

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

DESIGN AND FABRICATE OF HYDRAULIC PROPORTIONAL'S EXPERIMENTAL LAB



T119157



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119157.....
วัน,เดือน,ปี.....6.S.M.2554

| |
|--------|
| b..... |
| i..... |

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

DESIGN AND FABRICATE OF HYDRAULIC PROPORTIONAL'S EXPERIMENTAL LAB

ผู้จัดทำ

1. นายวัชรพงศ์ อิศระนวัฒน์กุล รหัสประจำตัว 50011427
2. นายวรงค์ เศรษฐระ รหัสประจำตัว 50011353



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.อนุวัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพอร์ซันนัลไฮดรอลิก

นายวัชรพงศ์ อิศระนุวัฒน์กุล 50011427

นายวรงค์ เศรษฐระ 50011353

ผศ.ดร.อนุนต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบชุดการทดลองควบคุมระบบไฮดรอลิกโดยมีวาล์วพอร์ซันนัล (Proportional Valve) ติดตั้งกับแขนกล ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลและอัตราการไหลผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การควบคุมแบบป้อนนั้นจะนำการควบคุม PID เข้ามาใช้ ซึ่งลักษณะของโปรแกรมนั้นจะเป็นการควบคุมแบบจุดต่อจุด โดยการสร้างสัญญาณในรูปแบบของ Unit step ภายในโปรแกรมนั้นสามารถปรับค่าอัตรากำลังขยายของตัวควบคุม PID ได้อย่างอิสระ ผู้ใช้นั้นสามารถติดตามกราฟของผลตอบสนอง %OS และ Rise Time ในส่วนของโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกลใช้หลักการของแก้สมการ Inverse Kinematic แบบ Algebraic Solution โดยมีการสร้างเส้นทางการเดินแบบจุดต่อจุดด้วยโพลีโนเมียลกำลังสาม จากการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนค่าอัตรากำลังขยายของตัวควบคุมสรุปได้ว่า การควบคุมแบบ P ระบบจะตอบสนองได้รวดเร็วเมื่อค่าอัตรากำลังขยาย (K_p) มีค่าเพิ่มขึ้นและตอบสนองในรูปแบบของ First Order System การควบคุมแบบ PI และ PID ระบบจะตอบสนองแบบ Second Order System ซึ่งลักษณะในการตอบสนองนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า K_p และค่า K_i ในส่วนของค่า K_d นั้น %Overshoot ของระบบจะมีค่าลดลงและตอบสนองได้รวดเร็วขึ้นเมื่อค่า K_d เพิ่มขึ้น

DESIGN AND FABRICATE OF HYDRAULIC PROPORTIONAL'S EXPERIMENTAL LAB

Watcharapong Essaranuwatanakul

Warong Seedsra

Assoc. Prof. Dr. Unnat Pinsopon Advisor

Academic Year 2010

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a control system for hydraulic robot arm controlled by two proportional valves. The control program adjusts flow rates and directions of fluid. The control program is capable of point-to-point position control of robot arm by creating unit step inputs. The PID control's gains can be freely adjusted. User can monitor tracking responses, percent overshoots (%OS) and rise times of the system. In Data-Generator program, inverse kinematic solutions are solved by algebraic method. Third order polynomial trajectory is selected for the path of the robot arm. From the experiments, the response of P control is appearing as First Order System. Increasing the gain K_p , the response of the system is faster. The response of PI and PID control are appearing as Second Order System. The types of the response depend on K_p and K_i . The percent overshoot decreases with increasing of the gain K_p , while the rise time increases.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุนนต์ พิณ โสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อสถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณ น.ส.สายทิพย์ สุขมากสิน ที่ให้ความช่วยเหลือด้านงานเอกสารในการทำโครงการ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายวัชรพงศ์ อิศสระนุวัฒน์กุล

นายวรงค์ เศรษฐระ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ช |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและการดำเนินงาน | 1 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | 3 |
| 2.1 ระบบไฮดรอลิก | 3 |
| 2.2 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) | 3 |
| 2.3 Inverse Modulation | 4 |
| 2.4 อัลกอริทึมในการควบคุมแขนกล | 4 |
| 2.5 Trajectory | 6 |
| 2.6 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอินทิกรัลและอนุพันธ์ | 9 |
| บทที่ 3 การติดตั้งชุดทดลอง | 14 |
| 3.1 ชุดทดลองแขนกลไฮดรอลิก | 14 |
| 3.2 สมการการเคลื่อนที่ของแขนกล (Dynamics Model) | 19 |
| 3.3 แผนผังการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก | 20 |
| 3.4 Inverse Modulation | 21 |
| 3.5 การควบคุมและตัวควบคุม | 22 |
| บทที่ 4 ชุดโปรแกรมควบคุมและการทดสอบชุดทดลอง | 23 |
| 4.1 ชุดโปรแกรมควบคุม | 23 |
| 4.2 การทดสอบชุดทดลองไฮดรอลิก | 26 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ | 36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---------------|------|
| เอกสารอ้างอิง | 37 |
| ภาคผนวก ก | 38 |
| ภาคผนวก ข | 43 |



สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ Proportional Directional Control Valves | 3 |
| รูปที่ 2.2 แขนกลแบบ 2R โดยแกน Z พุ่งออกจากหน้ากระดาษ | 4 |
| รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรม Inverse Kinematics | 6 |
| รูปที่ 2.4 เส้นทางหลายทางเลือกสำหรับจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุด | 8 |
| รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ P (Proportional) | 10 |
| รูปที่ 2.6 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ I (Integral) | 11 |
| รูปที่ 2.7 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ D (Derivative) | 12 |
| รูปที่ 3.1 ชุดทดลองแขนกลไฮดรอลิก | 14 |
| รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก | 15 |
| รูปที่ 3.3 แขนกลไฮดรอลิก | 15 |
| รูปที่ 3.4 ปัมป์ไฮดรอลิกชนิดเฟืองขนาด 1 HP | 16 |
| รูปที่ 3.5 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) | 16 |
| รูปที่ 3.6 Rotary Incremental Encoder | 17 |
| รูปที่ 3.7 Computer | 17 |
| รูปที่ 3.8 Data Acquisition Card รุ่น NI 6221 | 18 |
| รูปที่ 3.9 Pressure Transmitter | 18 |
| รูปที่ 3.10 Joystick Controller | 19 |
| รูปที่ 3.11 Free-Body Diagram ของแขนกล | 19 |
| รูปที่ 3.12 วงจรการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก | 20 |
| รูปที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหา Modulation Curve | 21 |
| รูปที่ 3.14 กราฟ Modulation Curve | 21 |
| รูปที่ 4.1 ชุดโปรแกรมควบคุมผ่านจอยควบคุม | 23 |
| รูปที่ 4.2 ชุดโปรแกรมควบคุมแบบจุดต่อจุด | 24 |
| รูปที่ 4.3 ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 1) | 24 |
| รูปที่ 4.4 ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 2) | 25 |
| รูปที่ 4.5 ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 3) | 25 |
| รูปที่ 4.6 ชุดโปรแกรมควบคุมแบบเส้นทางการเดิน | 25 |
| รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองที่ $K_p = 0.5$ | 27 |
| รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1$ | 27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองที่ $K_p = 5$ | 28 |
| รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_I = 4$ | 29 |
| รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองที่ $K_p = 2, K_I = 4$ | 29 |
| รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองที่ $K_p = 2, K_I = 5$ | 30 |
| รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองที่ $K_p = 4, K_I = 4$ | 30 |
| รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองที่ $K_p = 7, K_I = 4$ | 31 |
| รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_I = 4, K_D = 0.05$ | 32 |
| รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_I = 4, K_D = 0.2$ | 32 |
| รูปที่ 4.17 ผลตอบสนองที่ $K_p = 4, K_I = 4, K_D = 0.2$ | 33 |
| รูปที่ 4.18 เส้นทางการเดินบนพิกัด X,Y | 33 |
| รูปที่ 4.19 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 1) | 34 |
| รูปที่ 4.20 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 2) | 34 |
| รูปที่ 4.21 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 3) | 35 |
| รูปที่ 4.22 แสดงผลตอบของระบบที่ $K_p = 2, K_I = 5, K_D = 0.1$ | 35 |

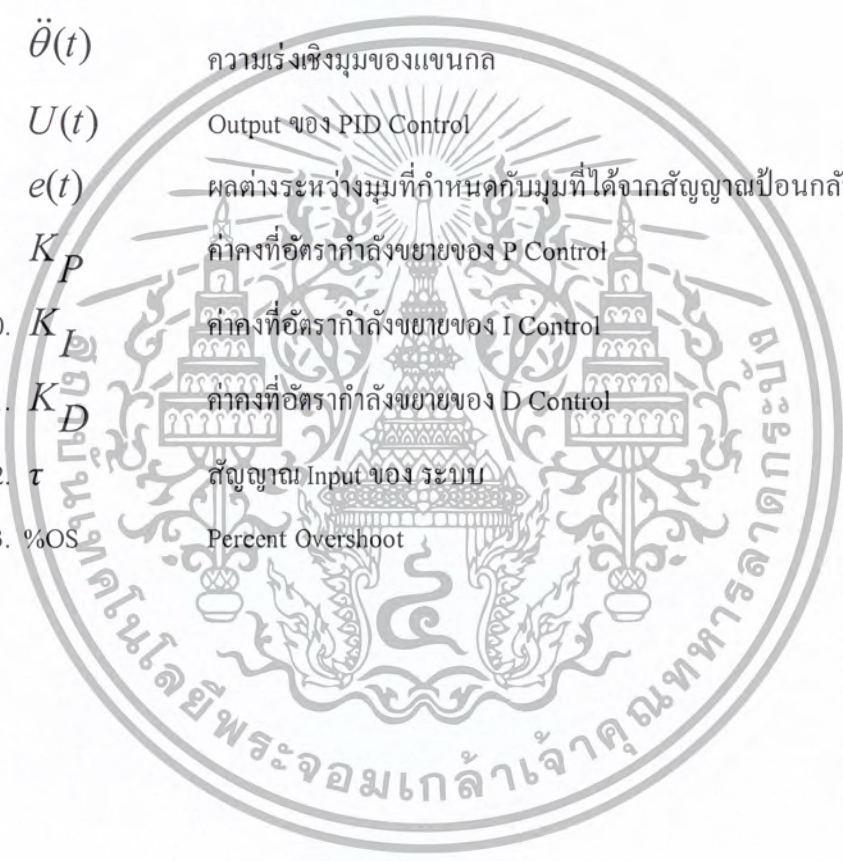
สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลข้อมูล P Control | 26 |
| ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลข้อมูล PI Control | 28 |
| ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลข้อมูล PID Control | 31 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงลำดับข้อมูลของเส้นทางของแขนกล | 34 |



คำอธิบายและคำย่อ

1. P_i ตำแหน่งพิกัดบนกรอบอ้างอิง i
2. $i-1T_i$ Transfer Function บนกรอบอ้างอิง i ไปยังกรอบอ้างอิง $i-1$
3. θ_i มุมองศาของแกนกลสัมพัทธ์ที่ i
4. $\dot{\theta}(t)$ ความเร็วเชิงมุมของแกนกล
5. $\theta(t)$ ตำแหน่งเชิงมุมของแกนกล
6. $\ddot{\theta}(t)$ ความเร่งเชิงมุมของแกนกล
7. $U(t)$ Output ของ PID Control
8. $e(t)$ ผลต่างระหว่างมุมที่กำหนดกับมุมที่ได้จากสัญญาณป้อนกลับ
9. K_P ค่าคงที่อัตรากำลังขยายของ P Control
10. K_I ค่าคงที่อัตรากำลังขยายของ I Control
11. K_D ค่าคงที่อัตรากำลังขยายของ D Control
12. τ สัญญาณ Input ของ ระบบ
13. %OS Percent Overshoot



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ

หลายปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมที่มีมาตรฐานที่สูงและสมรรถนะที่คืบหน้าได้นำหุ่นยนต์มาเป็นส่วนหนึ่งในการผลิต การทำงานบางอย่างที่มีความอันตรายสูงหรือบางอย่างที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่น การทำงานในห้องปฏิบัติการในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ซึ่งมีความอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์สมการเคลื่อนที่ร่วมกับการประยุกต์ในวิชาการควบคุมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำงานที่ต้องการความแม่นยำสูง

หัวข้อหลักที่จะศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมแขนกลซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกลซึ่งประกอบไปด้วยหลักการของเคลื่อนที่แบบฟอร์เวิร์ดไคเนมาติกส์ (Forward Kinematic) หลักการของเคลื่อนที่แบบอินเวอร์สไคเนมาติกส์ (Inverse Kinematic) และการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบออสทูบที่ใช้ในการขับแขนกลและพรอพอร์ชันนอลวาล์ว (Proportional Valve) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของผลลัพธ์ในการควบคุม ส่วนที่ 2 เป็นส่วนในการควบคุมการเลือกชนิดของการควบคุมของแขนกล

จุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือการสร้างชุดทดลองที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าอัตรากำลังขยายของตัวควบคุม พร้อมทั้งศึกษาผลตอบสนองของระบบ เพื่อที่จะควบคุมผลตอบสนองของระบบให้มีความแม่นยำที่สูงในสถานะที่มีการรบกวนจากภายนอก

ตัวควบคุม Proportional Integral Derivative (PID) เป็นตัวควบคุมที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากง่ายต่อการประยุกต์และสามารถปรับเปลี่ยนค่าอัตรากำลังขยายได้ตลอดเวลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและการดำเนินงาน

การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปถึงการออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพอร์ชันนอลไฮดรอลิก (Proportional Hydraulic) ทั้งแบบ Open Loop และแบบ Close Loop การวิเคราะห์สมการของระบบ แล้วนำตัวควบคุม PID มาใช้ ขั้นตอนในการทำงานมีดังนี้ ในขั้นตอนแรก สร้างสมการการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง Forward Kinematic และ Inverse Kinematic จากนั้นสร้างสมการของแขนกลที่มี 2 DOF และ Valve Modulation ซึ่งได้จากการทดลอง ขั้นตอนต่อไป นำตัวควบคุมแบบ PID เข้ามาใช้ โดยมีตัวชดเชยแบบ Feed Forward เข้ามาใช้ด้วย ขั้นตอนสุดท้าย เขียน โปรแกรมควบคุมและสั่งงานผ่านทาง DAQ Card ด้วยโปรแกรม LabView

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ชุดทดลองที่สามารถแสดงค่า error, rise time, และOvershoot ของผลตอบสนองเนื่องมากจากการปรับเปลี่ยนค่าเกณฑ์ของ PID Controller ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 นำแขนกลต้นแบบไปปรับใช้ในด้านอุตสาหกรรม
- 1.4.2 ใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอน



บทที่ 2

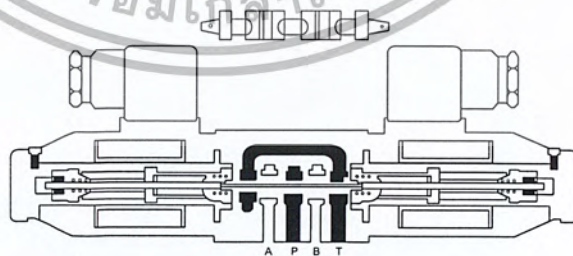
ทฤษฎี

2.1 ระบบไฮดรอลิก

คำว่า Hydraulic มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ hydro หมายถึง น้ำ และ aulis ซึ่งหมายถึงท่อ (pipe) เดิมคำว่า hydraulic จึงหมายถึงเฉพาะการไหลของน้ำในท่อนั้น แต่ปัจจุบันคำนี้หมายถึงการไหลของของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบ เพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลเป็นกำลังงานกลคือทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงาน ตัวอย่างงาน เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรง ไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เทรน กว้าน รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

