

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

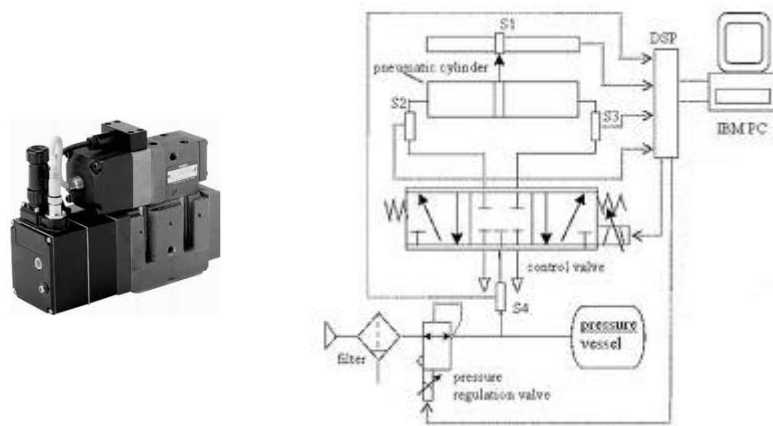
การวิจัยเรื่อง เซอร์โวไฮดรอลิกส์ควบคุมตำแหน่งแบบไฮบริดจ์ เป็นการใช้ระเบียบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental) โดยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Matlab Simulation ผู้วิจัยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การกำหนดขอบเขต
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดขอบเขต

การวิจัยเรื่อง เซอร์โวไฮดรอลิกส์ควบคุมตำแหน่งแบบไฮบริดจ์ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

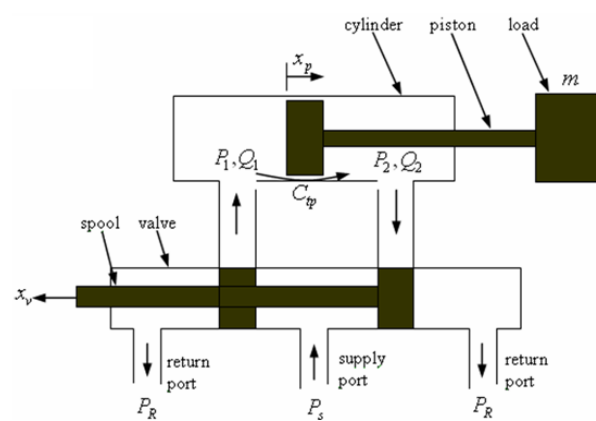
1. ขอบเขตการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F458, การใช้ทฤษฎี PID โดยการกำหนดค่าเซตพอยท์ ของระบบ 8 บิต ที่ 128 เซอร์โวไฮดรอลิกส์วาล์ว, ความดันของระบบ 30 , 40 , 50 บาร์ น้ำหนักวัตถุ 9 กิโลกรัม
2. ขอบเขตเนื้อหา การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งศึกษาตามขอบเขตดังต่อไปนี้
 - 2.1 การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบด้วยเซอร์โวไฮดรอลิกส์ (Servo Hydraulic) เซอร์โวไฮดรอลิกส์ คือระบบควบคุมที่มีการตรวจสอบและบังคับเอาต์พุตระบบด้วยตัวของมันเองเพื่อให้ติดตามสัญญาณคำสั่งหรือสัญญาณอ้างอิงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งหมายถึงผลที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติในอุปกรณ์ ควบคุม รวมทั้งผลที่เกิดขึ้นจากโหลดหรือการรบกวนภายนอกที่สามารถที่ปรับลดลงได้ หรืออาจเรียกว่าระบบการควบคุมแบบวงจรรอบปิด (closed loop control system) หรือควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control system)



