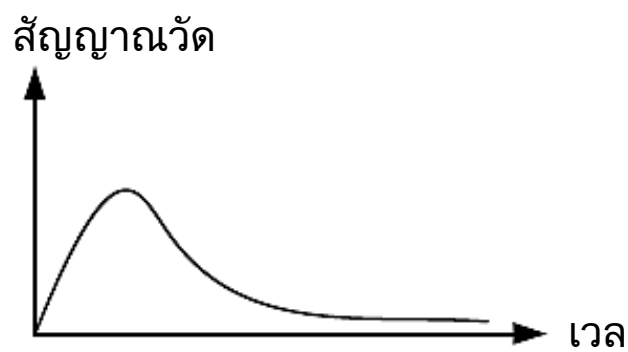
สัญญาณวัด



(ก) การปรับค่า K_p ที่เหมาะสม



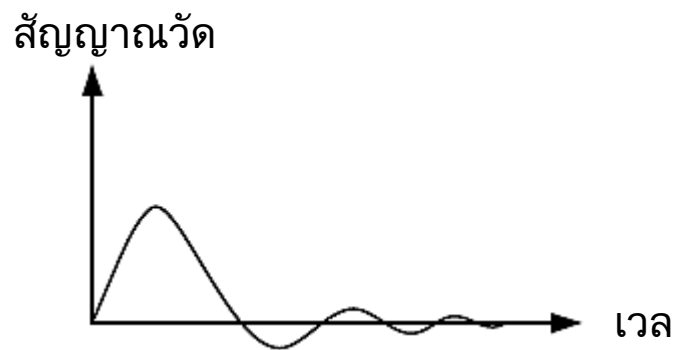
(ข) การปรับค่า K_p ที่มากเกินไป



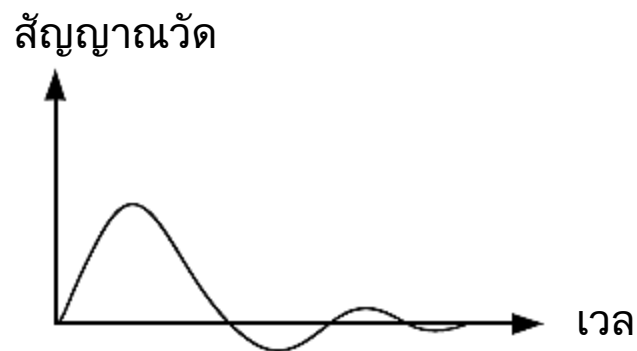
(ค) การปรับค่า K_p ที่น้อยเกินไป

ภาพที่ 2-19 ผลตอบสนองของโปรเซส เมื่อปรับค่า K_p

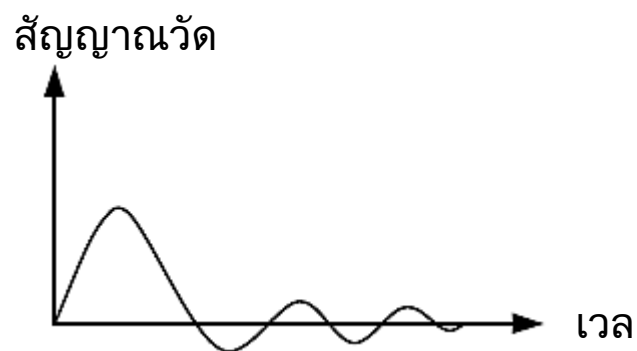
2.2.2.4.4 ปรับค่า T_i จนได้ผลตอบสนองของ
 กระบวนการ และมีผล
 การควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2-20



(ก) การปรับค่า T_i ที่เหมาะสม



(ข) การปรับค่า T_i ที่มากเกินไป



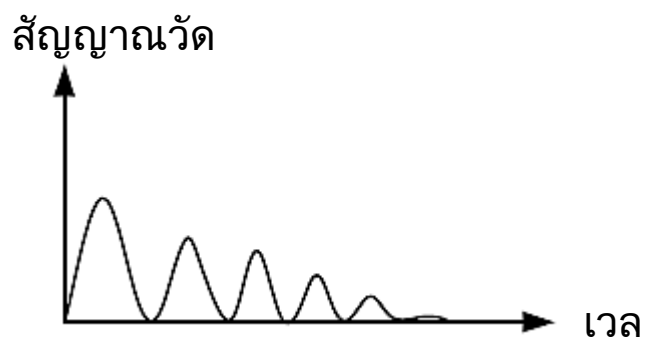
(ค) การปรับค่า T_i ที่น้อยเกินไป

ภาพที่ 2-20 ผลตอบสนองของโปรเซส เมื่อปรับค่า T_i

2.2.2.4.5 ปรับค่า T_d จนได้ผลตอบสนองของ
กระบวนการ มีผลการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2-
21

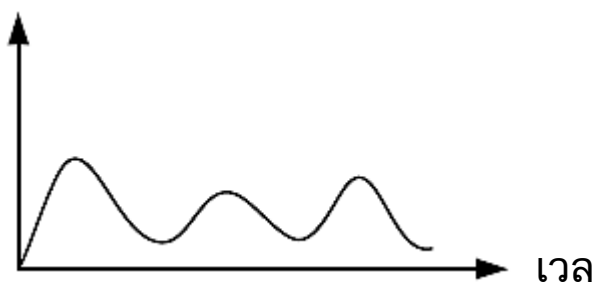


(ก) การปรับค่า T_d ที่เหมาะสม



(ข) การปรับค่า T_d ที่มากเกินไป

สัญญาณวัด



(ค) การปรับค่า T_d ที่น้อยเกินไป

ภาพที่ 2-21 ผลตอบสนองของโปรเซส เมื่อปรับค่า T_d

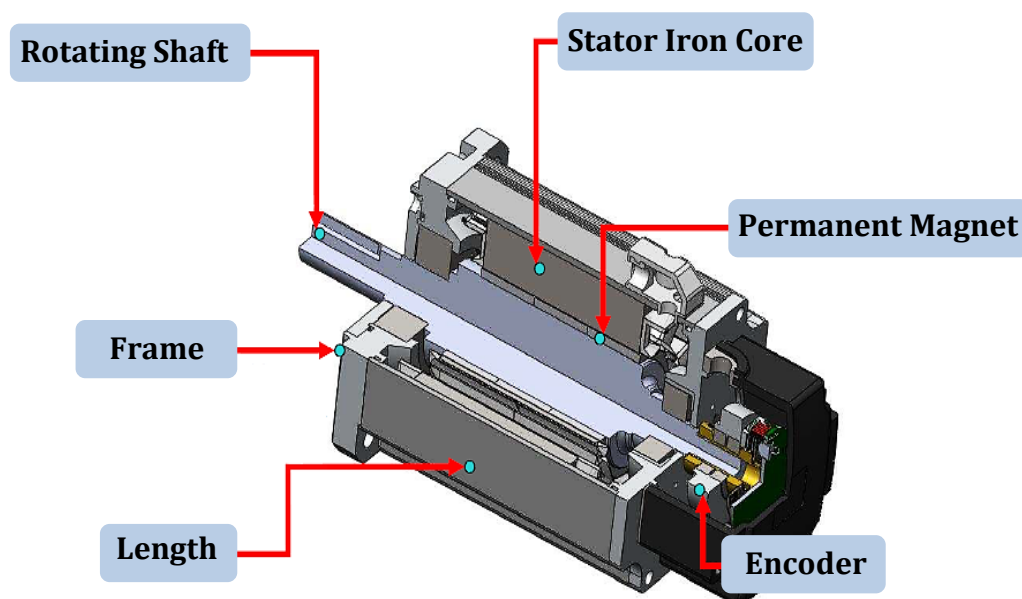
แม้ว่าวิธีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ปรับแต่งกระบวนการควบคุมนั้นจะมีด้วยกันหลายวิธี แต่พบว่าไม่สามารถสรุปวิธีการใดเป็นวิธีการที่ดีที่สุด ที่เป็นเช่นนี้ เพราะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของโปรเซสที่จะนำไปใช้งาน รวมทั้งผลตอบสนองของโปรเซสที่ต้องการนั่นเอง

จากเทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดีพอสที่สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ประกอบด้วยค่า K_p , T_i และ T_d ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากค่าคำนวณทางคณิตศาสตร์ และจากการทดลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีแต่ละวิธีซึ่งแตกต่างกันไป โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ ของการควบคุมด้วยพีไอดี เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองของการควบคุมที่ดี และมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปในทางปฏิบัติพบว่าการหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยพีไอดินั้น มักกระทำกันหลายครั้ง ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i และ T_d ที่เหมาะสมที่สุด

2.3 เอซีเซอร์โวมอเตอร์

เอซีเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 30 วัตต์ ขึ้นไปจนถึงกว่า 370 กิโลวัตต์ โครงสร้างภายในจะแตกต่างจากมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยที่โรเตอร์ (Rotor) จะเป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent

Magnet) การออกแบบลดแรงเฉื่อยให้มากที่สุดซึ่งจะเห็นจากรูปทรง เหลี่ยมและยาวซึ่งมีผล ทำให้การตอบสนองต่ออัตราเร่ง (Accelerate) ความเร็ว (Speed) และอัตราหน่วง (Decelerate) ทำได้ดีมากๆ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ หรือ มอเตอร์ทั่วไประบบจะมีสัญญาณป้อนกลับทั้งความเร็วและตำแหน่งสุดท้ายของมอเตอร์



ภาพที่ 2-22 โครงสร้างภายในของเอซีเซอร์โวมอเตอร์
 ชุดควบคุมเอซีเซอร์โวมอเตอร์ เป็นตัวขับเอซีเซอร์โว มอเตอร์ใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์โดยต่อไฟฟ้าโดยตรงเหมือนกับ มอเตอร์ธรรมดาไม่ได้ต้องต่อผ่านชุดวงจรขยาย ซึ่งจะเป็นตัว จ่ายไฟและรับสัญญาณป้อนกลับจากตัวเซ็นเซอร์ (Encoder Feedback) ถ้ามีเฉพาะเอซีเซอร์โวมอเตอร์ และ ชุดควบคุม เอซีเซอร์โวมอเตอร์ สามารถควบคุมได้แค่ความเร็วและแรงบิด

เท่านั้น คล้ายๆกับการใช้อินเวอร์เตอร์ แต่แตกต่างกันที่จะควบคุมรอบได้เที่ยงตรงแม่นยำและมีแรงบิดคงที่ตลอดช่วงความเร็วของมอเตอร์

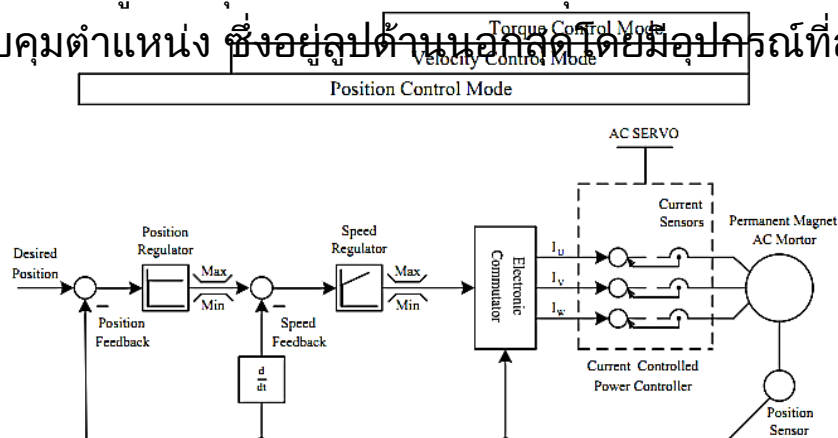
ตารางที่ 2-5 การจำแนกระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed Loop Control)