2.2 วาล์วควบคุมทิศทางแบบพรอพออร์ชันนัล (Proportional Directional Control Valves)

วาล์วควบคุมทิศทางแบบนี้สามารถควบคุมจำนวนของน้ำมันที่ไหลเข้ากระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกได้จากสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโซลินอยด์ โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนนั้นจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่หน้าตัดวาล์ว



รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของ Proportional Directional Control Valves

2.3 Inverse Modulation

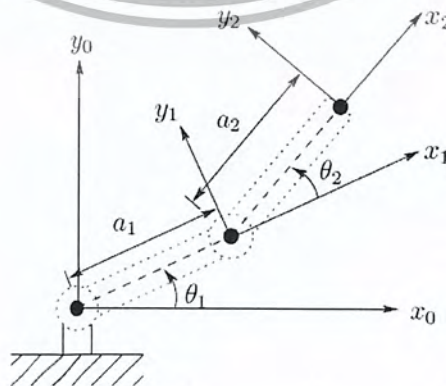
Inverse Modulation เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งกราฟชนิดนี้หาได้จากการทดลอง ในงานวิจัยฉบับนี้เราจะหา Modulation ของ Proportional Valve โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ $-10V$ ถึง $+10V$ แล้วทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันผ่านทางความเร็วของก้านกระบอกสูบด้วย Potentiometer

2.4 อัลกอริทึมในการควบคุมแขนกล

สิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลคือ ความแม่นยำ และเที่ยงตรง ซึ่งการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลนั้นถ้าขาดการควบคุมหรือมีการควบคุมที่ไม่ดีพอก็จะส่งผลต่อความแม่นยำ และเที่ยงตรงในการทำงาน ซึ่งการเคลื่อนที่ของข้อต่อละข้อต่อจะต้องสอดคล้องและเหมาะสมกันซึ่งสามารถแสดงได้โดยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับสมการที่จะกล่าวถึงนี้มี 2 ลักษณะด้วยกันคือ สมการ Direct Kinematics และสมการ Invert Kinematics ซึ่งสมการ 2 ลักษณะนี้ใช้แสดงความสัมพันธ์ของแขนกลและตำแหน่งข้อต่อต่างๆ โดยรายละเอียดจะกล่าวไว้ต่อไป

2.4.1 Direct Kinematics

Direct Kinematics คือสมการที่ใช้ในการอธิบายพิกัดหรือตำแหน่งบน Coordinate X และ Y เมื่อทราบค่ามุมของแต่ละชั้นต่อโยง (Link) โดยสมการ Direct Kinematics หาได้จากการความสัมพันธ์หรือ Transformation ระหว่างชั้นต่อโยงหนึ่งกับชั้นต่อโยงอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งลักษณะของแขนกลนั้นมีทั้งแบบข้อหมุน (Revolute) หรือแบบเลื่อน (Prismatic)



รูปที่ 2.2 แขนกลแบบ 2R โดยแกน Z พุ่งออกจากหน้ากระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 เป็นรูปแขนกลแบบ 2R หรือข้อหมุน 2 ข้อ ซึ่งเป็นรูปแบบแขนกลที่ใช้ในการศึกษา สมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกรอบอ้างอิงที่ 0 (ฐานของแขนกล) กับกรอบอ้างอิงที่ 1 และกรอบอ้างอิงที่ 1 กับกรอบอ้างอิงที่ 2 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$P_{i-1} = {}^{i-1}T_i P_i \quad (2.2)$$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & a_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ 2.1 P เป็นเวกเตอร์ที่ใช้อธิบายตำแหน่งพิกัด Co-ordinate X และ Y บนกรอบอ้างอิงที่ i และ ${}^{i-1}T_i$ เรียกว่าสมการ Matrices Transformation ซึ่งสมการที่ใช้อธิบายตำแหน่งพิกัด X, Y บน Co-ordinate X_0, Y_0 จะเท่ากับผลคูณของ Matrices Transform ของแต่ละ Link คูณกัน

$${}^0T_2 = {}^0T_1 {}^1T_2 \quad (2.5)$$

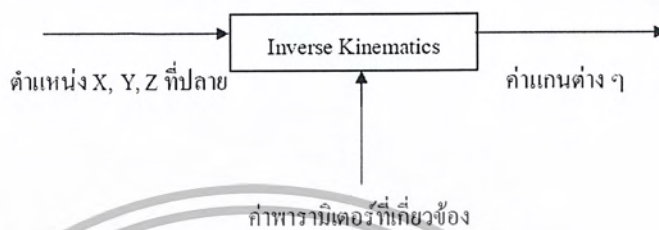
$${}^0T_2 = \begin{bmatrix} C_{12} & -S_{12} & 0 & x \\ S_{12} & C_{12} & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$P_0 = {}^0T_2 P_2 \quad (2.7)$$

สมการที่ 2.7 เป็นสมการที่ใช้อธิบายตำแหน่งของปลายแขนกล (End Effector) โดยที่อ้างอิงกับกรอบอ้างอิงที่ 0

2.4.2 Inverse Kinematics

Inverse Kinematics นั้นคล้ายกับ Direct Kinematics แต่สมการ Inverse Kinematics นั้น จะตรงกันข้ามกับ Direct Kinematics ก็คือต้องกำหนดค่าพิกัดตำแหน่ง X, Y เพื่อหาค่ามุมแต่ละข้อต่อดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรม Inverse Kinematics

แต่การแก้สมการ Inverse Kinematics นั้นค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากสมการ Inverse Kinematics นั้นเป็นสมการแบบ Multiple Solution หรือมีหลายคำตอบ เพราะฉะนั้นการแก้สมการ Inverse Kinematics นั้นจึงมีหลายวิธีการ ทั้งแบบ Algebraic Solution และ Geometric Solution ซึ่งในชุดทดลองนี้จะใช้วิธีการแบบ Algebraic Solution โดยวิธีการแก้มีดังนี้

จากสมการที่ 2.6

$$x = a_1 c_1 + a_2 c_{12} \quad (2.8)$$

$$y = a_1 s_1 + a_2 s_{12} \quad (2.9)$$

$$x^2 + y^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 c_2 \quad (2.10)$$

$$c_{12} = c_1 c_2 - s_1 s_2 \quad (2.11)$$

$$s_{12} = c_1 s_2 + s_1 c_2 \quad (2.12)$$

$$c_2 = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} \quad (2.13)$$

สมการที่ 2.11 จำจะต้องอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งสมการนี้จะใช้ตรวจสอบว่าค่าที่กำหนดให้กับสมการนั้นมีคำตอบหรือไม่ ถ้าไม่มีคำตอบนั้นแปลว่าแกนกลหรือชิ้นต่อโยงนั้นไม่อยู่ในขอบเขตการทำงาน

$$s_2 = \pm\sqrt{1-c_2^2} \quad (2.14)$$

ในที่สุดก็สามารถหามุมของข้อต่อที่ 2 ได้จากสมการที่ 2.13 โดยคำตอบที่ได้จะมีอยู่ 2 ตอนจากการกำหนดเครื่องหมายในสมการที่ 2.12

$$\theta_2 = A \tan 2(s_2, c_2) \quad (2.15)$$

$$x = k_1 c_1 - k_2 s_1 \quad (2.16)$$

$$y = k_1 s_1 + k_2 c_1 \quad (2.17)$$

$$k_1 = a_1 + a_2 c_2 \quad (2.18)$$

$$k_2 = a_2 s_2 \quad (2.19)$$

$$r = +\sqrt{k_1^2 + k_2^2} \quad (2.20)$$

$$\gamma = A \tan 2(k_2, k_1) \quad (2.21)$$

$$k_1 = r \cos \gamma \quad (2.22)$$

$$k_2 = r \sin \gamma \quad (2.23)$$

$$\frac{x}{r} = \cos \gamma \cos \theta_1 - \sin \gamma \sin \theta_1 \quad (2.24)$$

$$\frac{y}{r} = \cos \gamma \sin \theta_1 - \sin \gamma \cos \theta_1 \quad (2.25)$$

$$\cos(\gamma + \theta_1) = \frac{x}{r} \quad (2.26)$$

$$\sin(\gamma + \theta_1) = \frac{y}{r} \quad (2.27)$$

$$\gamma + \theta_1 = A \tan 2\left(\frac{y}{r}, \frac{x}{r}\right) = A \tan 2(y, x) \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $\theta_1 = A \tan 2(y, x) - A \tan 2(k_2, k_1) \quad (2.29)$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Trajectory

Trajectory เป็นการสร้างเส้นทางเดินของอินพุทกับเวลาซึ่งสามารถสร้างเส้นทางเดินให้มีลักษณะเป็นฟังก์ชันราบเรียบ การคำนวณเส้นทางเดินของแขนกล (Trajectories) นั้น พิจารณาในภาพของมุมของการเคลื่อนที่โดยใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลกำลังสาม พิจารณาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากตำแหน่งเริ่มต้นที่เวลา t_0 ไปตำแหน่งสุดท้ายที่เวลา t_f แล้วใช้คณิตศาสตร์ผกผันคำนวณหามุมที่ตรงกันกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ที่ต้องการ โดยตำแหน่งที่เริ่มต้นของแขนกลจะทราบค่าในรูปของตำแหน่งเริ่มต้นคือฟังก์ชันแต่ละข้อต่อเริ่มต้นเวลา t_0 และเวลาสุดท้าย t_f ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เส้นทางหลายทางเลือกสำหรับจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุด

ในฟังก์ชันที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบค่าอย่างน้อย 4 เงื่อนไขของ $\theta(t)$ โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้าย

$$\theta(0) = \theta_i \quad , \quad \theta(t_f) = \theta_f \quad (2.30)$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันนั้นต่อเนื่อง (Continuous)

$$\dot{\theta}(0) = 0 \quad , \quad \dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (2.31)$$

จากเงื่อนไขทั้ง 4 นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้โพลิโนเมียลดีกรีสาม (Third Degree Polynomials) หรือ Cubic ดังสมการที่ 2.32

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ในสมการที่ 2.33 และสมการที่ 2.34 ตามลำดับ

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (2.33)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3t \quad (2.34)$$

สามารถได้มาซึ่ง 4 สมการ 4 ตัวแปรตาม

$$\theta_0 = a_0 \quad (2.35)$$

$$\theta_f = a_0 + a_1t_f + a_2t_f^2 + a_3t_f^3 \quad (2.36)$$

$$0 = a_1 \quad (2.37)$$

$$0 = a_1 + 2a_2t_f + 3a_3t_f^2 \quad (2.38)$$

หาผลลัพธ์สมการที่ 2.35 ถึง 2.38

$$a_0 = \theta_0 \quad (2.39)$$

$$a_1 = 0 \quad (2.40)$$

$$a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0) \quad (2.41)$$

$$a_3 = -\frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0) \quad (2.42)$$

สามารถใช้สมการที่ 2.39 ถึง 2.42 คำนวณหาคำตอบของโพลีโนเมียลดีกรีสามซึ่งระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายในกรณีของการเริ่มและจุดสุดท้ายมีความเร็วเป็นศูนย์

2.6 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative Control)

2.6.1 การควบคุมแบบ Proportional (P Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบ Proportional นั้น เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุตที่ได้มาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากกระบวนการ หมายถึง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ตามความสัมพันธ์

$$\text{Output} \propto \text{input} \quad (2.43)$$

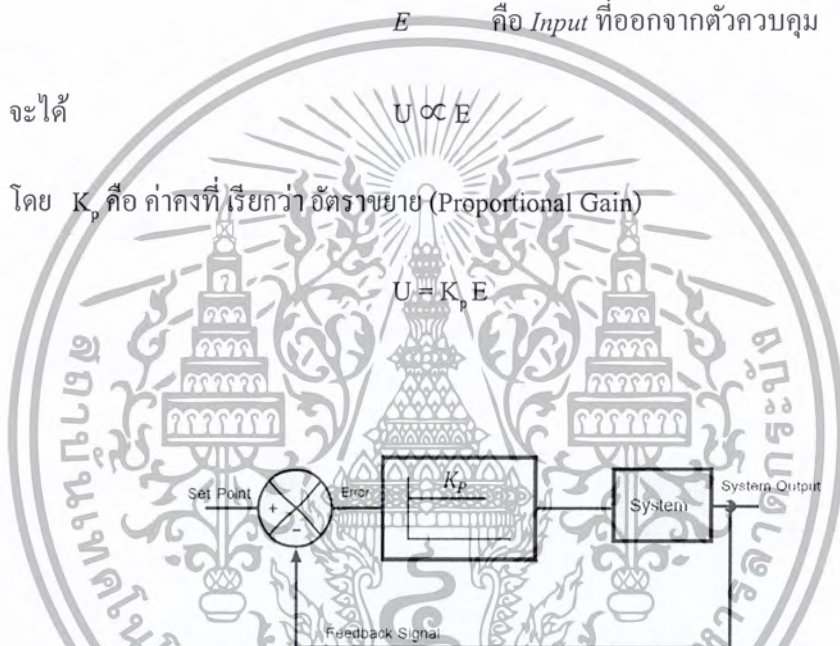
โดย U คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม

E คือ Input ที่ออกจากตัวควบคุม

$$\text{จะได้} \quad U \propto E \quad (2.44)$$

โดย K_p คือ ค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยาย (Proportional Gain)

$$U = K_p E \quad (2.45)$$



รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ P (Proportional)

การควบคุมแบบ P ดังรูปที่ 2.5 เป็นการควบคุมโดยกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุม หรือเป็นการกำหนดสัดส่วนเอาต์พุตต่ออินพุต การควบคุมแบบ P จะควบคุมเฉพาะค่า Gain เพียงอย่างเดียว ในกรณีที่ค่า Gain มาก จะทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงได้เร็ว ส่งผลให้เกิดการแกว่งของระบบได้ และถ้าหากค่า Gain มีค่าน้อยจะทำให้ระบบเกิดสภาวะ Offset

2.6.2 การควบคุมแบบ Integral (I Control)

หลักการทำงานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปฏิกิริยาพันธ์ของอินพุตตามสมการที่ 2.46

$$U(t) \propto \int_0^t e(t) dt \quad (2.46)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.47)$$

ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.48)$$



การควบคุมแบบ I หรือการควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral) จะแสดงดังรูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ของบล็อกไดอะแกรมจะเป็นสัญลักษณ์ที่มีความลาดชัน คือ สัญลักษณ์ที่ผ่านตัวควบคุมแบบ Integral จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเป้าหมาย (Set Point) และเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที แต่เอาต์พุตจะค่อยๆเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นการควบคุมแบบ I ให้ผลตอบสนองการควบคุมได้ดีกว่าการควบคุมแบบ P

2.6.3 การควบคุมแบบ Derivative (D Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