รูปที่ 3.1 เซอร์โวไฮดรอลิกส์

การคำนวณ

ระบบไฮดรอลิกส์ กำลังทางกลที่ได้มาจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า จะถูกเปลี่ยนไปเป็น กำลังไฮดรอลิกส์ ซึ่งการส่งถ่ายกำลังไฮดรอลิกส์จะถูกบังคับและควบคุมให้กลับกลายมสเป็นกำลังทางกล สำหรับในระบบประสิทธิภาพที่สูญเสียไป (Efficiency loss) ในระบบไฮดรอลิกส์ จะปรากฏขึ้นใน ขณะที่กำลังรูปแบบหนึ่งถูกเปลี่ยนกำลังงานอีกรูปแบบหนึ่งเช่น มอเตอร์ ปั๊ม และกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ ส่งผลให้กำลังที่ได้ทางเอาต์พุมมีค่าน้อยกว่ากำลังทางด้านอินพุท



รูปที่ 3.2 การส่งถ่ายกำลังระหว่างวาล์วกับลูกสูบ

จากรูปสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงการส่งถ่าย

$$\frac{V_t}{4\beta_e} \dot{P}_L = -A\dot{x} - C_p P_L + Q_L \quad (1)$$

เมื่อ

V_t : ปริมาตรทั้งหมด

β_e : สัมประสิทธิโมดูลัส

P_L : ความดัน

A : พื้นที่ของลูกสูบ

x_p : ระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

C_p : สัมประสิทธิการสูญเสีย

Q_L : อัตราการไหล

เซอร์โววาล์ว (Servo valve) เป็นวาล์วอนาล็อก (Analog valve) ที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยสัญญาณอินพุตสั่งงานที่เป็นแบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปโครงสร้างมีสองชั้น (2 stages) ชั้นที่หนึ่งประกอบด้วยมอเตอร์แรงบิด (Torque motor) และในส่วนของ ฟลิปเปอร์หรือน็อชเชิล (Flapper/nozzle) หรือโฟล็ตวาล์วทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้านั่นเองซึ่งสามารถเรียกว่า “Servo amplifier” ระบบเซอร์โววาล์วสามารถพิจารณาส่วนที่เกี่ยวข้องได้คือสปูลวาล์ว (Spool valve) x_v และสัญญาณไฟฟ้าอินพุต (Input voltage) u โดยสามารถเขียนสมการกำลังสอง (Second order) ได้ดังนี้

$$T(s) = \frac{x_v(s)}{u(s)} = \frac{\omega_e^2}{s^2 + 2\zeta\omega_e s + \omega_e^2} \quad (2)$$

$$x_v s^2 = -\omega_e^2 x_v - 2\zeta\omega_e x_v s + \omega_e^2 \mu$$

$$x_v s^2 + 2\zeta\omega_e x_v s + \omega_e^2 x_v = \omega_e^2 \mu$$

$$\ddot{x}_v = -\omega_e^2 x_v - 2\zeta\omega_e \dot{x}_v + \omega_e^2 \mu$$

สามารถเขียนสมการ $\ddot{x}_v = \dot{x}_v$ โดยที่ความเร็วของวาล์วคือ $\dot{x}_v$ ดังนั้น

$$\ddot{x}_5 = -\omega_e^2 x_4 - 2\zeta \omega_e \dot{x}_5 + \omega_e^2 \mu \quad (3)$$

เมื่อ

$T(s)$ สามารถทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

ω_e ความถี่ธรรมชาติ

ζ อัตราส่วนการกด

เมื่อความดัน $P_L = P_1 - P_2$ และอัตราการไหล $Q_L = (Q_1 + Q_2)/2$ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความดัน

กับอัตราการไหลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{P_s - \text{sgn}(x_v) P_L}{\rho}} \quad (4)$$

และสมการของแรงที่กระทำกับลูกสูบ

$$P_L A = m\ddot{x} + kx + F_f \quad (5)$$

โดยสมการการเคลื่อนที่ของมวลคือ $m\dot{x}_2 = F_{hyd}$,

เมื่อ m ขนาดของมวลทั้งหมด ดังนั้น $F_{hyd} = AP_L$ โดยสามารถเขียนเป็นสมการที่สัมพันธ์กันได้

(6)

$$m\dot{x}_2 = F_{hyd} = AP_L = (F_{spring} + F_{viscosity} + F_{load\ pressure})$$

สมการที่ (1) และ (4).สามารถเขียนสมการความดันใหม่ได้

$$\dot{P}_L = -\left(\frac{4\beta_e A}{V_t}\right)\dot{x} - \left(\frac{4\beta_e C_{tp}}{V_t}\right)P_L + \left(\frac{4\beta_e}{V_t}\right)Q_L \quad (7)$$

$$\dot{P}_L = -\alpha\dot{x} - \beta P_L + \left(\frac{4\beta_e C_d w}{V_t \sqrt{\rho}}\right)x_v \sqrt{P_s - \text{sgn}(x_v) P_L} \quad (8)$$

เมื่อ

$$\alpha: (4\beta_e A/V_t)$$

$$\beta: (4\beta_e C_p / V_t)$$

$$\gamma: (4\beta_e C_d w / V_t \sqrt{1/\rho})$$

ค่าพารามิเตอร์ของสมการที่ (1) – (5) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{m}(Ax_3 - F_f) \\ \dot{x}_3 &= -\alpha x_2 - \beta x_3 + \left(\gamma \sqrt{P_s - \text{sgn}(x_4)x_3}x_4\right) \\ \dot{x}_4 &= x_5 \\ \dot{x}_5 &= -\omega_e^2 x_4 - 2\zeta \omega_e x_5 + \omega_e^2 \mu\end{aligned}\tag{9}$$

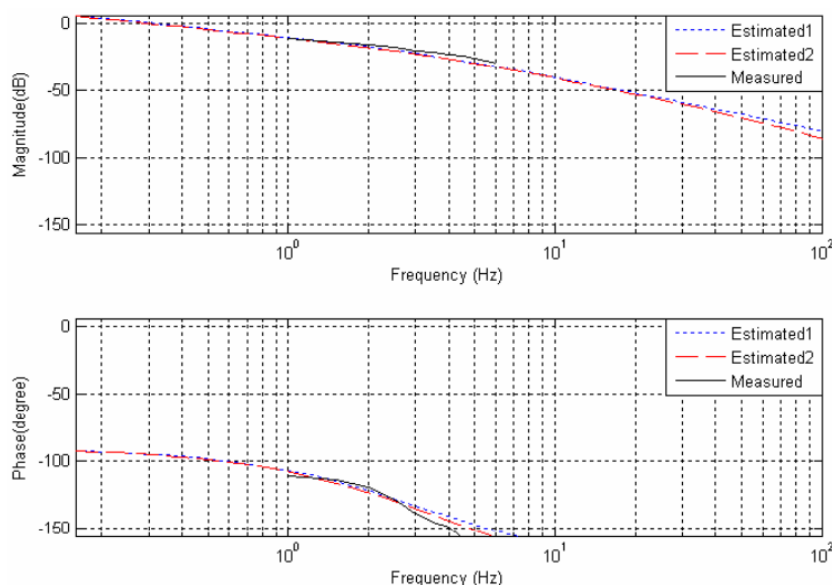
การทดสอบค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของสมการกำลังสาม (Third order) โดยกำหนดค่าความถี่ 1-6 เฮิร์ตที่ค่าความดัน 50 บาร์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{K_q \frac{\omega_n^2}{A_1}}{s(s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2)}\tag{10}$$

จากค่าความถี่ที่ใช้ทดลองคือ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 และ 6 เฮิร์ตที่ค่าความดัน 50 บาร์ การทดลองเพื่อหาค่าการตอบสนอง (Step response) โดยสมการโพลีโนเมียลกำลังสามดังสมการด้านล่าง

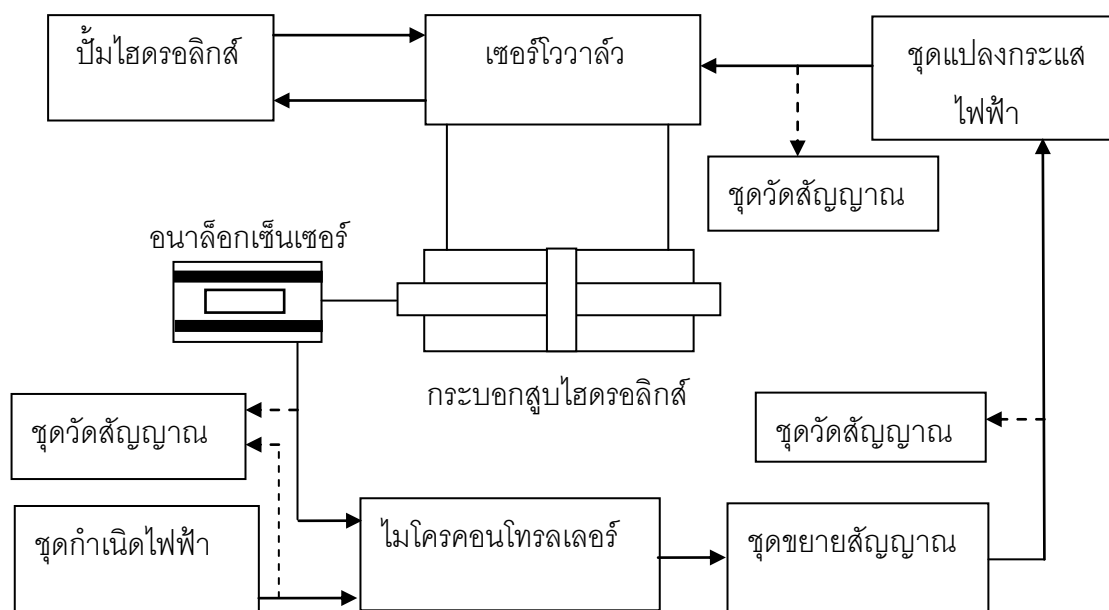
$$G(s) = \frac{9272}{s^3 + 205.5s^2 + 1.056e4s}\tag{11}$$

การเปรียบเทียบกราฟของสมการกำลังสองจะมีค่าเท่ากับ 74.16% และสมการกำลังสามเท่ากับ 80.77%



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของโบเด (Bode) ไดอะแกรม

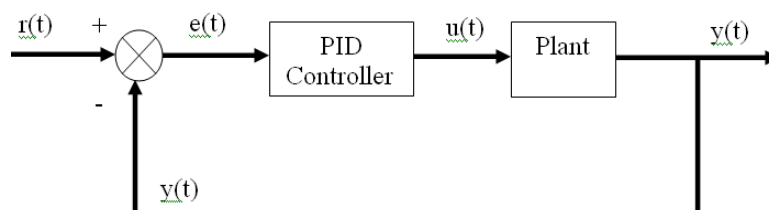
2.2 ทดลองการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ระบบการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 จะรับสัญญาณอนาล็อกจากอนาล็อกเซ็นเซอร์ (Linear Potentiometer) เพื่อขยายสัญญาณและเข้าที่ขาสัญญาณอนาล็อก (ADC) ของไมโครคอนโทรลเลอร์พอร์ต A0 (Port A0) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 ซึ่งถูกเขียนด้วยซอฟต์แวร์ภาษาซีสำหรับภาษาซีจะเป็นซอร์สโค้ด (Source Code) ในลักษณะการวนลูการทำงานของ IF, THEN, ELSE การประกาศตัวแปรและรีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่โปรแกรมซีซีเอสซีคอมไพเลอร์ (CCS C Compiler) โดยจะมีคำสั่งในการทำงานของการควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ทั้งหมด หลังจากนั้นโปรแกรมจะคอมไพล์ให้เป็นเลขฐานสิบหกคือ 0 กับ 1 เพื่อดาวนโหลดซอร์สโค้ดลงไป ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านโปรแกรม WinPIC อีกทีหนึ่ง และไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ ชุดขยายสัญญาณ (Amplifier) โดยสามารถควบคุมค่าการขยายสัญญาณเปิดปิดเซอร์โววาล์ว ที่ประมาณ 100-600 mA และส่งสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของเซอร์โววาล์ว โดยค่าเริ่มต้นที่ประมาณ 100 mA สามารถสั่งให้เซอร์โววาล์ว เริ่มเปิดได้ จนถึงประมาณ 600 mA เซอร์โววาล์วจะเปิดสูงสุด มีผลทำให้สามารถควบคุมตำแหน่ง ความเร็วของลูกสูบไฮดรอลิกส์ได้ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3 ใช้ทฤษฎีของระบบควบคุม

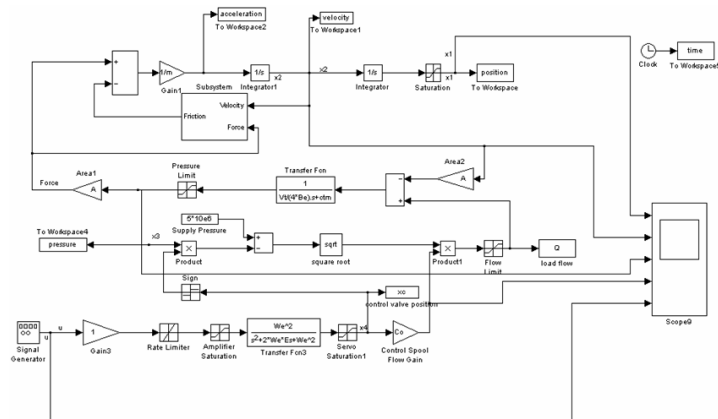
2.3.1 ทฤษฎี PID สำหรับงานวิจัยนี้เลือกตัวควบคุมพีไอดีทำการศึกษาวิจัย เพื่อที่จะปรับปรุงแก้ไขปัญหา โดยเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) เป็นระบบควบคุม ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยจะประกอบด้วย องค์ประกอบ 3 ส่วน คือ P-Proportional, I-Integral, และ D-Derivative ซึ่งการออกแบบจะหาค่าตัวแปรของตัวควบคุมที่เหมาะสมเพื่อให้ระบบมีการ ตอบสนองและพฤติกรรมตามที่ต้องการ คือ เสถียรภาพของระบบควบคุม (Stability) ค่าผลต่าง ระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุต (error) ของการควบคุมที่สภาวะคงตัว และความเร็วและ รูปร่างของการตอบสนองชั่วคราว เมื่อนำมาต่อร่วมกับระบบ จะมีแผนภาพบล็อกการควบคุมดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพบล็อกการควบคุมแบบพีไอดี

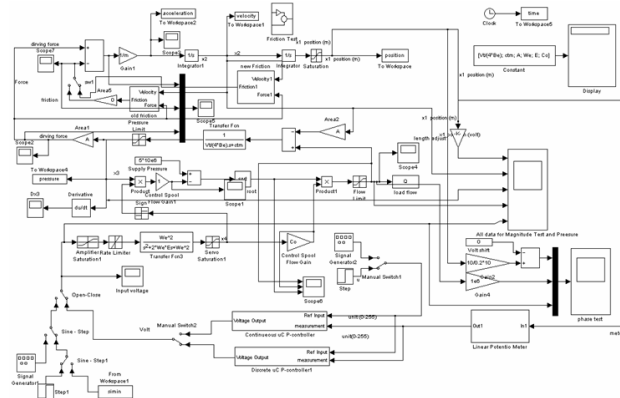
จากส่วนประกอบของ PID Controller สามารถคำนวณหา Transfer function ต่างๆ ของ ตัวควบคุมและระบบควบคุมได้ดังนี้

1) การใช้โปรแกรม MATLAB Simulink แบบระบบเปิด ในการทดลองระบบไฮดรอลิกส์



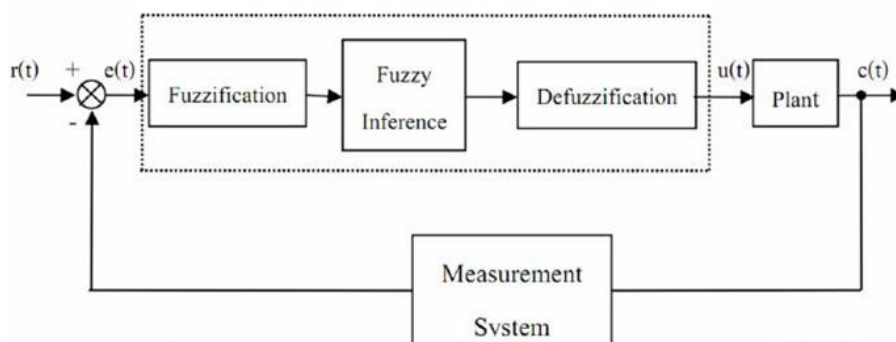
รูปที่ 3.6 การ Simulink แบบระบบเปิด

2) การใช้โปรแกรม MATLAB Simulink แบบระบบปิด ในการทดลองระบบไฮดรอลิกส์



รูปที่ 3.7 การ Simulink แบบระบบปิด

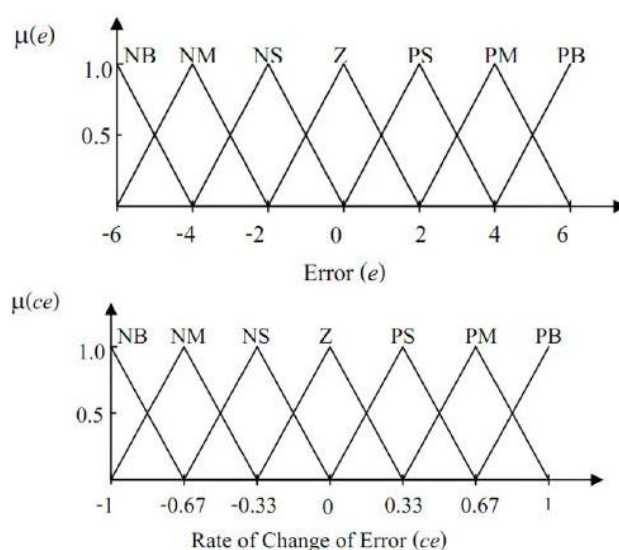
2.3.2 ทฤษฎี Fuzzy Control ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบควบคุมที่มีลักษณะ ที่ไม่เป็นเชิงเส้นแปรเปลี่ยนตามเวลา และยากที่จะกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ การควบคุมแบบทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกมีหลักการควบคุมแบบหลัก ๆ อยู่สามขั้นตอน ดังแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

1) ฟัซซี่ฟิเคชัน (Fuzzification)

จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นอินพุตของระบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าความเป็นสมาชิก



รูปที่ 3.9 ระบบฟัซซี่เซตของอินพุตและระบบของฟัซซี่ฟิเคชัน

2) การวินิจฉัย (Fuzzy Inference) เป็นส่วนของการประมวลผลและการวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น IF error is Positive small and change of error if Negative small the control signal is Positive small ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กฎการควบคุมในรูปตาราง

ce 	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	Z	PM	PB
NM	NB	NB	NB	NM	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	PS	PM	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NM	NS	PS	PM	PB	PB
PM	NB	NM	NS	PM	PB	PB	PB
PB	NB	NM	Z	PM	PB	PB	PB

3) ดิฟฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนที่สองยังอยู่ในรูปแบบของฟัซซี โดยจะแปลงค่าที่เป็นเอาต์พุตจาก ฟัซซีให้เป็นเอาต์พุตที่เป็นค่าเดียว และสามารถนำมาควบคุมระบบได้

$$y = \frac{\sum u_n y_n}{u_n}$$

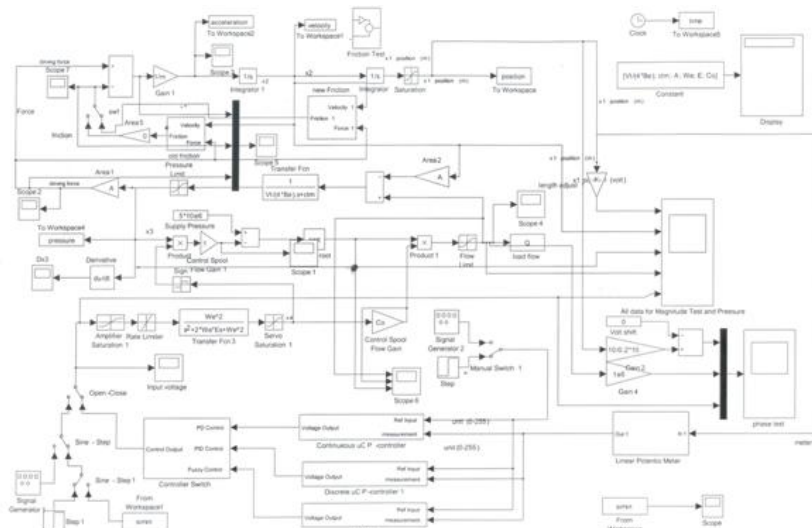
โดย

y = เอาต์พุตของระบบ

y_n = เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ (จุดศูนย์กลางถ่วง)

u_n = สมาชิกของแต่ละเอาต์พุต

4) การใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ระบบฟัสนี้ ในการทดลองระบบไฮดรอลิกส์



รูปที่ 3.10 การ Simulink แบบระบบปิดแบบฟัสนี้

2.4 เปรียบเทียบผลการทดลองผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม

Matlab

Simulation

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง

การวิจัยทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดกระทำข้อมูลการวิจัยทดลองโดยแบ่งเครื่องมือออกเป็นขั้นตอนเพื่อช่วยในการหาคำตอบตามวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ข้อ ของการวิจัยครั้งนี้ ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาตำแหน่งที่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ลูกสูบไฮดรอลิกส์ โดยมีการกำหนดการทดลองไว้ดังนี้

1.1 ใช้การควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 ความถี่ที่ใช้ในการทดลอง 1- 6 Hz โดยมีช่วงความถี่เท่ากับ 0.5 และความดันที่ใช้ในการทดลอง 30 , 40 , 50 บาร์

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าการกำหนดค่าเซตพอยท์ ของระบบ 8 บิท

การทดลอง (ครั้งที่)	ความถี่ (Hz)	ความดัน (Bar)	การทดลอง (ครั้งที่)	ความถี่ (Hz)	ความดัน (Bar)
1	1	30	23	1	50
2	1.5	30	24	1.5	50
3	2	30	25	2	50
4	2.5	30	26	2.5	50
5	3	30	27	3	50
6	3.5	30	28	3.5	50
7	4	30	29	4	50
8	4.5	30	30	4.5	50
9	5	30	31	5	50
10	5.5	30	32	5.5	50
11	6	30	33	6	50
12	1	40			
13	1.5	40			
14	2	40			
15	2.5	40			
16	3	40			
17	3.5	40			
18	4	40			
19	4.5	40			
20	5	40			
21	5.5	40			
22	6	40			

1.3 การใช้ทฤษฎี PID

1.4 การใช้ทฤษฎี Fuzzy Logic Control

2. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ลูกสูบ ไฮดรอลิกส์

ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากตารางที่ 3.2 ดังนี้

2.1 ทดสอบผลการทดลองจากระบบไฮดรอลิกส์ (Experiments) แบบระบบเปิด

และระบบปิด

2.2 ทดสอบผลการทดลองจากโปรแกรม (MATLAB Simulation) แบบระบบเปิด และระบบปิดด้วยการทดสอบ Simulation

2.3 นำผลการทดลองระหว่างระบบไฮดรอลิกส์ (Experiments) กับผลการทดลองจากโปรแกรม (Simulation) มาเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม ของการเคลื่อนที่ลูกสูบไฮดรอลิกส์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1. การทดลองจากโปรแกรม (MATLAB Simulation) แบบระบบเปิด และระบบปิดด้วยการทดสอบ Simulation เก็บรวบรวมข้อมูลจากโปรแกรมซอฟต์แวร์จากคอมพิวเตอร์
- 2.การทดลองจากระบบไฮดรอลิกส์ (Experiments) แบบระบบเปิด และระบบปิด เก็บรวบรวมข้อมูลจากเครื่องออสไซโรสโคป

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่ใช้เครื่องมือในการวิจัยทดลองประกอบด้วยแบบบันทึกการทดสอบ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหานั้นมาเขียนเป็นความเรียงจากข้อมูลที่ได้ทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพ