

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก
COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61777
วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

b. 1160001r
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก
COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT

โดย

นายวิฑูรย์ วิัชชา 44010827

นายอิทธิพล วัฒนากร 44010902

นายเอกลักษณ์ พรหมเผือก 44010905



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก

COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT

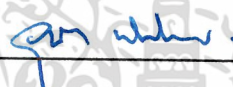
ผู้จัดทำ

1. นายวิฑูรย์ วิลีชนา รหัสประจำตัว 44010827

2. นายอิทธิพล วัฒนากร รหัสประจำตัว 44010902

3. นายเอกสิทธิ์ พรหมเผือก รหัสประจำตัว 44010905




(ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก

| | |
|------------------------|------------------|
| นายวิฑูรย์ วิลีขนา | 44010827 |
| นายอิทธิพล วัฒนากร | 44010902 |
| นายเอกลักษณ์ พรรมเผือก | 44010905 |
| ผศ.ดร.อุนนต์ พินโสภณ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2547 | |

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเกี่ยวกับการควบคุมการเคลื่อนของแขนกลไฮดรอลิกให้เป็นไปตามตำแหน่งและความเร็วที่กำหนด คำนับค้ำทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลไฮดรอลิก โดยเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลไฮดรอลิกจะเป็นไปตามสมการการประมาณค่าแบบเส้นตรงและแบบในช่วงกำลังสาม การควบคุมการทำงานจะมีคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลและจะนำค่าที่ได้จากการประมวลผลไปสั่งการทำงานของวาล์วพร้อมกับรับค่าจากเอนโคเดอร์มาเปรียบเทียบเพื่อทำการปรับปรุงค่าที่ไปสั่งการทำงานของวาล์วให้มีความถูกต้องแม่นยำและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT

Mr.Witoon Wisutchana 44010827

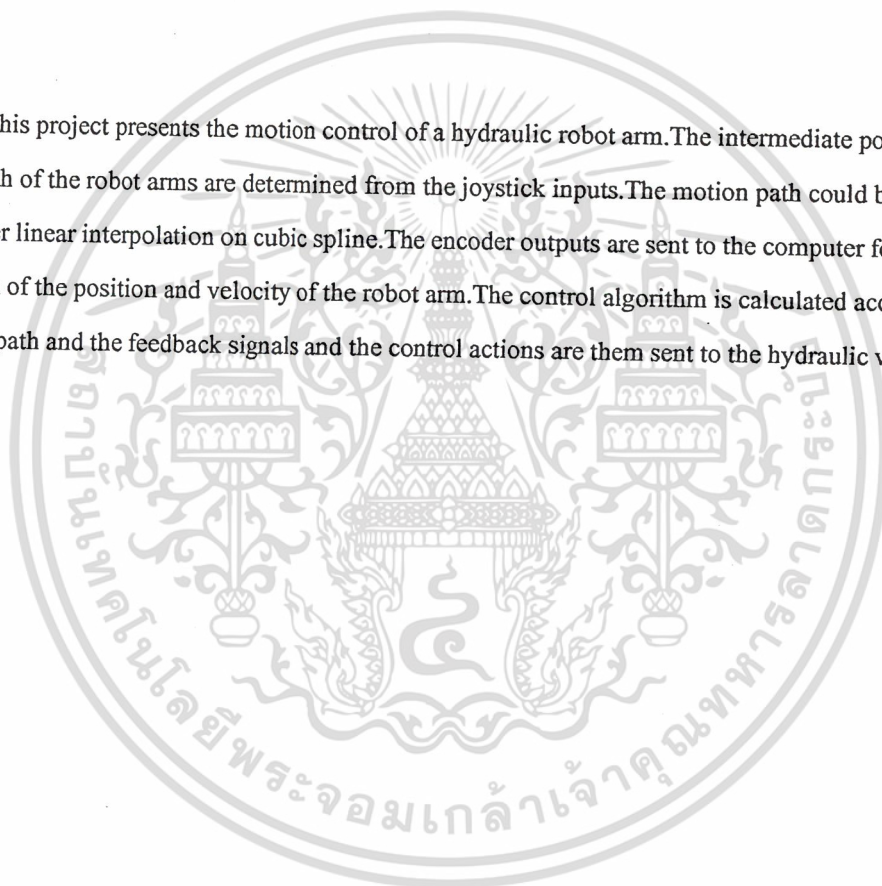
Mr.Aittipol Wattanakorn 44010902

Mr.Ekalak Promphuak 44010905

Dr. Unnat Pinsopon Adviser

Abstract

This project presents the motion control of a hydraulic robot arm. The intermediate positions on the motion path of the robot arms are determined from the joystick inputs. The motion path could be calculated using either linear interpolation or cubic spline. The encoder outputs are sent to the computer for the calculation of the position and velocity of the robot arm. The control algorithm is calculated according to the command path and the feedback signals and the control actions are then sent to the hydraulic valves.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้ให้นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาปฏิบัติ การเป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศศ.ดร.อุณหัต พินโสภณ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



วิฑูรย์ วิชันนา

อิทธิพล วัฒนานคร

เอกลักษณ์ พรมเผือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | |
|--------------------|------|
| เรื่อง | หน้า |
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูปภาพ | VI |

บทที่ 1 บทนำ

| | |
|---------------------------------|---|
| 1.1 บทนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ | 2 |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน | 2 |

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานไฮดรอลิก

| | |
|---------------------------|----|
| 2.1 ระบบไฮดรอลิก | 3 |
| 2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก | 3 |
| 2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก | 4 |
| 2.4 น้ำมันไฮดรอลิก | 5 |
| 2.5 ปัมไฮดรอลิก | 5 |
| 2.6 ระบายออกสูบบไฮดรอลิก | 6 |
| 2.7 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก | 7 |
| 2.8 ฟรื่อพอร์ชั่นนัลวาล์ว | 7 |
| 2.9 เซอร์โววาล์ว | 17 |
| 2.10 การหาอัตราการไหล | 24 |
| 2.11 ความดันของระบบ | 24 |

บทที่ 3 ระบบควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

| | |
|---------------------------------------|----|
| 3.1 บทนำ | 25 |
| 3.2 อุปกรณ์ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก | 26 |
| 3.2.1 ชุดแขนกลและระบายออกสูบบไฮดรอลิก | 26 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| 3.2.2 | โรตารี อินคริเมนท์ เอ็น โค้ดเดอร์ | 27 |
| 3.2.3 | การ์ดนับรอบ | 28 |
| 3.2.4 | คอมพิวเตอร์ | 31 |
| 3.2.5 | Data Acquisition Card | 31 |
| 3.2.6 | อิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม | 32 |
| 3.2.7 | เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ | 32 |
| 3.2.8 | เซอร์โววาล์ว | 33 |
| 3.2.9 | คั่นบังคับ | 34 |
| 3.3 | การควบคุมแบบอัตโนมัติของแขนกลไฮดรอลิก | 35 |
| 3.4 | สมการการคำนวณหาค่าตำแหน่งและความเร็วของแขนกล | 40 |
| 3.5 | การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง | 49 |
| บทที่ 4 | ขั้นตอนและผลการทดลอง | |
| 4.1 | ขั้นตอนการทำงานของแขนกล | 54 |
| 4.2 | โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ | 55 |
| 4.3 | วิธีการทดลอง | 56 |
| 4.4 | ผลการทดลอง | 58 |
| 4.5 | วิเคราะห์ผลการทดลอง | 77 |
| 4.6 | สรุปผลการทดลอง | 78 |
| บรรณานุกรม | | 79 |
| ภาคผนวก | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของกระบอกสูบแบบทำงาน 2 ทาง | 6 |
| รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของ Proportional Valve | 7 |
| รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของรีลิวาล์วแบบหัวฉีด | 8 |
| รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของรีลิวาล์วแบบพอฟเฟต | 9 |
| รูปที่ 2.5 แสดง LVDT | 9 |
| รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของรีลิวาล์วแบบแผ่น | 10 |
| รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ | 11 |
| รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของวาล์วควบคุมการไหลแบบมีสัญญาณย้อนกลับ | 11 |
| รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของ Proportional Directional Control Valves | 12 |
| รูปที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างโซลินอยด์แบบธรรมดา กับ โซลินอยด์แบบพรอพอร์ชันนัล | 13 |
| รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์ว | 14 |
| รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการไหลจริงของเซอร์โววาล์ว | 15 |
| รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการไหล เมื่อมีการชดเชยค่าเคคเบนค์ | 15 |
| รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดฮิสเตอร์รีซิส | 16 |
| รูปที่ 2.15 แสดง Electrohydraulic Servo System | 17 |
| รูปที่ 2.16 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรง | 18 |
| รูปที่ 2.17 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน | 19 |
| รูปที่ 2.18 แสดงเซอร์โววาล์วแบบปิด-เปิด | 20 |
| รูปที่ 2.19 แสดงเซอร์โววาล์วแบบเจ็ดไฟ | 20 |
| รูปที่ 2.20 แสดง โครงสร้างของทอร์กมอเตอร์ | 21 |
| รูปที่ 2.21 แสดงการซ้อนกัน (Overlap) ของสปูลวาล์ว | 22 |
| รูปที่ 2.22 แสดงการไม่ซ้อนกัน (Zero-lap) ของสปูลวาล์ว | 22 |
| รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าฮิสเตอร์รีซิสของ Proportional Valve และ Servovalve | 23 |
| รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของ Proportional Valve และ Servovalve | 23 |
| | |
| รูปที่ 3.1 แสดงระบบแกนกลไฮดรอลิก | 25 |
| รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแกนกลไฮดรอลิก | 26 |
| รูปที่ 3.3 แสดงชุดแกนกลไฮดรอลิก | 27 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างของ โรตารีอินคริเมนทัล เอน โคคเตอร์ | 28 |
| รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภาคเอาต์พุทของเอนโคคเตอร์ | 28 |
| รูปที่ 3.6 แสดงการ์ดนับรอบที่สร้างขึ้นในโครงการ | 29 |
| รูปที่ 3.7 แสดง Schematic ของการ์ดนับรอบ | 29 |
| รูปที่ 3.8 แสดงช่องเสียบการ์ดชนิด ISA | 30 |
| รูปที่ 3.9 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ | 31 |
| รูปที่ 3.10 แสดงวงจรแอมพลิไฟเออร์ | 32 |
| รูปที่ 3.11 แสดงรูปร่างของ Servo Amplifier | 33 |
| รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเซอร์โวว่าล์ว | 33 |
| รูปที่ 3.13 แสดงรูปร่างของเซอร์โวว่าล์ว | 33 |
| รูปที่ 3.14 แสดงคัมบังค์ควบคุมแขนกลไฮดรอลิก | 34 |
| รูปที่ 3.15 แสดงวงจรภายในของคัมบังค์ | 34 |
| รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุม | 35 |
| รูปที่ 3.17 แสดงการตรวจจับสัญญาณผิดพลาด | 36 |
| รูปที่ 3.18 แสดงระบบควบคุมแบบ Proportional plus Integral | 37 |
| รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะการตอบสนองของการควบคุมแบบ PI | 37 |
| รูปที่ 3.20 แสดงพื้นที่การทำงานและลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนกล | 41 |
| รูปที่ 3.21 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ | 41 |
| รูปที่ 3.22 แสดงกรณีที่ $1 \theta_1 < \theta_2$ | 44 |
| รูปที่ 3.23 แสดงกรณีที่ $2 \theta_1 > \theta_2$ | 44 |
| รูปที่ 3.24 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B | 45 |
| รูปที่ 3.25 แสดงการแบ่งช่วงบนเส้นทางการเคลื่อนที่ | 47 |
| รูปที่ 3.26 แสดงจุดย่อยบนเส้นทางการเคลื่อนที่ | 47 |
| รูปที่ 3.27 การแบ่งช่วงในแกน | 47 |
| รูปที่ 3.28 การแบ่งช่วงในแกน | 48 |
| รูปที่ 3.29 ลักษณะการกระจายของฟังก์ชันพหุนามอันดับสูงและการใช้ฟังก์ชันเส้นโค้งสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันขั้นบันได | 50 |
| รูปที่ 3.30 การประมาณค่าในช่วงโดยการใช้ฟังก์ชันเส้นตรง | 50 |
| รูปที่ 3.31 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันพหุนามอันดับสูงของลากรองจ์ กับฟังก์ชันเส้นโค้งกำลังสาม | 53 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ | 54 |
| รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม | 55 |
| รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งพิกัดของจุดที่กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ | 57 |
| รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ | 58 |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ | 59 |
| รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ | 59 |
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ | 60 |
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ | 60 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ | 61 |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม | 61 |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม | 62 |
| รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม | 62 |
| รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4.35 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม 74
- รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกลูกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกลูกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม 74
- รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกลูกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกลูกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม 75
- รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกลูกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกลูกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม 75
- รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกลูกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกลูกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม 76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในโลกยุคปัจจุบันนี้ แขนกลหุ่นยนต์ได้มีบทบาทความสำคัญในหลายๆด้าน และถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยแขนกลหุ่นยนต์จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน เช่น เพื่อใช้ในการหยิบจับเคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องใช้ต่างๆ ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมตำแหน่ง และความเร็วของแขนกล แขนกลหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมา เพื่อให้ใช้ประโยชน์กับงานในอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังในการยก จับหรือหยิบวัสดุที่มีน้ำหนักมากๆ เช่น งานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ รถแบ็คโฮ เป็นต้น

การควบคุมระบบไฮดรอลิก โดยการใช้วาล์วควบคุมทิศทางแบบ ปิด-เปิด มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถปรับอัตราการไหลที่วาล์วได้โดยตรง ต้องใช้ Flow Control Valve วาล์วชนิดนี้ประเภทที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบเปิดเท่านั้น ซึ่งมีข้อเสียในด้านความแม่นยำและความเที่ยงตรงในการทำงาน จึงได้มีการนำ Proportional Valve มาใช้ในการควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกแทน ซึ่งวาล์วประเภทนี้ สัญญาณเอาต์พุตหรือการเคลื่อนตัวของสปีดภายในตัววาล์วจะเป็นสัดส่วนหรือแปรผันตรงกับสัญญาณอินพุตที่ใช้ในการสั่งงานจึงมีความสามารถในการเคลื่อนตัวของสปีดให้อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ภายในตัววาล์ว โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตที่ใช้ในการสั่งงาน

แขนกลไฮดรอลิกเป็นแขนกลที่ใช้การขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก โดยอาศัยสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า มีการป้อนกลับสัญญาณ เพื่อให้การทำงานของอุปกรณ์ทำงาน เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน รวมทั้งใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล สั่งการและโปรแกรมการทำงาน เพื่อให้ระบบการเคลื่อนที่ของแขนกลไฮดรอลิก ทำงานได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ

จากผลการดำเนินงานครั้งที่ผ่านมา พบว่า เป็นการควบคุมการทำงานของวาล์วเพียงตัวเดียว ซึ่งสามารถควบคุมได้เพียงกระบอกสูบเดียวแต่การเคลื่อนที่ของแขนกลให้เป็นไปตามตำแหน่งและความเร็วที่กำหนดต้องอาศัยการทำงานของทั้งสองกระบอกสูบ อีกทั้งการสั่งงานจากระบบคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถตอบสนองการใช้งานจริงได้ เนื่องจากในการใช้งานจริงการป้อนค่าเส้นทางการเคลื่อนที่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ซึ่งต้องอาศัยคนบังคับในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง และเป็นที่มาของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างคัมบังคัมบัง สำหรับใช้ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก
2. ออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุมที่สามารถรับค่าตำแหน่งของแขนกลไฮดรอลิก และคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. รู้จักและเข้าใจการใช้งาน และสามารถควบคุมอุปกรณ์ทำงานของระบบไฮดรอลิกได้
2. สามารถใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกได้
3. สามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วของแขนกลไฮดรอลิกได้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้เริ่มด้วยการปรับปรุงส่วนประกอบต่างๆ ของชุดแขนกล คือ ทำการติดตั้งชุดแขนกลท่อนบน และติดตั้งโรตารีเอนโคเดอร์เข้ากับแขนกล จากนั้นทำการออกแบบและสร้างคัมบังคัมบังสำหรับควบคุมแขนกล และทำการสร้างการคัมบังคัมบัง ซึ่งใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างเอนโคเดอร์ กับคอมพิวเตอร์ ให้สามารถคัมบังคัมบังและทำงานได้ตามที่ต้องการ

จากนั้นจึงเป็นการใช้โปรแกรมในการควบคุม ซึ่งในโครงการนี้ใช้ Turbo C ++ ในการสั่งงานต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุม โดยในโครงการนี้จะกล่าวถึงวิธีการควบคุมแบบPI (Proportional-Integral Control) ซึ่งเป็นวิธีที่เลือกใช้ในโครงการนี้ มีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลไฮดรอลิก โดยจะเป็นไปตามสมการการประมาณค่าแบบเส้นตรงและแบบในช่วงกำลังสาม มีการอธิบายหลักการทำงานของระบบแขนกล และแสดงผลที่ได้จากการสั่งงานเทียบกับคำสั่ง ซึ่งจะช่วยให้ทราบความเร็ว และตำแหน่งของแขนกลว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับแต่งระบบควบคุม

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของไฮดรอลิก

2.1 ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)

คำว่า hydraulic มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro หมายถึงน้ำ และ Aulis ซึ่งหมายถึงท่อ (pipe) เดิมคำว่า hydraulic จึงหมายถึงเฉพาะการไหลของน้ำในท่อเท่านั้น แต่ปัจจุบันคำนี้หมายถึงการไหลของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบ เพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหล เป็นกำลังงานกลคือทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงานตัวอย่างงานเช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เครื่อง กว้าน รถแทรกเตอร์ และ เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1. อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั้มน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งจ่ายให้แก่อุปกรณ์ไฮดรอลิก ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า
2. อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมัน ขจัดสิ่งสกปรก ขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิก ประกอบด้วยถังพักน้ำมันไฮดรอลิก ใต้กรองน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้กับถังพักน้ำมัน
3. อุปกรณ์สร้างการไหล ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วยปั้มไฮดรอลิก ชนิดต่าง ๆ
4. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน หมายถึง วาล์วควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิก เช่น วาล์วควบคุมทิศทางการไหลใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของก้านสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหลใช้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่ลูกสูบเพื่อควบคุมความเร็วของก้านสูบ วาล์วควบคุมความดันใช้ควบคุมความดันในระบบ
5. อุปกรณ์การทำงาน ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล เช่นกระบอกสูบไฮดรอลิก หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก
6. อุปกรณ์ในระบบท่อทาง ทำหน้าที่เป็นท่อทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ประกอบด้วย เป้า (Pipe), ข้องอ (Bending), ท่อ (tube), สายน้ำมันไฮดรอลิก (hoses) และข้อต่อชนิดต่าง ๆ (fittings)

2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก

1. ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม ในงานอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบไฮดรอลิกไปใช้ในเครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอะลูมิเนียม แท่นอัดขึ้นงาน เครื่องปั๊มและเครื่องตัดขึ้นงาน เครื่องประกอบขึ้นรูปขึ้นงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ เครื่องกลึงและเจียรระโน

2. ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์ไฮดรอลิกตัวอย่าง เช่น ใช้กับแท่นเลื่อย แขนโยน ฐานป้อนและส่ง เครื่องปรับขนาด ลูกกลิ้ง อุปกรณ์แยกและส่ง อุปกรณ์ควบคุมท่อหล่อเย็น เป็นต้น

3. ระบบไฮดรอลิกในงานวิศวกรรมโยธา ตัวอย่างงานที่ใช้ระบบนี้ เช่น ระบบปิด - เปิดประตูกันน้ำ เขื่อนกันน้ำ การควบคุมการปิด - เปิดช่องทางเดินเรือ การควบคุมการปิด - เปิดสะพาน

4. ระบบไฮดรอลิกในยานยนต์อุตสาหกรรม ตัวอย่างของการใช้ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในยานยนต์อุตสาหกรรม เช่น รถแทรกเตอร์ รถเทอร์เลอร์ บันจัน รถยก รถขุด เครน รถกวาด รถตัด เครื่องจักรกลการเกษตร รถกระเช้า รถขนย้ายวัสดุ และเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างอื่น ๆ

5. ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล เช่น ระบบนําร่องอัตโนมัติ ระบบเครื่องหางเสือเรือทั้งแบบธรรมดาและแบบอัตโนมัติ การควบคุมการปล่อยยวน การควบคุมระบบระบายน้ำใต้ท้องเรือ เป็นต้น

6. ระบบไฮดรอลิกในงานเฉพาะอย่าง งานที่นำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้นั้น ตัวอย่างเช่น กล้องเทเลสโคป ระบบสื่อสารทางอากาศ ทุ่นเก็บข้อมูลด้านสมุทรศาสตร์ และอุศุนิยมศาสตร์ในทะเล เครื่องขุดเจาะน้ำมันในทะเล เครื่องเจาะสำรวจแหล่งแร่ เครื่องมือสำรวจชั้นดิน

2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกมีข้อได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติแล้วการส่งกำลังโดยกลไกจะมีความยุ่งยากเกี่ยวกับโครงสร้างที่จะควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานทั้งแบบหมุนหรือแนวเส้นตรง แต่ระบบไฮดรอลิกทำงานได้ง่ายและดีทั้งในแนวตรงและในแนวหมุนเพียงแต่ใช้กำลังงานจากของไหลไปเปลี่ยนแปลงเป็นกำลังงานกลเพื่อทำงานที่ต้องการแรงผลักดันหรือแรงบิดมากๆได้

2. การปรับเปลี่ยนความเร็วของลูกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกกระทำได้ง่าย สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ทุกระดับ โดยปรับที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์นั้นควรทำงานที่ความเร็วคงที่มากกว่า

3. แรงคงที่ ระบบไฮดรอลิกสามารถที่จะให้แรงคงที่ได้โดยที่ไม่จำกัดความเร็ว

4. ตั้งขนาดของแรงที่ต้องการใช้งานได้ เพราะปริมาณน้ำมันที่ความดันส่วนเกินจะไหลออกไปทางวาล์วจำกัดความดันหมด

5. การทำงานกลับทิศไปมาได้ กระบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกสามารถทำงานกลับทิศได้ โดยไม่ต้องรอให้หยุด โดยอาศัยวาล์วควบคุมทิศทางการไหล ส่วนปัญหาการโอเวอร์โหลดขณะทำงานกลับทิศจะไม่มีเช่น ก้านสูบเลื่อนออกสู่คระยะชักแล้ว แต่ปั๊มยังคงส่งอัตราการไหลไปในระบบความดันก็จะเพิ่มขึ้นแต่จะถูกจำกัดโดยวาล์วปลดความดัน

6. ควบคุมการทำงานได้เที่ยงตรง แม่นยำ และถูกต้อง เพราะมีวาล์วที่ใช้ควบคุมทั้งความเร็วและความดัน

7. กะทัดรัด กินเนื้อที่ในการติดตั้งและมีน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดกำลังเดียวกัน เช่น ปั๊มหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 9 แรงม้า จะมีน้ำหนักเพียง 5 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า จะมีน้ำหนักที่มากกว่าหลายสิบกิโลกรัม และในบริเวณที่ไม่เหมาะสมก็สามารถที่จะติดตั้งได้เพียงแต่มีที่ว่างให้วางท่อเท่านั้น

8. สามารถหยุดชะงัก เนื่องจากการรั่วโอเวอร์โหลคนานๆได้ เมื่อโหลลดลงก็ทำงานต่อไปได้ทันที ไม่มีปัญหาจากการพิวส์ขาดเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อรับโอเวอร์โหลคนานๆ ระบบก็ยังคงทำงานต่อไปได้เพียงแต่ความดันน้ำมันส่วนเกินจะไหลออกทางวาล์วจำกัดความดัน

9. ปลอดภัย ระบบไฮดรอลิกจะมีความปลอดภัยสูง แม้ว่าจะรับภาระโหลคนานๆ ไม่มีปัญหาไฟฟ้าลัดวงจรเหมือนระบบไฟฟ้า จึงทำให้เป็นที่สนใจและนำไปใช้ในโรงงาน ได้ดีกว่าระบบอื่นๆ

2.4 น้ำมันไฮดรอลิก

น้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่ง ไปสู่อีกจุดหนึ่งในระบบ เพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล เป็นตัวหล่อลื่น และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่างๆ น้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นซีลด้วย เพื่อให้มีการรั่วซึมเกิดขึ้นน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์

การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกขณะทำงานจะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบ ถ้าเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกผิดประเภท ไม่เหมาะสมกับเครื่องจักรตามที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ เครื่องจักรก็จะทำงานได้ไม่เต็มที่หรืออาจจะขัดข้องไปทั้งระบบเนื่องจากเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกมีลักษณะของการใช้แรงไม่เหมือนกันและระยะเบียดของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ภายใต้อุปกรณ์ไม่เท่ากันรวมทั้งอุณหภูมิในการทำงานของเครื่องจักรแต่ละชนิด

ดังนั้น การเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกแต่ละชนิดจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานตามที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าเราจะเลือกใช้ชนิดของน้ำมันไฮดรอลิกได้อย่างถูกต้องแล้วก็ตาม ในขณะที่ใช้งานก็ยังคงดูแลบำรุงรักษาน้ำมันไฮดรอลิกให้อยู่ในสภาพดี คือ สะอาด มีอุณหภูมิพอเหมาะ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงอายุการใช้งาน รวมทั้งควรตรวจสอบให้มีน้ำมันไฮดรอลิกอยู่ในระดับที่พอเพียงสำหรับการใช้งานในระบบอย่างสม่ำเสมอ

2.5 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pumps)

ปั๊มไฮดรอลิกทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลภายใต้ความดัน กล่าวคือเมื่อป้อนกำลังกลไปที่เพลาลูกสูบ (rotating shaft) ของปั๊มให้ทำงาน ปั๊มก็จะเปลี่ยนพลังงานกลนั้นให้เป็นพลังงาน

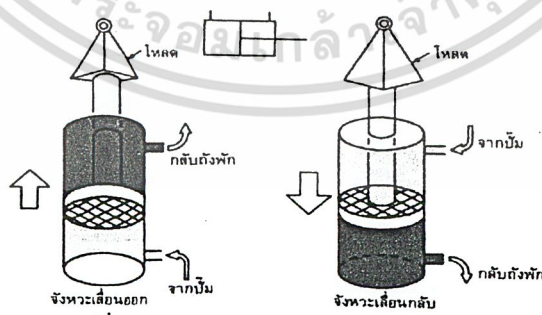
กลั่นในของไหล น้ำมันไฮดรอลิกก็จะถูกดูดจากถังพักแล้วส่งออกไปตามท่อทางในระบบเพื่อใช้งานได้ การไหลของน้ำมันจะต้องมีพลังงานศักย์มากเพียงพอที่จะผ่านแรงต้านทานของระบบ แรงต้านทานการไหลในระบบนี้เองที่ทำให้เกิดความดันในระบบไฮดรอลิกขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้งาน ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ ในโรงงานอุตสาหกรรมกรรมกำลังงานกลที่ใช้ขั้วปั๊มส่วนมากได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าไม่ใช่ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในที่ที่มีกระแสไฟฟ้าก็จะใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับ โดยการแบ่งประเภทของปั๊มจะพิจารณาจากลักษณะ โครงสร้าง และหลักการขึ้นพื้นฐานในการทำงาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. **ปั๊มประเภทดูดเหวี่ยง (Non-positive displacement pump)** คือปั๊มที่ทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงของใบพัด แรงดันที่เกิดขึ้นภายในตัวปั๊มขึ้นอยู่กับความเร็วของปั๊ม

2. **ปั๊มประเภทดูด - อัด (positive displacement pump)** เป็นปั๊มที่มีหลักการทำงานในแบบที่เรียกว่าไฮดรอสแตติก (hydrostatic) ได้แก่ ปั๊มแบบฟันเฟือง แบบสกรู แบบเวน และแบบลูกสูบ ปั๊มแบบดูด-อัดนี้โครงสร้างภายในที่ทำงานมีการซีลแบบกลไก ซึ่งเป็นชนิดโลหะสัมผัสซึ่งกันและกัน กันไม่ให้ท่อทางเข้าและทางออกต่อถึงกันซึ่งช่วยลดปริมาณการรั่วซึมภายในได้ดีจึงเหมาะสำหรับใช้ในความดันสูง ๆ แม้ว่าอัตราความดันภายในระบบไฮดรอลิกจะขึ้นหรือลง ก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานในทุก ๆ ระยะชักหรือทุกรอบของการหมุนของปั๊ม

2.6 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder)

กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกมีหน้าที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่ส่งมาจากปั๊มและवाद้วควบคุมต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อน้ำมันป้อนเข้าสู่กระบอกลูกสูบทำให้เกิดแรงดันขึ้น โดยอัตราการไหลของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของลูกสูบ กำลังงานกล(แรงม้า) ที่เกิดขึ้นที่กระบอกลูกสูบโดยทั่ว ๆ ไปมี 2 ลักษณะคือ แบบทำงานสองทาง (double acting cylinder) และแบบทำงานทางเดียว (single acting cylinder) โดยกระบอกลูกสูบแบบมาตรฐานส่วนใหญ่เป็นแบบทำงานได้สองทาง ตัวกระบอกลูกสูบทำจากท่อเหล็กชุบโครเมียม



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของกระบอกลูกสูบแบบทำงาน 2 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

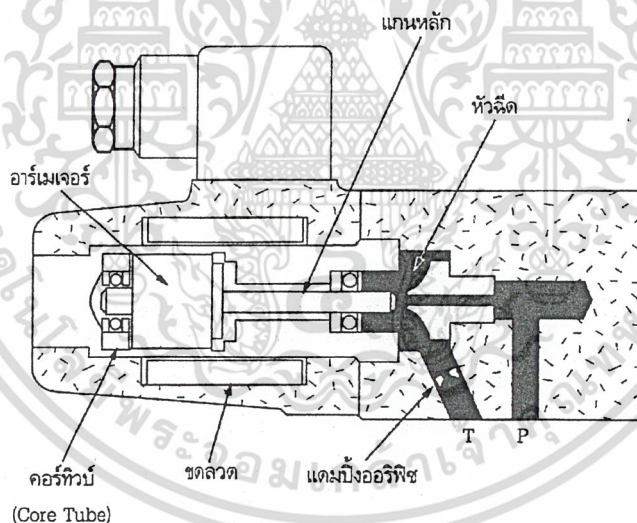
วาล์วในระบบไฮดรอลิกนั้นจะมีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมอัตราการไหล (ความเร็ว) และวาล์วควบคุมความดัน (แรง) พร้อพอร์ชันนัลวาล์วก็สามารถแบ่งประเภทออกได้ในลักษณะทำนองเดียวกัน

2.8.1 วาล์วควบคุมความดันแบบพร้อพอร์ชันนัล (Proportional Pressure Control Valves)

วาล์วควบคุมความดัน 2 ชนิดคือ รีลิววาล์ว และรีลิวอิงวาล์ว จะมีชิ้นส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมอย่างเดียวกัน ตามที่ทราบกันแล้วว่าชุดควบคุมของไหลจะใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเป็นตัวควบคุม ส่วนชุดวาล์วหลักจะต้องใช้วาล์วขนาดใหญ่เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันผ่านไปได้ตามต้องการ

วาล์วควบคุมความดันจะปรากฏด้วยวาล์วที่ทำงานลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น แบบหัวฉีด แบบพอพเพด ซึ่งมีระบบส่งสัญญาณย้อนกลับได้และแบบแผ่น

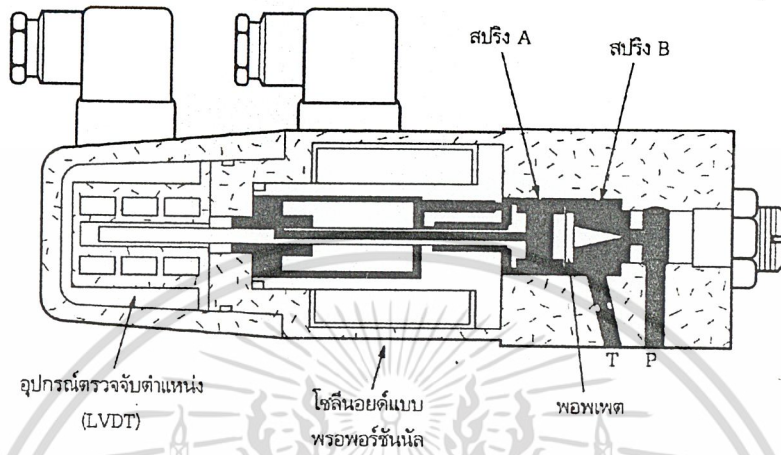
1. พร้อพอร์ชันนัลรีลิววาล์วแบบหัวฉีด (Nozzle Type Proportional Relief Valve) เป็นวาล์วที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ใช้ควบคุมค่าของความดันที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก



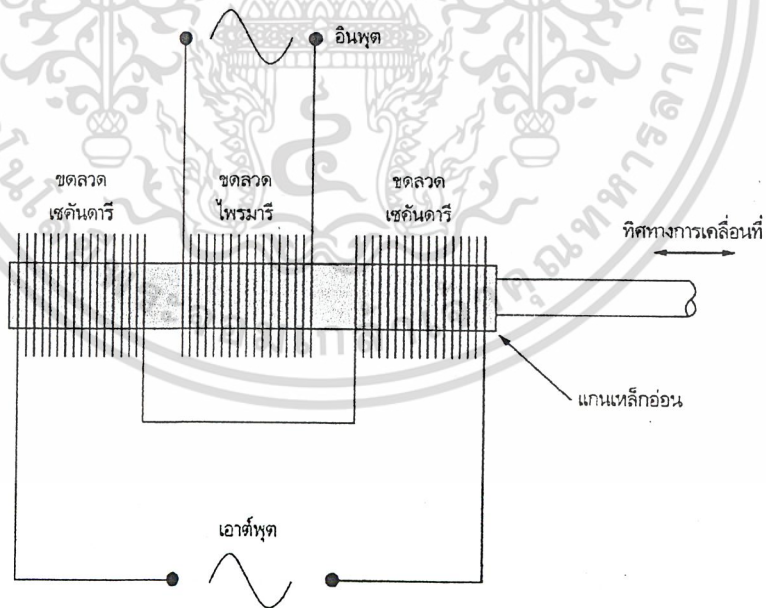
รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของรีลิววาล์วแบบหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รีลิววาล์วแบบพอปเพ็ตที่มี LVDT (Poppet Type Relief Valve with LVDT Feedback) เป็นรีลิววาล์วที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบหัวฉีด สามารถควบคุมได้เที่ยงตรงมากกว่า



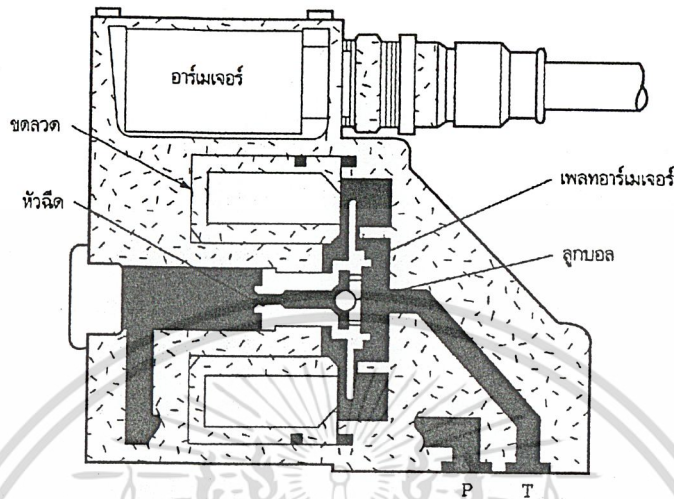
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของรีลิววาล์วแบบพอปเพ็ต



รูปที่ 2.5 แสดง LVDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รีลิววาล์วแบบแผ่น (Plate Type Relief Valve) เป็นรีลิววาล์วที่สามารถใช้ในการควบคุมความดันในงานต่าง ๆ ที่มีค่าไฮสเตริซต่ำและการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่ราบเรียบ



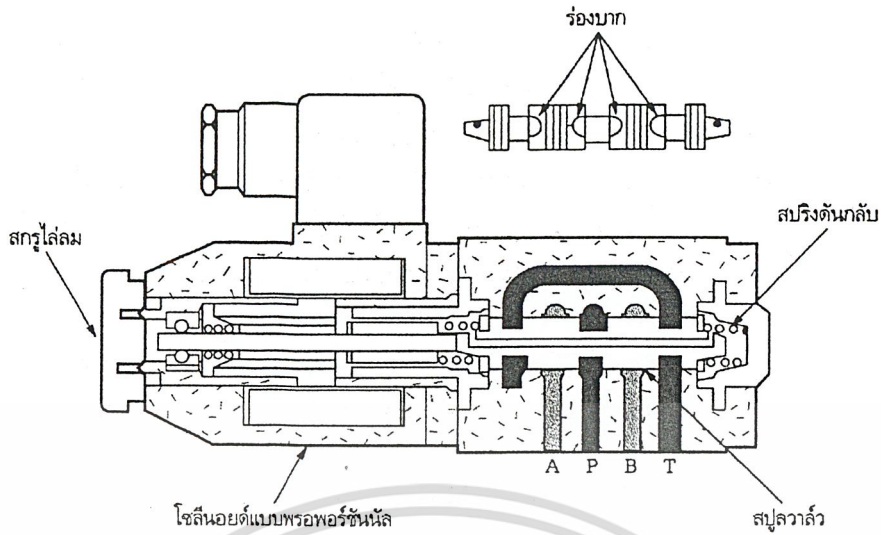
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของรีลิววาล์วแบบแผ่น

2.8.2 วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอร์ชันนัล (Proportional Flow Control Valves)

วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอร์ชันนัล ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก โดยปรับการปิด - เปิดวาล์วเป็นสัดส่วนกับแรงของโซลินอยด์ เพื่อให้ความเร็วของอุปกรณ์ทำงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง วาล์วแบบนี้แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีสัญญาณย้อนกลับและชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ

1. วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพอร์ชันนัลชนิดไม่มีสัญญาณย้อนกลับ (Proportional Flow Control Valve without Feedback)

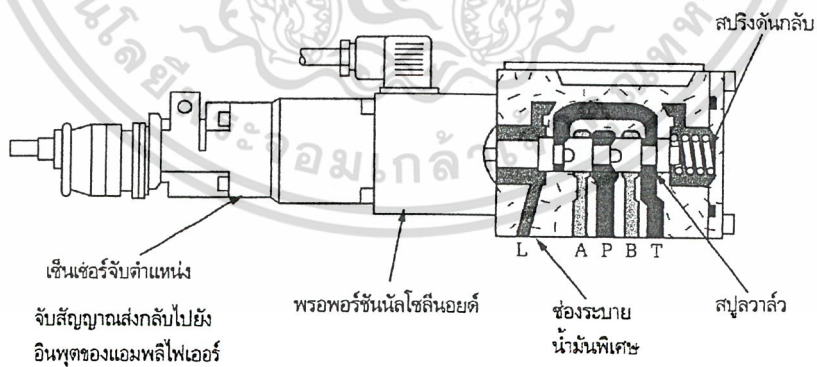
อัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านวาล์วควบคุมการไหลมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดการเปิดช่องน้ำมันไหลผ่านวาล์วหรือแคบ และค่าความดันตกเมื่อน้ำมันไหลผ่านวาล์ว เราจะได้ว่าถ้าความเร็วของน้ำมันสูงขึ้นทำให้ความดันลดลง จากหลักการนี้เองที่นำไปออกแบบสร้างวาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอร์ชันนัล



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบ ไม่มีสัญญาณย้อนกลับ

2. วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอร์ชันนัลชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ (Proportional Flow Control Valve with Feedback)

วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ต้องการให้มีค่าเสถียรหรือช้า ๆ และการตอบสนองรวดเร็ว ต้องใช้วาล์วชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ ชนิดที่มีเซ็นเซอร์จับตำแหน่งของสปูลสามารถจับสัญญาณการเคลื่อนที่ของสปูลแล้วส่งกลับไปยังหน่วยอินพุตของแอมพลิไฟเออร์ จึงทำให้การทำงานของวาล์วนี้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

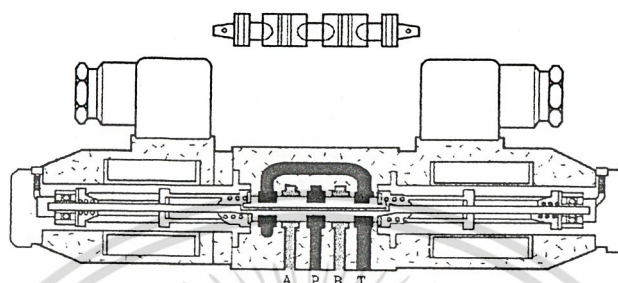


รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของวาล์วควบคุมการไหลแบบมีสัญญาณย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 วาล์วควบคุมทิศทางแบบพรอพออร์ชันนัล (Proportional Directional Control Valves)

วาล์วควบคุมทิศทางแบบนี้สามารถควบคุมจำนวนของน้ำมันที่ไหลเข้าระบบกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกได้จากสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโซลินอยด์ แบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ แบบทำงานโดยตรงไม่มีสัญญาณย้อนกลับ แบบทำงาน โดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับ และแบบทำงาน โดยอ้อม



รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของ Proportional Directional Control Valves

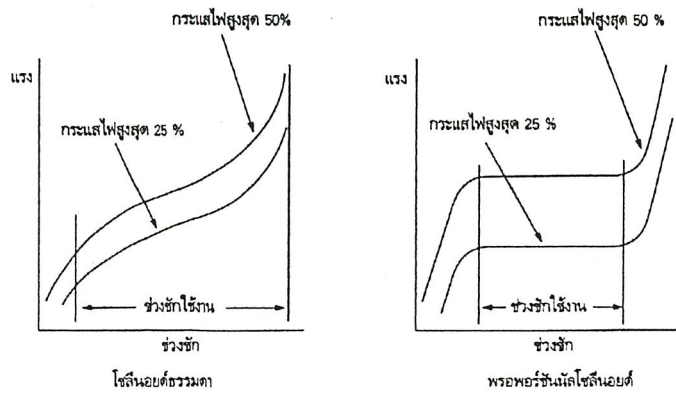
การเลือกชนิดของวาล์วควบคุมทิศทางไปใช้งาน

1. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำ โดยตรง ไม่มีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่เที่ยงตรงไม่มากนัก
2. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำ โดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้นกว่าแบบ ไม่มีสัญญาณย้อนกลับ
3. วาล์วควบคุมทิศทางแบบไหลตมมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งการทำงานที่เที่ยงตรง และมีอัตราการไหลของน้ำมันมากกว่าแบบกระทำโดยตรง

2.8.4 โซลินอยด์แบบพรอพออร์ชันนัล (Proportional Solenoid Valves)

เป็นวาล์วที่สามารถปรับค่าของความดัน (Pressure) อัตราการไหล ทิศทางการไหล อัตราเร่ง และการลดค่าต่าง ๆ จากตำแหน่งในระยะไกลได้

หลักการทำงาน คือ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าโซลินอยด์แล้วทำให้สปริงเคลื่อนที่ที่ระยะทางต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ โซลินอยด์วาล์ว



รูปที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างไฮดรอลิกแบบสัดส่วนกับไฮดรอลิกแบบพรอพอร์ชันนัล

2.8.5 การขยายสัญญาณ (Amplifier Devices)

1. อิเล็กทรอนิกส์ ออป – แอมป์ (Electronics OP – AMPS)

อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก (Electrohydraulic) เช่น พรอพอร์ชันนัล (Proportional) เซอร์โวปั๊ม (Servo Pump) วาล์วควบคุมความดันและการไหล (Pressure and Flow Control Valve) และวงจรควบคุมความเร็ว (Speed Control Circuits) มีความต้องการสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องสูงเพียงพอสำหรับควบคุมหรือกำหนดตำแหน่ง

ตัวอย่างสัญญาณอินพุต (Input Signal) จากแหล่งต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับควบคุมพรอพอร์ชันนัลแล้ว เช่น

1. โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentionmeter)
2. เซ็นเซอร์จับอุณหภูมิ (Temperature Sensor)
3. เครื่องแปลงความดัน (Pressure Transducer)
4. แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator)
5. อุปกรณ์ควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor Controller Device)

แต่อุปกรณ์เหล่านี้จะให้สัญญาณอินพุตค่า ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสัญญาณโดยให้ผ่านเข้าไปยังแอมพลิไฟเออร์ซึ่งทำให้โวลต์และกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ก่อนที่จะไปขับพรอพอร์ชันนัลแล้ว

2. แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)

แอมพลิไฟเออร์ คือวงจรหนึ่งที่ใช้สำหรับเพิ่มระดับของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์แอมพลิไฟเออร์ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณ (Transistors as Amplifiers) ขั้ว collector จะต่ออยู่กับขั้วบวก ส่วนขั้ว emitter จะต่ออยู่กับขั้วลบ สำหรับขั้ว base จะต่อกับสัญญาณไฟเข้าที่โวลต์ที่มีค่าสูงกว่า emitter โดยให้ base ทำหน้าที่ควบคุม การทำงานของแอมพลิไฟเออร์นั้นจะให้สัญญาณที่มีกระแสไฟฟ้าต่ำ ง่ายให้กับ base control

2.8.6 การควบคุมแอมพลิไฟเออร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ

1. แอมพลิไฟเออร์เกน (Amplifier Gain)

แอมพลิไฟเออร์เกน คือ ค่าของอัตราส่วนระหว่างสัญญาณอินพุทของแอมพลิไฟเออร์และสัญญาณเอาต์พุทของกระแสไฟฟ้าที่เข้าในวาล์ว โดยเอาท์พุท โวลเตจจะเป็นสัดส่วนกับอินพุท โวลเตจคือ

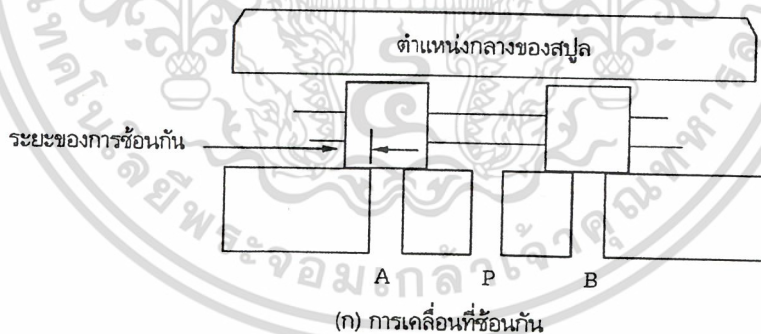
$$\text{Gain} = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Input Voltage}} \quad (2.1)$$

$$\text{Output Voltage} = \text{Input Voltage} \times 1,000,000 \quad (2.2)$$

2. ค่าवलของลิมิตเตอร์ (+ - Limiter)

แอมพลิไฟเออร์บางรุ่นจะมี + และ - มิเตอร์ ใช้สำหรับปรับค่าของเอาต์พุทสูงสุดของพรอพชันนัล วาล์วเพื่อป้องกันไม่ให้โซลินอยด์ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุจากการมีกระแสไฟฟ้ามากเกินไป

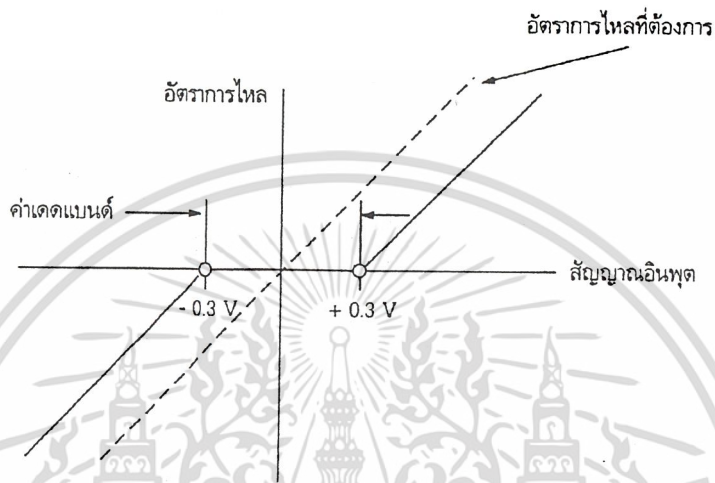
3. การชดเชยค่าเดดแบนด์ (Deadband Compensation)



รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์ว

เดดแบนด์เกิดจากตำแหน่งของสปูลวาล์วกับรูวาล์วซ้อนกัน เมื่ออยู่ในตำแหน่งกลางตามรูปที่ 2.11 ดังนั้นสปูลจะต้องเคลื่อนที่ให้เลยตำแหน่งซ้อนกันเสียก่อนจึงให้น้ำมันจาก P ไป A หรือ จาก P ไป B ได้จากรูปที่ 2.12 จะเห็นระยะของเดดแบนด์เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไป 0.3 โวลต์ สปูลต้องเลื่อนไปเลยระยะของ

เคเบนด์ก่อนที่จะให้น้ำมันผ่านไปได้ การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยใช้อุปกรณ์ชดเชยในแอมพลิไฟเออร์ของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะส่งสัญญาณเข้าไปในแอมพลิไฟเออร์ เพื่อให้สัญญาณวาล์ว “กระโดดข้าม” (Skips Over) ระยะของเคเบนด์ จึงทำให้สัญญาณเคลื่อนที่ได้ตามค่าของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้จริงๆ ตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการใช้จริงของเซอร์โววาล์ว

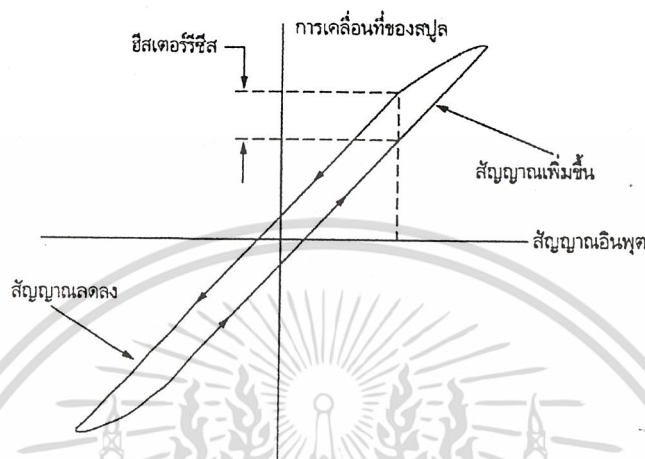


รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการใช้ เมื่อมีการชดเชยค่าเคเบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดิทเทอร์ (Dither)

ดิทเทอร์ คือคลื่นความถี่สูง (50 – 100 Hz) แต่ระดับสัญญาณต่ำ สัญญาณเป็นแบบไฟ AC ที่ใช้สำหรับปรับค่าของฮิสเตอร์รีซิส



รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดฮิสเตอร์รีซิส

ฮิสเตอร์รีซิสเกิดจากความเสียดทานระหว่างของพอร์ซันน้ำวาล์วกับเสื่อวาล์ว หรือเกิดจากการขยายตัวของสปริงและเสื่อเนื่องจากความร้อน เกิดจากการสึกหรอ เกิดจากค่าความหนืดของน้ำมัน ความสกปรกของน้ำมัน หรือปัจจัยอื่น ๆ เมื่อใช้ดิทเทอร์เข้าปรับแต่ง จะทำให้ลดค่าของฮิสเตอร์รีซิสลงได้

5. การควบคุมแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ (Non-Feedback Control)

การที่จะทำให้การทำงานของกระบอกสูบหรืออุปกรณ์ทำงานอื่น ๆ ทำงานได้อย่างราบเรียบ จำเป็นจะต้องใช้โซลินอยด์วาล์วแบบพอร์ซันน้ำวาล์วและแอมพลิไฟเออร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุม แต่วิธีการนี้จะเป็นการควบคุมเฉพาะอัตราการไหลของน้ำมันเท่านั้น ถ้าเป็นการควบคุมแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ จะทำให้ไม่มีอุปกรณ์จับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสปริงวาล์วสปริงที่กระทำอยู่กับสปริงวาล์วเท่านั้นที่ทำหน้าที่ปรับการเคลื่อนที่ของสปริงวาล์วเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ส่งเข้าไป

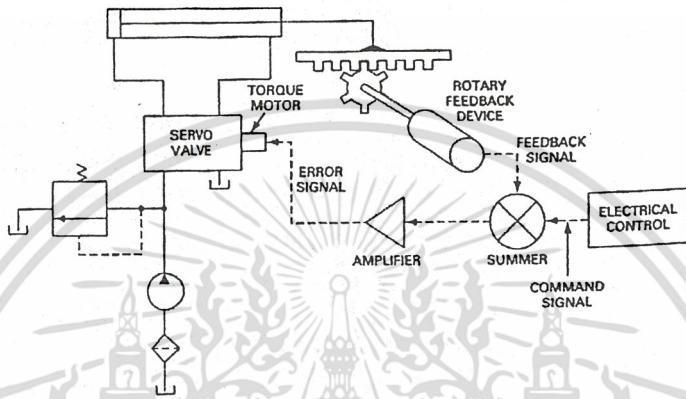
6. การควบคุมแบบมีสัญญาณย้อนกลับ (Feedback Control)

ถ้าต้องการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทำงานให้มีประสิทธิภาพและมีค่าความละเอียดมากยิ่งขึ้นนั้นจะต้องมีเซ็นเซอร์จับตำแหน่ง ติดตั้งอยู่ที่สปริงวาล์ว ตัวเซ็นเซอร์นี้จะส่งสัญญาณการเคลื่อนที่ของสปริงวาล์วกลับไปยังจุด SJ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เซอร์โววาล์ว (Servo Valves)

เซอร์โววาล์ว คือ วาล์วควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของไหลและอัตราการไหลของน้ำมันที่มีความเที่ยงตรงมาก จะมีสัญญาณย้อนกลับเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ทำงาน หลักการทำงานของเซอร์โววาล์วที่ใช้ระบบกลไกที่ทราบกันคือ ระบบควบคุมพวงมาลัยรถยนต์ (Power Steering) ทั้งรถเล็กหรือรถขนาดใหญ่

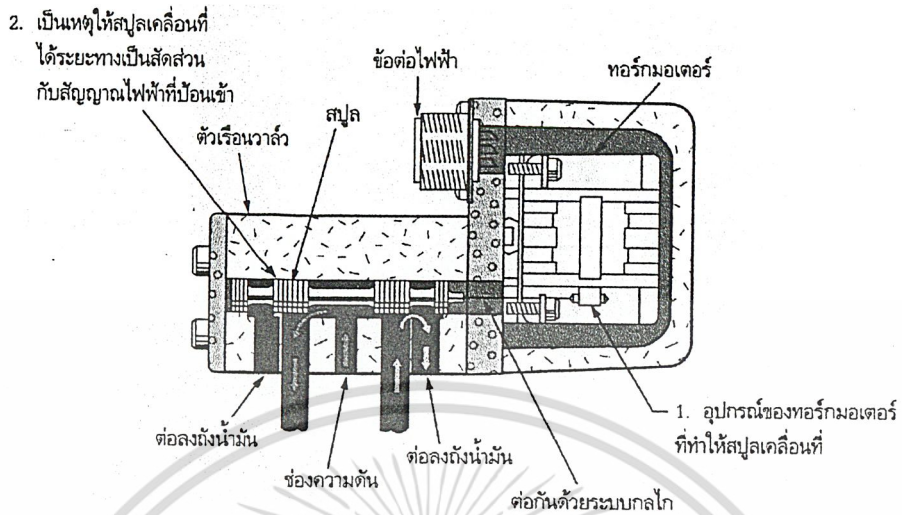


รูปที่ 2.15 แสดง Electrohydraulic Servo System

2.9.1 อิเล็กโทรไฮดรอลิก เซอร์โววาล์ว (Electrohydraulic Servo Valves)

สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปยังทอร์กมอเตอร์ (Torque Motor) ไม่ว่าจะส่งโดยตรงหรืออ้อมจะทำให้เซอร์โววาล์วทำงานได้ทั้งสิ้น สัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวนี้จะเกิดจากโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ สัญญาณเหล่านี้ จะส่งเข้าไปยังเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ เพื่อเป็นคำสั่งให้ไหลเคลื่อนที่ให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ หรือเพื่อให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต้องการนั่นเอง แอมพลิไฟเออร์ยังรับสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากสัญญาณย้อนกลับ เช่น จาก Tachometer Generator โพเทนชิโอมิเตอร์ หรือสัญญาณอื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับไหล สัญญาณเหล่านี้จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนเข้าที่แท้จริง ถ้าเกิดได้ข้อผิดพลาดจากการเปรียบเทียบขึ้น มันจะสั่งให้ทอร์กมอเตอร์ปรับให้ค่าที่ถูกต้องตามต้องการได้ระบบควบคุมแบบเซอร์โวที่ใช้ไฟฟ้าและระบบไฮดรอลิกมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะให้การควบคุมทั้งตำแหน่งและอัตราการไหลของน้ำมันที่มีความเที่ยงตรงมากทั้งสิ้น

2.9.2 เซอร์โววาล์วชนิดทำงานโดยตรง



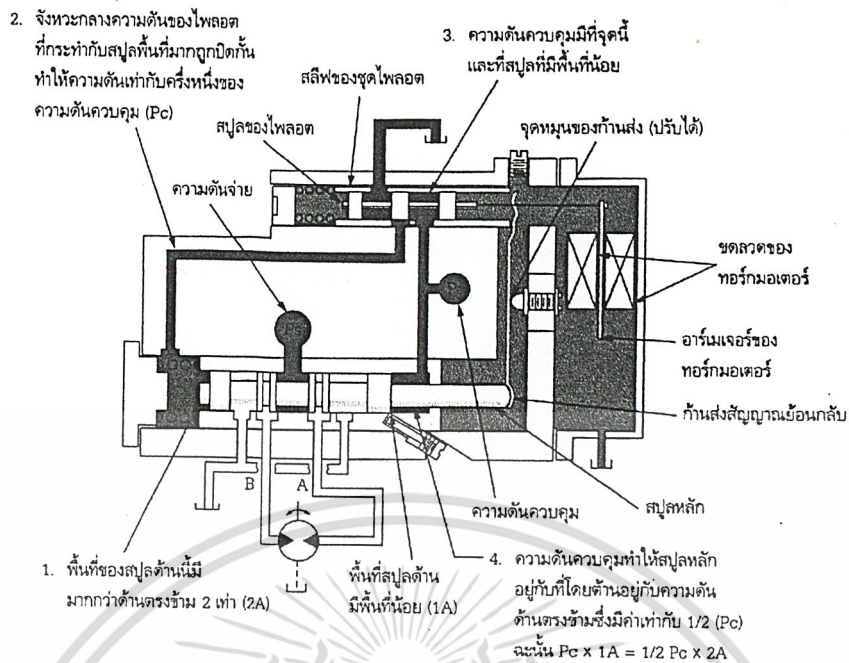
รูป 2.16 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรง

จากรูปที่ 2.16 เป็นหลักการทำงานและโครงสร้างของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรงซึ่งตัวทอร์กมอเตอร์จะกระทำกับสปูลโดยตรงเพื่อเปิดให้น้ำมันผ่าน โดยการเปิดวาล์วนี้เป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้า (Electric Signal) อัตราการไหลผ่านของน้ำมันของวาล์วนี้จะได้อัตราไม่มากนัก เนื่องจากแรงและระยะการเคลื่อนที่ของทอร์กมอเตอร์มีจำกัด

2.9.3 เซอร์โววาล์วแบบสปูลชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน (Two – Stage Spool – type Servo Valves)

หลักการทำงานของเซอร์โววาล์วแบบนี้จะแตกต่างกับแบบกระทำโดยตรงโดยมีชุดสปูลอีกชุดหนึ่งเรียกว่า สปูล ไพลอตซึ่งอยู่ด้านบนของวาล์ว ส่วนสปูลหลักจะอยู่ด้านล่างซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ทำงาน ในที่นี้ใช้มอเตอร์ไฮดรอลิก จากรูปที่ 2.17 เป็นจังหวะที่มอเตอร์ไฮดรอลิกยังไม่หมุนเพราะสปูลไพลอตอยู่ในตำแหน่งกลาง ทำให้ไม่มีน้ำมันไหลมายังสปูลหลัก ถ้าพิจารณาที่ตัวสปูลหลักแล้วจะเห็นว่า สปูลไม่ได้เคลื่อนที่เพื่อเปิดน้ำมันเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิกเพราะแรงที่กระทำกับสปูลมีเท่ากันคือ

$$PC \times 1A = (1/2)(PC \times 2A) \tag{2.3}$$



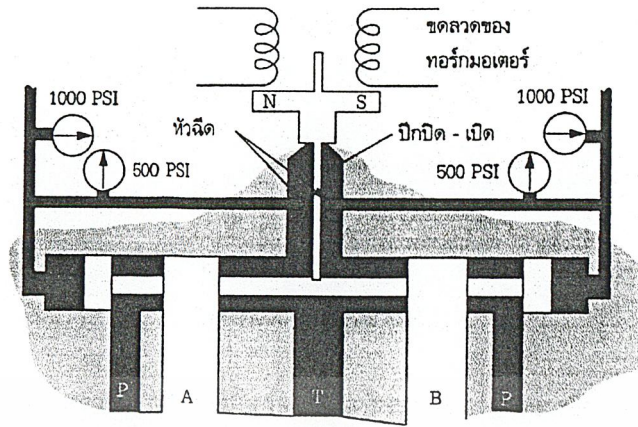
รูป 2.17 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน

2.9.4 ดิทเทอร์ (Dither)

การใช้เซอร์โววาล์วให้ได้ประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งคือ ดิทเทอร์ ซึ่งทำหน้าที่ลดค่าฮิสเตอร์รีซิส ดิทเทอร์เป็นสัญญาณที่ให้ค่าระดับต่ำแต่คลื่นความถี่สูงขนาด 50 – 100 Hz จ่ายเข้าไปยังทอร์เกมอเตอร์ ทำให้การเคลื่อนที่ของสปูลถูกต้องตามตำแหน่งที่ต้องการ หน้าที่ของดิทเทอร์ในระบบเซอร์โวและพรอพเพอร์ชันนัลจะเหมือนกัน

2.9.5 เซอร์โววาล์วแบบปีกปิด - เปิด (Flapper Nozzle - Type Servo Valve)

ตามรูปที่ 2.18 เป็นเซอร์โววาล์วแบบปีกปิด - เปิด การทำงานในจังหวะนี้ความดันของน้ำมันทั้งสองข้างมีค่าเท่ากัน การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านไปยังจังหวะนี้จะสิ้นสุดลงที่ปีกปิด - เปิด หลังจากนั้นจะระบายทิ้ง ที่ช่อง T แรงที่ทำให้สปูลเคลื่อนที่ยังมีเท่ากัน

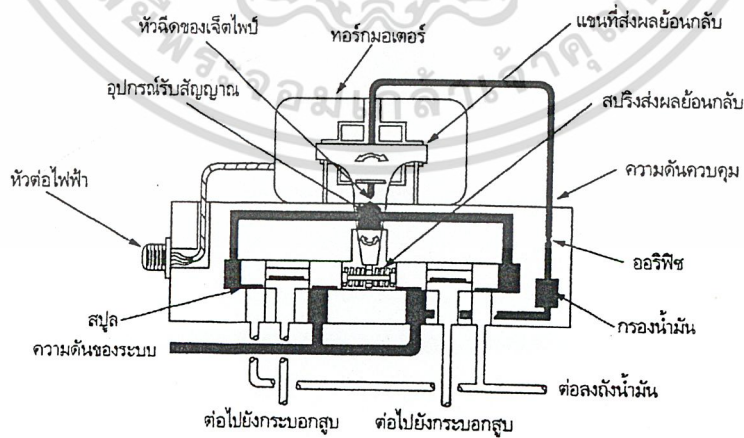


รูปที่ 2.18 แสดงเซอร์โววาล์วแบบปีกปิด - เปิด

ระยะการเคลื่อนที่ของสปูลจึงขึ้นอยู่กับระยะทางปีกปิด-เปิดหรือการเกิดจากขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปในทอร์มอเตอร์ ถ้ามีสัญญาณไฟฟ้ามากจะได้อัตราการไหลของน้ำมันมาก สัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าน้อยการไหลก็น้อยตามไปด้วย

2.9.6 เซอร์โววาล์วแบบเจ็ตไพป์ (Jet Pipe Servo Valve)

เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าที่ต่อที่หัวต่อไฟฟ้า ป้อนเข้าไปในทอร์มอเตอร์ทำให้ความดันที่เข้าด้านสปูลด้านข้างแต่ละข้างไม่เท่ากัน สปูลวาล์วจึงเคลื่อนที่โดยค้ำอยู่กับสปริงที่ส่งผลย้อนกลับและสปริงที่ส่งผลย้อนกลับค้ำอยู่กับแขนส่ง ผลย้อนกลับ ซึ่งแรงที่แขนส่งผลย้อนกลับจะหาตำแหน่งใหม่เพื่อให้ความดันทั้งสองด้านของสปูลสมดุลกัน



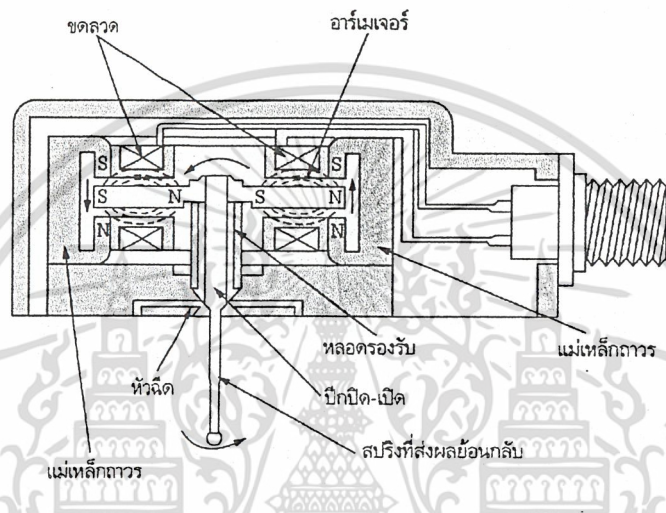
รูปที่ 2.19 แสดงเซอร์โววาล์วแบบเจ็ต ไพป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.7 หลักการทำงานของเทอร์กมอเตอร์

หลักการทำงานของเทอร์กมอเตอร์มีดังต่อไปนี้ อาร์เมเจอร์ที่ทำด้วยวัสดุซึ่งเปลี่ยนสภาพเป็นแม่เหล็กได้ง่ายวางอยู่บนหลอดรองรับ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าในขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับค่าของกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด

ที่ด้านหัว - ท้ายของอาร์เมเจอร์จะมีแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่และมีขั้วแม่เหล็กดังในรูปที่ 2.20 เป็นผลให้อาร์เมเจอร์เอียงไปด้านใดด้านหนึ่งและปิดหัวฉีดด้วยปีกปิด - เปิด การปิดหัวฉีดด้านใดด้านหนึ่งนั้น ทำให้ความดันของน้ำมันเพิ่มขึ้น สปรูวาล์วจึงเคลื่อนที่ได้ดังกล่าวนั้นแล้ว

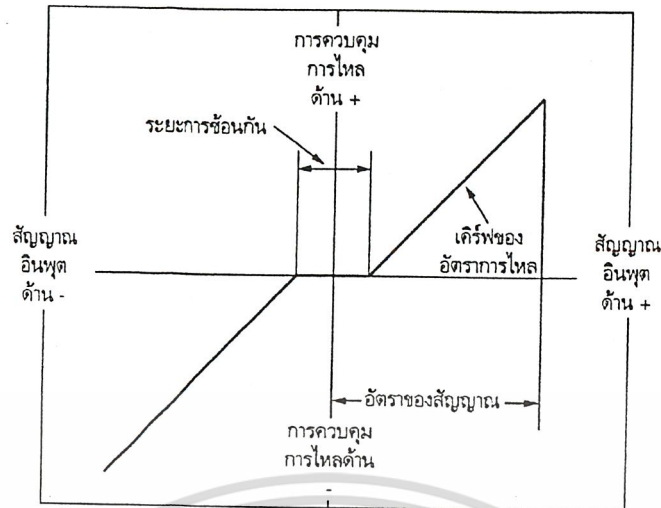


รูปที่ 2.20 แสดง โครงสร้างของเทอร์กมอเตอร์

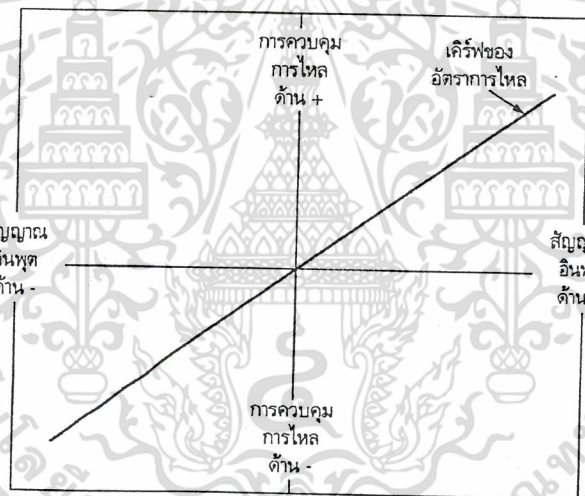
เมื่อตัดกระแสไฟฟ้าที่เข้าขดลวดออก ก็ทำให้ปีกปิด - เปิดกลับมามีอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่างหัวฉีดทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากเซอร์โววาล์วมีอุปกรณ์ที่ค่อนข้างละเอียดมาก ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้จึงต้องสะอาดด้วย ตาม ISO ใช้โคด 15/11 ปัญหาส่วนใหญ่ของเซอร์โววาล์วมักจะมาจากการใช้น้ำมันที่มีความสะอาดไม่เพียงพอ

2.9.8 การไม่ซ้อนกันและซ้อนกัน (Zero - Lap and Overlap) ของสปรูวาล์ว

พอร์ชันนัลวาล์วจะมีโครงสร้างขงแสปูลและช่องน้ำมันที่ซ้อนกัน คือสปูลจะมีขนาดใหญ่กว่าช่องน้ำมัน เมื่อให้สปูลเคลื่อนที่จึงต้องเคลื่อนที่ผ่านค่าที่ซ้อนกันก่อน เป็นผลให้สัญญาณป้อนเข้ากับอัตราการไหลของน้ำมันไม่เป็นความจริง แต่ถ้าดูรูปที่ 2.22 เป็นเซอร์โววาล์วที่ไม่มีค่าซ้อนกันของสปูลทำให้ค่าสัญญาณป้อนเข้าได้อัตราการไหลที่ถูกต้องกว่า



รูปที่ 2.21 แสดงการซ้อนกัน (Overlap) ของสปลูลวาล์ว

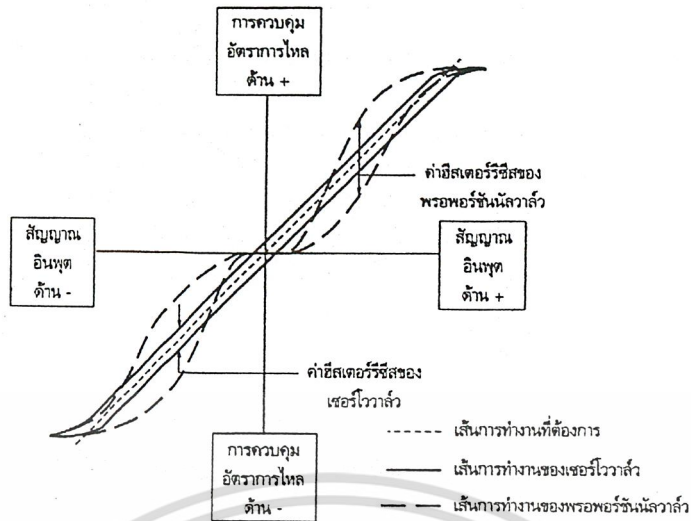


รูปที่ 2.22 แสดงการไม่ซ้อนกัน (Zero-lap) ของสปลูลวาล์ว

2.9.9 ฮีสเทอรีซิส (Hysteresis)

ค่าฮีสเทอรีซิส คือค่าที่ทำให้สปลูลเคลื่อนที่ในจังหวะเดินหน้าและถอยหลังไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากค่าความเสียหายของสปลูลกับเตื่อของสปลูล ส่วนฮีสเทอรีซิสที่เกิดขึ้นในเซอร์โววาล์วจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยในพรอพอร์ชันนัลวาล์วตั้งได้กล่าวมาแล้วในเรื่องพรอพอร์ชันนัล สำหรับเส้นประจะเป็นเส้นการทำงานที่เป็นความฝืนเท่านั้น เพราะไม่สามารถที่จะให้การทำงานของสปลูลวาล์วเป็นเช่นนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



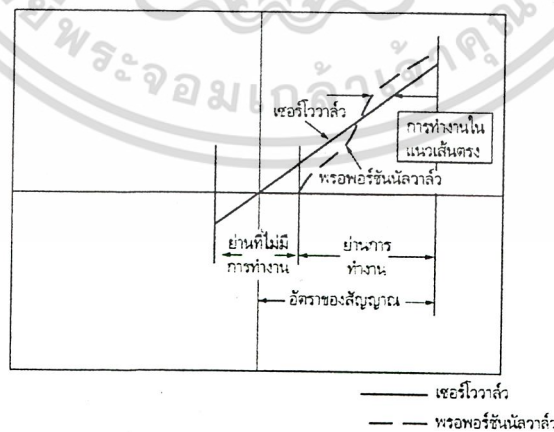
รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าฮิสเตอร์รีซิสของ Proportional Valve และServovalve

2.9.10 การทำงานในแนวเส้นตรง (Linearity)

ลิเนียร์ตี (Linearity) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมอัตราการไหลของวาล์วและสัญญาณป้อนเข้า ซึ่งวาล์วทั้งแบบพรอพอร์ชันนัลและเซอร์โววาล์วต่างก็มีตัวควบคุมอัตราการไหลที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณป้อนเข้า

ถ้าใช้พล็อตเตอร์จับการทำงานของวาล์วทั้งสองแล้ว ค่าที่พล็อตเตอร์จับบนเส้นกราฟควรจะเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายถึงการทำงานของวาล์วมีอัตราการไหลที่เที่ยงตรงแน่นอน

ถ้าเปรียบเทียบระหว่างวาล์วทั้งสองแล้ว จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณป้อนเข้าแล้ว เซอร์โววาล์วจะควบคุมอัตราการไหลได้ดีกว่าพรอพอร์ชันนัลวาล์ว



รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของ Proportional Valve และServovalve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การหาอัตราการไหล

หาค่าอัตราการไหลของน้ำมันเมื่อไหลผ่านรูด้านในของพรอพอร์ชันนัลวาล์วได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$Q = \frac{C_d \times A \times \sqrt{2 \times \Delta P}}{l} \quad (2.4)$$

กำหนดให้

| | | |
|-------|---|---------------------------------|
| Q | = | อัตราการไหล |
| C_d | = | สัมประสิทธิ์ของคอคอดที่ระบายออก |
| A | = | พื้นที่ของคอคอด |
| P | = | ความดันตกเมื่อผ่านคอคอด |
| l | = | ความหนาแน่นของน้ำมัน |

2.11 ความดันของระบบ

สูตรที่ใช้หาค่าความดันไหลคือ

$$P_L = \frac{T \times 2\pi}{d} \quad (2.5)$$

กำหนดให้

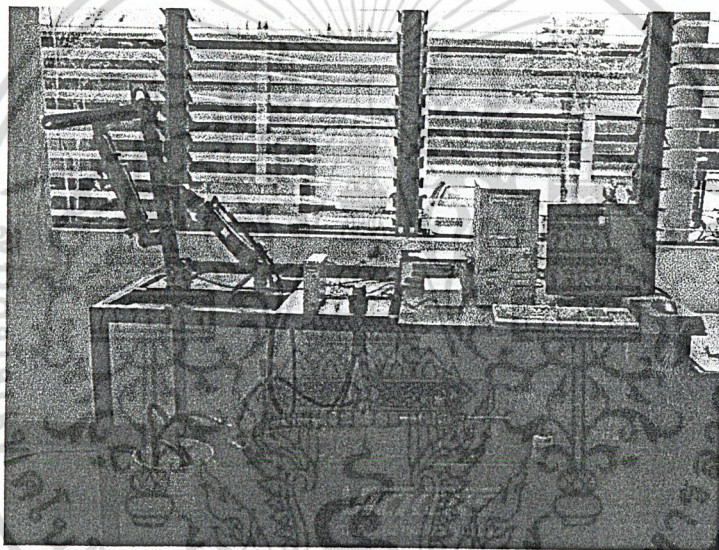
| | | |
|-------|---|---------------------------------|
| T | = | แรงบิดของมอเตอร์ (นิวตัน-ปอนด์) |
| π | = | 3.1416 |
| d | = | อัตราการกวาดน้ำมันของมอเตอร์ |

บทที่ 3

ระบบควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

3.1 บทนำ

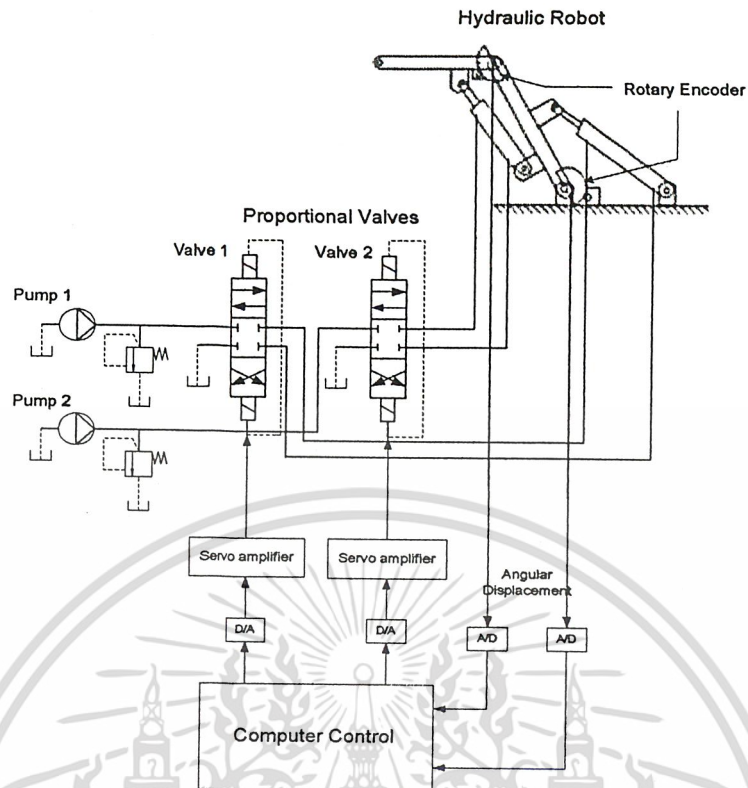
การควบคุมการเคลื่อนไหว (Motion Control) ของแขนกลไฮดรอลิกนั้น สิ่งที่ต้องทราบคือ ตำแหน่งและทิศทางของแต่ละแขน เพื่อที่จะนำไปคำนวณหา ตำแหน่งและความเร็วของส่วนปลายแขนซึ่งการเคลื่อนที่ของแขนกล จะอาศัยแรงจากกระบอกสูบไฮดรอลิก ดันหรือดึงให้ส่วนของแขนกลเคลื่อนที่ ความเร็วของแต่ละแขนจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 3.1 แสดงระบบแขนกลไฮดรอลิก

ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเข้ากระบอกสูบ มีเซอร์โววาล์ว (Servo Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันซึ่งอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เราป้อนให้กับเซอร์โววาล์ว (Servovalve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก

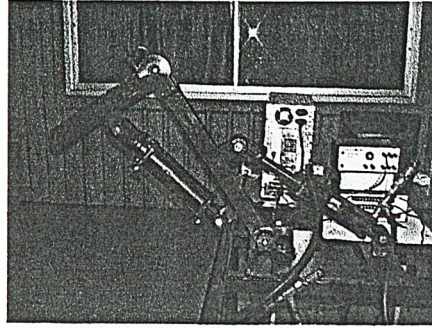
3.2 อุปกรณ์ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

ระบบในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก ประกอบด้วยองค์ประกอบและรายละเอียด ดังนี้

1. ชุดแขนกลและกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก

ชุดแขนกลประกอบด้วย แขนกล 2 แขนและกระบอกลูกสูบ 2 ตัว แขนกลมีระดับความเสรี (Degree of Freedom) เท่ากับ 2 แขนกลท่อนบนมีขนาด $50 \times 600 \times 30$ มิลลิเมตร น้ำหนัก 5.90 กิโลกรัม แขนกลท่อนล่างมีขนาด $50 \times 600 \times 30$ มิลลิเมตร น้ำหนัก 8.95 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก มีหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นงานทางกล โดยเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

กระบอกลูกสูบที่ใช้เป็นแบบทำงาน 2 ทาง มีขนาด 420 มิลลิเมตรขนาดชอกเกต (Socket) 30 มิลลิเมตร ความยาวสโตรค (Stroke) 150 มิลลิเมตร น้ำหนักเท่ากับ 6.75 กิโลกรัม การติดตั้งกระบอกลูกสูบเข้ากับแขนกลแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงชุดเซนเซอร์ไฮครอลิก

2. โรตารี อินคริเมนทัล เอนโคเดอ์ (Rotary Incremental Encoder)

Rotary Incremental Encoder มีหน้าที่วัดตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของแกนกล เป็นตัวแปลงการหมุนของแกนกลมาเข้ารหัส (Encoding) เป็นสัญญาณดิจิทัล ให้การ์ดนับรอบและคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลต่อไป สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเอนโคเดอ์จะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของเพลาของเอนโคเดอ์หรือเป็นสัดส่วนกับคาบเวลา ดังสมการ

$$\text{ความถี่ (f)} = \frac{\text{จำนวนพัลส์(รอบ)}}{\text{เวลา(วินาที)}} \quad (3.1)$$

หรือ

$$\text{ความถี่ (f)} = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

เมื่อ T เป็น คาบเวลา (วินาที)

การหาความเร็วเชิงมุมของแกนกลทำได้โดยให้การ์ดนับรอบ นับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด (Sampling Time) ซึ่งเป็นค่าคงที่ เมื่อได้ความถี่ของสัญญาณแล้วสามารถหาความเร็วเชิงมุมได้จากสมการ

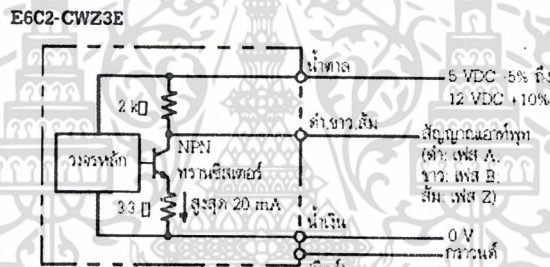
$$\text{ความเร็วเชิงมุม (rad)} = \frac{f}{N} \quad (3.3)$$

เมื่อ N คือ จำนวนพัลส์ต่อการหมุนทางกล 1 รอบ

เอนโคเดอร์ที่ใช้ในโครงการ ซึ่งได้ทำการติดตั้งที่ขั้วต่อทั้งสองของแกนกล มีความละเอียด 1000 พัลส์ (Pulse) ต่อ รอบเป็นของ OMRON รุ่น E6C2 – CWZ3E ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างของโรตารีอินคริเมนทัล เอนโคเดอร์ (Rotary Incremental Encoder)



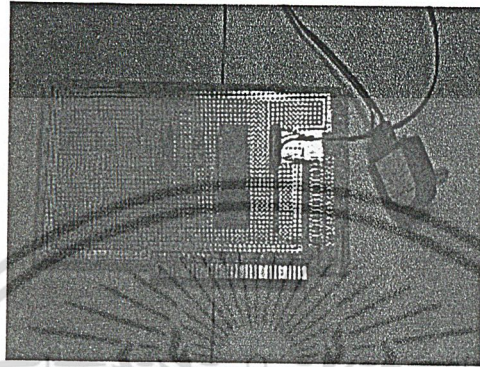
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภาคเอาต์พุตของเอนโคเดอร์

3. การ์ดนับรอบ (Counter Card)

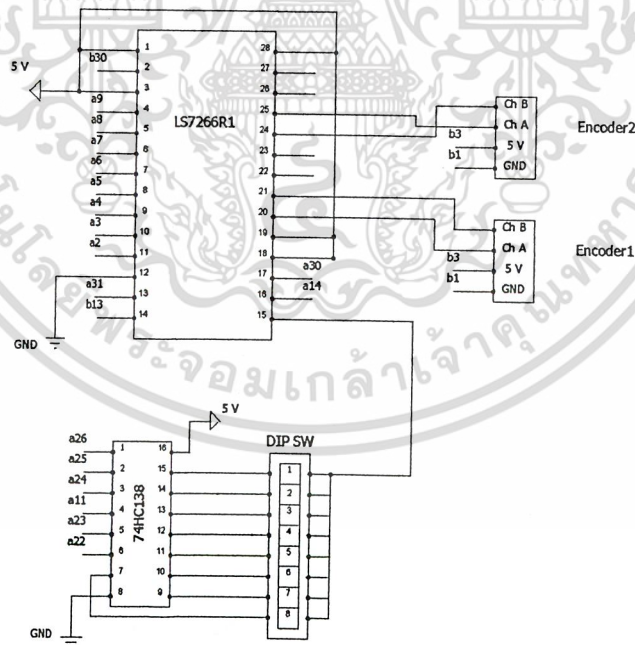
การ์ดนับรอบเป็นการ์ดเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างเอนโคเดอร์กับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต ISA ทำหน้าที่นับจำนวนพัลส์ (Pulse) จาก โรตารีอินคริเมนทัลเอนโคเดอร์ (Rotary Incremental Encoder) แล้วให้คอมพิวเตอร์คำนวณจำนวนพัลส์เป็นความเร็วเชิงมุมและความเร็วจริงของแกนกลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ต้องการพิจารณา แล้วนำค่าผลต่างของความเร็วนั้นไปเข้าสู่กระบวนการควบคุม เพื่อให้แกนกลมีความเร็วใกล้เคียงหรือเท่ากับ ความเร็วที่ต้องการควบคุม

การ์ดนับรอบที่สร้างขึ้นในโครงการ ประกอบด้วย LS7266R1 ซึ่งเป็นไอซี (IC) สำเร็จรูป ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion) ตำแหน่ง (Position) ทิศทาง (Direction) และความเร็ว (Speed) ในอุตสาหกรรม

ต่าง ๆ โดยมี 74HC138 และ DIP Switch เป็นตัวคัดเลือกและกำหนดแอดเดรส (Address Decoding) การ์ดนับรอบตัวนี้สามารถใช้ได้กับ Encoder จำนวน 2 ตัว มีความละเอียดในการนับถึง 24 bit รูปของการ์ดและวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7



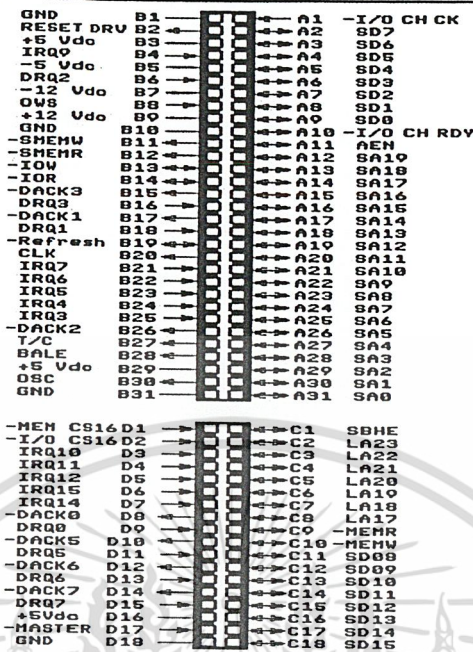
รูปที่ 3.6 แสดงการ์ดนับรอบที่สร้างขึ้นในโครงการ



รูปที่ 3.7 แสดง Schematic ของการ์ดนับรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISA,PCI card slot on PC



รูปที่ 3.8 แสดงช่องเสียบการ์ดชนิด ISA

การกำหนดแอดเดรสให้กับการ์ดนิรรอบ

เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จักการ์ดนิรรอบและให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ต้องมีการกำหนดตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของการ์ดนิรรอบและต้องไม่ซ้ำกับตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์

DIP Switch มีจำนวน 8 แถว มีค่าตำแหน่งของแต่ละแถวดังนี้

| แถวที่ | ค่าตำแหน่งเป็นเลขฐานสิบหก (HEX Value) | ค่าตำแหน่งเป็นเลขฐานสิบ (DEC Value) |
|--------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 200 | 512 |
| 2 | 220 | 544 |
| 3 | 240 | 576 |
| 4 | 260 | 608 |
| 5 | 280 | 640 |
| 6 | 2A0 | 672 |
| 7 | 2C0 | 704 |
| 8 | 2E0 | 736 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกตำแหน่ง Address ทำได้โดยสวิตช์ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ของแถวใดแถวหนึ่งในที่นี้ เราเลือกแถวที่ 8 ซึ่งมีค่าตำแหน่งเป็น 2E0 (HEX Value)

การทำงานของการ์ดนับรอบ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. โหมด (Mode) การทำงานในสถานะเริ่มต้น เป็นการ Set สถานะให้พร้อมที่จะทำงานและ Reset ค่า Error ที่เกิดขึ้น
2. โหมด (Mode) การทำงานในการส่งผ่านข้อมูล เพื่อให้วงจรภายในนับจำนวนสัญญาณ
3. ขั้นตอนการอ่านค่าข้อมูลที่ได้จากการนับ

การ์ดนับรอบตัวนี้สามารถนับได้ถึง 24 bit หรือ นับจำนวนได้ตั้งแต่ 0 ถึง $2^{24}-1 = 16777215$ (เลขฐานสิบ) ซึ่งเราต้องเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของการ์ดและเพื่อเชื่อมต่อ (Interface) ให้ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งรายละเอียดของ โปรแกรมคูได้จาก ภาคผนวก

4. คอมพิวเตอร์ (Microcomputer)

คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและประมวลผล ทำหน้าที่ส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมไปสั่งงานให้เซอร์โวลิวทำงานและรับค่าจากแขนกลกลับมา (Feedback) ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้กับค่าที่ต้องการแล้วนำค่าแตกต่าง (Error) นั้น ไปผ่านกระบวนการควบคุมให้มี Error ลดลงจนเป็นศูนย์ คอมพิวเตอร์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ

5. Data Acquisition Card

Data Acquisition Card เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ทั้งแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital) และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog) ในตัวเดียวกัน เมื่ออุปกรณ์ภายนอกที่เป็น

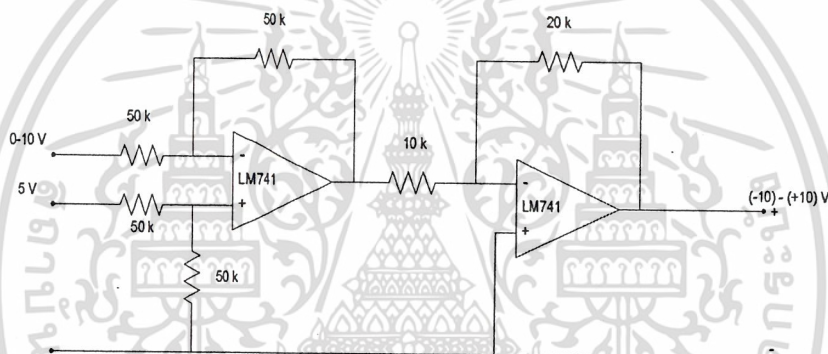
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อก (Analog) จำเป็นต้องทำการประมวลผลในคอมพิวเตอร์อุปกรณ์นั้นจะต้องต่อเข้ากับการ์ดนี้ เพื่อแปลงสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลได้

Data Acquisition Card ติดตั้งร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสล็อตของ ISA นอกจากจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ A/D และ D/A แล้วยังทำหน้าที่เป็น พอร์ตอินพุท-เอาต์พุท (Input/Output Port) อีกด้วย การ์ดที่ใช้คือ NuDAQ ACL – 8216

6. อิลเลทรอนิกส์ ออป-แอม (Operational Amplifier)

เป็นตัวขยายสัญญาณแรงดันที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ซึ่งให้ค่าสัญญาณระหว่าง 0 ถึง +5 โวลต์แล้วส่งให้กับเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (Servo Amplifier) ซึ่งต้องการสัญญาณแรงดันอินพุทระหว่าง -10 โวลต์ ถึง +10 โวลต์ ดังรูปที่ 3.10



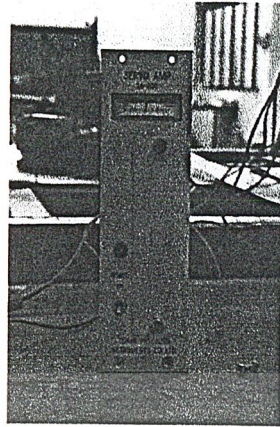
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)

$$\text{จากวงจรจะได้อัตราขยายของ Op - Amp} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -2$$

7. เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (Servo Amplifier)

เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์มีสัญญาณไฟฟ้าหรือกระแสต่ำ แต่เซอร์โวแล้วต้องการระดับ (Amplitude) ของสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สูงในการควบคุม ดังนั้น จึงมีการนำสัญญาณนั้น เข้าเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (Servo Amplifier) เพื่อเพิ่มระดับ (Amplitude) ของสัญญาณ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistors) ชนิด NPN เป็นตัวขยายสัญญาณกระแสให้สูงขึ้น จากนั้นนำสัญญาณนั้นส่งให้เซอร์โวแล้วทำงานต่อไป

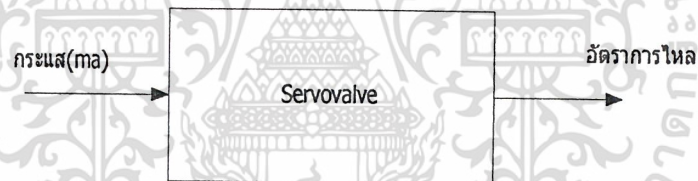
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



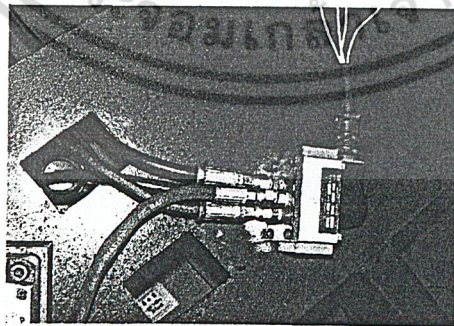
รูปที่ 3.11 แสดงรูปร่างของ Servo Amplifier

8. เซอร์โววาล์ว (Servo Valve)

เซอร์โววาล์ว (Servo Valve) เป็นวาล์วควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันเซอร์โววาล์วที่ใช้รับกระแสได้สูงสุด 30 แอมแปร์ อัตราการไหล 7.5 ลิตรต่อวินาที



รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเซอร์โววาล์ว

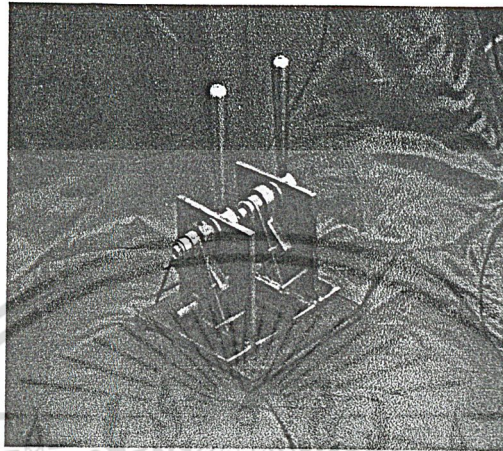


รูปที่ 3.13 แสดงรูปร่างของเซอร์โววาล์ว

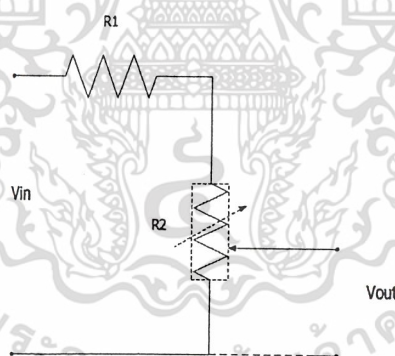
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คันทิ้งค้ำ (Joystick)

เมื่อผู้ใช้ต้องการควบคุมแขนกลด้วยตนเอง จะต้องใช้สัญญาณควบคุมจากการโยก Joystick (หรือเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของ Joystick) ไปควบคุมและสั่งการ ให้แขนกลเคลื่อนที่ตามต้องการ



รูปที่ 3.14 แสดงคันทิ้งค้ำควบคุมแขนกลไฮดรอลิก



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรภายในของคันทิ้งค้ำ

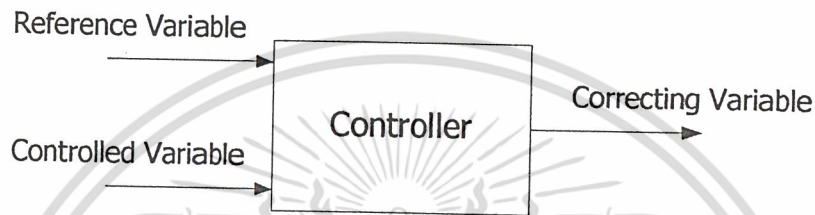
ภายใน Joystick ประกอบด้วย ตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งอาศัยหลักการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ซึ่งสัญญาณแรงดันที่ได้จะไปควบคุมให้ Servo Valve ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันเข้ากระบอกสูบ ทำให้ได้ความเร็วของแขนกลตามต้องการ

สัญญาณควบคุมจากตัวต้านทานปรับค่าได้อาจมีสัญญาณรบกวน ดังนั้นเวลานำเอาสัญญาณไปใช้ควบคุมจึงต้องมีการกรองสัญญาณรบกวนทุกครั้ง เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การควบคุมแบบอัตโนมัติของแขนกลไฮดรอลิก (Automatic control)

การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic control) หรือการควบคุมแบบวงปิดหรือป้อนกลับ (closed loop or feedback control) ระบบการควบคุมอัตโนมัติจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดค่าจากตัวแปรของระบบที่ถูกควบคุมจริง (controlled variable) ด้วยเซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการพิจารณาหรืออ้างอิง (reference variable) หลังจากนั้นก็จะสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมทางด้านเอาต์พุต (correcting variable) ซึ่งจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (ความผิดพลาด) ลงไปได้ ให้มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นค่าที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุม

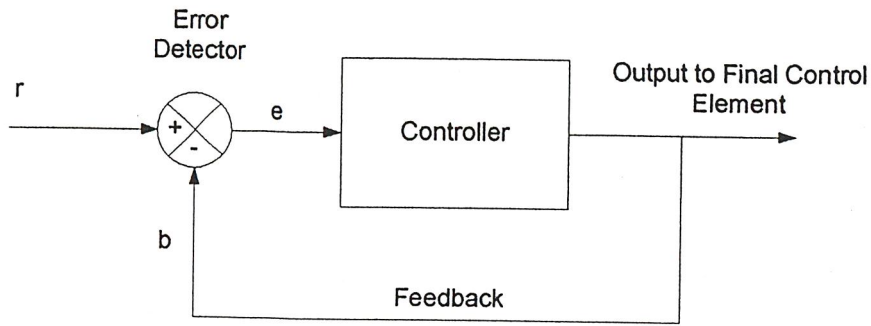
อุปกรณ์ควบคุมจะถูกออกแบบไว้เพื่อให้สร้างสัญญาณควบคุมไปด้วยควบคุมระบบกระบวนการเมื่อมีสัญญาณผิดพลาด (Error signal) เกิดขึ้นหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า หน้าที่ของอุปกรณ์ควบคุมก็คือการพยายามควบคุมตัวแปรของระบบ (system variable) ให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่เราต้องการ (desired value) มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งอาจแสดงอยู่ในรูปของปัจจัยต่อไปนี้

1. ลดค่าผิดพลาดให้สถานะอยู่ตัว (Minimize the steady state error)
2. ลดเวลาเข้าที่ (Minimize the setting time)
3. เพื่อให้การตอบสนองในช่วงต้น (Transient response) มีลักษณะตามที่กำหนด

จริงๆแล้วในปัจจุบันเครื่องจักรกลอัตโนมัติหรือแม่กระทั่งหุ่นยนต์จะไม่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือคอมพิวเตอร์ (สัญญาณดิจิทัล) ในการควบคุมเป็นส่วนใหญ่เพราะมีความคล่องตัวที่สูงกว่า

1. การตรวจจับสัญญาณผิดพลาด (Error Detective)

อุปกรณ์ควบคุมจะถูกออกแบบไว้เพื่อให้สัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบเมื่อมีสัญญาณผิดพลาดเกิดขึ้น ค่าความผิดพลาดที่ส่งให้อุปกรณ์ควบคุมก็คือการเอาค่าตัวแปรที่ได้จากการวัดไปลบออกจากค่าเป้าหมายหรือค่าอ้างอิงดังแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.17 แสดงการตรวจจับสัญญาณผิดพลาด

เมื่อกำหนดให้

e = ค่าผิดพลาด

b = ค่าความเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวัด

r = ค่าเป้าหมายที่ต้องการหรือค่าอ้างอิง

ดังนั้น

$$e = r - b$$

(3.4)

ซึ่งระบบการควบคุมจริงๆ แล้วค่าความผิดพลาดนิยมวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงหรือย่านการวัด (Percent of span) ดังสมการที่ผ่านมามีเขียนใหม่ได้ว่า

$$e_p = \frac{r - b}{b_{\max} - b_{\min}} \times 100$$

(3.5)

เมื่อ e_p = ความผิดพลาดในรูปเปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัด

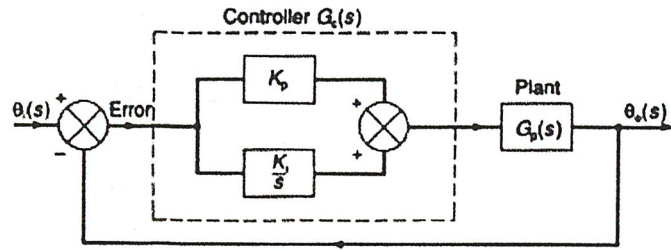
b_{\max} = ค่าสูงสุดของย่านวัด

b_{\min} = ค่าต่ำสุดของย่านวัด

2. การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (Proportional plus Integral Control)

การควบคุมแบบนี้อาจเรียกสั้นๆว่า การควบคุมแบบ PI ก็ได้ ดังที่เราทราบในข้างต้นแล้วว่าการควบคุมเชิงสัดส่วนนั้นอาจจะให้การตอบสนองที่รวดเร็วได้ก็จริง แต่ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปนานแค่ไหนก็ตามก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ (steady state error) หากระบบถูกรบกวนจากภายนอกหรือมีการเปลี่ยนแปลงโหลดซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้อาจจะแก้ไขได้ถ้าเราใช้การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล สมการของการควบคุมแบบนี้ก็คือ การรวมเอาสมการควบคุมเชิงสัดส่วนกับการควบคุมแบบอินทิกรัลเข้าด้วยกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงระบบควบคุมแบบ Proportional plus Integral

$$p = K_p e_p + K_i \int_0^t e_p dt \tag{3.6}$$

$$p = K_p e_p \left(1 + \frac{1}{TD}\right) \tag{3.7}$$

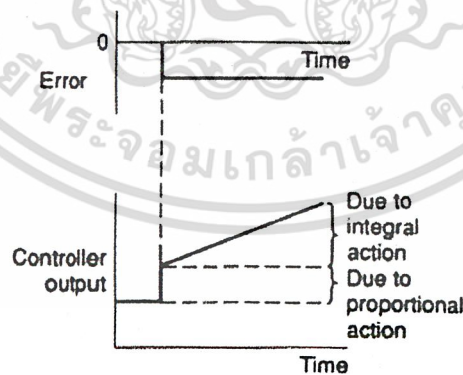
เมื่อ K_p = เกนของการควบคุมเชิงสัดส่วน

K_i = เกนของการควบคุมแบบอินทิกรัล

T_i = เวลาที่ใช้ในการอินทิกรัล

$\frac{K_p}{K_i}$ = ระยะเวลาที่ตัวควบคุมแบบอินทิกรัลให้การตอบสนองเท่ากับการ

ตอบสนองของตัวควบคุมแบบสัดส่วน (ส่วนกลับของ T_i , คือ ช่วงเวลาอนุพันธ์)



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะการตอบสนองของการควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบนี้เป็นการรวมเอาคุณสมบัติของการควบคุมเชิงสัดส่วน (P) และการควบคุมแบบอินทิกรัล (I) เข้าด้วยกันกล่าวคือ การควบคุมเชิงสัดส่วน (P) จะให้การตอบสนองที่เร็วแต่ขาดความแม่นยำ ส่วนการควบคุมแบบอินทิกรัล (I) นั้นจะมีความแม่นยำแต่ช้าและมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการแกว่ง ดังนั้นเมื่อรวมการควบคุมทั้งสองแบบเข้าด้วยกันจึงทำให้การตอบสนองต่อสัญญาณผิดพลาดเร็วและแม่นยำแต่แนวโน้มที่จะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาที่พุดสูง

3. การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional – Integral - Derivative Control)

การควบคุมแบบนี้เป็นการรวมเอาคุณสมบัติของการควบคุมแบบ P, I และ D เข้าด้วยกันจึงนิยมเรียกการควบคุมแบบนี้อย่างสั้นๆว่า การควบคุมแบบ PID ซึ่งเป็นการควบคุมที่นิยมใช้กันมากในทางอุตสาหกรรม เพราะความเร็วและความแม่นยำในการตอบสนองต่อสัญญาณผิดพลาดจะสูง ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ควบคุมหรือสัญญาณเอาที่พุดกับสัญญาณอินพุทหรือสัญญาณผิดพลาดของการควบคุมแบบ PID นี้สามารถเขียนอยู่รูปของสมการได้ว่า

$$p = K_p e_p + K_i \int_0^t e_p dt + K_D \frac{de_p}{dt} \quad (3.8)$$

$$p = K_p e_p + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e_p dt + K_p T_d \frac{de_p}{dt} \quad (3.9)$$

$$p = K_p e_p \left(1 + \frac{1}{T_i D} + T_d D\right) \quad (3.10)$$

เมื่อ K_p = เกนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

K_D = เกนของตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์

K_i = เกนของตัวควบคุมเชิงอินทิกรัล

T_i = เวลาในการอินทิกรัล

T_D = เวลาในการอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเลือกและการปรับแต่งอูปรณ์ควบคุม (Selecting and Tuning Controller)

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและปรับแต่งตัวแปรของอูปรณ์ควบคุมมีอยู่หลายวิธีโดยทั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและออกแบบ ซึ่งแน่นอนว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและตัดสินใจที่แตกต่างกันย่อมจะทำให้ระบบควบคุมได้ผลของการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอูปรณ์ควบคุมเพื่อลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และเหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุม สามารถทำได้โดยพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการจากผลการควบคุมแบบ P, PI และ PID ดังนี้

การควบคุมแบบ Proportional

1. ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเข้าเร็วขึ้น
2. ทำให้ระบบควบคุมมีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเสมอภายหลังการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายการควบคุมหรือภาระการควบคุม

การควบคุมแบบ Intigral

1. ทำให้ระบบควบคุมไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมแต่มีค่าการตอบสนองสูงสุดเกิดขึ้นทำให้ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมของกระบวนการในช่วงแรกมากกว่ากระบวนการเดิม
2. ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเข้าภายนอกช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิมและผลการตอบสนองจะมีการแกว่ง
3. การปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นในการควบคุมแบบ I จะทำให้กระบวนการตอบสนองเร็วขึ้นแต่มีการแกว่งเพิ่มขึ้นทำให้เสถียรภาพของระบบรวมลดลง

การควบคุมแบบ Derivative

1. การควบคุมแบบนี้จะส่งสัญญาณควบคุมเพื่อปรับสภาพกระบวนการก่อความคลาดเคลื่อนจริงจะเกิดขึ้นกับกระบวนการทำให้การควบคุมมีผลดีกว่าการควบคุมแบบอื่น
2. การควบคุมแบบนี้จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการให้ดีขึ้น

การเลือกชนิดของอูปรณ์ควบคุมแบบวงปิดหรือป้อนกลับ

การควบคุมกระบวนการให้ได้ผลดีและสามารถปรับอูปรณ์ควบคุมได้ง่ายนั้นเราควรใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1. เลือกใช้อูปรณ์ควบคุมแบบ P ถ้าการควบคุมกระบวนการนั้น ไม่จำเป็นต้องได้ผลการควบคุมที่แม่นยำนัก โดยปรับค่า K_p ของอูปรณ์ควบคุมให้มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นในช่วงที่ยอมรับได้
2. เลือกใช้อูปรณ์ควบคุมแบบ PI ถ้าเราไม่สามารถที่จะใช้อูปรณ์ควบคุมแบบ P ได้ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมไม่ต้องการให้มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเลย

3. เลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PID ถ้าไม่สามารถที่จะใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PI ได้ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมแบบ PI นั้นแม้ว่าไม่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการควบคุม ได้ก็จริงแต่การตอบสนองของกระบวนการจะช้าลง ซึ่งการเพิ่มความเร็วในการตอบสนองของกระบวนการ โดยการปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการตอบสนองของระบบรวมมีการแกว่งเพิ่มขึ้นและเสถียรภาพลดลง ดังนั้นการใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PID จะทำให้ผลของการควบคุมไม่มีความคลาดเคลื่อน ในการควบคุมเกิดขึ้น เราสามารถปรับ K_p เพื่อให้กระบวนการตอบสนองเร็วขึ้น โดยเสถียรภาพของระบบยังคงเดิม

6. การปรับอุปกรณ์ควบคุมโดยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error Method)

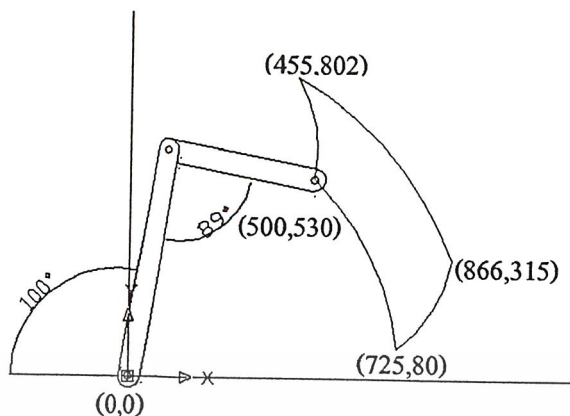
การปรับอุปกรณ์ควบคุมโดยใช้สูตรสำเร็จจากการทดลองต่าง ๆ นั้นบางครั้งเราไม่สามารถที่จะทำให้การควบคุมกระบวนการได้ผลดีเท่าที่นี้ก็เนื่องมาจากว่ากระบวนการที่ใช้ในการทดลองหาสูตรสำหรับอุปกรณ์ควบคุมมีคุณสมบัติบางอย่างที่ต่างจากกระบวนการจริงที่เราต้องการควบคุม ดังนั้นค่าตัวแปรควบคุมที่ได้จากการใช้จากการใช้สูตรสำเร็จก็สามารถใช้ได้เพียงเป็นค่าเริ่มต้นในการปรับอุปกรณ์ควบคุม โดยไม่ทำให้ระบบรวมสูญเสียเสถียรภาพ การทดลองปรับอุปกรณ์ควบคุม โดยสังเกตผลจากการพิจารณาค่าวัดของตัวแปรกระบวนการมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปรับอุปกรณ์ควบคุมให้ระบบรวมอยู่ในสภาพสมดุล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรกระบวนการและสัญญาณควบคุม
2. เปลี่ยนค่าเป้าหมายการควบคุมและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการจากค่าวัด
3. ปรับอัตราการควบคุม K_p ของอุปกรณ์ควบคุมจนได้ผลการตอบสนองของกระบวนการดีที่สุด
4. ปรับช่วงเวลาการเริ่มต้นอินทิเกรต T_I ของอุปกรณ์ควบคุมจนได้ผลการตอบสนองของกระบวนการดีที่สุด
5. ปรับค่าคงที่ของเวลาอนุพันธ์ T_D ของอุปกรณ์ควบคุมจนได้ผลการตอบสนองของกระบวนการดีที่สุด

3.4 สมการการคำนวณหาค่าตำแหน่งและความเร็วของแกนกล

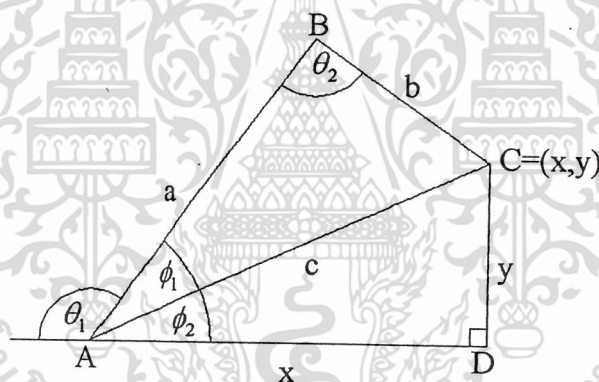
การควบคุมตำแหน่งและความเร็วจุดปลายของแขนกลจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการเคลื่อนที่ อาทิเช่น มุมที่กระทำระหว่างแขนกลท่อนบนและแขนกลท่อนล่าง ความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบบนและกระบอกสูบล่าง ความเร็วเชิงมุมของแขนกลท่อนบนและแขนกลท่อนล่าง การประมาณค่าโวลต์จากกราฟโมดูเลชัน (Modulation Curve) ของวาล์วกระบอกสูบบนและวาล์วของกระบอกสูบล่าง และสมการที่ใช้คำนวณหาค่าของตัวแปรต่าง ๆ

การเคลื่อนที่ของแขนกลใน โครงานนี้มีขอบเขตของพิกัด (x,y) ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงพื้นที่การทำงานและลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนกล

1. สมการในการคำนวณค่า (x, y) เป็น θ_1, θ_2



รูปที่ 3.21 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

- เมื่อ
- a คือ ความยาวของแขนกลตอนล่าง = 615 มิลลิเมตร
 - b คือ ความยาวของแขนกลตอนบน = 400 มิลลิเมตร
 - A คือ จุดหมุนของแขนกลตอนล่างที่ติดกับฐาน
 - B คือ จุดหมุนของแขนกลตอนบนที่ติดกับแขนกลตอนล่าง
 - C คือ จุดปลายของแขนกลที่ระบุด้วยพิกัด (x, y)
 - θ_1 คือ มุมที่แขนกลตอนล่างทำกับฐานดังรูปที่ 3.21
 - θ_2 คือ มุมที่แขนกลตอนบนทำกับแขนกลตอนบนดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ_1 คือมุมที่แกนกลท่อนบนทำกับฐานคังรูปที่ 3.21

ϕ_2 คือมุมที่แกนกลท่อนบนทำกับฐานคังรูปที่ 3.21

จากสามเหลี่ยม ACD ;

$$\text{จะได้ } c^2 = x^2 + y^2 \quad (3.11)$$

$$\therefore c = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.12)$$

$$\text{เมื่อ } x = c \cos \phi_2 \quad (3.13)$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} \left(\frac{x}{c} \right) \quad (3.14)$$

$$\therefore \phi_2 = \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (3.15)$$

จากสามเหลี่ยม ABC ;

$$\text{จะได้ } c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta_2 \quad (3.16)$$

$$2ab \cos \theta_2 = a^2 + b^2 - c^2 \quad (3.17)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (3.18)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right) \quad (3.19)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - x^2 - y^2}{2ab} \right) \quad (3.20)$$

$$\text{และ } b^2 = a^2 + c^2 - 2accos \phi_2 \quad (3.21)$$

$$2accos \phi_2 = a^2 + c^2 - b^2 \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos \phi_2 = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (3.23)$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right) \quad (3.24)$$

$$\therefore \phi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + x^2 + y^2 - b^2}{2a\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (3.25)$$

ที่จุด A; $\theta_1 = \pi - \phi_1 - \phi_2$

$$\theta_1 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + x^2 + y^2 - b^2}{2a\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (3.26)$$

ดังนั้น เมื่อเราหาพิกัด (X,Y) ที่จุดปลายแขนกลแล้ว เราสามารถหามุมของแขนกลท่อนบนและแขน
บนท่อนล่างได้ดังสมการ ดังนี้

$$\theta_1 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{615^2 + x^2 + y^2 - 400^2}{2 * 615 \sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (3.27)$$

$$= \pi - \cos^{-1} \left(\frac{218225 + x^2 + y^2}{1230 \sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad \text{rad} \quad (3.28)$$

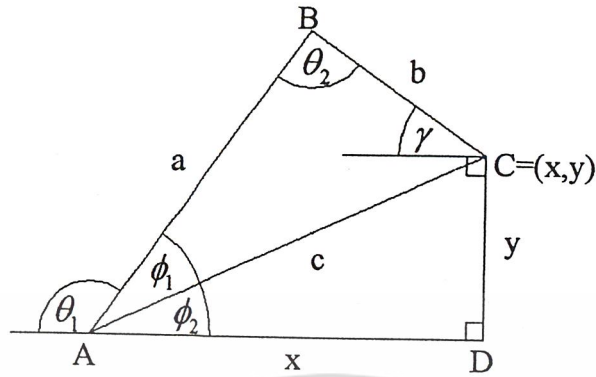
$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - x^2 - y^2}{2ab} \right) \quad (3.29)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{615^2 + 400^2 - x^2 - y^2}{2 * 615 * 400} \right) \quad (3.30)$$

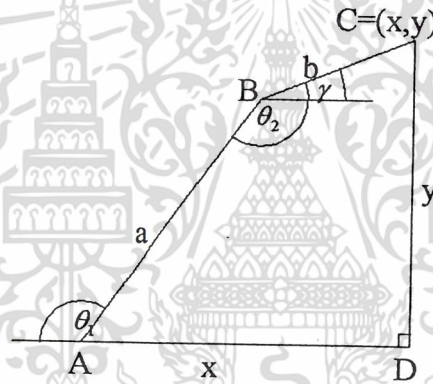
$$= \cos^{-1} \left(\frac{538225 - x^2 - y^2}{452000} \right) \quad \text{rad} \quad (3.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการในการคำนวณค่า θ_1, θ_2 เป็น (x, y)



รูปที่ 3.22 แสดงกรณีที่ 1 $\theta_1 < \theta_2$



รูปที่ 3.23 แสดงกรณีที่ 2 $\theta_1 > \theta_2$

จากรูปสี่เหลี่ยม ABCD; $(\pi - \theta_1) + \theta_2 + \gamma + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} = 2\pi$

$$\gamma = \theta_1 - \theta_2$$

จากความสัมพันธ์ของมุมข้างต้น จะได้

$$x = a \cos(\pi - \theta_1) + b \cos \gamma \quad (3.32)$$

$$= 615 \cos(\pi - \theta_1) + 400 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (3.33)$$

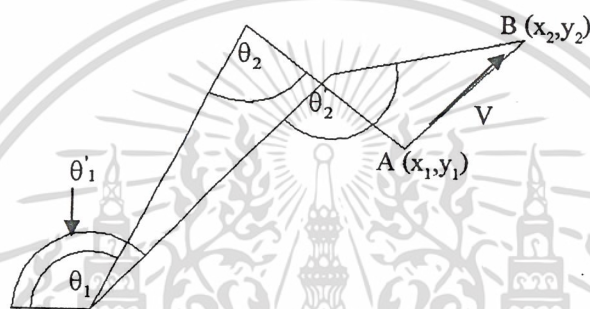
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = a \sin(\pi - \theta_1) + b \sin \gamma \quad (3.34)$$

$$= 615 \sin(\pi - \theta_1) + 400 \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (3.35)$$

3. สมการในการคำนวณค่า θ_1, θ_2 เป็น $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$

การเคลื่อนที่ที่จุดปลายของแขนกล จากจุด A (x_1, y_1) ไปยังจุด B (x_2, y_2) ด้วยความเร็ว V จะมีการเคลื่อนที่ ดังรูป



รูปที่ 3.24 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B

ถ้าให้ t เป็นเวลาที่แขนกลเคลื่อนที่จากจุด A (x_1, y_1) ไปยังจุด B (x_2, y_2)

$$\text{จะได้ } \dot{\theta}_1 = \frac{\theta_1 - \theta_1'}{t} \text{ rad/s} \quad (3.36)$$

$$\dot{\theta}_2 = \frac{\theta_2 - \theta_2'}{t} \text{ rad/s} \quad (3.37)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$ ที่ได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การเคลื่อนที่ของแขนกลเป็นเส้นตรงค่าของ $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$ จะไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นทางการเคลื่อนที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วที่จุดปลายของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลโดยใช้โปรแกรมภาษาซีนั้น เรากำหนดเวลาที่ใช้ในการทำงาน 1 รอบไว้ที่ 10^{-2} วินาที ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการควบคุม เราจึงต้องแบ่งเส้นทางการเดินออกเป็นจุดย่อยๆ แต่ละจุดมีระยะห่างกันเท่ากับ δ

ซึ่งหมายความว่า แขนกกลจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ระหว่างจุดย่อยๆ บนเส้นช่วงละ 10^{-2} วินาที เป็นระยะทาง δ ต่อ 1 รอบการทำงานของโปรแกรม

$$\therefore S_{A \rightarrow B} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.38)$$

เมื่อ $S_{A \rightarrow B}$ คือ ระยะทางจากจุด A ไปยังจุด B
เมื่อให้แขนกลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงเส้นที่จุดปลายเท่ากับ V mm/s

$$\text{จะได้ } V = \frac{S_{A \rightarrow B}}{T} \quad (3.39)$$

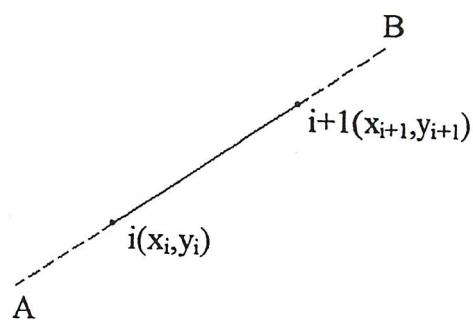
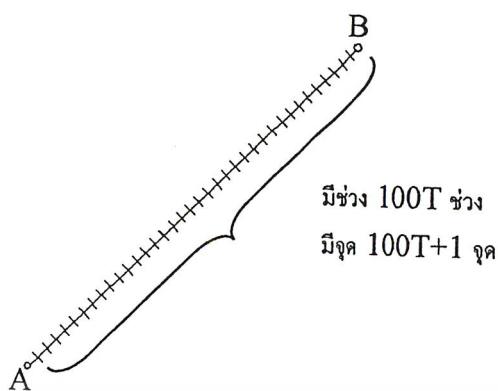
$$T = \frac{S_{A \rightarrow B}}{V} \quad (3.40)$$

เมื่อ T คือเวลาที่แขนกลให้เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B
 $S_{A \rightarrow B}$ คือระยะทางจากจุด A ไปยังจุด B
 V คือความเร็วเชิงเส้นที่จุดปลายของแขนกล
เวลาในการทำงานของโปรแกรมคือ $t = 10^2$ วินาที

ดังนั้น จำนวนช่วงจุดบนเส้นทาง $S_{A \rightarrow B}$ คือ $\frac{T}{t} = 100T$ ช่วง

$$\text{จะได้ } \delta = \frac{S_{A \rightarrow B}}{t} = 100S_{A \rightarrow B} \text{ mm} \quad (3.41)$$

พิจารณาช่วงย่อยบนเส้น AB จุดที่ i และจุดที่ $i+1$ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.25 แสดงการแบ่งช่วงบนเส้นทางการเคลื่อนที่

รูปที่ 3.26 แสดงจุดย่อยบนเส้นทางการเคลื่อนที่

โดยแต่ละจุดจะระบุด้วยพิกัด (x, y) ดังรูป 4.6 ซึ่งเราสามารถหาพิกัดของจุด i และจุด $i+1$ ได้ดังนี้

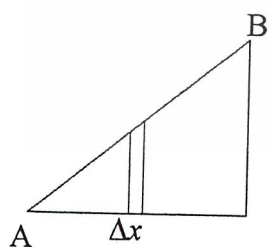
$$\text{ความชันของเส้น } AB = m = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (3.42)$$

โดยที่ความชันของเส้น AB สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณี $|m| \leq 1$

เราจะทำการแบ่ง Component ของเส้น AB บนแกน x ออกเป็น Δx โดยที่

$$\Delta x = \frac{x_2 - x_1}{100T} \quad (3.43)$$



รูปที่ 3.27 การแบ่งช่วงในแกน

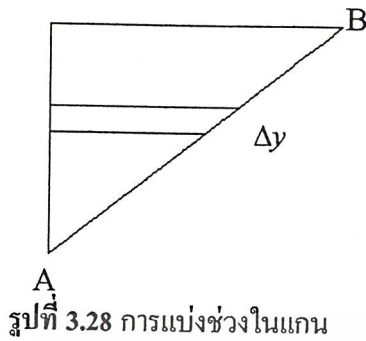
$$\text{จะได้ความสัมพันธ์เป็น } x_i + \Delta x = x_{i+1} \quad (3.44)$$

$$\text{และ } y_i = y_1 + m(x_i - x_1) \quad (3.45)$$

$$\therefore y_i = y_1 + \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) (x_i - x_1) \quad (3.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรณี $|m| > 1$



$$\Delta y = \frac{y_2 - y_1}{100T} \quad (3.47)$$

จะได้ความสัมพันธ์เป็น $y_i + \Delta y = y_{i+1}$ (3.48)

จะได้ $x_i = x_1 + m(y_i - y_1)$ (3.49)

$$\therefore x_i = x_1 + \left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right) (y_i - y_1) \quad (3.50)$$

จากสมการจะได้ค่าที่จุด i และจุด $i+1$ เมื่อนำค่าพิกัด (X, Y) ของจุดทั้งสองไปแทนค่าในสมการหา θ_1, θ_2 ของแต่ละจุดออกมา

จุด i ; $\theta_{1,i}$ และ $\theta_{2,i}$

จุด $i+1$; $\theta_{1,i+1}$ และ $\theta_{2,i+1}$

ดังนั้น เราสามารถหาความเร็วที่จุดใดๆ บนเส้นทาง AB ได้

$$\theta_{1,i} = \frac{\theta_{1,i+1} - \theta_{1,i}}{t} \text{ rad/s} \quad (3.51)$$

$$\theta_{2,i} = \frac{\theta_{2,i+1} - \theta_{2,i}}{t} \text{ rad/s} \quad (3.52)$$

4. สมการในการเปลี่ยน $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$ เป็น Pulse1, Pulse2

ในการอ่านค่าตำแหน่งจาก Encoder ค่าที่ได้จะเป็นตัวเลขซึ่งจะแทนด้วย Pulse1 คือ ค่าที่อ่านได้จาก Encoder ของแกนกลท่อนล่าง และ Pulse2 คือ ค่าที่อ่านได้จาก Encoder ของแกนกลท่อนบน โดยเมื่อกระบอกหยุดสุด

$$\theta_1 = 1.745329252 \text{ rad}$$

$$\theta_2 = 1.553343034 \text{ rad}$$

$$\text{Pulse1} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Pulse2} = 0$$

เมื่อกระบอกปีศาจจะได้

$$\theta_1 = 2.450878602 \quad \text{rad}$$

$$\theta_2 = 2.258892384 \quad \text{rad}$$

$$\text{Pulse1} = 2695$$

$$\text{Pulse2} = 2695$$

ข้อมูลเกี่ยวกับ Encoder และเฟืองทดมีดังนี้

1. อัตราทดระหว่างเฟืองกับ Encoder ของแกนกลทั้งสองท่อนคือ 1:6
2. Encoder มีความสามารถในการรับค่าเท่ากับ 1,000 Pulse/รอบ แต่การ์ดมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 4 เท่าของ Encoder ดังนั้น Encoder หมุน 1 รอบ จะเท่ากับ 4,000 Pulse จากข้อมูลข้างต้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง θ กับ Pulse ดังนี้

$$\theta_1 = 1.754329252 + \frac{\text{Pulse1}}{4000} * \frac{2\pi}{6} \quad (3.53)$$

$$\theta_2 = 1.553343034 + \frac{\text{Pulse2}}{4000} * \frac{2\pi}{6} \quad (3.54)$$

ในทางกลับกันจะได้

$$\text{Pulse1} = (\theta_1 - 1.754329252) * 4000 * \frac{6}{2\pi} \quad (3.55)$$

$$\text{Pulse2} = (\theta_2 - 1.553343034) * 4000 * \frac{6}{2\pi} \quad (3.56)$$

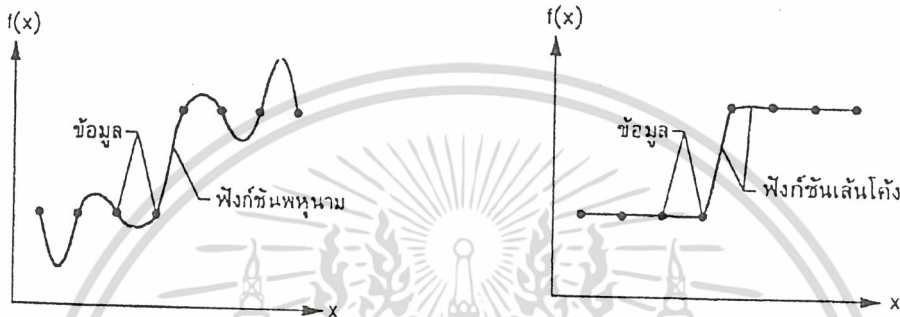
3.5 การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง (Spline interpolation)

ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง เป็นเพียงค่าตัวเลขที่วัดได้เพียงบางตำแหน่งเท่านั้น แทนที่จะนำข้อมูลที่เราไปทำการศึกษาต่อโดยตรงหากเราเปลี่ยนลักษณะการเสนอข้อมูลจากการใช้ค่าตัวเลขตามตำแหน่งต่าง ๆ (Discrete data points) มาเป็นการเสนอในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ โดยใช้ฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous function) ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นดังกล่าว ไม่เพียงแต่จะบ่งบอกค่าตามตำแหน่งที่ได้จากการทดลองเท่านั้น แต่จะบอกค่า ณ จุดใด ๆ ระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ นี้ด้วย ดังนั้นจึงเป็นการแสดงข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิธีการประมาณค่าในช่วง โดยการใช้ผลต่างจากการแบ่งย่อยของนิวตันและโดยการใช้ฟังก์ชันพหุนามของลากรองจ์ วิธีการทั้งสองก่อให้เกิดฟังก์ชันที่ลากผ่านทุกข้อมูลที่กำหนดมาให้ จากรูปที่ 3.29 (ซ้าย) เราจะพบว่าฟังก์ชันพหุนามที่ประดิษฐ์ขึ้นได้ จะมีการกระจายที่เกิดการเบี่ยงเบนไปจากลักษณะของการกระจายที่ควรจะเป็น

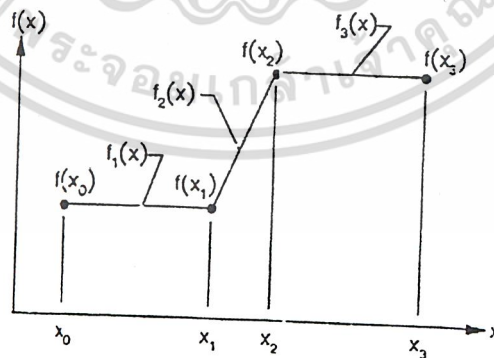
เพื่อปรับปรุงแก้ไขปรากฏการณ์ของการกระจายที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว เราจะประดิษฐ์ฟังก์ชันเส้นโค้งที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างข้อมูลที่ละ 2 ข้อมูล ซึ่งจะเอาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ มาเชื่อมต่อกัน จะก่อให้เกิดลักษณะของกระบวนการกระจายในภาพรวมที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นดังแสดงในรูป 3.29 (ขวา)



รูปที่ 3.29 ลักษณะการกระจายของฟังก์ชันพหุนามอันดับสูงและการใช้ฟังก์ชันเส้นโค้งสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันขั้นบันได

1. การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear spline)

การสร้างฟังก์ชัน โดยเชื่อมต่อข้อมูลด้วยการใช้เส้นตรง จัดว่าเป็นวิธีที่ได้สะดวกที่สุด รูป 3.30 แสดงการเชื่อมต่อข้อมูล 4 ข้อมูลด้วยฟังก์ชันเส้นตรง 3 ฟังก์ชัน



รูปที่ 3.30 การประมาณค่าในช่วงโดยการใช้ฟังก์ชันเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเส้นตรงทั้งสามที่เชื่อมต่อกันคือ

$$f_1(x) = f(x_0) + m_1(x - x_0) \quad ; 0 \leq x \leq x_1 \quad (3.57a)$$

$$f_2(x) = f(x_1) + m_2(x - x_1) \quad ; x_1 \leq x \leq x_2 \quad (3.57b)$$

$$f_3(x) = f(x_2) + m_3(x - x_2) \quad ; x_2 \leq x \leq x_3 \quad (3.57c)$$

โดย
$$m_i = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \quad ; i=1, 2, 3 \quad (3.57d)$$

m แทน ค่าความชันของฟังก์ชันเส้นตรงเหล่านี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นสำหรับปัญหาทั่วไปที่ประกอบด้วย $n+1$ ข้อมูลสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยง่ายเช่นกัน

2. การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic spline)

การสร้างฟังก์ชันเพื่อให้อเชื่อมต่อกันด้วยการใช้เส้นโค้งกำลังสาม สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับการใช้เส้นโค้งกำลังสอง

ในช่วงระหว่างจุด 2 จุด ที่กำหนดให้ เส้นโค้งกำลังสองจะมีลักษณะการกระจายแบบเว้าเข้าหรือเว้าออกอย่างใดอย่างหนึ่ง ในขณะที่เส้นโค้งกำลังสามสามารถมีลักษณะการกระจายแบบเว้าเข้าและเว้าออกต่อเนื่องกันในช่วงระหว่างจุด 2 จุด ที่กำหนดให้ นั่นคือ เส้นโค้งกำลังสามจึงเป็นที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปในการคำนวณหาค่าประมาณในช่วงข้อมูลเนื่องจากมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการกระจายที่ดีกว่า

หากเรามีข้อมูลทั้งหมด 4 ข้อมูล ฟังก์ชันกำลังสามที่เชื่อมต่อกันคือ

$$f_1(x) = a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1 \quad x_0 \leq x \leq x_1 \quad (3.58a)$$

$$f_2(x) = a_2x^3 + b_2x^2 + c_2x + d_2 \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (3.58b)$$

$$f_3(x) = a_3x^3 + b_3x^2 + c_3x + d_3 \quad x_2 \leq x \leq x_3 \quad (3.58c)$$

โดย $a_i, b_i, c_i, d_i, i = 1, 2, 3$ ซึ่งเป็นค่าคงตัวที่ไม่รู้ค่า ซึ่งในที่นี้มีทั้งหมด 12 ค่า และสามารถคำนวณได้จากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ที่จุดต่อภายในใด ๆ ฟังก์ชันจาก 2 ด้านที่เชื่อมเข้าหากันที่จุดต่อจำเป็นต้องมีค่าเท่ากับที่ตำแหน่งของจุดนั้น เช่น ที่จุดต่อ x_1 เงื่อนไขที่เกิดขึ้นคือ

$$f_1(x_1) = a_1x_1^3 + b_1x_1^2 + c_1x_1 + d_1 = f(x_1) \quad (3.58d)$$

$$f_2(x_1) = a_2x_1^3 + b_2x_1^2 + c_2x_1 + d_2 = f(x_1) \quad (3.58e)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของรูป 3.31 ที่มีต่อที่อยู่ภายใน 2 จุด ดังนั้น จึงเกิดเงื่อนไขเช่นนี้ 4 เงื่อนไข ฟังก์ชันแรกต้องผ่านข้อมูลแรกที่ x_0 และ x_3 นั่นคือ

$$f_1(x_0) = a_1x_0^3 + b_1x_0^2 + c_1x_0 + d_1 = f(x_0) \quad (3.58f)$$

$$f_3(x_3) = a_3x_3^3 + b_3x_3^2 + c_3x_3 + d_3 = f(x_3) \quad (3.58g)$$

นั่นคือ ก่อให้เกิดเงื่อนไขเพิ่มขึ้นอีก 2 เงื่อนไข

ที่จุดต่อภายในใด ๆ ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งมีความหมายถึงค่าของความชันของฟังก์ชันทั้ง 2 ด้านของจุดต่อ ต้องมีค่าเท่ากันที่ตำแหน่งของจุดต่อนั้น เช่นที่จุดต่อ x_1 เงื่อนไขที่เกิดขึ้นคือ

$$f_1'(x_1) = f_2'(x_1) \quad (3.58h)$$

$$3a_1x_1 + 2b_1x_1 + c_1 = 3a_2x_1 + 2b_2x_1 + c_2 \quad (3.58i)$$

ดังนั้นในรูป 3.31 นี้จะประกอบด้วยเงื่อนไขเช่นนี้อยู่ 2 เงื่อนไข

ที่จุดต่อภายในใด ๆ ค่าอนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันทั้ง 2 ด้านของจุดต่อต้องมีค่าเท่ากันที่ตำแหน่งของจุดต่อนั้น เช่น ที่จุดต่อ x_1 และ x_3 เงื่อนไขนี้คือ

$$f_1''(x_1) = f_2''(x_1) \quad (3.58j)$$

$$6a_1x_1 + 2b_1 = 6a_2x_1 + 2b_2 \quad (3.58k)$$

ซึ่งในรูป 3.31 นี้ ประกอบด้วยเงื่อนไขเช่นนี้อยู่ 2 เงื่อนไข

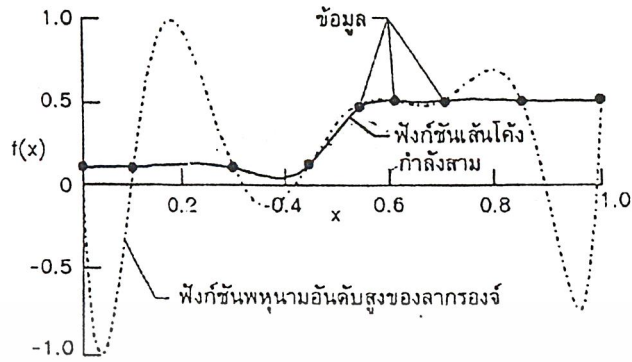
ค่าอนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันที่ตำแหน่งจุดปลายทั้งสอง นั่นคือที่ x_0 และ x_3 นั้นมีค่าเท่ากับศูนย์

$$f_1'''(x_0) = f_2'''(x_3) = 0 \quad (3.58l)$$

ซึ่งก่อให้เกิดเงื่อนไขเพิ่มขึ้นอีก 2 เงื่อนไข

ดังนั้น จากรูป 3.31 ซึ่งประกอบด้วย 4 ข้อมูล และ 3 ฟังก์ชันกำลังสาม โดยมีตัวคงที่ที่ไม่รู้ค่าทั้งหมด 12 ตัว และจากเงื่อนไขดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ซึ่งมีทั้งหมด $4 + 2 + 2 + 2 + 2 = 12$ เงื่อนไข ดังนั้นจึงก่อให้เกิดระบบสมการซึ่งประกอบด้วย 12 สมการย่อยที่ สามารถนำไปสู่ผลลัพธ์ของค่าคงตัวที่ไม่รู้ค่าเหล่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันพหุนามอันดับสูงของลากรองจ์ กับฟังก์ชันเส้นโค้งกำลังสาม



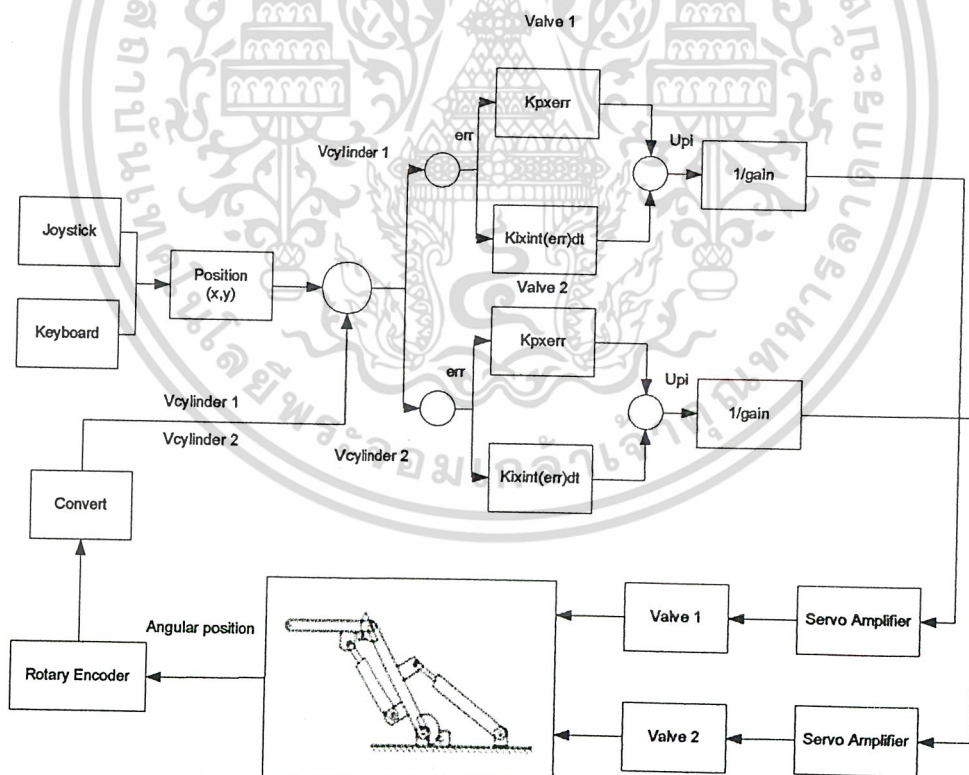
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทำงานของแขนกล

การควบคุมการทำงานของแขนกลเป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของแขนกลที่จุดปลาย ซึ่งการควบคุมดังกล่าว ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างกระบอกสูบไฮดรอลิกตัวบนและกระบอกสูบไฮดรอลิกตัวล่าง ทำงานร่วมกันจึงจะได้ตำแหน่งและความเร็วที่จุดปลาย โดยในขั้นตอนแรกจะต้องทำการระบุตำแหน่งเป็นพิกัด (X, Y) ในการเคลื่อนที่ของแขนกล ผ่านทางอุปกรณ์ป้อนค่า คือ คีย์บอร์ดหรือทางคันทันบังคับ เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการเคลื่อนที่และการอ้างอิงเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เกิดขึ้นจริง จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลแปลงค่าตำแหน่งของแขนกลเป็นความเร็วเชิงเส้นของแต่ละกระบอกสูบและทำการประมวลผลค่าความเร็วเชิงเส้นของแต่ละกระบอกสูบเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโวลต์ (Volts) เพื่อไปสั่งจ่ายการเปิด-ปิดการทำงานของวาล์วแต่ละตัวให้ทำงานตามตำแหน่งและความเร็วตามที่กำหนดไว้

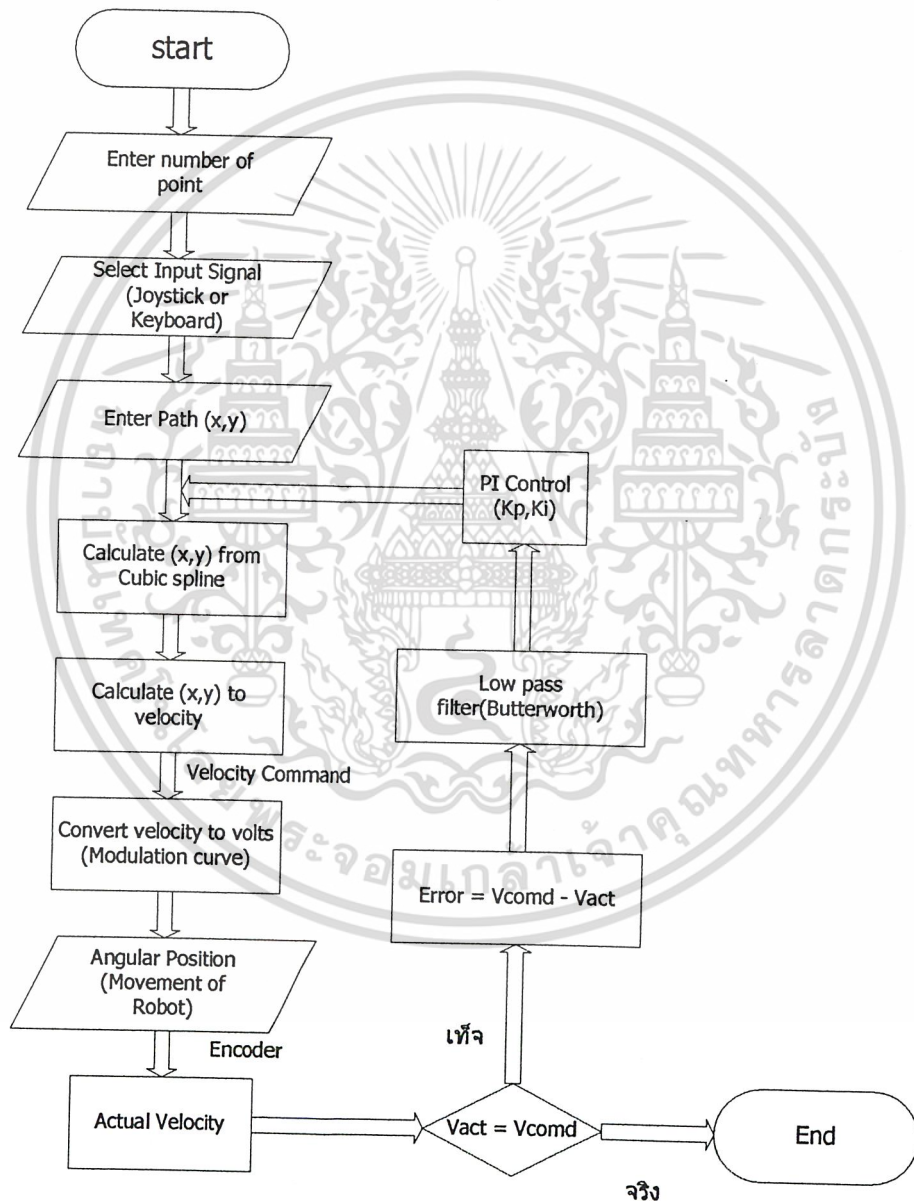


รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแขนกลทำงานตามค่าโวลต์ที่สั่งจ่ายแล้วจะมีโรตารีเอนโคเดอร์ (Rotary Encoder) ทำหน้าที่เป็น ตัวเซนเซอร์ (Sensor) แปลงค่าเป็นความเร็วเชิงมุมเป็นค่าพัลส์ (Pulse) เพื่อส่งผ่านเข้ามาทางคาร์ดินัลรอบและ จะประมวลผลแปลงค่าพัลส์เป็นค่าของความเร็วของวาล์วแต่ละกระบอกสูบเพื่อนำค่าความเร็วของแต่ละ กระบอกสูบ ไปหาค่าความผิดพลาด (error) โดยเทียบกับค่าที่สั่งจ่ายเข้าไป แล้วนำค่าผิดพลาดไปปรับปรุงการ ทำงานของวาล์วของแต่ละกระบอกสูบในการทำงานรอบต่อไป เพื่อความแม่นยำของตำแหน่งและความเร็ว

4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามตำแหน่งและความเร็วที่จุดปลายของแขนกลจะมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ โดยขั้นตอนการควบคุมการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรมภาษาซีเป็นโปรแกรมในการประมวลผล รับคำสั่งค่าผ่านการวัดไปยังแขนกล หาค่าความผิดพลาดของระบบ พร้อมทั้งปรับปรุงค่าความผิดพลาดให้มีค่าน้อยที่สุดและแสดงผลของการเคลื่อนที่ในรูปแบบของกราฟ

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลเริ่มต้นจากการกำหนดพิกัด (X,Y) และความเร็วที่จุดปลาย ซึ่งเป็นพิกัดและความเร็วที่ใช้การเคลื่อนที่ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลหาเส้นทางการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการของ Cubic spline เมื่อได้เส้นทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบของ Cubic spline แล้วจะนำเวลาไปหาจำนวนจุดของการเคลื่อนที่ของทั้งเส้นทางการเคลื่อนที่ เมื่อได้จำนวนจุดที่อยู่ในเส้นทางการเคลื่อนที่แล้วจะนำค่า (X,Y) ในแต่ละจุดไปคำนวณหาค่ามุมของแขนกล ความเร็วเชิงมุมของแขนกล และความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบแต่ละกระบอกสูบตามลำดับ เมื่อได้ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละกระบอกสูบแล้ว ระบบควบคุมจะทำการประมวลผลหาค่าสัญญาณโวลต์ที่เหมาะสมเพื่อ ไปสั่งการเปิดปิดวาล์ว

เมื่อแขนกลเคลื่อนที่ โรตารีเอ็นโคเดอร์จะอ่านค่าการเคลื่อนที่ของแขนกลผ่านการวัดนับจำนวนพัลส์ เปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงมุมของแขนกล ความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบบนและกระบอกสูบล่างตามลำดับ เมื่อได้ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละกระบอกสูบ แล้วจะนำค่าที่ได้ไปกรอง (Filter) เพื่อลดค่าการแกว่งของสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้วิธี(Butterworth) แล้วนำค่าความเร็วเชิงเส้นของแต่ละกระบอกที่ได้จากการกรองสัญญาณทางไฟฟ้าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตอนต้นแล้วจะนำค่าที่เปรียบเทียบหรือค่าความผิดพลาดไปหาค่าความเหมาะสมโดยใช้วิธีการควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล (Proportional plus Integral Control) ในการหาความเร็วเชิงเส้นที่เหมาะสมของแต่ละกระบอกสูบแล้วจะนำไปหาค่าของสัญญาณโวลต์ที่เหมาะสมต่อไป

4.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะเป็นการใช้โปรแกรม Turbo C++ ควบคุมการทำงานของแขนกล ซึ่งในส่วนของโปรแกรมการคำนวณนั้นมีการกำหนดค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกลโดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง (Linear splines) และวิธีการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic splines)

โดยเส้นทางการเคลื่อนที่ที่จะถูกกำหนดให้ผ่านจุด 6 จุด ซึ่งจุดดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

จุดที่ 1 มีพิกัด (x,y) คือ (600,640)

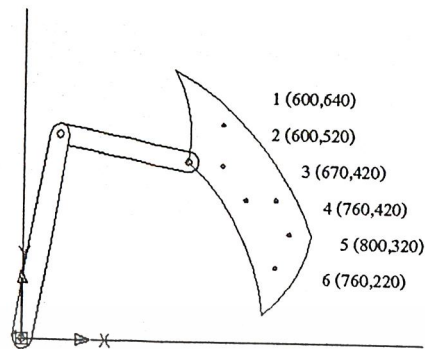
จุดที่ 2 มีพิกัด (x,y) คือ (600,520)

จุดที่ 3 มีพิกัด (x,y) คือ (670,420)

จุดที่ 4 มีพิกัด (x,y) คือ (760,420)

จุดที่ 5 มีพิกัด (x,y) คือ (800,320)

จุดที่ 6 มีพิกัด (x,y) คือ (760,220)



รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งพิกัดของจุดที่กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่

2. กำหนดความเร็วเชิงเส้นของจุดปลายแขนกลคือ 20 มิลลิเมตรต่อวินาที
3. ค่า K_p , K_i สามารถหาได้จากการทดลองสุ่มจนได้ค่าที่ทำให้ระบบเกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งค่า K_p , K_i ที่ใช้ในโครงการนี้คือ $K_p = 0$ และ $K_i = 20$
4. ทำการกรองแบบ บัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth) ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้ดังนี้
 - นำข้อมูลความเร็วเชิงเส้นจริงที่ได้จากเอนโคเดอร์ (Encoder) ของกระบอกลูกสูบทั้งสองจากการทดลองมาเขียนกราฟเทียบกับเวลาในโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab)
 - เรียกใช้คำสั่งตัวกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth) อันดับสามแบบยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้ในการเขียนกราฟ
 - เลือกใช้ค่า ω_c เท่ากับ 0.48 สำหรับข้อมูลของกระบอกลูกสูบที่ 1 และใช้ค่า ω_c เท่ากับ 0.3 สำหรับข้อมูลของกระบอกลูกสูบที่ 2
 - ใช้คำสั่งเรียกค่าสัมประสิทธิ์ของการกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth) ได้ดังนี้

สำหรับกระบอกลูกสูบ 1

$$f_1 = 1.0$$

$$f_2 = 0.0$$

$$f_3 = 0.3333$$

$$f_4 = 0.0$$

$$n_1 = 0.1667$$

$$n_2 = 0.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_3 = 0.5$$

$$n_4 = 0.1667$$

สำหรับกระบอกสูบ 2

$$f_1 = 1.0$$

$$f_2 = -1.1619$$

$$f_3 = 0.6959$$

$$f_4 = -0.1378$$

$$n_1 = 0.0459$$

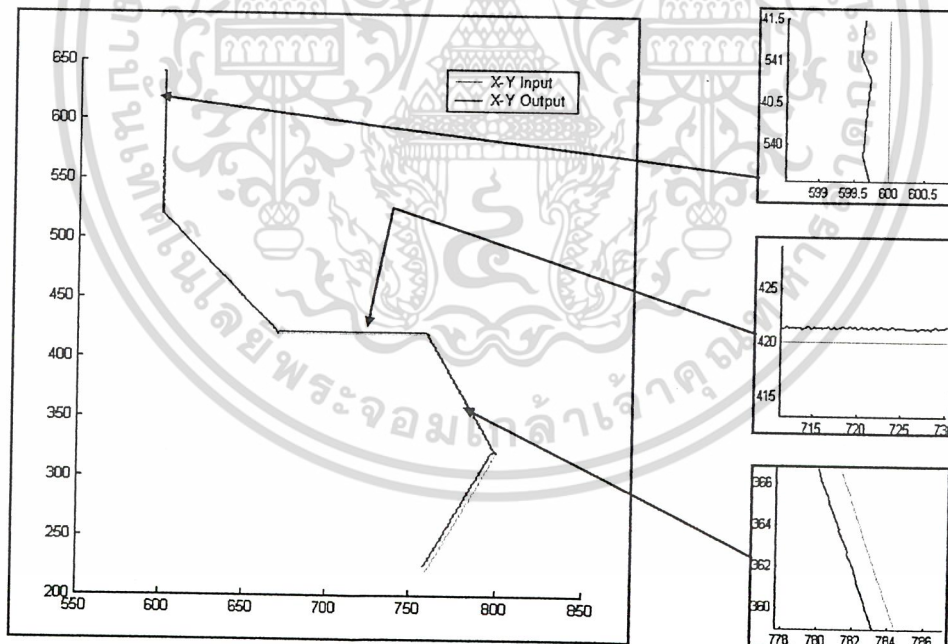
$$n_2 = 0.1486$$

$$n_3 = 0.1486$$

$$n_4 = 0.0459$$

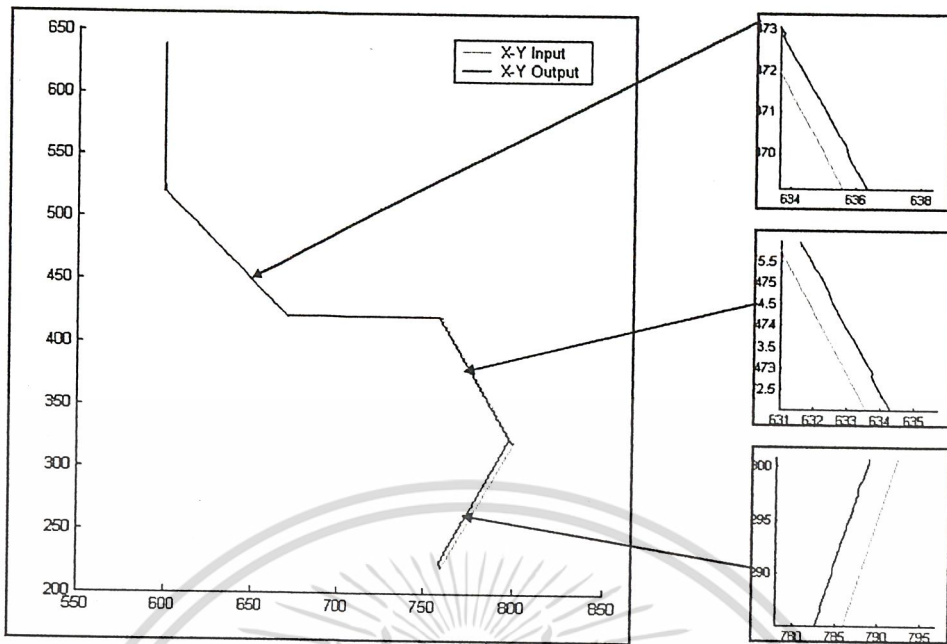
5. ในการทดลองเราจะทำใน 3 กรณี คือ ไม่มีภาระกระทำ, มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัมและมีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

4.4 ผลการทดลอง

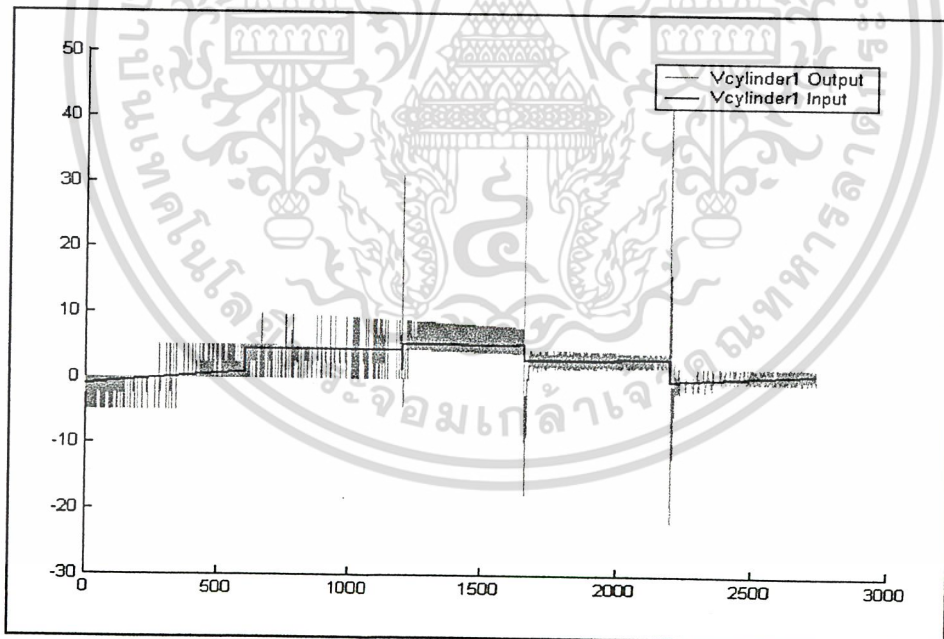


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

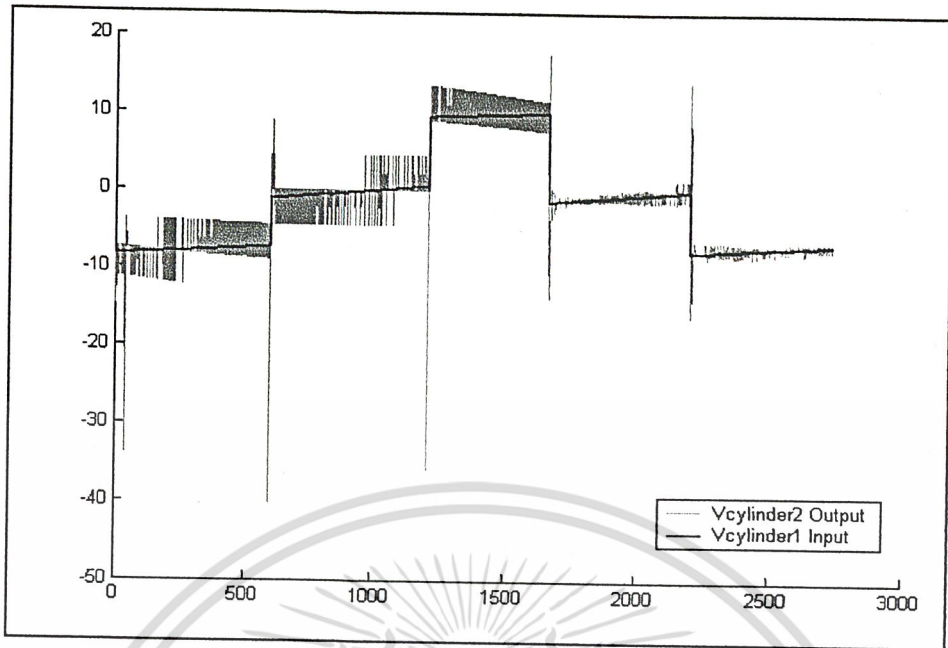


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาวะกระทำ

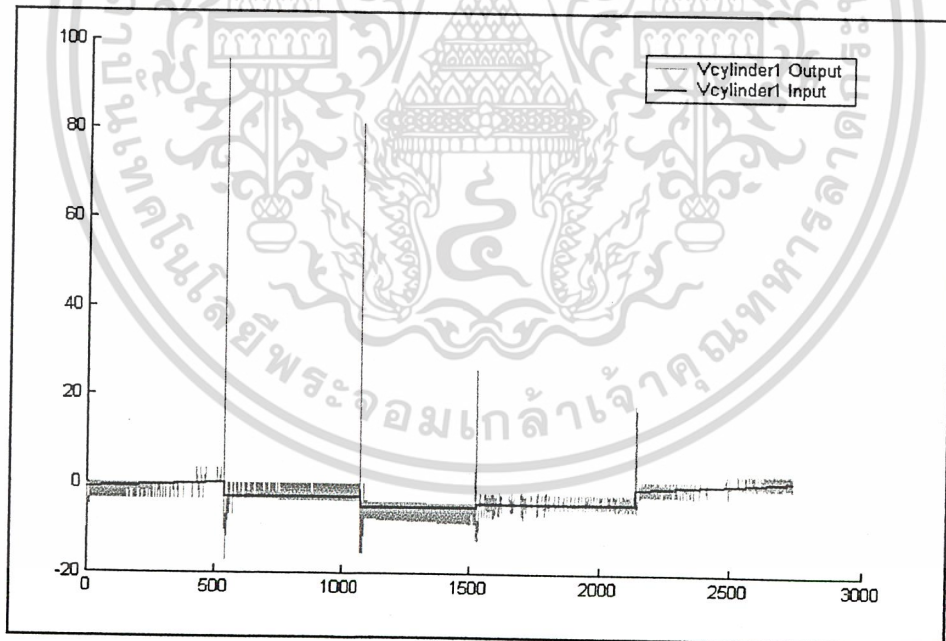


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาวะกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

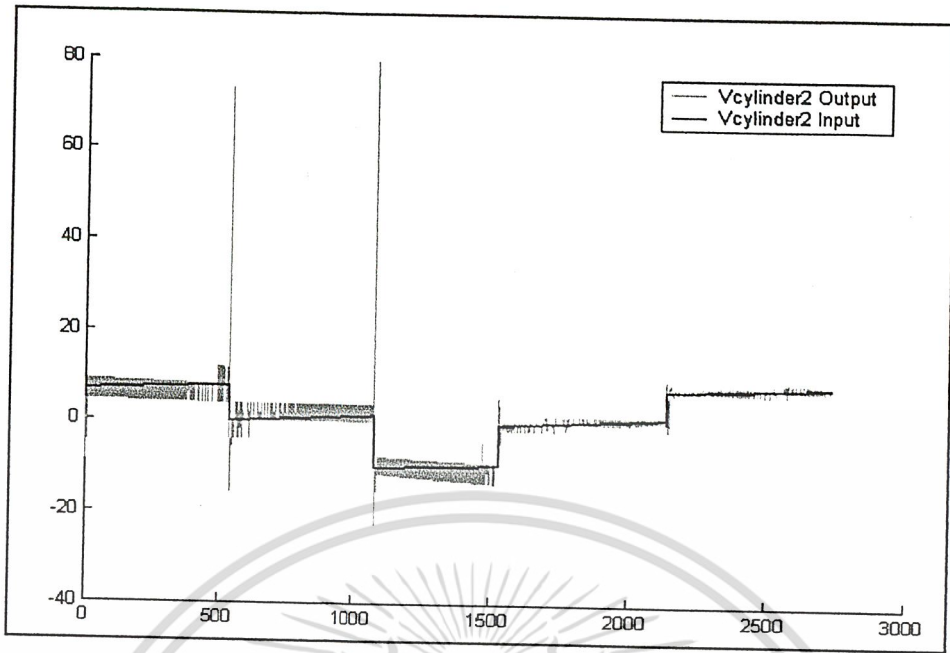


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาวะกระทำ

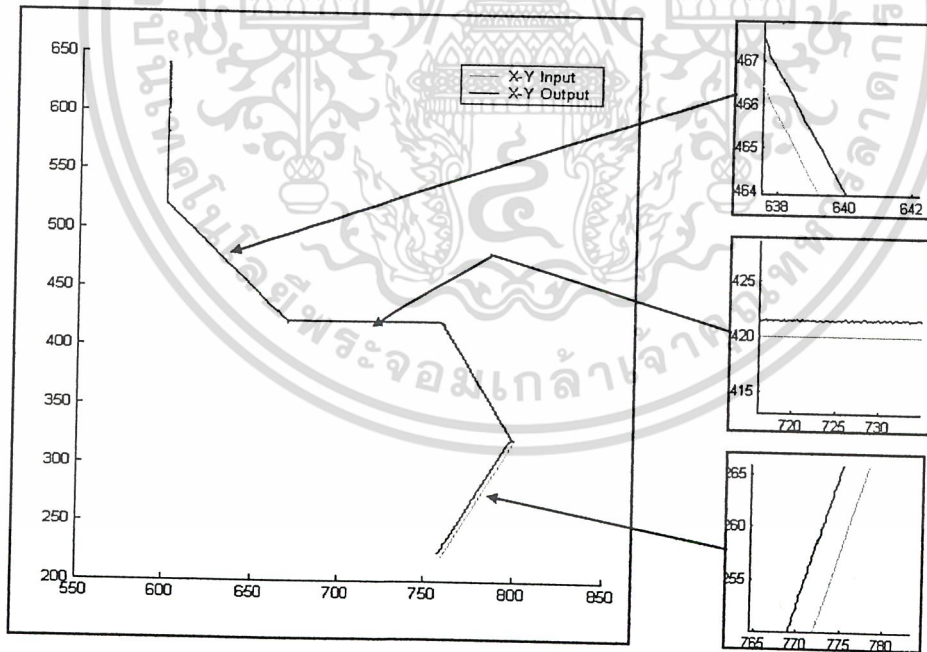


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาวะกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

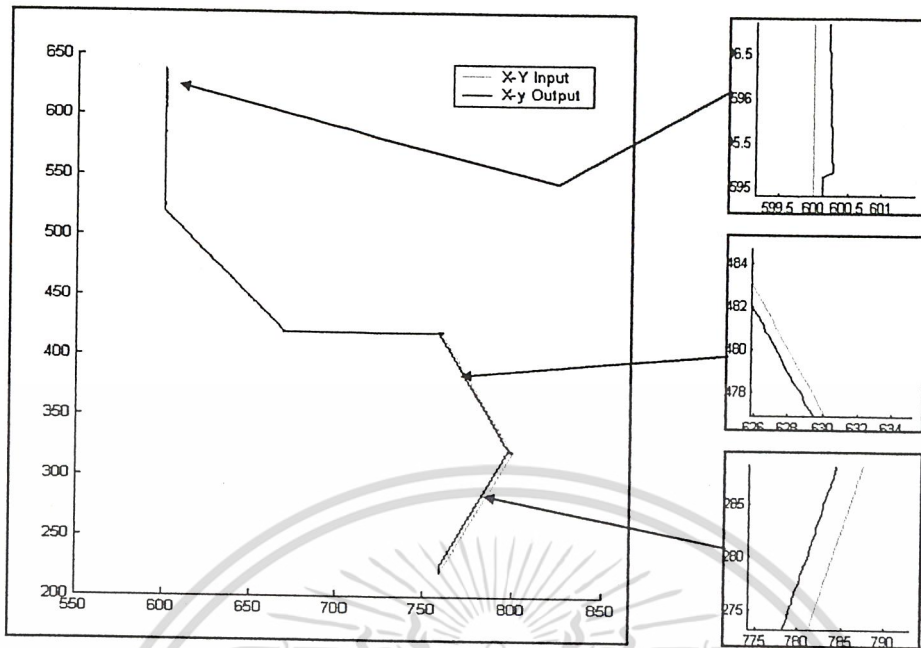


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ

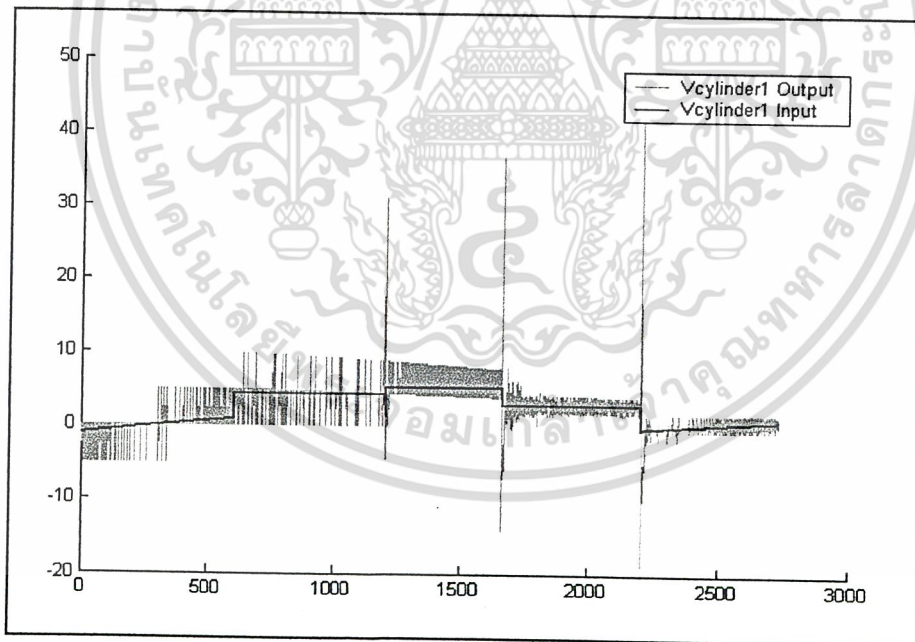


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

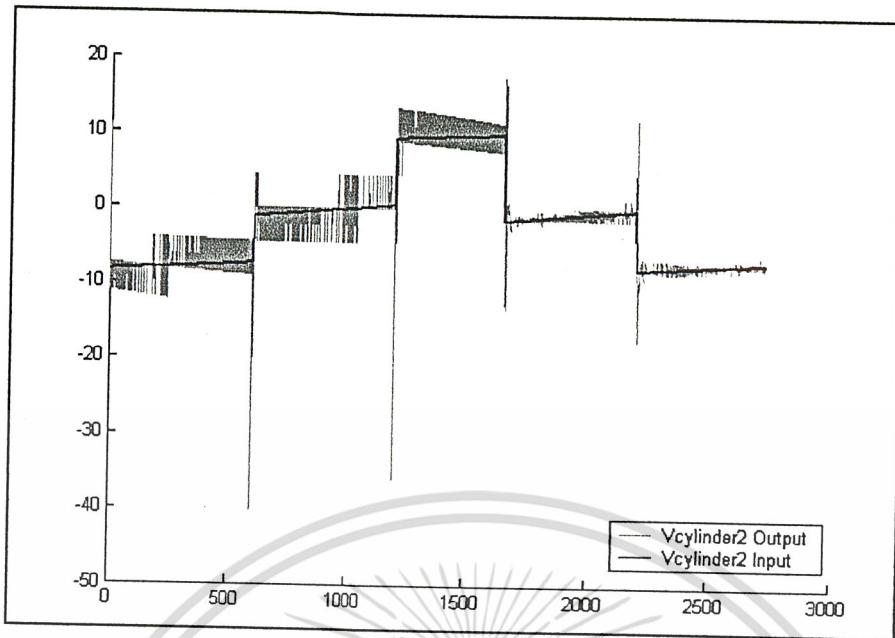


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

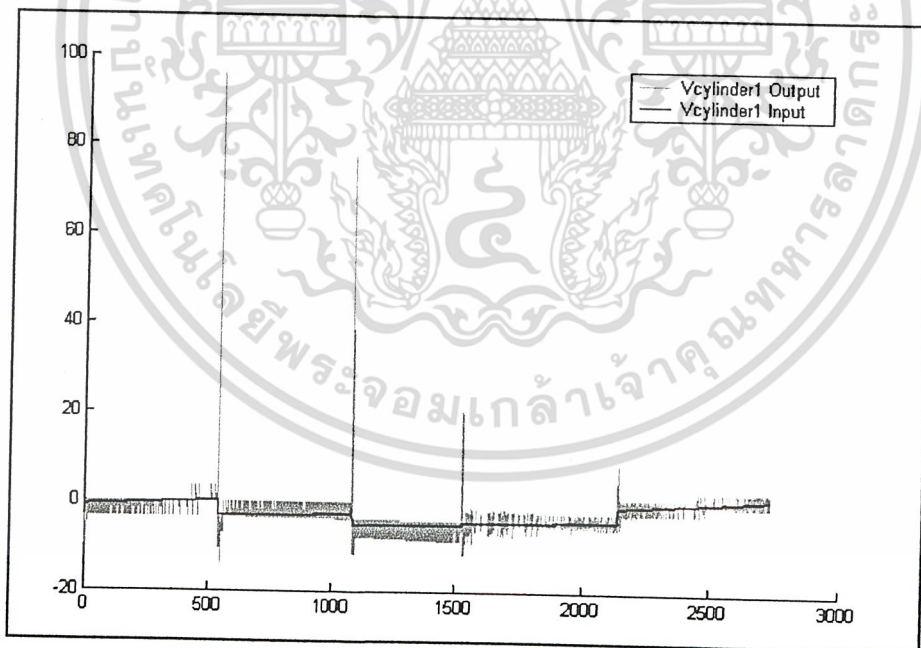


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

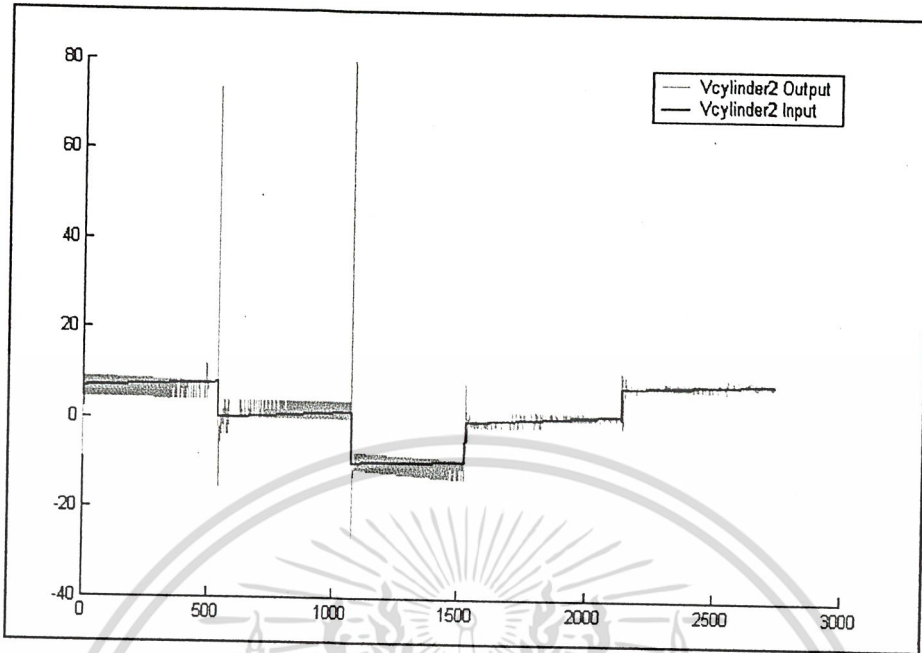


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

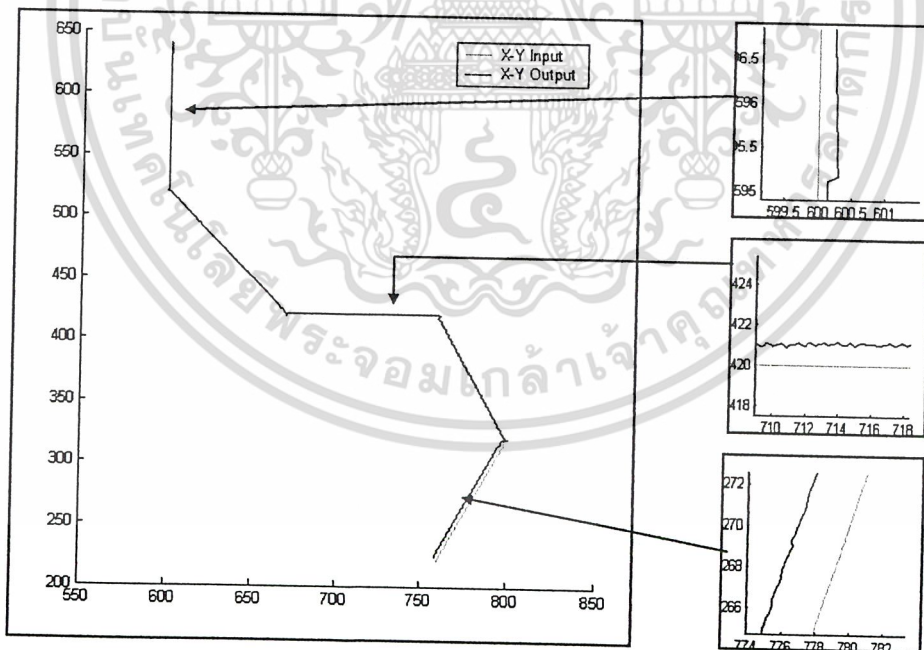


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

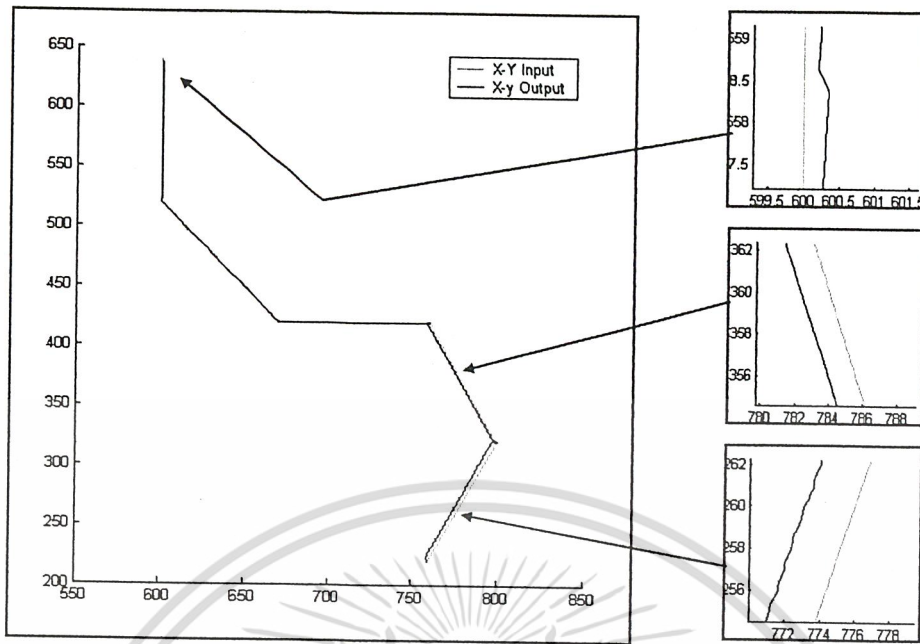


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

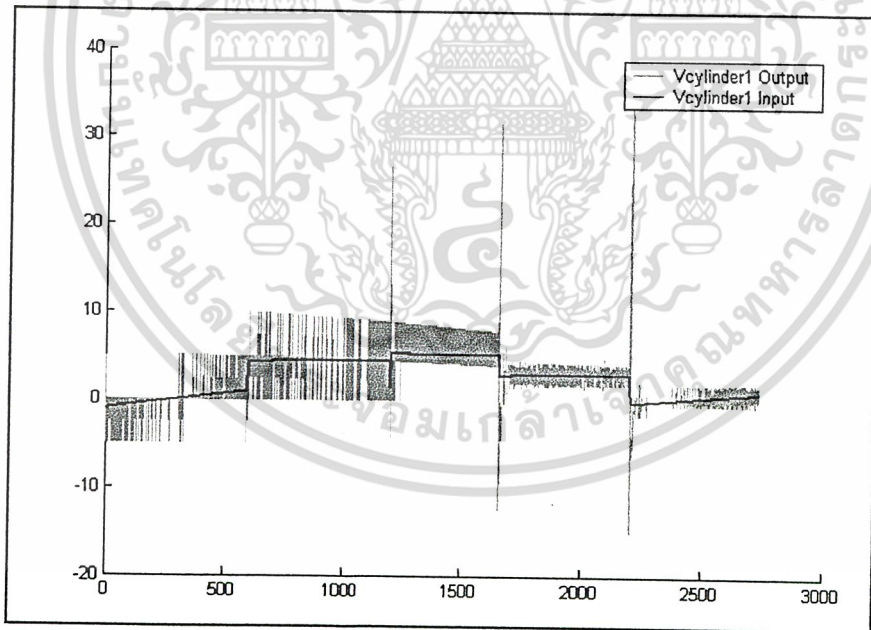


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

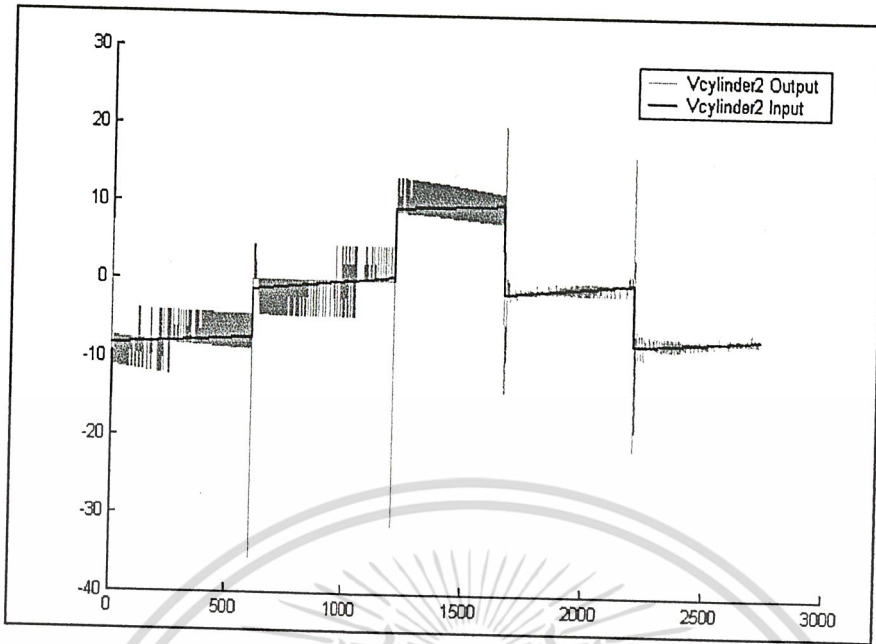


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

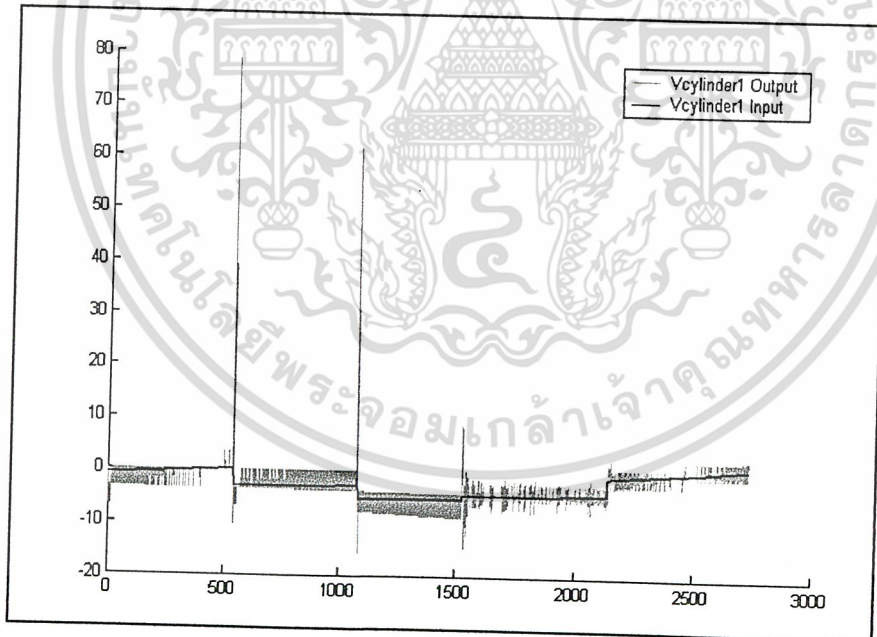


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

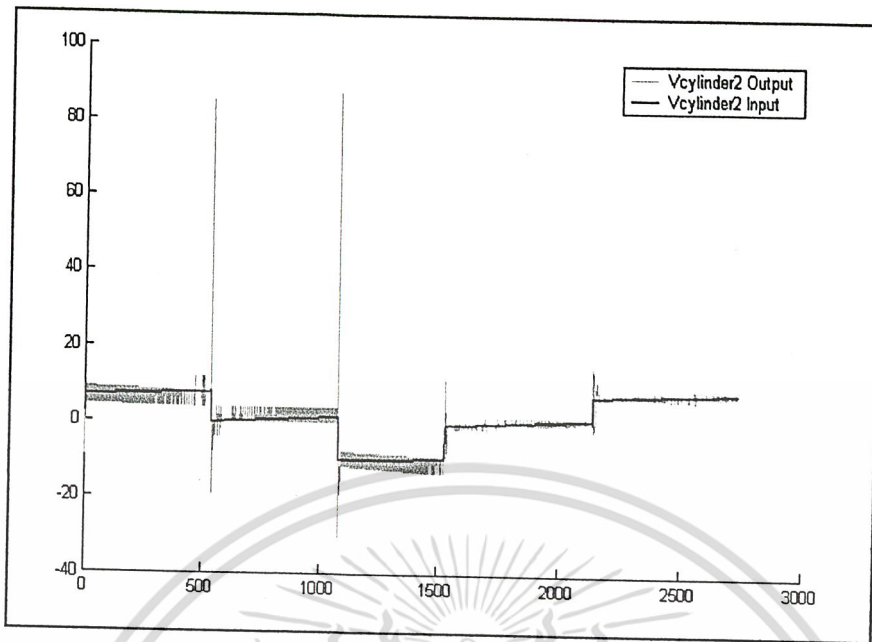


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

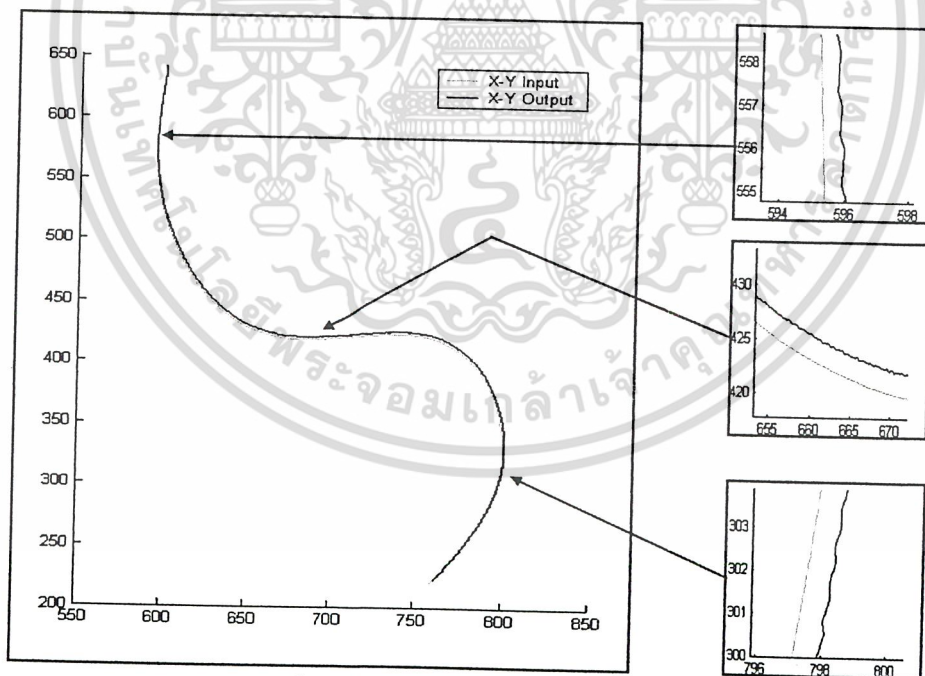


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

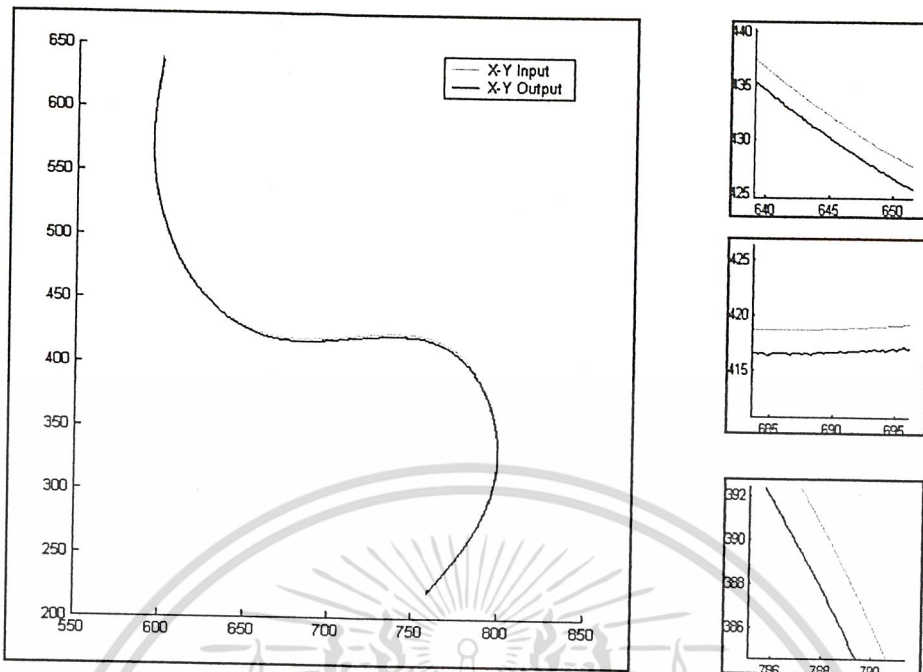


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

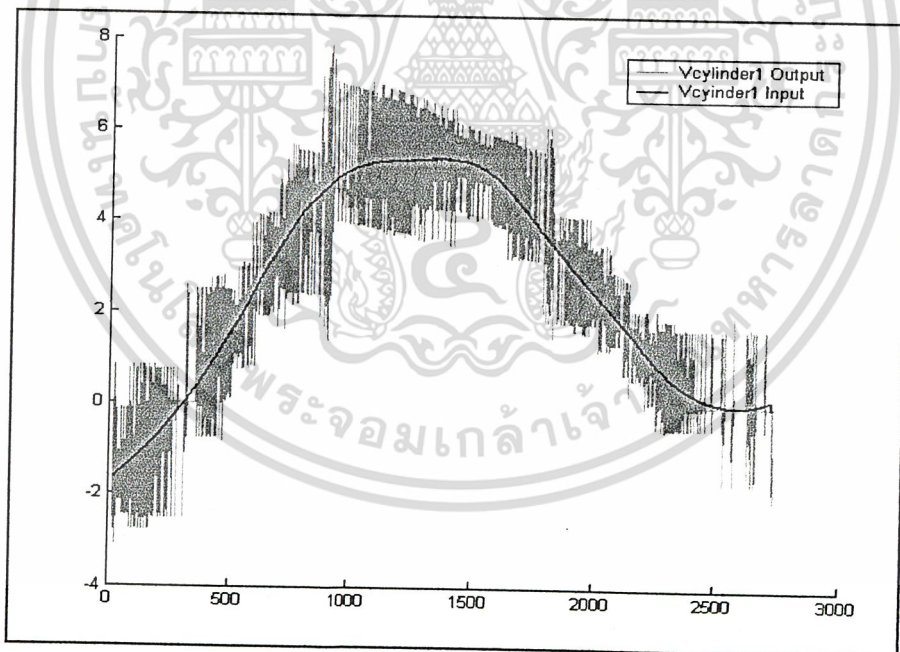


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

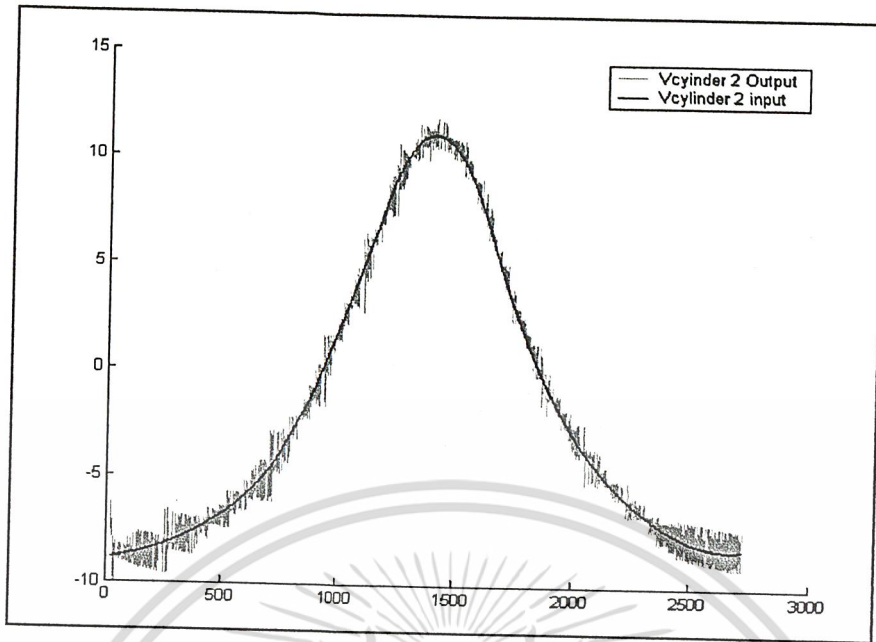


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ

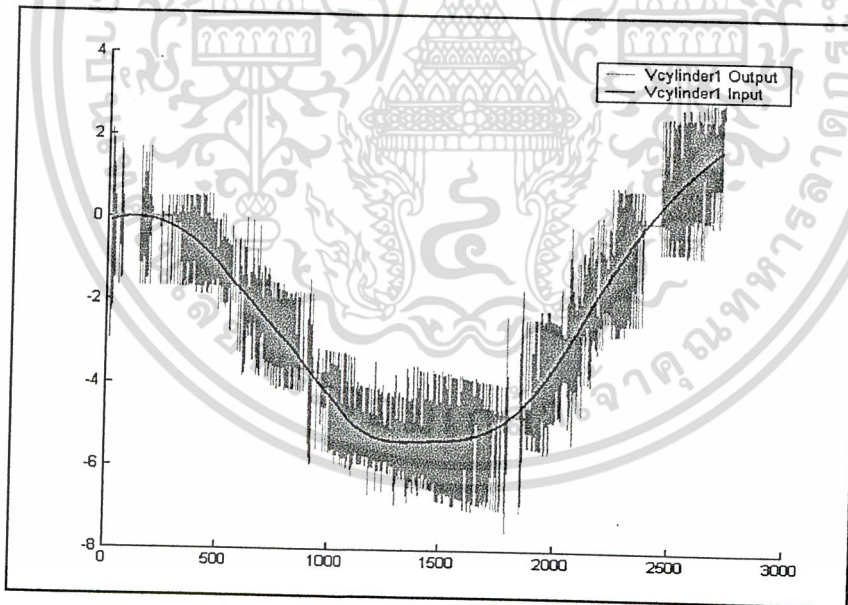


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

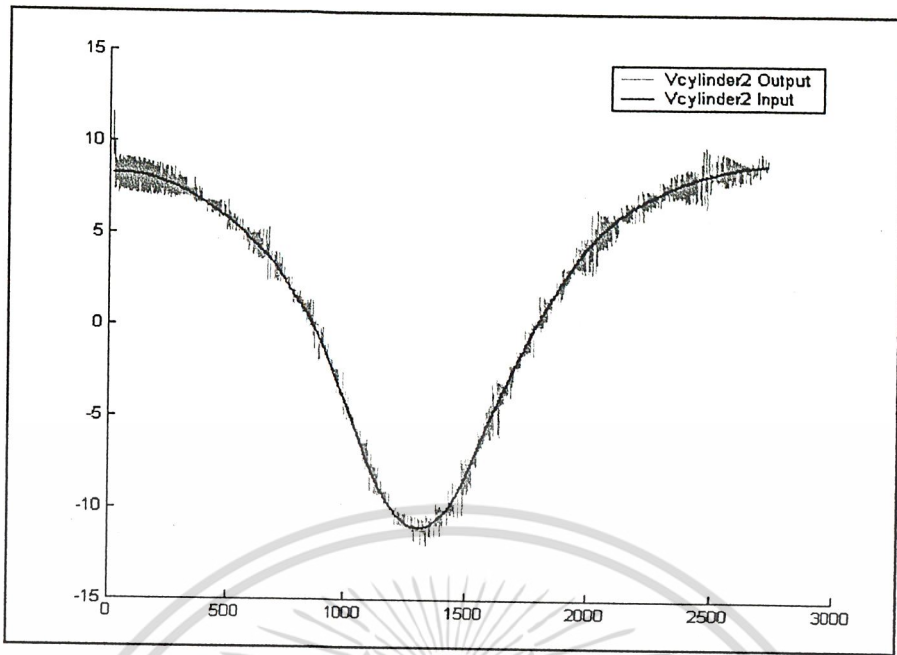


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาวะกระทำ

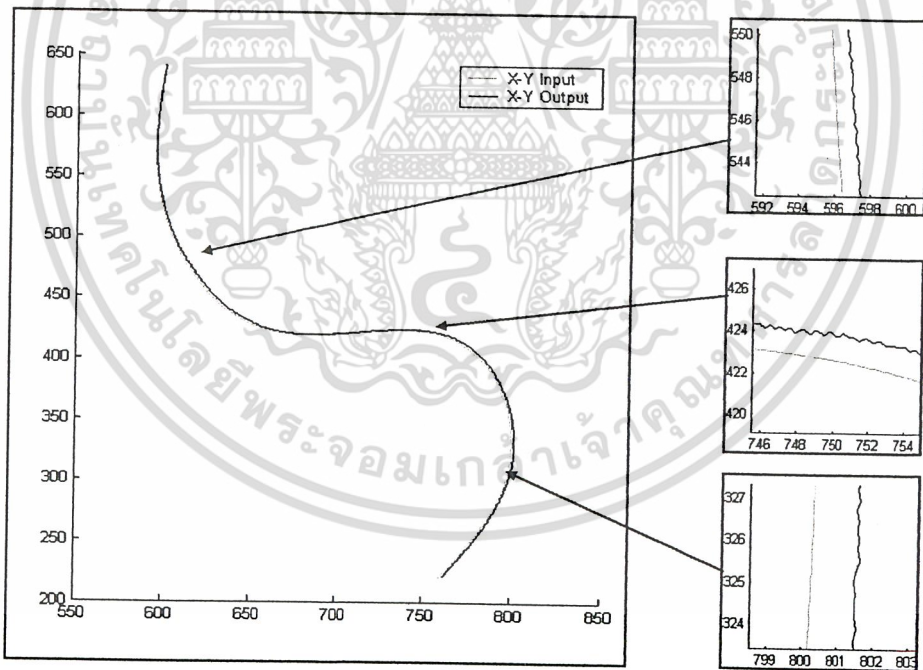


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาวะกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

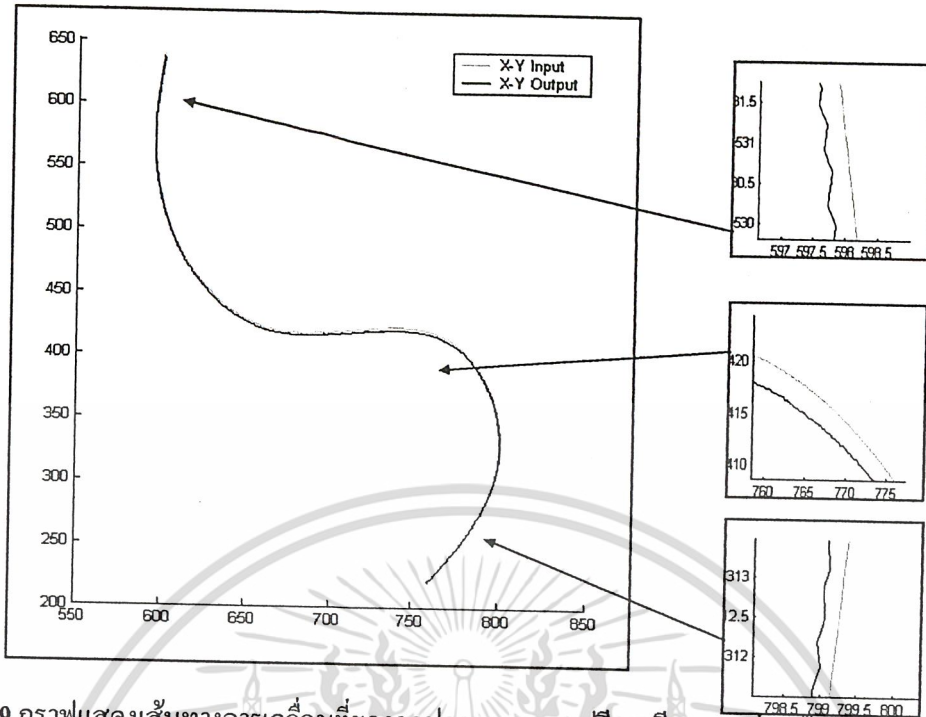


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ไม่มีภาระกระทำ

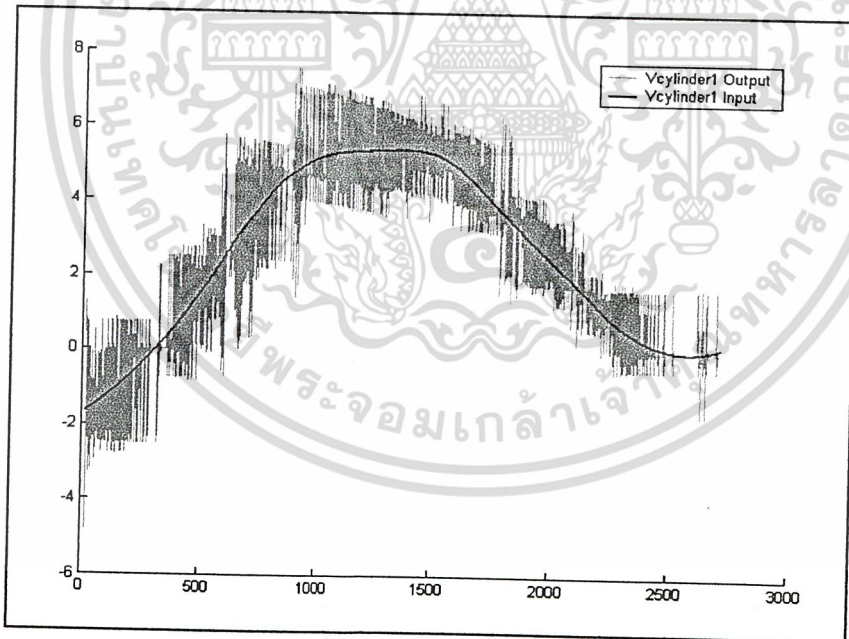


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

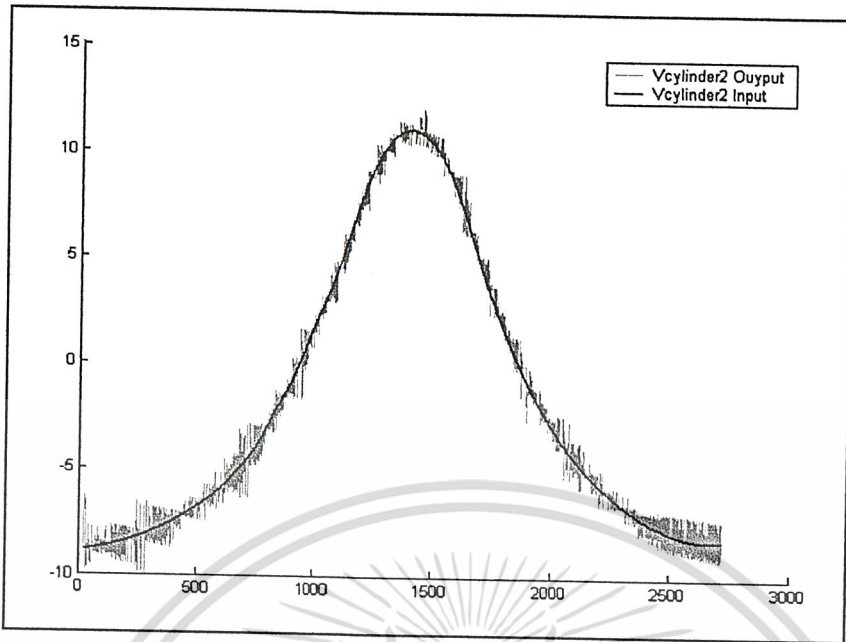


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

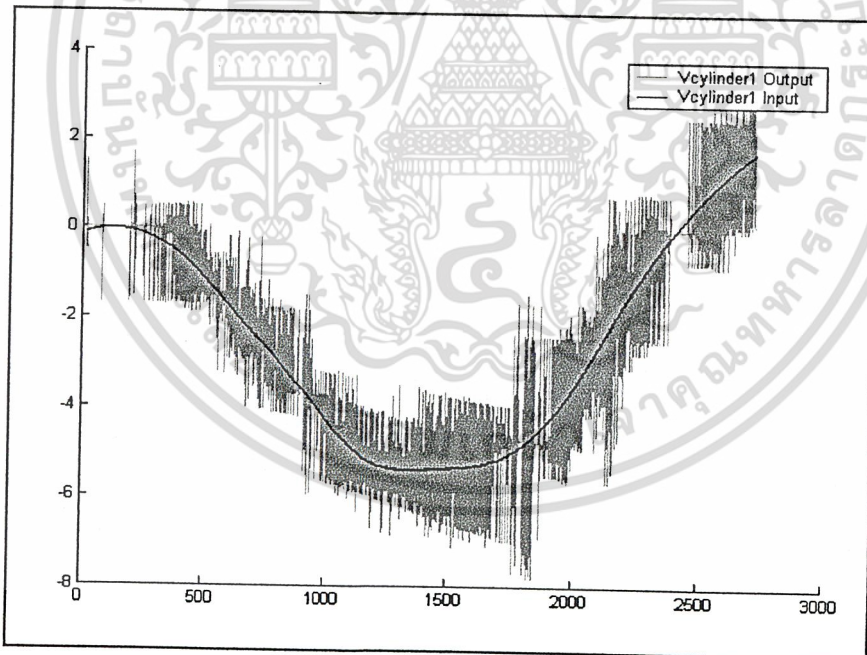


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

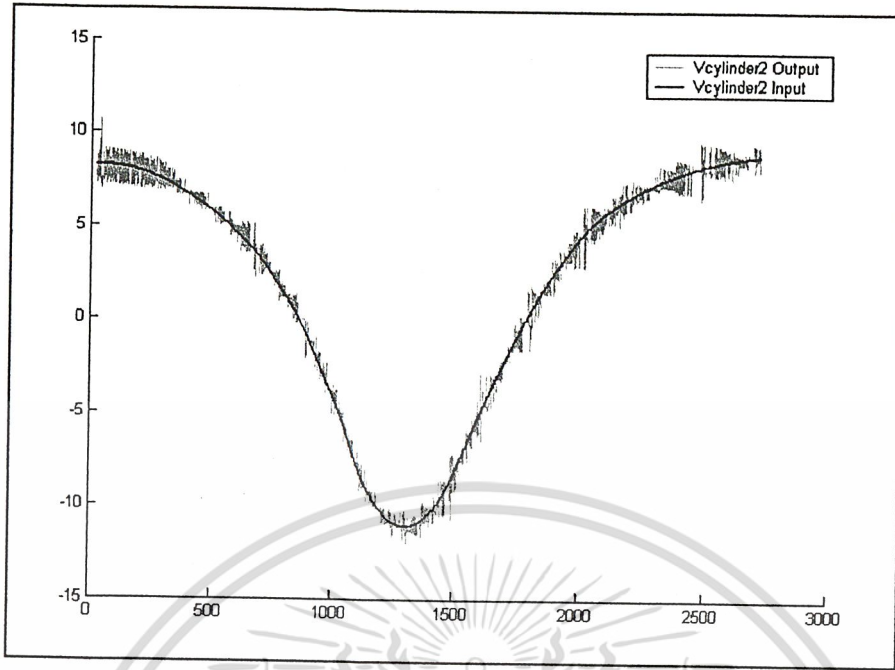


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

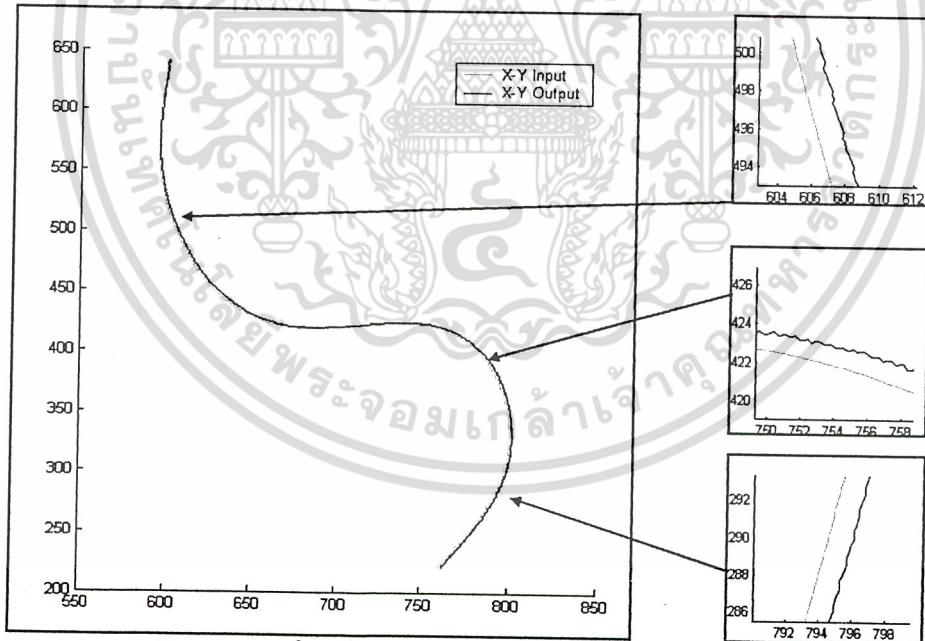


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

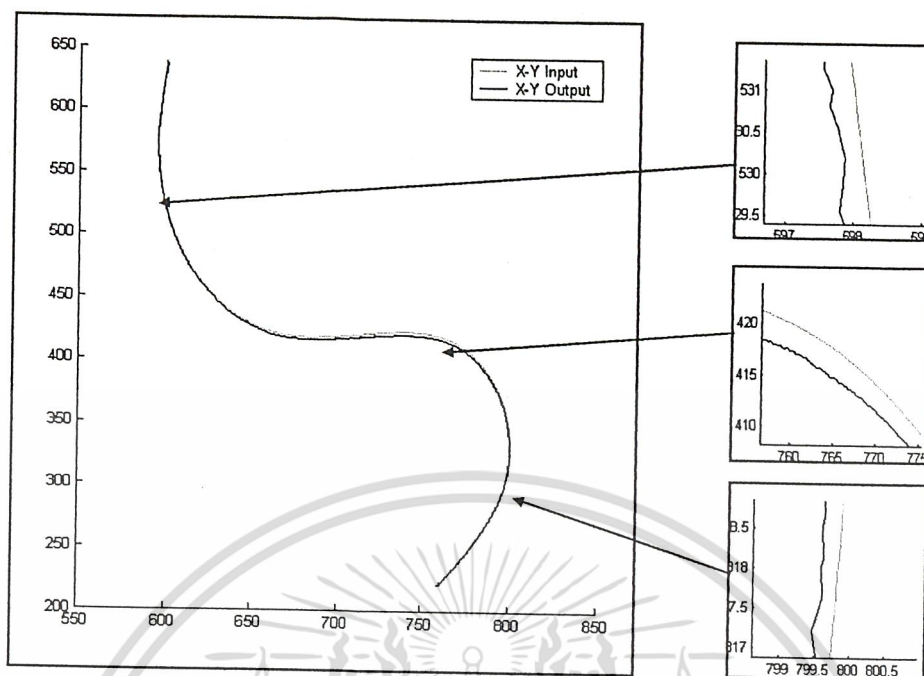


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 20 กิโลกรัม

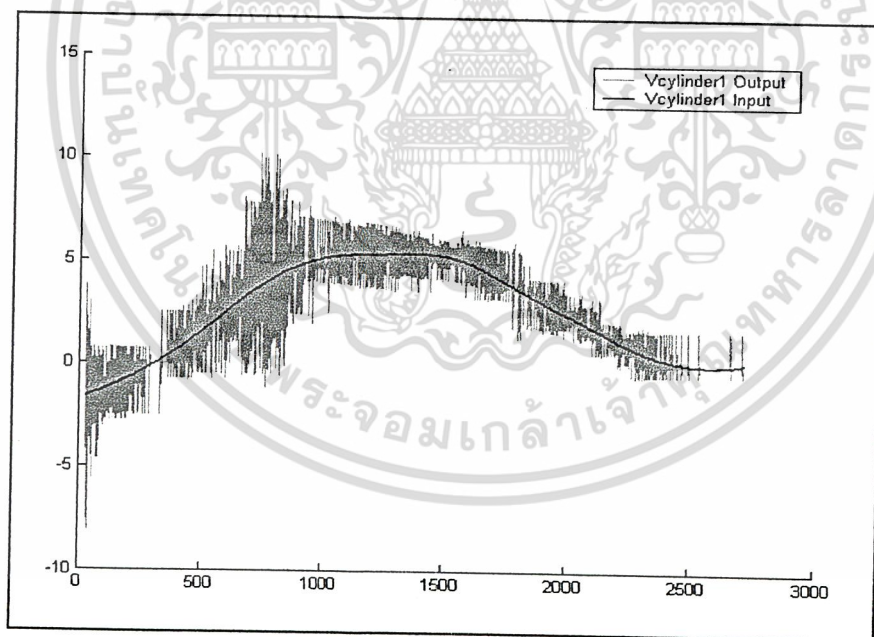


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่สั่งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

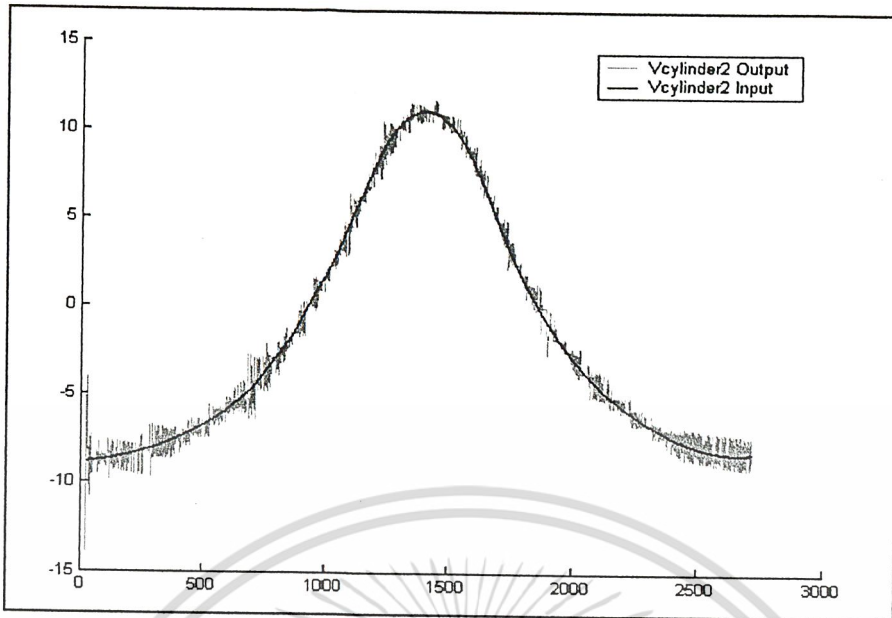


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดปลายแขนกล เปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ตั้งกับเส้นทางจริงที่แขนกลทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไม่มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

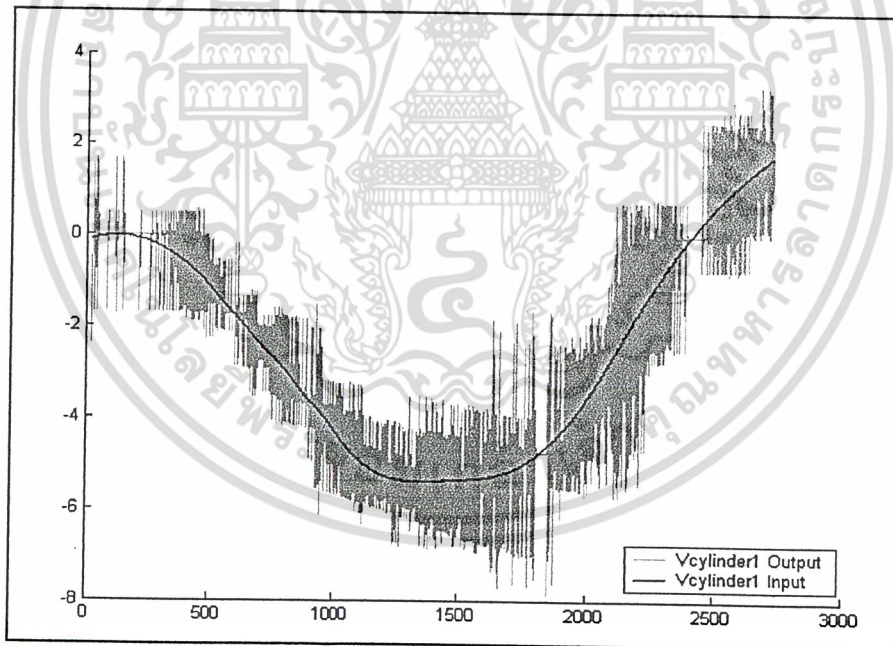


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

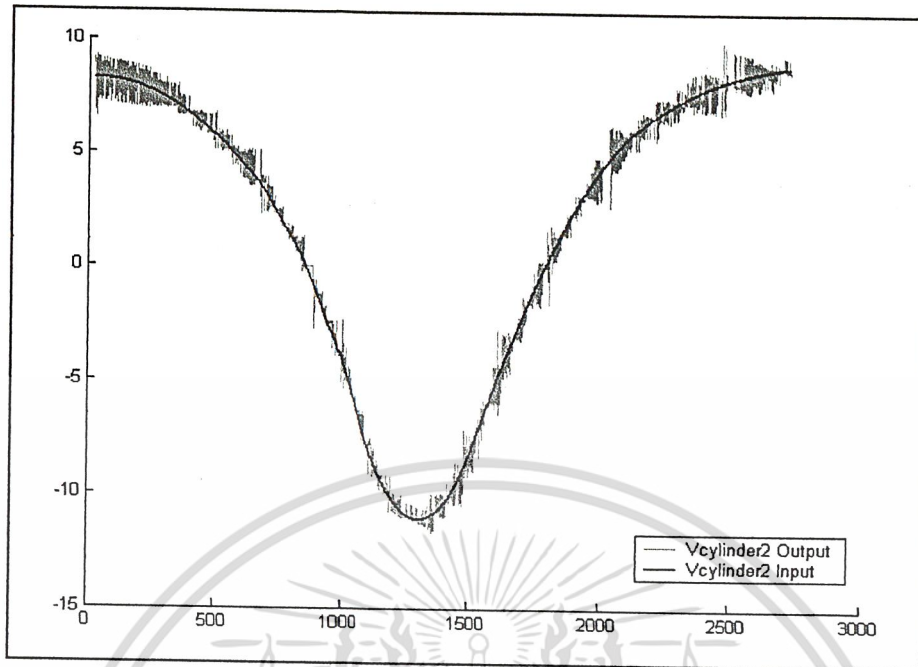


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 1 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่ตั้งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 1 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ 2 กับเวลา เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นที่สั่งกับความเร็วเชิงเส้นจริงที่กระบอกสูบ 2 ทำได้ โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เคลื่อนที่ไปข้างหลัง มีภาระกระทำ 40 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดสะสม

| | ทิศทางการเคลื่อนที่ | ค่าความผิดพลาดสะสม | |
|----|---------------------|--------------------|------------|
| | | Cubic Splines | Linear |
| 0 | Forward | 1,178.4561 | 1,334.6469 |
| | Backward | 1,302.5400 | 1,544.7759 |
| 20 | Forward | 1,304.2954 | 1,429.3506 |
| | Backward | 1,544.0762 | 1,696.0503 |
| 40 | Forward | 1,609.4829 | 1,712.5281 |
| | Backward | 1,869.0527 | 1,964.5569 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟแสดงการเคลื่อนที่ของแขนกลจะสามารถสังเกตได้ ดังนี้

1. เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เส้นกราฟจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเป็นเส้นตรง ทำให้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดที่กำหนดเกิดการเปลี่ยนความชันของเส้นกราฟอย่างกระทันหันเป็นผลให้เกิดการกระตุกของแขนกลอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาถึงความแม่นยำจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่เป็นการเคลื่อนที่จริงนั้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งบ้างแต่ไม่มาก

2. เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม เส้นกราฟจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเป็นเส้นโค้งและมีความต่อเนื่องของความชันตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ ทำให้การเคลื่อนที่ของแขนกลมีความราบเรียบและมีความแม่นยำกว่าการเคลื่อนที่ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบกับเวลา

1. การเคลื่อนที่ของแขนกลโดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง ความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบจะมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วแบบทันทีทันใดทำให้เกิดการสั่นของกระบอบอกสูบ เนื่องจากวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความชันของเส้นทางการเคลื่อนที่
2. การเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรงค่าความเร็วเชิงเส้นจาก โรตารีเอนโคดเดอร์มีการแกว่งของสัญญาณทางไฟฟ้าของกระบอบอกสูบที่ 1 จะมากกว่ากระบอบอกสูบที่ 2
3. การเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสาม ความเร็วเชิงเส้นของกระบอบอกสูบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดทำให้เกิดการสั่นของกระบอบอกสูบน้อยกว่าวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรง เนื่องจากมีความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงความชันของเส้นทางการเคลื่อนที่
4. การเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสามค่าความเร็วเชิงเส้นจาก โรตารีเอนโคดเดอร์มีการแกว่งของสัญญาณทางไฟฟ้าของกระบอบอกสูบที่ 1 จะมากกว่ากระบอบอกสูบที่ 2

จากกราฟแสดงการเคลื่อนที่เมื่อพิจารณาภาระที่แขนกลได้รับ

1. การสั่นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามภาระที่ให้กับแขนกล เมื่อแขนกลรับภาระมากจะเกิดการสั่นของกระบอบอกสูบมากกว่า
2. การเคลื่อนที่ของแขนกล โดยวิธีการประมาณค่าแบบในช่วงกำลังสามจะเกิดการสั่นของแขนกลน้อยกว่าการเคลื่อนที่ โดยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรงเมื่อแขนกล รับภาระเท่าๆกัน

จากตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสะสม

เมื่อพิจารณาภาระที่เพิ่มขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมจะ ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทำให้เห็นได้ว่าระบบมีการปรับปรุงค่าความผิดพลาดและสามารถตอบสนองต่อ การแปรผันของภาระที่เพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี

4.6 สรุปผลการทดลอง

การเคลื่อนที่ตามเส้นทางวิธีการประมาณค่าในช่วงกำลังสามมีความราบเรียบของการเคลื่อนที่มากกว่าด้วยวิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรงและระบบมีความสามารถในการปรับปรุงค่าซึ่งสามารถสังเกตได้จากการทดลองเมื่อให้ภาระน้ำหนักมากขึ้นแต่ค่าความผิดพลาดยังคงแตกต่างกันไม่มากนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, “ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ. 2544
- [2] ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์, “ระบบเซอร์โววาล์วและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.2533
- [3] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ, “กลศาสตร์เครื่องจักรกล”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.2538
- [4] ปราโมทย์ เศษอำไพ, “ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม”, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.2541
- [5] คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์ รศ.ดร.มนัส สัจจวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส
- [6] โปรแกรมภาษาซีและซีพัสส เรียบเรียงโดย ธนัท ชัยยุทธ, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ ศ.ส.อ.
- [7] F.Don Norvelle, “Electrohydraulic Control System”, Prentice-Hall.Inc, 2000
- [8] John J. Craig, “Introduction to Robotics: Mechanics and Control”, 2nd ed.Addison Wesley. Inc, 1989
- [9] H. Asada and J.-J.E.Slotine, “Robot Analysis and Control”, John Willey & Sons. Inc, 1985
- [10] Anthony Esposito, “Fluid Power with Applications”, 5th ed. Prentice-Hall.Inc, 2000
- [11] Katsuhiko Ogata, “Modern Control Engineering”, 2nd ed. Prentice-Hall International. Inc
- [12] Katsuhiko Ogata, “System Dynamics”, 4th ed.Pearson Prentice-Hall. Inc, 2004
- [13] JOHN j.CRAIG, “Introduction to ROBOTICS Mechanics And Control *Second Edition*”, Addison Wesley
- [14] Curtis D.Johnson, “Process Control Instrumentation Technology *Sixth Edition*”, Prentice Hall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/* ENCODER.C */
*****/

/**LS7266 APPLICATION NOTE*/

/**addresses*/

#define BASE 0X240

#define DATA1 BASE+0

#define CONTROL1 BASE+1

#define DATA2 BASE+2

#define CONTROL2 BASE+3

/**LS7266 commands*/

#define CLOCK_DATA 14

#define CLOCK_SETUP 0X98

#define INPUT_SETUP 0XC1

#define QUAD_X1 0XA8

#define QUAD_X2 0XB0

#define QUAD_X4 0XB8

#define BP_RESET 0X01

#define BP_RESETB 0X81

#define CNTR_RESET 0X02

#define CNTR_RESETB 0X82

#define TRSFRPR_CNTR 0X08

#define TRSFR_CNTR_OL 0X90

#define EFLAG_RESET 0X86

/**global variable*/

int init(void)
{
    int fail = 0;

    /**initialize the 7266*/

    outportb(CONTROL1,EFLAG_RESET);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outportb(CONTROL1,BP_RESETB);
outportb(DATA1,CLOCK_DATA);
outportb(CONTROL1,CLOCK_SETUP);
outportb(CONTROL1,INPUT_SETUP);
outportb(CONTROL1,QUAD_X4);
outportb(CONTROL1,CNTR_RESETB);

/**preset value to X-axis preset register*/
outportb(CONTROL1,BP_RESET);
outportb(DATA1,0x12);
outportb(DATA1,0x34);
outportb(DATA1,0x56);

/**read counter back to test it*/
outportb(CONTROL1,TRSFPR_CNTR);
outportb(CONTROL1,TRSFRCNTR_OL);
outportb(CONTROL1,CNTR_RESET);

outportb(CONTROL1,BP_RESET);
if (inportb(DATA1)!=0x12) fail++;
if (inportb(DATA1)!=0x34) fail++;
if (inportb(DATA1)!=0x56) fail++;
if (fail) printf("Axis X counter failed");

/**preset values to Y-axis preset register*/
outportb(CONTROL2,BP_RESET);
outportb(DATA2,0x78);
outportb(DATA2,0x9A);
outportb(DATA2,0xBC);

/**read counter back to test it*/
outportb(CONTROL2,TRSFPR_CNTR);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outportb(CONTROL2,TRSFRCNTR_OL);
    outportb(CONTROL2,CNTR_RESETB);
    outportb(CONTROL2,BP_RESET);
    if (inportb(DATA2)!=0x78) fail++;
    if (inportb(DATA2)!=0x9A) fail++;
    if (inportb(DATA2)!=0xBC) fail++;
    if (fail) printf("\nAxis Y counter failed");
    return fail;
}

long read_position1(void)
{
    long position1;
    outportb(CONTROL1,TRSFRCNTR_OL);
    outportb(CONTROL1,BP_RESET);
    position1 = (long)inportb(DATA1);
    position1+= (long)inportb(DATA1)<<8;
    position1+= (long)inportb(DATA1)<<16;
    return position1;
}

long read_position2(void)
{
    long position2;
    outportb(CONTROL2,TRSFRCNTR_OL);
    outportb(CONTROL2,BP_RESET);
    position2 = (long)inportb(DATA2);
    position2+= (long)inportb(DATA2)<<8;
    position2+= (long)inportb(DATA2)<<16;
    return position2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
/* IO3.C
Subroutine for timer, A/D and D/A */
/*****/

int base=0x220;

void timer_set(float msec)
{
    int n2, n2lb, n2hb;

    outportb(base+3,0xB4); // Select counter2 mode2 LSB-MSB

    n2=(int)(msec*2000.0); // Calculate no. of counts for 2 MZ clock
    n2hb=(int)(n2/256); n2lb=n2-256*n2hb; // Calculate LSB-MSB values of no. of
counts

    outportb(base+2,n2lb); outportb(base+2,n2hb); // Load counter2 no. of counts

/*
    int n1, n2, n1lb, n1hb, n2lb, n2hb;

    n2=20; n1=(int)(msec*100.0);
    outportb(base+3,0x76); outportb(base+3,0xB6); // Set timer 1 & 2
    n1hb=(int)(n1/256); n1lb=n1-256*n1hb;
    n2hb=(int)(n2/256); n2lb=n2-256*n2hb;
    outportb(base+1,n1lb); outportb(base+1,n1hb); // Load timer 1 no. of counts
    outportb(base+2,n2lb); outportb(base+2,n2hb); // Load timer 2 no. of counts */
}

void timer_wait(void)
{
    // Wait by checking latched counts
    unsigned int old_count=65535, c_hb, c_lb, count, flag=1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do
{
    outportb(base+3,128);           // Select counter latch for counter2
    c_lb=inportb(base+2);          // Read LSB value of counts
    c_hb=inportb(base+2);          // Read MSB value of counts
    count=(c_hb*256)+c_lb;         // Calculate no. of counts
    if(count>old_count) flag=0;
    old_count=count;
} while(flag);
// Wait by checking non-latched counts
// Wait by checking counter output
while(inportb(base+2) & 128);     // Check for counter output */
}

int ad(int ch)
{
    int idata;

    // Set AD mode
    outportb(base+11,1);          // Set software trigger program polling
    if(ch<=7) outportb(base+10,16+ch); // Set AD channel
    else outportb(base+10,32+ch);

    outportb(base+9,0);           // Set +-10V.AD
    outportb(base+12,0);          // AD trigger
    while(inportb(base+8)&32);     // Wait for DRDY signal
    idata=inportb(base+4);
    outportb(base+12,0);          // AD trigger
    while(inportb(base+8)&32);     // Wait for DRDY signal
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    idata=inport(base+4);
    return(idata);
}

```

```

/*void da1(float volts)                                     // D/A channel 1
{
    int idata;
    float v_comp;
    float mult=10.0/4095.0;                                // D/A range 0-10 V.
    volts=(volts+10.0)/2.0;                                // convert +-10 V. to 0-10 V.
    // v_comp=0.02067*volts-0.00035;
    // v_comp=0.0;
    volts=volts+v_comp;                                    // compensate for circuit loading
    idata=(int)(volts/mult);
    if(idata<0) idata=0;
    if(idata>4095) idata=4095;
    outport(base+4,-idata);
}

void da2(float volts)                                     // D/A channel 1
{
    int idata;
    float v_comp;
    float mult=10.0/4095.0;                                // D/A range 0-10 V.
    volts=(volts+10.0)/2.0;                                // convert +-10 V. to 0-10 V.
    // v_comp=0.02067*volts-0.00035;
    // v_comp =0.0;
    volts=volts+v_comp;                                    // compensate for circuit loading
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        idata=(int)(volts/mult);
        if(idata<0) idata=0;
        if(idata>4095) idata=4095;
        outport(base+4,-idata);
    } */

```

```

void da1(float volts) // D/A channel 1
{
    int base=0x220;
    int idata;
    float mult=10.0/4095.0; // D/A range 0-10 V.
    volts=(volts+10.0)/2.0; // convert +-10 V. to 0-10 V.
    // v_comp=0.02067*volts-0.00035;
    // volts=volts+v_comp; // compensate for circuit loading
    idata=(int)(volts/mult);
    if(idata<0) idata=0;
    if(idata>4095) idata=4095;
    outport(base+4,-idata);
}

```

```

void da2(float volts) // D/A channel 2
{
    int base=0x220;
    int idata;
    float v_comp;
    float mult=10.0/4095.0;
    volts=volts/2.0; // D/A range 0-10 V.
    volts=(volts+10.0)/2.0; // convert +-10 V. to 0-10 V.
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// v_comp=0.02067*volts-0.00035;
v_comp=0.0;
volts=volts+v_comp; // compensate for circuit loading
idata=(int)(volts/mult);
if(idata<0) idata=0;
if(idata>4095) idata=4095;
outport(base+6,-idata);
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/* LINEAR.CPP
*****/

#include <graphics.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#include <dos.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <fstream.h>

#include "D:\ccc\io3.c"
#include "D:\ccc\encoder.c"

long int point1;
int data_ad,loop,k,ch,color,ans,c,p,q,c1,first,i,j,b,num,
    check,check1,check2,graphdriver,graphmode;
float VT,V1,V2,D1,D2,v,ang3,old1,old2,vang1,vang2,Velo_encoder;
float s,length,Vfix,point,timer,samp=0.01,x,y;
float volt1,volt2,t_samp=10,angold1,angold2,vr1,vr2;
float XY,XYZ1,XYZ2,Vangular1,Vangular2,angold1,angold2;
float VeloA,VeloB,Vangular1,Vangular2,Vcylin1,Vcylin2,Vcylin11,Vcylin22;
float x_new,y_new,x_new2,y_new2,x_old,y_old,pl1_ang1,pl2_ang2;
float en1[10],en2[10],angular1[10],angular2[10],enx[10],eny[10]
    ,a1,a2,a11,a22,e1[25],e2[25];
float plang1[10],plang2[10],z_i,z_r,sum_z,z_err;
float xy_ang1,xy_ang2,xyang1,xyang2,xyang12,xyang22,angpls1,angpls2;
float zeta,delta,dx,dy,check3,check4,a;
const int size=80;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

char str[size];

FILE *fw1,*fw2,*fw3,*fw4,*fw5,*fw6,*fw7,*fw8,*fw9;

float
a1_1,a2_1,a3_1,a4_1,f1_1,f2_1,f3_1,f4_1,b1_1,b2_1,b3_1,b4_1,c1_1,c2_1,c3_1,d1_1,d2_1,d3_1,n1_1,n2_
1,n3_1,n4_1;

float
a1_2,a2_2,a3_2,a4_2,f1_2,f2_2,f3_2,f4_2,b1_2,b2_2,b3_2,b4_2,c1_2,c2_2,c3_2,d1_2,d2_2,d3_2,n1_2,n2_
2,n3_2,n4_2;

float Kp_1,Kp_2,Ki_1,Ki_2,ui_1,ui_2,upi_1,upi_2,err_1,err_2;

void joystick0;
void keyboard0;
float xy_angular1(float x,float y);
float xy_angular2(float x,float y);
float angular_x(float ang1,float ang2);
float angular_y(float ang1,float ang2);
float pulse1_angular1(float pulse);
float pulse2_angular2(float pulse);
float angular1_pulse1(float angular);
float angular2_pulse2(float angular);
float x_y(float x);
float y_x(float y);
float Va_Vang1(float v);
float Vb_Vang2(float v);
float Vang1_Va(float Vang);
float Vang2_Vb(float Vang);
float Vang1_Vcyl1(float ang,float w);
float Vang2_Vcyl2(float ang,float w);
float Valve1(float v);
float Valve2(float v);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main(void)
{
    /***/
    /* Initialize the data acquisition */
    /***/

    da1(-9.0);
    da2(-9.0);

    clrscr();
    getch();

    n1_1=0.1667;n2_1=0.5;n3_1=0.5;n4_1=0.1667; /*Valve1 Butter*/
    f1_1=1.0;f2_1=0.0;f3_1=0.3333;f4_1=0.0;
    a1_1=0;a2_1=0;a3_1=0;b1_1=0;b2_1=0;b3_1=0;

    n1_2=0.0495;n2_2=0.1486;n3_2=0.1486;n4_2=0.0495; /*Valve2 Butter*/
    f1_2=1.0;f2_2=-1.1619;f3_2=0.6959;f4_2=-0.1378;
    a1_2=0;a2_2=0;a3_2=0;b1_2=0;b2_2=0;b3_2=0;
    ui_1=0.0;
    ui_2=0.0;

    fw1=fopen("d:\\linr40\\Fc1i.txt","w+");
    fw2=fopen("d:\\linr40\\Fc2i.txt","w+");
    fw3=fopen("d:\\linr40\\Fc1r.txt","w+");
    fw4=fopen("d:\\linr40\\Fc2r.txt","w+");
    fw5=fopen("d:\\linr40\\Bc1i.txt","w+");
    fw6=fopen("d:\\linr40\\Bc2i.txt","w+");
    fw7=fopen("d:\\linr40\\Bc1r.txt","w+");
    fw8=fopen("d:\\linr40\\Bc2r.txt","w+");
    fw9=fopen("d:\\linr40\\sum_err.txt","w+");

    textbackground(0);
    timer_set(t_samp);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

color=1+random(14);
textcolor(color);
gotoxy(25,10);
printf("\nEnter number of point = ");
scanf("%d",&num);
init();
for (p=1;p<=num;p++)
{
ans=0;
do
{
clrscr();
gotoxy(25,5);
randomize();
color=1+random(14);
textcolor(color);
printf("Please select input %d by\n",p);
gotoxy(27,7);
printf(" 1.Joystick\n");
gotoxy(27,9);
printf(" 2.Keyboard\n");
scanf("%d",&ans);
}
while((ans!=1)&&(ans!=2));
if (ans==1)
joystick();
if (ans==2)
keyboard();
}
clrscr();
for( i=1;i<=num;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("\n\t\tX%d = %f\tY%d = %f\n",i,exx[i],i,eny[i]);
getch();
randomize();
color=1+random(14);
textcolor(color);
da1(-9.9);
da2(-9.9);
clrscr();
gotoxy(20,6);
cprintf("Enter number of loop = ");
scanf("%d",&loop);
gotoxy(20,8);
cprintf("Enter velocity (mm/s) = ");
scanf("%f",&Vfix);
gotoxy(15,12);
cprintf("Enter Kp1 = ");
scanf("%f",&Kp_1);
gotoxy(35,12);
cprintf("Enter Ki1 = ");
scanf("%f",&Ki_1);
gotoxy(15,14);
cprintf("Enter Kp2 = ");
scanf("%f",&Kp_2);
gotoxy(35,14);
cprintf("Enter Ki2 = ");
scanf("%f",&Ki_2);
gotoxy(22,16);
printf("!!!!!!wait!!!!!!\n");
getch();
angold1=1.745329252;
angold2=1.553343034;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (j=1;j<=loop;j++)
{
b=num;
for (i=1;i<=num;i++)
{
en1[i]=enx[i];
en2[i]=eny[i];
}
check=1;
check1=1;
check2=1;
sum_z=0.0;
graphdriver=DETECT;
initgraph(&graphdriver,&graphmode,"c:\\tc\\bgi");
cleardevice();
setcolor(15);
rectangle(145,0,495,460);
for(i=1;i<=23;i++)
{
line(145,i*20,150,i*20);
line(495,i*20,490,i*20);
}
for(i=1;i<=17;i++)
{
line(140+i*20,0,140+i*20,5);
line(140+i*20,455,140+i*20,460);
}
for(i=0;i<=2;i++)
{
line(220+i*100,460,220+i*100,450);
line(220+i*100,0,220+i*100,10);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    for(i=1;i<=4;i++)
    {
        line(145,i*100,155,i*100);
        line(495,i*100,485,i*100);
    }

    setcolor(4);

    outtextxy(115,397,"200");
    outtextxy(115,297,"300");
    outtextxy(115,197,"400");
    outtextxy(115,97,"500");
    outtextxy(208,468,"600");
    outtextxy(308,468,"700");
    outtextxy(408,468,"800");
    setcolor(9);
    outtextxy(508,468,"X (mm)");
    outtextxy(92,0,"Y (mm)");
    setcolor(11);
    outtextxy(520,30,"__");
    outtextxy(540,33," Input");
    setcolor(13);
    outtextxy(520,60,"__");
    outtextxy(540,63," Output");

do
{
    xy_ang1=xy_angular1(en1[1],en2[1]);
    xy_ang2=xy_angular2(en1[1],en2[1]);
    angpls1=angular1_pulse1(xy_ang1);
    angpls2=angular2_pulse2(xy_ang2);
    a2=read_position2();
    a22=a2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(a22<angpls2)
{
    if (check2==1)
        da2(5.0);
}
if(a22>angpls2)
{
    if (check2==1)
        da2(-5.0);
}
if(a22==angpls2)
{
    da2(0.0);
    check2=0;
}
a1=16777216.0-read_position10;
a11=a1;
if (a11==16777216.0)
    a11=0;
if(a11<angpls1)
{
    if (check1==1)
        da1(5.0);
}
if(a11>angpls1)
{
    if (check1==1)
        da1(-5.0);
}
if(a11==angpls1)
{

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

da1(0.875);
check1=0;
}
pl1_ang1=pulse1_angular1(a11);
pl2_ang2=pulse2_angular2(a22);
x=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
y=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
}
while((check1==1)||(check2==1));
da1(0.875);
da2(0.0);
for (i=1;i<num;i++)
{
length=sqrt((en1[i+1]-en1[i])*(en1[i+1]-en1[i])
+(en2[i+1]-en2[i])*(en2[i+1]-en2[i]));
timer=length/Vfix;
point=timer/samp;
x_old=en1[i];
y_old=en2[i];
k=0;
ui_1=0.0;
ui_2=0.0;
check1=1;
check2=1;
xy_ang1=xy_angular1(en1[i+1],en2[i+1]);
xy_ang2=xy_angular2(en1[i+1],en2[i+1]);
angpls1=angular1_pulse1(xy_ang1);
angpls2=angular2_pulse2(xy_ang2);
zeta=acos((en1[i+1]-en1[i])/sqrt((en1[i+1]-en1[i])
*(en1[i+1]-en1[i])+(en2[i+1]-en2[i])*(en2[i+1]-en2[i]))));
dy=(en2[i+1]-en2[i])/point;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dx=(en1[i+1]-en1[i])/point;
if((zeta>=(3.141592654/4.0))&&(zeta<=(3.0*3.141592654/4.0)))
delta=dy;
else
delta=dx;
do
{
if((zeta>=(3.141592654/4.0))&&(zeta<=(3.0*3.141592654/4.0)))
{
y_new=en2[i]+k*dy;
x_new=y_x(y_new);
}
else
{
x_new=en1[i]+k*dx;
y_new=x_y(x_new);
}
xyang1=xy_angular1(x_new,y_new);
xyang2=xy_angular2(x_new,y_new);
Vangular1=(xyang1-angold1)/samp;
Vangular2=(xyang2-angold2)/samp;
Vcylin1=Vang1_Vcyl1(Vangular1,xyang1);
Vcylin2=Vang2_Vcyl2(Vangular2,xyang2);
a1=16777216.0-read_position10;
if (a1==16777216.0)
a1=0;
a1=a1;
a2=read_position20;
a2=a2;
pl1_ang1=pulse1_angular1(a1);
pl2_ang2=pulse2_angular2(a2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vangular11=(p11_ang1-angold11)/samp;
Vangular22=(p12_ang2-angold22)/samp;
Vcylin11=Vang1_Vcyl1(Vangular11,p11_ang1);
Vcylin22=Vang2_Vcyl2(Vangular22,p12_ang2);
if(Vcylin11>100.0)
    Vcylin11=Vcylin1;
if(Vcylin11<-100.0)
    Vcylin11=Vcylin1;
if(Vcylin22>100.0)
    Vcylin22=Vcylin2;
if(Vcylin22<-100.0)
    Vcylin22=Vcylin2;
a4_1=Vcylin11;
if(i>=4)
{
    b4_1=(n4_1*a1_1+n3_1*a2_1+n2_1*a3_1+n1_1*a4_1-f4_1*b1_1-f3_1
        *b2_1-f2_1*b3_1)/f1_1;
    Vcylin11=b4_1;
    c3_1=a4_1;c2_1=a3_1;c1_1=a2_1;
    a3_1=c3_1;a2_1=c2_1;a1_1=c1_1;
    d3_1=b4_1;d2_1=b3_1;d1_1=b2_1;
    b3_1=d3_1;b2_1=d2_1;b1_1=d1_1;
}
err_1=Vcylin1-Vcylin11;
ui_1=ui_1+Ki_1*err_1*t_samp*0.001;
upi_1=ui_1+Kp_1*err_1;
a4_2=Vcylin22;
if(i>=4)
{
    b4_2=(n4_2*a1_2+n3_2*a2_2+n2_2*a3_2+n1_2*a4_2-f4_2*b1_2-f3_2
        *b2_2-f2_2*b3_2)/f1_2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vcylin2=b4_2;
c3_2=a4_2;c2_2=a3_2;c1_2=a2_2;
a3_2=c3_2;a2_2=c2_2;a1_2=c1_2;
d3_2=b4_2;d2_2=b3_2;d1_2=b2_2;
b3_2=d3_2;b2_2=d2_2;b1_2=d1_2;
}
err_2=Vcylin2-Vcylin22;
ui_2=ui_2+Ki_2*err_2*t_samp*0.001;
upi_2=ui_2+Kp_2*err_2;
volt1=Valve1(upi_1);
volt2=Valve2(upi_2);
da1(volt1);
da2(volt2);
x=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
y=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
angold1=xyang1;
angold2=xyang2;
angold11=pl1_ang1;
angold22=pl2_ang2;
z_i=sqrt(x_new*x_new+y_new*y_new);
z_r=sqrt(x*x+y*y);
z_err=(z_i-z_r);
if(z_err>=0.0)
    sum_z=sum_z+z_err;
else
    sum_z=sum_z-z_err;
k=k+1;
if(j==1)
{
    fprintf(fw1,"%12.8f\n",x_new);
    fprintf(fw2,"%12.8f\n",y_new);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        fprintf(fw3,"%12.8f\n",x);
        fprintf(fw4,"%12.8f\n",y);
    }
    if(j==2)
    {
        fprintf(fw5,"%12.8f\n",x_new);
        fprintf(fw6,"%12.8f\n",y_new);
        fprintf(fw7,"%12.8f\n",x);
        fprintf(fw8,"%12.8f\n",y);
    }
    if(check==1)
    {
        setcolor(3);
        moveto((int)(x_new-380.0),(int)(669.0-y_new));
        setcolor(5);
        moveto((int)(x-380.0),(int)(669.0-y));
    }
    else
    if(q<point)
    {
        setcolor(3);
        lineto((int)(x_new-380.0),(int)(669.0-y_new));
        setcolor(5);
        lineto((int)(x-380.0),(int)(669.0-y));
    }
    check=0;
    timer_wait(0);
}
while(k<point);
check1=1;
check2=1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do
{
xy_ang1=xy_angular1(en1[i+1],en2[i+1]);
xy_ang2=xy_angular2(en1[i+1],en2[i+1]);
angpls1=angular1_pulse1(xy_ang1);
angpls2=angular2_pulse2(xy_ang2);
a2=read_position2();
a22=a2;
if(a22<angpls2)
{
if(check2==1)
da2(3.75);
}
if(a22>angpls2)
{
if(check2==1)
da2(-3.75);
}
if(a22==angpls2)
{
da2(0.0);
check2=0;
}
a1=16777216.0-read_position1();
a11=a1;
if(a11==16777216.0)
a11=0;
if(a11<angpls1)
{
if(check1==1)
da1(3.75);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    if(a11>angpls1)
    {
        if(check1==1)
            da1(-3.75);
    }
    if(a11==angpls1)
    {
        da1(0.875);
        check1=0;
    }

}
while((check1==1)||(check2==1));
da1(0.875);
da2(0.0);
}
fprintf(fw9,"z%d = %10.4fn",j,sum_z);
}
fclose(fw1);fclose(fw2);fclose(fw3);fclose(fw4);fclose(fw5);
fclose(fw6);fclose(fw7);fclose(fw8);fclose(fw9);
da1(4.0);
da2(-4.0);
}
void joystick()
{
    int m,color1;
    float en,v1,v2;
    clrscr();
    for(m=4;m<=22;m++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

e1[m]=0.0;
e2[m]=0.0;
}
color=1+random(14);
color1=1+random(14);
do
{
    /****joystick1 input channal4***/
    data_ad=ad(2);
    /****convert 10 V to +-10V***/
    D1=data_ad;
    V1=(D1-16384.0)/1638.4;
    /****Protect Over Volt***/
    if(V1>9.9)
    {V1=9.9;}
    if(V1<-9.9)
    {V1=-9.9;}
    XYZ1=V1;
    timer_wait(0);
    /****joystick2 input channal3***/
    data_ad=ad(3);
    /****convert 10 V to +-10V***/
    D2=data_ad;
    V2=(D2-16384.0)/1638.4;
    /****Protect Over Volt***/
    if(V2>9.9)
    {V2=9.9;}
    if(V2<-9.9)
    {V2=-9.9;}
    XYZ2=V2;
    da1(XYZ1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

da2(XYZ2);
timer_wait();
e1[22]=16777216.0-read_position1();
if(e1[22]==16777216.0)
    e1[22]=0;
e2[22]=read_position2();
gotoxy(25,2);
textcolor(color1|BLINK);
cprintf("Press 'Enter Botton' to correct point");
textcolor(color);
for(m=4;m<22;m++)
{
    e1[m]=e1[m+1];
    e2[m]=e2[m+1];
}
for(m=4;m<=22;m++)
{
    gotoxy(20,m);
    pl1_ang1=pulse1_angular1(e1[m]);
    pl2_ang2=pulse2_angular2(e2[m]);
    x=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
    y=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
    printf("X = %ftY = %fn",x,y);
}
}
while(!kbhit());

    //*****encoder*****/
en=16777216.0-read_position1();
v1=en;
if(v1==16777216.0)
    v1=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

v2=read_position20;
pl1_ang1=pulse1_angular1(v1);
pl2_ang2=pulse2_angular2(v2);
enx[p]=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
eny[p]=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
gotoxy(20,24);
color=1+random(14);
textcolor(color);
printf("          X = %f\tY = %f",enx[p],eny[p]);
getch();
}
void keyboard()
{
int check;
float o1,o2,o3,o4;
check=0;
do
{
clrscr();
gotoxy(20,5);
color=1+random(14);
textcolor(color);
cprintf("Enter X%d = ",p);
scanf("%f",&enx[p]);
gotoxy(20,7);
cprintf("Enter Y%d = ",p);
scanf("%f",&eny[p]);
plang1[p]=xy_angular1(enx[p],eny[p]);
plang2[p]=xy_angular2(enx[p],eny[p]);
o1=1.745329;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

o2=2.450879;
o3=1.553343;
o4=2.258839;
if((plang1[p]>=o1)&&(plang1[p]<=o2)&&(plang2[p]>=o3)&&(plang2[p]<=o4))
    check=1;
if (check==0)
    printf("\nOut of Range");
}
while(check==0);
cprintf("\n(x = %f,y = %f)\n",enx[p],eny[p]);
getch();
}
float xy_angular1(float x,float y)
{
    float angu1,xx,xxx;
    xx=x/sqrt(x*x+y*y);
    xxx=(400.0*400.0-615.0*615.0-x*x-y*y)/(-2.0)/615.0/sqrt(x*x+y*y);
    angu1=3.141592654-acos(xxx)-acos(xx);
    return(angu1);
}
float xy_angular2(float x,float y)
{
    float angu2,xx,xxx,xxxx;
    xxx=(400.0*400.0-615.0*615.0-x*x-y*y)/(-2.0)/615.0/sqrt(x*x+y*y);
    xxxx=(615.0*615.0-400.0*400.0-x*x-y*y)/(-2.0)/400.0/sqrt(x*x+y*y);
    angu2=3.141592654-acos(xxx)-acos(xxxx);
    return(angu2);
}
float angular_x(float ang1,float ang2)
{
    float x;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=(400.0*cos(ang1-ang2))-(615.0*cos(ang1));
return(x);
}
float angular_y(float ang1,float ang2)
{
float y,checkang;
checkang=ang1-ang2;
if (checkang>=0)
y=615.0*sin(ang1)-(400.0*sin(ang1-ang2));
else
y=(400.0*sin(ang2-ang1))+615.0*sin(ang1);
return(y);
}
float angular1_pulse1(float angular)
{
float pulse1;
int check;
pulse1=(angular-(100.0/180.0*3.141592654))*12000.0/3.141596254;
check=pulse1;
if((pulse1-check)>=0.5)
pulse1=check+1;
else
pulse1=check;
return(pulse1);
}
float angular2_pulse2(float angular)
{
float pulse2;
int check;
pulse2=(angular-(89.0/180.0*3.141592654))*12000.0/3.141596254;
check=pulse2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if((pulse2-check)>=0.5)
    pulse2=check+1;
    else
    pulse2=check;
    return(pulse2);
}
float pulse1_angular1(float pulse)
{
    float angular1;
    angular1=(pulse/12000.0*3.141596254)+(100.0/180.0*3.141592654);
    return(angular1);
}
float pulse2_angular2(float pulse)
{
    float angular2;
    angular2=(pulse/12000.0*3.141596254)+(89.0/180.0*3.141592654);
    return(angular2);
}
float x_y(float x)
{
    float y;
    y=en1[i]+(x-en1[i])*(en2[i+1]-en2[i])/(en1[i+1]-en1[i]);
    return(y);
}
float y_x(float y)
{
    float x;
    x=en1[i]+(y-en2[i])*(en1[i+1]-en1[i])/(en2[i+1]-en2[i]);
    return(x);
}
float Va_Vang1(float va)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    float Vang;
    Vang=va/615.0;
    return(Vang);
}

```

```
float Vb_Vang2(float vb)
```

```

{
    float Vang;
    Vang=vb/400.0;
    return(Vang);
}

```

```
float Vang1_Va(float Vang)
```

```

{
    float Va;
    Va=Vang*615.0;
    return(Va);
}

```

```
float Vang2_Vb(float Vang)
```

```

{
    float Vb;
    Vb=Vang*400.0;
    return(Vb);
}

```

```
float Vang1_Vcyl1(float ang,float w)
```

```

{
    float Vcyl;
    Vcyl=310.0*350.0*sin(w)*ang/
        sqrt(350.0*350.0+310.0*310.0-2.0*350.0*310.0*cos(w));
    return(Vcyl);
}

```

```
float Vang2_Vcyl2(float ang,float w)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    float Vcyl;
    Vcyl=480.0*200.0*sin(w)*ang/
        sqrt(480.0*480.0+200.0*200.0-2.0*480.0*200.0*cos(w));
    return(Vcyl);
}
float Valve1(float vaa)
{
    int o;
    float a;
    float volt1[41]={9.9,9.5,9.0,8.5,8.0,7.5,7.0,6.5,6.0,5.5,5.0,4.5,4.0,3.5,
        3.0,2.5,2.0,1.5,1.0,0.5,0.0,-0.5,-1.0,-1.5,-2.0,-2.5,-3.0,
        -3.5,-4.0,-4.5,-5.0,-5.5,-6.0,-6.5,-7.0,-7.5,-8.0,-8.5,
        -9.0,-9.5,-9.9};
    float velo1[41]={30.14555,29.15946,27.88996,26.55202,25.14724,23.79418,
        22.33571,20.86119,19.43838,17.84543,16.20102,14.38185,
        12.53811,9.431645,8.707015,5.053837,3.454148,2.162445,
        0.488209,-0.84659,-2.66151,-3.04909,-4.16201,-5.56647,
        -6.46385,-7.6068,-8.46721,-9.63797,-10.7161,-12.3742,
        -14.1772,-15.9159,-16.8582,-17.4477,-19.431,-20.4546,
        -21.9204,-24.1807,-25.1698,-26.962,-27.1517};
    for (o=1;o<41;o++)
        if((vaa<=velo1[o] && (vaa>velo1[o+1]))
            a=volt1[o+1]+(vaa-velo1[o+1])/(velo1[o]-velo1[o+1])*(volt1[o]-volt1[o+1]);
    return(a);
}
float Valve2(float vbb)
{
    int l;
    float a;
    float volt2[41]={9.9,9.5,9.0,8.5,8.0,7.5,7.0,6.5,6.0,5.5,5.0,4.5,4.0,3.5,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
3.0,2.5,2.0,1.5,1.0,0.5,0.0,-0.5,-1.0,-1.5,-2.0,-2.5,-3.0,  
-3.5,-4.0,-4.5,-5.0,-5.5,-6.0,-6.5,-7.0,-7.5,-8.0,-8.5,  
-9.0,-9.5,-9.9};
```

```
float velo2[41]={34.21295,34.57781,34.45311,34.32021,34.09893,33.3466,  
33.01035,32.55723,31.84732,28.35373,23.10089,17.34982,  
13.56975,9.911568,7.167257,4.755698,2.840037,1.106228,  
0.051359,0.0,0.0,0.0,-0.36468,-1.27199,-2.47004,-3.93188,  
-4.62661,-6.36171,-9.09316,-13.09013,-16.1859,-18.8761,  
-22.0921,-24.1569,-26.4787,-29.3931,-32.2668,-33.6232,  
-35.4981,-38.5864,-38.4016};
```

```
for (l=1;l<41;l++)
```

```
if((vbb<=velo2[l]) && (vbb>velo2[l+1]))
```

```
a=volt2[l+1]+(vbb-velo2[l+1])/(velo2[l]-velo2[l+1])*(volt2[l]-volt2[l+1]);
```

```
return(a);
```

```
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
CUBIC.CPP
/*****/

#include <graphics.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#include <dos.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <fstream.h>

#include "D:\ccc\io3.c"
#include "D:\ccc\encoder.c"

long int point1;
int data_ad,loop,k,ch,color,ans,c,p,q,c1,first,i,u,j,b,num,number,
    check1,check2,check,graphdriver,graphmode;
float VT,V1,V2,D1,D2,v,timer[10],ang3,old1,old2,vang1,vang2,Velo_encoder;
float s,length[10],Vfix,point[10],samp=0.01,x,y,xt[10],yt[10];
float volt1,volt2,t_samp=10,angold1,angold2,vr1,vr2,x_r,y_r;
float XY,XYZ1,XYZ2,Vangular1,Vangular22,angold11,angold22;
float VeloA,VeloB,Vangular1,Vangular2,Vcylin1,Vcylin2,Vcylin11,Vcylin22;
float x_new,y_new,x_new2,y_new2,x_old,y_old,pl1_ang1,pl2_ang2;
float en1[10],en2[10],angular1[10],angular2[10],enx[10],eny[10]
    ,a1,a2,a11,a22,e1[25],e2[25],timerf[10],timerb[10];
float plang1[10],plang2[10],z_i,z_r,sum_z,z_err,sumpoint,t;
float xy_ang1,xy_ang2,xyang1,xyang2,xyang12,xyang22,angpls1,angpls2;
float zeta,delta,dx,dy,check3,check4,aa;
float a[11],bc[11],cc[11],d[11],e[11];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int n;

float D1c,D2c,DD,FF,T1,T2,T3,T4,XX;

const int size=80;

char str[size];

FILE *fw1,*fw2,*fw3,*fw4,*fw5,*fw6,*fw7,*fw8,*fw9;

float

a1_1,a2_1,a3_1,a4_1,f1_1,f2_1,f3_1,f4_1,b1_1,b2_1,b3_1,b4_1,c1_1,c2_1,c3_1,d1_1,d2_1,d3_1,n1_1,n2_
1,n3_1,n4_1;

float

a1_2,a2_2,a3_2,a4_2,f1_2,f2_2,f3_2,f4_2,b1_2,b2_2,b3_2,b4_2,c1_2,c2_2,c3_2,d1_2,d2_2,d3_2,n1_2,n2_
2,n3_2,n4_2;

float Kp_1,Kp_2,Ki_1,Ki_2,ui_1,ui_2,upi_1,upi_2,err_1,err_2;

void joystick();

void keyboard();

float xy_angular1(float x,float y);

float xy_angular2(float x,float y);

float angular_x(float ang1,float ang2);

float angular_y(float ang1,float ang2);

float pulse1_angular1(float pulse);

float pulse2_angular2(float pulse);

float angular1_pulse1(float angular);

float angular2_pulse2(float angular);

float cubic(float a,float b,float c,float d,float e,float f,float g,float h,float ii);

float Va_Vang1(float v);

float Vb_Vang2(float v);

float Vang1_Va(float Vang);

float Vang2_Vb(float Vang);

float Vang1_Vcyl1(float ang,float w);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
float Vang2_Vcyl2(float ang,float w);
```

```
float Valve1(float v);
```

```
float Valve2(float v);
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
    /*****  
    /* Initialize the data acquisition */  
    /*****  
    da1(-9.0);  
    da2(-9.0);  
    clrscr();  
    getch();  
    n1_1=0.1667;n2_1=0.5;n3_1=0.5;n4_1=0.1667; /*Valve1 Butter*/  
    f1_1=1.0;f2_1=0.0;f3_1=0.3333;f4_1=0.0;  
    a1_1=0;a2_1=0;a3_1=0;b1_1=0;b2_1=0;b3_1=0;  
  
    n1_2=0.0495;n2_2=0.1486;n3_2=0.1486;n4_2=0.0495; /*Valve2 Butter*/  
    f1_2=1.0;f2_2=-1.1619;f3_2=0.6959;f4_2=-0.1378;  
    a1_2=0;a2_2=0;a3_2=0;b1_2=0;b2_2=0;b3_2=0;  
    ui_1=0.0;  
    ui_2=0.0;  
    fw1=fopen("d:\\cubic00\Fxi.txt","w" );  
    fw2=fopen("d:\\cubic00\Fyi.txt","w" );  
    fw3=fopen("d:\\cubic00\Fxr.txt","w" );  
    fw4=fopen("d:\\cubic00\Fyr.txt","w" );  
    fw5=fopen("d:\\cubic00\Bxi.txt","w" );  
    fw6=fopen("d:\\cubic00\Byi.txt","w" );  
    fw7=fopen("d:\\cubic00\Bxr.txt","w" );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fw8=fopen("d:\\cubic00\\Byr.txt","w+" );
fw9=fopen("d:\\cubic00\\sum_err.txt","w+" );
textbackground(0);
timer_set(t_samp);
color=1+random(14);
textcolor(color);
gotoxy(25,10);
cprintf("\nEnter number of point = ");
scanf("%d",&num);
init();
for (p=1;p<=num;p++)
{
ans=0;
do
{
clrscr();
gotoxy(25,5);
randomize();
color=1+random(14);
textcolor(color);
cprintf("Please select input %d by\n",p);
gotoxy(27,7);
cprintf(" 1.Joystick\n");
gotoxy(27,9);
cprintf(" 2.Keyboard\n");
scanf("%d",&ans);
}
while((ans!=1)&&(ans!=2));
if (ans==1)
joystick();
if (ans==2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

keyboard();
}
clrscr();
for( i=1;i<=num;i++)
    printf("\n\t\tX%d = %f\tY%d = %f\n",i,exx[i],i,eny[i]);
getch();
randomize();
color=1+random(14);
textcolor(color);
da1(-9.9);
da2(-9.9);
clrscr();
gotoxy(20,6);
printf("Enter number of loop = ");
scanf("%d",&loop);
gotoxy(20,8);
printf("Enter velocity (mm/s) = ");
scanf("%f",&Vfix);
gotoxy(15,12);
printf("Enter Kp1 = ");
scanf("%f",&Kp_1);
gotoxy(35,12);
printf("Enter Ki1 = ");
scanf("%f",&Ki_1);
gotoxy(15,14);
printf("Enter Kp2 = ");
scanf("%f",&Kp_2);
gotoxy(35,14);
printf("Enter Ki2 = ");
scanf("%f",&Ki_2);
gotoxy(29,16);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("!!!!!!wait!!!!!!\n");
getch();
angold1=1.745329252;
angold2=1.553343034;
timerf[1]=0.0;
for(i=1;i<num;i++)
{
length[i]=sqrt((enx[i+1]-enx[i])*(enx[i+1]-enx[i])
+(eny[i+1]-eny[i])*(eny[i+1]-eny[i]));
timerf[i+1]=timerf[i]+length[i]/Vfix;
}
}
b=1;
timerb[1]=0.0;
sumpoint=timerf[num]/samp;
for (j=1;j<=loop;j++)
{
b=num;
for (i=1;i<=num;i++)
{
en1[i]=enx[i];
en2[i]=eny[i];
timer[i]=timerf[i];
}
}
check=1;
check1=1;
check2=1;
xy_ang1=xy_angular1(en1[1],en2[1]);
xy_ang2=xy_angular2(en1[1],en2[1]);
angpls1=angular1_pulse1(xy_ang1);
angpls2=angular2_pulse2(xy_ang2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

graphdriver=DETECT;
initgraph(&graphdriver,&graphmode,"c:\\tc\\bgi");
cleardevice();
setcolor(15);
rectangle(145,0,495,460);
for(i=1;i<=23;i++)
{
line(145,i*20,150,i*20);
line(495,i*20,490,i*20);
}
for(i=1;i<=17;i++)
{
line(140+i*20,0,140+i*20,5);
line(140+i*20,455,140+i*20,460);
}
for(i=0;i<=2;i++)
{
line(220+i*100,460,220+i*100,450);
line(220+i*100,0,220+i*100,10);
}
for(i=1;i<=4;i++)
{
line(145,i*100,155,i*100);
line(495,i*100,485,i*100);
}
setcolor(4);
outtextxy(115,397,"200");
outtextxy(115,297,"300");
outtextxy(115,197,"400");
outtextxy(115,97,"500");
outtextxy(208,468,"600");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextxy(308,468,"700");
outtextxy(408,468,"800");
setcolor(9);
outtextxy(508,468,"X (mm)");
outtextxy(92,0,"Y (mm)");
setcolor(11);
outtextxy(520,30,"__");
outtextxy(540,33," Input");
setcolor(13);
outtextxy(520,60,"__");
outtextxy(540,63," Output");
do
{
a2=read_position20;
a22=a2;
if(a22<angpls2)
{
if (check2==1)
da2(5.0);
}
if(a22>angpls2)
{
if (check2==1)
da2(-5.0);
}
if(a22==angpls2)
{
da2(0.0);
check2=0;
}
a1=16777216.0-read_position10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a11=a1;
if(a11==16777216.0)
    a11=0;
if(a11<angpls1)
{
    if(check1==1)
        da1(5.0);
}
if(a11>angpls1)
{
    if(check1==1)
        da1(-5.0);
}
if(a11==angpls1)
{
    da1(0.875);
    check1=0;
}
}
while((check1==1)||(check2==1));
da1(0.875);
da2(0.0);
sum_z=0.0;
t=samp;
ui_1=0.0;
ui_2=0.0;
check1=1;
check2=1;
k=0;
t=0.1;
x_old=en1[1];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_old=en2[1];
x_r=en1[i];
y_r=en2[i];
for(q=0;q<sumpoint;q++)
{
n=num;
XX=t;
for(i=2;i<=n-1;i++)
{
a[i]=timer[i]-timer[i-1];
bc[i]=2.0*(timer[i+1]-timer[i-1]);
cc[i]=timer[i+1]-timer[i];
d[i]=6.0*(en1[i+1]-en1[i])/(timer[i+1]-timer[i])+6.0*(en1[i-1]-en1[i])/(timer[i]-timer[i-
1]);
}
bc[1]=1.0;
cc[1]=0.0;
d[1]=0.0;
a[n]=0.0;
bc[n]=1.0;
d[n]=0.0;
for (i=2;i<=n;i++)
{
a[i]=a[i]/bc[i-1];
bc[i]=bc[i]-a[i]*cc[i-1];
}
for (i=2;i<=n;i++)
d[i]=d[i]-a[i]*d[i-1];
e[n]=d[n]/bc[n];
for(i=n-1;i>=1;i--)
e[i]=(d[i]-cc[i]*e[i+1])/bc[i];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (i=2;i<=n;i++)
    if((XX>=timer[i-1])&&(XX<=timer[i]))
    {
        D1c=timer[i]-XX;
        D2c=XX-timer[i-1];
        DD=timer[i]-timer[i-1];
        T1=e[i-1]*D1c*D1c*D1c/(6.0*DD);
        T2=e[i]*D2c*D2c*D2c/(6.0*DD);
        T3=(en1[i-1]/DD-e[i-1]*DD/6.0)*D1c;
        T4=(en1[i]/DD-e[i]*DD/6.0)*D2c;
        FF=T1+T2+T3+T4;
    }
x_new=FF;
for(i=2;i<=n-1;i++)
{
    a[i]=timer[i]-timer[i-1];
    bc[i]=2.0*(timer[i+1]-timer[i-1]);
    cc[i]=timer[i+1]-timer[i];
    d[i]=6.0*(en2[i+1]-en2[i])/(timer[i+1]-timer[i])+6.0*(en2[i-1]-en2[i])/(timer[i]-timer[i-1]);
}
bc[1]=1.0;
cc[1]=0.0;
d[1]=0.0;
a[n]=0.0;
bc[n]=1.0;
d[n]=0.0;
for (i=2;i<=n;i++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a[i]=a[i]/bc[i-1];
bc[i]=bc[i]-a[i]*cc[i-1];
}
for (i=2;i<=n;i++)
d[i]=d[i]-a[i]*d[i-1];
e[n]=d[n]/bc[n];
for(i=n-1;i>=1;i--)
e[i]=(d[i]-cc[i]*e[i+1])/bc[i];
for (i=2;i<=n;i++)
if((XX>=timer[i-1])&&(XX<=timer[i]))
{
D1c=timer[i]-XX;
D2c=XX-timer[i-1];
DD=timer[i]-timer[i-1];
T1=e[i-1]*D1c*D1c*D1c/(6.0*DD);
T2=e[i]*D2c*D2c*D2c/(6.0*DD);
T3=(en2[i-1]/DD-e[i-1]*DD/6.0)*D1c;
T4=(en2[i]/DD-e[i]*DD/6.0)*D2c;
FF=T1+T2+T3+T4;
}
y_new=FF;
xyang1=xy_angular1(x_new,y_new);
xyang2=xy_angular2(x_new,y_new);
Vangular1=(xyang1-angold1)/samp;
Vangular2=(xyang2-angold2)/samp;
Vcylin1=Vang1_Vcyl1(Vangular1,xyang1);
Vcylin2=Vang2_Vcyl2(Vangular2,xyang2);
a1=16777216.0-read_position1();
if (a1==16777216.0)
a1=0;
a1=a1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a2=read_position20;
a22=a2;
pl1_ang1=pulse1_angular1(a11);
pl2_ang2=pulse2_angular2(a22);
Vangular11=(pl1_ang1-angold11)/samp;
Vangular22=(pl2_ang2-angold22)/samp;
Vcylin11=Vang1_Vcyl1(Vangular11,pl1_ang1);
Vcylin22=Vang2_Vcyl2(Vangular22,pl2_ang2);
if(Vcylin11>100.0)
    Vcylin11=Vcylin1;
if(Vcylin11<-100.0)
    Vcylin11=Vcylin1;
if(Vcylin22>100.0)
    Vcylin22=Vcylin2;
if(Vcylin22<-100.0)
    Vcylin22=Vcylin2;
a4_1=Vcylin11;
if(i>=4)
{
    b4_1=(n4_1*a1_1+n3_1*a2_1+n2_1*a3_1+n1_1*a4_1-f4_1*b1_1-f3_1
        *b2_1-f2_1*b3_1)/f1_1;
    Vcylin11=b4_1;
    c3_1=a4_1;c2_1=a3_1;c1_1=a2_1;
    a3_1=c3_1;a2_1=c2_1;a1_1=c1_1;
    d3_1=b4_1;d2_1=b3_1;d1_1=b2_1;
    b3_1=d3_1;b2_1=d2_1;b1_1=d1_1;
}
err_1=Vcylin1-Vcylin11;
ui_1=ui_1+Ki_1*err_1*t_samp*0.001;
upi_1=ui_1+Kp_1*err_1;
a4_2=Vcylin22;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(i>=4)
{
    b4_2=(n4_2*a1_2+n3_2*a2_2+n2_2*a3_2+n1_2*a4_2-f4_2*b1_2-f3_2
        *b2_2-f2_2*b3_2)/f1_2;
    Vcylin2=b4_2;
    c3_2=a4_2;c2_2=a3_2;c1_2=a2_2;
    a3_2=c3_2;a2_2=c2_2;a1_2=c1_2;
    d3_2=b4_2;d2_2=b3_2;d1_2=b2_2;
    b3_2=d3_2;b2_2=d2_2;b1_2=d1_2;
}

err_2=Vcylin2-Vcylin22;
ui_2=ui_2+Ki_2*err_2*t_samp*0.001;
upi_2=ui_2+Kp_2*err_2;
volt1=Valve1(upi_1);
volt2=Valve2(upi_2);
da1(volt1);
da2(volt2);
x=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
y=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
angold1=xyang1;
angold2=xyang2;
angold11=pl1_ang1;
angold22=pl2_ang2;
z_i=sqrt(x_new*x_new+y_new*y_new);
z_r=sqrt(x*x+y*y);
z_err=(z_i-z_r);
if(z_err>=0.0)
    sum_z=sum_z+z_err;
else
    sum_z=sum_z-z_err;
t=t+samp;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

k=k+1;
if(j==1)
{
    fprintf(fw1,"%12.8fn",x_new);
    fprintf(fw2,"%12.8fn",y_new);
    fprintf(fw3,"%12.8fn",x);
    fprintf(fw4,"%12.8fn",y);
}
if(j==2)
{
    fprintf(fw5,"%12.8fn",x_new);
    fprintf(fw6,"%12.8fn",y_new);
    fprintf(fw7,"%12.8fn",x);
    fprintf(fw8,"%12.8fn",y);
}
if((q<(sumpoint-10.0))&&(q>5.0))
{
    setcolor(11);
    moveto((int)(x_old-380.0),(int)(669.0-y_old));
    lineto((int)(x_new-380.0),(int)(669.0-y_new));
    setcolor(13);
    moveto((int)(x_r-380.0),(int)(669.0-y_r));
    lineto((int)(x-380.0),(int)(669.0-y));
}
check=0;
x_old=x_new;
y_old=y_new;
x_r=x;
y_r=y;
timer_wait();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    da1(0.875);
    da2(0.0);
    fprintf(fw9,"z%d = %10.4f\n",j,sum_z);
}
fclose(fw1);fclose(fw2);fclose(fw3);fclose(fw4);fclose(fw5);
fclose(fw6);fclose(fw7);fclose(fw8);fclose(fw9);
da1(4.0);
da2(-4.0);
getch();
}

```

```
void joystick0
```

```
{
```

```
int m,color1;
```

```
float en,v1,v2;
```

```
clrscr();
```

```
for(m=4;m<=22;m++)
```

```
{
```

```
e1[m]=0.0;
```

```
e2[m]=0.0;
```

```
}
```

```
color=1+random(14);
```

```
color1=1+random(14);
```

```
do
```

```
{
```

```
    /*****joystick1 input channel4*****/
```

```
    data_ad=ad(2);
```

```
    /******convert 10 V to +-10V*****/
```

```
    D1=data_ad;
```

```
    V1=(D1-16384.0)/1638.4;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//*****Protect Over Volt*****/

if(V1>9.9)
  {V1=9.9;}
if(V1<-9.9)
  {V1=-9.9;}
XYZ1=V1;
timer_wait();

//*****joystick2 input channel3*****/

data_ad=ad(3);

//*****convert 10 V to +-10V*****/

D2=data_ad;
V2=(D2-16384.0)/1638.4;

//*****Protect Over Volt*****/

if(V2>9.9)
  {V2=9.9;}
if(V2<-9.9)
  {V2=-9.9;}
XYZ2=V2;
da1(XYZ1);
da2(XYZ2);
timer_wait();
e1[22]=16777216.0-read_position10;
if(e1[22]==16777216.0)
  e1[22]=0;
e2[22]=read_position20;
gotoxy(25,2);
textcolor(color1|BLINK);
cprintf("Press 'Enter Botton' to correct point");
textcolor(color);
for(m=4;m<22;m++)
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    e1[m]=e1[m+1];
    e2[m]=e2[m+1];
}
for(m=4;m<=22;m++)
{
    gotoxy(20,m);
    pl1_ang1=pulse1_angular1(e1[m]);
    pl2_ang2=pulse2_angular2(e2[m]);
    x=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
    y=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
    printf("X = %ftY = %ft",x,y);
}
}
while(!kbhit());
    //*****encoder*****/
en=16777216.0-read_position1();
v1=en;
if (v1==16777216.0)
    v1=0;
v2=read_position2();
pl1_ang1=pulse1_angular1(v1);
pl2_ang2=pulse2_angular2(v2);
enx[p]=angular_x(pl1_ang1,pl2_ang2);
eny[p]=angular_y(pl1_ang1,pl2_ang2);
gotoxy(20,24);
color=1+random(14);
textcolor(color);
printf("          X = %ftY = %ft",enx[p],eny[p]);
getch();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void keyboard()
{
    int check;
    float o1,o2,o3,o4;
    check=0;
    do
    {
        clrscr();
        gotoxy(20,5);
        color=1+random(14);
        textcolor(color);
        printf("Enter X%d = ",p);
        scanf("%f",&enx[p]);
        gotoxy(20,7);
        printf("Enter Y%d = ",p);
        scanf("%f",&eny[p]);
        plang1[p]=xy_angular1(enx[p],eny[p]);
        plang2[p]=xy_angular2(enx[p],eny[p]);
        o1=1.745329;
        o2=2.450879;
        o3=1.553343;
        o4=2.258839;
        if((plang1[p]>=o1)&&(plang1[p]<=o2)&&(plang2[p]>=o3)&&(plang2[p]<=o4))
            check=1;
        if (check==0)
            printf("\nOut of Range");
    }
    while(check==0);
    printf ("\n(x = %f,y = %f)\n",enx[p],eny[p]);
    getch();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float xy_angular1(float x,float y)
{
    float angu1,xx,xxx;
    xx=x/sqrt(x*x+y*y);
    xxx=(400.0*400.0-615.0*615.0-x*x-y*y)/(-2.0)/615.0/sqrt(x*x+y*y);
    angu1=3.141592654-acos(xxx)-acos(xx);
    return(angu1);
}

float xy_angular2(float x,float y)
{
    float angu2,xx,xxx,xxxx;
    xxx=(400.0*400.0-615.0*615.0-x*x-y*y)/(-2.0)/615.0/sqrt(x*x+y*y);
    xxxx=(615.0*615.0-400.0*400.0-x*x-y*y)/(-2.0)/400.0/sqrt(x*x+y*y);
    angu2=3.141592654-acos(xxx)-acos(xxxx);
    return(angu2);
}

float angular_x(float ang1,float ang2)
{
    float x;
    x=(400.0*cos(ang1-ang2))-(615.0*cos(ang1));
    return(x);
}

float angular_y(float ang1,float ang2)
{
    float y,checkang;
    checkang=ang1-ang2;
    if (checkang>=0)
        y=615.0*sin(ang1)-(400.0*sin(ang1-ang2));
    else
        y=(400.0*sin(ang2-ang1))+615.0*sin(ang1);
    return(y);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
float angular1_pulse1(float angular)
{
    float pulse1;
    int check;
    pulse1=(angular-(100.0/180.0*3.141592654))*12000.0/3.141596254;
    check=pulse1;
    if((pulse1-check)>=0.5)
        pulse1=check+1;
    else
        pulse1=check;
    return(pulse1);
}
float angular2_pulse2(float angular)
{
    float pulse2;
    int check;
    pulse2=(angular-(89.0/180.0*3.141592654))*12000.0/3.141596254;
    check=pulse2;
    if((pulse2-check)>=0.5)
        pulse2=check+1;
    else
        pulse2=check;
    return(pulse2);
}
float pulse1_angular1(float pulse)
{
    float angular1;
    angular1=(pulse/12000.0*3.141596254)+(100.0/180.0*3.141592654);
    return(angular1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float pulse2_angular2(float pulse)
{
    float angular2;
    angular2=(pulse/12000.0*3.141592654)+(89.0/180.0*3.141592654);
    return(angular2);
}

float Va_Vang1(float va)
{
    float Vang;
    Vang=va/615.0;
    return(Vang);
}

float Vb_Vang2(float vb)
{
    float Vang;
    Vang=vb/400.0;
    return(Vang);
}

float Vang1_Va(float Vang)
{
    float Va;
    Va=Vang*615.0;
    return(Va);
}

float Vang2_Vb(float Vang)
{
    float Vb;
    Vb=Vang*400.0;
    return(Vb);
}

float Vang1_Vcyl1(float ang,float w)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    float Vcyl;
    Vcyl=310.0*350.0*sin(w)*ang/
        sqrt(350.0*350.0+310.0*310.0-2.0*350.0*310.0*cos(w));
    return(Vcyl);
}

float Vang2_Vcyl2(float ang,float w)
{
    float Vcyl;
    Vcyl=480.0*200.0*sin(w)*ang/
        sqrt(480.0*480.0+200.0*200.0-2.0*480.0*200.0*cos(w));
    return(Vcyl);
}

float Valve1(float vaa)
{
    int o;
    float a;
    float volt1[41]={9.9,9.5,9.0,8.5,8.0,7.5,7.0,6.5,6.0,5.5,5.0,4.5,4.0,3.5,
        3.0,2.5,2.0,1.5,1.0,0.5,0.0,-0.5,-1.0,-1.5,-2.0,-2.5,-3.0,
        -3.5,-4.0,-4.5,-5.0,-5.5,-6.0,-6.5,-7.0,-7.5,-8.0,-8.5,
        -9.0,-9.5,-9.9};

    float velo1[41]={30.14555,29.15946,27.88996,26.55202,25.14724,23.79418,
        22.33571,20.86119,19.43838,17.84543,16.20102,14.38185,
        12.53811,9.431645,8.707015,5.053837,3.454148,2.162445,
        0.488209,-0.84659,-2.66151,-3.04909,-4.16201,-5.56647,
        -6.46385,-7.6068,-8.46721,-9.63797,-10.7161,-12.3742,
        -14.1772,-15.9159,-16.8582,-17.4477,-19.431,-20.4546,
        -21.9204,-24.1807,-25.1698,-26.962,-27.1517};

    for (o=1;o<41;o++)
        if((vaa<=velo1[o]) && (vaa>velo1[o+1]))
            a=volt1[o+1]+(vaa-velo1[o+1])/(velo1[o]-velo1[o+1])*(volt1[o]-volt1[o+1]);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

return(a);
}
float Valve2(float vbb)
{
int l;
float a;
float volt2[41]={9.9,9.5,9.0,8.5,8.0,7.5,7.0,6.5,6.0,5.5,5.0,4.5,4.0,3.5,
3.0,2.5,2.0,1.5,1.0,0.5,0.0,-0.5,-1.0,-1.5,-2.0,-2.5,-3.0,
-3.5,-4.0,-4.5,-5.0,-5.5,-6.0,-6.5,-7.0,-7.5,-8.0,-8.5,
-9.0,-9.5,-9.9};
float velo2[41]={34.21295,34.57781,34.45311,34.32021,34.09893,33.3466,
33.01035,32.55723,31.84732,28.35373,23.10089,17.34982,
13.56975,9.911568,7.167257,4.755698,2.840037,1.106228,
0.051359,0.0,0.0,0.0,-0.36468,-1.27199,-2.47004,-3.93188,
-4.62661,-6.36171,-9.09316,-13.09013,-16.1859,-18.8761,
-22.0921,-24.1569,-26.4787,-29.3931,-32.2668,-33.6232,
-35.4981,-38.5864,-38.4016};
for (l=1;l<41;l++)
if((vbb<=velo2[l]) && (vbb>velo2[l+1]))
a=volt2[l+1]+(vbb-velo2[l+1])/(velo2[l]-velo2[l+1])*(volt2[l]-volt2[l+1]);
return(a);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้