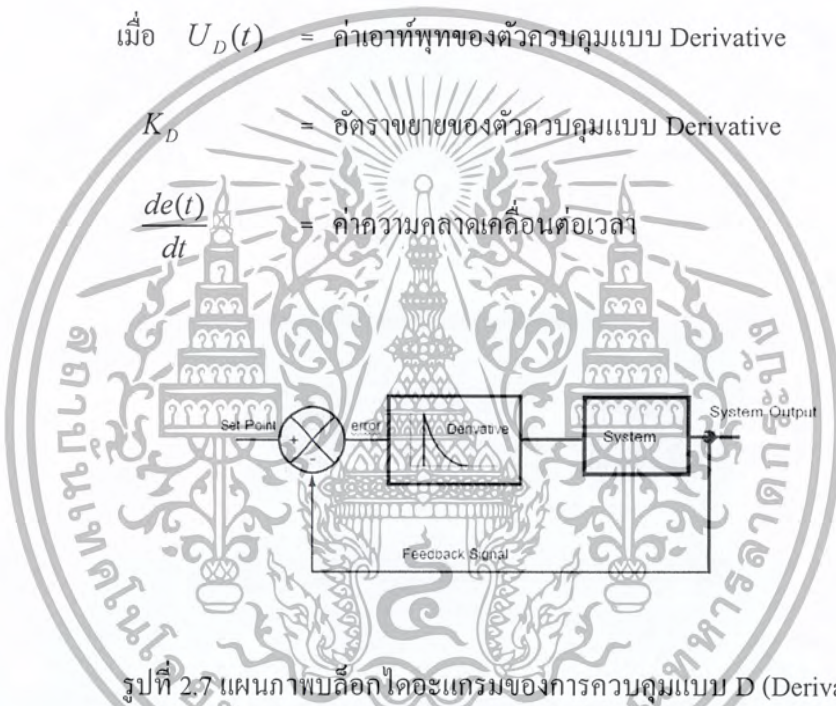
การควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.49)$$

เมื่อ $U_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา



การควบคุมแบบ D (Derivative) เป็นการควบคุมแบบอนุพันธ์สัญญาณอินพุต เมื่อสัญญาณผ่านการอนุพันธ์แล้ว จะทำให้สัญญาณมีค่าสูงสุดแล้วค่อยๆ ลดจนมีค่าถึงเป้าหมาย (Set Point) ที่กำหนดไว้ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบ D แสดงดังรูปที่ 2.7 ตัวควบคุมชนิดนี้จะไม่นำมาใช้เพียงลำพัง มักจะพบการควบคุมแบบ D รวมอยู่กับการควบคุมแบบอื่น เช่น การควบคุมแบบ PD และ PID เป็นต้น

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่ควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ก่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

2.6.4 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative (PID))

PID-Control คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ P-Control I-Control และ D-Control ดังนั้นสมการของ $U_{PID}(t)$ สามารถหาได้ดังนี้

$$U_{PID}(t) = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.50)$$

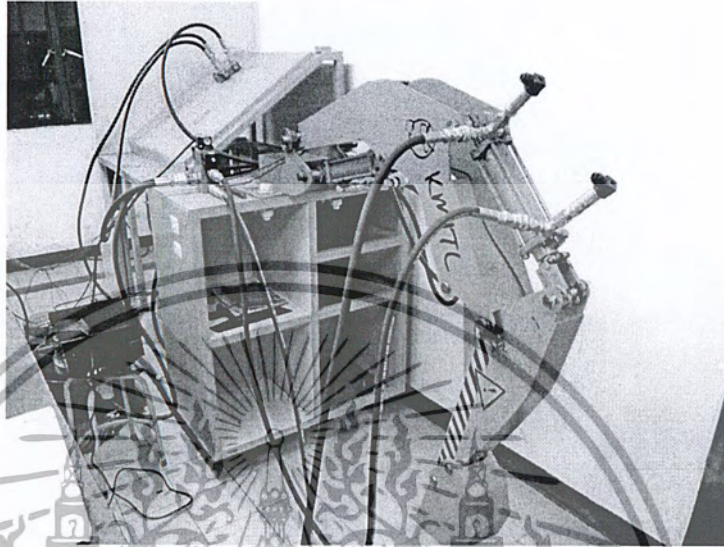
เมื่อ $U_{PID}(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบพีไอดี สามารถแก้ข้อเสียของ Proportional Control และ ลด Overshoot ที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลทเนื่องจาก Integral Control และจะให้ผลตอบสนองได้รวดเร็ว ตามคุณสมบัติของ Derivative Control



บทที่ 3

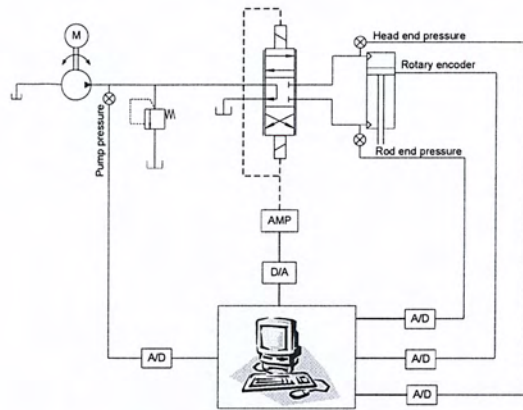
การติดตั้งชุดทดลอง



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองเซนกลไฮดรอลิก

3.1 ชุดทดลองเซนกลไฮดรอลิก

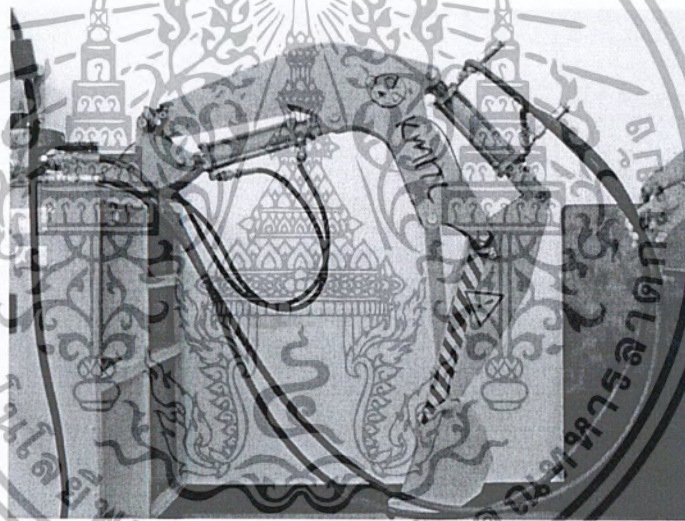
การเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิกนั้น สิ่งที่ต้องป้อนเข้าไปในระบบคือสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อที่นำค่าความเร็วและตำแหน่งที่ได้ออกมาไปคำนวณหาความผิดพลาด โดยมีพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันซึ่งอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เราป้อนให้กับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแชนกกลไฮดรอลิก

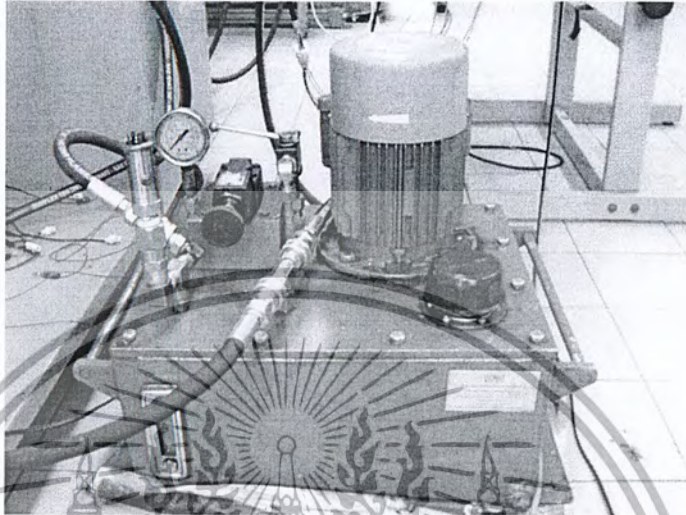
3.1.1 อุปกรณ์ในชุดทดลองแชนกกล

(1) ชุดแชนกกลไฮดรอลิกที่มี $DOF=2$



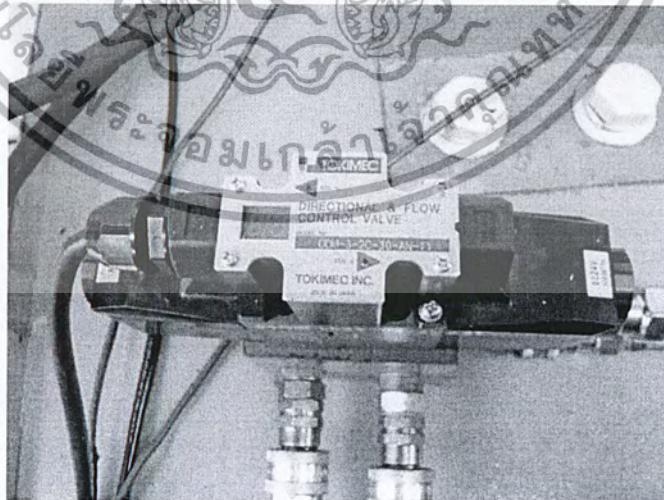
รูปที่ 3.3 แชนกกลไฮดรอลิก

(2) ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump) โดยปั๊มที่นำมาใช้ในชุดทดลองนี้เป็นประเภทปั๊มเฟืองขนาด 1 แรงม้า (1 hp) ให้อัตราการไหลสูงสุดที่ 5 ลิตรต่อนาที (5L/min) โดยติดตั้งคู่กับวาล์วจำกัดความดัน (Pressure Relief Valve)



รูปที่ 3.4 ปั๊มไฮดรอลิกชนิดเฟืองขนาด 1 HP

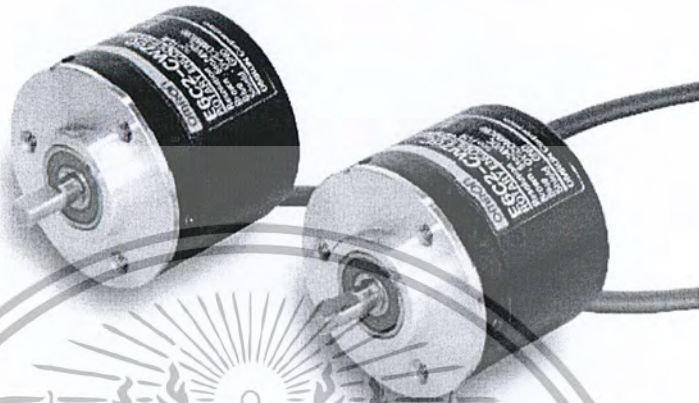
(3) พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) ที่ใช้เป็นวาล์วแบบควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกโดยการจ่ายสัญญาณควบคุมในช่วง -10 ถึง +10 โวลต์



รูปที่ 3.5 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) โรตารี อินคริเมนทัล เอนโค้ดเดอร์ (Rotary Incremental Encoder) โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 1000 พัลส์ต่อรอบ (1000pulses/rotation) ตอบสนองสูงสุดที่ 100 kHz มีหน้าที่วัดตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปตามสมการการเคลื่อนที่ของชุดไฮดรอลิก เป็นตัวแปลงการเคลื่อนที่ของแกนกลมาเข้ารหัส (Encoder)



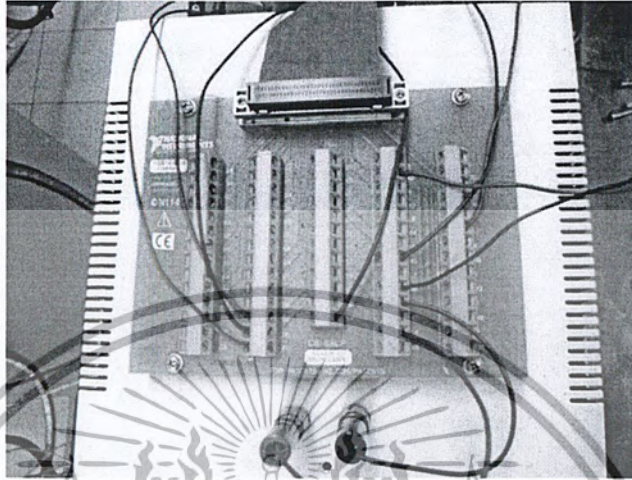
รูปที่ 3.6 Rotary Incremental Encoder

(5) คอมพิวเตอร์ (Computer) เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและประมวลผล ทำหน้าที่ส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมไปสั่งงานเซอร์โวนั้นๆแล้วและรับค่าจากชุดทดลองกลับมาทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้



รูปที่ 3.7 Computer

(6) Data Acquisition Card รุ่น NI 6221 (68 pins) มีช่องในการรับสัญญาณทางไฟฟ้าและเคาน์เตอร์ (Counter) พร้อมทั้งจ่ายสัญญาณอนาล็อก (Analog) และดิจิทัล (Digital) ผ่านทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.8 Data Acquisition Card รุ่น NI 6221

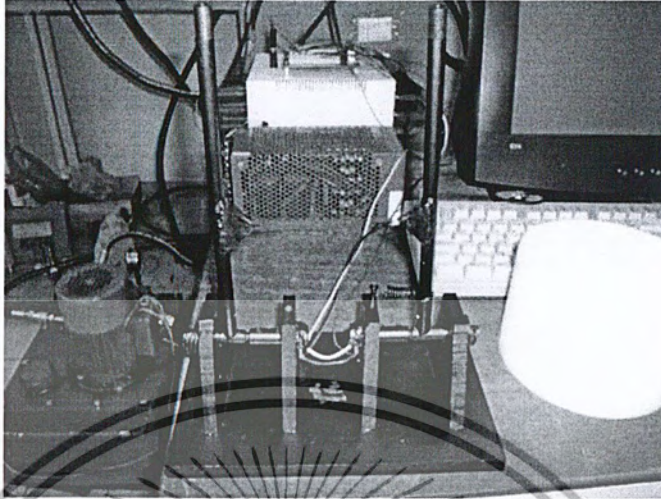
(7) Pressure Transmitter ใช้ในการวัดความดัน ณ จุดต่างๆภายในระบบ โดยจ่ายสัญญาณทางไฟฟ้าออกมาในช่วง 4-20mA



รูปที่ 3.9 Pressure Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

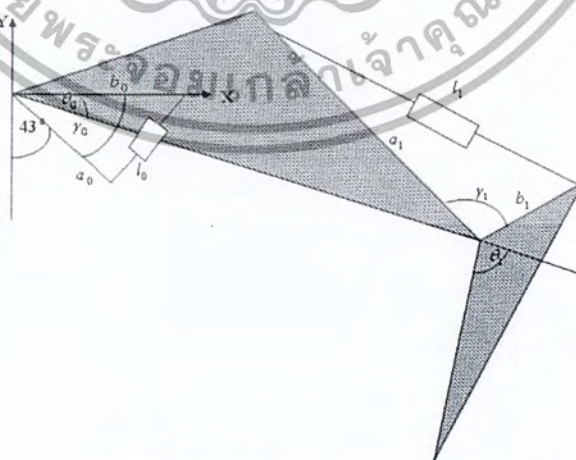
(8) Joystick Controller



รูปที่ 3.10 Joystick Controller

3.2 สมการการเคลื่อนที่ของแขนกล (Kinematic modulation)

การเคลื่อนที่ของแขนกลในรูปที่ จะสัมพันธ์กับระยะชักของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกทั้ง 2 ซึ่งสามารถเขียนโมเดลแขนกลใหม่ดังรูปที่ จากรูปแบบของแขนกลสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของก้านสูบกับความเร็วเชิงมุมของแขนกลได้ดังสมการ และ



รูปที่ 3.11 Free-Body Diagram ของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l_0^2 = a_0^2 + b_0^2 - 2a_0 b_0 \cos \gamma_0 \quad (3.1)$$

$$2l_0 \dot{l}_0 = 2a_0 b_0 \sin \gamma_0 \dot{\gamma}_0 \quad (3.2)$$

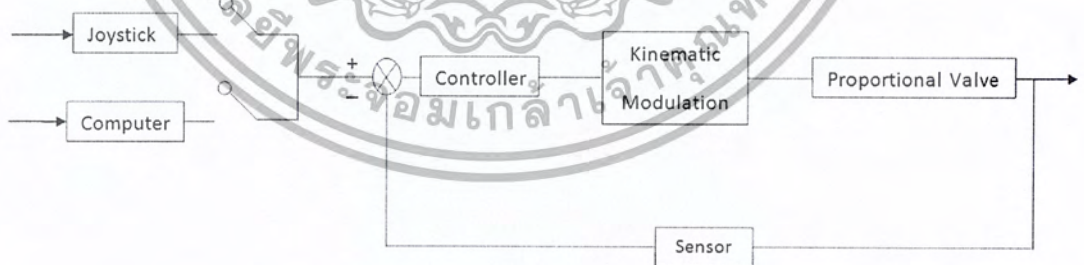
$$\dot{l}_0 = \frac{a_0 b_0 \sin \gamma_0}{\sqrt{a_0^2 + b_0^2 - 2a_0 b_0 \cos \gamma_0}} \dot{\theta}_0 \quad (3.3)$$

$$l_1^2 = a_1^2 + b_1^2 - 2a_1 b_1 \cos \gamma_1 \quad (3.4)$$

$$2l_1 \dot{l}_1 = 2a_1 b_1 \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1 \quad (3.5)$$

$$\dot{l}_1 = \frac{a_1 b_1 \sin \gamma_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2a_1 b_1 \cos \gamma_1}} \dot{\theta}_1 \quad (3.6)$$

3.3 แผนผังการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก



รูปที่ 3.12 วงจรการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก

ดังรูปที่ 3.12 Joystick และ Computer ทำหน้าที่เป็นอินพุตให้กับระบบ โดยที่การควบคุมด้วย Joystick จะเป็นการควบคุมโดยตรงกับวาล์วพรอพอร์ชันนัล ส่วนการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นั้น คอมพิวเตอร์จะสร้างสัญญาณอินพุตแบบ unit step function แล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

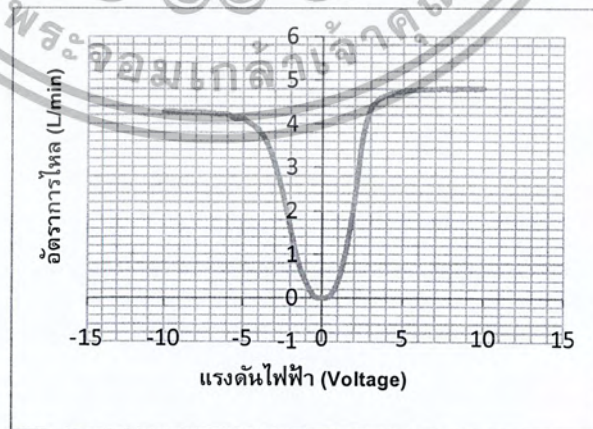
จากเซ็นเซอร์แล้วนำไปควบคุมผ่าน Controller ที่ใช้การควบคุม PID เข้าสู่ Kinematic Modulation แล้วไปสั่งงานพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

3.4 Inverse Modulation

Modulation Curve นั้นเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Flow Rate) กับ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับวาล์วควบคุม ซึ่งในการทดสอบเราจะติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.13 ในการทดลองเราจะจ่ายสัญญาณแรงดันทางไฟฟ้า ณ ค่าต่างๆ แล้วบันทึกผลตำแหน่งที่ เปลี่ยนแปลงผ่านทาง Potentiometer จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาความเร็วของกระบอกสูบโดยการหาอนุพันธ์ของตำแหน่งเทียบกับเวลาซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหา Modulation Curve



รูปที่ 3.14 กราฟ Modulation Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การควบคุมและตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่นำมาใช้นั้นจะใช้ PID เป็นตัวควบคุมเนื่องจาก PID นั้นเป็นการควบคุมแบบ Active ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่า Gain ระหว่างการควบคุมได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

การควบคุมนั้นจะเลือกใช้การควบคุมแบบ Feed Forward และ Feed Backward โดยที่จะสร้างสัญญาณป้อนให้กับระบบใหม่ใช้สัญลักษณ์ τ โดยที่ τ จะอยู่ดังสมการที่ 3.7

$$\tau = A\tau' + B \quad (3.7)$$

โดยการใช้กฎของเซอร์โว (Servo Law) จะได้

$$\tau' = \dot{\theta}_d + k_p e + k_i \int e dt + k_D \frac{de}{dt} \quad (3.8)$$

$$e = \theta_d - \theta \quad (3.9)$$

$$\tau = V = T(\theta)\theta \quad (3.10)$$

กำหนดให้

$$A = T(\theta) \quad (3.11)$$

$$B = 0 \quad (3.12)$$

เพราะฉะนั้น

$$\tau' = \dot{\theta} \quad (3.13)$$

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_d + k_p e + k_i \int e dt + k_D \frac{de}{dt} \quad (3.14)$$

$$0 = \dot{e} + k_p e + k_i \int e dt + k_D \frac{de}{dt} \quad (3.15)$$

ซึ่งสมการที่ 3.15 เรียกว่า Error system equation จะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุม error ได้จากการปรับเปลี่ยนค่า k_p , k_i และ k_D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ชุดโปรแกรมควบคุมและการทดสอบชุดทดลอง

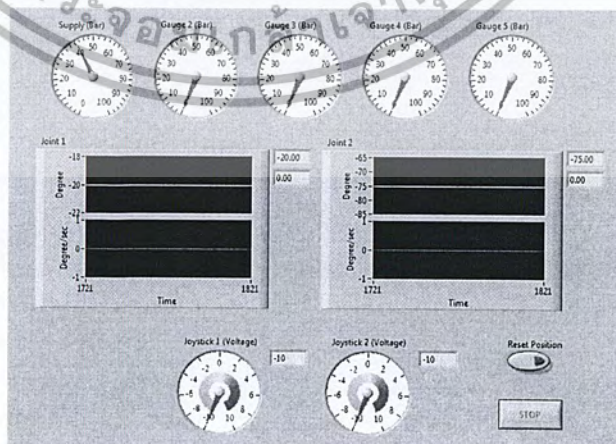
4.1 ชุดโปรแกรมควบคุม

ชุดโปรแกรมควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ประมวลผล และสั่งการอุปกรณ์ในชุดทดลองแขนกลไฮดรอลิก Labview ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านการรับส่งข้อมูลผ่าน DAQ หรือ Data Acquisition Card การแสดงผลอย่างมีประสิทธิภาพ และรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่ค่อนข้างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งชุดโปรแกรมทั้งหมดภายในชุดทดลองนี้ถูกเขียนด้วยโปรแกรม Labview ทั้งหมด ประกอบไปด้วย

1. ชุดโปรแกรมควบคุมผ่านจอยควบคุม (Manual Control)
2. ชุดโปรแกรมควบคุมแบบจุดต่อจุด (Point to Point)
3. ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (Path Generator)
4. ชุดโปรแกรมควบคุมแบบเส้นทางเดิน (Path Line)

4.1.1 ชุดโปรแกรมควบคุมผ่านจอยควบคุม

ชุดโปรแกรมนี้จะควบคุมทิศทางและอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านจอยควบคุม โดยจะแสดงตำแหน่งและความเร็วของแขนกลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.1

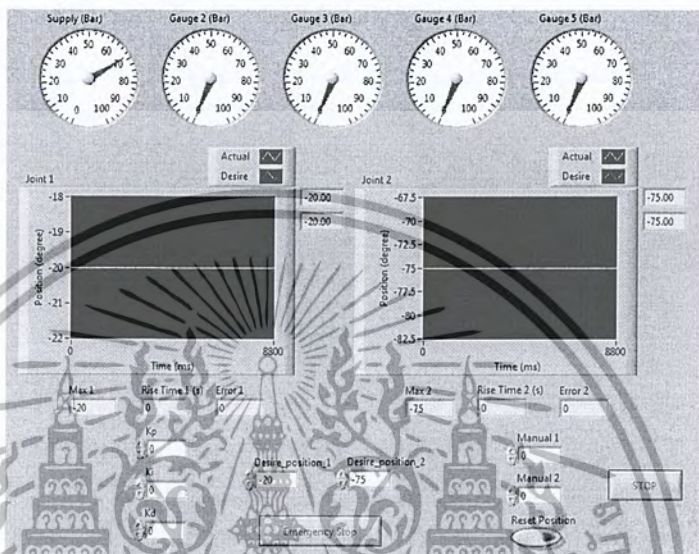


รูปที่ 4.1 ชุดโปรแกรมควบคุมผ่านจอยควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ชุดโปรแกรมควบคุมแบบจุดต่อจุด (Point to Point)

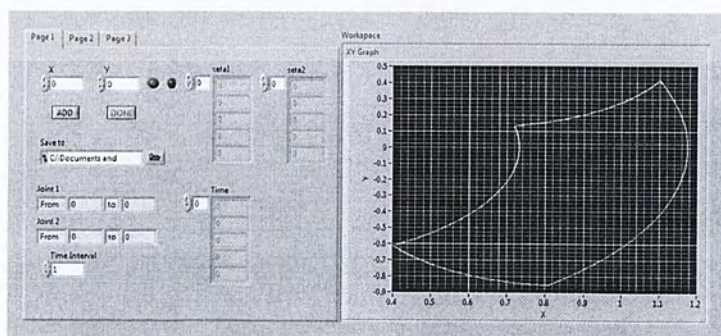
ชุดโปรแกรมนี้จะทำการป้อนสัญญาณแบบ Unit Step โดยการกำหนดมุมของข้อต่อของแขนกล ซึ่งในการทดลองนั้นสามารถกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงค่าแกนของตัวควบคุมได้ตลอด แล้วสังเกตผลตอบสนอง %Overshoot และ Rise Time ของระบบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 ชุดโปรแกรมควบคุมแบบจุดต่อจุด

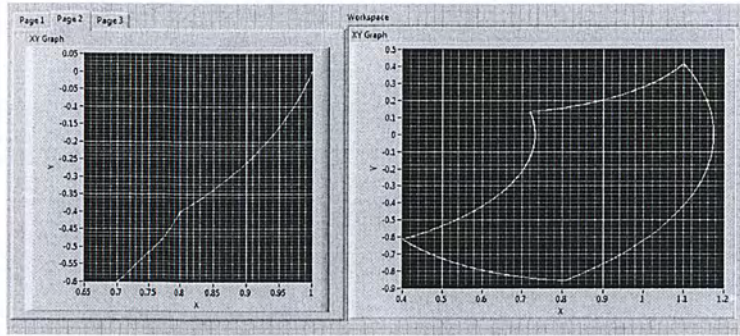
4.1.3 ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (Path Generator)

ชุดโปรแกรมนี้จะสร้างเส้นทางการเดินเพื่อป้อนให้กับระบบบนความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งมุมของข้อต่อกับเวลา โดยการกำหนดตำแหน่งบนพิกัด X, Y ในย่านขอบเขตการใช้งาน โปรแกรมก็จะคำนวณออกมาเป็นพิกัดมุมของข้อต่อแต่ละแกนผ่าน Invert Kinematic แล้วทำการสร้างทางเดินแบบจุดต่อจุดด้วยคุณลักษณะแบบ Polynomial Third Order

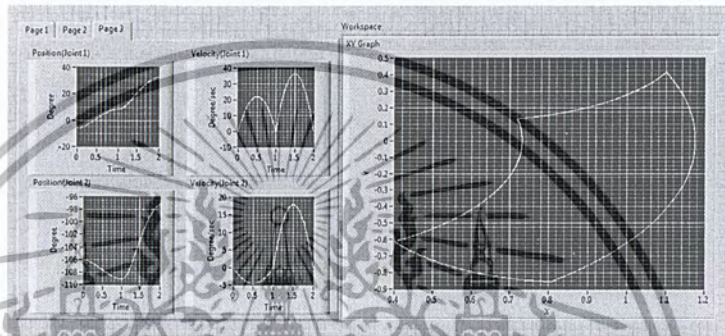


รูปที่ 4.3 ชุดโปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



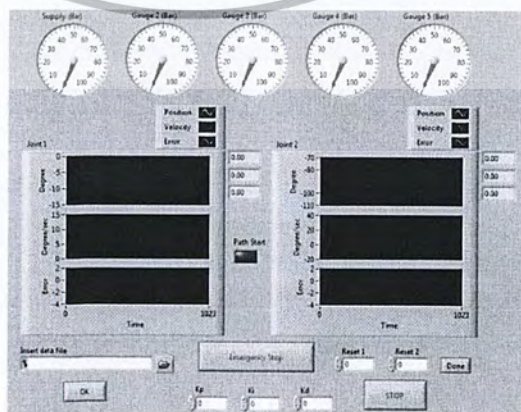
รูปที่ 4.4 ชุด โปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 2)



รูปที่ 4.5 ชุด โปรแกรมสร้างเส้นทางการเดินของแขนกล (หน้า 3)

4.1.4 ชุด โปรแกรมควบคุมแบบเส้นทางเดิน (Path Line)

ชุดโปรแกรมนี้จะใช้ข้อมูลจาก Path Generator มาเป็นอินพุตให้กับระบบ โดยจะมีความเร็วของข้อต่อเป็นข้อมูลแบบ Feed Forward และตำแหน่งของข้อต่อเป็น Feed Backward โดยมีกำหนดค่าแกนของตัวควบคุมแล้วจึงสั่งโปรแกรมให้เริ่มการทำงาน แล้วสังเกตผลตอบสนองของระบบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.6 ชุด โปรแกรมควบคุมแบบเส้นทางเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบชุดทดลองไฮดรอลิก

ในการทดสอบชุดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- 1.ชุดทดลองแบบจุดต่อจุด
- 2.ชุดทดลองแบบเส้นทางเดิน