ระบบควบคุมแบบลูปปิด		
ระบบไฟฟ้า	ระบบไดนามิกส์	ระบบกระบวนการ
การสร้างแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ	ควบคุมความเร็ว (Speed Control)	ควบคุมอุณหภูมิ (Temp Control)
	ควบคุมแรงบิด (Torque Control)	ควบคุมแรงดัน (Pressure Control)
	ควบคุมตำแหน่ง (Position Control)	ควบคุมอัตราการไหล (Flow Control)
	ควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control)	ควบคุมความหนาแน่น (Density Control)

จากตารางสรุปได้ว่า ระบบเซอร์โวมอเตอร์ คือ การควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานตอบสนองด้านไดนามิกส์ เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่ง ให้ได้ดีที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุด

2.3.1 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ เป็นระบบควบคุมแบบลูปปิดประกอบด้วย 3 โหมด คือ โหมดการควบคุมแรงบิดซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง และโหมดการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุดโดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญ



ภาพที่ 2-23 แสดงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

2.3.2 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์จะมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ และ เอซีเซอร์โวมอเตอร์ โดย ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ จะมีการควบคุมที่กระแสสูง ดังนั้น จะต้องใช้อุปกรณ์เอสซีอาร์ แต่ปัจจุบัน อุปกรณ์ ได้พัฒนาขึ้นมาให้มีขีดความสามารถในการควบคุมกระแสสูงเพิ่มขึ้น และใช้งานได้ที่มีความถี่สูงได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้น ทำให้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องจักรรุ่นใหม่จะมีระบบควบคุมที่ใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์

2.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่าน

เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ ที่สเตเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่าน และคอมมิวเตเตอร์เรียงกระแสเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์เหมือนกับดีซีมอเตอร์ทั่วไป

2.3.4 เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน

เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย ดีซีเซอร์โว (DC Brushless Servo) โดยที่โรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เอซีเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีทั้งแบบซิงโครนัสเซอร์โวมอเตอร์ และ อะซิงโครนัสเซอร์โวมอเตอร์ การนำอินดักชันมอเตอร์มาใช้ทำเป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์

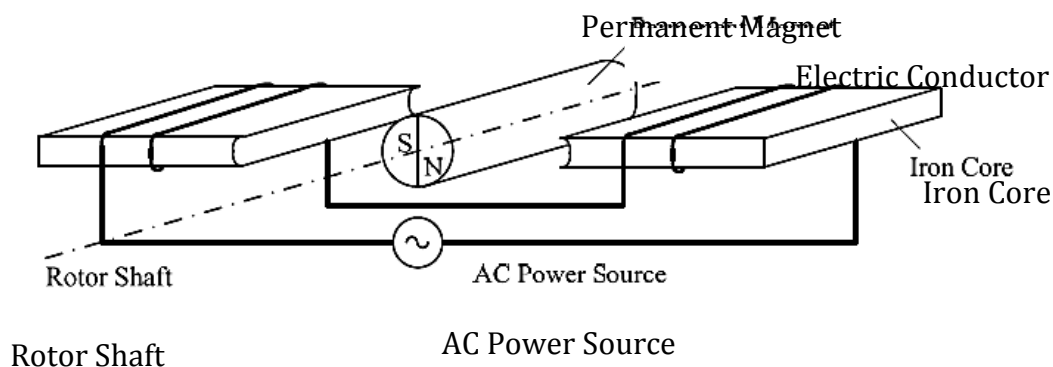
2.3.5 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไป ต้องใช้งานในระบบลูปปิดเท่านั้น ไม่สามารถเลือกเป็นลูปเปิดหรือลูปปิด เหมือนกับระบบเอซีไดรฟ์เซอร์โวมอเตอร์ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้หากไม่มีสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ป้อนกลับไป ชด

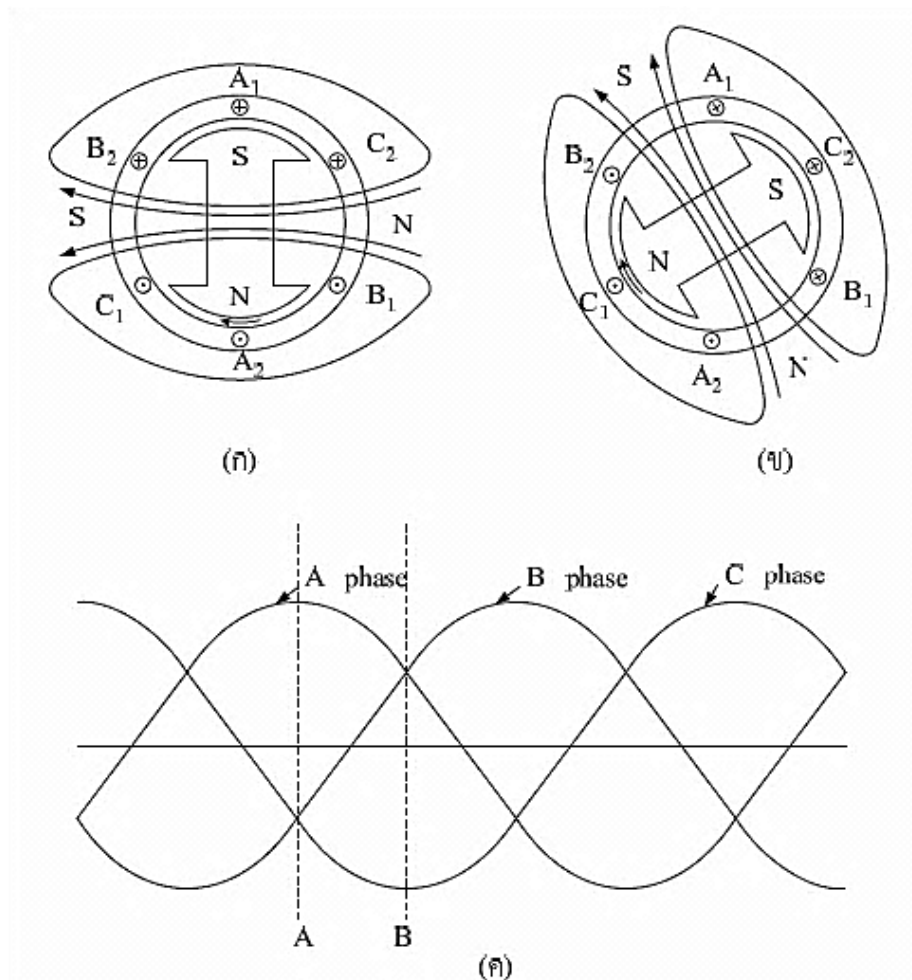
ขับเคลื่อนเอซีเซอร์โวมอเตอร์ จำเป็นจะต้องใช้เอ็นโค้ดเดอร์มา
เป็นส่วนเกี่ยวข้องในระบบควบคุมเสมอ เสมือนกับเป็น
ของคู่กันระหว่าง

เอซีเซอร์โวมอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ ทำให้บริษัทผู้ผลิตออกแบบ
โครงสร้างเอซีเซอร์โวมอเตอร์ และ เอ็นโค้ดเดอร์รวมด้วยกัน จึงทำ
ให้มีลักษณะโครงสร้าง ที่ใช้งานได้ง่าย โดยรวมของ
เอซีเซอร์โวมอเตอร์ที่พบเห็นในเชิงพาณิชย์ จะมีลักษณะรูปแบบ
เป็นแพ็คเกจ ประกอบด้วยเอซีเซอร์โวมอเตอร์ และเอ็นโค้ดเดอร์
ติดอยู่ที่ส่วนท้ายของเอซีเซอร์โวมอเตอร์ และเอซีเซอร์โวมอเตอร์
จะมีโครงสร้างประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือ สเตเตอร์ และ โร
เตอร์ ซึ่งคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟสทั่วไป

โดยสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุดที่สมดุลกัน ขดลวด
ภายในจะต่อเป็นแบบสตาร์หรือ
เดลต้า และมีสายต่อมาที่ขั้วต่อสายด้านนอก 3 เส้น ส่วน
โรเตอร์จะทำด้วยแม่เหล็กถาวร ไม่มีขดลวดพัน ไม่มีคอมมิวเต
เตอร์และไม่มีแปรงถ่าน



ภาพที่ 2-24 แสดงภาพส่วนประกอบของเอซีเซอร์โวมอเตอร์



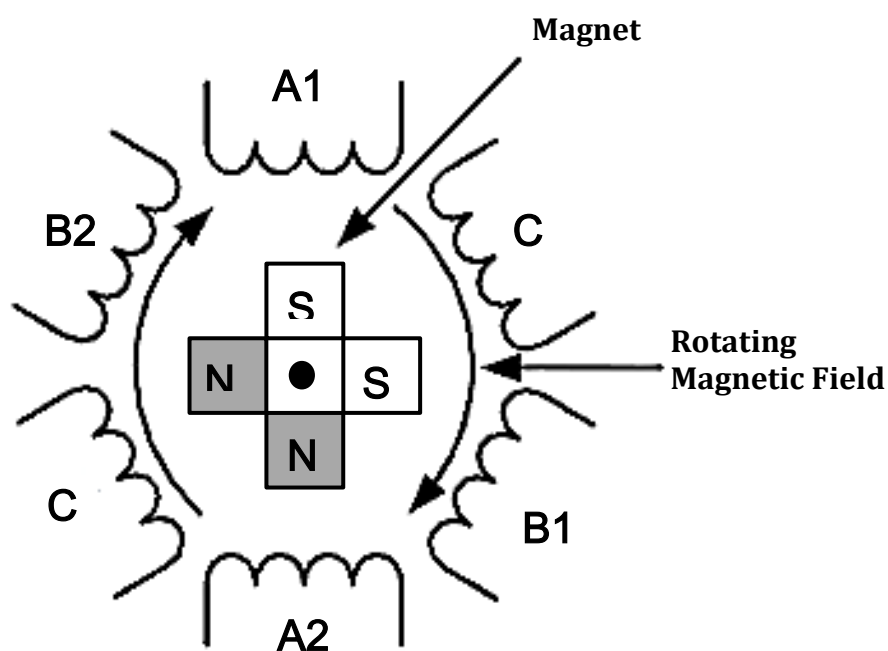
ภาพที่ 2-25 การจ่ายไฟและทิศทางการเกิดสนามแม่เหล็ก

2.3.6 นิยามของความถี่และตำแหน่งการวัดตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า

โดยทั่วไปกำหนดในรูปแบบของทางกลและทางไฟฟ้า ตำแหน่งในทางกลมีความสัมพันธ์กับการหมุนของโรเตอร์ซึ่งมีค่า 360 องศาทางกล ตำแหน่งทางไฟฟ้าของโรเตอร์

มีความสัมพันธ์กับการหมุนของสนามแม่เหล็กจากใน ภาพที่ 2-26 โรเตอร์ต้องเคลื่อนที่ไป

180 องศาทางกล จึงจะได้รูปร่างแม่เหล็กเหมือนกัน เมื่อครั้งที่โรเตอร์เริ่มหมุนและตำแหน่งไฟฟ้าของโรเตอร์ มีความสัมพันธ์กับจำนวนคู่ของโพลแม่เหล็กบนโรเตอร์



ภาพที่ 2-26 โครงสร้างเอซิงโครโมเตอร์ที่มี 4 โพลหรือโพลมี 2 คู่

2.3.7 ข้อแตกต่างระหว่างเซอร์โวมอเตอร์กับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ

เซอร์โวมอเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่มีการควบคุมตำแหน่งเป็นหลัก ซึ่งต้องการคุณสมบัติในการตอบสนองทางด้านไดนามิกส์ที่สูง (High Dynamics Response) ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูงในการควบคุมสูงในทางปฏิบัติให้ได้ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้พยายามออกแบบให้โรเตอร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางและรัศมีเล็กๆ รวมถึงการทำให้โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร เพื่อเป็นการลดแรงเฉื่อยของโรเตอร์ (Rotor Moment of Inertia) และ ชดเชยแรงบิดหรือทอร์กที่หายไปเนื่องจากโรเตอร์มีขนาดเล็กลง ด้วยการเพิ่มความยาวของโรเตอร์ ดังนั้นรูปร่างโครงสร้างทางกายภาพของเซอร์โวมอเตอร์ ที่พบเห็นทั่วไปจึงมีลักษณะบาง และมีความยาวมากกว่ามอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป นอกจากนั้นยังมีแรงบิดสูงกว่ามอเตอร์

2.4 เซอร์โวไดรฟ์

เซอร์โวไดรฟ์ คือ อุปกรณ์ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ให้ทำงานตอบสนองทางด้านไดนามิกส์ (Dynamic Response) เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิดและตำแหน่งให้ได้ที่สุด ในขณะเดียวกัน ก็ใช้เวลาน้อยที่สุด เซอร์โวไดรฟ์ จะแบ่งออกตามประเภทการใช้งานได้ดังนี้

- Pulse Train Input Driver
- Analog Input Driver

ซึ่งการใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามความต้องการของระบบ ซึ่งแบ่งพารามิเตอร์ (Parameter) ที่ต้องควบคุมได้ดังนี้

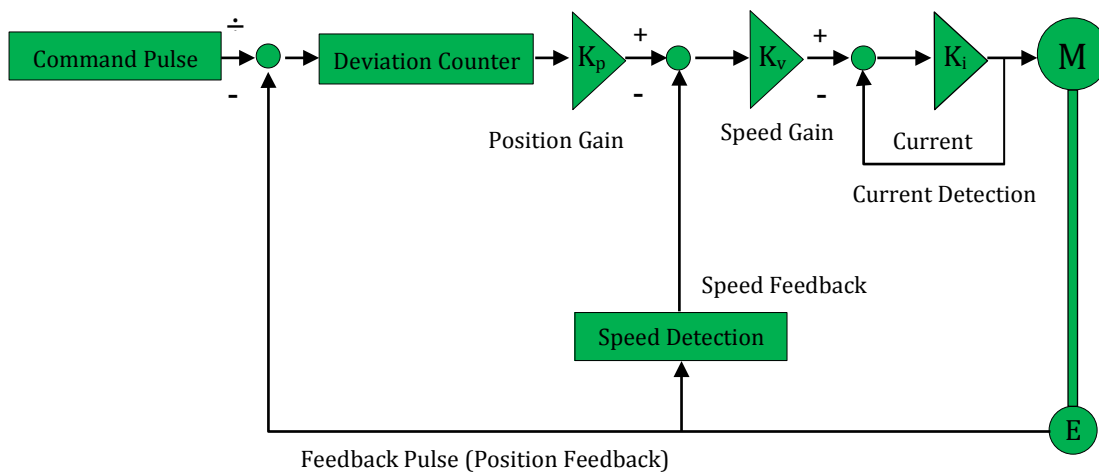
- การควบคุมตำแหน่ง
- การควบคุมความเร็ว
- การควบคุมแรงบิด

2.4.1 การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control)

ในการใช้งานต้องรู้ว่าเป็นแบบใดและต้องการ

ควบคุมพารามิเตอร์ตัวไหน และต้องเลือกระบบให้ถูกต้องตรงกับความต้องการ

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed Loop Control) ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุม คือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร็ว (Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด ดังภาพที่ 2-27



ภาพที่ 2-27 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมของเซอร์โวลีไดรฟ์

2.4.2 การทำงานของ เซอร์โวลีไดรฟ์ ประกอบด้วยการควบคุมแบบลูปปิด ทั้งหมด 3 ลูป คือ

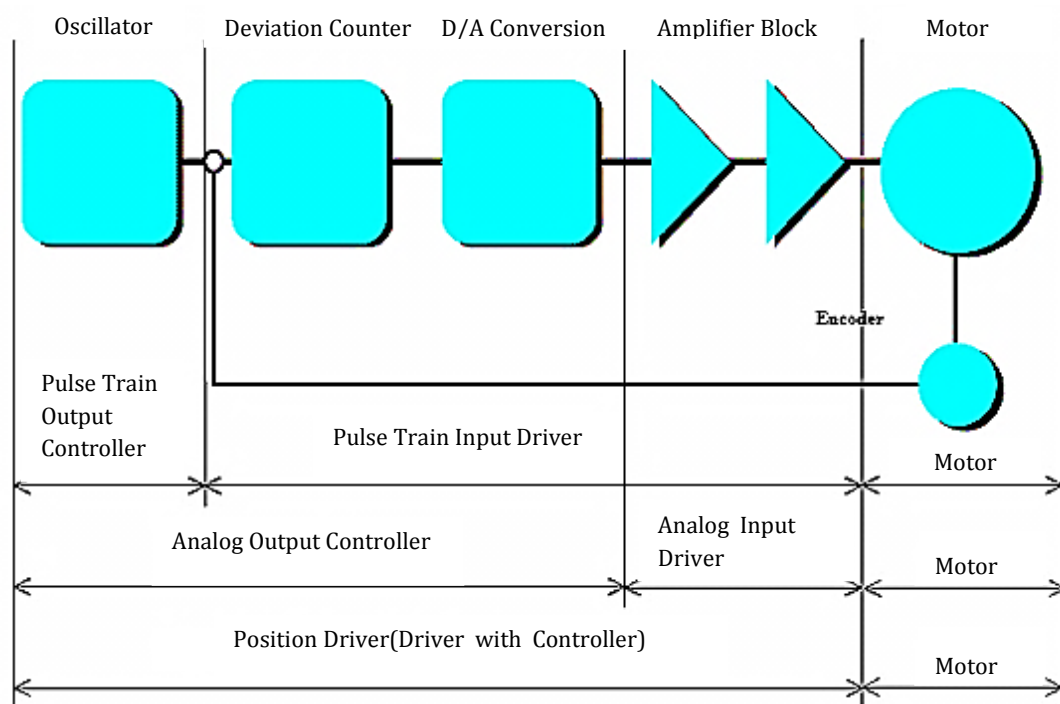
2.4.2.1 ลูปการควบคุมกระแสไฟ (Current Control Loop) เป็นส่วนของการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งจะแปรผันทางแรงบิด โดยรับสัญญาณอนาล็อก (Analog) มาจากเอาต์พุตของลูปการควบคุมความเร็ว (K_v) มาเปรียบเทียบกับ Current Detection Feedback

2.4.2.2 ลูปการควบคุมความเร็ว (Speed Control Loop) เป็นส่วนของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยรับสัญญาณอนาล็อก มาจากเอาต์พุต ของ ลูปการควบคุมตำแหน่ง

มาเปรียบเทียบกับ ความเร็วป้อนกลับ (Speed Feedback) จากเอ็นโค้ดเดอร์

2.4.2.3 ลูปการควบคุมตำแหน่ง(Position Control Loop)
เป็นส่วนของการควบคุมตำแหน่งโดยรับสัญญาณมาจาก Signal Command อาจจะเป็นสัญญาณอนาล็อก หรือสัญญาณจังหวะ (Pulse) มาเปรียบเทียบกับ ตำแหน่งป้อนกลับ (Position Feedback) จาก

เอ็นโค้ดเดอร์ ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยทั่วไปจะต้องใช้งานในระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed Loop) เซอร์โวมอเตอร์ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ดี หากไม่มีสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ป้อนกลับไปยังเซอร์โวไดรฟ์ ขาดซึ่งกันและกันไม่ได้ แสดงได้ดังภาพที่ 2-28



ภาพที่ 2-28 ระบบการควบคุมแบบเซอร์โว (Servo System)

2.5 โปรแกรมแลบVIEW

แลบวิว จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ แลบวิว เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) คือ จะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยรูป ไอคอนแทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้น เชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่าง โปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายการเขียนโฟลชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อกไดอะแกรม(Block-Diagram) ของโปรแกรม สิ่งที่ทำให้แลบวิว ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไป อีกอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งาน ทางด้านงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมาย สำคัญของแลบวิว โดยจะมีเครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้ อย่างมาก ซึ่งให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือน จริง



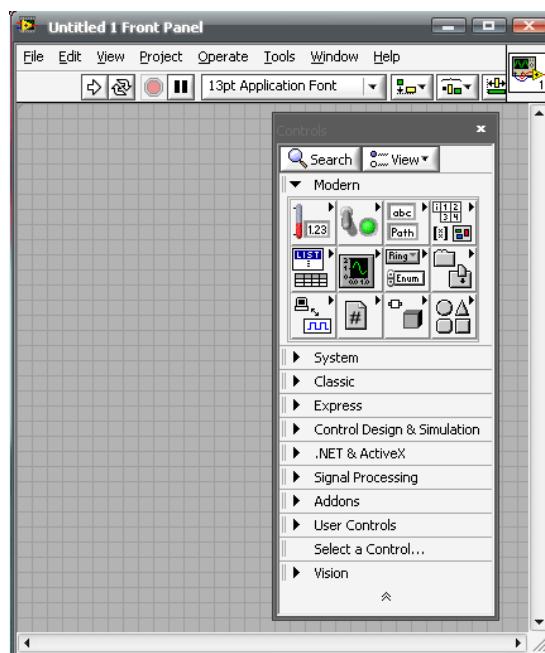
ภาพที่ 2-29 หน้าจอของแลบวิว 2010

2.4.1 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้แลบวิว

โปรแกรมแลบVIEW เป็นซอฟต์แวร์ภาษาอย่างหนึ่งที่ใช้พัฒนาโปรแกรมใช้งานอื่นๆ โดยเน้นไปทางด้านการใช้งานในงานวัดและควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้แลบVIEW นี้เรียกว่า VI (Virtual Instrument) คือการจำลองรูปแบบของส่วนต่างๆ ในเครื่องมือที่ใช้งานวัดคุม เช่น มิเตอร์, บาร์สเกล, กราฟ, สวิตช์และปุ่ม มาไวบนคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุมและแสดงผลข้อมูลจุดเด่นในการออกแบบโปรแกรมด้วยแลบVIEW

2.4.1.1 Front Panel

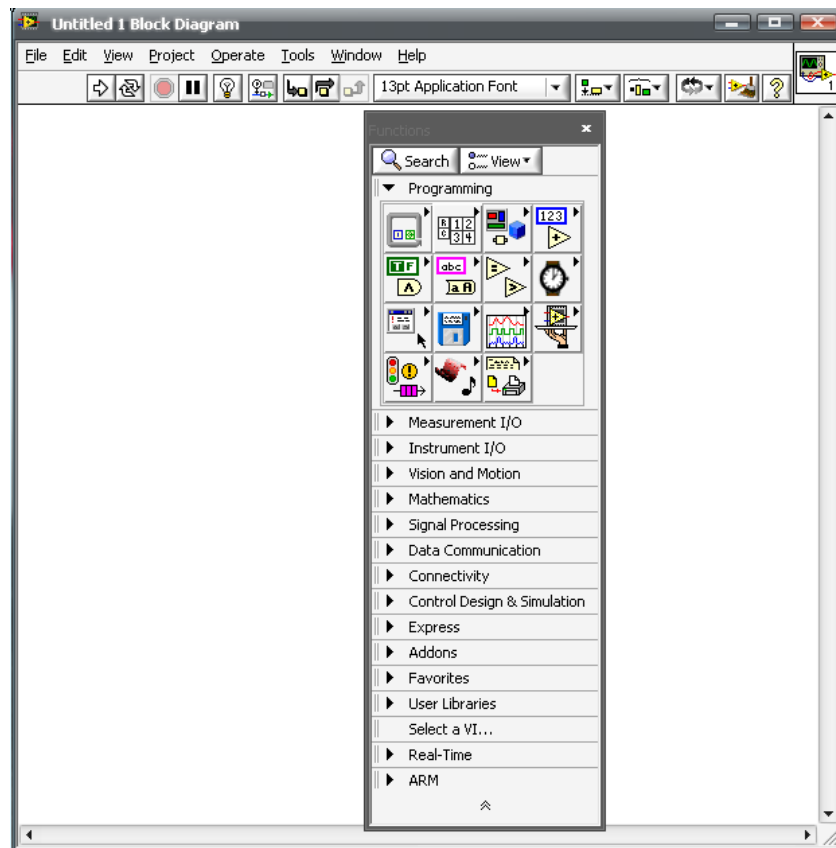
โปรแกรม VI ที่สร้างโดยแลบVIEW จะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่า Front Panel ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุม เช่น การป้อนข้อมูล, ปุ่ม, สวิตช์และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น มิเตอร์, บาร์สเกลและ กราฟ เป็นต้น ส่วนต่างๆ เหล่านี้สามารถเลือกได้จากกรุปไอคอนใน Control Palette แล้วนำมาวางประกอบกันเป็น Front Panel ซึ่งผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นผ่าน Front Panel นี้ เช่น การกดปุ่ม, เลื่อนแถบสไลด์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ดพร้อมทั้งยังสามารถดูผลข้อมูลได้



ภาพที่ 2-30 หน้าจอ Front Panel และชุดควบคุม

2.4.1.2 Graphical Block Diagram

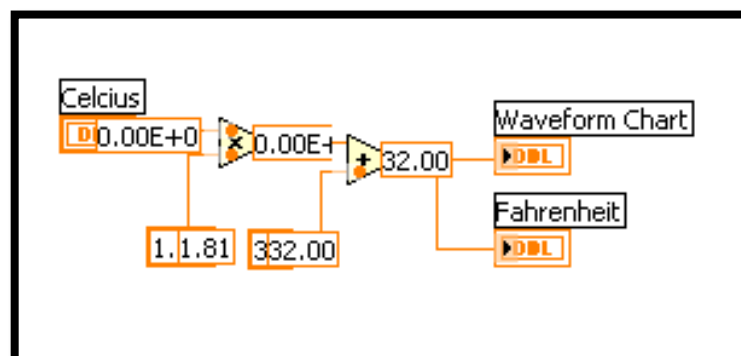
การสร้างโปรแกรม vi บนแลบวิว ทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรมซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลในเรื่องการใช้ภาษามากมายเหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ สามารถเลือกบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ได้จาก Functions Palette มาวางและเชื่อมโยงบล็อกต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อระบุว่าการส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้ มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึงฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต การปฏิบัติการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลและอื่น ๆ อีกมากมาย



ภาพที่ 2-31 หน้าจอบล็อกไดอะแกรมและชุดฟังก์ชัน

2.4.1.3 Data Flow Programming

โปรแกรม VI ที่สร้างด้วยแลบวิว มีรูปแบบการทำงานในลักษณะของ Data Flow Programming คือ การทำงานขึ้นอยู่กับการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกฟังก์ชันต่าง ๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน (Simultaneous and Multithreaded Systems) นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับโปรแกรม VI อื่น ๆ เพื่อรับส่งข้อมูลได้



ภาพที่ 2-32 ลักษณะการทำงานแบบ Data Flow ของโปรแกรมแลบVIEW

2.4.1.4 รูปแบบข้อมูล(Data Type)

เนื่องจากข้อมูลในแลบVIEWนั้นมีหลายแบบ คือ เลขทศนิยม , เลขจำนวนจริงตัวอักษร หรือ ค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้น เพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบ แลบVIEW จึงได้กำหนดให้ลักษณะของ เส้น สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าว ยังอาจมีลักษณะที่เป็น scalars, 1-D array, 2-D array ได้ ซึ่งลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างออกไปอีก

ตารางที่ 2-6 ลักษณะของเส้น (wire) ข้อมูลแต่ละชนิดในแลบVIEW

	Scalars	1-D Array	2-D Array	สี
เลข ทศนิยม				ส้ม
เลข จำนวน เต็ม				น้ำเงิน
ค่าจริง- เท็จ				เขียว
ตัวอักษร				ชมพู

2.4.2 ฟังก์ชันในโปรแกรมแลบVIEW

ฟังก์ชันในโปรแกรมแลบVIEWจะหาค่าผิดพลาด (e) จากการเปรียบเทียบค่าแตกต่างระหว่าง ค่าที่จุดกำหนด (SP) และ ค่าประมวลผล (PV)

$$e = SP - PV$$

(2-8)

ดังนั้น พีไอดีจะคำนวณหาค่าเอาต์พุต ($u(t)$) โดยที่ K_c คืออัตราการขยายในการควบคุม

