

การศึกษาการตอบสนองต่อความถี่ของระบบ HYDROSTATIC
TRANSMISSION

STUDY ON FREQUENCY RESPONSE OF HYDROSTATIC TRANSMISSION



นายกฤษณ์ ภาวสุทธิกุล

MR.KRIT PAWASUTTIKUL

นายขวัญชาติ จาวยญ

MR.KHWANCHART JAWAYON

นายคำเป็น วรรณ

MR.KHAMPEUNE VOLADET

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33904
วัน, เดือน, ปี.....20 ก.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่ห้องสมุดหรือห้องเรียน
ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON FREQUENCY RESPONSE OF HYDROSTATIC
TRANSMISSION**



**MR.KRIT PAWASUTTIKUL
MR.KHWANCHART JAWAYON
MR.KHAMPEUNE VOLADET**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 1998 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การศึกษาการตอบสนองต่อความถี่ของระบบ HYDROSTATIC
TRANSMISSION
STUDY ON FREQUENCY RESPONSE OF HYDROSTATIC
TRANSMISSION

ชื่อนักศึกษา นายกฤษณ์ ภาวสุทธิกุล รหัสประจำตัว 38014015
นายขวัญชาติ จาวยัญ รหัสประจำตัว 38014046
นายคำเป็น วรรณเวช รหัสประจำตัว 38014054

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ. จำลอง ปราบแก้ว)

(อ. อุคม จันทร์จรสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อบทปริญญาานิพนธ์	การศึกษาการตอบสนองต่อความถี่ของระบบ HYDROSTATIC TRANSMISSION
นักศึกษา	นายกฤษณ์ ภาวสุทธิกุล นายขวัญชาติ จวายญ นายคำเป็น วรเดช
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ผศ. จำลอง ปราบแก้ว อ. อุดม จันทร์จรัสสุข
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการตอบสนองต่อความถี่ (Frequency response) ของระบบ Hydrostatic Transmission เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองต่อความถี่ ระหว่างการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ค่าสัญญาณ Output ของระบบจะอยู่ในรูปของความถี่เชิงมุมของมอเตอร์ไฮดรอลิก ต่อสัญญาณ Input ที่เป็นรูปไซน์ โดยใช้ทาโคเจนเนอเรเตอร์ในการวัดค่าของความถี่เชิงมุม เมื่อสัญญาณความถี่ Input เปลี่ยนค่าไป ขณะเดียวกันทาโคเจนเนอเรเตอร์จะสร้างสัญญาณป้อนกลับให้แก่ระบบเพื่อให้ ค่า Output ที่ได้ มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในที่นี้คือ ความถี่รอบของมอเตอร์ไฮดรอลิก หมุนด้วยความถี่รอบคงที่

ทำการทดลองเพื่อหาค่าของ Magnitude และ Phase shift ของระบบซึ่งเป็นตัวแสดงถึงความมีเสถียรภาพของระบบที่พิจารณา แล้วนำค่า Magnitude และ Phase shift ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎี ผลปรากฏว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียว ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่แตกต่างที่เกิดขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการวัดค่าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	STUDY ON FREQUENCY RESPONSE OF HYDROSTATIC TRANSMISSION	
Students	Mr. Krit Pawasuttikul	Mr. Khwanchart Jawayon
	Mr. Khampeune Voladet	
Thesis Advisor	Mr. Chamlong Prabkeaw	Mr. Udom Janjarussok
Degree	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering	
Year	1998	

Abstract

This project deals with the experimental that study about the frequency response of hydrostatic transmission. This frequency response was examined between theoretically and experimentally. The output signal, angular velocity of a hydraulic motor, to sinusoidal input signal was measured by the tachogenerater for various value of input frequency and this tachogenerater will feed the signal of this system back for obtaining the value of correct output. in this experimental the hydraulic motor rotate with the constant angular velocity.

When invent the experimental for obtaining the value of magnitude and phase shift of the system that can indicate the stability of the system and then these values will be compared with the theoretical value. The result of the experimental, experimental value trend to be same as the theoretical values and the different of the would be happened from the error of the experiment.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา project I และ II ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎี มาทำการปฏิบัติจริงในห้องปฏิบัติการ เป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ให้แก่นักศึกษา

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. จำลอง ปราบแก้ว และ อ.อุดม จันทร์จรัสสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตรเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการศึกษาผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบควบคุมไฮดรอลิก ทำให้การทำปริญญาบัตรสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ. เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องของอุปกรณ์การทดลอง และให้คำแนะนำในบางจุดที่ติดปัญหา ทำให้ผู้ทำวิจัยเข้าใจปัญหาและสามารถทำการทดลองได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งให้กำลังใจอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้ทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญภาพ.....	vii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ระบบ Hydraulic.....	2
2. การใช้งาน Hydraulic.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นของ Servo amplifier และ Tachometer.....	5
1. Tacho generator.....	5
2. Servo amplifier.....	7
บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้นของ Servo amplifier และ Hydraulic.....	14
1. ทฤษฎีของ Servovalve.....	14
2. ทฤษฎีของ Hydraulic motor.....	16
3. การหา Transfer function ของ Servovalve และ Hydraulic.....	24
บทที่ 4 การหา Transfer function ของระบบที่พิจารณา.....	37
1. Transfer function ของ Servovalve และ Hydraulic motor.....	37
2. Transfer function ของ Servo amplifier.....	37
3. Transfer function ของ Tachogenerator.....	37
4. Transfer function ของ ระบบ.....	37
บทที่ 5 การคำนวณทางทฤษฎี.....	39
1. การคำนวณหาค่า Transfer function ของ Servovalve และ Hydraulic motor.....	39
2. การคำนวณหาค่า Transfer function ของ Servo amplifier.....	39
3. การคำนวณหาค่า Transfer function ของ Tacho generator.....	40
4. การคำนวณหาค่า Transfer function ของ ระบบ.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	45
1. อุปกรณ์.....	45
2. วิธีการทดลอง.....	46
3. ผลการทดลอง.....	46
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	47
บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์.....	61
1. สรุปผล.....	61
2. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองของ min - gainsvamp, opened loop,gen=1.....	47
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองของ half - gainsvamp, opened loop,gen= 1.....	49
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองของ max - gainsvamp, opened loop,gen=1.....	51
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองของ min - gainsvamp, opened loop, gain-tacho=0.1719,gen=1.....	53
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองของ min - gainsvamp, opened loop, gain - tacho=0.1719,gen=2.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 1.1	block diagram ของระบบ Hydrostatic transmission ที่มีสัญญาณ Feedback.....1
รูปที่ 2.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับความเร็ว.....6
รูปที่ 2.2	บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับตำแหน่ง ที่มีการแค้มป์ด้วยทาโคเจนเนอเรเตอร์.....6
รูปที่ 2.3	การอ่านค่าความเร็วของเพลลาของมอเตอร์ด้วยทาโคเจนเนอเรเตอร์.....6
รูปที่ 2.4	ภาคเอาต์พุตแบบ “ H ” (ใช้เพาเวอร์ซัพพลายตัวเดียว).....8
รูปที่ 2.5	ภาคเอาต์พุตแบบ “ T ” (ต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายสองตัว).....9
รูปที่ 2.6	แสดงลูกคลื่นโวลต์เตจของ PWM แอมพลิไฟเออร์.....10
รูปที่ 2.7	แสดงให้เห็นว่า PWM แอมพลิไฟเออร์จะเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลไปตามโหลด.....11
รูปที่ 2.8	แสดงลูกคลื่นโวลต์เตจของ PFM แอมพลิไฟเออร์.....11
รูปที่ 2.9	แสดงให้เห็นว่าทั้งความถี่และดิวิตีไซเคิลของ PFM แอมพลิไฟเออร์จะเปลี่ยนไปตามโหลด.....11
รูปที่ 2.10	แสดงลูกคลื่นโวลต์เตจ SCR แอมพลิไฟเออร์.....12
รูปที่ 3.1	Diagram การทำงานของ Servovalve.....14
รูปที่ 3.2	แสดงโครงสร้างของ Servovalve.....15
รูปที่ 3.3	มอเตอร์แบบเฟืองฟันนอก.....17
รูปที่ 3.4	มอเตอร์แบบเฟืองฟันใน.....18
รูปที่ 3.5	มอเตอร์แบบจีโรเตอร์.....18
รูปที่ 3.6	มอเตอร์เวนแบบสมดุล.....19
รูปที่ 3.7	มอเตอร์เวนแบบสมดุลชนิดหมุนกลับทางได้.....19
รูปที่ 3.8	มอเตอร์เวนแบบหมุนได้ทางเดียว.....20
รูปที่ 3.9	มอเตอร์เวนชนิดความเร็วรอบต่ำแรงบิดสูง.....20
รูปที่ 3.10	มอเตอร์ถูกลูบแบบแถวเรียงรอบแกนเพลลา.....21
รูปที่ 3.11	มอเตอร์ถูกลูบแบบแถวเรียงแบบวางแนวเฉียงกับเพลลา.....21
รูปที่ 3.12	สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิกแบบปริมาตรคงที่หมุนทางเดียว.....22
รูปที่ 3.13	สัญลักษณ์แทนมอเตอร์แบบปริมาตรคงที่หมุนได้ 2 ทิศทาง.....23
รูปที่ 3.14	สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิกปรับค่าได้หมุนได้ 2 ทิศทาง.....23

รูปที่ 3.15	สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิก ปรับค่าได้ และมีการชดเชยความดันหมุนได้ 2 ทิศทาง.....	23
รูปที่ 3.16	Five-port spool valve critically lapped.....	25
รูปที่ 3.17	Five-port spool valve : underlapped.....	26
รูปที่ 3.18	Simplified diagram of an axial piston motor.....	28
รูปที่ 3.19	แสดงการไหลภายใน motor.....	30
รูปที่ 3.20	Flow characteristics of a motor coupled to a servovalve.....	30
รูปที่ 3.21	Pressure characteristics for a servovalve-controlled motor.....	31
รูปที่ 3.22	Servovalve/motor speed control system.....	32
รูปที่ 3.23	A servovalve/motor system using spectrum analysis identification.....	34
รูปที่ 3.24	Transfer function evaluation of a servovalve/motor system using spectrum analysis.....	35
รูปที่ 5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่เข้า Servovalve กับ voltage ที่เข้า Servo-amp (gainsvamp=min).....	40
รูปที่ 5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่เข้า Servovalve กับ voltage ที่เข้า Servo-amp (gainsvamp=half).....	40
รูปที่ 5.3	กราฟแสดง Bode diagram ของระบบ.....	42
รูปที่ 5.4	กราฟแสดง Bode diagram ของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า gain-tacho.....	43
รูปที่ 5.5	กราฟแสดง Bode diagram ของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า gain-svamp.....	44
รูปที่ 6.1	วงจรการทำงานของระบบควบคุม.....	45
รูปที่ 6.2	ภาพแสดงชุดการทดลอง.....	45
รูปที่ 6.3	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	48
รูปที่ 6.4	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	48
รูปที่ 6.5	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (half-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	50
รูปที่ 6.6	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (half-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(half-gainsvamp,opened loop,gen=1)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

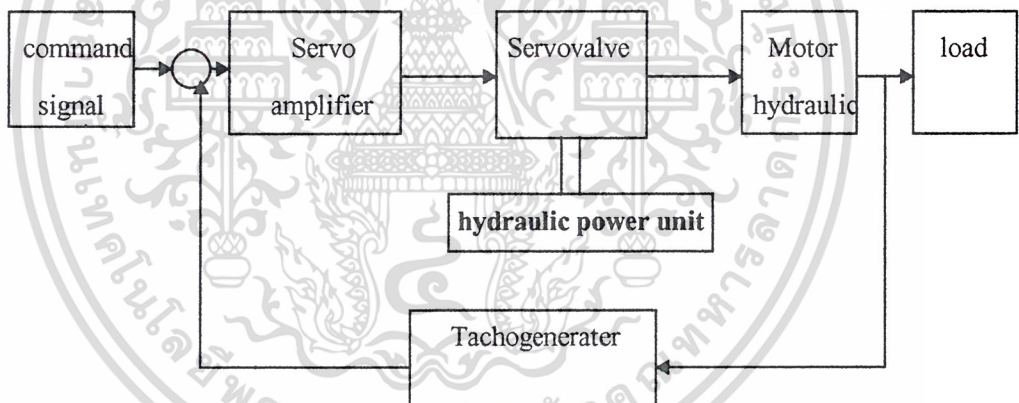
รูปที่ 6.7	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (max-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	52
รูปที่ 6.8	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (max-gainsvamp,opened loop,gen=1).....	52
รูปที่ 6.9	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gain-tacho=0.1719,gen=1).....	54
รูปที่ 6.10	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gain-tacho=0.1719,gen=1).....	54
รูปที่ 6.11	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gain-tacho=0.1719,gen=2).....	56
รูปที่ 6.12	กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gain-tacho=0.1719,gen=2).....	56
รูปที่ 6.13	bode diagram เปรียบเทียบผลของ svamp-gain(op,no,gen=1).....	57
รูปที่ 6.14	bode diagram เปรียบเทียบผลของ gaintacho (min-gainservo-amp,opened loop,gen=1).....	58
รูปที่ 6.15	bode diagram เปรียบเทียบผลของ volt functiongenerator.....	59
รูปที่ 6.16	bode diagram (openloop,gainservo-amp,min,gen=1,no).....	60

บทที่ 1

บทนำ

ระบบ **Hydrostatic transmission** คือ ระบบที่ส่งถ่ายกำลังโดยใช้ความดันน้ำมัน Hydraulic โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ Hydraulic pump ,Hydraulic motor ,valve และ pipe ซึ่งเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ควบคุมการหมุนของป้อมเครื่องบิน ยก ควบคุมการหมุนของถังผสมคอนกรีตบนรถบรรทุก และอื่น ๆ

การศึกษาคำตอบสนองต่อความถี่ต่อระบบ Hydrostatic transmission คือ การศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ออกแบบใช้ควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบ ให้ได้ค่าตามเป้าหมาย(output)ที่ต้องการ โดยใช้ feedback circuit ส่งผลย้อนกลับไปจัดการควบคุมค่าต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่ถูกต้องตลอดเวลา



รูปที่ 1.1 block diagram ของระบบ Hydrostatic transmission ที่มีสัญญาณ Feedback

หลักการทำงานของระบบ Hydrostatic transmission คือ Servo amplifier จะรับสัญญาณ input ที่ป้อนเข้ามา แล้วทำการขยายสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุม ทำงานของ Servovalve โดยที่ Servovalve จะทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำมัน Hydraulic ที่ป้อนให้กับ Hydraulic motor ทำให้ Hydraulic motor หมุนและส่งถ่ายกำลังให้กับ Load เพื่อที่จะควบคุมความเร็วของ Hydraulic motor และเพื่อให้ได้ค่า output ที่ถูกต้องตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องใช้ Tachogenerator ในการสร้างสัญญาณป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบไฮดรอลิก

ระบบกำลังของไหลมีบทบาทในงานวิศวกรรมแขนงต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ๆ ไปจนถึงอุปกรณ์ขนาดใหญ่ ๆ ในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม คำว่า hydraulic หมายถึง การไหลของของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบเพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล คือ ทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงาน ตัวอย่างงาน เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เทรน กว้าน รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ระบบไฮดรอลิกจะต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานดังนี้

1. อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก (primary component)
2. อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิก (storage and treatment component)
3. อุปกรณ์สร้างการไหล (transferring component)
4. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (controlling component)
5. อุปกรณ์การทำงาน (actuator or working component)
6. อุปกรณ์ในระบบท่อทาง (piping system)

1.1 อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก

ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั้มน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อส่งจ่ายให้แก่ระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

1.2 อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิก

ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมันขจัดสิ่งสกปรก ขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิก ประกอบด้วยถังพักน้ำมันไฮดรอลิก ใต้กรองน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้กับถังพักน้ำมัน

1.3 อุปกรณ์สร้างการไหล

ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วยปั้มไฮดรอลิก ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

หมายถึงวาล์วควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิก เช่น วาล์วควบคุมทิศทางการไหลใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของก้านสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหลให้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่ลูกสูบเพื่อควบคุมความเร็วของก้านสูบ วาล์วควบคุมความดันใช้ควบคุมความดันในระบบ

1.5 อุปกรณ์การทำงาน

ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เช่น กระบอกสูบไฮดรอลิก หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก

1.6 อุปกรณ์ในระบบท่อทาง

ทำหน้าที่เป็นท่อทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ประกอบด้วยแป๊ป (pipe) ท่อ (tube) สายน้ำมันไฮดรอลิก (hoses) ข้องอ (bending) และข้อต่อชนิดต่าง ๆ (fitting)

เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกแต่ละอย่างมีความสำคัญด้วยกันทั้งสิ้น จึงจะแยกกล่าวให้ละเอียดต่อไปทีละส่วน เพื่อความเข้าใจอย่างถ่องแท้เกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก

2. การใช้งานระบบไฮดรอลิก

ขอบข่ายงานต่าง ๆ ที่นำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้งานนั้น แบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนคือ

1. ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม (industrial hydraulics)
2. ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า งานวิศวกรรมโยธา และ สถานีกำเนิดไฟฟ้า (hydraulics in steelworks, civil engineering and generating stations)
3. ระบบไฮดรอลิกยานยนต์อุตสาหกรรม (mobile machinery hydraulics)
4. ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล (hydraulics for marine applications)
5. ระบบไฮดรอลิกในงานเทคนิคเฉพาะอย่าง (hydraulics in special technical application)

2.1 ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม

ในงานอุตสาหกรรมได้มีการนำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้ในเครื่องมือต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอะลูมิเนียม แท่นอัดขึ้นงาน เครื่องป้อนและตัดชิ้นงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปั๊มและเครื่องตัดชิ้นงาน เครื่องประกอบชิ้นรูปชิ้นงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ เครื่องกลึงและเจียระไน

2.2 ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า

ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์ไฮดรอลิก ตัวอย่างเช่น ใช้กับแท่นเลื่อน แขนโยน ฐานป้อนและส่งเครื่องปรับขนาดลูกกลึง อุปกรณ์แยกและส่ง อุปกรณ์ควบคุมท่อหล่อเย็น เป็นต้น

2.3 ระบบไฮดรอลิกในงานวิศวกรรมโยธา

ตัวอย่างงานที่ใช้ในระบบนี้ เช่น ระบบปิด - เปิด ประตูกันน้ำ เขื่อนกันน้ำ การควบคุมการปิด - เปิดช่องทางเดินเรือ การควบคุมการปิด - เปิดสะพาน

2.4 ระบบไฮดรอลิกในยานยนต์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างของการใช้ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในยานยนต์อุตสาหกรรม เช่น รถแทรกเตอร์ รถบรรทุก บันจูน รถยก รถขุด เทรน รถกวาด รถตัด เครื่องจักรกลการเกษตร รถกระเช้า รถขนย้ายวัสดุ และเครื่องที่ใช้ในงานก่อสร้างอื่น ๆ

2.5 ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล

ตัวอย่างของการใช้ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในเรือเดินทะเล เช่น ระบบนำร่องอัตโนมัติ ระบบเครื่องหางเสือเรือทั้งแบบธรรมดาและอัตโนมัติ การควบคุมการปล่อยขวน การควบคุมระบบระบายน้ำใต้ท้องเรือ เป็นต้น

2.6 ระบบไฮดรอลิกในงานเฉพาะอย่าง

งานที่นำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้นั้น ตัวอย่างเช่น ก่อตั้งทะเลสาบโคป ระบบสื่อสารทางอากาศ ทุ่นเก็บข้อมูลด้านสมุทรศาสตร์และอูนินิยมศาสตร์ในทะเล เครื่องขุดเจาะน้ำมันในทะเล เครื่องสำรวจแหล่งแร่ เครื่องสำรวจชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นของ Servo Amplifier and Tachogenerater

1. ทาโคเจนเนอเรเตอร์(Tachogenerater)

ทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และให้กำเนิดเอาต์พุตโวลต์ที่เต็ม ที่เป็นสัดส่วนกับแมกนิจูด ของความเร็วเชิงมุม ในระบบการบังคับมอเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้ทาโคเจนเนอเรเตอร์ เป็นตัวแสดงความเร็ว เพื่ออ่านค่าความเร็วของเพลลาของมอเตอร์ หรือเพื่อป้อนความเร็วกลับ สำหรับการบังคับความเร็ว หรือสำหรับทำให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้น

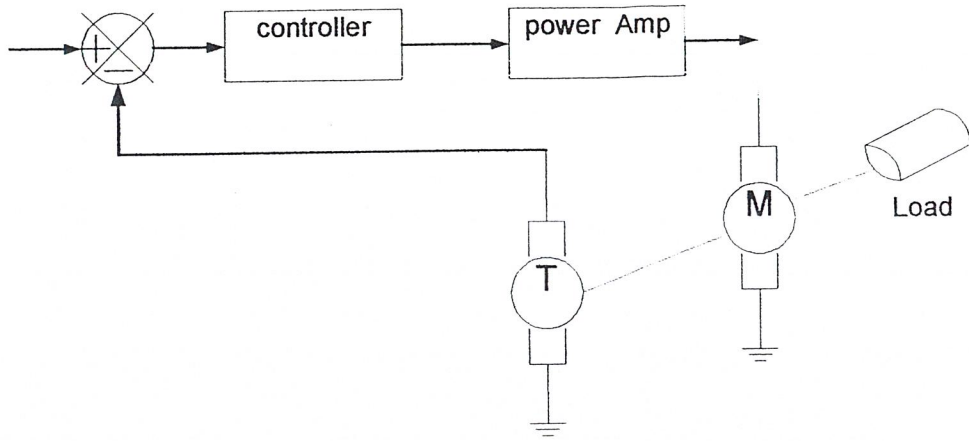
ลักษณะการทำงานของดีซีทาโคเจนเนอเรเตอร์กับดีซีมอเตอร์จะตรงข้ามกัน ส่วนดีซีทาโคเจนเนอเรเตอร์กับดีซีเจนเนอเรเตอร์จะเหมือนกัน เพียงแต่ต่างกันที่การใช้งานกล่าวคือดีซีทาโคเจนเนอเรเตอร์มีขอบเขตการใช้งานเพียงเป็นตัววัดความเร็วของเพลลา แล้วส่งผลออกมาเป็นสัญญาณที่อ่านค่าได้ง่ายเท่านั้น แต่ถ้านำทาโคเจนเนอเรเตอร์ไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสัญญาณรบกวนมาก และบางครั้งต้องส่งผลที่วัดได้ไปเป็นระยะทางไกลพอประมาณ ทาโคเจนเนอเรเตอร์จึงต้องมีเอาต์พุตที่มีแอมพลิจูดต่ำ และผลิตกำลังงานออกมาสูงพอประมาณ ในกรณีนี้เราอาจจะเรียกทาโคเจนเนอเรเตอร์นี้ว่าเป็นดีซีเจนเนอเรเตอร์ และใช้ได้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวป้อนความเร็วของเพลลาของมอเตอร์กลับ เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเปรียบเทียบ แล้วขยายผลค่าที่ได้ให้ไปขับมอเตอร์ ในระบบการบังคับความเร็วของมอเตอร์ โดยการต่อทาโคเจนเนอเรเตอร์เข้ากับเพลลาของมอเตอร์โดยตรงดังแสดงในรูปที่ 2.1

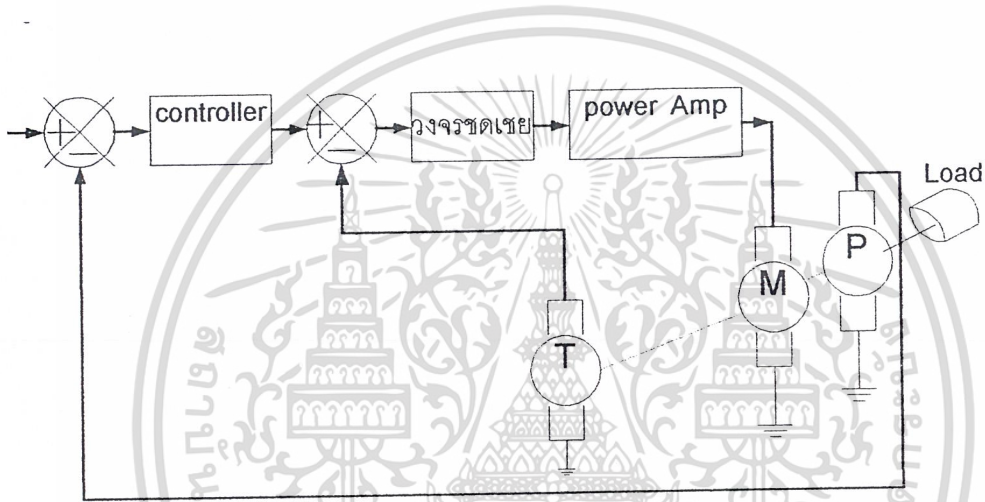
2. ใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์ความเร็วในระบบการบังคับตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

3. ใช้เป็นตัววัดความเร็วของเพลลาของมอเตอร์ แล้วส่งผลออกมาให้เห็นโดยการต่อเอาต์พุตโวลต์ที่เต็มของทาโคมิเตอร์เข้ากับโวลต์มิเตอร์ แล้วค่าความเร็วการหมุนของมอเตอร์ในรูปของโวลต์ที่เต็มดังแสดงในรูปที่ 2.3

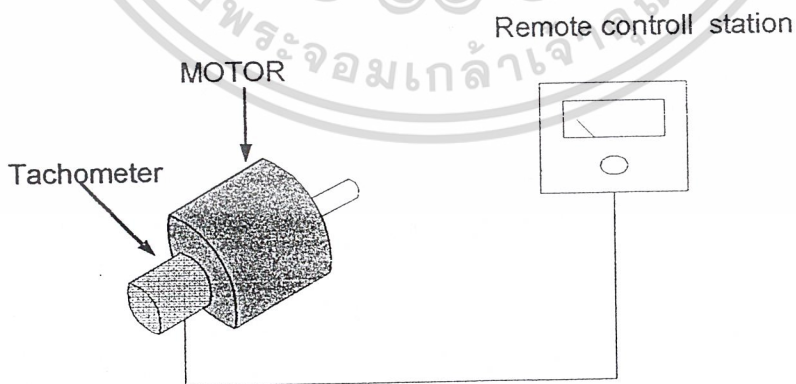
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับความเร็ว



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับตำแหน่งที่มีการแก้เบี่ยงด้วยทาโคเจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 2.3 การอ่านค่าความเร็วของเพลาของมอเตอร์ด้วยทาโคเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 โมเดลคณิตศาสตร์ของทาโคเจนเนอเรเตอร์

คุณลักษณะพื้นฐานของทาโคมิเตอร์ คือ จะให้เอาต์พุตโวลต์ที่เต็ม เป็นสัดส่วนกับความเร็วจนของโรเตอร์ ดังคุณลักษณะไดนามิกของทาโคเจนเนอเรเตอร์สามารถแสดงได้โดยสมการดังนี้

$$C_g(t) = K_g \frac{d\theta(t)}{dt} = K_g \omega(t) \quad (1)$$

เมื่อ $C_g(t)$ = เอาต์พุตโวลต์ที่เต็ม (voltage)
 $\theta(t)$ = ระยะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ (rad.)
 $\omega(t)$ = ความเร็วของโรเตอร์ (rad/s)
 K_g = ค่าคงที่ของทาโคมิเตอร์ (volt / rpm * 10³)

Transfer function ของทาโคเจนเนอเรเตอร์จะหาได้โดยการใส่ลาปลาซทรานสฟอร์มสมการข้างบนเราจะได้

$$\frac{E_g(s)}{\theta(s)} = K_g s \quad \text{หรือ} \quad \frac{E_g(s)}{\omega(s)} = K_g \quad (2)$$

เมื่อ $\theta(s)$ ระยะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์พิจารณาให้เป็นอินพุตและโวลต์ที่เต็ม $E_g(s)$ เป็นเอาต์พุต

2. เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (servo amplifier)

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์โดยปกติ สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณ กล่าวคือ สัญญาณ input ที่เข้ามาในรูปโวลต์ที่เต็ม จะถูกขยายโดยภาค power ของ servo amplifier ได้สัญญาณ output ในรูปโวลต์ที่เต็มหรือกระแสตามแต่ output ที่ต้องการนำไปใช้ นอกจากนั้นมักใช้เป็นเสมือนการชดเชย หรือใช้เป็นขั้วมิ่งแอมพลิไฟ. ทำหน้าที่เหมือนกับจุดรวมของสัญญาณบังคับ และสัญญาณป้อนกลับของระบบ จึงได้แก่สัญญาณที่ได้จากทาโคมิเตอร์ และสร้างสัญญาณเออร์เรอร์ ซึ่งจะถูกขยายโดยภาคเพาเวอร์เพื่อไปแก้พารามิเตอร์ที่ต้องคอนโทรลให้มีค่าที่ถูกต้อง

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ที่แท้จริงสามารถให้เอาต์พุตโวลต์ที่เต็มหรือกระแสที่มีค่าเป็นบวกและลบได้ ดังนั้นมันจะทำงานได้ใน 4 ควอดแดรนต์(quadrants)

เราสามารถจัดประเภทของเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

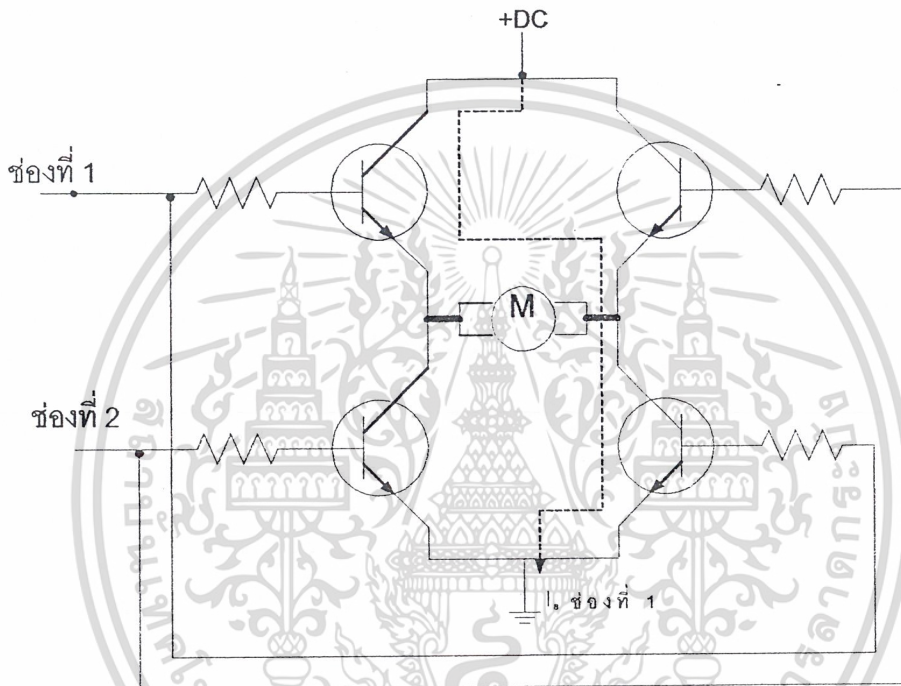
1. ลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. SCR แอมพลิไฟเออร์
3. สวิตชิงแอมพลิไฟเออร์

2.1 ลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์

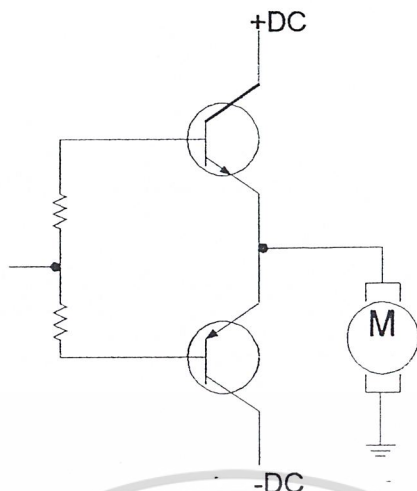
เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์แบบทรานซิสเตอร์จัดออกได้ตามหลักการออกแบบภาคเอาต์พุตออกเป็น 2 แบบคือแบบ “H” และ “T” มีลักษณะวงจรพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 2.4 ภาคเอาต์พุตแบบ “H” (ใช้เพาเวอร์ซีพหลายตัวเดียว)

วงจรภาคเอาต์พุตแบบ “H” ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัวใช้ซีพเพาเวอร์ซีพหลายเพียงตัวเดียว ภาคเอาต์พุตแบบนี้มีข้อดีคือ ง่าย เพาเวอร์ซีพหลายใช้เพียงขั้วเดียว(+DC) วงจรภาคเอาต์พุตแบบนี้ทำงานเป็นลิเนียร์ได้ยาก และก็จะระทำการป้อนกลับของกระแสและโวลต์เตจจากมอเตอร์ได้ยากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ภาคเอาต์แบบ “ T ” (ต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายสองตัว)

วงจรภาคเอาต์แบบ “ T ” จะต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายสองชุด (+ DC และ - DC) และทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ที่เป็นคอมพลิเมนต์กัน แต่สามารถใคร่ให้เป็นลิเนียร์ได้ง่ายและสามารถทำการป้อนกลับของโวลต์เตจและกระแสได้ง่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้วงจรแบบ “ T ” มักได้รับการนิยมใช้เป็นลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์

2.2 SCR แอมพลิไฟเออร์

ระบบคอนโทรลความเร็วที่ SCR จะไม่สามารถคอนโทรลความเร็วได้ช่วงพิสัยกว้างเหมือนกับการคอนโทรลด้วยลิเนียร์ทรานซิสเตอร์แอมพลิไฟเออร์ ปัญหาหนักอีกอันหนึ่งของการคอนโทรลดีซีมอเตอร์ด้วย SCR คือมันจะให้ฟอร์มแฟคเตอร์ที่มีค่าสูงซึ่งอาจจะทำให้การทำงานของมอเตอร์เลวลงและมีผลกระทบให้เกิดความร้อนในตัวมอเตอร์

ในกรณีการคอนโทรลเซอร์โวมอเตอร์ที่มีคุณภาพสูง และมีอินดักแต้นซ์ต่ำ เราสามารถกำหนดค่าของฟอร์มแฟคเตอร์ได้เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน เพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วต่ำมากๆ และมีทอร์คสูง และเราสามารถทำให้ฟอร์มแฟคเตอร์มีค่าน้อยลงได้โดยการเพิ่มตัวอินดักแต้นซ์อนุกรมกับวงจรจ่อมอเตอร์ซึ่งจะทำให้กระแส RMS มีค่าต่ำสุด

2.3 สวิตซ์แอมพลิไฟเออร์

สวิตซ์แอมพลิไฟเออร์สามารถแก้ปัญหาความร้อนที่เกิดในภาคเอาต์พุตได้ โดยภาคเอาต์พุตของสวิตซ์แอมพลิไฟเออร์จะทำงานเป็นสวิตซ์อย่างรวดเร็วจากสถานะที่ไม่นำกระแสการนำไปสู่สถานะการนำกระแสเต็มที่ ดังนั้นจะทำให้ภาคเอาต์พุตทำงานในย่านที่มีการสูญเสียน้อยที่สุด

เพาเวอร์ที่สูญเสียในสวิทซ์িংแอมป์มีสาเหตุมาจากสองประการคือ

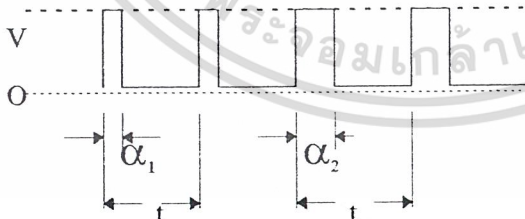
1. ฟอว์เวอร์คโวลท์เตจตกคร่อมเอาท์พุททรานซิสเตอร์มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลท์
2. ทรานซิชันไทม์ Transition time คือเวลาที่ใช้ในการสวิทซ์จากสถานะ ON ไปสู่สถานะ OFF แอมป์ลิไฟเออร์ที่มีสวิทซ์เรทสูงทรานซิชันไทม์จะเป็นเวลาส่วนสำคัญของสวิทซ์ซิ่งไทม์ทั้งหมด ดังนั้นการกำหนดสวิทซ์ซิ่งเรทให้มีค่าสูงเพื่อหวังให้ได้แบนด์วิดท์กว้างที่สุดนั้นสวิทซ์ซิ่งเรทอาจมีผลกระทบถึงการสูญเสียเพาเวอร์ในภาคเอาท์พุทด้วย

การคอนโทรลเพาเวอร์ด้วยสวิทซ์ซิ่งแอมป์ลิไฟเออร์กระทำได้ 3 วิธีที่เป็นพื้นฐานดังนี้

1. พัลส์-วิดท์โมดูเลชัน (PWM)
2. พัลส์-ฟริควนซีโมดูเลชัน (PFM)
3. ซิลิคอน คอนโทรลเร็คติไฟเออร์ (SCR)

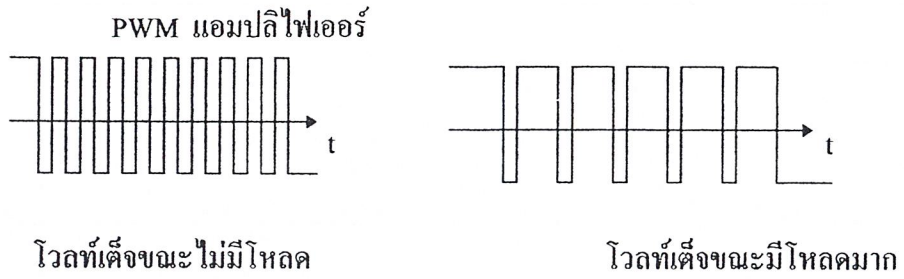
2.3.1 พัลส์-วิดท์โมดูเลชัน (PWM)

ระบบ PWM ปกติจะใช้ ดีไซน์พพลายและแอมป์ลิไฟเออร์เป็นตัวสวิทซ์ซิ่งพพลายโวลท์เตจให้ ON และ OFF ที่ความถี่คงที่และมีส่วนของมุม ON ที่ปรับค่าได้ (α) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ดังนั้นเราสามารถปรับค่าโวลท์เตจเฉลี่ยที่จ่ายให้โหลดได้ ปริมาณของเพาเวอร์ที่ส่งผ่านให้โหลดจะขึ้นอยู่กับสวิทซ์ซิ่ง (Switching rate) และอินดักแตนซ์ของโหลด



รูปที่ 2.6 แสดงลูกคลื่นโวลท์เตจของ PWM แอมป์ลิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

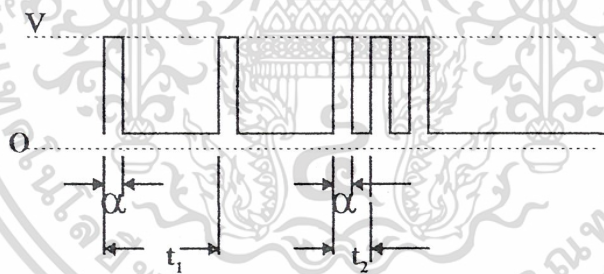


รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า PWM แอมพลีไฟเออร์จะเปลี่ยนค่าความถี่เกิดไปตามโหลด

เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นความถี่ของ PWM แอมพลีไฟเออร์จะคงที่ แต่จะเปลี่ยนค่าความถี่เกิดไปตามโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.3.2 พัลส์-ฟริควนซีโมดูเลชัน (PFM)

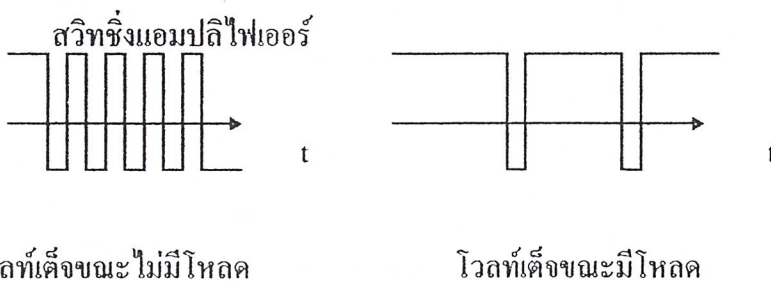
ระบบ PFM จะมีการคอนโทรลให้ส่วนของมูม ON ที่คงที่ และส่วนของความถี่ในการสวิทช์ (repetition rate) ที่ปรับค่าได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การคอนโทรลในแบบที่ปรับค่าความถี่ของพัลส์ในช่วงที่กว้างมากจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียเพาเวอร์



รูปที่ 2.8 แสดงลูกคลื่นโวลต์เตจของ PFM แอมพลีไฟเออร์

เราจะเห็นได้ว่าเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ความถี่ของ PFM แอมพลีไฟเออร์จะลดลงดังแสดงในรูปที่

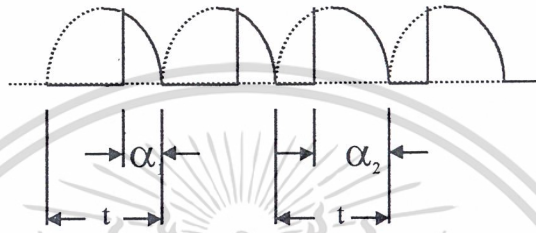
2.9



รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่าทั้งความถี่และความถี่เกิดของ PFM แอมพลีไฟเออร์จะเปลี่ยนไปตามโหลด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ซิลิคอนคอนโทรลเร็คตีไฟเออร์ (SCR)

วงจร SCR การคอนโทรลตามปกติจะใช้ร่วมกับเอซึซัพพลายโวลต์เตจที่เร็คตีไฟแล้ว และวงจรเร็คตีไฟสามารถจะอยู่ก่อนหน้าหรือหลังของส่วนการคอนโทรลของแอมพลิไฟเออร์ในรูปที่ 11 แสดงให้เห็นถึงซัพพลายโวลต์เตจที่เร็คตีไฟแบบฟูล-เวฟ มุม ON สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศาของฮาฟ-เวฟ ค่าเฉลี่ยของเอาท์พุทโวลต์เตจจะไม่เป็นสัดส่วนกับมุม ON ในส่วนนี้ต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการออกแบบ



รูปที่ 2.10 แสดงลูกคลื่นโวลต์เตจ SCR แอมพลิไฟเออร์

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิด ตามวิธีการแบ่งต่างๆ แต่ถ้าใช้การแบ่งตามการป้อนกลับ จะได้เป็น 2 ชนิด คือ แอมพลิไฟเออร์กระแส และ โวลต์เตจแอมพลิไฟเออร์ สำหรับในการทดลองนี้จะเป็นแบบ แอมพลิไฟเออร์กระแส

2.4 แอมพลิไฟเออร์กระแส

แอมพลิไฟเออร์กระแสต่างจากโวลต์เตจแอมพลิไฟเออร์ โดยที่วาระสจะถูกรป้อนกลับ ดังนั้นกระแส output จะเป็นสัดส่วนกับ input โวลต์เตจ ดังนั้นจะได้ Transfer function คือ

$$\frac{I_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{A}{1 + \tau_a s}$$

(3)

เมื่อ $A =$ อัตราขยายแอมพลิไฟเออร์

$\tau_a =$ Time constant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แอมพลิไฟเออร์โวลต์เต็จ

แอมพลิไฟเออร์ในอุดมคติควรมีอัตราขยายคงที่สำหรับทุกความถี่ อย่างไรก็ตามจะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ และแอมพลิไฟเออร์ทั้งหลายจะมีแบนด์วิดท์ที่ถูกรจำกัด ถ้าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของแอมพลิไฟเออร์มีโพลเดี่ยวทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างคำสั่งอินพุต $V_{in}(s)$ และเอาต์พุต $V_{out}(s)$ คือ

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{A}{1 + s\tau_a} \quad (4)$$

A = คืออัตราขยายดีซีของแอมพลิไฟเออร์

τ_a = คือ time constant



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

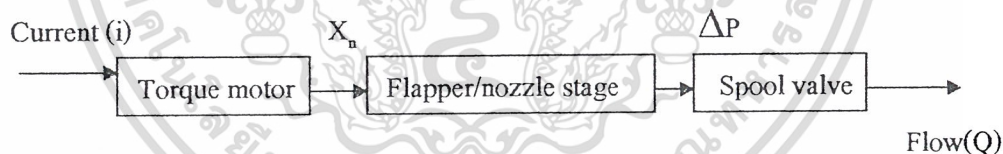
ทฤษฎีเบื้องต้นของ Servovalve and Hydraulicmotor

1. ทฤษฎีเบื้องต้นของ Servovalve

Servovale เป็น Directional Control Valve ชนิดหนึ่งซึ่งมีความแน่นอนในการควบคุมสูง และ Servovale ยังสามารถควบคุมปริมาณของการไหลได้เป็นอย่างดีอีกด้วย Servovale จะใช้คู่กับ Feedback-sensing Devices โดยที่ Servovale จะเป็นอุปกรณ์หลักในระบบควบคุมป้อนกลับ Servovale ที่นิยมใช้มักจะมีส่วนของ Flapper /nozzle stage ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันและจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของ Spool 5-way Valve การเคลื่อนที่ของ Flapper จะถูกควบคุมโดยสัญญาณไฟฟ้ากำลังต่ำ ดังนั้น Servovale จึงเป็นอุปกรณ์ที่รวมระหว่าง

1. Lower power electronics
2. High power output hydraulics

ในสภาพการทำงานจริง สามารถเขียนผังการทำงานของ Servovale ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 Diagram การทำงานของ Servovalve

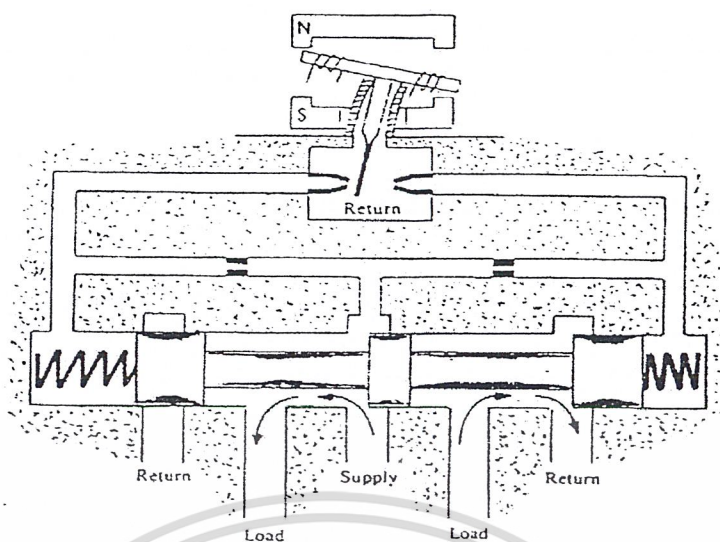
จากรูป i = กระแส (Current)

X_n = การกระจัดของ Flapper ที่ Nozzle

ΔP = ความแตกต่างของความดันของของเหลวที่ Nozzle

Q = ปริมาณการไหลของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของ Servovalve

จากรูปแสดงโครงสร้างของ Servovalve ชนิดหนึ่ง ในส่วนของ Torque motor จะประกอบด้วย Coil, Pole pieces, Magnets และ Armature โดยที่ส่วนกลางของ Armature จะต่อกับ Flapper หลักการทำงานของ Torque motor คือ กระแสที่ไหลเข้าไปใน Torque motor จะเข้าไปยัง Coil ซึ่งล้อมรอบด้วย Pole piece ซึ่งเป็นขั้วแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) เมื่อมีกระแสไหลใน Coil จะทำให้ Armature เปลี่ยนสภาพเป็นแม่เหล็ก จะทำให้ Armature บิดตัวไป เนื่องจากแรงผลักจาก Pole piece เป็นผลให้ Flapper ที่ติดอยู่กับ Armature เปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย

สำหรับ Nozzle จะอยู่แต่ละด้านของ Flapper ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ Flapper จะทำให้เกิดการปิด-เปิด ของ Nozzle ด้วย ความดันของ Hydraulic fluid จะถูกส่งไปยัง Nozzle ผ่าน Inlet orifice จากรูปจะเห็นว่า อยู่ที่ปลายของ Spool โดยจะมีชุดกรองขนาด 40 ไมครอน กรองของเหลวที่ผ่านส่วนนี้

ความแตกต่างของความดัน ที่ด้านปลายของ Spool ทั้งสองด้านของ Flapper ซึ่งอยู่ระหว่าง Nozzle เมื่อ Flapper เกิดการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันขึ้นที่ ปลายของ Spool ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และที่ปลายของ Spool จะมีสปริงเพื่อทำให้ Spool อยู่ตรงกลางตลอดเวลา ยกเว้นเมื่อมีกระแสไหลเข้ามาใน Torque motor ซึ่งกระแสจะทำให้ Armature บิดไปได้ทั้งทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา นั่นคือ จะทำให้ Spool เคลื่อนที่ไปซ้ายหรือขวาได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีเบื้องต้นของมอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motors)

มอเตอร์ไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์การทำงานอีกแบบหนึ่งที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่ส่งมาจากปั๊ม และวาล์วควบคุมต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยมีลักษณะการทำงาน ในแนวหมุน ทำให้แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฮดรอลิกหมุน ขับเครื่องจักรหรือโหลด ให้ทำงานตามที่เรารต้องการ โดยความดันของน้ำมันที่เกิดขึ้น ที่ตัวมอเตอร์ไฮดรอลิกเป็นตัวชี้ถึงแรงบิดหรือทอร์กของมอเตอร์ อัตราการไหลที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ไฮดรอลิก และปริมาตรจุของ มอเตอร์ก็จะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของเพลลาของมอเตอร์ไฮดรอลิก

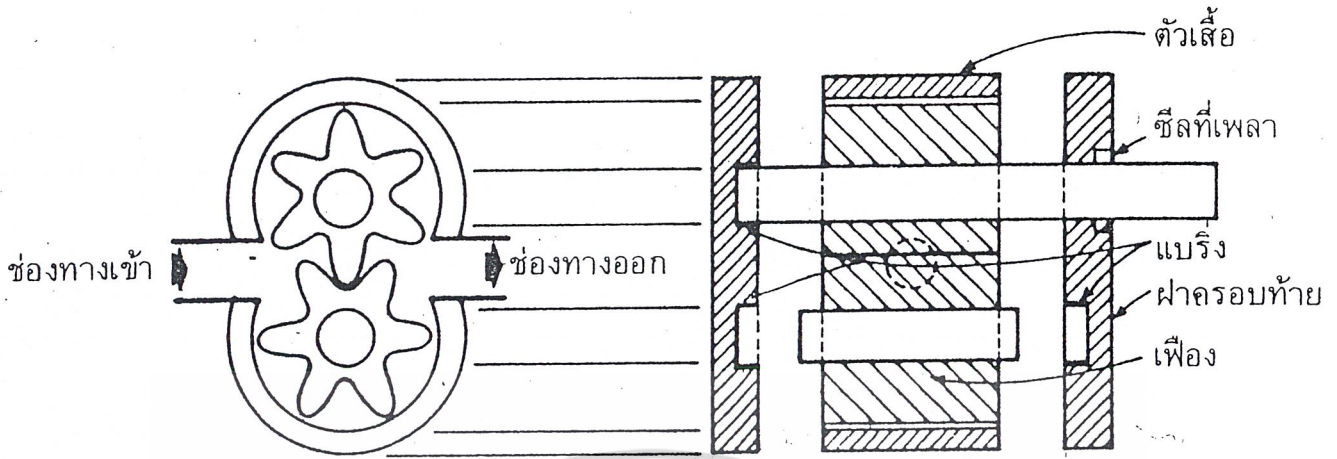
มอเตอร์ไฮดรอลิกมีทั้งชนิดที่หมุนได้ 2 ทิศทางและหมุนได้ทิศทางเดียว ช่องทางเข้าและช่องทางออกของมอเตอร์จะมีขนาดเท่ากันและทนต่อความดันได้เท่ากัน

2.1 ประเภทของมอเตอร์ไฮดรอลิก

เราสามารถแบ่งประเภทของมอเตอร์ไฮดรอลิกได้ 2 วิธี คือ

2.1.1 แบ่งจากโครงสร้างของชิ้นส่วนอุปกรณ์ขับเคลื่อน

2.1.1.1 มอเตอร์แบบเฟือง ทอร์กของมอเตอร์แบบนี้เกิดจากความดันที่กระทำต่อฟันเฟือง ทำให้ฟันเฟืองเคลื่อนที่ขบกัน และจะผลักดันให้เพลลาหมุนไป และยังแบบออกได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งแตกต่างกันที่โครงสร้างแต่หลักการทำงานเหมือนกัน



ความดันแตกต่างที่ฟันเฟืองช่องทางเข้า
กับช่องทางออก ช่วยให้น้ำมันถูกพาไป
ยังช่องทางออกและไม่มีผลต่อแรงบิดที่เกิดขึ้น

ความดันแตกต่างที่ฟันเฟืองช่องทางเข้า
กับช่องทางออก ช่วยให้น้ำมันถูกพาไป
ยังช่องทางออกและไม่มีผลต่อแรงบิดที่เกิดขึ้น



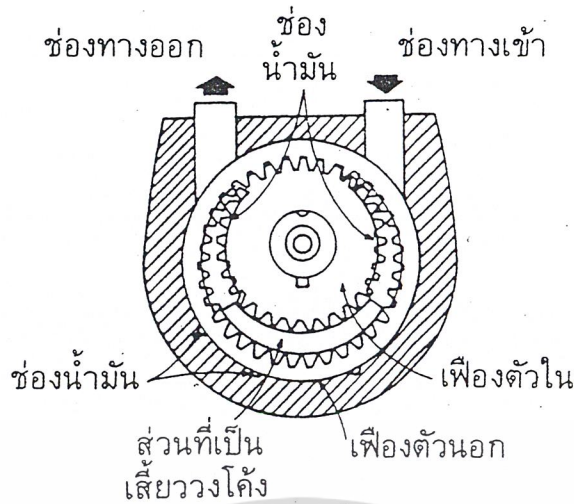
ที่ฟันเฟืองทั้งสองนี้มีความดัน
เท่ากัน และมีค่าเท่ากับความ
ดันน้ำมันที่ท่อทางไหลกลับ
ถึงพัก

น้ำมันความดันสูงกระทำกับฟันเฟืองทั้งสอง
และผลักดันในตัวเฟืองหมุนไปตามทิศทางหัวลูกศร

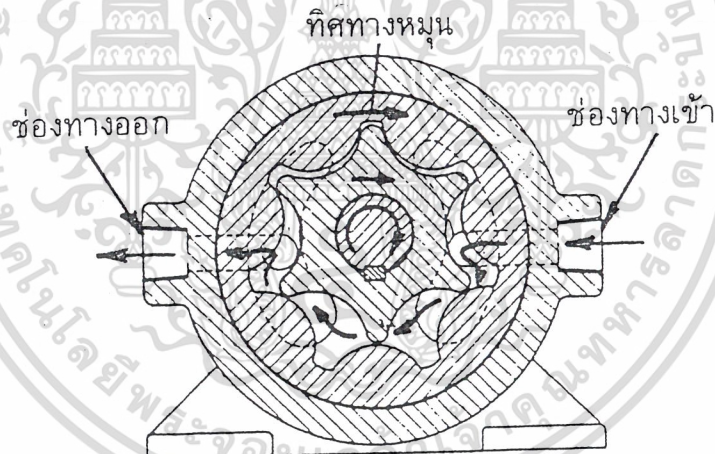
ฟันเฟืองทั้งสองที่ขบกันอยู่นี้หมุนทิศทาง
ตรงกันข้ามทำให้ได้แรงบิดที่เพลลาหมุนขับ
โหลดไปได้

รูปที่ 3.3 มอเตอร์แบบเฟืองฟันนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 มอเตอร์แบบเฟืองฟันใน



รูปที่ 3.5 มอเตอร์แบบจีโรเตอร์

2.1.1.2 มอเตอร์แบบเวน น้ำมันจะไหลเข้ามาหมุนใบเวน แล้วไปขับเคลื่อนเพลลาของมอเตอร์ให้หมุน มอเตอร์แบบเวนนี้อีกการออกแบบแตกต่างกันออกไปสำหรับการใช้งาน แบ่งได้เป็น 4 แบบดังนี้

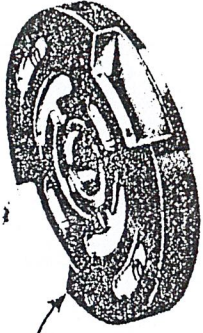
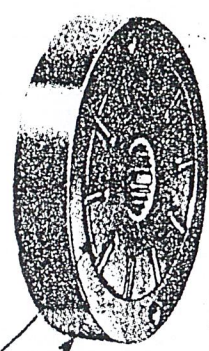
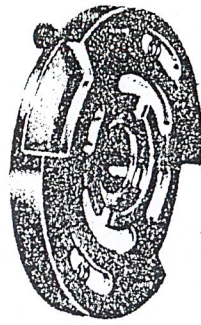
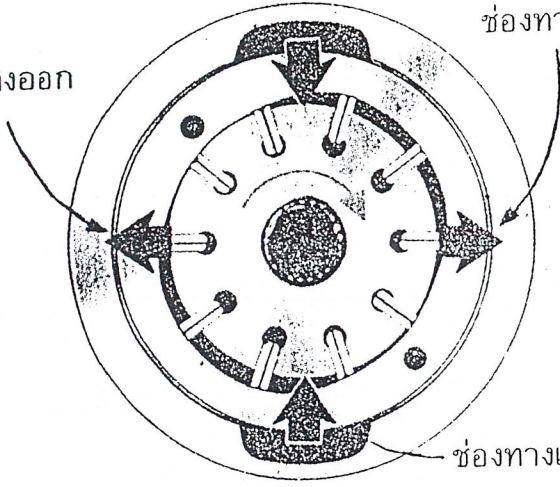
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องทางเข้า

ช่องทางออก

19

ช่องทางออก



โรเตอร์

ตัวเสื่อ

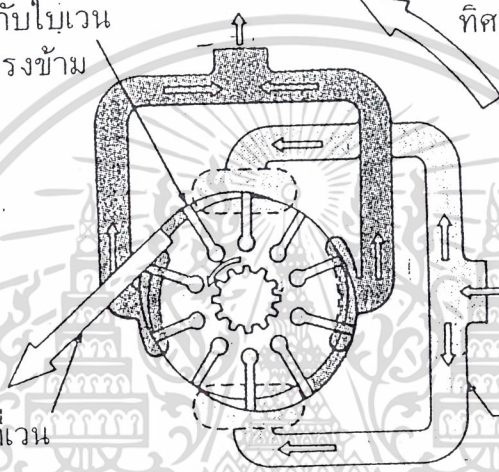
ฝาท้าย

ช่องทางเข้า

น้ำมันความดันสูงกระทำกับไบเวน
ทางด้านเข้าและทางด้านตรงข้าม
มีความดันต่ำ

ช่องทางออก

ทิศทางหมุน



ทำให้ได้แรงจากการที่ไบเวน
ถูกกระทำให้เคลื่อนที่
เกิดเป็นแรงบิดที่เพลาชั้บโหลด

ช่องทางเข้า

ช่องทางเข้าภายในมอเตอร์
ถูกต่อให้เป็น 2 ช่องเพื่อให้มี
ความดันสมดุลทั้งสองด้าน
ของโรเตอร์

รูปที่ 3.6 มอเตอร์เวนแบบสมดุล

แผ่นต่อช่องทาง
วงแหวน

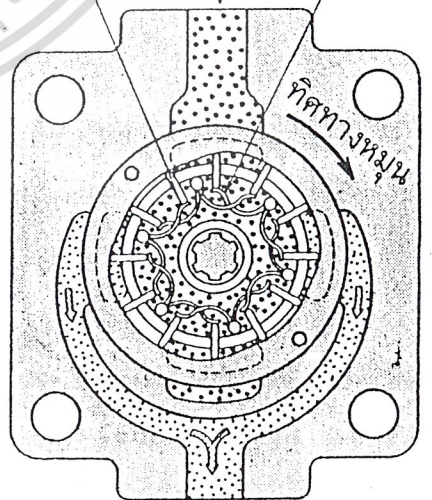
โรเตอร์

ช่องทางเข้า

ไบเวน

สปริง

เพลลา



ทิศทางหมุน

วาล์วกันกลับ
2 ทาง

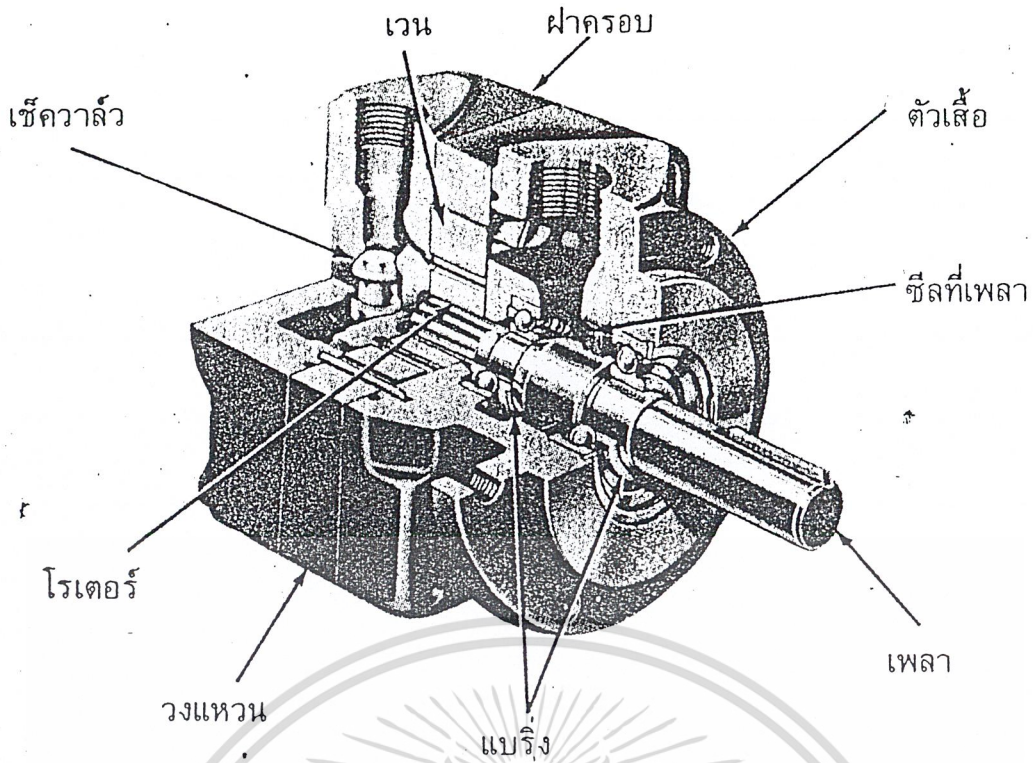
ช่องระบาย

ช่องทางออก

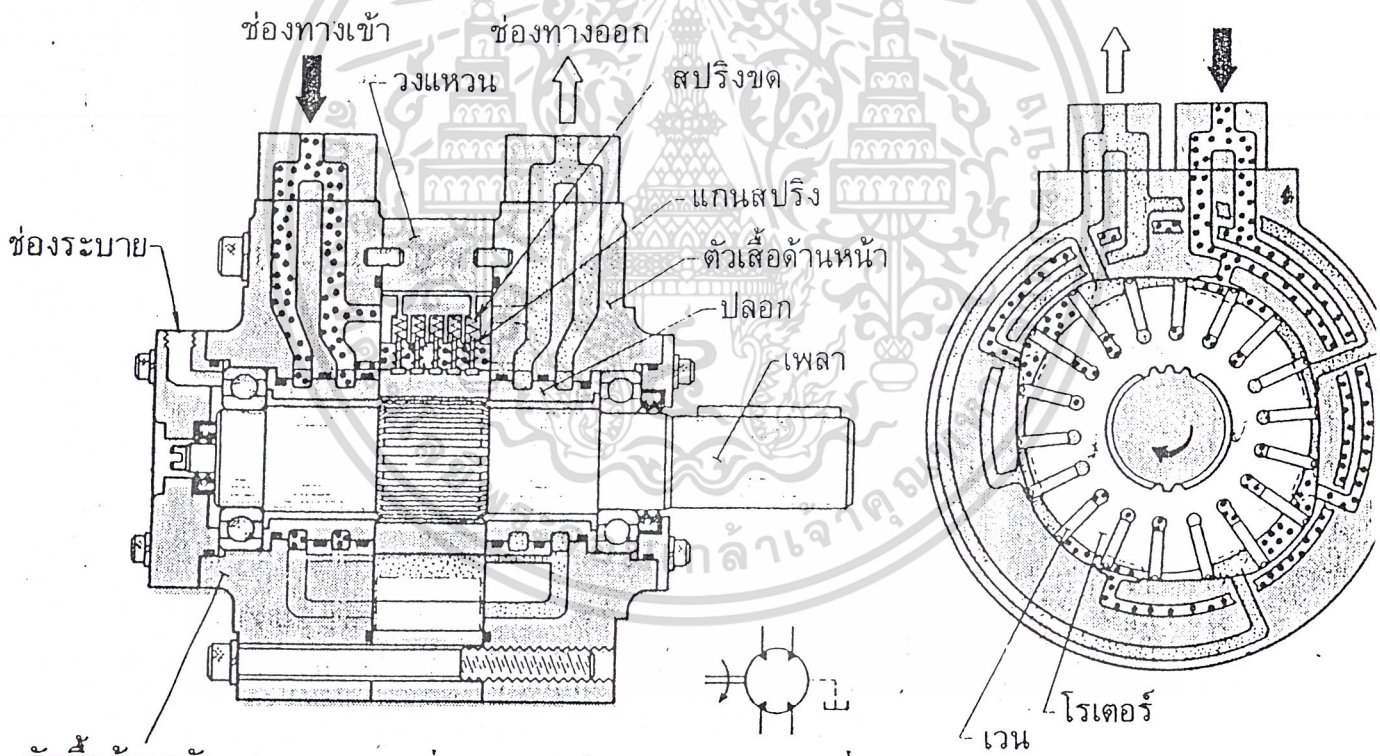
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลข้างต้น... การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 มอเตอร์เวนแบบสมดุลชนิดหมุนกลับทางได้



รูปที่ 3.8 มอเตอร์เวนแบบหมุนได้ทางเดียว

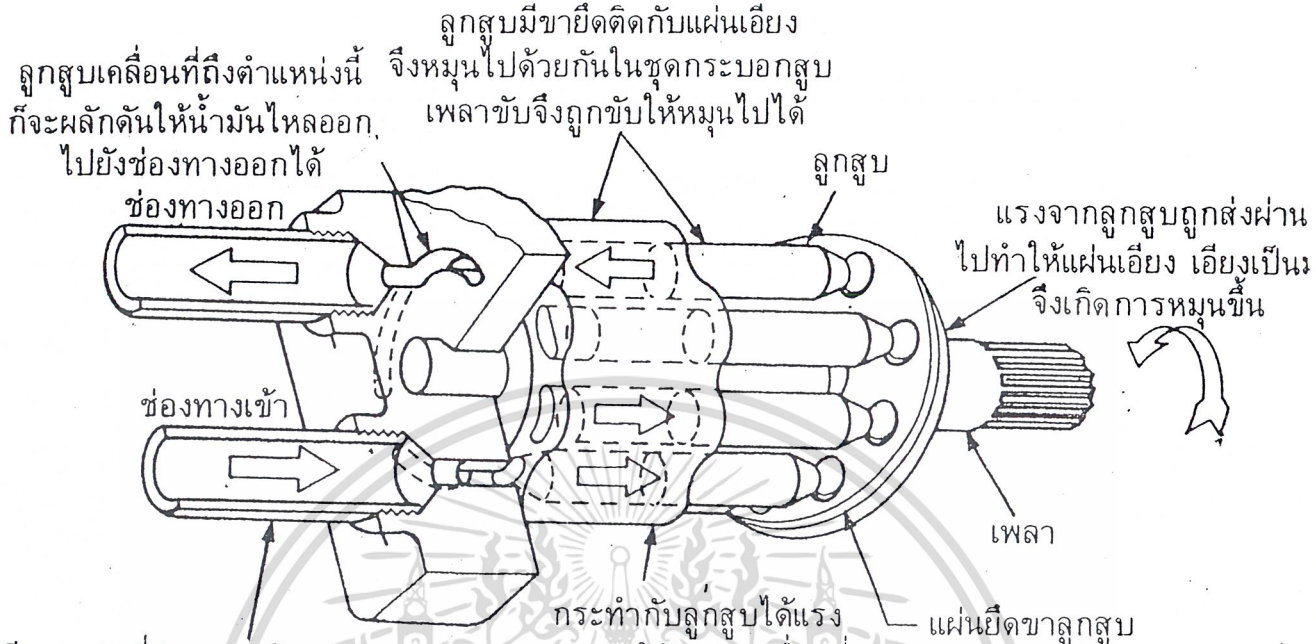


รูปที่ 3.9 มอเตอร์เวนชนิดความเร็วรอบต่ำแรงบิดสูง

2.1.1.3 มอเตอร์แบบลูกสูบ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีความเร็วรอบสูงกว่า และทำงานในความดันสูงมาก ๆ ได้ มอเตอร์แบบนี้แบ่งตามโครงสร้างได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบลูกสูบแถวเรียงรอบแกนเฟลา กับแบบลูกสูบแนวรัศมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3.1 แบบลูกสูบแถวเรียงรอบแกนเพลลา แบ่งเป็น 2 แบบตาม

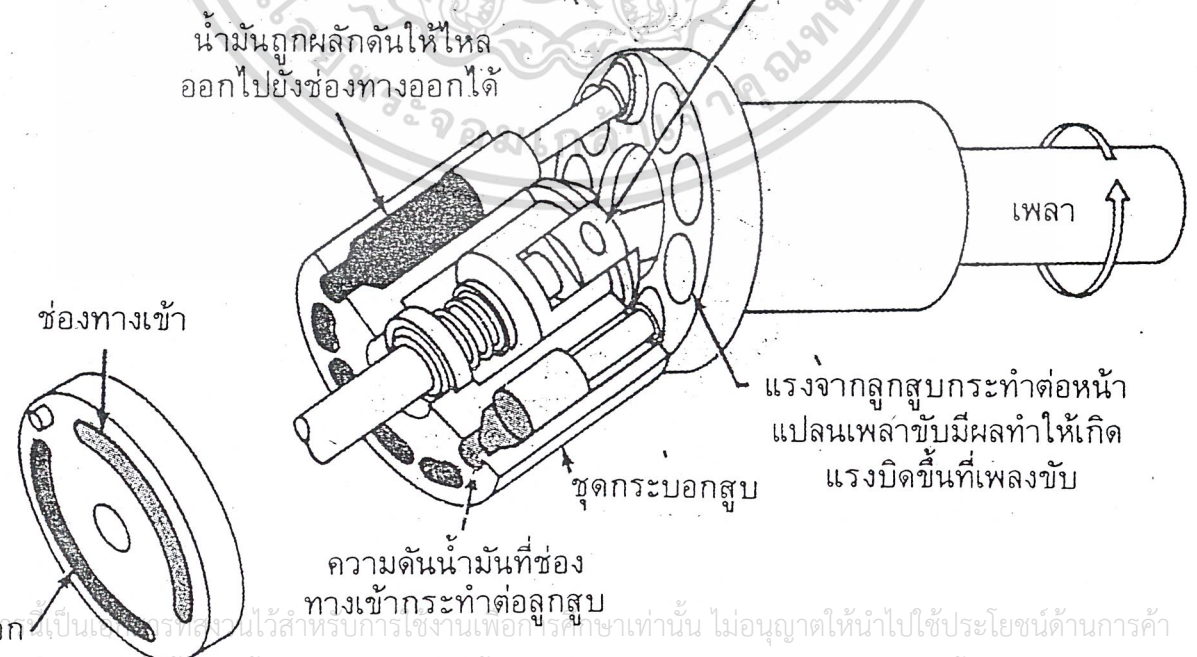
ลักษณะการวางเพลลาคือในรูป



รูปที่ 3.10 มอเตอร์ลูกสูบแบบแถวเรียงรอบแกนเพลลา

ก้านต่ออยู่ในเวอร์เซลล์ ทำหน้าที่รักษาแนวและปรับให้ชุดกระบอกลูกสูบหมุนไปด้วยกันกับเพลลาขับ

น้ำมันถูกผลักดันให้ไหลออกไปยังช่องทางออกได้



รูปที่ 3.11 มอเตอร์ลูกสูบแบบแถวเรียงแบบวางแนวเดียวกับเพลลา

เป็นประโยชน์สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

2.1.1.3.2 แบบลูกสูบแนวรัศมี ก้านสูบจะสวมอยู่รอบ ๆ เพลาตัวใหญ่ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนลูกเบี้ยววางเยื้องศูนย์กลางอยู่ในตัวเสื้อที่เพลาตัวใหญ่นี้จะมีเพลาตัวเล็กซึ่งเป็นเพลาขับโพลด สวมติดตั้งอยู่ด้วยและอยู่เยื้องศูนย์กลางกัน การทำงานเมื่อป้อนน้ำมันเข้าด้วยความดันผ่านไปยังหัวลูกสูบ เมื่อลูกสูบได้รับความดันลูกสูบแต่ละตัวก็จะเลื่อนเข้าแต่จะเลื่อนได้ไม่เท่ากันเนื่องจากเพลาตัวใหญ่ที่เป็นวงแหวนลูกเบี้ยววางเยื้องศูนย์กลางอยู่ ดังนั้นก็จะทำให้วงแหวนลูกเบี้ยวหมุนไปได้ตามที่ลูกสูบแต่ละตัวเกิดการเคลื่อนที่ และเพลาที่ขับโพลดก็จะหมุนไปด้วย

2.1.2 แบ่งตามหลักการในการทำงาน

2.1.2.1 แบบปริมาตรคงที่ ปริมาตรภายในตัวมอเตอร์ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ทำให้น้ำมันที่ป้อนเข้าได้อย่างจำกัด ความเร็วของมอเตอร์จึงขึ้นอยู่กับขนาดปริมาตรจุต่อรอบ และปริมาตรน้ำมันที่ได้รับจากปั๊ม

2.1.2.2 แบบปรับเปลี่ยนปริมาตรจุได้ ปรับปริมาตรจุได้จึงปรับความเร็วได้ตามต้องการ

2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนมอเตอร์ไฮดรอลิก

2.2.1 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบปริมาตรคงที่ หมุนทางเดียว
ไม่ควรใช้ในวงจรที่ไม่มีความดันย้อนกลับ และไม่ควรใช้กับโพลดที่มีน้ำหนักมาก ๆ

รูปที่ 3.12 สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิกแบบปริมาตรคงที่หมุนทางเดียว

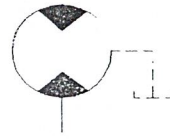
2.2.2 มอเตอร์ไฮดรอลิก แบบปริมาตรคงที่ หมุนได้สองทิศทาง

รับความดันสูงได้ ทั้งสองช่องทางของมอเตอร์ แต่ไม่พร้อมกัน และมีชนิดที่ ระบายน้ำมันภายนอกต่อลงถึงพัก จึงลดความเร็วได้ในทันที และสามารถที่จะรับความดันสูงที่ช่องทางของมอเตอร์ทั้งสองช่องทางได้ในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระบบภายใน



มีช่องระบายภายนอก

รูปที่ 3.13 สัญลักษณ์แทนมอเตอร์แบบปริมาตรคงที่หมุนได้ 2 ทิศทาง

2.2.3 มอเตอร์ไฮดรอลิก แบบปรับค่าปริมาตรจุได้ หมุนได้สองทิศทาง

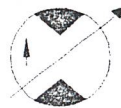
มอเตอร์แบบนี้ จะมีค่าปริมาตรจุได้สูงสุดในขณะทำงานปกติ ทำให้ได้แรงบิดสูงสุดตามขนาดของมอเตอร์ แต่ความเร็วรอบต่ำ



รูปที่ 3.14 สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิกปรับค่าได้หมุนได้ 2 ทิศทาง

มอเตอร์แบบนี้ จะมีค่าปริมาตรจุได้สูงสุดในขณะทำงานปกติ ทำให้ได้แรงบิดสูงสุดตามขนาดของมอเตอร์ แต่ความเร็วรอบต่ำ

2.2.4 มอเตอร์ไฮดรอลิก แบบปรับค่าปริมาตรจุได้ และมีการชดเชยความดัน หมุนได้สองทิศทาง



รูปที่ 3.15 สัญลักษณ์แทนมอเตอร์ไฮดรอลิก ปรับค่าได้ และมีการชดเชยความดัน หมุนได้ 2 ทิศทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบนี้จะมีอุปกรณ์ชดเชยความดัน ติดตั้งอยู่ในตัวมอเตอร์เพื่อควบคุมให้ ปริมาตรเพิ่มขึ้นได้โดยอัตโนมัติ เมื่อโหลดต้องการแรงบิดที่เพลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้แรงบิด เพิ่มขึ้น และความเร็วลดลง

3. การหา Transfer function ของ Servovalve และ Hydraulic motor

ในการพิจารณา Transfer function นั้น ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติพื้นฐานของทั้ง Servovalve และ Hydraulic motor มาก่อน ดังนั้นจึงแยกหัวข้อที่จะพิจารณาดังนี้

3.1 Steady-state Flow Characteristics of Spool Valves

สำหรับการหาสถานะที่คงที่ที่สุดของระบบควบคุม จึงจำเป็นต้องศึกษาถึง คุณลักษณะ และข้อจำกัดของ Spool valve โดยที่ในความเป็นจริงนั้น การเคลื่อนที่ขององค์ ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการไหลของของไหลใน Spool valve นั้น จะเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย โดย จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Port ใน Valve ดังนั้นเราจึงสามารถสร้างสมการ โดยอ้างอิงถึงกฎของ Bernoulli ดังนี้

$$Q = C_q a \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (5)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลโดยปริมาตร (Volumetric flow rate)

a = พื้นที่ (Restrictor area)

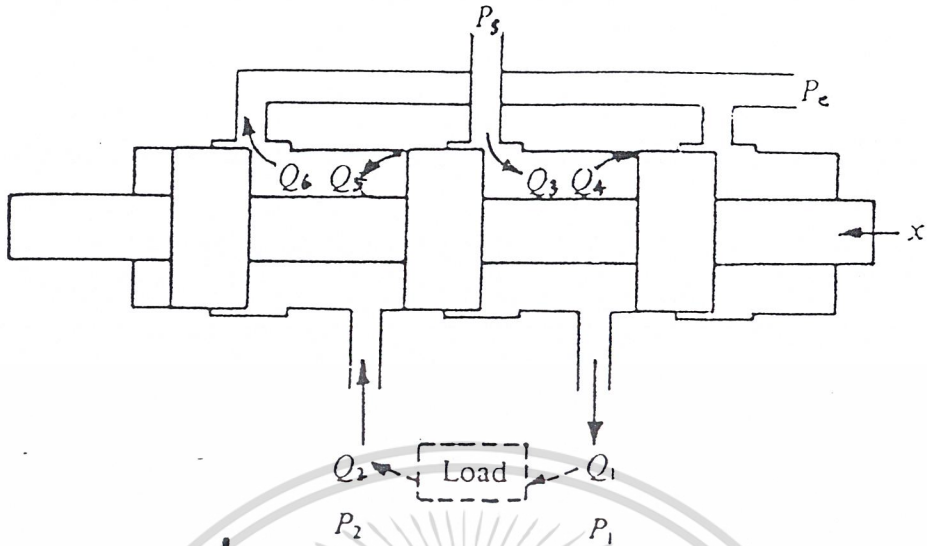
ΔP = ความแตกต่างของความดัน (Pressure differential)

ρ = ความหนาแน่นเชิงมวลของของไหล (Fluid mass density)

C_q = สัมประสิทธิ์ของการไหล (Flow coefficient)

ในการพิจารณาการไหลผ่าน Spool valve เราสามารถพิจารณาเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของ Spool valve คือ

3.1.1 Spool Valve with Linear Ports (Critically lapped)



รูปที่ 3.16 Five-port spool valve critically lapped

สำหรับ Valve ที่เป็น Critically lapped จะมีลักษณะดังรูป จะเห็นว่าช่องทางการไหลเข้าออก จะพอดีกับตัวปิด-เปิด แต่ก็ยังเกิดการรั่วไหลขึ้น นั่นคือ Q_1 และ Q_5 ดังนั้นจากการพิจารณาในแต่ละช่วงของ Spool valve ประยุกต์เข้ากับสมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow continuity equation) จะได้

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_3 - Q_4 & (6) \\ Q_2 &= Q_6 - Q_5 \end{aligned}$$

ในการคำนวณต่อไปจะสมมติให้ การรั่วไหล (Leakage) น้อยที่สุด ทำให้ได้สมการการไหลจาก สมการที่ 1 คือ

$$\begin{aligned} Q_1 = Q_3 &= C_q a \sqrt{\frac{2(P_s - P_1)}{\rho}} & (7) \\ Q_2 = Q_6 &= C_q a \sqrt{\frac{2(P_2 - P_e)}{\rho}} \end{aligned}$$

ถ้า $Q_1 = Q_2$ และ $P_e = 0$ (Return pressure) จากสมการที่ 3 จะได้

$$P_1 + P_2 = P_s \quad (8)$$

กำหนดให้ Load pressure differential คือ

$$P_1 - P_2 = P_L \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมสมการที่ 8 และสมการที่ 9 จะได้

$$P_1 = \frac{(P_s + P_L)}{2} \quad \text{และ} \quad P_2 = \frac{(P_s - P_L)}{2} \quad (10)$$

ดังนั้น

$$Q = Q_1 = Q_2 = C_q a \sqrt{\frac{2(P_s - P_L)}{\rho}} \quad (11)$$

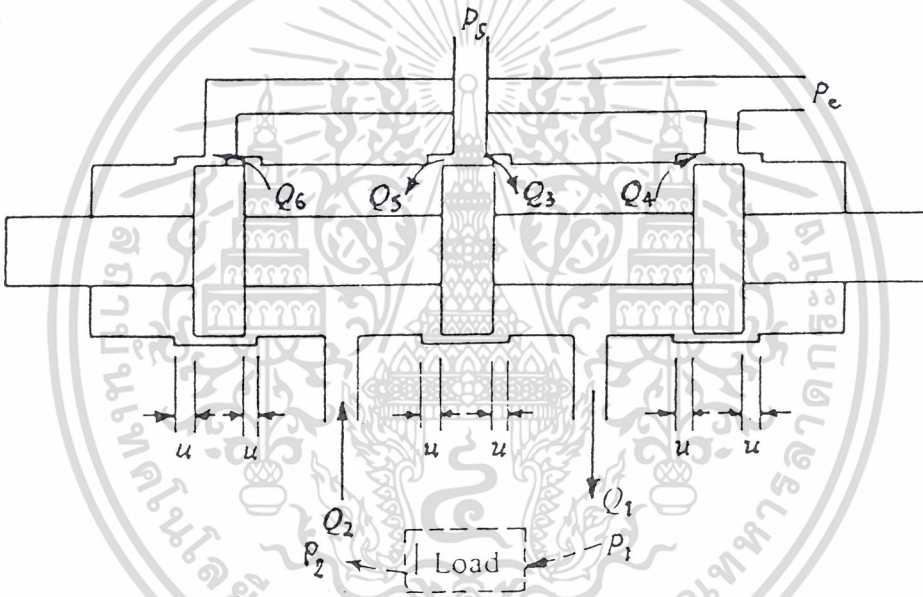
โดยที่

$$a = \omega X$$

X = การกระจัดของ Spool และ

ω = Area gradient

3.1.2 Spool Valve with Linear Ports (Underlapped)



รูปที่ 3.17 Five-port spool valve : underlapped

จากสมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow continuity equation); $X > u$ จะได้

$$Q_1 = Q_3 - Q_4 \quad (12)$$

$$Q_2 = Q_6 - Q_5$$

$$Q_1 = C_q \omega (u + X) \sqrt{\frac{2(P_s - P_1)}{\rho}} - C_q \omega (u - X) \sqrt{\frac{2P_1}{\rho}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น $Q_2 = C_q \omega (u + X) \sqrt{\frac{2P_2}{\rho}} - C_q \omega (u - X) \sqrt{\frac{2(P_s - P_2)}{\rho}}$ ซึ่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราพิจารณา $Q_1 = Q_2$ จะได้

$$P_1 + P_2 = P_s \quad (13)$$

และรูปของ Generalized flow equation จะเป็น

$$Q = Q_1 = Q_2 = C_q \omega (u + X) \sqrt{\frac{2(P_s - P_L)}{2\rho}} - C_q \omega (u - X) \sqrt{\frac{2(P_s + P_L)}{2\rho}} \quad (14)$$

3.2 Generalized Flow Characteristics

สำหรับ Critically lapped นั้นในทางปฏิบัติแล้วยากมากที่จะทำให้ไม่เกิดรั่วไหล หรือเกิดความพอดีระหว่างช่องปิด-เปิด และตัวปิด-เปิด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ทั้ง Underlapped spool (ที่สมมาตร) และ Critically lapped spool จะให้ผลของการไหลที่คล้ายกัน ที่สภาวะเริ่มต้น

ถ้าสมมติค่า u ให้น้อยและสมมาตร สมการการไหลสำหรับ Steady-state จะประมาณได้ดังนี้

นี้

3.2.1 ภายในบริเวณ Underlapped , $-0.33 \text{ mA} < i < 0.33 \text{ mA}$

$$Q(\text{L / min}) = [0.42i(\text{mA})] \sqrt{\frac{(P_s - P_L)}{2}} \quad (15)$$

3.2.2 นอกบริเวณ Underlapped , $-0.33 \text{ mA} < i < 0.33 \text{ mA}$

$$Q(\text{L / min}) = [0.07 + 0.21i(\text{mA})] \sqrt{\frac{(P_s - P_L)}{2}} \quad (16)$$

3.3 Hydraulic Motors

ปริมาตรของน้ำมันที่เข้าไปใน motor นั้นหาจากสมการ

$$V = D\theta \quad (17)$$

โดยที่ V = ปริมาตร (m^3)

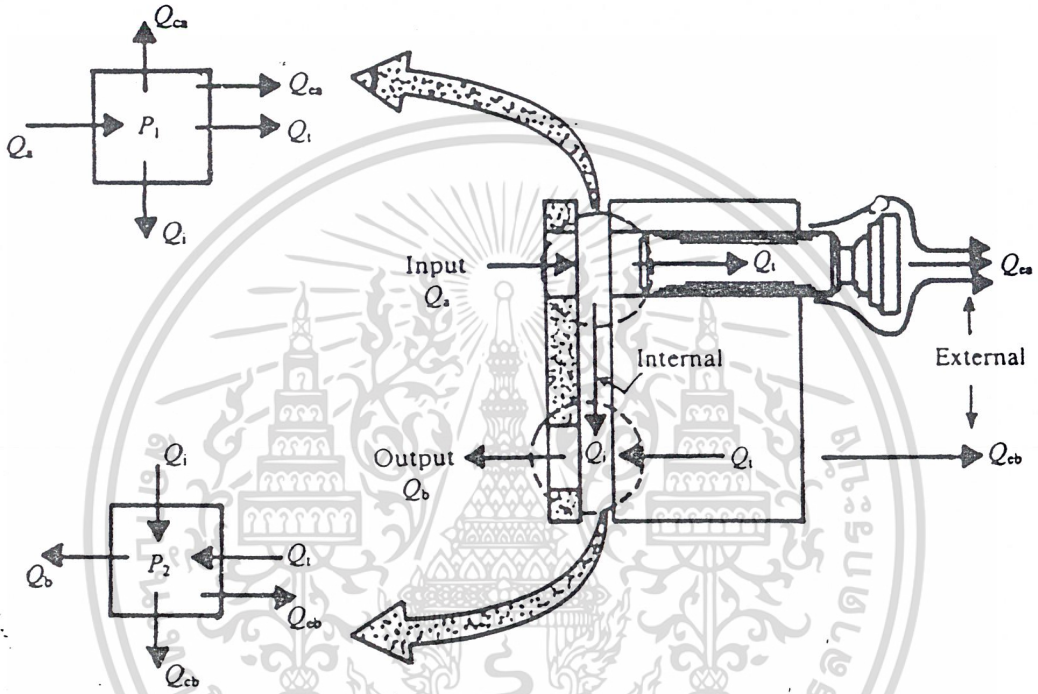
D = displacement (m^3)/radian(rad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 θ = ผลรวมของการหมุนเชิงมุม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 16 จะได้

$$Q = \frac{d(D\theta)}{dt} = D\omega \tag{18}$$

3.4 Flow Loss



รูปที่ 3.18 Simplified diagram of an axial piston motor

จากรูปการไหลทางทฤษฎี; Q_t

$$Q_t = D_g \omega = D_m \omega \tag{19}$$

โดยที่ D_g = Geometrical displacement

D_m = Displacement ของ motor

จากการพิจารณา สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow continuity equation) ที่ทางเข้าและทางออกจะได้

$$Q_a = Q_t + Q_i + Q_{ca} + Q_{ca} \tag{20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (21) การค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Q_{ca}, Q_{cb} = Compressibility flow loss

ในการไหลจริง ๆ ในแต่ละ Control volume จะพิจารณาการอัดตัวเมื่อมีความดัน ดังนั้นเราจะได้สมการดังนี้

$$Q_{ca} = \frac{P_a}{\beta} D_m \omega \quad \text{และ} \quad Q_{cb} = \frac{P_b}{\beta} D_m \omega \quad (22)$$

โดยที่ β = Bulk modulus

อย่างไรก็ตาม Flow losses ที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในการทดลอง บางอย่างก็ไม่สามารถอธิบายเหตุผลหรือ นิยามในรูปสมการได้ แต่มีบางส่วนที่เราจัดในรูปสมการได้ คือ

Cross-port leakage $Q_i = K_i (P_a - P_b)^{ni}$ (23)

External leakage $Q_{ca} = K_e (P_a)^{ne}$ (24)

$$Q_{cb} = K_e (P_b)^{ne} \quad (25)$$

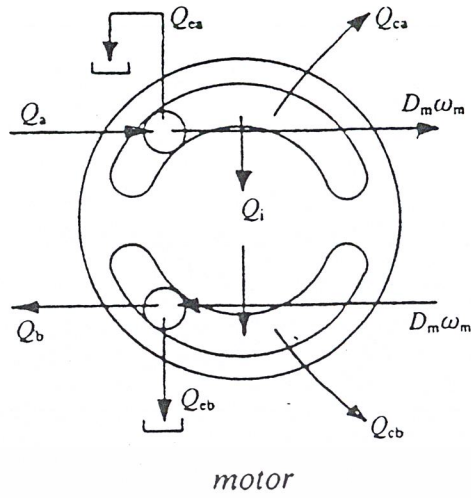
Compressibility losses $Q_{ca} = \frac{P_a}{\beta} Q_t + \frac{(P_a - P_b)}{P_c} Q_t$ (26)

$$Q_{cb} = \frac{P_b}{\beta} Q_t + \frac{(P_a - P_b)}{P_c} Q_t \quad (27)$$

K_i, K_e, P_c = ค่าคงที่ (อาจจะอยู่ในรูปของความเร็วของ Motor)

ดังนั้นสมการของการไหลจะได้เป็น

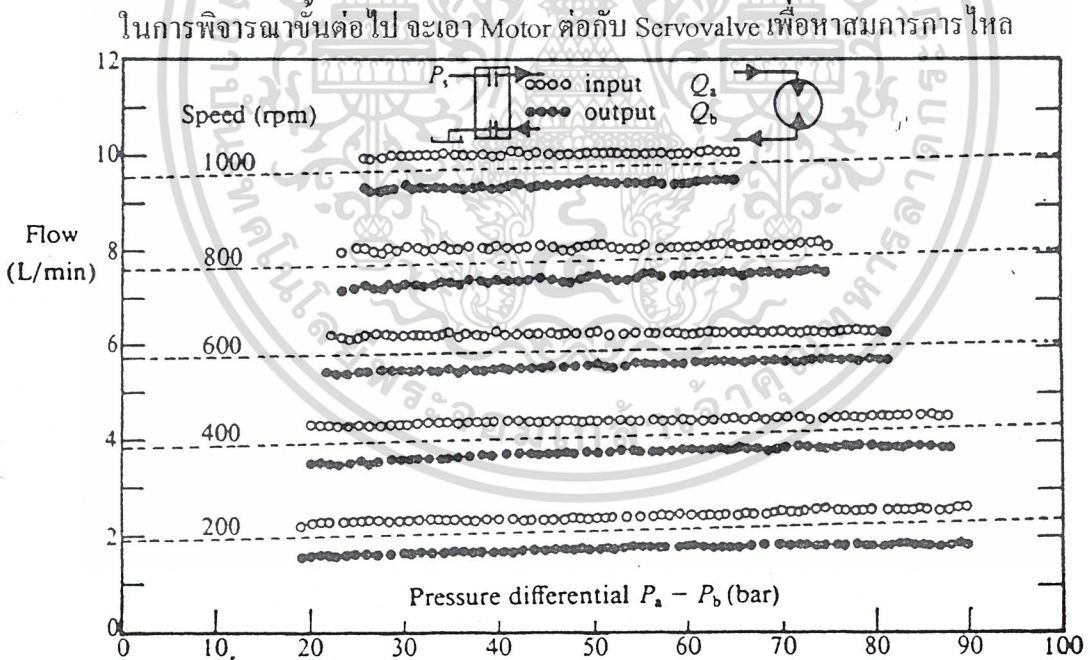
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการไหลภายใน motor

$$Q_a = D_m \omega_m + Q_i + Q_{ca} + Q_{ca} \tag{28}$$

$$Q_b = D_m \omega_m + Q_i - Q_{cb} - Q_{cb}$$



รูปที่ 3.20 Flow characteristics of a motor coupled to a servo valve

จากการวัดที่ได้จาก รูปจะเห็นว่าความเร็วไม่มีผลต่อกราฟมากนัก และความแตกต่างของการไหล ระหว่าง Input และ Output เกือบจะเป็นค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถจัดรูปแบบที่เป็นไปได้ เอกส ของสมการการไหล โดยอ้างอิง สมการที่ 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27 จะได้ว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_a = D_m \omega_m + (P_a - P_b) \left(K_i + \frac{D_m \omega_m}{P_c} \right) + P_a \left(K_e + \frac{D_m \omega_m}{\beta} \right) \quad (29)$$

$$Q_b = D_m \omega_m + (P_a - P_b) \left(K_i + \frac{D_m \omega_m}{P_c} \right) - P_b \left(K_e + \frac{D_m \omega_m}{\beta} \right) \quad (30)$$

จากสมการที่ 29 และสมการที่ 30 สามารถจัดในรูปง่ายโดยไม่คิดผลของความเร็ว จะได้

$$Q_a = D_m \omega_m \frac{P_a - P_b}{R_i} + \frac{P_a}{R_e} \quad (31)$$

$$Q_b = D_m \omega_m \frac{P_a - P_b}{R_i} - \frac{P_b}{R_e} \quad (32)$$

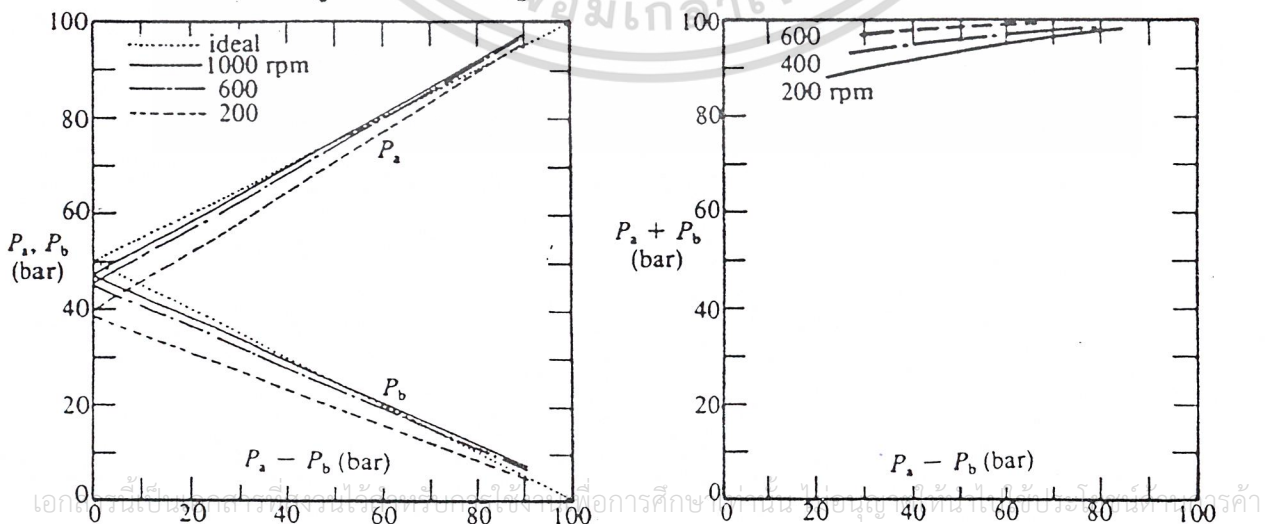
สำหรับค่าคงที่ ที่จัดในรูปของความต้านทาน อาจพิจารณาจาก Flow difference equation และ Mean flow equation ได้ดังนี้

Flow different $Q_a - Q_b = \frac{P_a + P_b}{R_e}$ (33)

mean flow $\frac{Q_a + Q_b}{2} = D_m \omega_m + (P_a - P_b) \left(\frac{1}{R_c} + \frac{1}{2R_e} \right)$ (34)

สำหรับสมการที่ 33 อาจแทน $P_a + P_b = P_s$ ในสถานะอุดมคติ

จากการทดสอบระบบโดยเปลี่ยนค่าผลรวมของความดัน เทียบกับความแตกต่าง ของความดันและความเร็ว ดังรูปที่ 3.21 โดยที่ $P_s = 100$ bar



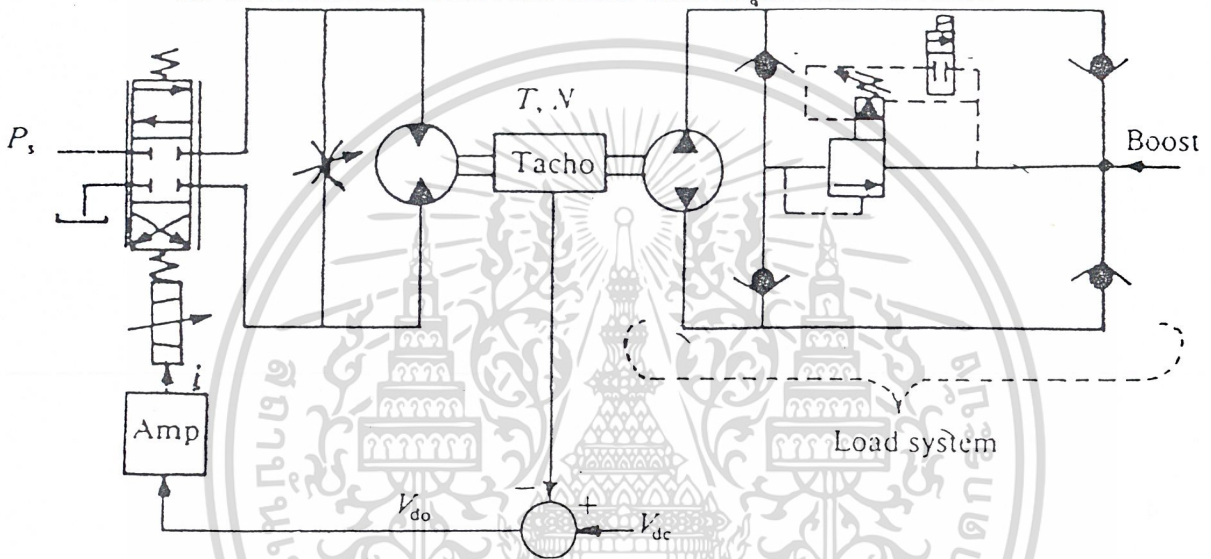
รูปที่ 3.21 Pressure characteristics for a servovalve-controlled motor

จากรูปจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของผลรวมของความดันจะเป็น 5% ของ Supply pressure ดังนั้น การสมมติว่า $P_a + P_b = P_s$ จึงพอใช้ได้ เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 33, 34 ($P_s = 100 \text{ bar}$) จะได้

$$R_e = 0.86 \times 10^{12} \text{ Nm}^2/\text{m}^3\text{s}^{-1}$$

$$R_r = 4 \times 10^{12} \text{ Nm}^2/\text{m}^3\text{s}^{-1}$$

3.5 การเชื่อมต่อ Servo valve และ Motor เพื่อควบคุมความเร็วของระบบ



รูปที่ 3.22 Servo valve/motor speed control system

จากสมการการไหลของ Servo valve (สมการที่ 16) สามารถเขียนในรูปทั่วไป และ derive สมการการไหล(สมการที่ 31, 32) จะได้

$$(K_o - K_f i) \sqrt{(P_s - P_i)} = D_m \omega + \frac{P_L}{R_i} + \frac{P_1}{R_e} \tag{35}$$

$$(K_o - K_f i) \sqrt{P_2} = D_m \omega + \frac{P_L}{R_i} - \frac{P_2}{R_e} \tag{36}$$

3.6 คณิตการไหลใน Motor ในรูปแบบ Dynamic Modeling of Lumped System

จาก Steady-state flow continuity equation ในหัวข้อ Flow losses คือ สมการที่ 31, 32 ซึ่งเราจะได้สมการที่ 35, 36 แต่จริง ๆ แล้ว สมการดังกล่าวยังถูกใช้ในการพิจารณา สำหรับ เอกสารเป็น Dynamic model เพราะว่า เราจะเพิ่มเทอมการอัดตัวเข้าไปในแต่ละสมการ รวมถึงการคำนวณความดันที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้สมการที่ 35, 36 ไม่สามารถใช้ได้ทันที เราต้องปรับแก้สมการเหล่านี้ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการนำเข้าไปใช้

พิจารณา ปริมาตรการไหลในเส้นทางไหลที่เชื่อมระหว่าง Control valve และ Motor ดังนั้น สมการการไหลจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$Q_a = D_m \omega + \frac{P_a - P_b}{R_i} + \frac{P_a}{R_e} \quad (37)$$

$$Q_b = D_m \omega + \frac{P_a - P_b}{R_i} - \frac{P_b}{R_e}$$

และจากสมการ Torque จะได้สมการ

$$T_m = D_m (P_a - P_b) - B_f(\omega, P_a, P_b) - B_v \omega \quad (38)$$

โดยที่ Function $B_f(\omega, P_a, P_b)$ เป็น Nonlinear friction ซึ่งพิจารณาจากการทดลอง (Empirically determined)

B_v = Viscosity friction

จากสมการที่ 37 รวม T_L และ Load inertia ; J_m จะได้

$$D_m (P_a - P_b) = T_L + B_v \omega + B_f(\omega, P_a, P_b) + J_m \frac{d\omega}{dt} \quad (39)$$

เขียนสมการที่ 39 ใหม่จะได้

$$P_a - P_b = P_L + \frac{B_v}{D_m^2} (D_m \omega) + \frac{B_f(\omega, P_a, P_b)}{D_m} + \left(\frac{J_m}{D_m^2} \right) \frac{d(D_m \omega)}{dt} \quad (40)$$

โดยที่ $P_L = \frac{T_L}{D_m}$

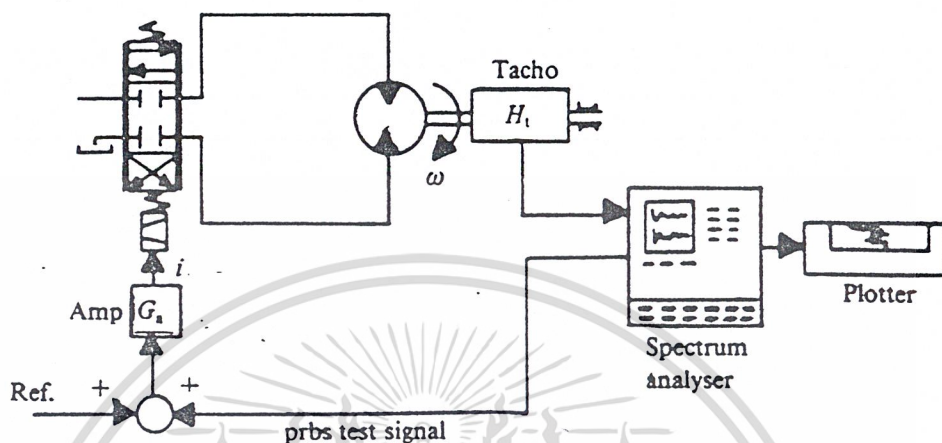
The viscous friction อาจแทนในรูป Analogous resistance ; $R_v = \frac{B_v}{D_m^2}$ และ Load

inertia เขียนใหม่ในรูป Inductance ; $L_m = \frac{J_m}{D_m^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 Identifying The Transfer Function of Servovalve/Motor System

ในการพิจารณา Open-loop transfer function ของ Servovalve ในการควบคุม Motor Transfer function จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วของ Motor และ กระแสไฟฟ้าที่เข้า Servovalve

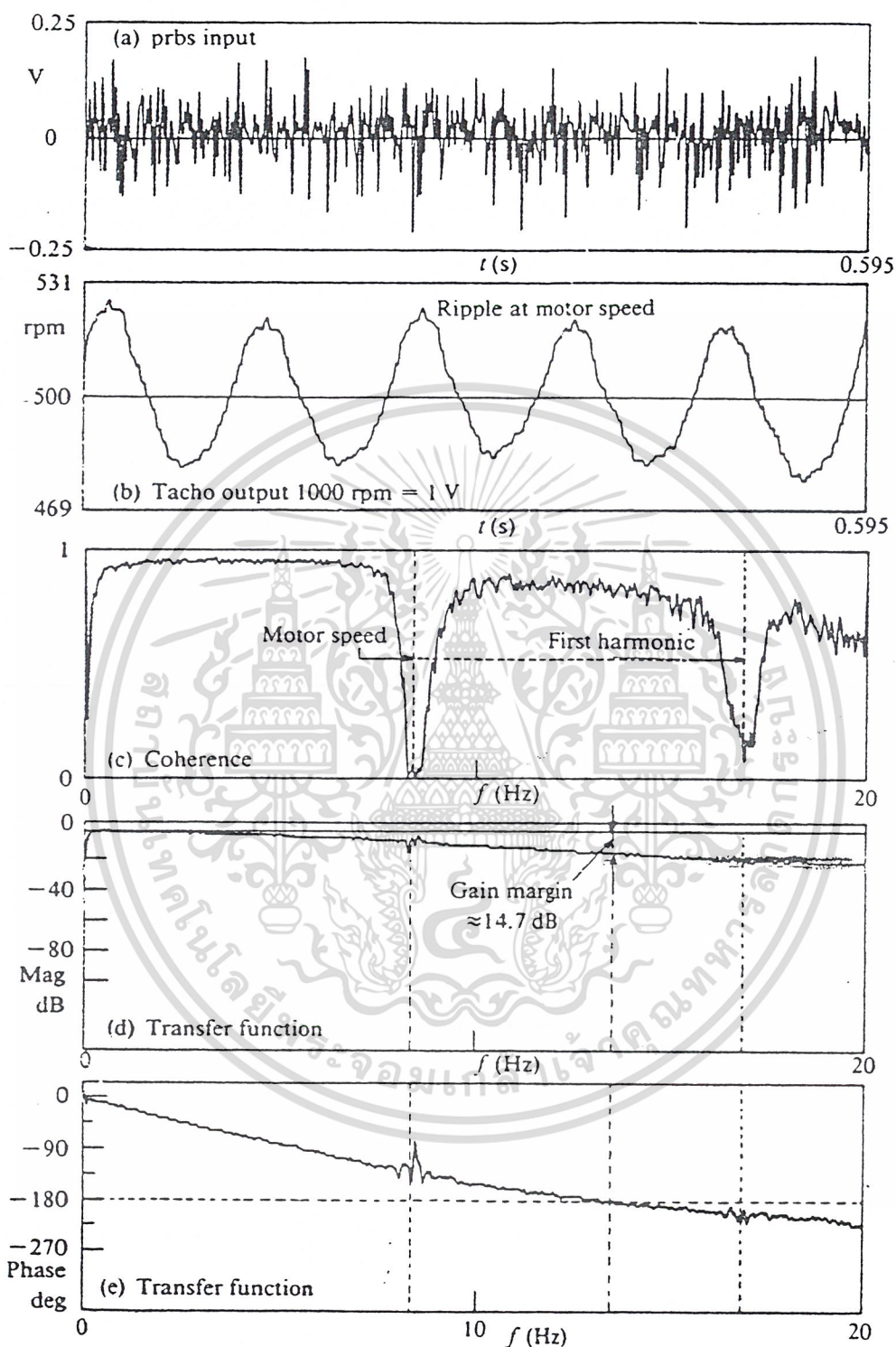


รูปที่ 3.23 A servovalve/motor system using spectrum analysis identification

Transfer function ของระบบจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. Servovalve dynamic
2. Main hydraulic system dynamic
3. Speed transducer dynamic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 Transfer function evaluation of a servovalve/motor system using spectrum analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงผลของ Motor running at 500 rpm Output ของ Tacho ประมาณ 0.5 V ที่ Ripple ของความถี่ Motor

จากสมการ Steady-state และ Dynamic system ที่วิเคราะห์ผ่านมา จะได้

$$Q_1 = (K_o + K_r i) \sqrt{(p_s - p_1)} = D_m \omega + \frac{p_1}{R_e} + C \frac{dp_1}{dt} \quad (41)$$

$$Q_2 = (K_o + K_r i) \sqrt{p_2} = D_m \omega - \frac{p_2}{R_e} - C \frac{dp_2}{dt} \quad (42)$$

$$D_m (P_a - P_b) = T_L + B_v \omega + J_m \frac{d\omega}{dt} \quad (43)$$

ในการพิจารณา จะคิดที่ Load torque ; $T_L = 0$ จะได้ Linearized transfer function เป็น

$$\frac{D_m \delta \omega (s)}{k_i \delta_i (s)} = \frac{1}{\left[1 + \frac{R_r}{2R_v} + \frac{R_r}{2R_e} + S \left(\frac{L}{2R_v} + \frac{L}{2R_e} + C \frac{R_r}{2} \right) + S^2 \frac{LC}{2} \right]} \quad (44)$$

โดยที่

R_e = Motor leakage resistance

$$R_v = \text{Servovalve resistance} \approx \frac{2P_{20}}{Q_{ss}} \approx \frac{2(P_s - P_{10})}{Q_{ss}}$$

$$R_r = \frac{B_v}{D_m^2} \quad \text{The viscous resistance}$$

$$L_m = \frac{J_m}{D_m^2} \quad \text{The motor and load inductance}$$

$$C = \frac{\text{Volume}}{\beta} \quad \text{Line and motor capacitance}$$

$$Q_m = \text{Mean steady-state flow rate} \approx \frac{(Q_{10} + Q_{20})}{2}$$

$$K_i = \frac{Q_{ss}}{i_{ss}} \quad \text{Servovalve flow gain}$$

$$B_v = \text{viscosity friction}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การหา Transfer function ของระบบที่พิจารณา

1. Transfer function ของ Servo valve และ Hydraulic motor

$$\frac{\delta\omega(s)}{\delta_i(s)} = \frac{1k_i}{D_m \left[1 + \frac{R_f}{2R_v} + \frac{R_f}{2R_e} + S \left(\frac{L}{2R_v} + \frac{L}{2R_e} + C \frac{R_f}{2} \right) + S^2 \frac{LC}{2} \right]} \quad (45)$$

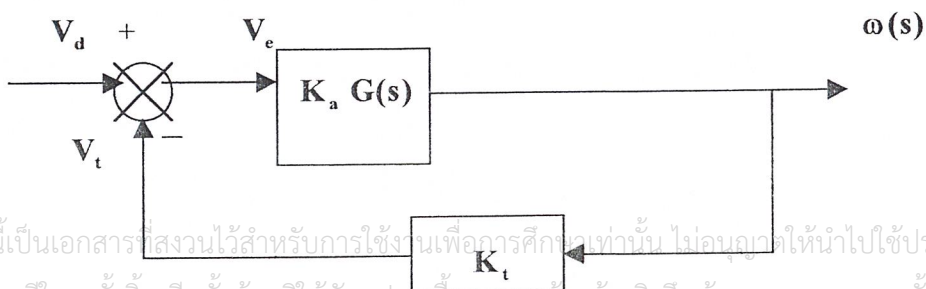
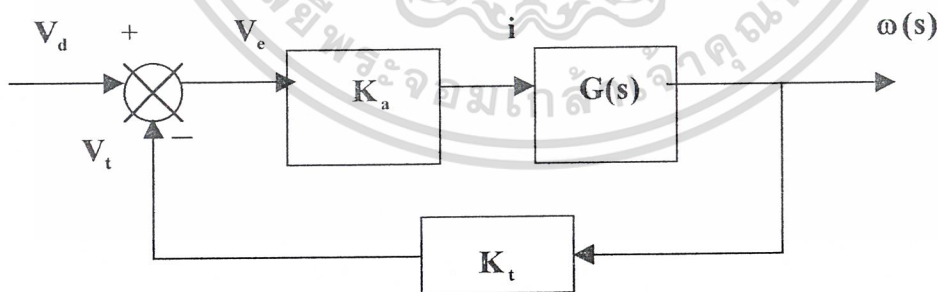
2. Transfer function ของ Servo Amplifier

$$K_a = \frac{I_{out}}{V_{in}} \quad (46)$$

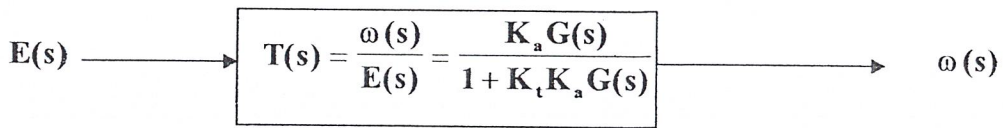
3. Transfer function ของ Tachometer

$$K_t = \frac{V_{out}}{\omega_{in}} \quad (47)$$

โดยที่ $\omega = \frac{2\pi N}{60}$ จากทฤษฎีของ Feedback control จะได้ Block diagram ของระบบ ทดลองดังนี้

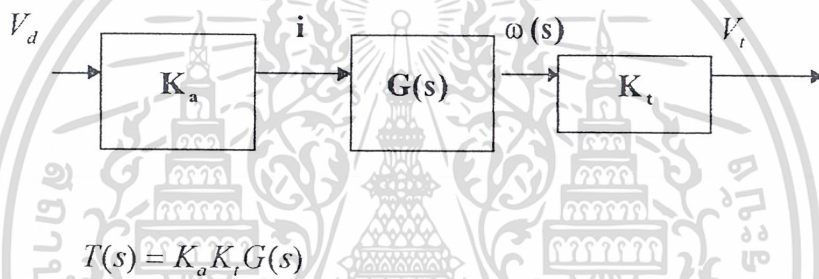


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$T(s) = \frac{\omega(s)}{E(s)} = \frac{k_a G(s)}{(1 + k_t k_a G(s))}$$

การหา Transfer function แบบ Opened loop



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณทางทฤษฎี

การประมาณค่า Transfer function เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ในที่นี้เราจะสมมติค่าคงที่ เพื่อใช้ในการศึกษาเบื้องต้น โดยพิจารณาในโครงสร้างกว้าง ถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าของตัวแปรบางตัวในระบบ

ในส่วนของ Servovalve และ Hydraulic motor จะสมมติค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{array}{ll}
 R_e = 4 \times 10^{11} \text{ Nm}^2/\text{m}^3 \text{ s}^{-1} & D_m = 0.0001273 \text{ m}^3/\text{rad} \\
 R_v = 13.3 \times 10^4 \text{ Nm}^2/\text{m}^3 \text{ s}^{-1} & \text{volume} = 1.72 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 R_f = 2.07 \times 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}^3 \text{ s}^{-1} & \beta = 1.4 \times 10^9 \text{ V/m}^2 \\
 Q_{ss} = 18 \text{ L/min} & J_m = 0.014 \text{ kg m}^2 \\
 P_{10} = 15 \text{ bar} & P_{20} = 20 \text{ bar} \\
 i_{ss} = 0.39 \text{ mA} & P_s = 35 \text{ bar} \\
 B_v = 0.033467 &
 \end{array}$$

เมื่อเราแทนค่าคงที่ เหล่านี้ ใน Transfer function ของ Servovalve และ Hydraulic motor จะได้ดังนี้

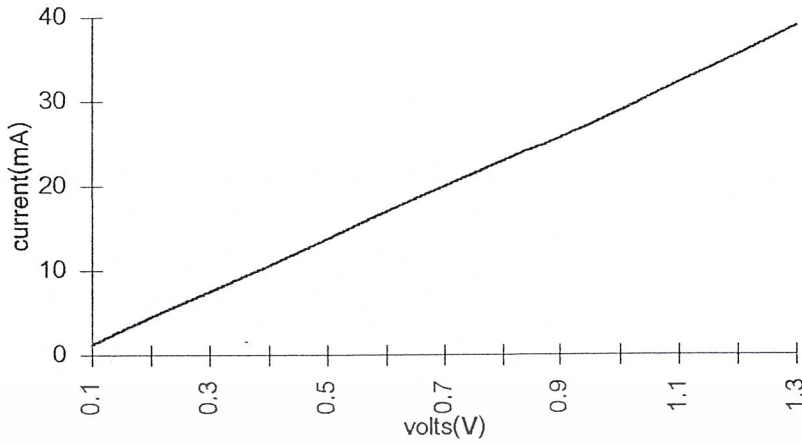
$$G(s) = \frac{\omega(s)}{I(s)} = \frac{6043}{8.744 + 3.24s + 5.307 \times 10^{-8} s^2}$$

Transfer function ของ Servo-amplifier

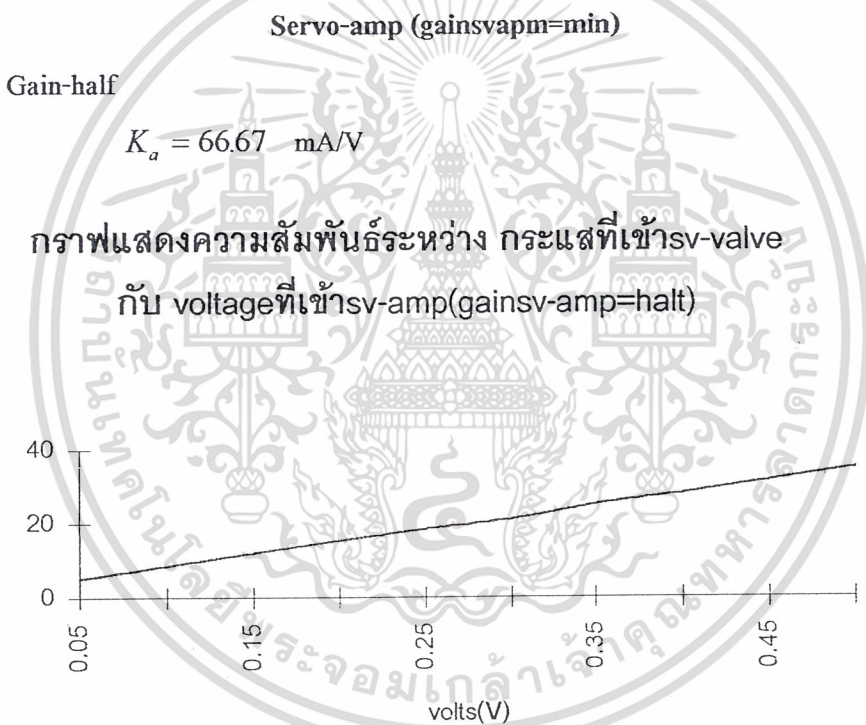
Gain-minimum

$$K_a = 31.5 \text{ mA/V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่เข้า Servovalve กับ voltage ที่เข้า



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่เข้า Servovalve กับ voltage ที่เข้า

Servo-amp (gainsvamp=half)

Transfer function ของ Tachogenerator

- ไม่ผ่านวงจรรบาย Voltage

$$K_t = 0.003V / rpm = 0.02865V / rad / sec$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ผ่านวงจรรบาย Voltage

$$K_t = 0.018V / rpm = 0.1714V / rad / sec$$

Transfer function ของ ระบบ

- Opened loop

$$T(s) = K_a K_t G(s)$$

- Closed loop

$$T(s) = \frac{K_a G(s)}{1 + K_a K_t G(s)}$$

เมื่อทำการคำนวณจะได้

1) Opened loop , gain servo-amp = minimum , ไม่ผ่านวงจรถยาย Voltage

$$T(s) = \frac{5.454}{8.744 + 3.24s + 5.307 \times 10^{-8} s^2}$$

2) Opened loop , gain servo-amp = half , ไม่ผ่านวงจรถยาย Voltage

$$T(s) = \frac{11.54}{8.744 + 3.24s + 5.307 \times 10^{-8} s^2}$$

3) Opened loop , gain servo-amp = minimum , ผ่านวงจรถยาย Voltage

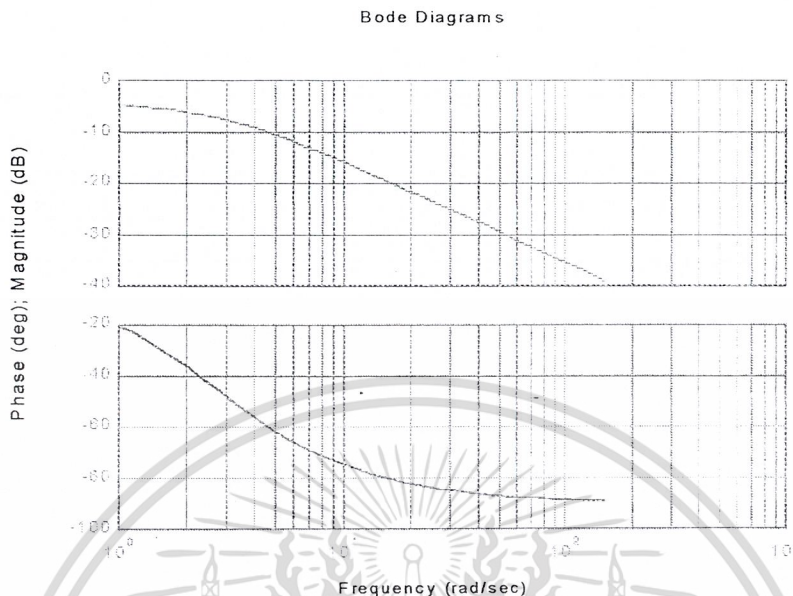
$$T(s) = \frac{32.72}{8.744 + 3.24s + 5.307 \times 10^{-8} s^2}$$

4) Opened loop , gain servo-amp = half , ผ่านวงจรถยาย Voltage

$$T(s) = \frac{69.26}{8.744 + 3.24s + 5.307 \times 10^{-8} s^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำ Transfer function ที่ได้ไป plot กราฟ Bode diagram โดยใช้ โปรแกรม Matlab จะ
ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดง Bode diagram ของระบบ

อธิบายกราฟ Bode diagram ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี

Bode diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับ Magnitude และ Phase shift เรา
สามารถพิจารณาผลตอบสนองต่อความถี่ โดยตั้งระบบเป็น Opened loop ได้ดังนี้

Magnitude :

อธิบาย : เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า Magnitude จะมีแนวโน้มลดลง

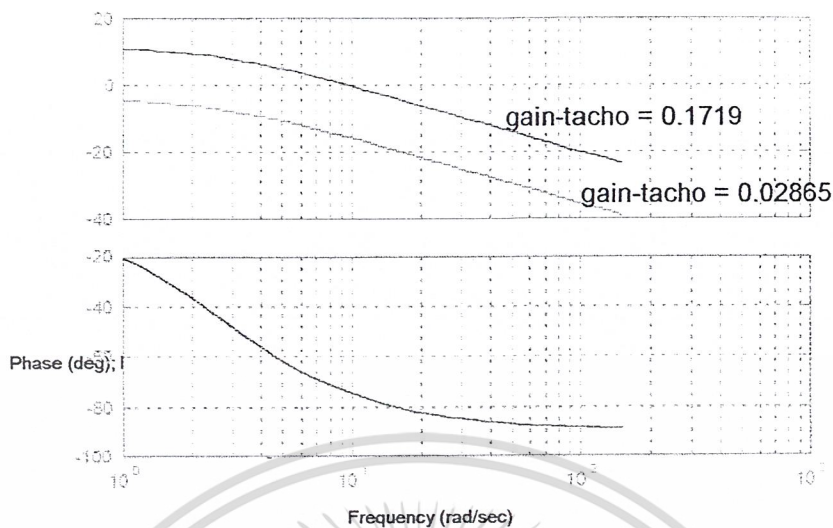
วิเคราะห์ : ในการพิจารณา Transfer function ทางทฤษฎี มีการพิจารณาผลของ Moment of inertia (J_m) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเพราะที่ความถี่สูงขึ้นค่า J_m จะหน่วงให้ขนาดของ Output ลดลง

Phase shift :

อธิบาย : เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า Phase shift จะมีค่าลดลง

วิเคราะห์ : เมื่อความถี่มากขึ้นสัญญาณ Output จะมีความต่าง Phase กับสัญญาณ Input มากขึ้น เนื่องจากผลของ J_m และเมื่อให้ค่า $J_m = 0$ สัญญาณ Output ก็ยิ่งน้อยกว่าสัญญาณ Input อยู่
ดังนั้นจึงยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อระบบอีก ซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดง Bode diagram ของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า gain-tacho

เมื่อตั้งระบบเป็น Opened loop และมีการปรับค่าอัตราขยายของ Tachogenerator (Gain-tachogenerator : K_t) เปลี่ยนค่าไป จาก Bode diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับ Magnitude และ Phase shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองต่อความถี่ ได้ดังนี้

Magnitude :

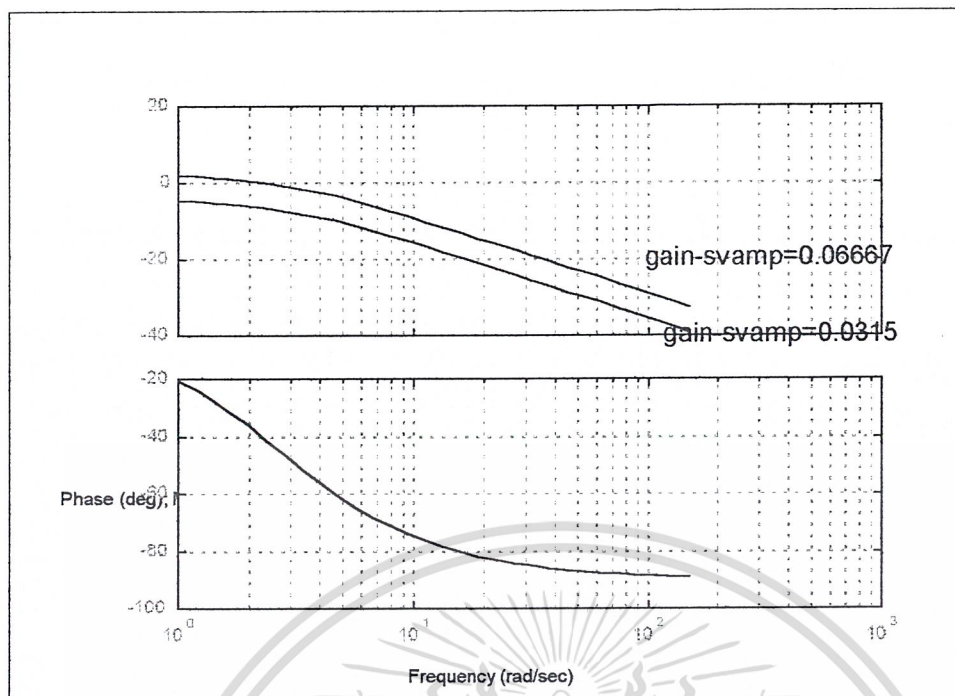
อธิบาย : เมื่อมีการเพิ่ม Gain- tacho ขึ้นค่า Magnitude ของระบบจะมีค่ามากขึ้นกว่าระบบที่มี Gain- tacho ที่มีค่าน้อยกว่า

วิเคราะห์ : Gain- tacho จะ ไปขยายค่า Output จึงทำให้ค่า Magnitude ของระบบเพิ่มขึ้น

Phase shift : เมื่อเพิ่ม Gain- tacho ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ Phase shift จะเหมือนเดิม ดังนั้น

การ เพิ่มหรือลด Gain- tacho จะ ไม่มีผลต่อ Phase shift ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดง Bode diagram ของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า gain-svamp

เมื่อตั้งระบบเป็น Opened loop และมีการป้อนค่าอัตราขยายของ Servo amplifier (Gain-servoamp : K_s) เปลี่ยนค่าไป จาก Bode diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับ Magnitude และ Phase shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองต่อความถี่ ได้ดังนี้

Magnitude :

อธิบาย : เมื่อมีการเพิ่ม Gain- servo amp ขึ้นค่า Magnitude ของระบบจะมีค่ามากขึ้นกว่าระบบที่มี Gain- servo amp ที่มีค่าน้อยกว่า

วิเคราะห์ : Gain- servo amp จะ ไปขยายค่า Input จึงทำให้ค่า Magnitude ของระบบเพิ่มขึ้น

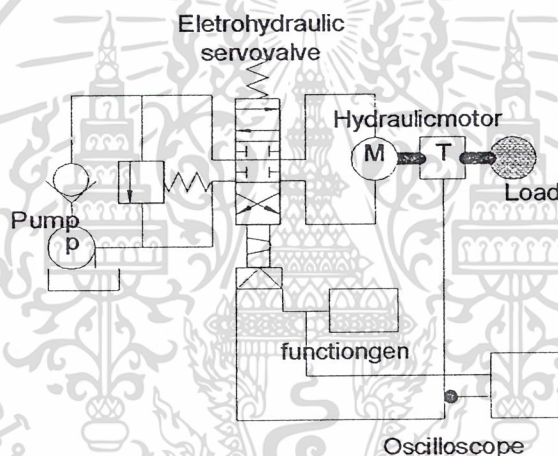
Phase shift : เมื่อเพิ่ม Gain- servo amp ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ Phase shift จะเหมือนเดิม ดังนั้นการ เพิ่มหรือลด Gain- servo amp จะ ไม่มีผลต่อ Phase shift ของระบบ

บทที่ 6

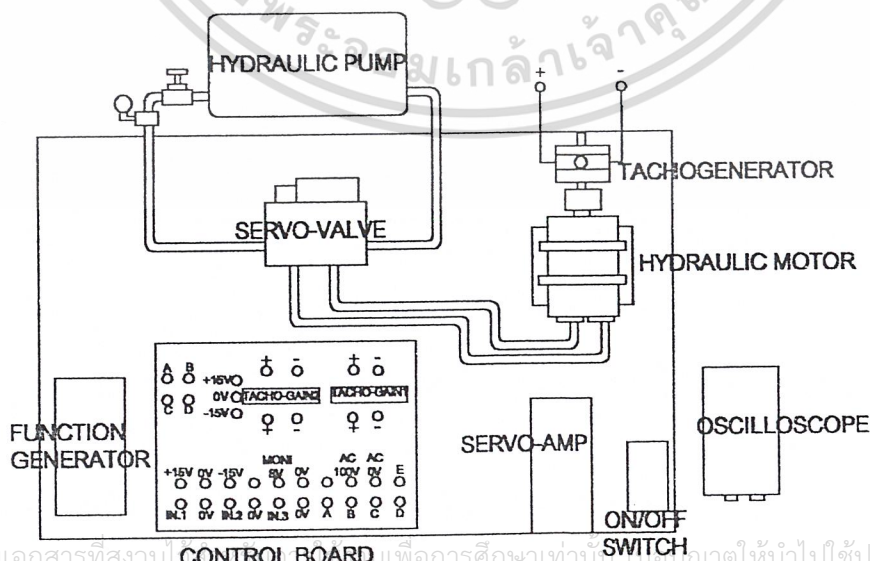
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

อุปกรณ์

1. Hydraulic Power Units
2. Servo valve
3. Servo Amplifier
4. Tachogenerator
5. Function Generator
6. Oscilloscope
7. Hydraulic Pump



รูปที่ 6.1 วงจรการทำงานของระบบควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 6.2 ภาพแสดงชุดการทดลอง นำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ต่อ servo-amp กับ servo-valve , tachogenerator (gain 1), function generator โดยการ
ใช้สายไฟเชื่อมต่อบน control board

2. ตั้งค่าต่างๆ ของ servo-amp ดังนี้

AAT1 - max

AAT2 - max

AAT3 - max

Gain - min

3. ตั้งค่าที่ function generator

- V = 1V

- affect = 0

- symmetry = on

- set เป็น sinusoidal input

- ความถี่ 1 Hz

4. เปิด switch servo-amp, hydraulic pump แล้วปรับความดัน hydraulic pump = 500
psi (35 bar)

5. ต่อ oscilloscope (CH1) เข้ากับ output ของ function generator และ CH2 เข้ากับ
output ของ tachogenerator โดยที่ output ของ tacho จะต้องผ่านวงจรรองก่อน

6. วัดค่าความต่าง phase ระหว่าง input ของ function generator กับ output ของ
tachogenerator และค่า magnitude ของ สัญญาณ output tachogenerator โดยอ่านค่าจาก
oscilloscope

7. ตั้งให้ระบบเป็น opened-loop คือ ไม่ต้องต่อ output tachogenerator กับ servo-amp
เก็บข้อมูลของ phaseshift และ magnitude ที่ความถี่ตั้งแต่ 1 Hz - 20 Hz โดยเพิ่มทีละ 1 Hz

8. เปลี่ยน tachogenerator gain 1 เป็น gain 2 และเก็บข้อมูลเหมือนเดิม

9. เปลี่ยน gain servo-amp โดยปรับ gain ไปที่ max/2 แล้วเก็บข้อมูลเหมือนเดิม

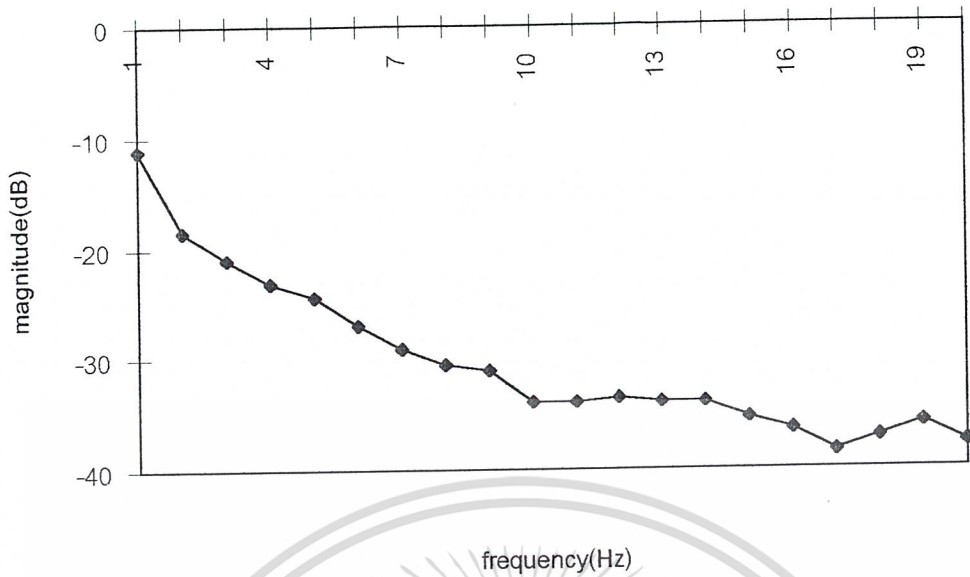
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

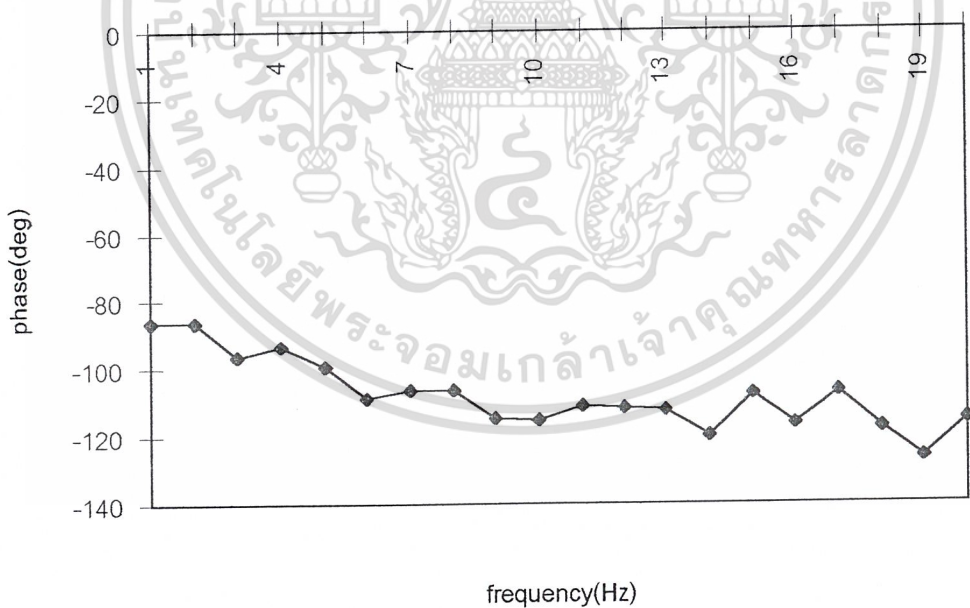
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองของ min-gainsvamp,opened loop,gen=1

frequency(Hz)	volt(+)	volt(-)	20log(vp-p) (dB)	phaseshift(deg)
1	0.04	-0.24	-11.05683937	-86.4
2	-0.04	-0.16	-18.41637508	-86.4
3	-0.06	-0.15	-20.91514981	-96.43
4	-0.07	-0.14	-23.0980392	-93.6
5	-0.08	-0.14	-24.43697499	-99
6	-0.09	-0.135	-26.93574972	-108.4
7	-0.095	-0.13	-29.11863911	-106.48
8	-0.11	-0.14	-30.45757491	-106.6
9	-0.1	-0.128	-31.05683937	-114.55
10	-0.11	-0.13	-33.97940009	-115.2
11	-0.11	-0.13	-33.97940009	-111.01
12	-0.112	-0.133	-33.55561411	-111.43
13	-0.115	-0.135	-33.97940009	-112.5
14	-0.11	-0.13	-33.97940009	-120
15	-0.11	-0.127	-35.39102157	-107.78
16	-0.115	-0.13	-36.47817482	-116.13
17	-0.128	-0.14	-38.41637508	-107.03
18	-0.128	-0.142	-37.07743929	-117.4
19	-0.132	-0.148	-35.91760035	-126.4
20	-0.112	-0.125	-37.72113295	-115.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ
frequency(min-gainsvamp,opened loop,gen=1)



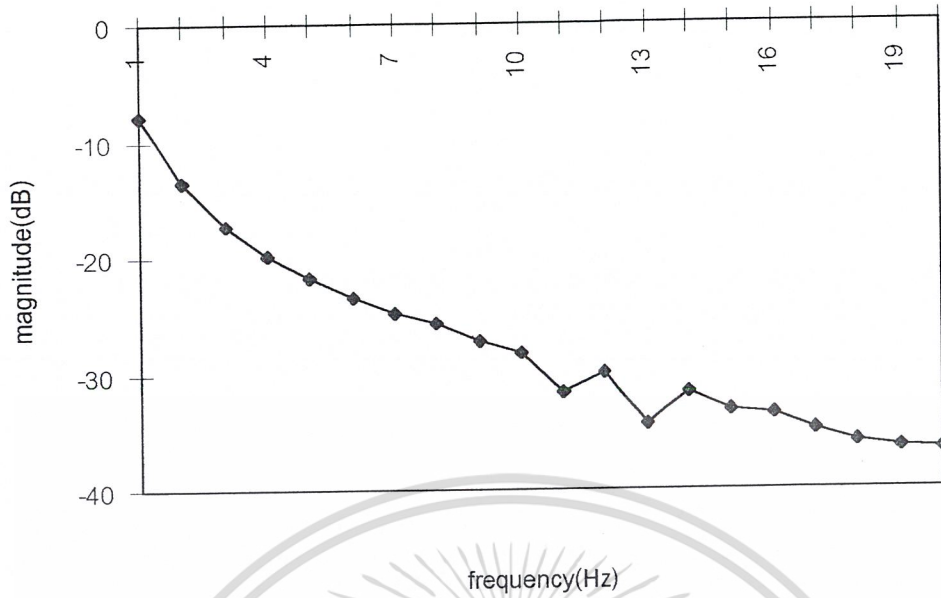
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ
frequency(min-gainsvamp,opened loop,gen=1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

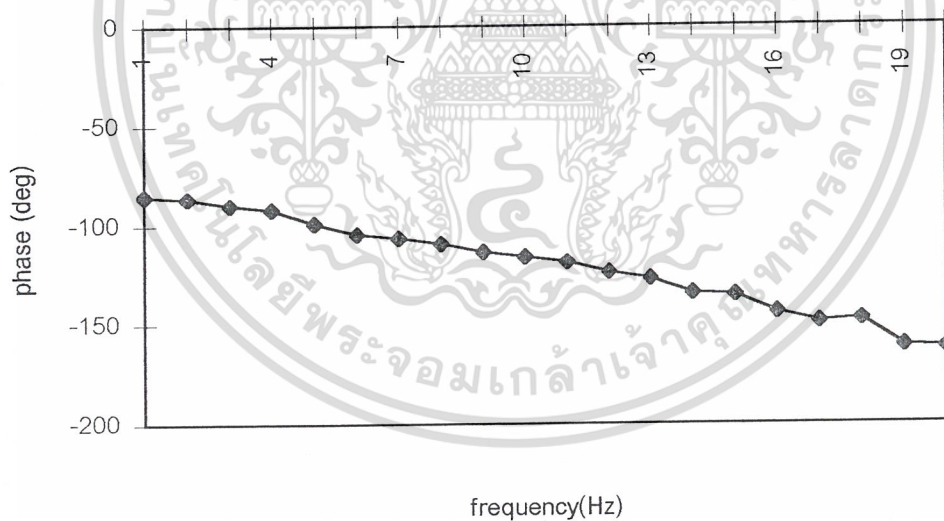
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองของ half-gainsvamp,opened loop,gen=1

frequency(Hz)	vol t(+)	volt(-)	vp-p	20log(Vp-p) (dB)	phaseshift(deg)
1	0.168	-0.24	0.408	-7.786796738	-85.38
2	0.07	-0.14	0.21	-13.55561411	-86.4
3	0.035	-0.102	0.137	-17.26558866	-90
4	0.021	-0.081	0.102	-19.82799656	-92.16
5	0	-0.082	0.082	-21.72372295	-99
6	-0.012	-0.08	0.068	-23.34982175	-104.73
7	-0.02	-0.078	0.058	-24.73144013	-106.48
8	-0.012	-0.064	0.052	-25.67993313	-109.44
9	-0.02	-0.064	0.044	-27.13094647	-113.51
10	-0.006	-0.045	0.039	-28.17870786	-116.13
11	-0.018	-0.044	0.026	-31.70053304	-118.94
12	-0.009	-0.041	0.032	-29.89700043	-123.96
13	-0.021	-0.04	0.019	-34.42492798	-127.27
14	-0.012	-0.038	0.026	-31.70053304	-134.51
15	-0.018	-0.04	0.022	-33.15154638	-135.53
16	-0.031	-0.052	0.021	-33.55561411	-144
17	-0.03	-0.048	0.018	-34.8945499	-148.8
18	-0.024	-0.04	0.016	-35.91760035	-147.86
19	-0.02	-0.035	0.015	-36.47817482	-161.19
20	-0.0132	-0.028	0.0148	-36.59476569	-162.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (halfgainsvamp, opened loop, gen=1)



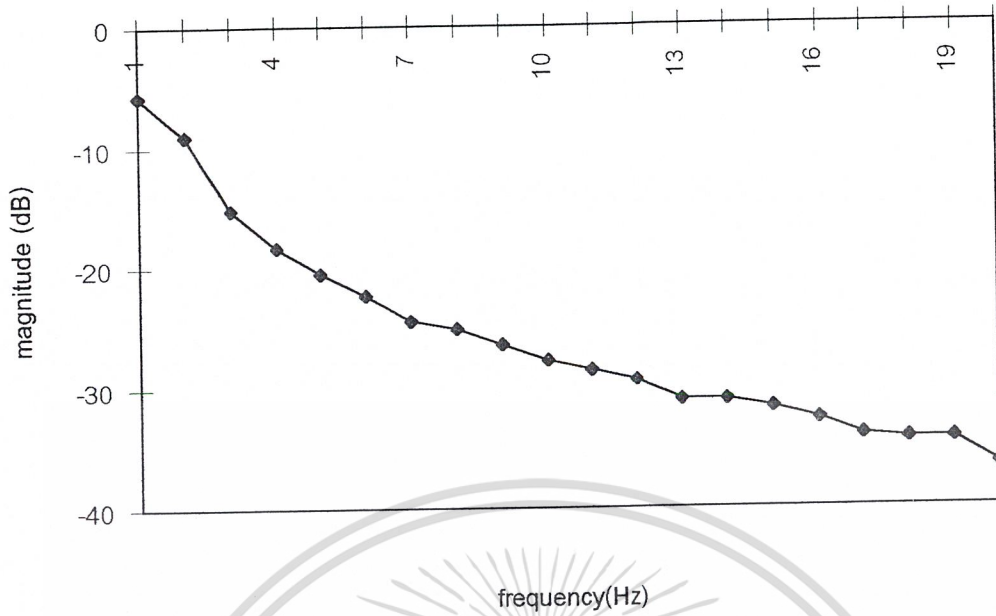
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency (halfgainsvamp, opened loop, gen=1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

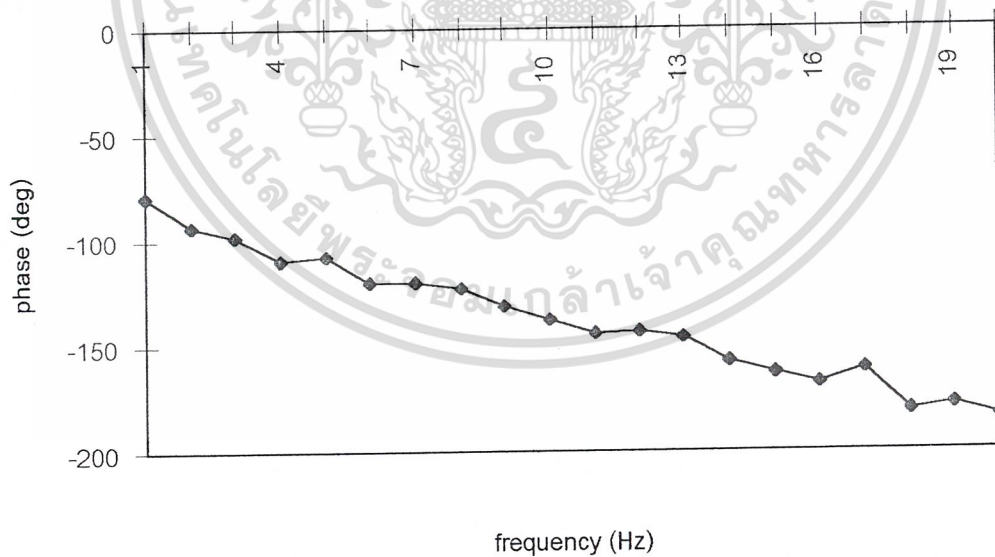
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองของ max-gainsvamp,opened loop,gen=1

frequency(Hz)	volt(+)	volt(-)	vp-p	20log(vp-p) (dB)	phaseshift(deg)
1	0.16	-0.35	0.51	-5.848596478	-79.2
2	0.02	-0.33	0.35	-9.118639113	-93.6
3	-0.01	-0.185	0.175	-15.13923903	-98.18
4	-0.043	-0.165	0.122	-18.27280339	-109.09
5	-0.06	-0.155	0.095	-20.44552789	-108
6	-0.065	-0.141	0.076	-22.38372815	-120
7	-0.07	-0.13	0.06	-24.43697499	-120
8	-0.073	-0.128	0.055	-25.19274621	-122.4
9	-0.072	-0.12	0.048	-26.37517525	-130.91
10	-0.083	-0.124	0.041	-27.74432287	-138.18
11	-0.082	-0.119	0.037	-28.63596552	-144
12	-0.09	-0.124	0.034	-29.37042166	-143.13
13	-0.092	-0.12	0.028	-31.05683937	-146.07
14	-0.088	-0.116	0.028	-31.05683937	-157.18
15	-0.092	-0.118	0.026	-31.70053304	-163.64
16	-0.094	-0.117	0.023	-32.76544328	-168.39
17	-0.0924	-0.1124	0.02	-33.97940009	-161.38
18	-0.096	-0.115	0.019	-34.42492798	-181.29
19	-0.096	-0.115	0.019	-34.42492798	-178.63
20	-0.0952	-0.11	0.0148	-36.59476569	-184.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ
frequency(max-gainsvamp,opened loop,gen=1)



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ
frequency (max-gainsvamp,opened loop,gen=1)

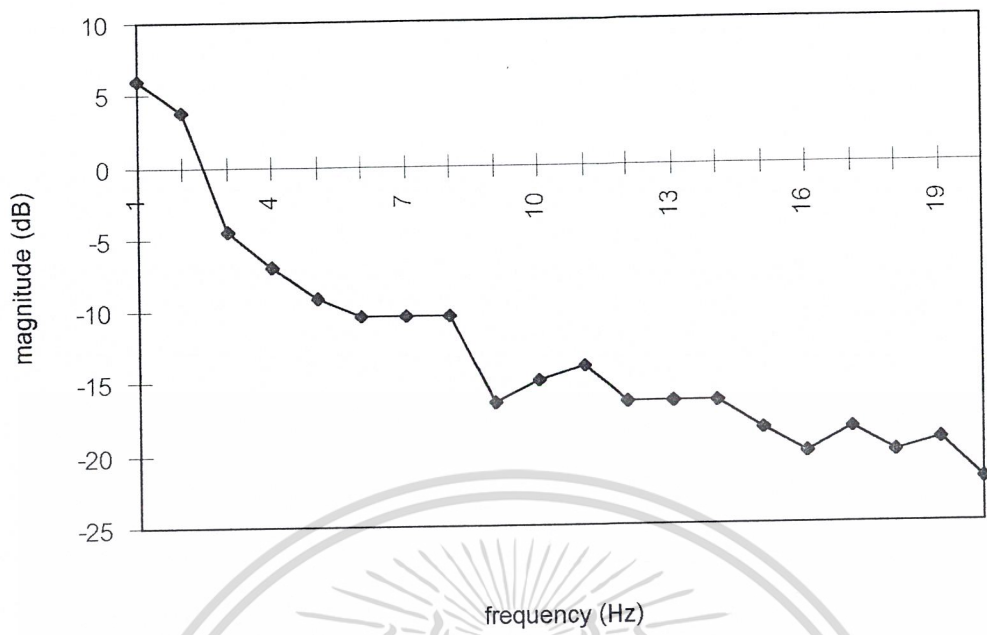
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองของ min-gainsvamp,opened loop

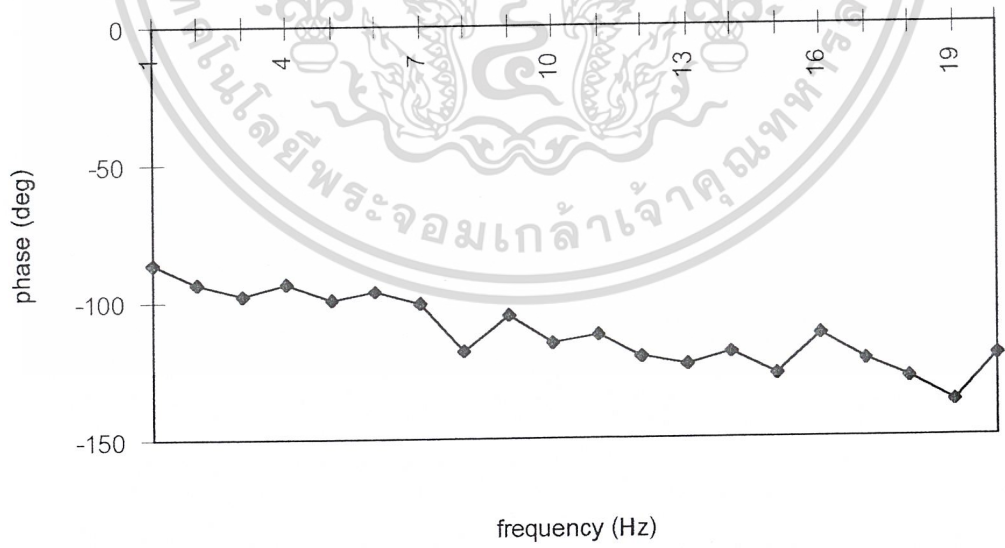
,gain-tacho=0.1719,gen=1

frequency(Hz)	volt(+)	volt(-)	vp-p	20log(vp-p) (dB)	phaseshift(deg)
1	0.2	-1.8	2	6.020599913	-86.4
2	0.25	-1.3	1.55	3.806633963	-93.6
3	0.2	-0.4	0.6	-4.436974992	-98.18
4	-0.3	-0.75	0.45	-6.935749724	-93.6
5	-0.45	-0.8	0.35	-9.118639113	-99
6	-0.6	-0.9	0.3	-10.45757491	-96.43
7	-0.65	-0.95	0.3	-10.45757491	-100.7
8	-0.8	-1.1	0.3	-10.45757491	-118
9	-0.65	-0.8	0.15	-16.47817482	-104.73
10	-0.73	-0.91	0.18	-14.8945499	-115.2
11	-0.65	-0.82	0.2	-13.97940009	-112
12	-0.7	-0.85	0.15	-16.47817482	-120
13	-0.68	-0.83	0.15	-16.47817482	-123.16
14	-0.75	-0.9	0.15	-16.47817482	-118.63
15	-0.76	-0.88	0.12	-18.41637508	-127.06
16	-0.8	-0.9	0.1	-20	-112.5
17	-0.83	-0.95	0.12	-18.41637508	-122.03
18	-0.8	-0.9	0.1	-20	-128.6
19	-0.74	-0.85	0.11	-19.1721463	-136.88
20	-0.76	-0.84	0.08	-21.93820026	-120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ frequency (min-gainsvamp,opened loop,gain-tacho=0.1719,gen=1)



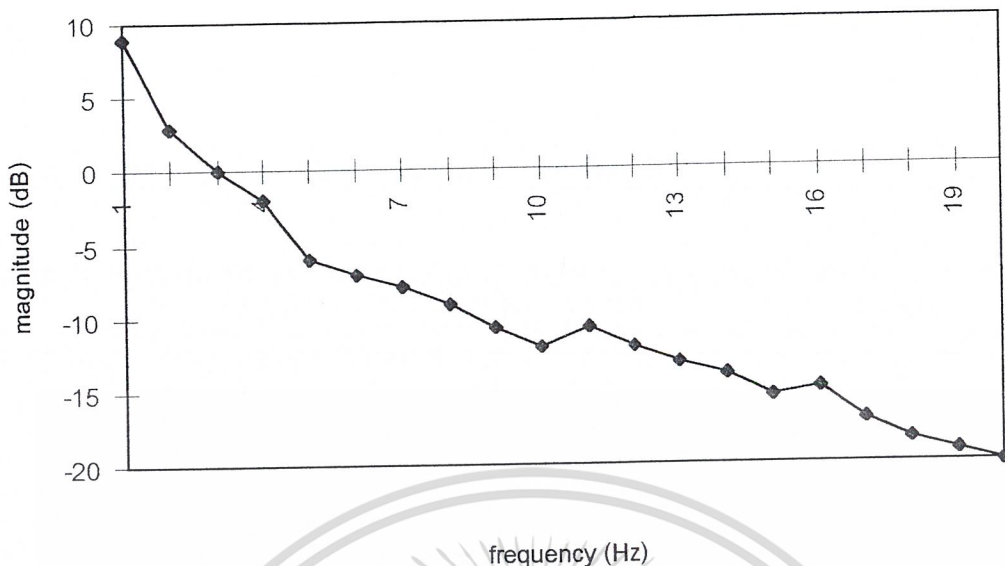
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ frequency(min-gainsvamp,opened loop,gain-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $tacho=0.1719, gen=1$) กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

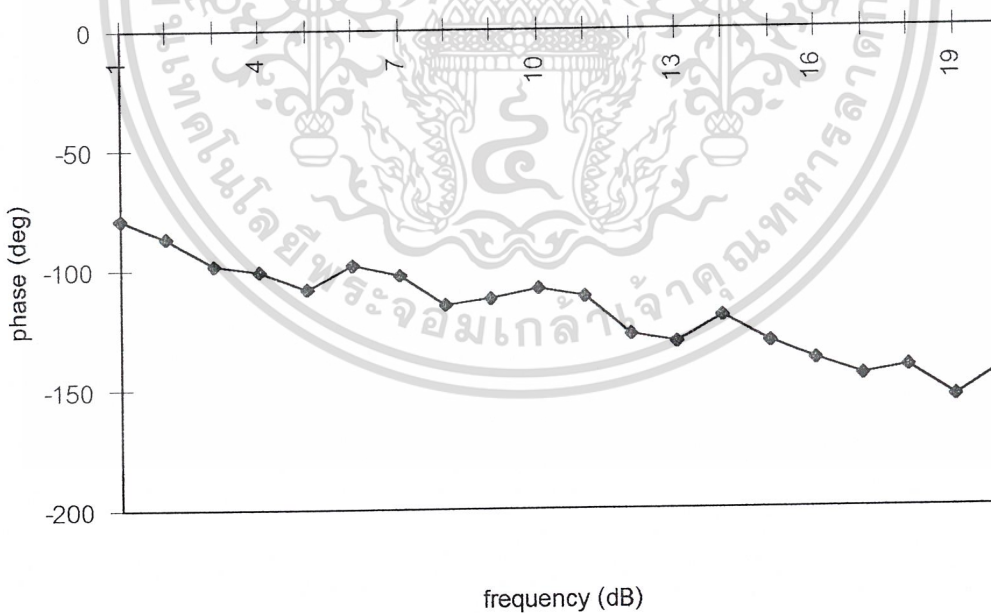
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองของ min-gainsvamp,opened loop,
gain-tacho=0.1719,gen=2

frequency(Hz)	volt(+)	volt(-)	vp-p	20log(vp-p) (dB)	phaseshift(deg)
1	0.7	-2.1	2.8	8.943160627	-79.2
2	0	-1.4	1.4	2.922560714	-86.4
3	-0.2	-1.2	1	0	-98.18
4	-0.3	-1.1	0.8	-1.93820026	-100.8
5	-0.5	-1	0.5	-6.020599913	-108
6	-0.58	-1.02	0.44	-7.13094647	-98.18
7	-0.6	-1	0.4	-7.958800173	-102.86
8	-0.55	-0.9	0.35	-9.118639113	-115.2
9	-0.6	-0.9	0.3	-10.45757491	-112.5
10	-0.6	-0.85	0.25	-12.04119983	-108
11	-0.57	-0.86	0.29	-10.75204004	-112
12	-0.55	-0.8	0.25	-12.04119983	-127.1
13	-0.54	-0.76	0.22	-13.15154638	-130.74
14	-0.7	-0.9	0.2	-13.97940009	-120
15	-0.54	-0.71	0.17	-15.39102157	-130.91
16	-0.73	-0.91	0.18	-14.8945499	-138.5
17	-0.58	-0.72	0.14	-17.07743929	-144.97
18	-0.6	-0.72	0.12	-18.41637508	-141.43
19	-0.6	-0.71	0.11	-19.1721463	-153.89
20	-0.6	-0.7	0.1	-20	-142.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



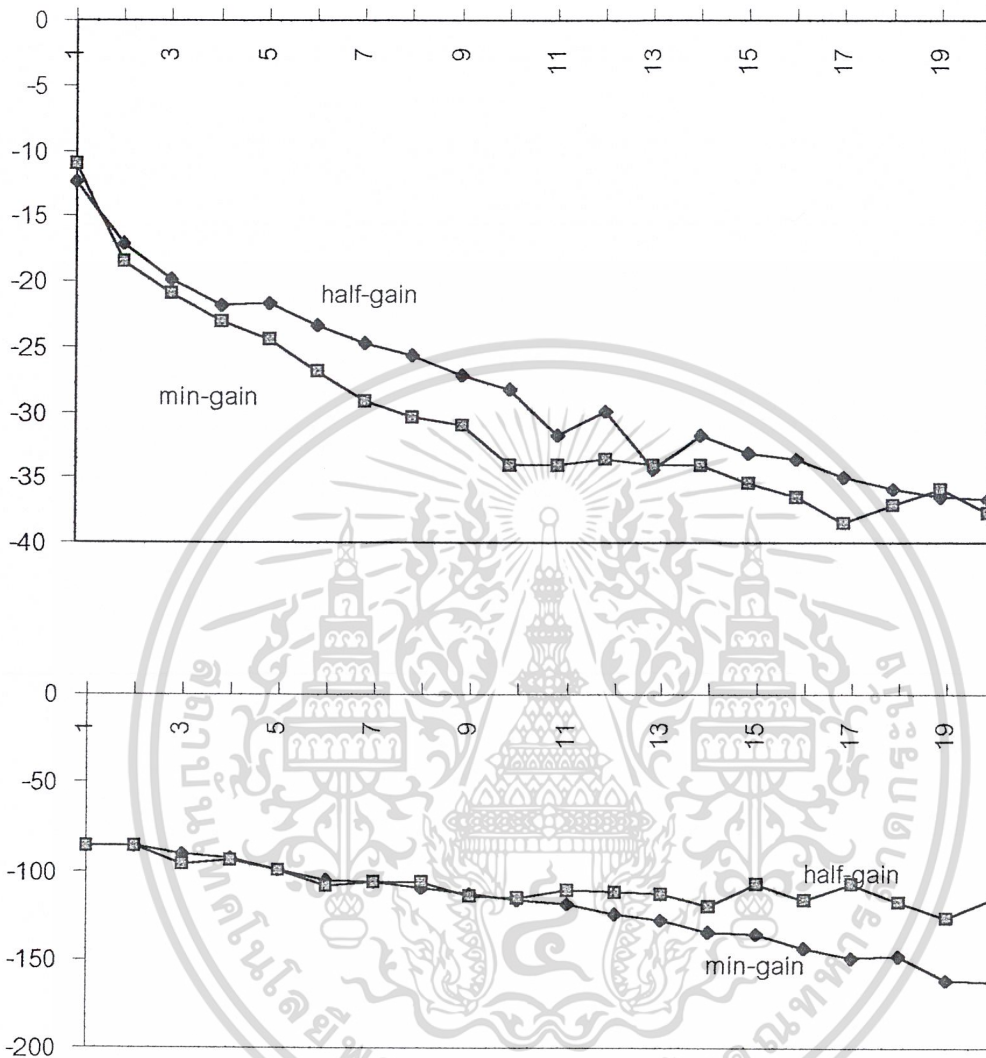
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า magnitude กับ
 frequency(min-gainsvamp,opened loop,gain-
 tacho=0.1719,gen=2)



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงผลการทดลองของค่า phaseshift กับ
 frequency(min-gainsvamp,opened loop,gain-
 tacho=0.1719,gen=2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พิจารณาค่า gain ของ Servo-amp ที่มีผลต่อระบบ



รูปที่ 6.13 bode diagram เปรียบเทียบผลของ servoamp-gain(op,no,gen=1)

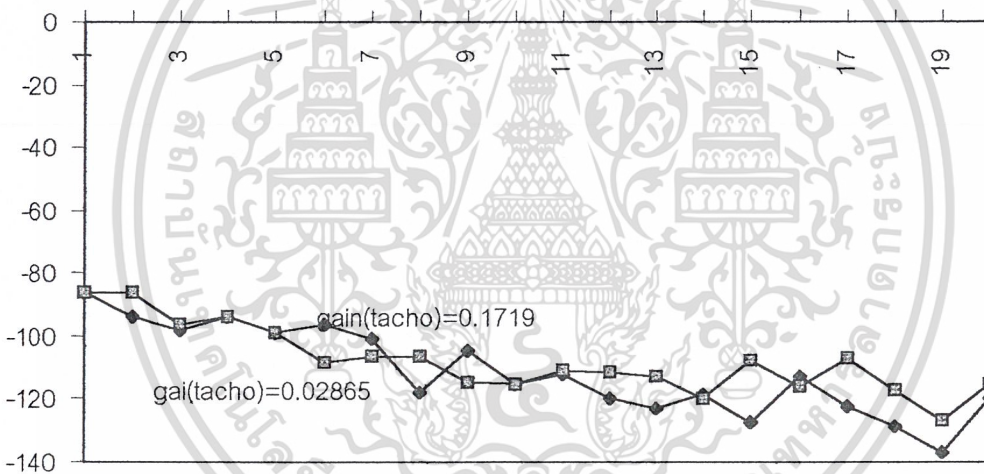
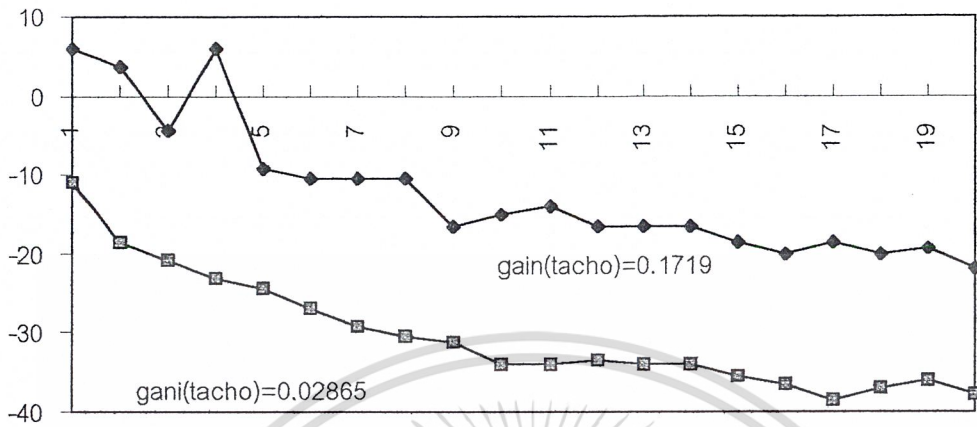
Bode diagram ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับค่า magnitude และค่า Phase-shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยตั้งระบบเป็น Opened loop ได้ดังนี้

Magnitude - ที่ min-gain ค่า magnitude จะมีค่าลดลงโดยมีความชันที่น้อยกว่าที่ half-gain

Phase-shift - ที่ค่าความถี่น้อย ๆ ค่า phase-shift ของทั้งสอง gain จะไม่ต่างกันมากนัก แต่ที่ความถี่สูง ๆ ค่า phase-shift ของ half-gain จะมีการลดลงโดยความชันที่น้อยกว่าของ min-gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิจารณาค่า gain ของ Tachogenerator ที่มีผลต่อระบบ



รูปที่ 6.14 bode diagram แสดงผลของ $gain_{tacho}(mingainservo-amp, opened loop, gen=1)$

Bode diagram ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับค่า magnitude และค่า Phase-shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยตั้งระบบเป็น Opened loop ได้ดังนี้

เปรียบเทียบระหว่าง $gain_{tacho} = 0.1719$ กับ $gain_{tacho} = 0.02865$

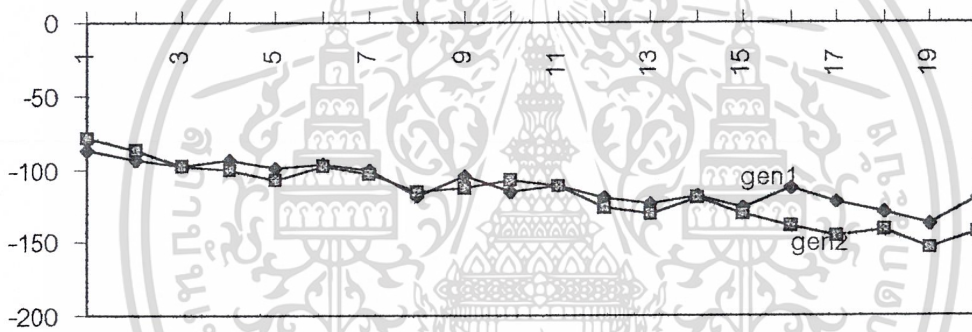
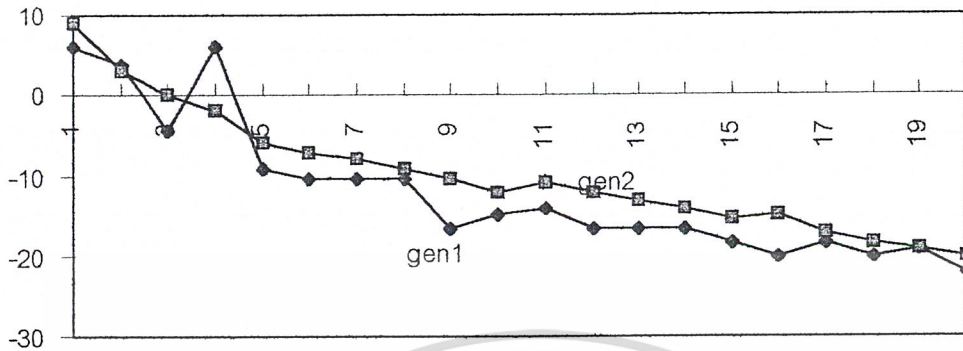
Magnitude - ที่ค่า $gain_{tacho}$ มีค่าสูงกว่าจะให้ค่า magnitude ที่สูงกว่า และมีการลดลงด้วยความถี่ที่เท่ากัน

Phase-shift - ที่ค่าความถี่ต่างๆ จะให้ผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลง Volts ของ Function Generator(INPUT) ที่มีผลต่อ

ระบบ



รูปที่ 6.15 bode diagram เปรียบเทียบผลของ volt function generator

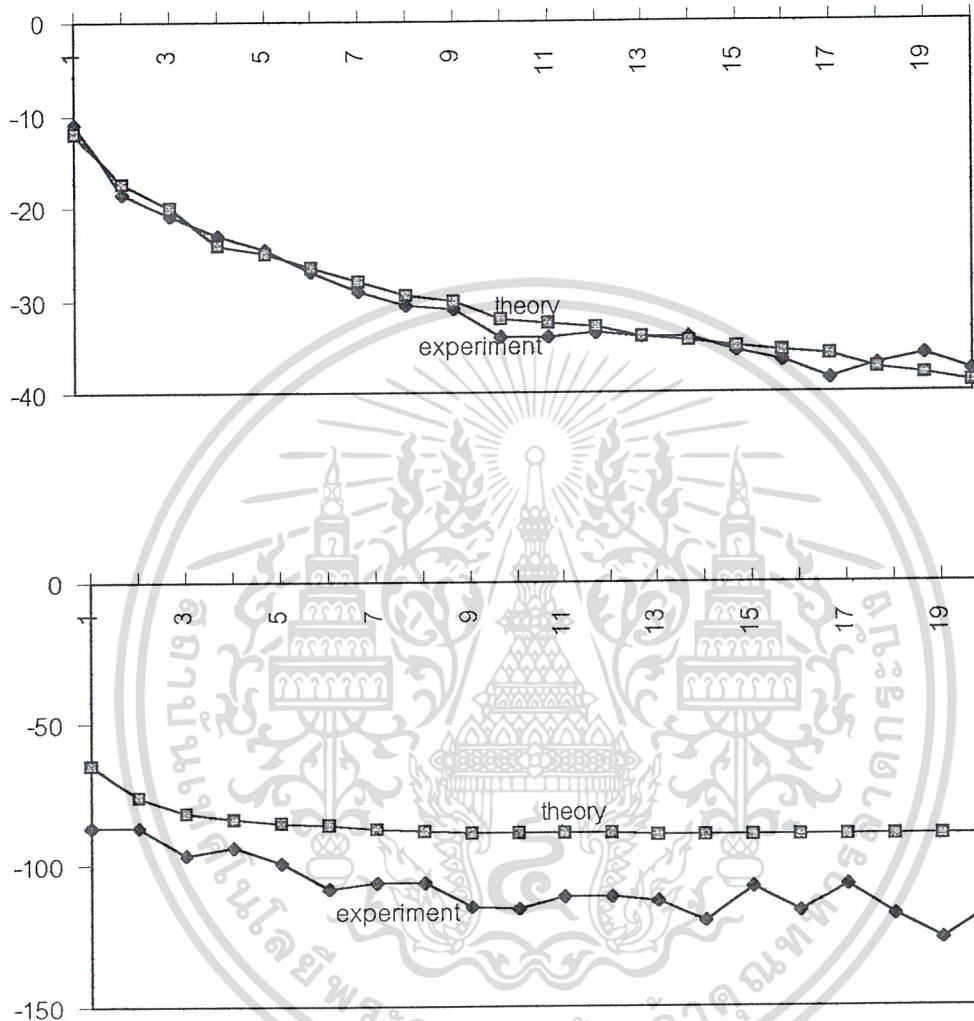
Bode diagram ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับค่า magnitude และค่า Phase-shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยตั้งระบบเป็น Opened loop ,set ค่า gain ของ servo-amp เป็น minimum และ gain-tacho = 0.1595 ได้ดังนี้

เปรียบเทียบระหว่าง Volts ของ Function generator = 1 V กับ Volts ของ Function generator = 2 V
Magnitude - ที่ Volts ของ Function generator = 2 V จะให้ค่า magnitude ที่สูงกว่าเล็กน้อย และมีการลดลงด้วยความชันที่เท่า ๆ กัน

Phase-shift - ที่ค่าความถี่ต่าง ๆ จะให้ผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎี กับ ผลการทดลอง



รูปที่ 6.16 bode diagram (openloop,gainsv-amp-min,gen=1,no)

Bode diagram ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับค่า magnitude และค่า Phase-shift เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยตั้งระบบเป็น Opened loop ,set ค่า gain ของ servo-amp เป็น minimum และ gain-tacho = 0.02865 ได้ดังนี้

Magnitude - จากผลการทดลองและทฤษฎีจะให้ค่า magnitude ที่ใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองจะให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย โดยมีการลดลงด้วยความชันที่เท่า ๆ กัน

Phase-shift - ผลการทดลองจะให้ค่า phase-shift ที่ต่างกันมากกว่าทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลและวิจารณ์

สรุปผล

จากการศึกษาผลตอบสนองต่อความถี่ของระบบ Hydraulic transmission เราสามารถที่จะสรุปผลได้ดังนี้

1) จากผลการทดลองจะพบว่า แนวโน้มการตอบสนองต่อความถี่ของระบบ hydraulic transmission จะมีผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี

2) การเปลี่ยนแปลงกำลังขยาย (Gain) ของ Servo amplifier จะมีผลต่อระบบโดยที่

- Magnitude : ที่กำลังขยายของ Servo amplifier ที่มีค่าน้อยจะให้ค่า Magnitude ที่มีค่าสูงกว่า กำลังขยายของ Servo amplifier ที่มีค่ามาก

- Phase shift :

3) การเปลี่ยนแปลงกำลังขยาย (Gain) ของ Tachogenerator จะมีผลต่อระบบโดยที่

- Magnitude : ที่กำลังขยายของ Tachogenerator ที่มีค่ามากจะให้ค่า Magnitude ที่มีค่าสูงกว่า กำลังขยายของ Tachogenerator ที่มีค่าน้อย

- Phase shift : จะเห็นว่าการเพิ่มกำลังขยายของ Tachogenerator จะไม่ค่อยมีผลต่อค่า Phase shift มากนัก

4) การเปลี่ยนแปลง Voltage ของ Function gen. (Input) จะมีผลต่อระบบโดยที่

- Magnitude : ที่ Function gen. ที่มีค่า Voltage สูง จะให้ค่า Magnitude มากกว่าที่ Function gen. ที่มีค่า Voltage น้อย

- Phase shift : จะเห็นว่าการเพิ่ม Voltage ของ Function gen. จะไม่ค่อยมีผลต่อค่า Phase shift มากนัก

วิจารณ์และเสนอแนะ

1). ในขั้นตอนการวัดผลการทดลอง ค่าผลการทดลองที่ได้ อาจเกิดการผิดพลาดเนื่องจาก

หลายสาเหตุ อาทิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) ความผิดพลาดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัด ดังนั้นในขั้นตอนการวัดต่างๆ เช่น การใช้ Oscilloscope , Tachometer , Multimeter ฯลฯ ควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่ให้ผลละเอียดและแม่นยำ

1.2) ความผิดพลาดเนื่องจากตัวผู้ทดลองเอง ดังนั้นผู้ทดลองควรมีทักษะในการอ่านค่าและการใช้เครื่องมือวัด เพื่อให้สามารถอ่านผลการทดลองได้ถูกต้อง และในการอ่านค่าในการทดลองควรใช้ผู้อ่านคนเดิม

2). ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เช่น Hydraulic pump , Hydraulic motor , Servovalve , Servo amplifier , Tachogenerator เป็นต้น โดยในการทำงานจริงอาจทำงานได้ไม่ตรงตามทฤษฎี 100% ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี เกิดการคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ควรเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

3). ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการคำนวณทางทฤษฎี

3.1) ความผิดพลาดเนื่องจากตัวทฤษฎี เพราะในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีอาจมีตัวแปรอื่นที่เราไม่ได้นำมาพิจารณาเกี่ยวข้องอีก ดังนั้นในการคำนวณทางทฤษฎี ควรคำนึงถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อระบบให้ครอบคลุมที่สุด

3.2) ความผิดพลาดเนื่องจากการคำนวณ เพราะในการคำนวณนั้นค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ มีค่าค่อนข้างละเอียด ทำให้อาจเกิดการดับสน ดังนั้นจึงควรคำนวณค่าต่างๆ ให้ถูกต้อง หรืออาจมีการใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ

4). ลักษณะในการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องและครอบคลุม จึงควรเก็บข้อมูลโดยใช้ช่วงความถี่ที่ละเอียดและเก็บค่าให้กว้างขึ้น และควรเก็บข้อมูลซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Automatic Control Systems , Seventh edition , Benjamin C. Kuo , Prentice - Hall International Editions , 1995 .
2. Fluid Power Systems , First edition , John Watton , Prentice - Hall International Editions , 1989 .
3. Fluid Power Technology , F. Don Norvelle , West Publishing Company , 1995 .
4. Fluid Power Theory and Application , Fourth edition , James A. Sullivan , Prentice - Hall , 1998 .
5. Fluid Power with Application , Third edition , Anthony Esposito , Prentice - Hall International Editions , 1994 .
6. Modern Control Engineering , Second edition , Katsuhiko Ogata , Prentice - Hall International Editions , 1995 .
7. ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์ (Servo System and Mechanic) , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , โยธิน เปรมปราณีรัชต์ , พ.ศ. 2533 .
8. ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control Systems) , พิมพ์ครั้งที่ 2 , รศ.ดร. พุศักรดี ชีวสุวิทย์ , พ.ศ. 2538 .
9. ไฮดรอลิก อุตสาหกรรม , ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร , บริษัทซีเอ็ดดูเลชั่น จำกัด , พ.ศ. 2539 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTRUCTION MANUAL FOR SA - 201 TYPE SERVO AMPLIFIER

1. SUMMARY

SA-201 type Servo Amplifier is an analogue power amplifier for the electro-hydraulic Servovalve. This amplifier is a new designed excellent performance servo amplifier.

2. FEATURES

- 2.1 This servo amplifier is capable the control of such as position, velocity and force (pressure) in the feed-back system with the transducer such as potentiometer, tacho-generator, load-cell (pressure-cell), etc.
- 2.2 This servo amplifier has 3 voltage additional input terminals and each input terminal has an attenuator to adjust input voltage.
- 2.3 Input terminal No.3 can be connected to the second pre-amplifier input for the minor feed-back loop system by the internal switch easily.
- 2.4 Almost of signal adjustment and signal checking up of each parts can be done on the front pannel easily.
- 2.5 DC power supply output can be supplied ± 15 V and maximum 30 mA, DC.

3. SPECIFICATIONS

3.1 Input AC Power source.

- 1). Voltage : 100 V , AC.
- 2). Frequency : 50 Hz or 60 Hz.
- 3). Allowable voltage stability: Within $\pm 10\%$ of power voltage.
- 4). Power expence : 20 VA.

3.2 Output DC Power Supply.

- 1). Voltage : +15 V and -15 V , DC.
- 2). Maximum current : 30 mA.

3.3 Output signal. (I_r : Rated output current at the load.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท สยามไฮดรอลิกส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและเงื่อนไขการใช้งาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). Maximum output current : $\pm 120\%$ of I_r .(with shortage circuit protector.)

3). Maximum driveable frequency at 200% of I_r p-p. input :

More than 50 Hz for 30 mA, 200 ohms
0.65H coil.

4). Frequency response with 200% of I_r p-p input for 200 ohms 0.65 H coil :

-45° phase lag point is more than 700 Hz
with the load of fixed (solid) resistor.

5). Nullshift with temperature change :

Less than $100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, the rate is
converted to input signal.

6). Operating temperature range : 0 to 50°C .

7). Linearity : Less than 0.5% of I_r .

8). Maximum gain : 30 mA (I_r) / 50 mA (Input signal).

3.4 Input signal.

1). Operating input voltage : -10 V to +10 V.

2). Maximum input voltage : -15 V to +15 V.

3). Input impedance : 50 K ohms.

3.5 Dither signal.

1). Output current : 0-30% of I_r p-p.

2). Frequency : 200 Hz.

4. EXPLANATION OF FRONT PANNEL

- (1) **POWER** -----The electric power switch with locking mechanism. By turning to 'ON' pulling lightly, the power will be fed into all circuits.
- (2) **PILOT LIGHT**-----The light is bright when the power is feeding into all circuits by the turning the power switch.
- (3) **MONITOR METER**--The current meter is shown the output current to the servovalve as 100% value at the rated current.

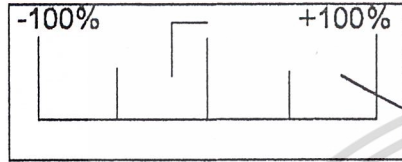
Taking away the cover of the front pannel, there are some adjusting volumes and checking pins. Explanations of each functions are as follows.

- (4) **ATT1**-----Attenuater No.1 is an adjuster for the input signal from the input terminal No.1 (IN 1 for command signal 1). It is turn to anti-clockwise as minimum at the factory.
- (5) **ATT2**-----Attenuater No.2 is an adjuster for the input signal from the input terminal No.2 (IN 2 for command signal 2). It is turn to anti-clockwise as minimum at the factory.
- (6) **ATT3**-----Attenuater No.3 is an adjuster for the input signal from the input terminal No.3 (IN 3 for command signal 3). It is turn to clockwise as maximum at the factory.
- (7) **NULL**-----Zero adjuster for the output signal. It is adjusted to 0 mA of output current at the factory.
- (8) **L.GAIN2**-----Gain adjuster for the second pre-amplifier is available to mutiPLY 1 to 20 times. It is turned to anti-clockwise as minimum at the factory.
- (9) **DITHER**-----Adjuster for the output of the dither current value is available to adjust 0 to 30% of $I_{r\ p-p}$. It is adjusted to 10% of $I_{r\ p-p}$ value at the factory.
- (10) **CP1**-----Signal chacking pin for the output current form final amplifier to the servovalve. $\pm I_r$. (Rated current) is shown as $\pm 1.0\ V$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบสิ่งเนื้อหา และตยงอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

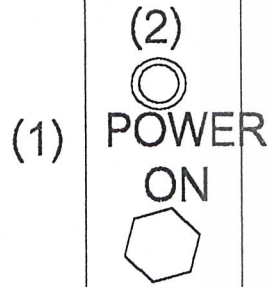
- (11) **CP2**-----Signal checking pin to the ground as 0 V.

SERVO-AMP SA-201



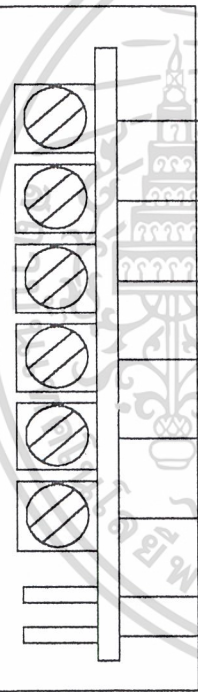
(3)

Behind of the cover.

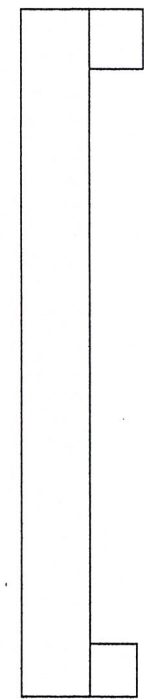
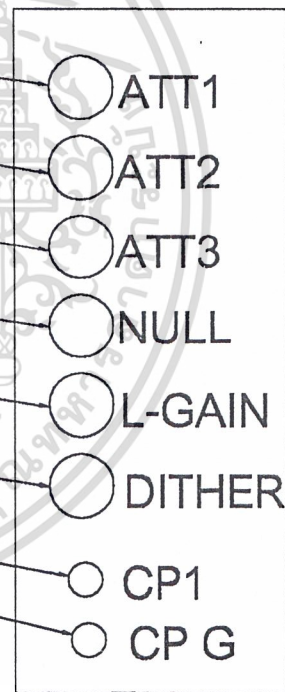


(1)

TUKYO PRECISION
INSTRUMENTS CO.,LTD.



- (4)
- (5)
- (6)
- (7)
- (8)
- (9)
- (10)
- (11)

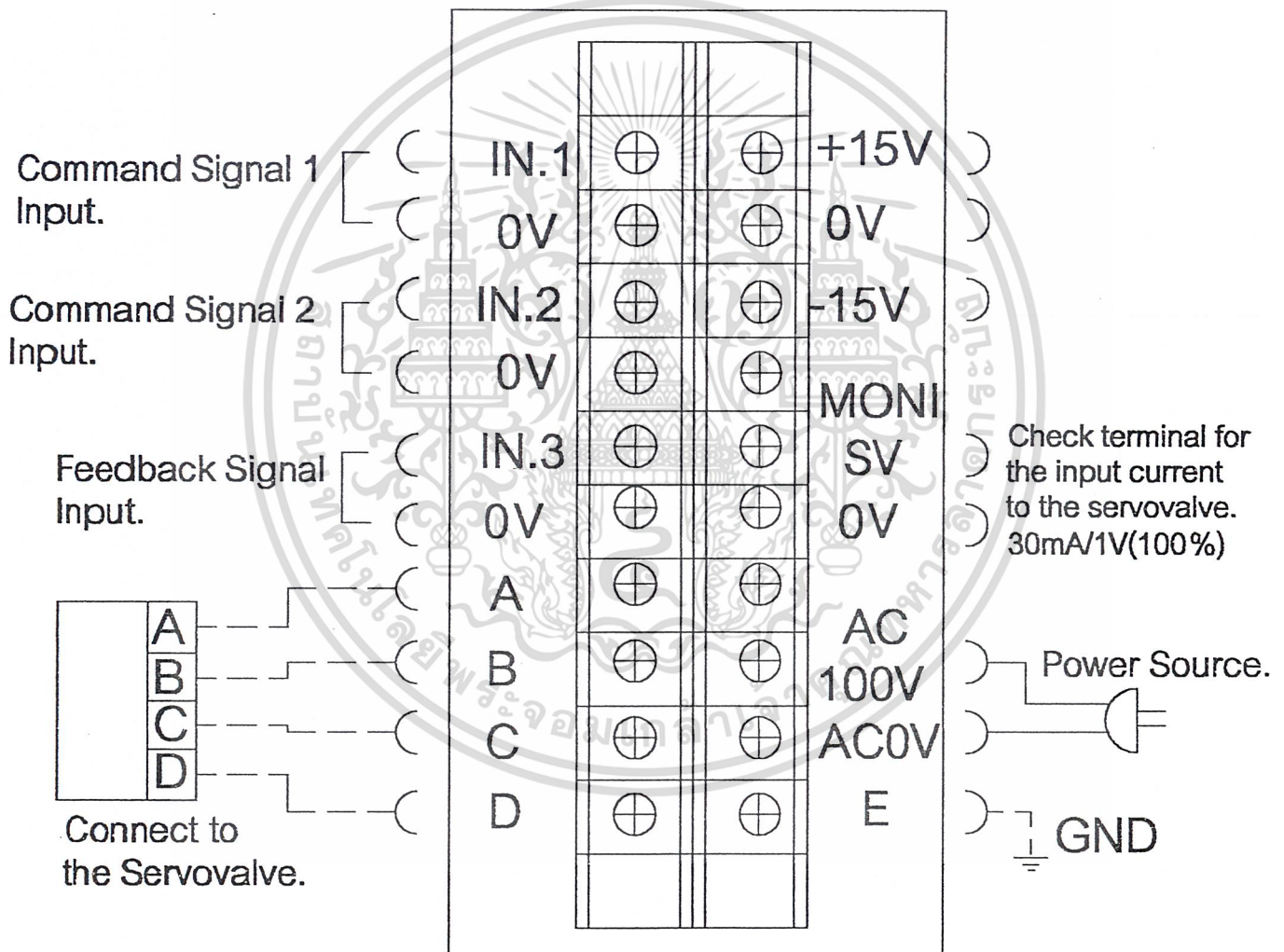


5. CABLE CONNECTION

Explanation of the cable connection.

The view of the external terminals on the behind of the servo amplifier.

Behind View of Amplifier



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ADJUSTMENT OF SERVO AMPLIFIER

6.1 AC Power Supply.

By turning the power switch to 'ON', the power is fed into the amplifier and the pilot light is bright.

6.2 Confirmation of Output DC Power Supply.

Check up the output voltage between '0V' and '+15V', between '0V' and '-15V' terminal and confirm the each voltage shows +15V and -15V.

6.3 Confirmation of Operation.

The output current to the servovalve can be check up to the monitor meter on the front pannel. Turn to the clockwise 'ATT1', 'ATT2', 'ATT3' fully as maximum, and turn to anti-clockwise 'L.GAIN' fully as minimum. Then, confirm the indicator of monitor meter is moved proportionally by the input command signal.

6.4 Zero Adjustment. (Null Adjustment.)

The indicator of monitor meter shows at approximately zero when 'ATT1', 'ATT2' and 'ATT3' are turned to anti-clockwise as minimum. If indicator shows a great different from zero, adjust 'NULL' to zero.

6.5 Adjustment of Signal Addition.

If the command signal voltage and the feed-back signal voltage are almost equivalent value, set each attenuators of command signal and feed-back signal to approximately same position.

When the command signal voltage and the feed-back signal voltage are different value, adjust each attenuators of the command signal and the feed-back signal until the indicator shows at almost zero.

6.6 Polarity of Servovalve Operation.

This servo amplifier supplies the negative output current to the servovalve with the positive input voltage. If the servo control system is the positive feed-back control system, take the following steps to restore the normal negative feed-back control system.

(a) When the movement direction is different from the command signal, reverse the polarity of the input signal to the servovalve.

(b) When the movement direction is same to the command signal, reverse the

เอกลส polarity of the feed-back signal to the servo amplifier. นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INSTRUCTION MANUAL FOR S-372-1AT TYPE
TACHOGENERATOR**

	MODEL S-372-1AT
1). MAXIMUM RATINGS	
1.1) Stall torque (Nm)	0.07
1.2) Peak torque (Nm)	0.3
1.3) Stall current (Amps)	1.6
1.4) Pulse current (Amps)	6.6
1.5) Max speed (RPM)	4800
1.6) Max voltage (V DC)	30
2). MACHANICAL	
2.1) Inertia (kg-cm ²)	0.033
2.2) Damping (Ncm/kRPM)	0.14
2.3) Friction (Ncm)	1.0
2.4) Radial load (kg)	2.0
2.5) Axial load (kg)	2.0
2.6) Thermal resistance (°C/W)	7.3
2.7) Weight (kg)	0.4
3). ELECTRICAL	
3.1) Torque constant (Ncm/Amp)	4.7
3.2) Voltage constant (V/kRPM)	5
3.3) Effective resistance (Ohms)	4.2
3.4) Inductance (mH)	1.3
4). TACHOMETER	
4.1) Generator constant (V/kRPM)	3
4.2) Resistance (Ohms)	48
4.3) Peak ripple (%pk-pk)	5
4.4) Linearity (%)	0.2
4.5) Temperature coefficient (%/°C)	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ 1 kg-cm² = 10⁻⁴ kg-m² ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

Motor and motor-tachometers can be supplied with shaft mounted encoders in a range of line counts. Line driver, A and B with index for 5V operation are available from stock. Brakes can be supplied on some models.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%Bode Diagram(open loop);
%s^2;
Dm=0.0001273;
J=0.014;
L=J/Dm^2;
v=0.000172;
B=1400000000;
C=v/B;
a=L*C/2;
%s;
%r=50;
Qs=0.0003;
%Qs=Dm*2*3.14159265*r/60;
Rv=40/Qs;
Re=400000000000;
Bv=0.033467;
Rf=3v/Dm^2;
b=L/(2*Rv)+L/(2*Re)+C*Rf/2;
%constant;
con=1+Rf/(2*Rv)+Rf/(2*Re);
%transfer function;
i=0.00039;%i=0.39mA;
k=Qs/i;
Ka=0.0315;
Kt=0.0197;
num=k*Ka*Kt/Dm;
fl=[a b con];
bode(num, fl, {1, 150});

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้