4.2.1 การทดสอบชุดทดลองแบบจุดต่อจุด

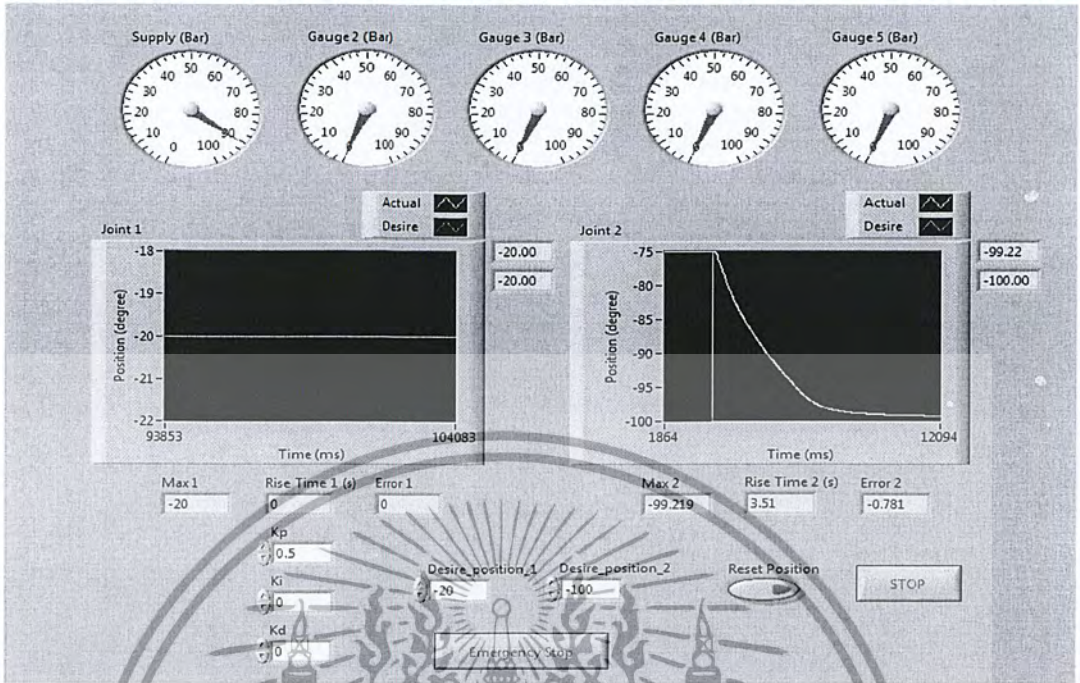
ในการทดสอบนี้จะกำหนดค่าอัตรากำลังขยายของตัวควบคุมทั้งแบบ P, PI, และ PID ดังตารางที่ โดยจะทดสอบกับข้อต่อแขนกลที่ 2 และกำหนดสถานะเริ่มต้นที่ -75 แล้วป้อนสัญญาณแบบ unit step input ที่ -100 จากนั้นสังเกตผลการตอบสนองแล้วจดบันทึกลงบนตารางที่ ซึ่งมีค่าดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลข้อมูล P Control

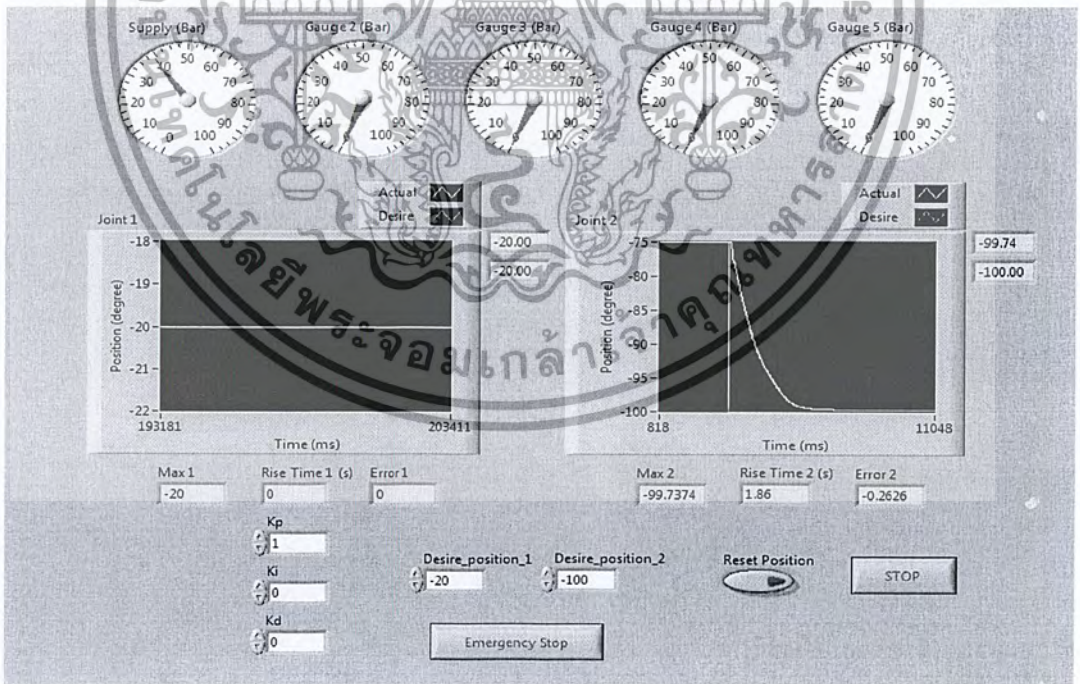
P Control

| K_p | System Types | %OS | Rise Time |
|-------|--------------------|-----|-----------|
| 0.5 | First order system | | 3.51 |
| 1 | First order system | | 1.86 |
| 5 | First order system | - | 1.02 |

จากตารางที่ 4.1 การตอบสนองต่อการควบคุมแบบ P Control จะเห็นได้ว่า การตอบสนองนั้นเป็นแบบ First Order System โดยที่ Rise Time จะมีค่าลดลงเมื่อค่า K_p มีค่าเพิ่มขึ้น

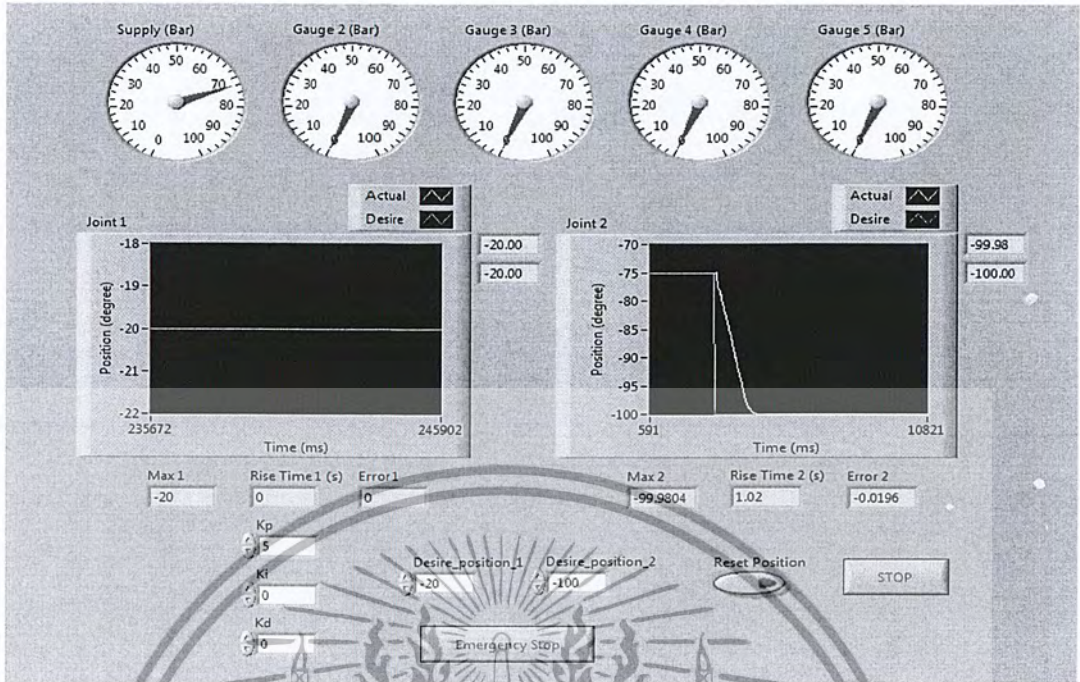


รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองที่ $K_p = 0.5$



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



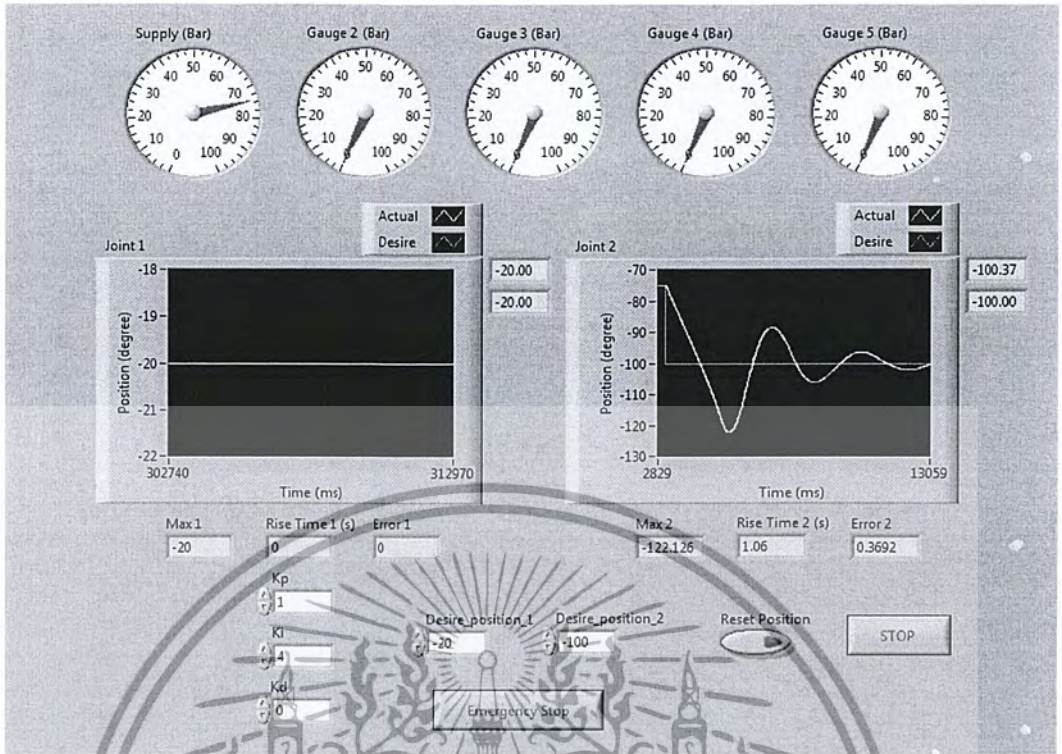
รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองที่ $K_p = 5$

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลข้อมูล PI Control

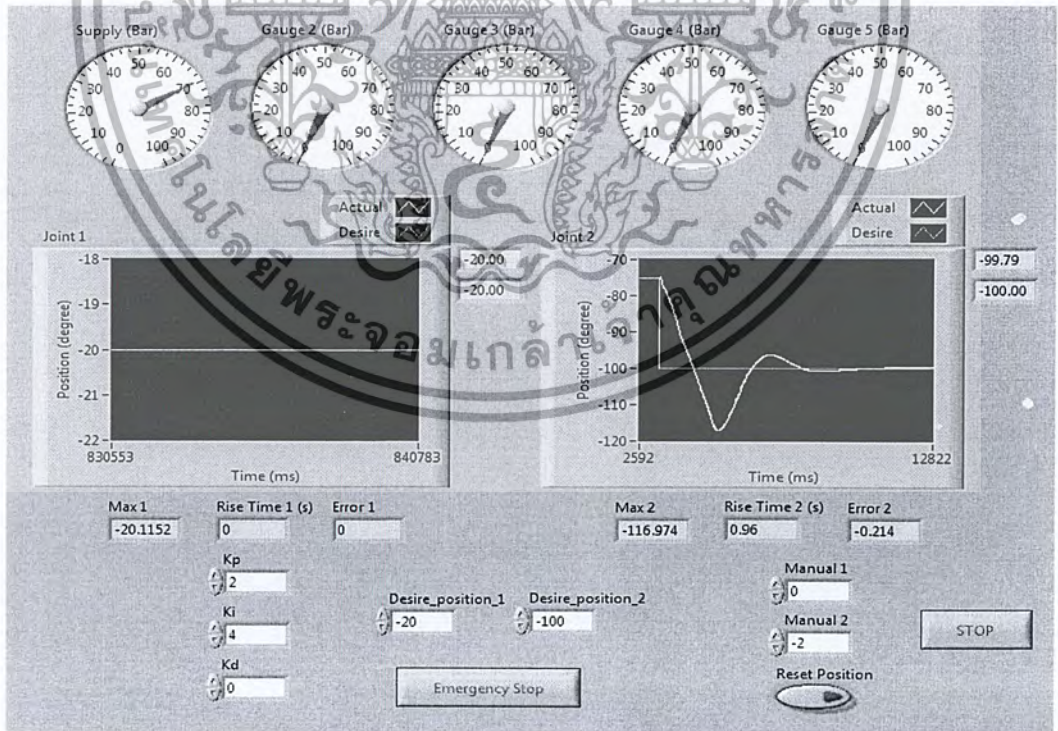
PI Control

| K_p | K_i | System Types | %OS | Rise Time |
|-------|-------|-----------------|------|-----------|
| 1 | 4 | Underdamped | 22.1 | 1.06 |
| 2 | 4 | Underdamped | 17.0 | 0.96 |
| 2 | 5 | Underdamped | 20.1 | 1.12 |
| 4 | 4 | Critical damped | 12.0 | 1.01 |
| 7 | 4 | Overdamped | 9.2 | 1.16 |

จากตารางที่ 4.2 การตอบสนองต่อการควบคุมแบบ PI Control จะเห็นได้ว่าการตอบสนองนั้นเป็นแบบ Second Order System ซึ่งรูปแบบของการตอบสนองนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า K_p และ K_i โดยที่ค่า K_p นั้นเปรียบเสมือนตัวหน่วง (Damping) และค่า K_i นั้นเปรียบเสมือนสปริงให้กับระบบ

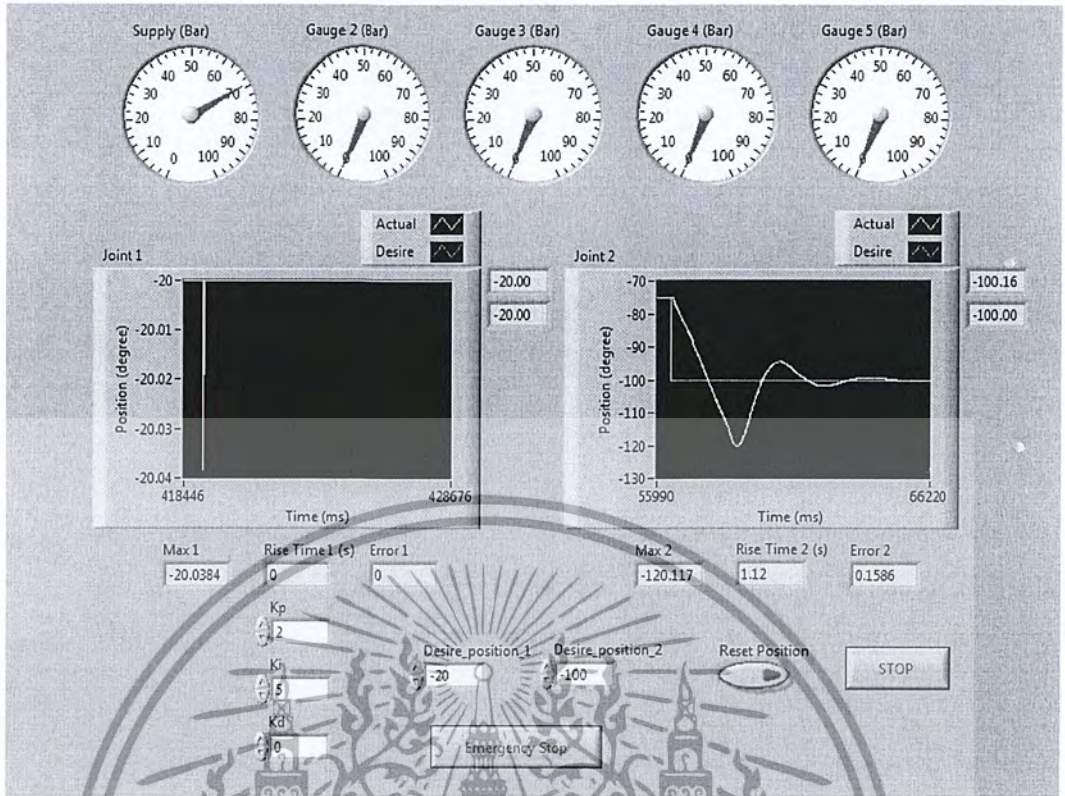


รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_i = 4$

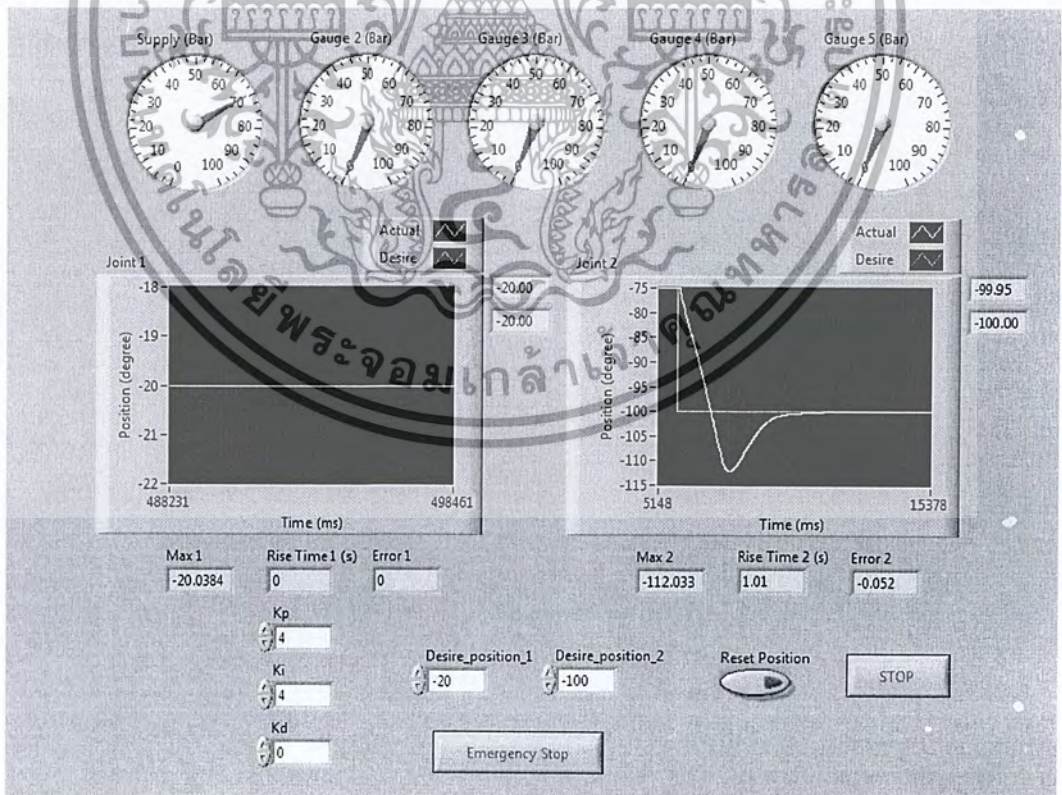


รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองที่ $K_p = 2, K_i = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

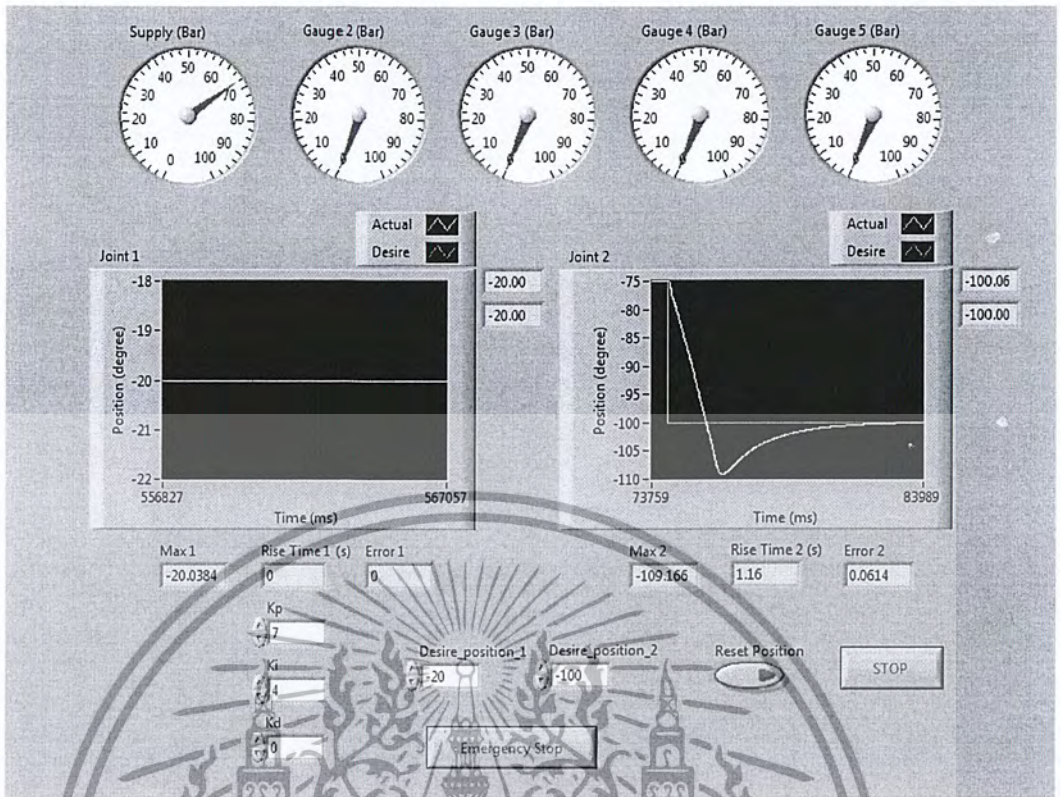


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองที่ $K_p = 2, K_i = 5$



รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองที่ $K_p = 4, K_i = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



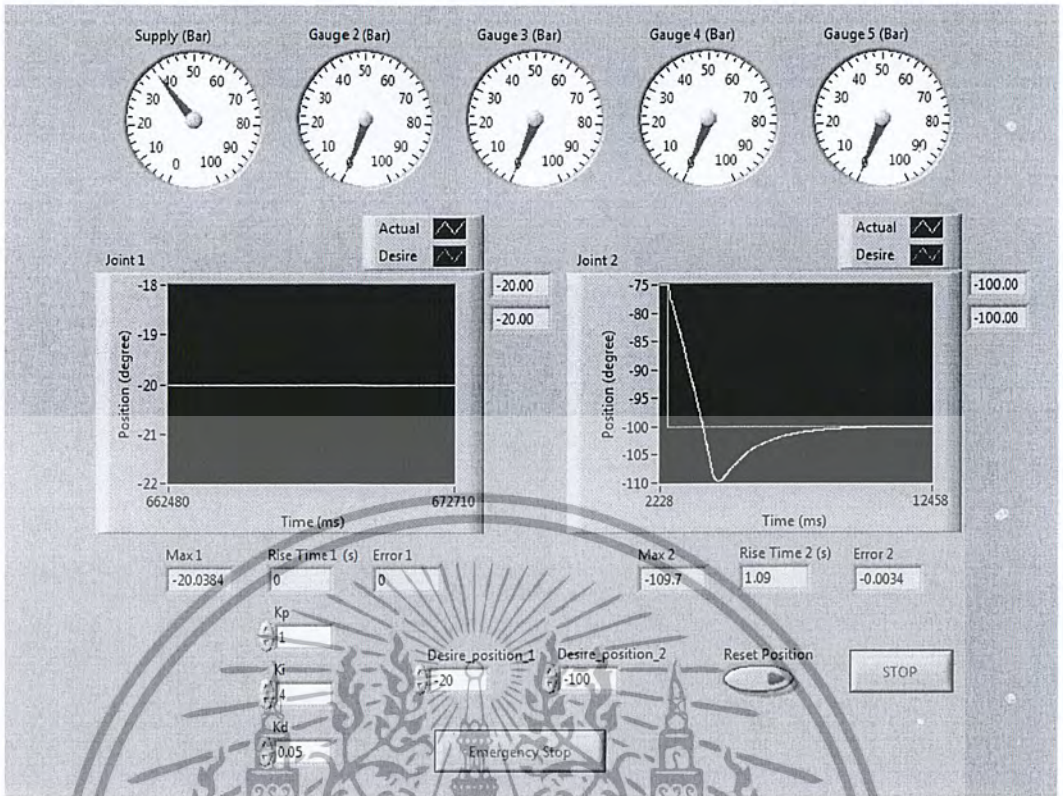
รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของที่ $K_p = 7, K_i = 4$

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลข้อมูล PID Control

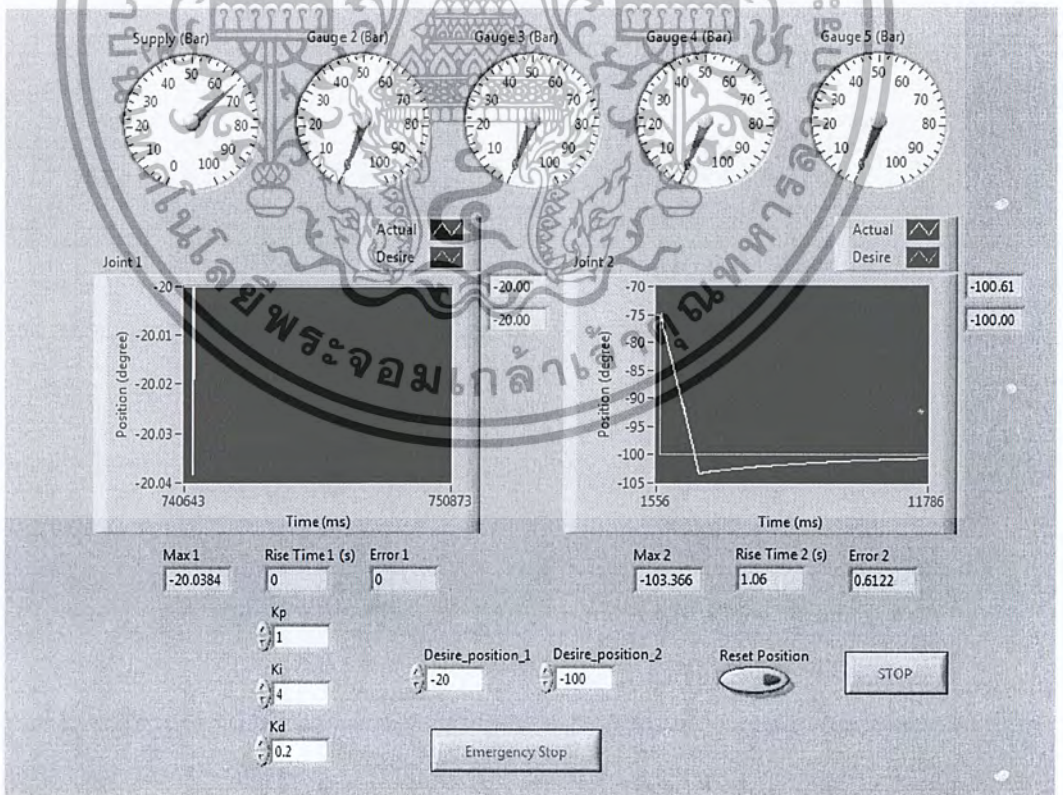
PID Control

| K_p | K_i | K_d | System Types | %OS | Rise Time |
|-------|-------|-------|--------------|-----|-----------|
| 1 | 4 | 0.05 | Overdamped | 9.7 | 1.09 |
| 1 | 4 | 0.2 | Overdamped | 3.4 | 1.06 |
| 4 | 4 | 0.2 | Overdamped | 3.2 | 1.06 |

จากตารางที่ 4.3 การตอบสนองต่อการควบคุมแบบ PID Control จะเห็นได้ว่าการตอบสนองนั้นเป็นแบบ Second Order System ซึ่งรูปแบบของการตอบสนองนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า K_p และ K_i โดยที่ค่า K_p นั้นเปรียบเสมือนตัวหน่วง (Damping) และค่า K_i นั้นเปรียบเสมือนสปริงให้กับระบบ ในส่วนของค่า K_p จะส่งผลต่อค่า %OS ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อค่า K_p มีค่าเพิ่มขึ้น

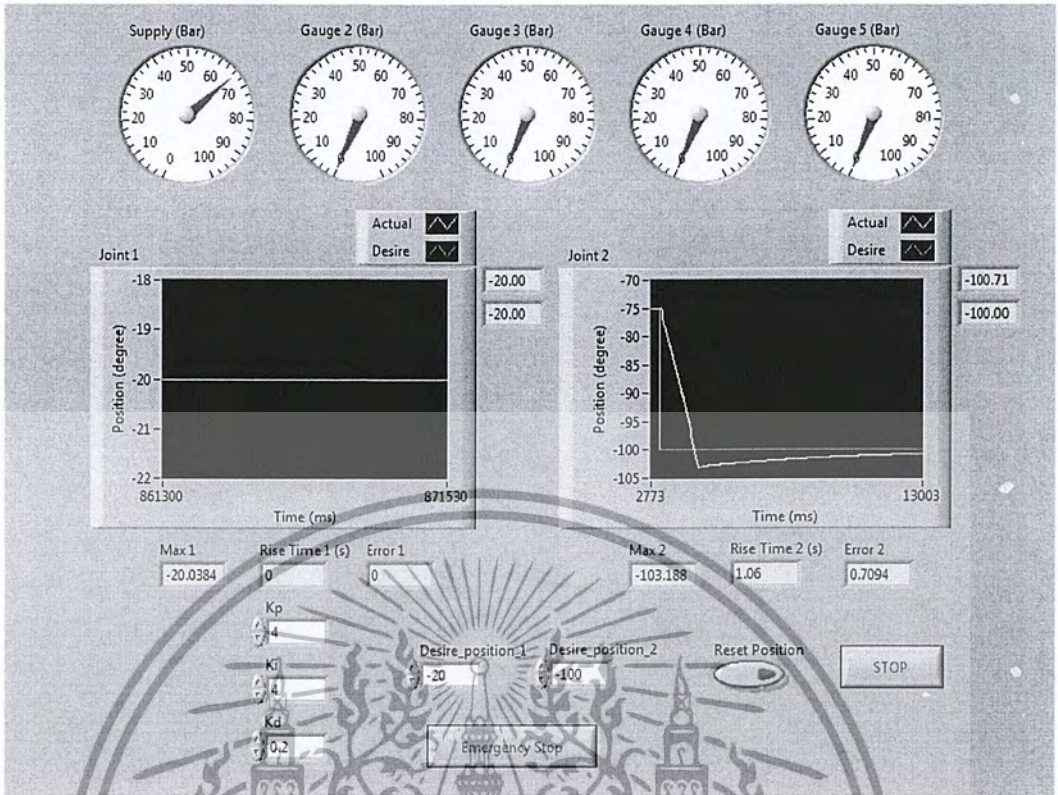


รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_i = 4, K_d = 0.05$



รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองที่ $K_p = 1, K_i = 4, K_d = 0.2$

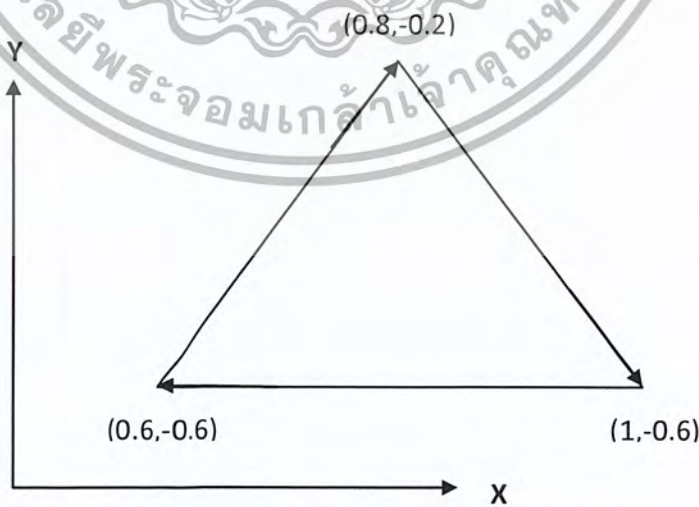
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลตอบสนองที่ $K_p = 4, K_i = 4, K_d = 0.2$

4.2.2 การทดสอบชุดทดลองแบบเส้นทางเดิน

เริ่มจากการสร้างเส้นทางเดินของแขนกลดังรูป โดยใช้โปรแกรม Data Generator ใส่ค่าพิกัดตามตารางที่ 4.4 กำหนดให้ระยะเวลาระหว่างจุด 5 วินาที

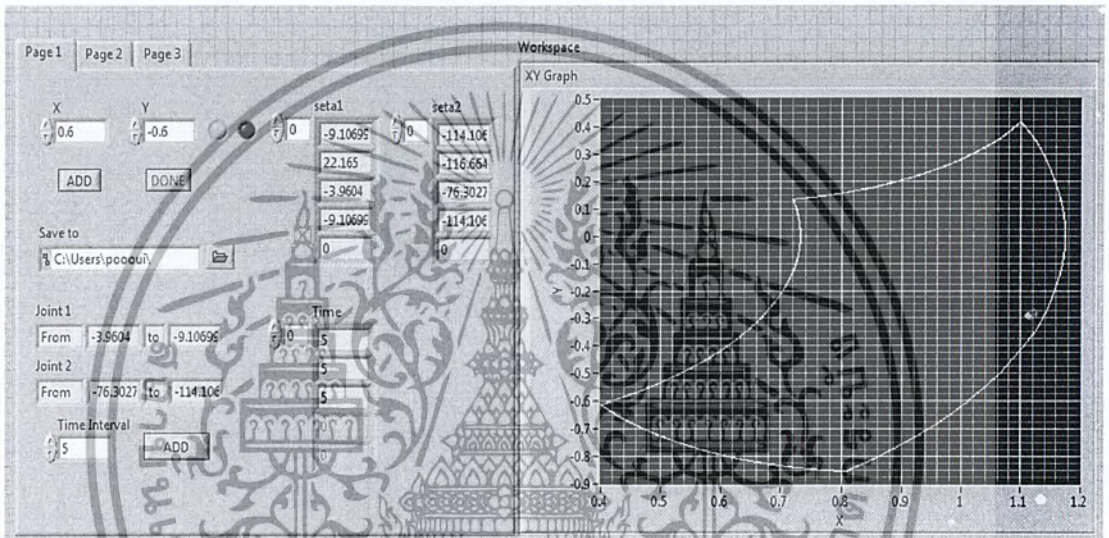


รูปที่ 4.18 เส้นทางเดินบนพิกัด X,Y

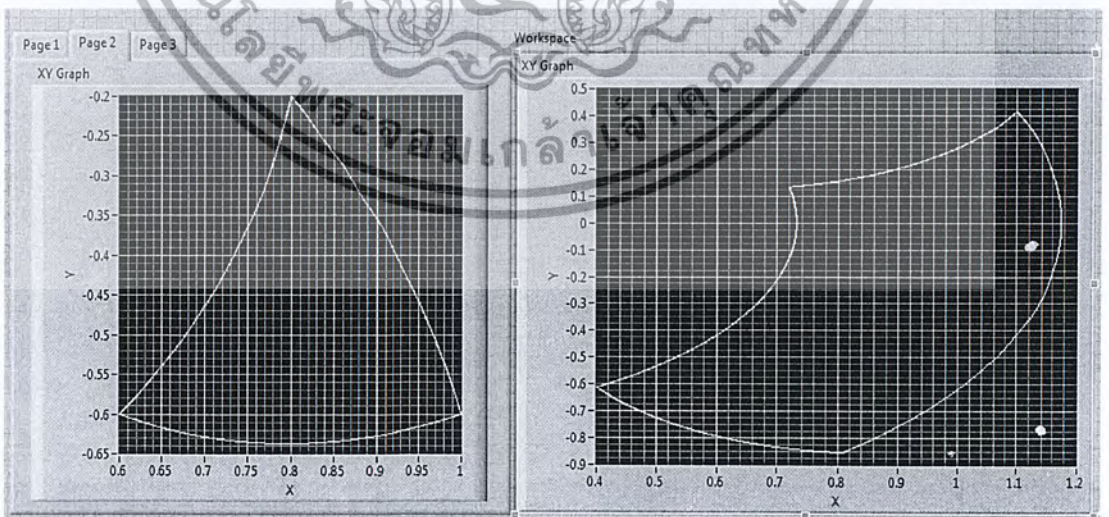
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลำดับข้อมูลของเส้นทางของแขนกล

| I | X | Y |
|---|-----|------|
| 0 | 0.6 | -0.6 |
| 1 | 0.8 | -0.2 |
| 2 | 1 | -0.6 |
| 3 | 0.6 | -0.6 |

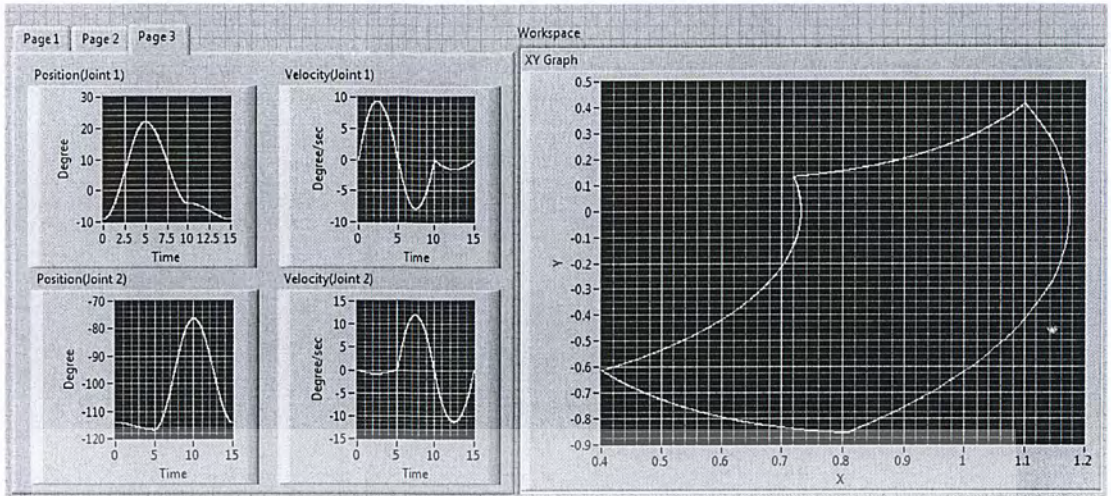


รูปที่ 4.19 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 1)



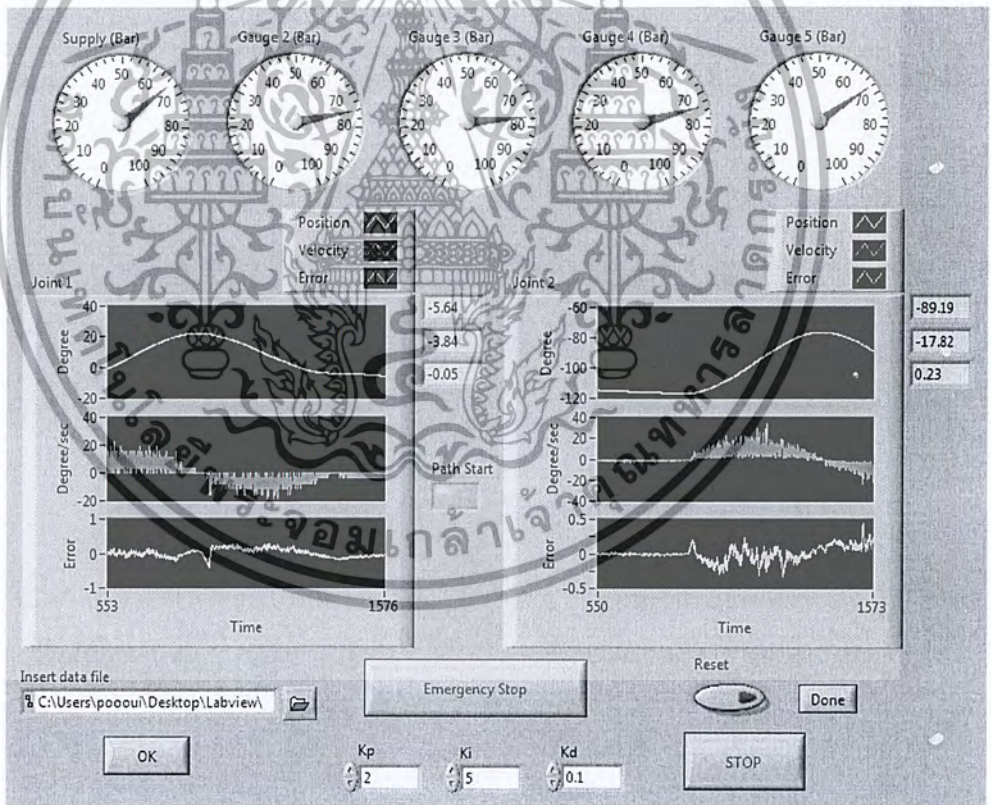
รูปที่ 4.20 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงผลการใส่ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 (หน้า 3)

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Data Generator ซึ่งเป็นไฟล์นามสกุล .xls ไปใช้ในชุดโปรแกรมควบคุมแบบเส้นทางเดินดังรูปที่ 4.22 ในที่นี้จะกำหนดค่า $K_p = 2, K_i = 5, K_d = 0.1$



รูปที่ 4.22 แสดงผลตอบของระบบที่ $K_p = 2, K_i = 5, K_d = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบชุดโปรแกรมควบคุมแบบจุดต่อจุดจะเห็นได้ว่าระบบนั้นมีการตอบสนองเปลี่ยนไปตามค่าอัตรากำลังขยายของตัวควบคุมที่ค่าต่างๆ โดยสามารถหาค่า Overshoot และ Rise Time ของระบบได้

จากผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมแบบ P เมื่อค่า K_p มีค่าสูงขึ้นนั้นจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะ steady state ได้เร็วขึ้น อีกทั้งระบบจะให้ผลตอบสนองที่เป็น First Order System

โดยที่การควบคุมแบบ PI นั้น ระบบจะตอบสนองเป็นแบบ Second Order System โดยรูปแบบการตอบสนองนั้นจะขึ้นกับสัดส่วนระหว่าง K_p กับ K_i

การควบคุมแบบ PID นั้น ระบบยังคงตอบสนองแบบการควบคุมแบบ PI แต่ %OS ของระบบจะลดลงตามค่าอัตรากำลังขยายของ K_p

เอกสารอ้างอิง

- [1] John J.Craig (1989), *Introduction To ROBOTICS Mechanics And Control*, 3rd Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ 400 pages.
- [2] Anthony Esposito (2008), *Fluid Power with Applications*, 6th Edition, PHI Learning Private Limited, New Delhi, 656 pages.
- [3] Daniel J. Inman (2008), *Engineering Vibrations*, 3rd Edition, Pearson Education, Inc., 681 pages.
- [4] Norman S. Nise (2008), *Control Systems Engineering*, 5th Edition, John Wiley & Sons (Asia), New York, NY, 861 pages.



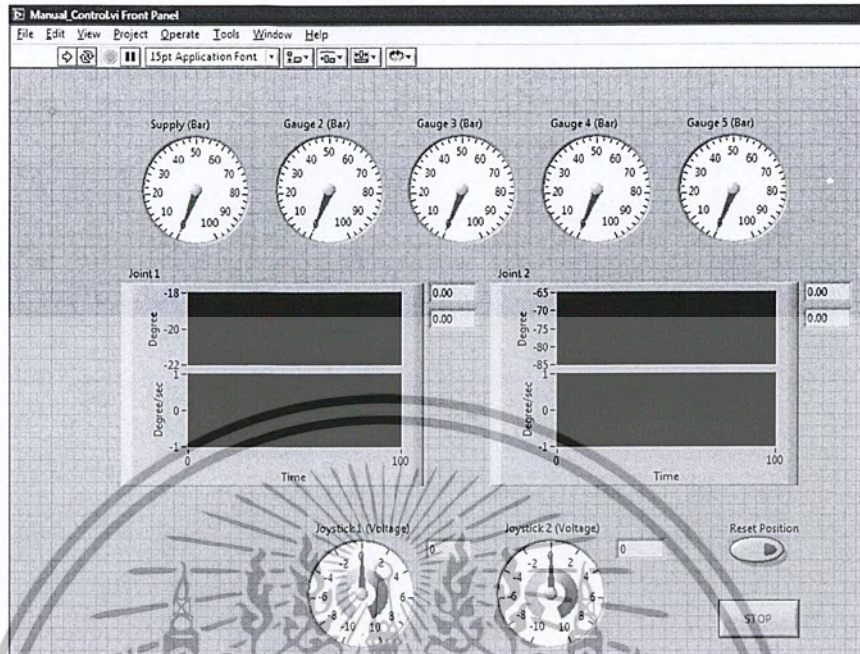
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คู่มือการใช้งานโปรแกรม Manual Control



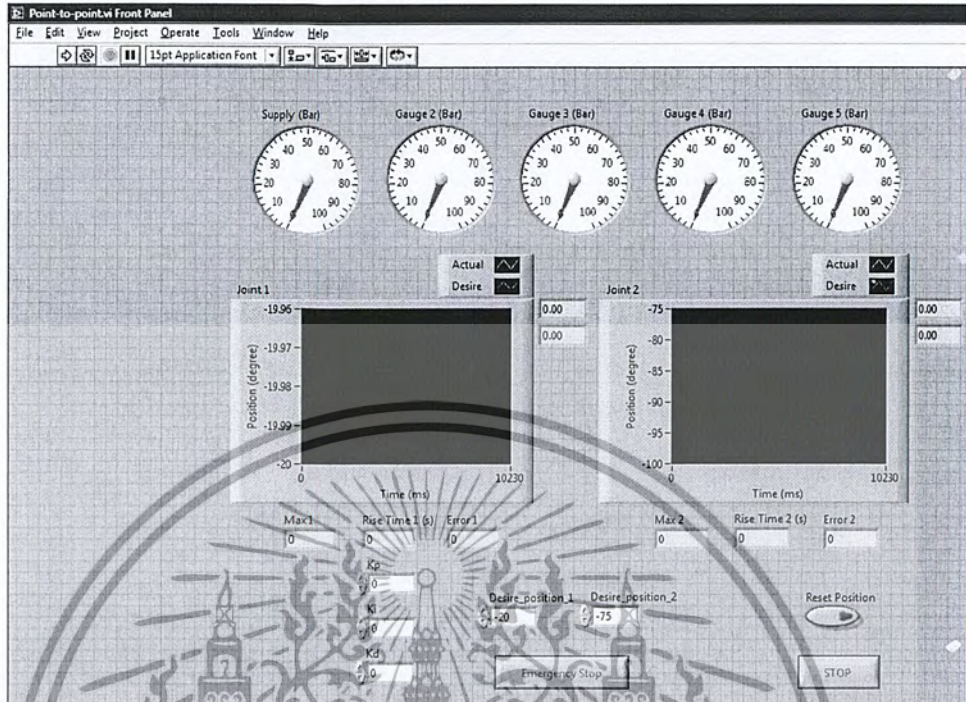
1. กดปุ่ม  เพื่อเริ่มโปรแกรม

2. ควบคุมให้ตำแหน่งแกนกลอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น (ระยะยึดเท่ากับ 0) ด้วย Joystick แล้วกดปุ่ม 

3. ควบคุมอัตราการไหลและทิศทางด้วย Joystick

4. กดปุ่ม  เพื่อหยุดโปรแกรม



2. คู่มือการใช้งานโปรแกรม Point-to-point

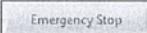


1. กดปุ่ม  เพื่อเริ่ม โปรแกรม

2. กดปุ่ม  รอนกว่าตำแหน่งของแขนกลจะอยู่ในสภาวะเริ่มต้นแล้วกดปุ่ม  อีกทีเพื่อเริ่มต้นโปรแกรม

3. กำหนดค่า KP, KI, และ KD

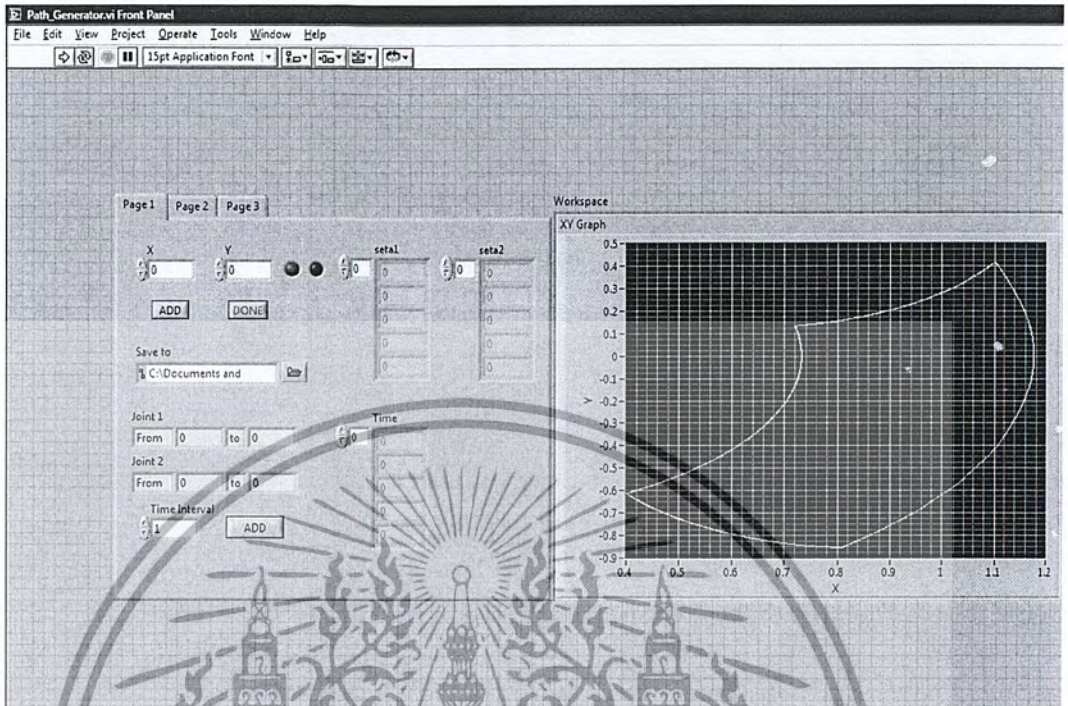
4. กำหนดค่าตำแหน่งของสาขาของแขนกลในช่อง  






5. ถ้าระบบเกิดปัญหาหรือสภาวะ unsteady state ให้กดปุ่ม  เพื่อสั่งให้วาล์วควบคุมหยุดทำงาน

6. กดปุ่ม  เพื่อหยุด โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

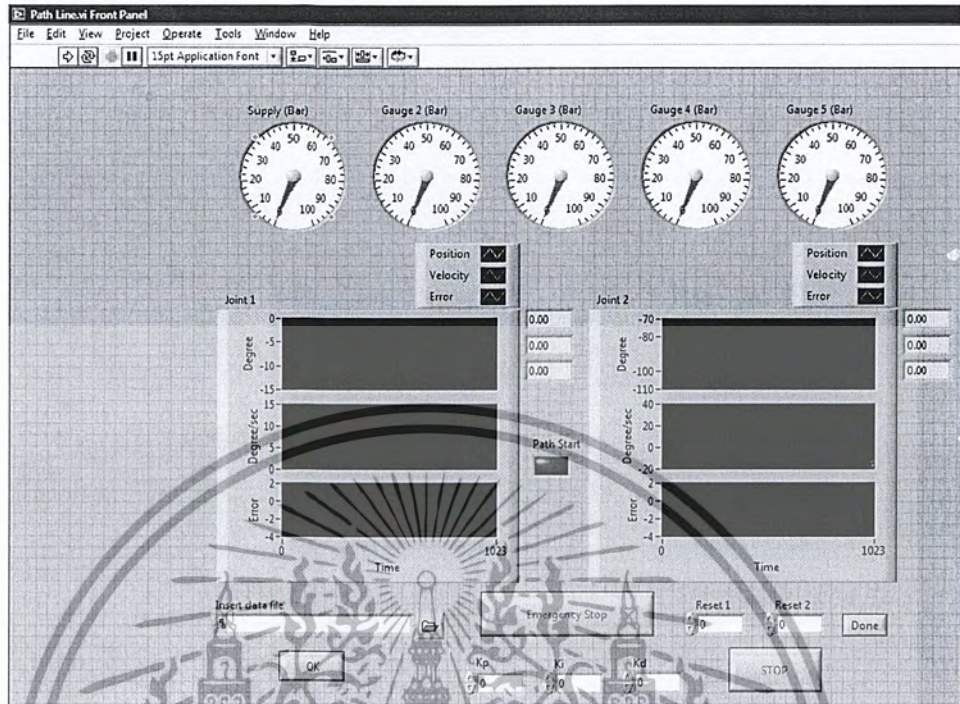
3. คู่มือการใช้งานโปรแกรม Path Generator



1. กดปุ่ม  เพื่อเริ่มโปรแกรม
2. กำหนดค่าพิกัด X, Y ที่ต้องการในช่อง  แล้วทำการกดปุ่ม  เพื่อเพิ่มค่าตำแหน่งของแขนกล
3. เมื่อทำการเพิ่มค่าตำแหน่งที่ต้องการเสร็จแล้วให้กดปุ่ม  เพื่อสิ้นสุดการเพิ่มค่าตำแหน่ง
4. กำหนดที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการบันทึก (.xls)
5. กำหนดช่วงเวลาระหว่างจุดในช่อง  แล้วกดปุ่ม  จนครบทุกจุด
6. ตรวจสอบเส้นทาง การเดิน ตำแหน่ง และความเร็วของแขนกลได้ใน หน้า 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. คู่มือการใช้งานโปรแกรม Path Line



1. กดปุ่ม  เพื่อเริ่ม โปรแกรม


2. กำหนดค่า K_P , K_I , และ K_D

3. นำไฟล์ที่ได้จาก Path generator (xls) ใสในช่อง

 แล้วกดปุ่ม 

4. รีเซ็ตตำแหน่งของแกนกลในช่อง

  ให้กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นแล้วกดปุ่ม 

5. สังเกต  (สีเขียว - กำลังเซตตำแหน่งของแกนกลไปยังจุดเริ่มต้น, สีเขียว - โปรแกรมควบคุมกำลังทำงาน)

6. กดปุ่ม  เพื่อหยุดการทำงานฉุกเฉิน

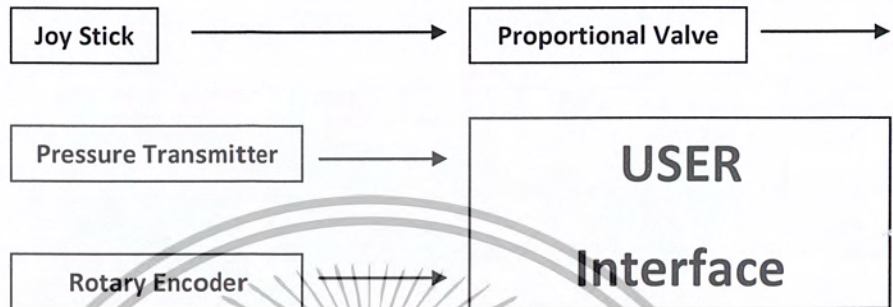
7. กดปุ่ม  เพื่อหยุด โปรแกรม



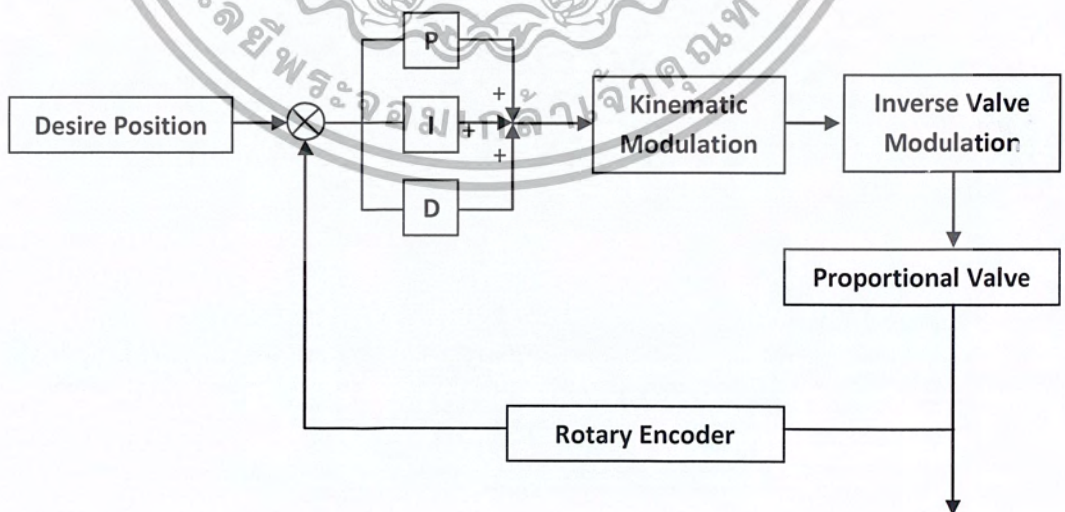
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการทำงานชุดโปรแกรมควบคุมผ่าน Joy Stick

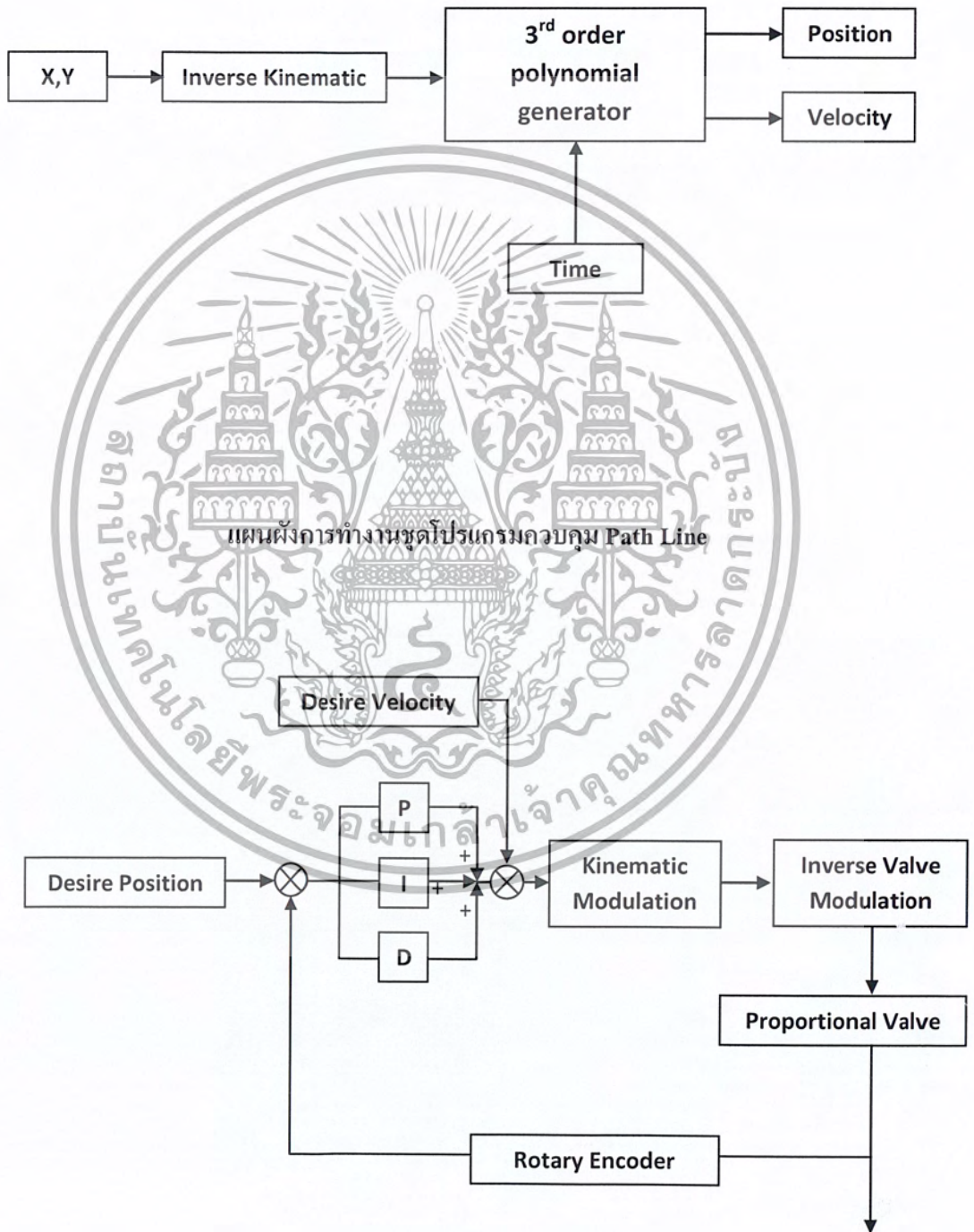


แผนผังการทำงานชุดโปรแกรมควบคุม Point-to-point



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการทำงานชุดโปรแกรมควบคุม Path Generator



แผนผังการทำงานชุดโปรแกรมควบคุม Path Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้