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (2-9)$$

ถ้าค่าผิดพลาด (Error) และค่าเอาต์พุตอยู่ในช่วง -100 เปอร์เซนต์ ค่าที่ส่งออกเอาต์พุตจะเป็นค่ากลับกันในช่วงของค่าสัดส่วน (Proportional : K_p) T_i คือค่าปริพันธ์ ของเวลาในนาที่ (Integral Time in Minutes) เรียกว่า เวลาปรับตั้งใหม่ (Reset Time) T_d คือค่าความแตกต่างของเวลาในนาที่ (Derivative Time in Minutes) เรียกว่า เวลาของอัตรา (Rate Time)

สูตรการคำนวณหาค่าของสัดส่วน คือ

$$u_p(t) = K_c e$$

(2-10)

สูตรการคำนวณหาค่าของปริพันธ์ คือ

$$u_i(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e dt$$

(2-11)

สูตรการคำนวณหาค่าของอนุพันธ์ คือ

$$u_d(t) = K_c T_d \frac{de}{dt}$$

(2-12)

สัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุตของพีไอดี เป็นผลรวมระหว่าง ค่า สัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ดังแสดงในสูตร

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k)$$

(2-13)

ค่าจำกัดเอาต์พุตของพีไอดี แท้จริงแล้วเอาต์พุตของการควบคุมแบบพีไอดีในแลบวิวนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า สูงสุด-ต่ำสุดของค่าที่จะส่งออกไปเพื่อควบคุมค่าที่ส่งออกไป

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } u(k) > u_{\max} \quad \text{ดังนั้นให้ } u(k) &= u_{\max} \\ \text{ถ้า } u(k) < u_{\min} \quad \text{ดังนั้นให้ } u(k) &= u_{\min} \end{aligned}$$

ดังนั้นสูตรที่แท้จริงในการคำนวณหาเอาต์พุตในรูปแบบของพีไอดีในแลบวิว คือ

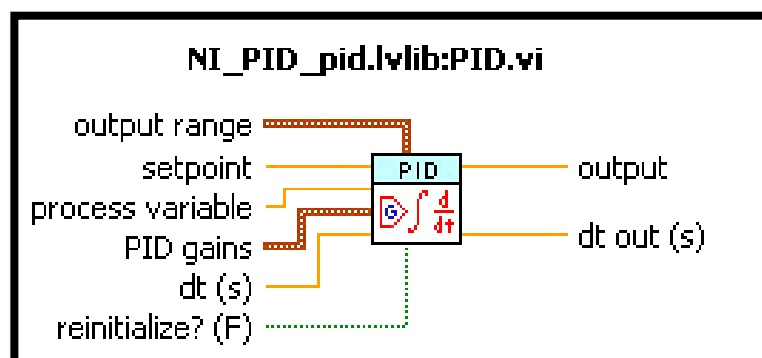
$$u(t) = K_C \left[(SP - PV) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (SP - PV) dt - T_d \frac{dPV_f}{dt} \right] \quad (2-14)$$

บล็อกไดอะแกรมแสดงลำดับการประมวลผลเอาต์พุตของฟังก์ชันพีไอดีในแลบวิว

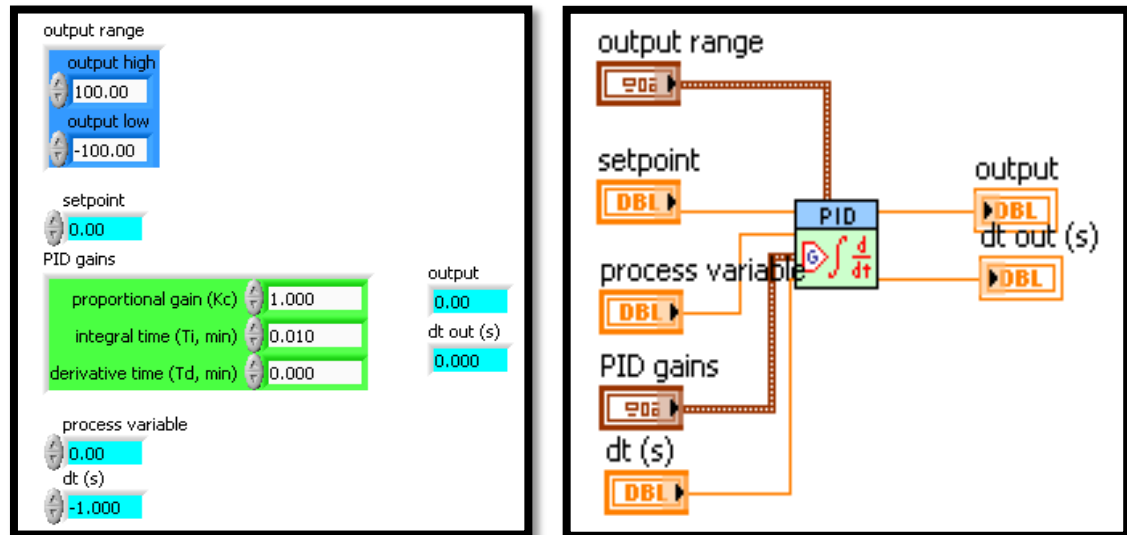


ภาพที่ 2-33 การประมวลผลของพีไอดีกำหนดจุดและช่วงเวลาในแลบวิว

ฟังก์ชันพีไอดีในแลบวิวมีการต่อใช้งานดังแสดงในภาพที่ 2-34 และ 2-35 และในส่วนของหมายเลข 1 จะเป็นส่วนของการควบคุม หรือการกำหนดค่าต่าง ๆ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของโปรแกรม ส่วนหมายเลข 2 คือ ส่วนเอาต์พุตหรือการแสดงผลตอนรันโปรแกรม



ภาพที่ 2-34 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบVIEW



ภาพที่ 2-35 ตัวอย่างฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบVIEW