

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วาท်ควบคุมแบบอัจฉริยะ

SMART CONTROL VALVE



นายต๋อยศ เอ็มแฮม
นางสาวภัทรพร นิวาทวงษ์
นายสุขสันต์ เหลืองวัฒนวิไล

๒/๗
๗ ๒๔๖๑
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 71959
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ส.ย. 2550

b. ๑๑๖๐๙๑๖
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART CONTROL VALVE



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

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท วาล์วควบคุมแบบอัจฉริยะ
SMART CONTROL VALVE
นักศึกษาผู้จัดทำ นายต่อยศ เอ็มแฮม รหัสนักศึกษา 46010244
นางสาวภัทรพร นีวาทวงษ์ รหัสนักศึกษา 46010559
นายสุขสันต์ เหลืองวัฒนวิไล รหัสนักศึกษา 46010842
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท		ลายมือชื่อ
รศ.ประภาย อุคคกิมพันธ์		
ผศ.พิทยา ปานนิล		

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประภาย อุคคกิมพันธ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	วาล์วควบคุมแบบ SMART SMART CONTROL VALVE			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายต่อยศ	เอมแหยม	รหัสนักศึกษา	46010224
	นางสาวภัทรพร	นิวาทวงษ์	รหัสนักศึกษา	46010559
	นายสุขสันต์	ເຫລິງວັນນິໄລ	รหัสนักศึกษา	46010842
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาส	อุคคกิมพันธ์		
	ศส.พิทยา	ปานนิต		
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบวาล์วควบคุมแบบ SMART โดยวาล์วควบคุมนี้ถูกออกแบบบนพื้นฐานบอกลวาล์วซึ่งประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น dsPIC30F4011 จอแสดงผล LCD และสวิตช์กดเลือกคุณลักษณะการไหลที่ออกแบบไว้ซึ่งได้แก่คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ Equal Percentage คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ Linear คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ Quick Opening สามารถทำการเลือกได้ สำหรับผลการทดลองที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวาล์วควบคุมที่นำเสนอ นั้นมีความสอดคล้องกับค่าที่คาดหวังไว้

Thesis Title	Smart Control Valve	
Authors	Mr.Toryod	Emyam
	Miss.Pattaraporn	Niwatwong
	Mr.Suksan	Luangwattanawilai
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Prapas	Aukakimapun
	Asst.Prof.Pittaya	Pannin
Year	2006	

ABSTRACT

This project presents a design of SMART control valve. The proposed control valve based on ball type consists of dsPIC30F4011 microprocessor, DC motor, LCD monitor, selecting keypads. The design flow characteristics as Equal Percentage, Linear, Quick Opening can be selected. Experimental results verifying the performances of the proposed control valve are in agreement with the expected values.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตา จากรองศาสตราจารย์
ประภาส อุคคภิมาพันธุ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทยา ปานนิลที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา
อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอ
กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอัน
เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็น
แรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณ
ทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 พื้นฐานของระบบคอนโทรลดิซิมอเตอร์.....	3
2.3 หลักการทำงานของดิซิมอเตอร์.....	4
2.4 ดิซิมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่.....	6
2.5 การวัดและทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดิซิมอเตอร์.....	7
2.5.1 การทดสอบความต้านทานของอาร์มาเจอร์.....	7
2.5.2 อินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์.....	9
2.5.3 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่(ค่า back emf constant ของมอเตอร์).....	10
2.5.4 การวัดค่าทอร์กคงที่ (torque constant).....	11
2.6 ระบบเกียร์.....	12
2.7 โพลแทนทีโอมิเตอร์.....	16
2.8 ระบบคอนโทรล.....	19
2.9 พัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเออร์(PWMA).....	22
2.9.1 การทำงานของพัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเออร์.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9.2 ระบบคอนโทรลความเร็วที่ใช้พัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเออร์.....	25
2.9.3 บล็อกไดอะแกรมและส่วนประกอบของระบบ.....	31
2.9.4 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบ.....	34
2.9.5 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการสวิทช์และกระแส.....	36
2.9.6 เพาเวอร์สตูยเซียในตัวมอเตอร์.....	39
2.10 ระบบคอนโทรลตำแหน่งการเคลื่อนที่ (Position Control System).....	41
2.11 การวิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้ในงานการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิ.ซี.มอเตอร์.....	42
2.11.1 บล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลตำแหน่ง.....	42
2.11.2 การวิเคราะห์รูปคอนโทรลตำแหน่งหมุนจากบล็อกไดอะแกรมของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน.....	44
2.11.3 บล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็ว.....	45
2.11.4 การวิเคราะห์รูปคอนโทรลความเร็วรอบจากบล็อกไดอะแกรมของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน.....	47
2.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุมแบบ SMART.....	48
2.12.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ดี.ซี. มอเตอร์.....	48
2.13 คุณสมบัติของตัวคอนโทรลเลอร์.....	51
2.13.1 ปรีออปเปอร์ชันนอลคอนโทรล.....	51
2.13.2 โหลดเปลี่ยนแปลงในระบบคอนโทรลแบบปรีออปเปอร์ชันนัล.....	52
2.13.3 อินทิกรัลคอนโทรล.....	54
2.13.4 ผลตอบสนองของระบบอินทิกรัลคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....	57
2.13.5 ปรีออปเปอร์ชันนอล-อินทิกรัลคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลง.....	58
2.13.6 ผลตอบสนองของ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด.....	60
2.13.7 ดิริเวทีฟคอนโทรล.....	61
2.13.8 ปรีออปเปอร์ชันนอล-ดิริเวทีฟคอนโทรล.....	67
2.13.9 ปรีออปเปอร์ชันนัลอินทิกรัลดิริเวทีฟคอนโทรล.....	70
2.14 คุณลักษณะการไหล (Flow Characteristic).....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.14.1 Equal Percentage.....	72
2.14.2 Linear.....	74
2.14.3 Quick Opening.....	74
บทที่ 3 ส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างและการออกแบบ.....	76
3.1 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์โทรแมคคานิคอล.....	76
3.1.1 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของของ ดี.ซี.มอเตอร์.....	80
3.2 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	82
3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ ds PIC.....	82
3.3 การออกแบบโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ (Flow-Chart).....	83
3.3.1 อธิบาย Flow – Chart.....	85
3.4 การออกแบบวาล์วควบคุมแบบ SMART.....	86
3.4.1 ลักษณะทั่วไป.....	86
3.4.1.1 ส่วนแสดงผลและสวิทช์กดเลือก.....	86
3.4.1.2 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์.....	87
3.4.1.3 บอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์.....	88
3.4.1.4 ชุดพีคเบิ้ลมอเตอร์และชุดขับเคลื่อน.....	89
3.4.1.5 ตัวบอกลวาล์ว.....	90
3.4.1.6 แสดงลักษณะโดยรวมของวาล์ว.....	91
3.4.2 ลักษณะการติดตั้งชิ้นส่วนต่าง ๆ.....	92
3.5 อธิบายชิ้นส่วนต่าง ๆ ของวาล์วควบคุม.....	93
3.5.1 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์.....	93
3.5.2 สวิทช์กดเลือก 3 ปุ่ม.....	94
3.5.3 จอแสดงผล 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด.....	95
3.5.4 มอเตอร์.....	95
3.5.5 บอวลวาล์ว.....	96
3.5.6 ชุดเกียร์.....	97
3.5.7 โทเทนท์โฮมิเตอร์.....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5.8. ส่วนประมวลผลสัญญาณ	98
3.5.8.1 -dsPIC30F4011 ไมโครคอนโทรลเลอร์	98
3.5.8.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current sensor).....	99
3.6 ขั้นตอนการใช้งานของสวิตช์กดเลือก.....	100
3.7 ข้อจำกัดการใช้งาน.....	101
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	102
4.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเทอร์คของมอเตอร์.....	102
4.2 ค่าคงที่เทอร์คของมอเตอร์.....	103
4.3 ขั้นตอนการทดสอบค่าคงที่โวลต์เตจของมอเตอร์.....	104
4.4 ค่าคงที่เทอร์คของมอเตอร์.....	105
4.5 พารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	106
4.6 การแปลงค่าอนาล็อก 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นดิจิตอล 10 บิต.....	106
4.7 ขั้นตอนการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าควิต์ไซเคิลกับกระแสของมอเตอร์.....	107
4.8 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าควิต์ไซเคิลกับกระแสแอมเพอร์ของมอเตอร์.....	108
4.9 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ (กรณีไม่มีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาขึ้น).....	109
4.10 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ (กรณีไม่มีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาลง).....	109
4.11 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ (กรณีมีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาขึ้น).....	110
4.12 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ (กรณีมีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาลง).....	110
4.13 กราฟ และตารางแสดงคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ	111
4.13 ผลตอบสนองการควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลกาวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	121
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	121
5.2 ปัญหา.....	121
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	122
บรรณานุกรม.....	123
ภาคผนวก.....	124
ภาคผนวก ก.....	125
ภาคผนวก ข.....	127
ภาคผนวก ค.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานของแอมป์ไฟแบบพัลส์วิคท์โมดูลาร์.....	26
3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม.....	96
4.1 แสดงผลการทดลองค่าคงที่ทอร์คของมอเตอร์.....	103
4.2 แสดงผลการทดลองค่าคงที่โวลต์เดจของมอเตอร์.....	105
4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	106
4.4 แสดงค่าการแปลงค่าอนาล็อก 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นดิจิตอล 10 บิต.....	106
4.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีวีดีไอเกิดกับกระแสแอมเจอร์ของมอเตอร์.....	108
4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้งอินพุต ขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	111
4.7 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้งอินพุต ขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน).....	112
4.8 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	114
4.9 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีมีของไหลผ่าน).....	115
4.10 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentageทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	117
4.11 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentag ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีมีของไหลผ่าน).....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการคอนโทรลดีซีมอเตอร์แบบพื้นฐาน.....	4
2.2 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัวดีซีมอเตอร์.....	5
2.3 ดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็คเป็นแม่เหล็กถาวร.....	6
2.4 การวัดความต้านทานของอาร์มาเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส.....	8
2.5 การทดสอบความต้านทานของมอเตอร์.....	9
2.6 แสดงการวัดอินดักแตนซ์ของมอเตอร์ด้วยอิมพีแดนซ์บริดจ์.....	10
2.7 วิธีการวัดค่าเบ็ค-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของดีซีมอเตอร์.....	10
2.8 การวัดค่าทอร์กคงที่ของดีซีมอเตอร์.....	12
2.9 พยายามให้เออร์เรอร์ในการวัดมีค่าน้อยที่สุดเพื่อหาค่า K_t	12
2.10 ระบบการคัปปลิงของเกียร์.....	13
2.11 ระบบการคัปปลิงเกียร์ที่มีแรง 17 เลือย.....	14
2.12 แสดงถึงวงจรของโพเทนทิโอมิเตอร์ (ก) แบบลิเนียร์ (ข) แบบโรตารี.....	17
2.13 (ก) โพเทนทิโอมิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแสดงตำแหน่ง.....	18
(ข) โพเทนทิโอมิเตอร์สองตัวที่ใช้เป็นตัวเซ็นซิ่งตำแหน่งของสองเพลลา.....	18
2.14 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้แทนวงจรของโพเทนทิโอมิเตอร์.....	19
2.15 ระบบการคอนโทรลตำแหน่งด้วยดีซีมอเตอร์ที่มีโพเทนทิโอมิเตอร์เป็นตัวเซ็นเซอร์.....	19
2.16 กระบวนการที่เราจะคอนโทรล.....	19
2.17 ตัวอย่างระบบคอนโทรลแบบลูปเปิด.....	20
2.18 ระบบคอนโทรลป้อนกลับแบบลูปปิด.....	21
2.19 ระบบคอนโทรลแบบมีตัวแปรหลายตัว.....	21
2.20 ระบบการคอนโทรลแบบลูปปิด.....	22
2.21 พัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเออร์สำหรับดีซีมอเตอร์.....	23
2.22 บล็อกไดอะแกรมของระบบคอนโทรลความเร็วแบบ PWM.....	26
2.23 วงจรสมมูลย์ของดีซีมอเตอร์ในระบบคอนโทรลแบบ PWM.....	28
2.24 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและโวลต์เดจในระบบคอนโทรลแบบ PWM.....	28
2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในอาร์มาเจอร์ของเซอร์โวมอเตอร์กับ ฟอร์มแฟคเตอร์.....	30
2.26 บล็อกไดอะแกรมของ PWM แอมพลิไฟ.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ผลของฮีสเทเรซิสในแอมพลิไฟเออร์ที่มี gain การขยายสูง.....	32
2.28 แสดงเอาต์พุตโวลต์แดงของคอมพาราเตอร์และไดรเวอร์เราจะเห็นได้ว่าการ.....	32
2.29 บล็อกไดอะแกรมของ PWM แอมพลิไฟเออร์และมอเตอร์.....	34
2.30 บล็อกไดอะแกรมของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน PWM แอมพลิไฟเออร์และมอเตอร์ที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้ว.....	34
2.31 แสดงถึงโวลต์แดงของ PWM แอมพลิไฟเออร์และกระแสของมอเตอร์.....	36
2.32 บล็อกไดอะแกรมของส่วนป้อนกลับกระแส.....	37
2.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการสวิตช์ในรูปของพาราโบลิกต่อค่าเฉลี่ยของมอเตอร์โวลต์แดง.....	38
2.34 บล็อกไดอะแกรมรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน.....	42
2.35 ฟ็อดตัววัดตำแหน่ง.....	42
2.36 รูปบล็อกไดอะแกรมวัดตำแหน่ง.....	43
2.37 บล็อกไดอะแกรมแสดงทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแต่ละส่วนของรูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน....	44
2.38 บล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ.....	45
2.39 วงจรการวัดความเร็วรอบ.....	45
2.40 รูปบล็อกไดอะแกรมวัดความเร็วรอบ.....	46
2.41 บล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ.....	47
2.42 แบบจำลองโครงสร้างของมอเตอร์.....	48
2.43 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล.....	50
2.44 รูปบล็อกไดอะแกรมโมเดลอิเล็กทรอนิกส์โทรัแมคคานิคของมอเตอร์.....	50
2.45 ตัวคอนโทรลเลอร์แบบปรือปพอร์ชันแนล.....	51
2.46 ปรือปพอร์ชันนัลแบนด์.....	52
2.47 ผลตอบสนองของระบบ P – คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบยูนิตสเตป.....	53
2.48 ผลตอบสนองของระบบ P- คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต (θ)แบบยูนิตสเตป...54	54
2.49 แสดงผลตอบสนองของระบบ P- คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต (θ)แบบยูนิตสเตป.....	54
2.50 แสดงระบบคอนโทรลแบบอินติกรัลคอนโทรล.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.51 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตขึ้นอยู่กับกำลังขยายและเออร์เรอร์ เมื่อ $m(0) =$ เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ที่เวลา $t = 0$	55
2.52 แสดงผลตอบสนองของ I คอนโทรลต่อเออร์เรอร์ที่มีค่าคงที่.....	56
2.53 แสดงระบบอินทิกรัลคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....	57
2.54 แสดงผลตอบสนองของระบบ I คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดในลักษณะ ยูนิตสเตป.....	57
2.55 แสดงผลตอบสนองของระบบ I คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต θ_i ใน ลักษณะยูนิตสเตป.....	58
2.56 แสดงผลตอบสนองของปรีออปพอร์ชันนัล – อินทิกรัลคอนโทรล.....	59
2.57 แสดงผลตอบสนองสัญญาณเอาต์พุตเออร์เรอร์ของคอนโทรลเลอร์.....	60
2.58 แสดงระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....	60
2.59 แสดงผลตอบสนองของระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบยูนิตสเตป.....	62
2.60 แสดงผลตอบสนองของระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุต (θ_i).....	63
2.61 แสดงผลตอบสนองระหว่างเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์กับเออร์เรอร์.....	64
2.62 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบคิรวีทไฟคอนโทรล.....	65
2.63 แสดงผลตอบสนองระหว่างสัญญาณควบคุมและยูนิตแรมพ์.....	65
2.64 แสดงผลตอบสนองระหว่างคอนโทรลเลอร์เอาต์พุตกับเออร์เรอร์.....	66
2.65 แสดงผลตอบสนองของระบบ D – คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุต (θ_i).....	67
2.66 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบ PD คอนโทรล.....	68
2.67 แสดงผลตอบสนองของเออร์เรอร์กับสัญญาณควบคุม.....	68
2.68 แสดงผลตอบสนองของ PD คอนโทรลของเออร์เรอร์กับสัญญาณควบคุม.....	69
2.69 แสดงผลตอบสนองของระบบ PD-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุต (θ_i).....	70
2.70 แสดงPID คอนโทรลเลอร์.....	71
2.71 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองระบบการคอนโทรลแบบต่าง ๆ P – คอนโทรล, PI-คอนโทรลและPID-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....	72
2.72 แสดงกราฟคุณลักษณะ Equal Percentage.....	73
2.73 แสดงกราฟคุณลักษณะ Linear.....	74
2.74 แสดงกราฟคุณลักษณะ Quick Opening.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แยกกระตุ้น.....	76
3.2 แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์.....	78
3.3 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล.....	80
3.4 แสดงการออกแบบโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	84
3.5 แสดงตำแหน่งและขนาดส่วนแสดงผลและสวิทช์กดเลือก.....	86
3.6 แสดงขนาดและตำแหน่งของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์.....	87
3.7 แสดงขนาดและตำแหน่งของบอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์dsPIC30F4011.....	88
3.8 แสดงขนาดและตำแหน่งของชุดพีคเบิ้ลมอเตอร์และชุดขับเคลื่อน.....	89
3.9 แสดงขนาดและตำแหน่งการติดตั้งบอลวาล์ว.....	90
3.10 แสดงลักษณะโดยรวมของวาล์ว.....	91
3.11 แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของวาล์วควบคุม.....	92
3.12 แสดงการติดตั้งและโครงสร้างของวาล์ว.....	93
3.13 แสดงวงจรขับกระแสตรงของมอเตอร์.....	94
3.14 แสดงสวิทช์กดเลือก.....	94
3.15 แสดงหน้าจอ LCD 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร.....	95
3.16 แสดงภาพของมอเตอร์ที่นำไปติดตั้ง.....	95
3.17 แสดงภาพของบอลวาล์ว.....	96
3.18 แสดงภาพชุดเกียร์.....	97
3.19 แสดงลักษณะของโพเทนทิโอมิเตอร์.....	97
3.20 แสดงลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC30F4011.....	98
3.21 แสดง ตัวตรวจจับกระแส.....	99
3.22 แสดงลักษณะหน้าจอการแสดงผล.....	100
3.23 แสดงแผนผังการใช้งานสวิทช์ปุ่มกด.....	100
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตกับค่าทอร์คของมอเตอร์.....	103
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตโวลต์เทียบกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์.....	105
4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคิวตี้ไซเคิลกับกระแสแอมเพอร์ของมอเตอร์.....	108
4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีมีของไหลผ่าน).....	113
4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	116
4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีมีของไหลผ่าน).....	116
4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีไม่มีของไหลผ่าน).....	119
4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ EqualPercentageทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง(กรณีมีของไหลผ่าน).....	119
4.10 แสดงผลตอบสนองการควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

อุตสาหกรรมกระบวนการผลิต เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนในการเปลี่ยนสภาพของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ให้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในกระบวนการผลิตของแต่ละอุตสาหกรรมจะต้องมีการจัดเตรียมระบบควบคุมและเครื่องวัดทางอุตสาหกรรม เพื่อใช้สำหรับทำหน้าที่แสดงค่าและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ทางกระบวนการ ให้อยู่ในค่าที่ต้องการและเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติตามที่กำหนด โดยระบบควบคุมและเครื่องมือวัดจะมีหน้าที่ทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การควบคุม โดยเครื่องมือวัดจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนตัวแปรจากกระบวนการให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อส่งค่าไปยังอินพุตของตัวควบคุมและไปแสดงค่าตัวแปรที่หน่วยแสดงผลของระบบควบคุมเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ได้ จากนั้นตัวควบคุมจะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายโดยทั่วไปเป็นวาล์วควบคุม ซึ่งวาล์วควบคุมเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญตัวหนึ่งในการที่จะปรับเปลี่ยนตัวแปรในกระบวนการให้อยู่ในค่าที่ต้องการ การทำงานของวาล์วควบคุมต้องมีการสัมผัสกับของไหลและมีการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วอยู่ตลอดเวลา ส่วนการปิดเปิดเพื่อควบคุมการไหลของของไหลผ่านตัววาล์วจะถูกกำหนดคุณลักษณะโดยลิ้นวาล์วซึ่งลิ้นวาล์วแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะการไหลที่แตกต่างกัน

ดังนั้นโครงการนี้จึงประสงค์จะออกแบบและพัฒนาวาล์วควบคุมให้เกิดคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ ภายใต้อลิ้นวาล์วขึ้นเดียวกัน โดยกระทำผ่านทางชุดการจัดการสัญญาณควบคุมที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนทางด้านไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการควบคุมการปิดเปิดเส้นทางการไหลผ่านตัววาล์ว

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาการออกแบบ เพื่อสร้างวาล์วควบคุมแบบสมาร์ต (Smart Control Valve) เพื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายในการควบคุมกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลาและความยุ่งยาก ในการควบคุมกระบวนการและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นจากอุปกรณ์การวัดและควบคุมที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อตัวอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายหลาย ๆ ตัว เมื่อต้องการใช้กับลักษณะของกระบวนการบางประเภท เช่น ถ้าต้องการใช้งานประเภท On-Off Service ควบคุมความดันและงานเกี่ยวกับประเภท Safety Valve ก็สามารถใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้คุณลักษณะแบบ Quick Opening แต่ถ้าต้องการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงของความดันตกคร่อมวาล์วก็เลือกคุณลักษณะแบบ Equal-Percentage ได้ซึ่งมีอยู่ภายในวาล์วควบคุมแบบสมาร์ตนี้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ศึกษาออกแบบและสร้างวาล์วควบคุมแบบ smart ให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพตามข้อกำหนดฟังก์ชันการใช้งาน ที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้น และได้พัฒนาให้เหมาะสมโดยใช้หลักการควบคุมตำแหน่ง (Positioning Control) ควบคุมการเปิด-ปิดของ Ball Valve ผ่านทาง Keypad 3 ปุ่มสำหรับการควบคุมแบบโลคัล (Local process control) และผ่านทางสายสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 สำหรับการควบคุมแบบรีโมท (Remote process control) โดยประมวลผลบนบอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์และแสดงผลผ่านจอ LCD 2 บรรทัด

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาวาล์วควบคุมแบบ smart ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต
2. ศึกษาโครงสร้างของ Ball Valve ซึ่งจะนำมาพัฒนาเป็นวาล์วควบคุมแบบ smart
3. ศึกษาและออกแบบหลักการควบคุมตำแหน่ง (Position control) สำหรับ Positioner ของวาล์วควบคุมแบบ smart
4. ศึกษาสถาปัตยกรรมของไมโครโปรเซสเซอร์ ds PIC 30F ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการนำมาใช้งานในโครงงานนี้
5. กำหนดฟังก์ชันการใช้งานของวาล์วแบบ smart
6. กำหนดชื่อพารามิเตอร์และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันการใช้งานที่ได้กำหนดไว้
7. เขียนโคอะแกรมการจัดการสัญญาณข้อมูลตามที่ได้ออกแบบฟังก์ชันการใช้งานไว้
8. เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างความสัมพันธ์และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามข้อกำหนดการใช้งานที่ได้ ออกแบบไว้
9. ประกอบชิ้นงานต่าง ๆ เข้าร่วมกัน
10. ทดสอบฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้และปรับแก้ให้สมบูรณ์

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้น

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการคอนโทรลดีซีมอเตอร์จะพบได้ในงานอุตสาหกรรม ส่วนมากเนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ ดังนั้นการออกแบบระบบคอนโทรลดีซีมอเตอร์และการวิเคราะห์จึงเป็นเทคนิคใหม่สำคัญที่น่าสนใจ

ระบบการคอนโทรลแบบดั้งเดิม พลังจักรกลที่สำคัญในระบบมักได้แก่ พวคมอเตอร์ไฟฟ้าต่าง ๆ ไฮโดรลิกแอ็คชูเอเตอร์และพวกเบรคคัลชเป็นต้น แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีคุณภาพสูง ทำให้ดีซีมอเตอร์กลายเป็นพลังจักรกลที่สำคัญในระบบคอนโทรลเกือบทุกชนิดในปัจจุบัน และในเวลาเดียวกันบวกกับความก้าวหน้าของไมโครโปรเซสเซอร์ได้สร้างการประยุกต์งานใหม่ ๆ ขึ้นทำให้ดีซีมอเตอร์และสเตปมอเตอร์ได้รับความนิยมใช้งานอุตสาหกรรมปัจจุบันอย่างกว้างขวาง

ดีซีมอเตอร์เป็นอนาลอกแอ็คชูเอเตอร์ ที่ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอนเหมือนกับ การใช้สเตปมอเตอร์ ดังนั้นระบบคอนโทรลดีซีมอเตอร์โดยทั่วไปมักเป็นระบบแบบลููปปิด ในระบบแบบลููปปิดตำแหน่งเอาต์พุตหรือความเร็วเอาต์พุต จะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิง เพื่อให้ได้คุณสมบัติการทำงานที่ต้องการ ตัวอย่างระบบการคอนโทรลดีซีมอเตอร์ที่ประยุกต์ใช้กับแขนหุ่นยนต์โดยมีดีซีเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อเพื่อให้ได้อัตราส่วนของแรงบิดต่อแรงเฉื่อยสูงสามารถกำหนดตำแหน่งได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถวัดแรงบิดขับเคลื่อน เพื่อป้อนกลับไปเป็นระบบแบบลููปปิด เป็นหุ่นยนต์อีกแบบหนึ่งสำหรับใช้งานวิจัยอุตสาหกรรมขนาดเบาโดยใช้ดีซีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ในแต่ละข้อต่อทำให้กำหนดตำแหน่งได้อย่างสมบูรณ์สามารถโปรแกรมใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง มีความแข็งแรงและสามารถจับยึดสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างคล่องตัว

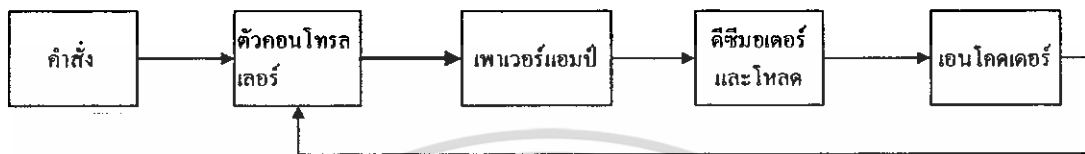
2.2 พื้นฐานของระบบคอนโทรลดีซีมอเตอร์

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบคอนโทรลดีซีมอเตอร์แสดงได้ในบล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 1.12 ซึ่งประกอบด้วยบล็อกที่สำคัญ 4 บล็อกคือ

1. ตัวคอนโทรลเลอร์
2. วงจรไดรเวอร์หรือเพาเวอร์แอมพลิไฟ
3. ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์หรือเอนโคเดอร์
4. ดีซีมอเตอร์และโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณคอนโทรลไปยังคัมดิสทริบิวเตอร์ และโหนดคอนโทรลเลอร์ที่ส่งสัญญาณคอนโทรล เป็นสัญญาณอนาลอกเราเรียกว่า อนาลอกคอนโทรลเลอร์ ส่วนคอนโทรลเลอร์ที่ส่งสัญญาณคอนโทรลเป็นสัญญาณดิจิทัลเราเรียกว่าดิจิทัลคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.1 แสดงระบบการคอนโทรลดีเซลมอเตอร์แบบพื้นฐาน

วงจรถูกควบคุม เป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่างตัวคอนโทรลเลอร์กับดีซีมอเตอร์และโหนดมีหน้าที่ปรับรูปแบบของสัญญาณและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปยังดีซีมอเตอร์และโหนด วงจรถูกควบคุมส่วนใหญ่ได้แก่เพาเวอร์แอมป์ไฟซึ่งอาจแบ่งย่อยออกเป็นลิเนียร์เพาเวอร์แอมป์ไฟและพัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมป์ไฟ

ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์หรือเอนโคเดอร์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้รับรู้หรือปรับสัญญาณเอาท์พุทที่ต้องการ โดยไม่มีผลของการโหลดคิง (loading) สัญญาณที่ดีที่คิงได้นี้จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงทำให้ได้สัญญาณเออร์เรอร์ ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ อนาลอกทรานสดิวเซอร์ คือสิ่งประดิษฐ์ใช้เปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณอนาลอกได้แก่พวก ทาโคเจนเนอเรเตอร์ โปเทนทิโอมิเตอร์และซิงโครเป็นต้น ส่วนฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์อีกแบบหนึ่งคือ ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้แก่พวกอินครีเมนทัลเอนโคเดอร์รีโซลเวอร์ แมกนิติคออัพเป็นต้น

ดีซีมอเตอร์และโหนด คือระบบที่ถูกคอนโทรลหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล (ดีซีมอเตอร์) หรืออะไรก็ตามที่ให้ตัวแปร ดีซีมอเตอร์ในที่นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรที่มีคุณสมบัติการทำงานสูง มีอาร์มาเจอร์อินดักแต้นซ์และแรงเฉื่อยของโรเตอร์ต่ำ

2.3 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือแรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลลาของ

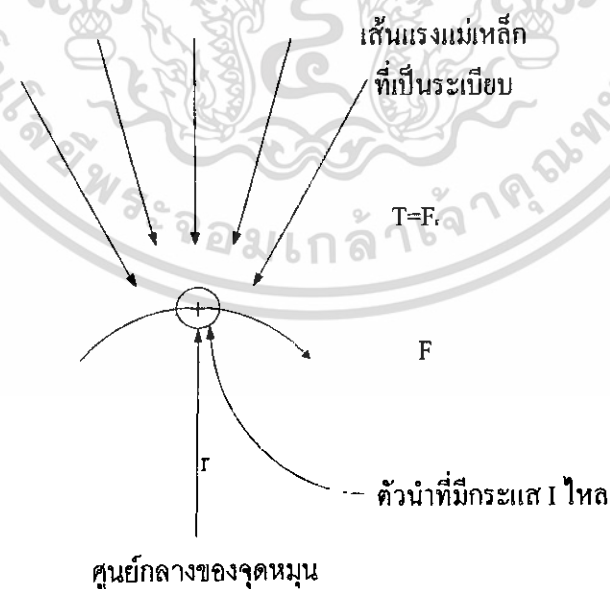
ดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูปที่ 2.2 ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก θ และขดลวดตัวนำเหล่านี้ อยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K \theta I \quad (2-1)$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลามีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร
 θ คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์
 I คือกระแสเป็นแอมแปร์
 K คือตัวคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของ เส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิด โวลต์เดจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เดจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลาของมอเตอร์และต้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เดจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลลามอเตอร์คือ

$$E = K \theta \omega \quad (2-2)$$



รูปที่ 2.2 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัวดีซีมอเตอร์

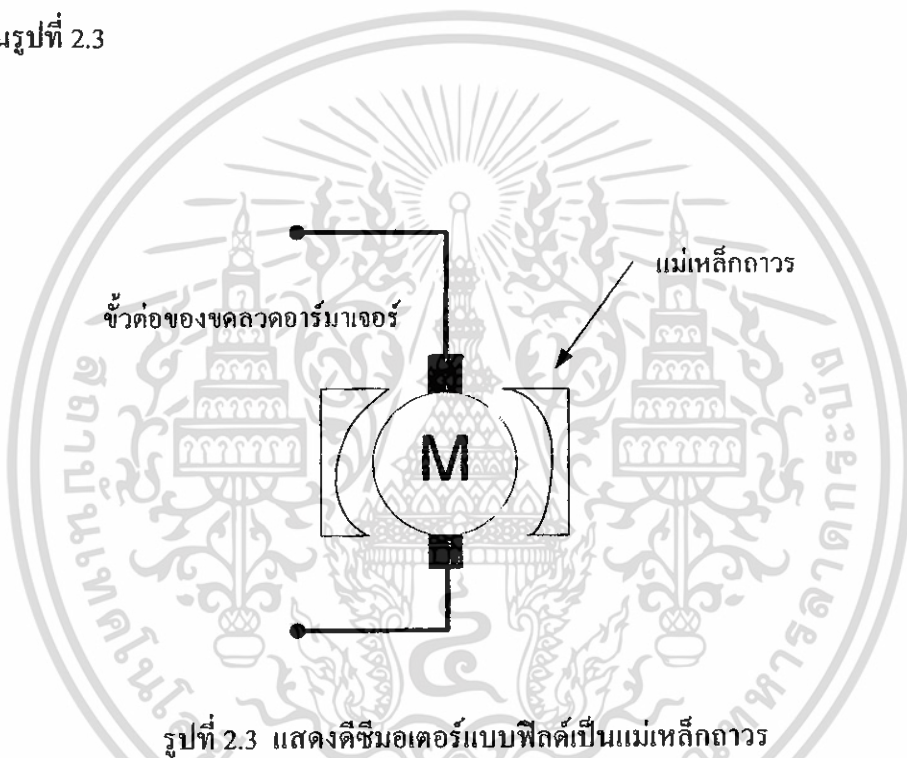
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ E คือ โวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์
 \mathcal{O} คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์
 ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที

สมการ (2-1) และ (2-2) เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการทำงานพื้นฐานของดีซีมอเตอร์

2.4 ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

ระบบการกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์ โดยทั่วไปในปัจจุบันมักใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงดีซีมอเตอร์แบบฟลักซ์เป็นแม่เหล็กถาวร

ในระบบนี้เส้นแรงของฟลักซ์มีค่าคงที่ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (2-1) เขียนให้ง่ายขึ้นได้เป็น

$$T = K_t I \quad (2-3)$$

และสมการ(2-2)ได้เป็น

$$E = K_e \omega \quad (2-4)$$

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดและความเร็วอยู่ในลักษณะลิเนียร์สมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L \frac{di}{dt} + Ri \quad (2-5)$$

- เมื่อ V คือ โวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์
 K_e คือค่าคงที่ของโวลต์เตจย้อนกลับ
 L คืออินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์
 R คือความต้านทานที่ขั้วของมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$T_g = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_f + T_L \quad (2-6)$$

- เมื่อ T_g คือแรงบิดที่กำเนิดโดยมอเตอร์
 J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด
 B คือสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์ปีง
 T_f คือแรงบิดเสียดทานภายใน
 T_L คือแรงบิดโหลด

สมการต่างๆ ของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟิลด์จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟิลด์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร ซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟิลด์ด้วยการพันของขดลวดคือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิลด์มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากันนอกจากนั้นความสัมพันธ์เชิงเส้นในสมการ (2-1) ยังให้ค่าของกระแสอาร์มาเจอร์ที่สูงกว่าดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์เป็นขดลวด การประยุกต์ใช้งานเหมาะสมกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

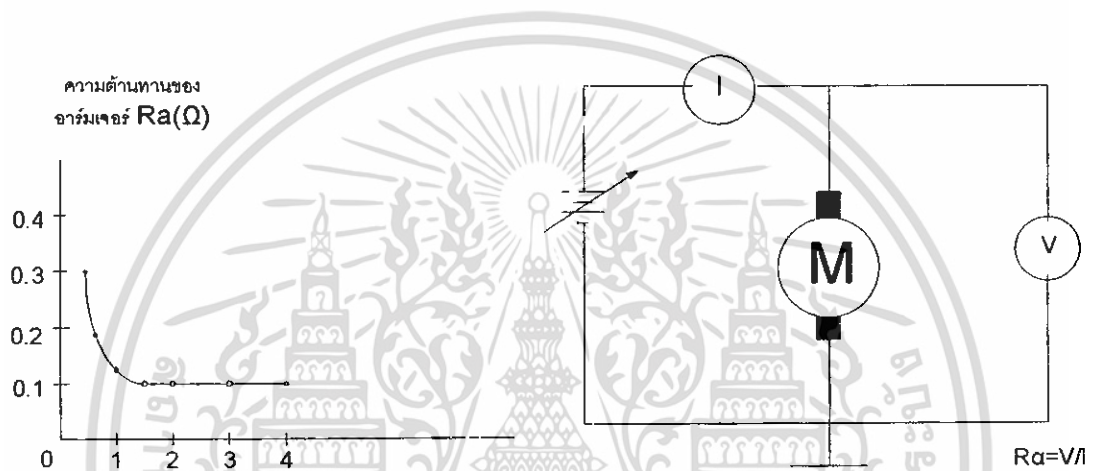
2.5 การวัดและทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของดีซีมอเตอร์

2.5.1 การทดสอบความต้านทานของอาร์มาเจอร์

การวัดค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์ในดีซีมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านที่ เราต้อง

คำนึงถึงความจริงที่ว่า ความต้านทานของแปรงถ่านไม่ได้เทียบเท่ากับความต้านทานที่แท้จริง การเชื่อมโยงระหว่างแปรงถ่าน กับคอมมิวเตเตอร์ตามปกติจะให้ความต้านทานที่เป็นนอนลิเนียร์ พารามิเตอร์ของความต้านทานที่เป็นนอนลิเนียร์นี้เกิดขึ้นจาก metal – graphite ที่ประกอบด้วยทั้งแปรงถ่านและวัสดุของคอมมิวเตเตอร์ เนื่องจากอิทธิพลนี้การวัดความต้านทานของอาร์มาเจอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์จะให้ค่าที่ผิดพลาด นอกจากนั้นความต้านทานของอาร์มาเจอร์จะมีค่าแปรไปตามตำแหน่งของแกนมอเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมอเตอร์ที่มีจุดของคอมมิวเตเตอร์น้อยเพียง 2 - 3 จุด

วิธีการวัดความต้านทานของอาร์มาเจอร์ที่สะดวกที่สุด คือเปลี่ยนจากใช้โอห์มมิเตอร์มาใช้วิธีการวัดด้วยโวลท์-แอมป์มิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4

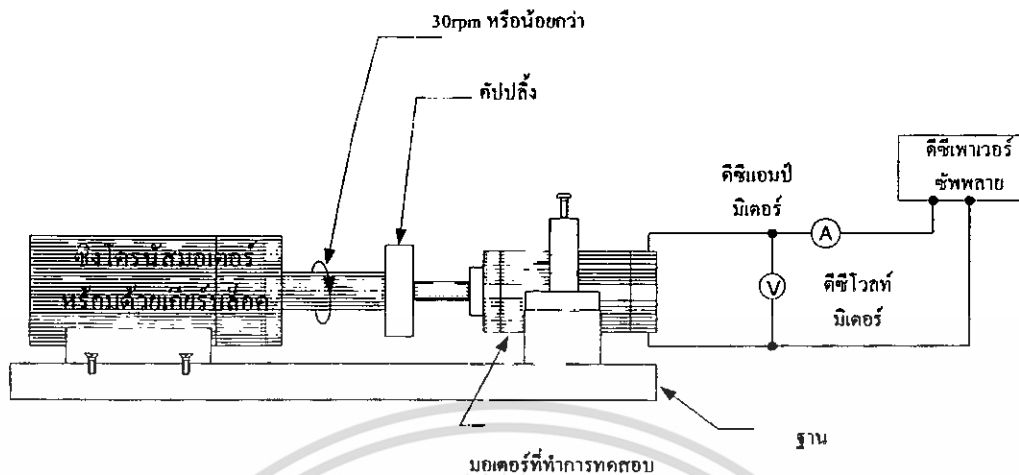


รูปที่ 2.4 แสดงการวัดความต้านทานของอาร์มาเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส

เราถืออาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ให้หยุดที่ตำแหน่งหนึ่ง และการวัดความต้านทานของอาร์มาเจอร์นี้ควรทำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราต้องระมัดระวังอย่าให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นเกิน 1/4 ของพิกัดกระแสที่ใช้งาน (rated current) จากนั้นก็จ่ายโวลท์เตจคร่อมตัวมอเตอร์วัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ แล้วคำนวณหาค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์จากสูตร $R_a = V/I$

เราต้องทำการวัดค่ากระแสหลาย ๆ ค่าและที่ตำแหน่งมุมของเพลลาของมอเตอร์หลาย ๆ จุด แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยพล็อตเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.5

เราสามารถวัดความต้านทานของแปรงถ่าน คอมมิวเตเตอร์และความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์ได้อีกวิธีหนึ่งกระทำในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนอยู่ ความต้านทานที่วัดได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราจำเป็นต้องวัดค่ากระแสและโวลท์เตจอย่างรวดเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงผลของความร้อนที่เกิดจากกระแสของอาร์มาเจอร์ ให้กระแสมีค่าประมาณ 1/4 ของค่าอัตรากระแสที่ใช้งาน การวัดความต้านทานของมอเตอร์ขณะที่มอเตอร์ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วต่ำ ๆ แสดงได้ในรูปที่ 2.5

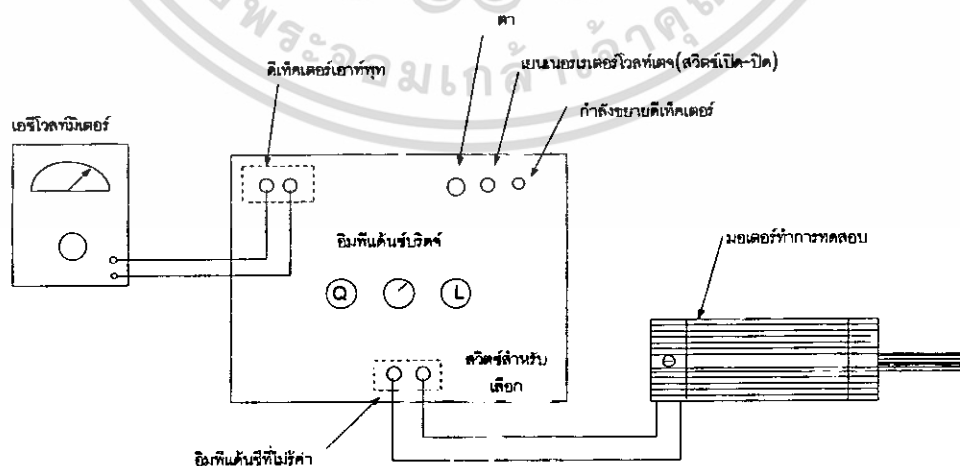


รูปที่ 2.5 แสดงการทดสอบความต้านทานของมอเตอร์

2.5.2 อินดิคแต้นซ์ของอาร์มาเจอร์

เราอาจมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบต่อเข้ากับ อิมพีแดนซ์บริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เราต้องเซตค่า Q และ L ให้สลับตำแหน่งกัน ไปมาแล้วปรับค่าของ Q และ L ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะอ่านค่าโวลท์เตจที่โวลท์มิเตอร์ได้ต่ำสุด เมื่อโวลท์มิเตอร์อ่านค่าได้ต่ำสุดแล้ว ค่า L ที่เราเซตไว้ แสดงถึงค่าอินดิคแต้นซ์ของมอเตอร์

เรากระทำการวัดค่า L ด้วยวิธีการเดิมซ้ำใหม่อีก 3 ครั้ง โดยการปรับตำแหน่งแกนของมอเตอร์ให้เปลี่ยนไปครั้งละ 90 องศาเซลเซียส แล้วนำเอาค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่ามาหาค่าเฉลี่ยใช้เป็นตัวกำหนดค่าอินดิคแต้นซ์ของมอเตอร์ L_u

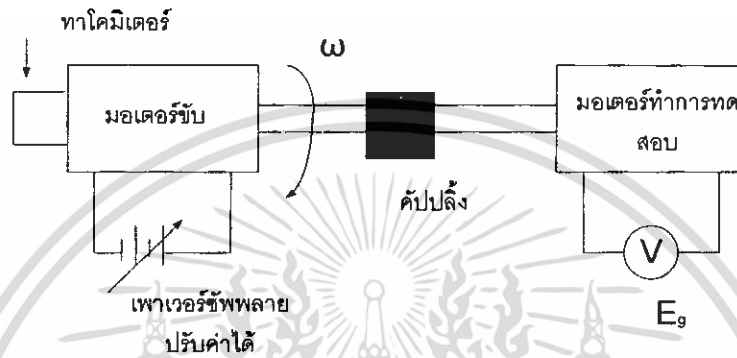


รูปที่ 2.6 แสดงการวัดอินดิคแต้นซ์ของมอเตอร์ด้วยอิมพีแดนซ์บริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่(ค่า back emf constant ของมอเตอร์)

การวัดค่าเบ็ค-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ K_e เรากระทำได้โดยขับมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบให้หมุนเหมือนเป็นเอนเนอร์เจอร์ด้วยมอเตอร์อีกตัวหนึ่ง และวัดค่าโวลต์เตจที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ที่ทดสอบ E_g ขณะเดียวกันก็วัดความเร็วของแกนมอเตอร์โอเมกาด้วย ตัวอย่างของวงจรที่ใช้ในการทดสอบนี้แสดงได้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการวัดค่าเบ็ค-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของดีซีมอเตอร์

เราหาค่าเบ็ค – อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของมอเตอร์ได้จากสัมพันธ์ต่อไปนี้:

$$K_e = \frac{E_g}{\omega} \tag{2-7}$$

ตัวอย่าง ถ้าเราวัดโวลต์เตจของมอเตอร์ได้ 7 โวลต์ ที่ความเร็ว 1000 rpm เราหาค่าเบ็ค-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของมอเตอร์ได้

$$K_e = 7V / 1000rpm \tag{2-8}$$

ถ้าเราใช้หน่วยของ SI K_e มีค่าเท่ากับ

$$K_e = 0.06685 \frac{\text{volt}}{\text{rad / sec}}$$

เบ็ค – อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ K_e จะมีความสัมพันธ์กับทอร์คคอนสแตนต์ K_t ดังนี้

$$K_t = K_e [Nm / A; V / rads^{-1}] \tag{2-9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_t = 9.5493 \times 10^{-3} K_e [Nm / A; V / krpm] \quad (2-10)$$

$$K_t = 1.3524 K_e [oz - in / A; V / krpm] \quad (2-11)$$

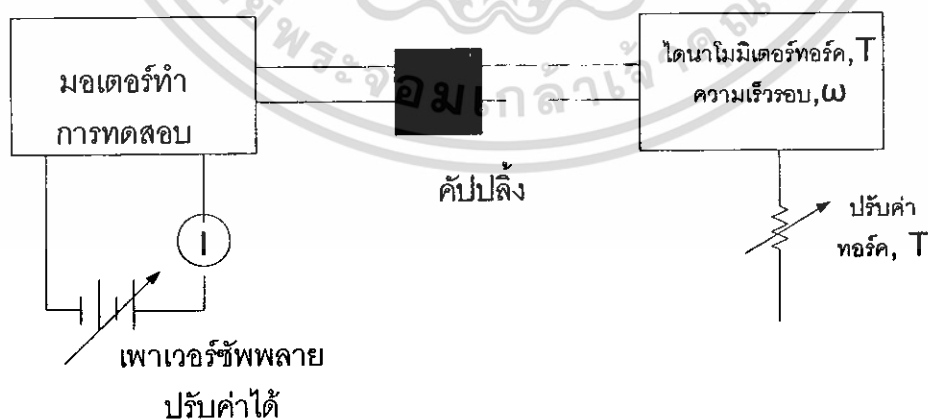
จากสมการที่(2-8)และ (2-9) เราจะได้

$$K_t = 0.06685 \text{ Newton -meter/ampere}$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ของ K_t และ K_e ได้จากสมการที่ (2-9) ถึงสมการที่ (2-11) คีซีมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบอย่างดี ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์กับโวลต์เตจจะเป็นลิเนียร์ เมื่อโวลต์เตจคงที่ความเร็วของมอเตอร์จะคงที่ด้วย อย่างไรก็ตามที่มอเตอร์ที่ใช้งานกันทั่วไปจะให้โวลต์เตจที่แปรค่าไปบ้างตามตำแหน่งเชิงมุม ของแกนมอเตอร์ดังนั้นถ้าหากเราต่อออสซิลอสโคปเข้ากับเอาต์พุทโวลต์เตจของมอเตอร์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของโวลต์เตจที่แปรค่าไปตามการหมุนของแกนมอเตอร์ เอาต์พุทโวลต์เตจของมอเตอร์ที่แปรค่าไปตามตำแหน่งการหมุนของแกนมอเตอร์ให้เห็นถึงทอร์คริปเปิ้ล (torque ripple) ในมอเตอร์

2.5.4 การวัดค่าทอร์คคงที่ (torque constant)

การวัดค่าทอร์คคงที่ของมอเตอร์ จะต้องใช้ไดนาโมมิเตอร์หรือเครื่องมือแสดงค่าทอร์คและความเร็วของแกนหมุนของมอเตอร์ ตัวอย่างของวิธีการวัดค่าทอร์คคงที่แสดงได้ดังในรูปที่ 2.8

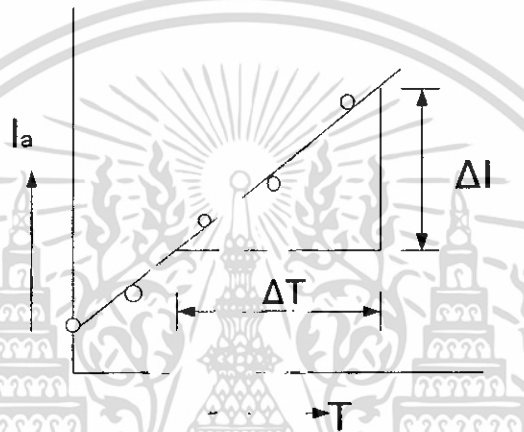


รูปที่ 2.8 แสดงการวัดค่าทอร์คคงที่ของคีสีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องป้อนโวลต์เตจให้กับมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ ขณะเดียวกันเราก็ค่อย ๆ ปรับโพลคของไดนาโมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอัตราการทำงานของโพลคของมอเตอร์นำค่าที่วัดได้มาพล็อตดังแสดงในรูปที่ 2.9 และค่าสโลปเฉลี่ยของกราฟที่พล็อตได้มีค่าเท่ากับ K_t นั่นคือ

$$K_t = \frac{\Delta T}{\Delta I} \quad (2-12)$$

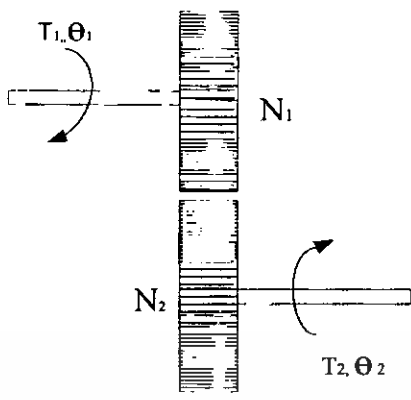


รูปที่ 2.9 แสดงการพยายามให้เออร์เรอร์ในการวัดมีค่าน้อยที่สุดเพื่อหาค่า K_t

ถ้าเส้นกราฟที่พล็อตได้ในรูปที่ 2.9 ไม่เป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่เป็นนอนลิเนียร์ของมอเตอร์ซึ่งอาจเนื่องมาจาก lamination หรือการอึดตัวของแม่เหล็ก

2.6 ระบบเกียร์

ระบบเกียร์ คาน้ำจัดหรือสายพานในถูกรอกเป็นอุปกรณ์เครื่องกลซึ่งสามารถส่งพลังงานจากส่วนหนึ่งของระบบไปยังส่วนอื่น ๆ ได้ในรูปของแรงงาน แรงบิด ความเร็ว และการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ อุปกรณ์เหล่านี้ยังเป็นเสมือนอุปกรณ์สำหรับประสาน (matching) ที่สามารถใช้ส่งผ่านกำลังงานให้ได้ค่าสูงสุด รูป 2.10 แสดงถึงการคัปปลิงเกียร์ 2 ตัว เข้าด้วยกัน แรงเฉื่อยและแรงเสียดทานของเกียร์จะไม่นำมาคิดในเมื่อพิจารณาถึงเกียร์ในอุดมคติ



รูปที่ 2.10 แสดงระบบการคัปปลิงของเกียร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T_1 และ T_2 การเคลื่อนที่เชิงมุม θ_1 และ θ_2 และจำนวนซี่ฟัน N_1 และ N_2 ของระบบเกียร์สามารถหาได้จากหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

- 1. จำนวนซี่ฟันของเกียร์จะเป็นสัดส่วนกับรัศมี r_1 และ r_2 ของเกียร์ นั่นคือ

$$r_1 N_1 = r_2 N_2 \tag{2-13}$$

- 2. ระยะทางการเคลื่อนที่ไปของเกียร์แต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันดังนั้น

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2 \tag{2-14}$$

- 3. แรงงานที่ได้จากเกียร์ตัวหนึ่งจะเท่ากับแรงงานที่ได้จากเกียร์อีกตัวหนึ่ง เนื่องจากสมมติให้ว่าไม่มีการสูญเสียแรงงานดังนั้น

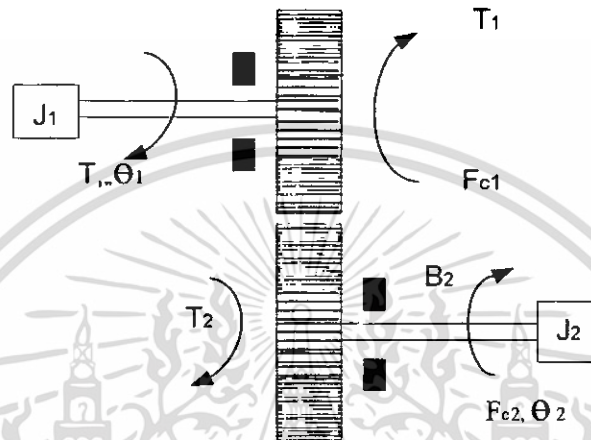
$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2 \tag{2-15}$$

ถ้าความเร็วเชิงมุมของเกียร์ทั้งสองคือ ω_1 และ ω_2 ในรูป 2.10 สมการ(2-13) (2-14) และ (2-15) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2} \tag{2-16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปฏิบัติงานตัวเกียร์จริง ๆ จะต้องมีแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานเกิดขึ้นเนื่องจากการคัปปลิงระหว่างซี่ฟันของเกียร์ซึ่งไม่สามารถจะตัดทิ้งได้ ระบบสมมุติของเกียร์ที่มีวิสกอสฟริกชันคว่ำลอมป์ฟริกชัน และแรงเฉื่อยพิจารณาเป็นส่วนประกอบของระบบดังแสดงในรูป 2.11 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่อไปนี้อธิบายถึงระบบเกียร์



รูปที่ 2.11 แสดงระบบการคัปปลิงเกียร์ที่มีแรงเฉื่อย

T = แรงบิดที่ป้อนให้กับระบบเกียร์

θ_1 และ θ_2 = ระยะทางการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงมุม

T_1 และ T_2 = แรงบิดที่ส่งผ่านมายังเกียร์

J_1 และ J_2 = แรงเฉื่อยของเกียร์

N_1 และ N_2 = จำนวนซี่ฟัน

F_{c1} และ F_{c2} = ตัวสัมประสิทธิ์ขึงคว่ำลอมป์ฟริกชัน

B_1 และ B_2 = ตัวสัมประสิทธิ์ของวิสกอสฟริกชัน

สมการแรงบิดของเกียร์ทั้งสองเขียนได้เป็น

$$T_2(t) = J_2 \frac{d^2\theta_2(t)}{dt^2} + B_2 \frac{d\theta_2(t)}{dt} + F_{c2} \frac{\theta_1}{|\theta_2|} \quad (2-17)$$

สมการแรงบิดทางข้างของเกียร์ตัวแรงได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(t) = J_1 \frac{d^2\theta_2(t)}{dt^2} + B_1 \frac{d\theta_1(t)}{dt} + F_{c1} \frac{\theta_1}{|\theta_1|} + T_1(t) \quad (2-18)$$

โดยใช้สมการ(2-16) สมการ(2-17) จะแปลใหม่ได้เป็น

$$T_1(t) = \frac{N_1}{N_2} T_2(t) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) J_1 \frac{d^2\theta_1(t)}{dt^2} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 B_2 \frac{d\theta_1(t)}{dt} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right) F_{c2} \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (2-19)$$

สมการ(2-19)แสดงให้เห็นว่าเป็นไปได้ที่จะสะท้อนแรงเฉื่อยแรงเสียดทาน แรงบิด ความเร็วและการเคลื่อนที่จากข้างหนึ่งของระบบเกียร์ไปยังอีกข้างหนึ่งของระบบเกียร์

ดังนั้นเราจะโคปริมาตรต่าง ๆ ต่อไปนี้ เมื่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเกียร์ตัวที่สองสะท้อนไปยังเกียร์ตัวที่หนึ่ง

แรงเฉื่อย $(N_1/N_2)^2 J_2$

ตัวสัมประสิทธิ์ของวิสตอฟริคชัน $(N_1/N_2)^2 B_2$

แรงบิด $(N_1/N_2) T_2$

การเคลื่อนที่เชิงมุม $(N_1/N_2) \theta_2$

ความเร็วเชิงมุม $(N_1/N_2) \omega_2$

แรงบิดควิลอมป์ฟริคชัน $(N_1/N_2) F_{c2} (\omega_2/|\omega_2|)$

ถ้าผลการบิดของสปริงเกิดขึ้น ค่าคงที่ของสปริงจะได้รับการคูณด้วย $(N_1/N_2)^2$ ในการสะท้อนผลการบิดของแทนค่าสมการ (2-19) ลงในสมการ (2-18) จะได้

$$T(t) = J_{le} \frac{d^2\theta_1(t)}{dt^2} + B_{le} \frac{d\theta_1(t)}{dt} + T_F \quad (2-20)$$

$$J_{le} = J_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 J_2 \quad (2-21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_{ic} = B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 B_2 \quad (2-22)$$

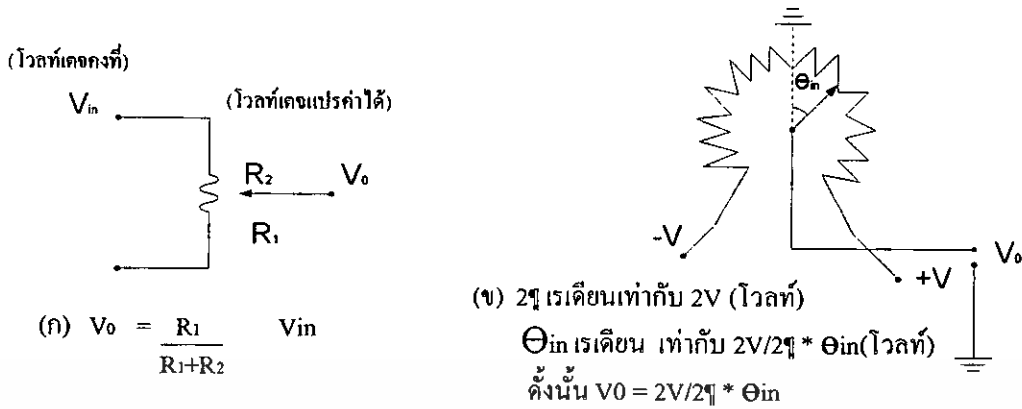
$$T_F = F_{c1} \frac{\theta_1}{|\theta_1|} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right) F_{c2} \frac{\theta_2}{|\theta_2|} \quad (2-23)$$

2.7 โทเทนทีโอมิเตอร์

โทเทนทีโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอินพุทที่ป้อนเข้า โทเทนทีโอมิเตอร์จะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่แบบแกนกลมและอาจเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบหรือเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นก็ได้ เมื่อป้อนโวลต์เตจเข้าที่ปลายข้างที่อยู่กับที่ของโทเทนทีโอมิเตอร์เอาท์พุทโวลต์เตจจะได้ออกมาที่ปลายของส่วนที่เคลื่อนที่ของโทเทนทีโอมิเตอร์ซึ่งจะแปรผันตรงกับความเร็วของการหมุน หรือระยะของการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น โทเทนทีโอมิเตอร์แบบหมุนรอบได้นั้นมีแบบหมุนได้รอบเดียวหรือหมุนได้หลายรอบ และส่วนใหญ่จะประกอบขึ้นด้วยขดลวดหรือความต้านทานของพลาสติกที่เป็นตัวนำแสงถึงรูปของ โทเทนทีโอมิเตอร์ชนิดหมุนได้ 10 รอบ โทเทนทีโอมิเตอร์แบบพลาสติกตัวนำได้รับ ความนิยมใช้มากในระบบคอนโทรลที่ต้องการความเที่ยงตรงเนื่องจาก โทเทนทีโอมิเตอร์ ดังกล่าวได้รับความนิยมใช้มากในระบบคอนโทรลที่ต้องการความเที่ยงตรงเนื่องจาก โทเทนทีโอมิเตอร์ดังกล่าวมีความละเอียดไม่จำกัด มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน ให้เอาท์พุทโวลต์เตจที่ราบเรียบ และมีสแตคคิโนยส์ต่ำ

ตัวอย่างความคลาดเคลื่อนของความต้านทานของโทเทนทีโอมิเตอร์ชนิดมาตรฐาน จะอยู่ระหว่าง ± 5 เปอร์เซ็นต์ และ ± 10 เปอร์เซ็นต์และ โทเทนทีโอมิเตอร์ชนิดพิเศษจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 1 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นลิเนียร์ของความต้านทานของโทเทนทีโอมิเตอร์จะอยู่ในพิสัย ± 0.25 ถึง ± 0.5 เปอร์เซ็นต์

ในรูปที่ 2.12 แสดงถึงวงจรสมมูลย์ของโทเทนทีโอมิเตอร์ที่เป็นแบบลิเนียร์และแบบโรตารีเนื่องจากโวลต์เตจตกคร่อมขั้วที่ปรับค่าได้และขั้วอ้างอิง (กราวด์) จะเป็นสัดส่วนกับการเคลื่อนที่ของเพลนและโทเทนทีโอมิเตอร์ เมื่อป้อนโวลต์เตจคร่อมขั้วที่อยู่กับที่ โทเทนทีโอมิเตอร์สามารถใช้แสดงค่าตำแหน่งสมบูรณ์ของเพลนหรือแสดงค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ของเพลนสองอัน



รูปที่ 2.12 แสดงถึงวงจรของโพเทนทีโอมิเตอร์ (ก) แบบลิเนียร์ (ข) แบบโรตารี

ในรูป 2.13 (ก) แสดงถึงการจัดวงจรเมื่อให้โครงสร้างของโพเทนทีโอมิเตอร์เป็นจุดอ้างอิง (กราวด์) เอ้าท์พุทโวลต์เตจ $e(t)$ จะเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งของเพลลา $\theta_c(t)$ โรตารีโพเทนทีโอมิเตอร์ $\theta_c(t)$ แสดงถึงค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นเรเดียนหรือองศา ดังแสดงในสมการ

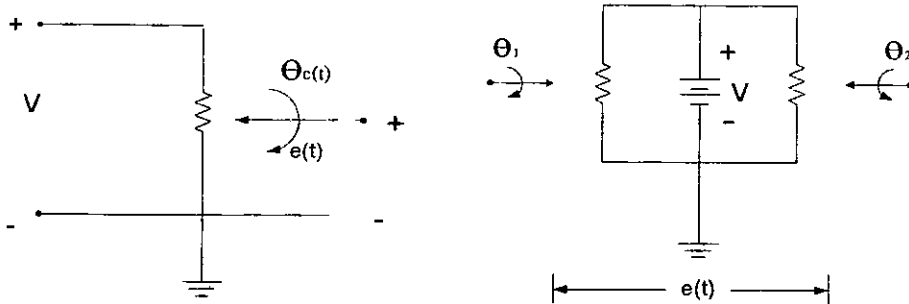
$$e(t) = K_s \theta_c(t) \tag{2-24}$$

เมื่อ K_s คือค่าคงที่ เมื่อ N คือจำนวนรอบของโพเทนทีโอมิเตอร์ผลรวมการหมุนของเพลลาเท่ากับ $2\pi N$ เรเดียน ดังนั้น K_s จะมีค่าเป็น

$$K_s = \frac{V}{2\pi N} \text{ โวลต์/เรเดียน} \tag{2-25}$$

เมื่อ V คือแอมพลิจูดของโวลต์เตจอ้างอิงที่ป้อนให้กับจั่วค้งที่ของโพเทนทีโอมิเตอร์ ในรูปที่ 2.13 (ข)

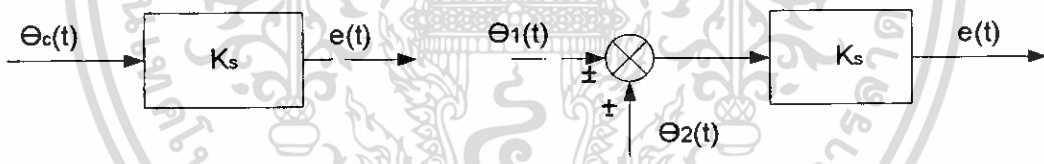
71959



รูปที่ 2.13 แสดง (ก) โปเทนทีโอเมเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแสดงตำแหน่ง
 (ข) โปเทนทีโอเมเตอร์สองตัวที่ใช้เป็นตัวเซ็นซิ่งตำแหน่งของสองเพลลา

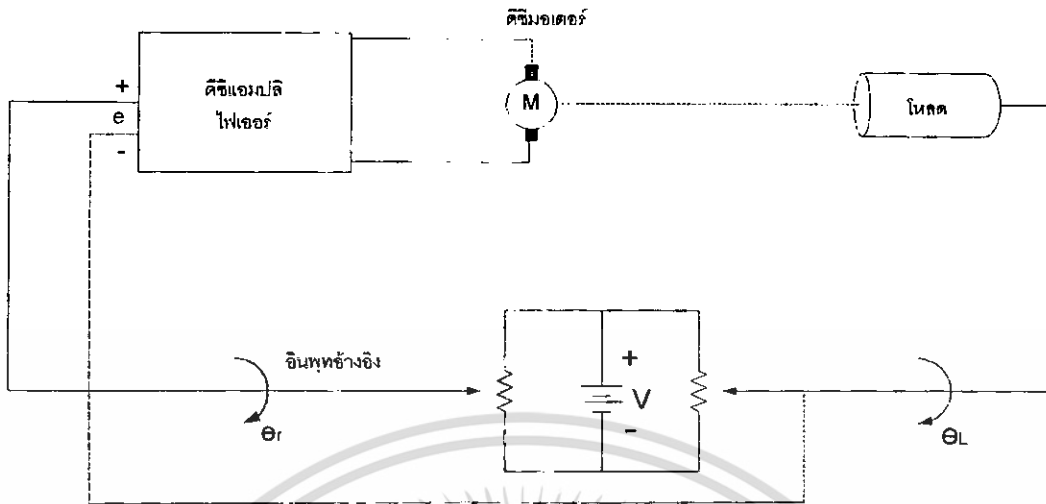
แสดงการต่อโปเทนทีโอเมเตอร์ 2 ตัวขนานกันการจัดวิธีนี้สามารถทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการหมุนของเพลลา 2 อัน ผลต่อการหมุนจะออกมาในรูปของโวลต์เต็มคร่อมปลายของส่วนที่เคลื่อนที่ของโปเทนทีโอเมเตอร์ทั้งสอง แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$e(t) = K_s [\theta_1(t) - \theta_2(t)] \tag{2-26}$$



ที่รูป 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ใช้แทนวงจรของโปเทนทีโอเมเตอร์

ในระบบคอนโทรลดิซิมอเตอร์เรามาจะใช้ โปเทนทีโอเมเตอร์สำหรับการคอนโทรลตำแหน่งแบบลูปปิด รูปที่ 2.15 แสดงถึงไดอะแกรมของระบบการคอนโทรลตำแหน่งดิซิมอเตอร์ โปเทนทีโอเมเตอร์จะถูกใช้เป็นส่วนป้อนกลับ เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของโหลดกับตำแหน่งอ้างอิงที่ต้องการ ผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบโปเทนทีโอเมเตอร์จะกำเนิดสัญญาณเออร์เรอร์ออกมาเป็นโวลต์เต็งนำไปขยาย เพื่อไปขับเคลื่อนมอเตอร์และไปขับโหลดให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

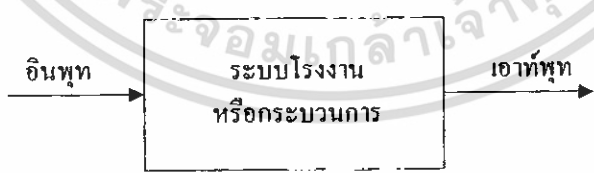


รูปที่ 2.15 แสดงระบบการคอนโทรลตำแหน่งด้วยดีซีมอเตอร์ที่มีโพเทนทิโอมิเตอร์เป็นตัวเซ็นเซอร์

2.8 ระบบคอนโทรล

ระบบคอนโทรล คือ ระบบที่อาศัยพื้นฐานการป้อนกลับเพื่อควบคุมให้ได้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่เราต้องการ

พื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบคอนโทรลกระทำได้โดยอาศัยหลักทฤษฎีระบบลิเนียร์ โดยกำหนดถึงความสัมพันธ์ของอินพุต-เอาต์พุตของส่วนประกอบของระบบ ดังนั้นส่วนประกอบของระบบหรือกระบวนการที่เราจะทำการคอนโทรลสามารถแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.16

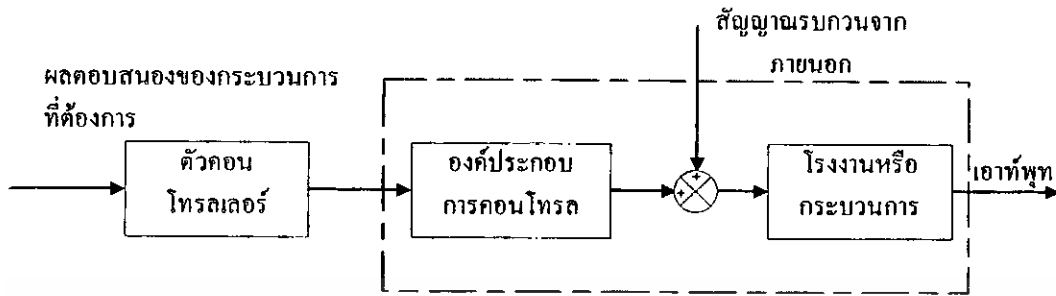


รูปที่ 2.16 แสดงกระบวนการที่เราจะคอนโทรล

ระบบคอนโทรลแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

- ก. ระบบคอนโทรลแบบรูปเปิด คือระบบที่มีตัวคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่เรต้องการ ระบบแบบนี้ไม่มีการป้อนกลับแสดงดังในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

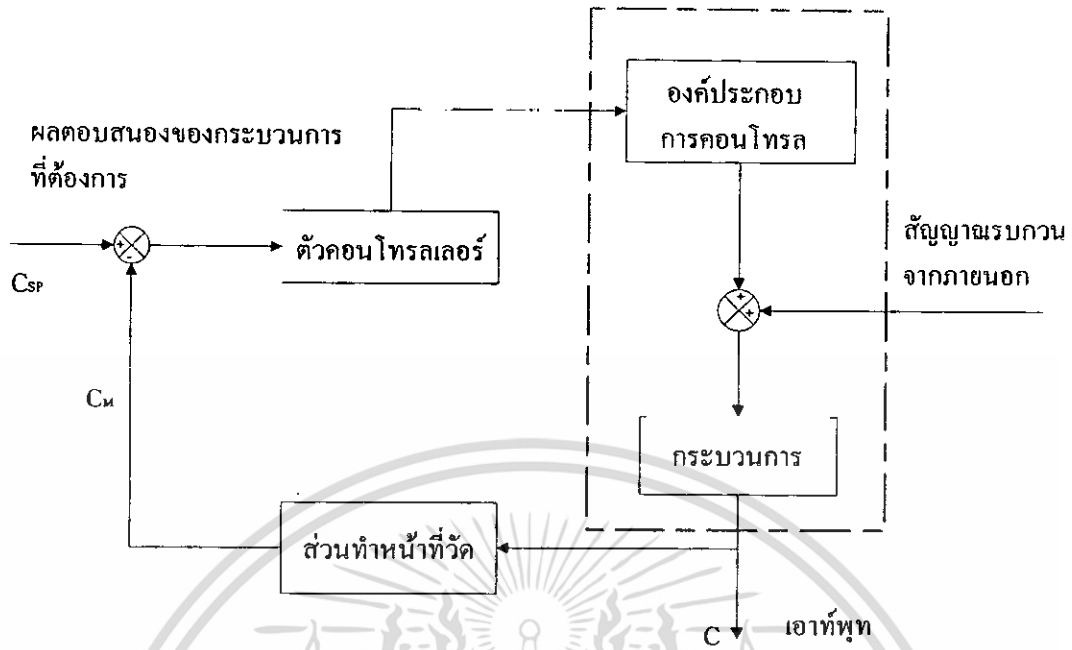


รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างระบบคอนโทรลแบบรูปเปิด

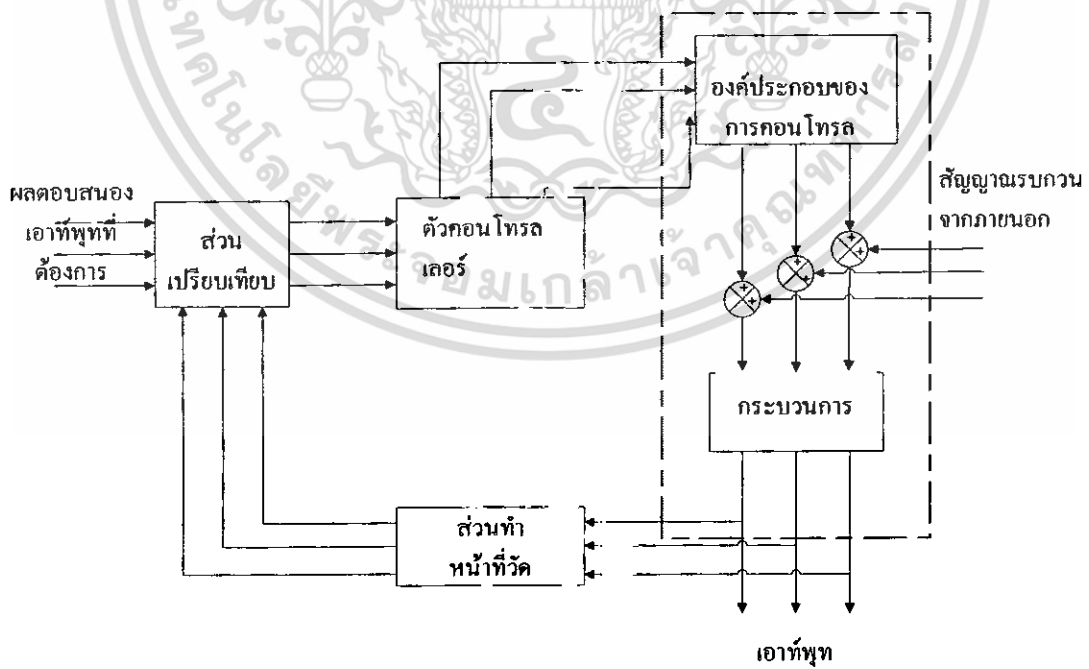
ข. ระบบคอนโทรลแบบรูปเปิดหรือแบบรูปปิดหรือแบบมีการป้อนกลับ คือระบบที่มีการป้อนกลับเอาเอาต์พุตของระบบกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตของระบบจะได้เป็นความแตกต่างหรือเออร์เรอร์ป้อนไปให้ตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อไปคอนโทรลระบบหรือกระบวนการให้ได้ผลตอบสนองตามที่เรารต้องการ ระบบคอนโทรลป้อนกลับแบบรูปปิดแสดงได้ดังในรูปที่ 2.18

การวิเคราะห์และออกแบบระบบคอนโทรลจะอยู่บนพื้นฐานในแนวความคิดของการป้อนกลับ

นอกจากนั้นแล้วระบบที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ถูกรคอนโทรลต่าง ๆ จะต้องพิจารณาในแบบแผนการคอนโทรลที่อยู่ในลักษณะบล็อกไดอะแกรมของระบบคอนโทรลแบบมีตัวแปรหลายตัวแสดงดังรูปที่ 2.19



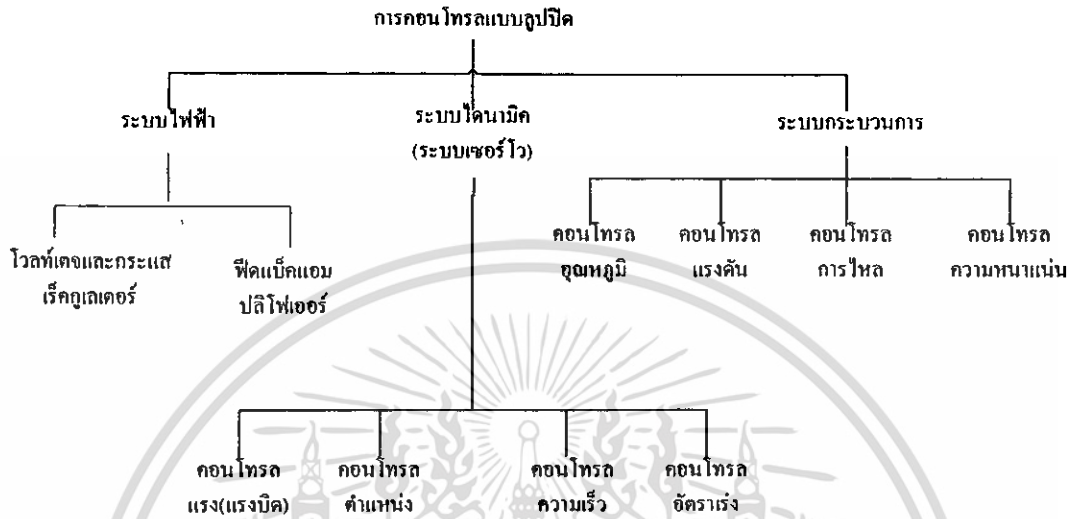
รูปที่ 2.18 แสดงระบบคอนโทรลป้อนกลับแบบลูบปิด



รูปที่ 2.19 แสดงระบบคอนโทรลแบบมีตัวแปรหลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมการคอนโทรลแบบอัตโนมัติหรือระบบการคอนโทรล แบบป้อนกลับที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถจำแนกได้เป็น 3 สาขาดังแสดงในไดอะแกรมต่อไปนี้



รูปที่ 2.20 แสดงระบบการคอนโทรลแบบป้อนกลับ

ส่วนทฤษฎีของวิศวกรรมการคอนโทรล (control engineering) ในปัจจุบันแบ่งแยกทฤษฎีของการคอนโทรลออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ทฤษฎีการคอนโทรลแบบคลาสสิก (classical control theory) และทฤษฎีการคอนโทรลแบบสมัยใหม่ (modern control theory)

ทฤษฎีการคอนโทรลแบบคลาสสิก เป็นทฤษฎีที่เริ่มต้นของการคอนโทรลซึ่งได้แก่ ฟีดแบ็คแอมพลิไฟเออร์รีกกูเลเตอร์และเซอร์โวแมคคานิซึมซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ ฟรีควนซีโดเมน ทฤษฎีการคอนโทรลแบบสมัยใหม่เป็นเสมือน จุดบรรจบของแม่น้ำสามสายของทฤษฎี เซอร์โวแมคคานิซึมแคลคูลัสวาริเอชัน และการพัฒนาของคอมพิวเตอร์

ทฤษฎีของวิชาวิศวกรรมการคอนโทรลในปัจจุบันช่วยให้วิศวกรรมสามารถออกแบบระยะคอนโทรลในลักษณะที่มองเข้าไปได้ลึกซึ้งถึง โครงสร้างและคุณสมบัติของระบบเพื่อแก้ปัญหาให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด (optimum solution) หรือใช้เวลาน้อยที่สุด (time optimum)

2.9 พัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเออร์(PWMA)

ในระบบ " ดีซีเซอร์โว " แอมพลิไฟเออร์มีหน้าที่ควบคุมกระแสและโวลต์เตจที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วตามที่ต้องการ

แอมพลิไฟเออร์แบบ PWM สามารถทำงานได้ 3 แบบคือไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์และ

ลิมิตยูนิคโพลาร์ซึ่งเราได้อธิบายรายละเอียดในแต่ละแบบ เราจะได้ศึกษาปัญหาการสูญเสียในแอมพลิไฟต์ตลอดจนปัญหาการรักษาความถี่ในการสวิตช์ให้ถูกต้อง

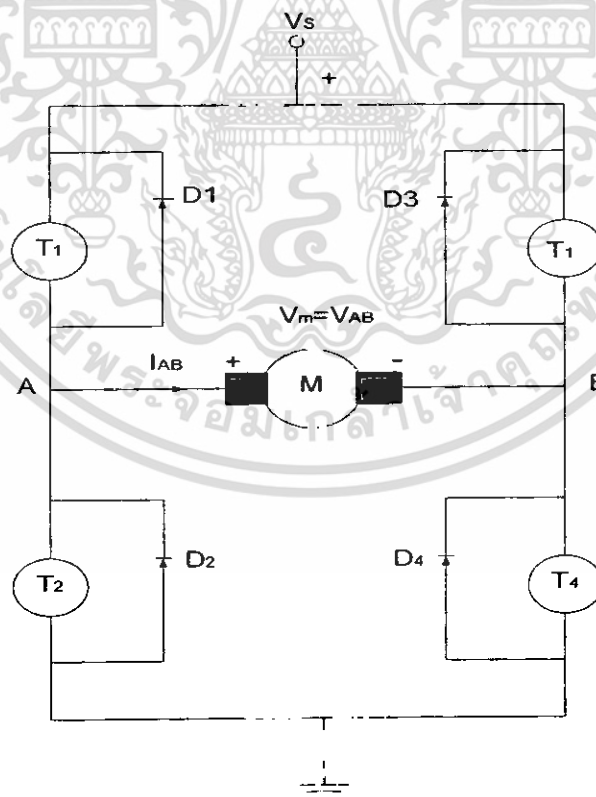
จากการศึกษาปัญหาการใช้งานกับ ดีซีมอเตอร์นี้เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสเตรปมอเตอร์ และใช้เป็นแอมพลิไฟท์ของถิเนียร์มอเตอร์ได้อีกด้วย

2.9.1 การทำงานของพัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเอร์

แอมพลิไฟท์แบบ PWM สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของการทำงานคือไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์และลิมิตยูนิโพลาร์ สำหรับแบบไบโพลาร์ซึ่งง่ายที่สุดจะดูการทำงานได้ตามรูปที่ 2.21 โดยที่เราจะกำหนดให้มีความถี่การสวิตช์เป็น f_s t_{on} ที่เกิดขึ้นในส่วนแรกและ t_{off} เกิดในส่วนหลังโดย

$$t_{on} \text{ เมื่อ } 0 \leq t \leq t_1$$

$$t_{off} \text{ เมื่อ } t_1 \leq t \leq t_f$$



รูปที่ 2.21 แสดงพัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมพลิไฟเอร์สำหรับดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบโพลาร์ จะมี T_1 และ T_4 นำกระแสระหว่างเฟส on ส่วน T_2 และ T_3 จะนำกระแสขณะเฟส off จะได้ฟังก์ชันตกคร่อมมอเตอร์เป็น

$$\frac{\omega(s)}{V_m(s)} = \frac{1}{\alpha(s)} \cdot \frac{K_T}{sJ} V_m = V_{AB} \begin{cases} V_s 0 < t < t_1 \\ -V_s t_1 < t < t_f \end{cases} \quad (2-27)$$

แบบยูนิโพลาร์ จะลดจำนวนทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์ลงการสวิตช์ขึ้นอยู่กับ V_m เป็นบวกหรือลบเมื่อ V_m เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอดคาบ ในขณะที่ T_1 นำกระแสในช่วงเฟส on และ T_2 จะนำกระแสในช่วงเฟส off เมื่อ V_m เป็นลบ T_2 จะนำกระแสตลอด โดยมี T_3 และ T_4 สลับกันทำงาน เมื่อ V_m เป็นบวกได้

$$V_m \begin{cases} V_s 0 < t < t_1 \\ 0 t_1 < t < t_f \end{cases} \quad (2-28)$$

การแสดงค่า V_m ในทางลบจะเหมือนกันเพียงแต่ V_m เป็นลบเท่านั้น

จากลักษณะของ 2 แบบดังที่กล่าวมานั้นมีประโยชน์เหมือนกัน ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีทรานซิสเตอร์คู่หนึ่ง (T_1, T_2) หรือ (T_3, T_4) จะหยุดนำกระแสขณะที่อีกคู่นำกระแสซึ่งมีเวลาเก็บสะสมและเวลาที่ปล่อยออกของทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นและ มันอาจเป็นไปได้ที่ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดนำกระแสในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรของซัพพลาย เราจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงภาวะดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างช่วง delay time ระหว่างการหยุดและการนำกระแสของทรานซิสเตอร์และด้วยเหตุผลดังกล่าว ความถี่ของการสวิตช์จะถูกจำกัดในวงที่แคบลง

แบบที่ 3 ของการทำงานคือแบบ ลิมิตยูนิโพลาร์จะแสดงให้เห็นคือมีความจำเป็น ต้องมีช่วง delay ซึ่งการสวิตช์ขึ้นกับค่า V_m เมื่อ V_m เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอด T_1 จะสวิตช์เป็น on ในช่วงเฟส on ดังนั้นในช่วงเฟส on ทั้ง T_1 และ T_4 จะ on ยังผลแก่โวลต์เดจของมอเตอร์ V_m คือ

$$V_m = V_s 0 \leq t \leq t_1 \quad (2-29)$$

ระหว่างเฟส off จะมี T_4 นำกระแสเพียงตัวเดียวเป็นผลให้ V_m ขึ้นกับ I_{AB} ตราบใดที่ $I_{AB} > 0$ ซึ่งเป็นสภาวะปกติ เมื่อ $V_{AB} > 0$ กระแส I_{AB} จะไหลผ่าน D_2 และ T_4 เป็นผลให้ $V_A = 0$ และ

$$V_m = V_{AB} = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad \begin{cases} t_1 \leq t \leq t_f \\ I_{AB} > 0 \end{cases} \quad (2-30)$$

ในกรณีที่ I_{AB} เป็นลบ กระแสจะไหลผ่าน D_1 และ D_4 เป็นผลให้ $V_A = V_s$ และ

$$V_m = V_{AB} = V_s \quad \text{เมื่อ} \quad \begin{cases} t_1 \leq t \leq t_f \\ I_{AB} < 0 \end{cases} \quad (2-31)$$

ซึ่งจะเกิดขึ้นภายหลังเปลี่ยนขั้ว V_m

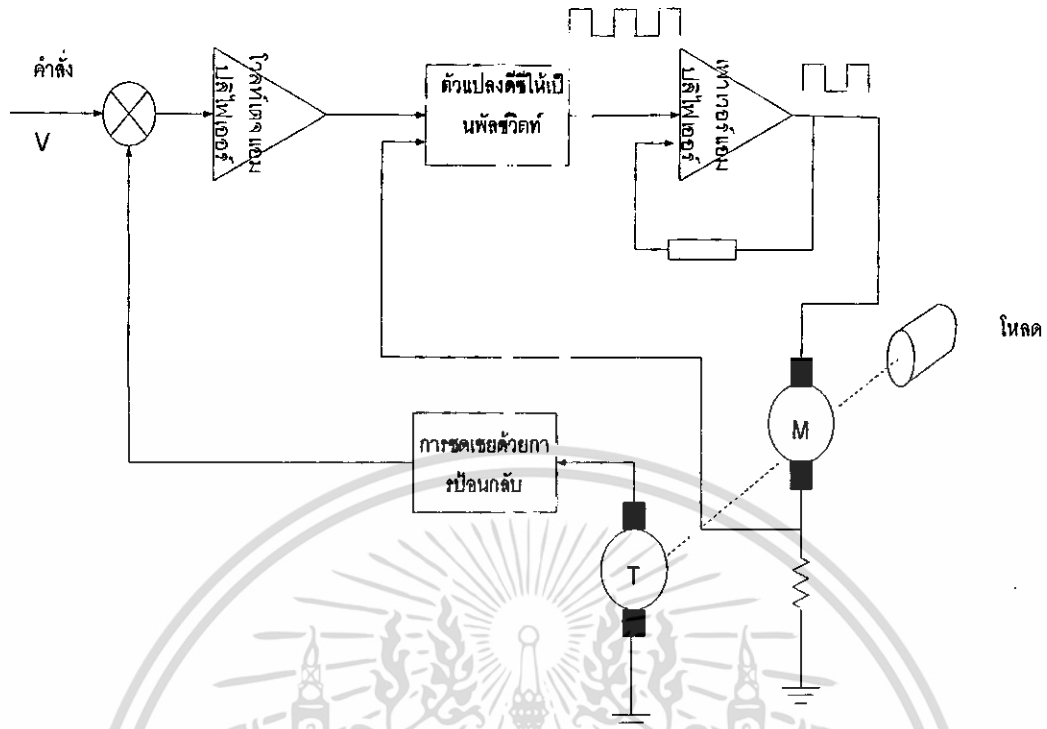
ในที่สุดถ้าเราสามารถทำให้ $I_{AB} = 0$ (เข้าใกล้ศูนย์จนถือว่าเป็นศูนย์) จะทำให้ ทั้ง D_1 และ D_4 ไม่นำกระแสและโวลต์เตจ V_m จะอยู่ระหว่างค่าศูนย์และ V_s ดังต่อไปนี้

$$0 < V_m < V_s \quad \text{เมื่อ} \quad \begin{cases} t_1 \leq t \leq t_f \\ I_{AB} = 0 \end{cases} \quad (2-32)$$

อย่างไรก็ตามถ้า $I_{AB} > 0$ เป็นสภาวะปกติเมื่อ $V_m > 0$ แบบยูนิโพลาร์และแบบลิมิต ยูนิโพลาร์ จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกันมาก ซึ่งเราสามารถสรุป Mode การทำงานและผลของ โวลต์เตจ ดังตารางที่ 2.1

2.9.2 ระบบคอนโทรลความเร็วที่ใช้พัลส์วิตที่โมดูลชันแอมพลิไฟเออร์

PWM สวิตซ์ซิงแอมพลิไฟเออร์ที่ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์จะใช้ในระบบ คอนโทรลที่มีประสิทธิภาพสูง ระบบคอนโทรลความเร็วที่มีเพาเวอร์สูง ๆ และในระบบเซอร์โว บล็อกไดอะแกรมของระบบคอนโทรลความเร็วแบบ PWM แสดงได้ในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบคอนโทรลความเร็วแบบ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการทำงานของแอมพลิไฟแบบพัลส์วิดท์โมดูเลชัน

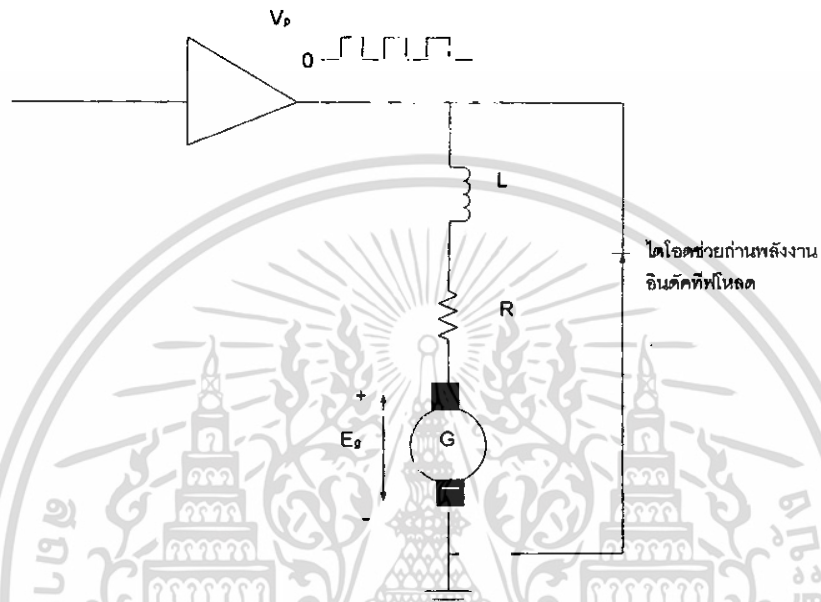
ลักษณะการทำงานและ อินพุทโวลต์เดจ	ภาวทรานซิสเตอร์และโวลต์เดจของมอเตอร์	
	เฟส on	เฟส off
ไบโพลาร์โหมด	T_1, T_4 on T_2, T_3 off $V_m = V_s$	T_2, T_3 on T_1, T_4 off $V_m = -V_s$
ยูนิโพลาร์	T_1, T_4 on T_2, T_3 off $V_m = V_s$	T_2, T_4 on T_1, T_3 off $V_m = 0$
ยูนิโพลาร์	T_2, T_3 on T_1, T_4 off $V_m = -V_s$	T_2, T_4 on T_1, T_3 off $V_m = 0$
ลิมิตยูนิโพลาร์	T_1, T_4 on T_2, T_3 off $V_m = V_s$	T_4 on T_1, T_2, T_3 off $V_m = 0$, if $I_{AB} > 0$ $V_m = V_s$, if $I_{AB} < 0$ $0 < V_m < V_s$, if $I_{AB} = 0$
ลิมิตยูนิโพลาร์	T_2, T_3 on T_1, T_4 off $V_m = -V_s$	T_2 on T_1, T_3, T_4 off $V_m = 0$, if $I_{AB} > 0$ $V_m = -V_s$, if $I_{AB} < 0$ $-V_s < V_m < 0$ if $I_{AB} = 0$

เรามักจะใช้ความถี่ของพัลส์ในระบบ PWM ที่มีค่าสูงกว่า 1 kHz (มักจะมีค่าถึง 10 KHz) และความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผลตอบสนองของระบบต่อแบนด์วิดท์ อินดักแตนซ์ของมอเตอร์และคุณสมบัติการสูญเสียพาเวอร์ในตัวมอเตอร์ที่ความสูง ในเวลาเดียวกันเราจะต้องคำนึง audio noise ที่เกิดจาก ขดลวด, ฮีทซิงค์ และส่วนของโครงประกอบของตัวมอเตอร์มันจะดังออกมาเป็นเสียงรบกวนและในการประยุกต์ใช้งานของระบบ PWM นี้เราสามารถเพิ่มความถี่ของพัลส์ให้สูงขึ้นถึงจุดที่เสียงของนอยส์ (noise) นั้น หูคนไม่ได้ยินเสียงนั้น

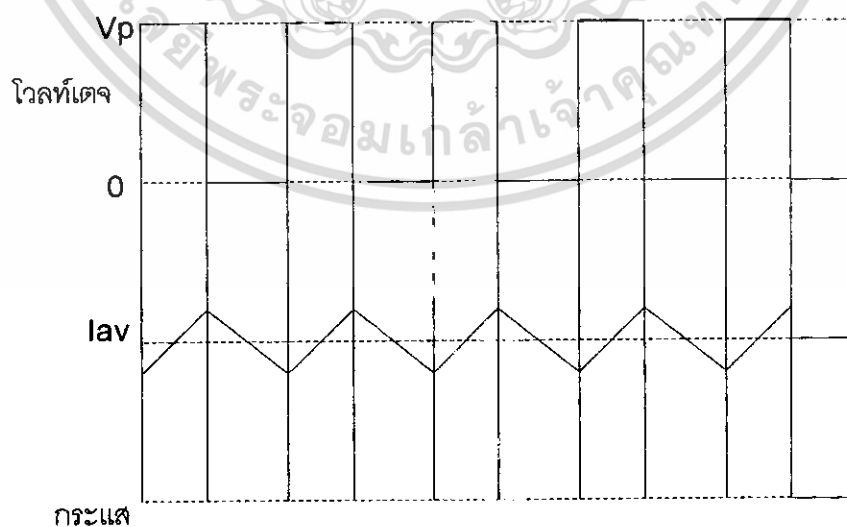
ในการพิจารณาคุณสมบัติของโวลต์เดจและกระแสของระบบ PWM ขึ้นแรกเราพิจารณาถึงมอเตอร์ในอุดมคติและคุณลักษณะของมอเตอร์ในระบบ PWM วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกคลื่นของกระแสที่ไหลในมอเตอร์ในระหว่างสวิตช์ซึ่งโหมด (switching mode) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสวิตช์ซึ่งโหมด (switching rate) เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ (ω) ผลรวมของอินดักแตนซ์ (L) ความต้านทานของมอเตอร์ (R_m) และระดับของกระแสในไซเคิลสุดท้าย



รูปที่ 2.23 วงจรสมมูลของดีซีมอเตอร์ในระบบคอนโทรลแบบ PWM



รูปที่ 2.24 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและโวลต์เดจในระบบคอนโทรลแบบ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะต้องคำนวณหาการสูญเสียเพาเวอร์ (power loss) ในตัวดีซีมอเตอร์ เนื่องจาก ดีซีซัพพลายโวลต์เดจจะถูกสวิตช์ ON และ OFF ที่ความสูง การสูญเสียเพาเวอร์ในระบบดังกล่าว อาจเกิดจากแฟคเตอร์ที่สำคัญดังนี้ (ขึ้นอยู่กับกรอกแบบของมอเตอร์)

- eddy current losses
- hysteresis losses
- armature commutation losses
- viscous friction losses
- armature resistance losses

คำนวณการหาการสูญเสียเพาเวอร์ในตัวดีซีมอเตอร์ เนื่องจากความต้านทานของ อาร์มาเจอร์ สามารถหาได้ดังนี้

$$P_L = R_a I_{RMS}^2 \quad (2-33)$$

เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแส RMS ต่อค่ากระแสเฉลี่ย (I_{av}) อัตราส่วนระหว่าง I_{RMS} ต่อ I_{av} เราเรียกว่า ฟอर्मแฟคเตอร์ (k)

$$k = \frac{I_{RMS}}{I_{av}} \quad (2-34)$$

ค่ากระแสเฉลี่ยของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับทอร์กของมอเตอร์

$$T_g = K_T I_{av} \quad (2-35)$$

แทนค่าในสมการ (2-34) และ(2-35)ลงในสมการ (2-33) การสูญเสียในตัวมอเตอร์ภายใต้ สภาวะ PWM ได้เป็น

$$P_L = R_a k^2 I_{av}^2 \quad (2-36)$$

จากสมการ (2-36) เราจะเห็นได้ว่าการสูญเสียกำลังในอาร์มาเจอร์จะขึ้นอยู่กับ I_{av} ฟอर्मแฟคเตอร์ (k) และความต้านทานของอาร์มาเจอร์ (R_a)

เราสามารถดูแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียได้โดยแทนค่าสมการ (2-35) ลงในสมการ (2-36) ดังนั้น

$$P_L = \frac{R_a}{K_T^2} k^2 T_g^2 \quad (2-37)$$

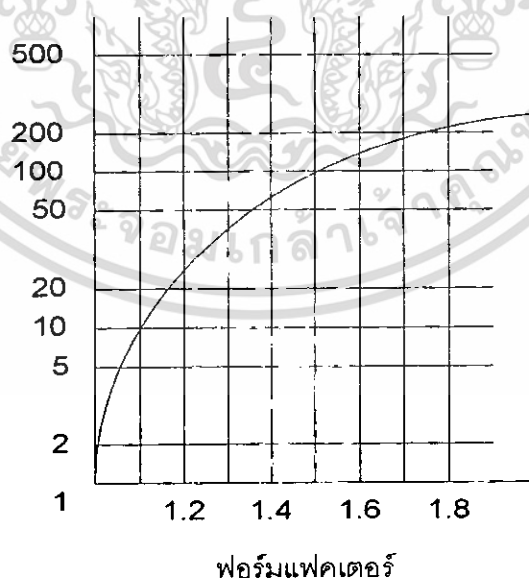
จากทั้งสมการ (2-36) และ (2-37) เราจะเห็นได้ว่าฟอร์มแฟคเตอร์มีอิทธิพลอย่างมากต่อความร้อนที่เกิดกับตัวมอเตอร์

ในกรณีของ $k=1$ ผลความร้อนที่เกิดขึ้น ในอาร์มาเจอร์รีซิสเต้นซ์จากการใช้ลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์จากหัวข้อก่อน คือ

$$P_L = R_a I_{av}^2 \quad (2-38)$$

แต่ถ้าฟอร์มแฟคเตอร์ $k=2$ เราจะได้การสูญเสียกำลังในอาร์มาเจอร์เป็น 4 เท่า (เมื่อ $k=1$) ดังนั้นเราสามารถสร้างกราฟที่เป็นคำตอบ ของการเพิ่มการสูญเสียในอาร์มาเจอร์เนื่องจากฟอร์มแฟคเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.25

ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้น (%)



รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในอาร์มาเจอร์ของเซอร์โวมอเตอร์กับฟอร์มแฟคเตอร์

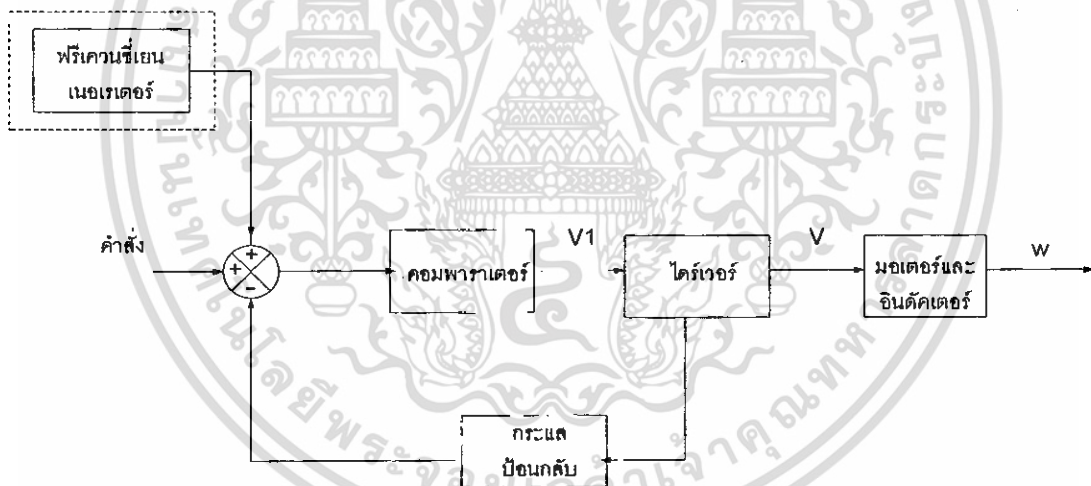
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณี PWM แอมพลิฟายเออร์ ฟอรัมแฟคเตอร์จะขึ้นอยู่กับ ความถี่ของพัลส์อิเล็กทรอนิกส์ของไทม์คอนสแตนต์ของมอเตอร์ และอินดักแตนซ์ที่นำมาต่ออนุกรมกับมอเตอร์ ผลจากการใช้วงจร PWM จะทำให้การสูญเสียเพาเวอร์ในรูปของความร้อนในตัวแอมพลิฟายเออร์ลดลงอย่างมาก และเมื่อคิดถึงผลรวมของการสูญเสียกำลังทั้งหมดของระบบแล้ว คิขึ้น (ผลรวมของการสูญเสียน้อยลง) แต่ในบางกรณีการสูญเสียเพาเวอร์ในตัวมอเตอร์อาจจะมีค่าสูงกว่าในระบบที่ใช้ลิเนียร์แอมพลิฟาย (แบบ Class A)

มีแฟคเตอร์อื่น ๆ ที่เราต้องพิจารณาเมื่อใช้ระบบ PWM คือ การกำเนิดอิเล็กทรอนิกส์คอลลน้อยส์ ซึ่งจะไปรบกวนในวงจรที่มีระดับกำลังต่ำ ถ้าไม่ได้ให้ความระมัดระวังเกี่ยวกับการ shield ที่เหมาะสมและการ ground ส่วนที่มีกระแสสูงของระบบ

2.9.3 บล็อกไดอะแกรมและส่วนประกอบของระบบ

บล็อกไดอะแกรมของ PWM แอมพลิฟายเออร์และมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ระบบจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่อไปนี้



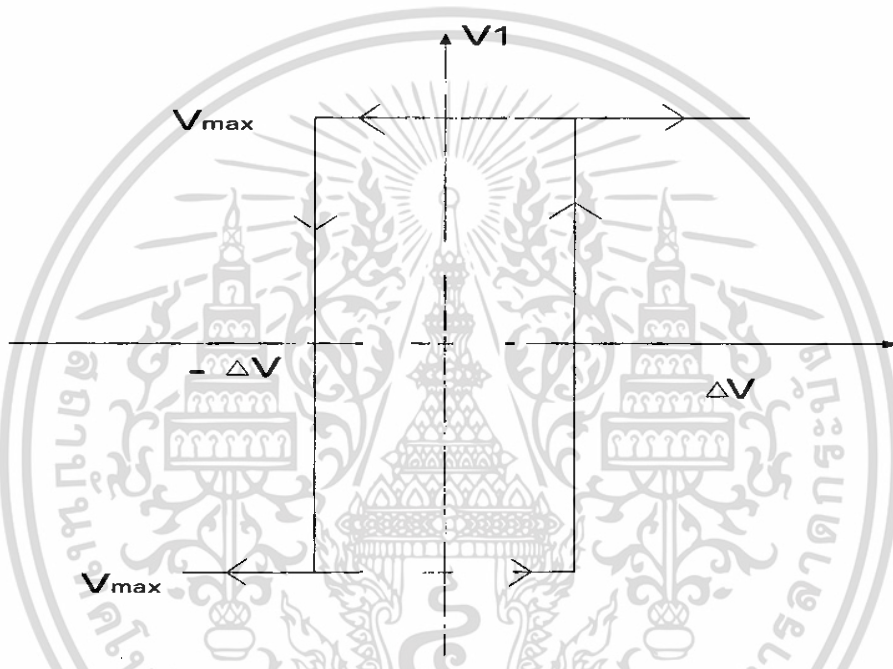
รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ PWM แอมพลิฟาย

1. คอมพาราเตอร์ เป็นแอมพลิฟายเออร์ที่มี gain การขยายสูงและมีการป้อนกลับแบบบวก ซึ่งยังผลให้ได้คุณลักษณะของฮิสเทรีซิส(hysteresis)ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ดังนั้นเอาท์พุทโวลท์เดจของคอมพาราเตอร์จะมีทั้งค่า V_{MAX} หรือ $-V_{MAX}$

2. ไคร์เวอร์ เป็นเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ที่มีเอาต์พุตเท่ากับซัพพลาย V_s เมื่อคอมพาราเตอร์โวลต์เดจเป็นบวกและเท่ากับ $-V_s$ เมื่อคอมพาราเตอร์โวลต์เดจเป็นลบ ดังนั้นไคร์เวอร์เป็นเสมือนบล็อคของ gain การขยายที่มีค่าคงที่

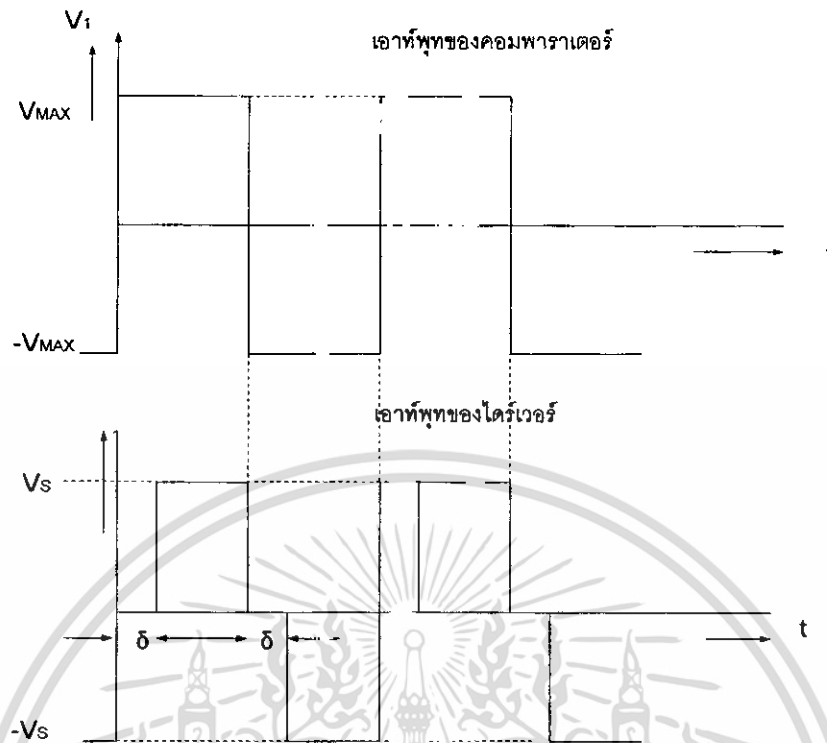
การสวิตช์ซิ่งของเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ (ไคร์เวอร์) จะกระทำเป็น 2 สเตปเพื่อป้องกันการลัดวงจรคร่อมเพาเวอร์ซัพพลาย

สเตปแรก เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแสและหลังจากหน่วงเวลา (time delay) ให้เข้าไป δ แล้ว



รูปที่ 2.27 แสดงผลของฮิสเทรีซิสในแอมพลิไฟเออร์ที่มี gain การขยายสูง

สเตปที่สอง จากนั้นแล้วเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกคู่หนึ่งจึงจะเริ่มนำกระแส การทำงานของไคร์เวอร์นี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงเอาต์พุตโวลต์เตจของ คอมพาราเตอร์และ ไดร์เวอร์เราจะเห็นได้ว่าการสวิทช์ของ คอมพาราเตอร์จะกระทำในช่วงเวลาเมื่อไดร์เวอร์มีช่องการ OFF อยู่มีตำแหน่งกึ่งกลาง (ศูนย์) เป็นระยะเวลา δ

3. การป้อนกลับของกระแส ถ้าวงจรไดร์เวอร์เป็นแบบ “T” เราจะรับรู้กระแสได้โดยต่อ ตัวความต้านทานอนุกรมกับมอเตอร์และใช้ป้อนกลับ และเมื่อไดร์เวอร์เป็นแบบ “H” เราจะรับรู้ กระแสได้จากปลายขาทั้ง 2 ขาของ H และความแตกต่างกันของกระแสทั้งสองก็จะถูกป้อนกลับ วงจรการป้อนกลับของกระแสอาจจะมี gain การขยายคงที่หรือมีส่วนประกอบของไดนามิคตาม คุณสมบัติที่ต้องการ

4. มอเตอร์และอินดักเตอร์ เราใช้อินดักเตอร์ต่ออนุกรมกับมอเตอร์เพื่อจำกัดไม่ให้กระแส แปรไปเกินขีดเกิดการสวิทช์ ในการวิเคราะห์อินดักเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ให้พิจารณา อินดักเตอร์นั้นเป็นส่วนหนึ่งของมอเตอร์อินดักต์แดนซ์

5. ฟรีแควนซีเอนเนอร์เรเตอร์เราจะใช้ฟรีแควนซีเอนเนอร์เรเตอร์ใน PWM แอมพลิไฟเออร์ เพื่อเป็นตัวกำหนดให้ความถี่ของการสวิทช์คงที่ เอนเนอร์เรเตอร์ที่ใช้มักจะเป็นการเอนเนอร์เรท สัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ป้อนให้กับคอมพาราเตอร์

2.9.4 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ

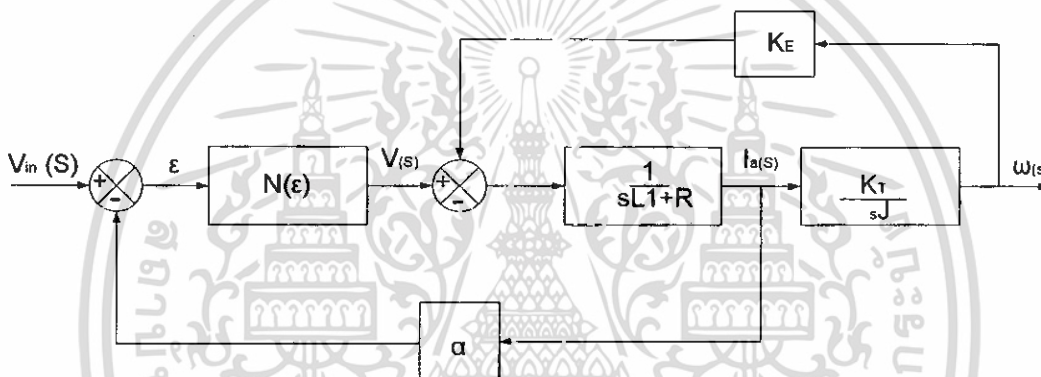
เพื่อให้เข้าใจการทำงานของ PWM แอมพลิไฟเออร์เราจำเป็นต้องหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของ PWM แอมพลิไฟเออร์ในรูปของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

ส่วนประกอบของระบบแทนได้ด้วยทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.29 คอมพาราเตอร์และไดร์เวอร์เป็นส่วนประกอบที่เป็นอนลิเนียร์ และเอาต์พุตของมันจะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตในที่นี้สมมติว่า

$N(\epsilon)$ เป็น describing ฟังก์ชันที่ใช้แสดงคุณสมบัติของคอมพาราเตอร์และไดร์เวอร์

R เป็นรีซิสเต้นซ์ของมอเตอร์

L_f เป็นผลรวมของอินดักเต้นซ์ของมอเตอร์รวมกันอินดักเต้นซ์ภายนอกที่นำมาต่ออนุกรม



รูปที่ 2.29 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ PWM แอมพลิไฟเออร์และมอเตอร์

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบได้เป็น

$$\frac{\omega(s)}{V_{in}(s)} = \frac{N(\epsilon) \cdot \frac{1}{sL_f + R} \cdot \frac{K_T}{sJ}}{1 + N(\epsilon) \cdot \frac{1}{sL_f + R} \cdot \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{sL_f + R} \cdot \frac{K_T}{sJ} \cdot K_E}$$

หรือ

$$\frac{\omega(s)}{V_{in}(s)} = \frac{N(\epsilon)K_T}{(sL_f + R)sJ + N(\epsilon)\alpha sJ + K_E K_T} \tag{2-39}$$

ในกรณีทั่ว ๆ ไป $N(\varepsilon)$ มีค่าสูงมาก (เพราะว่า gain การขยายของแอมพลิไฟเออร์มีค่าสูง) ภายใต้งานไขนัทรานสเฟอร์ฟังก์ชันอาจจะประมาณได้เป็น

$$\lim_{N(\varepsilon) \rightarrow 0} \frac{\omega(s)}{V_m(s)} = \frac{K_T}{\alpha s J} \quad (2-40)$$

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้วตามสมการ (2-40) เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงบล็อกไดอะแกรมของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน PWM แอมพลิไฟเออร์และมอเตอร์ที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้ว

จากบล็อกไดอะแกรมของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ได้ทำให้ง่ายขึ้นแล้วดังในรูปที่ 2.30 เราจะเห็นว่าผลตอบสนองของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันพิจารณาได้จากส่วนของฟีดแบ็ค ในกรณีนี้เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์จะกลายเป็นแอมพลิไฟเออร์ขยายกระแส (current amplifier) คือ

$$I_a = \alpha \cdot V_m \quad (2-41)$$

จากไดเวอร์ของมอเตอร์เป็นการไคร้ด้วยกระแสทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์จะมีค่าที่ง่าย

$$\frac{\omega(s)}{I_a(s)} = \frac{K_T}{sJ} \quad (2-42)$$

จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันสมการ (2-42) เราสามารถเห็นได้ว่าเราสามารถจะแปรทรานสเฟอร์ฟังก์ชันนี้ไปได้โดยเปลี่ยนเทอมของเคอร์เร้นท์ฟีดแบ็ค (current feedback), α ถ้าหากเราใช้ข้อค้ประกอบไดนามิคที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $\alpha(s)$ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบจะ

ได้เป็น

$$\frac{\omega(s)}{V_m(s)} = \frac{1}{\alpha(s)} \cdot \frac{K_T}{sJ} \quad (2-43)$$

ดังนั้น โพลของ $\alpha(s)$ ก็คือ ซีโรของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ

โมเดลของสมการ (2-43) อาจจะได้ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของ PWM แอมพลิไฟเออร์และมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบใหญ่กว่า สมการ (2-43) จะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ แบนด์วิดท์ และคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม สมการของ PWM แอมพลิไฟเออร์ เราต้องพิจารณากันเป็นพิเศษต่อไป

2.9.5 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการสวิทช์และกระแส

เราสามารถพิจารณาความถี่ของการสวิทช์ของ PWM แอมพลิไฟเออร์ได้ดังนี้ สมมติว่าความถี่ในการสวิทช์มีความถี่สูง ดังนั้น ความเร็วของมอเตอร์จะมีค่าเกือบคงที่ตลอดเวลาของการสวิทช์ (switching period)

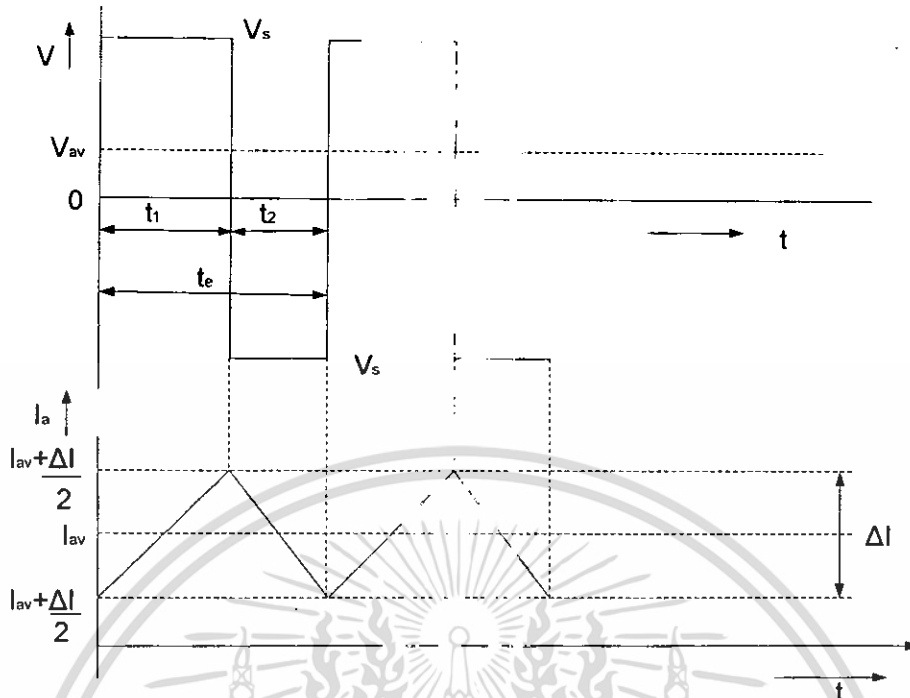
กำหนดให้ I_{av} เป็นค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ เราก็จะหาค่าเฉลี่ยของมอเตอร์โวลต์แดงได้

$$V_{av} = RI_{av} + K_E \omega \quad (2-44)$$

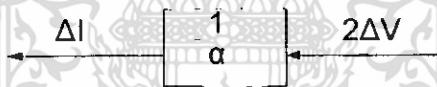
ในตอนนี้อสมมติว่าโวลต์แดงของแอมพลิไฟเออร์เท่ากับ $\pm V_s$ และการเปลี่ยนแปลงของกระแสในมอเตอร์มีค่าโดยประมาณเป็นเส้นตรง โวลต์แดงของแอมพลิไฟเออร์และกระแสของมอเตอร์แสดงได้ในรูปที่ 2.31

ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงของกระแสของมอเตอร์เท่ากับ ΔI ซึ่งเมื่อถูกคูณด้วย α จะทำให้เกิดโวลต์แดงเปลี่ยนแปลง $2\Delta V$ เพื่อไปสวิทช์คอมพาราเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.31) ดังนั้น

$$\Delta I = \frac{2\Delta V}{\alpha} \omega_m \Big|_{t \rightarrow \infty} = \frac{K'}{(K'K_s + 1)} \equiv \frac{1}{K_s}$$



รูปที่ 2.31 แสดงถึงโวลต์เตจของ PWM แอมพลิไฟเออร์และกระแสของมอเตอร์



รูปที่ 2.32 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของส่วนป้อนกลับกระแส

ในช่วงเวลาที่โวลต์เตจของ PWM แอมพลิไฟเออร์มีค่าเป็นบวกคือ t_1 และโวลต์เตจของแอมพลิไฟเออร์เท่ากับ $+V_s$ และค่าเฉลี่ยของมอเตอร์โวลต์เตจเท่ากับ V_{av} ดังนั้นสโลปของกระแส $= \frac{V_s - V_{av}}{L_t}$ และเราสามารถหาค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงของกระแสได้เป็น

$$\Delta I = \left[\frac{V_s - V_{av}}{L_t} \right] \cdot t_1 \tag{2-45}$$

$$t_1 = \frac{\Delta I L_t}{V_s - V_{av}} \tag{2-46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียว ในช่วงเวลาที่โวลต์เดจของ PWM แอมพลิไฟเออร์มีค่าเป็นลบ ($-V_s$) คือ t_2 และเราสามารถหาค่า t_2 ได้เท่ากับ

$$t_2 = \frac{\Delta I L_t}{V_s + V_{av}} \quad (2-47)$$

ผลรวมของคาบเวลาการสวิตช์, t_c จะหาได้ดังนี้

$$t_c = t_1 + t_2 = \frac{2\Delta I L_t V_s}{V_s^2 - V_{av}^2} \quad (2-48)$$

หรือแทนค่าสมการ (2-44) ลงในสมการ (2-48) จะได้เป็น

$$t_c = \frac{4\Delta V L_t V_s}{\alpha (V_s^2 - V_{av}^2)} \quad (2-49)$$

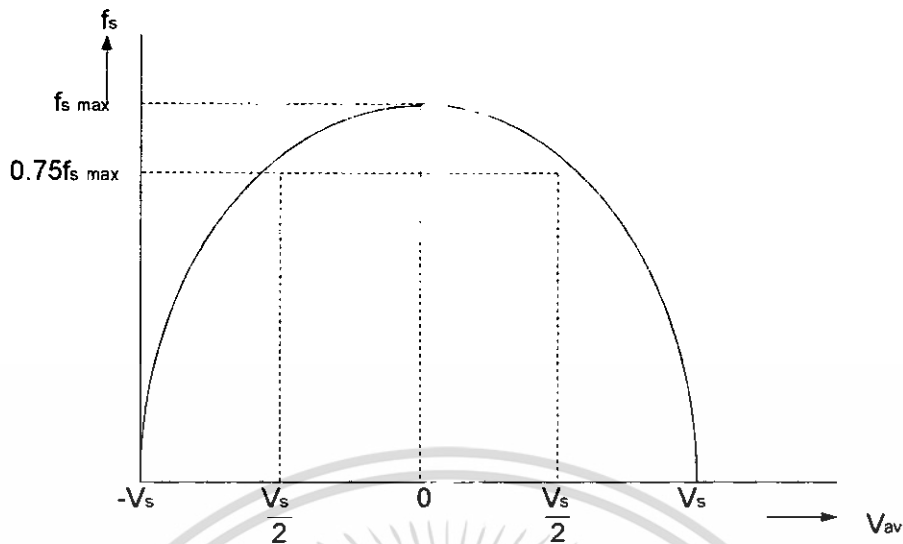
และเราหาความถี่ของการสวิตช์ได้เป็น

$$f_s = \frac{\alpha (V_s^2 - V_{av}^2)}{4\Delta V L_t V_s} \quad (2-50)$$

เราจะสังเกตได้ว่าความถี่ของการสวิตช์จะเป็นพาราโบลิกฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยของมอเตอร์โวลต์เดจ, V_{av} ความถี่ของการสวิตช์จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $V_{av} = 0$

$$f_{s_{max}} = \frac{\alpha V_s}{4\Delta V L_t V_s} \quad (2-51)$$

จากสมการ(2-50)เราสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการสวิตช์ได้เป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการสวิตช์ในรูปของพาราโบลาปิดต่อค่าเฉลี่ยของมอเตอร์โวลต์แดง

2.9.6 เพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์

เราพิจารณาถึงเพาเวอร์ที่สูญเสียใน PWM แอมพลิไฟเออร์ให้ลดลงได้โดยให้สวิตช์ซึ่งทรานซิสเตอร์เข้าสู่สถานะ “ON” หรือ “OFF” อย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามการกระทำนี้จะมีผลกระทบต่อเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์อย่างไร ไม่สามารถแสดงให้เห็นเด่นชัด และเราได้พิจารณากันต่อไป

เราได้พิจารณาถึงมอเตอร์และโหลดที่กำหนดให้ซึ่ง จะถูกขับเคลื่อนให้มีความเร็วเป็นไปตามข้อกำหนดอันหนึ่ง สมมติว่ามอเตอร์ได้รับการขับเคลื่อนด้วยทั้งลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์และ PWM แอมพลิไฟเออร์เราจะ ได้ศึกษาถึงความแตกต่างของเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ทั้งสองกรณี

เพาเวอร์เอาต์พุตของมอเตอร์, P_o จะเป็นอิสระหรือไม่เกี่ยวข้องกับเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์เลย ดังนั้นความแตกต่างของเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์จะทำกับความแตกต่างของอินพุตเพาเวอร์

เมื่อมอเตอร์ขับด้วยลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์

กำหนดให้ I_a เป็นกระแสของมอเตอร์

V_m เป็นโวลต์แดงของมอเตอร์

ดังนั้นอินพุตเพาเวอร์ที่จ่ายให้มอเตอร์ในกรณีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(P_L) \text{ ลิเนียร์} = I_a V \quad (2-52)$$

เมื่อมอเตอร์ขับด้วย PWM แอมพลิฟายเออร์

พิจารณาอินพุทเพาเวอร์ของมอเตอร์จาก PWM แอมพลิฟายเออร์การเปลี่ยนแปลงของกระแสประมาณค่าได้เป็นเส้นตรง

$$I_{av} = I_a \quad (2-53)$$

$$V_{av} = V$$

ในกรณีนี้อินพุทเพาเวอร์จะเท่ากับ

$$P_i = f_s \left[\int_0^{t_1+t_2} V_{out}(t) I(t) dt \right] \quad (2-54)$$

เมื่อ f_s เป็นความถี่ของการสวิตช์ ดังกำหนดในสมการ (2-50) จากนั้นเราสามารถเขียนได้เป็น

$$P_i = f_s \left[V_{s0} \int_0^{t_1} I(t) dt - V_s \int_{t_1}^{t_1+t_2} I(t) dt \right] \quad (2-55)$$

$$P_i = f_s [V_s I_a t_1 - V_s I_a t_2] \quad (2-56)$$

ในตอนนี้อเราแทนสมการ (2-46), (2-47) และ (2-50) ลงในสมการ (2-56) เราจะได้ผลลัพธ์เป็น

$$P_i = \frac{I_a \alpha \Delta V}{2 \Delta V} \quad (2-57)$$

จากสมการ (2-57) สามารถทำให้ง่ายขึ้นด้วยการแทนค่าสมการ (2-44) คือ $\Delta I = 2 \Delta V / \alpha$

$$(P_i) \text{ สวิตซ์ซิ่ง} = I_a V \quad (2-58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราเปรียบเทียบสมการ (2-58) กับสมการ (2-52) เราจะเห็นได้ว่าอินพุทเพาเวอร์ของมอเตอร์จะมีค่าเท่ากับทั้งสองกรณี ดังนั้นเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ก็มีค่าเท่ากับด้วย

อย่างไรก็ตาม ผลสรุปว่าเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์ที่ขับด้วยลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์ หรือ PWM แอมพลิไฟเออร์มีค่าเท่ากันนั้นอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของกระแสเป็นลิเนียร์กับเวลา แต่ตามความเป็นจริงแล้วไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นอาจมีเพาเวอร์ที่สูญเสียในตัวมอเตอร์แปรไปได้บ้าง แต่เป็นค่าเพียงเล็กน้อยและไม่ค่อยสำคัญนัก

2.10 ระบบคอนโทรลตำแหน่งการเคลื่อนที่

ระบบคอนโทรลการเคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการหมุนโหลดให้ ไปหยุดในตำแหน่งที่กำหนดและยึดตำแหน่งนั้นไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งคอนโทรลการหมุนอันใหม่ การเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งของระบบนี้คือในบางครั้งต้องการให้โหลดเคลื่อนที่ ไปตามระยะตำแหน่งที่กำหนดให้ ข้อกำหนดการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถกระทำได้ โดยอาศัยระบบการคอนโทรลตำแหน่ง

ระบบการคอนโทรลตำแหน่ง ตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ที่ต่ออยู่กับโหลดจะสอดคล้องกับคำสั่งอินพุท เมื่อสัญญาณคอนโทรลลงที่เพลลาของมอเตอร์ก็จะล๊อคกับตำแหน่งที่ต้องการเมื่อสัญญาณคอนโทรลแปรไปอย่างต่อเนื่องตำแหน่งของมอเตอร์ก็จะเคลื่อนตามการคอนโทรลตรงไปเท่าที่การแปรไปของสัญญาณคอนโทรลอยู่ในแบนด์วิดท์ของลูป

ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งอาจเป็นพวกที่ให้สัญญาณเอาต์พุทได้ต่อเนื่อง เช่น โปเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งระบบการคอนโทรลแบบนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นระบบการคอนโทรลแบบอนาลอก ระบบการคอนโทรลตำแหน่งแบบอนาลอกมีความละเอียด ในการคอนโทรลตำแหน่งได้ดีเยี่ยมซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการคอนโทรลตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม สัญญาณของตำแหน่งที่มีการแปรอย่างต่อเนื่องจะถูกจำกัดอยู่ในช่วงตำแหน่งช่วงหนึ่งเท่านั้น และการลิมิตนี้จะเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนที่

ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งแบบอื่นได้แก่เซ็นเซอร์แบบดิจิตอลคือ พวดอนโคดเดอร์สำหรับตำแหน่งของเพลลา พวกเซ็นเซอร์แบบนี้มีช่วงการทำงานของตำแหน่งไม่มีขีดจำกัด อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์พวกนี้มีข้อเสีย ในเรื่องความละเอียดของการคอนโทรลตำแหน่งอยู่ในค่าที่จำกัด นอกจากนั้นสัญญาณของตำแหน่งจะอยู่ในลักษณะ ของสัญญาณดิจิตอลซึ่งสัญญาณนี้จะต้องป้อนเข้า D-A คอนเวอร์เตอร์ ก่อนเพื่อแปลงเป็นสัญญาณของตำแหน่งเอาต์พุทแบบอนาลอก

มีหลักความจริงอยู่ว่า เราไม่สามารถจะคอนโทรลตำแหน่งเอาต์พุทของระบบให้เที่ยงตรงได้มากไปกว่าความเที่ยงตรงที่วัดได้จากตัวเซ็นเซอร์ ปัญหาหลักในการออกแบบระบบการคอนโทรลตำแหน่งคือ การทำให้ระบบมีเสถียรภาพภายใต้อัตราขยายที่เหมาะสม และมีแบนด์วิดท์ของลูปอย่างพอเพียง ดังนั้นเราจะได้นั้นถึงปัญหาของเสถียรภาพและหลักการออกแบบต่อไป

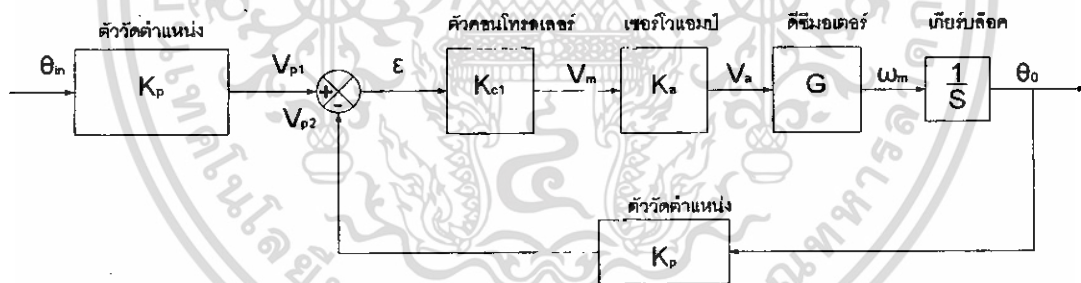
ระบบการคอนโทรลแบบป้อนกลับโดยทั่วไปจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ระบบมีความเที่ยงตรงที่สภาวะคงที่ (steady – state accuracy) เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นระบบจึงไม่นิยมที่จะให้มีการลดอัตราขยายลงเพื่อทำให้ระบบมีเสถียรภาพ ถ้าอัตราขยายที่ต้องการเพื่อกำหนดความเที่ยงตรงทำให้ระบบไม่เสถียรภาพหรือผลตอบสนองมีการแกว่งที่เร็ว เมื่อนั้นระบบจะต้องได้รับการเปลี่ยนแปลง (มีการชดเชย) ในวิถีทางที่จะให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยไม่ทำให้ความเที่ยงตรงด้อยลง

2.11 วิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้งานในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิซีมอเตอร์

ระบบเซอร์โวใช้งานสำหรับคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิซีมอเตอร์ ซึ่งอาจนำไปใช้งานเป็นสตริปชาร์ตเรคคอร์ดเดอร์(strip chart recorder) หรือนำไปใช้สำหรับคอนโทรลตำแหน่ง

2.11.1 บล็อกไดอะแกรมของรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

เราสามารถแยกเขียนเป็นบล็อก ไดอะแกรมของรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.34



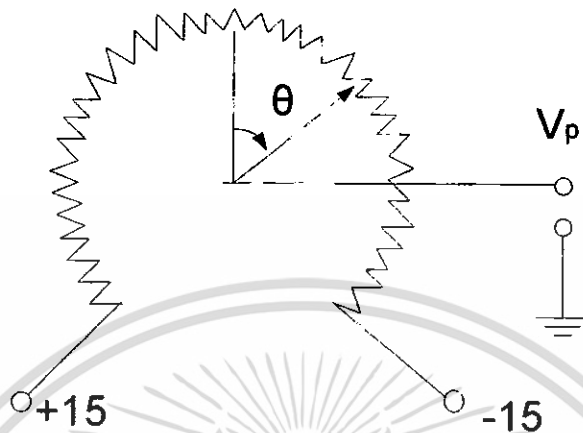
รูปที่ 2.34 แสดงบล็อกไดอะแกรมรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

ส่วนประกอบของรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

1. ตัววัดตำแหน่ง
2. ตัวคอนโทรลเลอร์
3. เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์
4. ดิซีเซอร์โวมอเตอร์
5. เกียร์บล็อก

บล็อกไดอะแกรมของตัววัดตำแหน่ง

เราใช้ฟ็อทเป็นตัววัดตำแหน่งหมุนแสดงได้ดังในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดงฟ็อทตัววัดตำแหน่ง

จากรูปที่ 2.35 เราหาค่า V_p ได้เป็นส่วนกับ θ ดังนี้

$$V_p = \frac{2V}{360} \theta \quad (2-59)$$

$$V_p = \frac{2 \times 15}{360} \theta$$

$$V_p = 0.17 \left(\frac{\text{volt}}{\text{degree}} \right) \theta$$

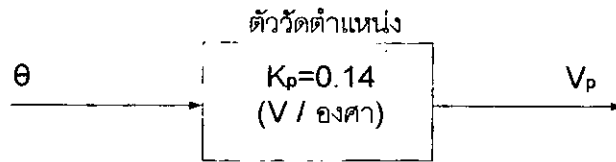
$$V_p = K_p \theta \quad (2-60)$$

เมื่อ

$$K_p = 0.17 \text{ (โวลต์/องศา)}$$

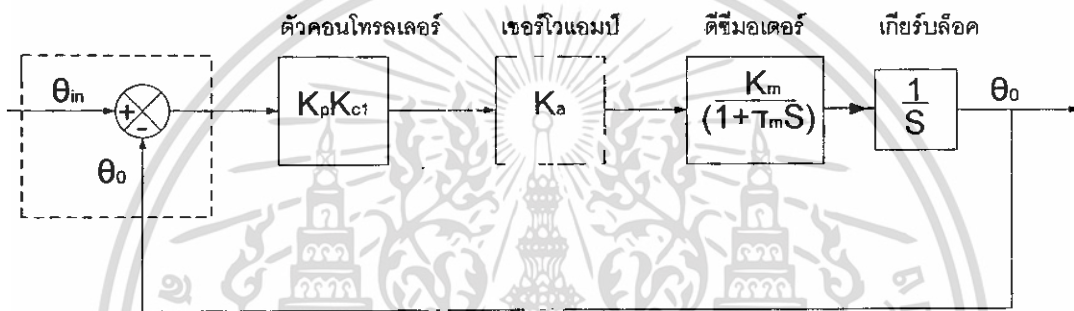
จากสมการ(9-2)เราสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของตัววัดตำแหน่งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แสดงบล็อกโคอะแกรมวัดตำแหน่ง

2.11.2 การวิเคราะห์หุ้ลุปคอนโทรลตำแหน่งหมุนจากบล็อกโคอะแกรมของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน



รูปที่ 2.37 แสดงบล็อกโคอะแกรมแสดงทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแต่ละส่วนของหุ้ลุปคอนโทรลตำแหน่งหมุน

จากรูปที่ 2.37 เราหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของหุ้ลุปคอนโทรลตำแหน่งหมุน θ_0 / θ_{in} ได้เป็น

$$\frac{\theta_0}{\theta_{in}} = \frac{K_p K_{ct} K_a K_m}{\tau_m S^2 + S + K_p K_{ct} K_a K_m}$$

$$\frac{\theta_0}{\theta_{in}} = \frac{K_p K_{ct} K_a K_m}{\tau_m S^2 + S + K_p K_{ct} K_a K_m} \tag{2-61}$$

เมื่อ

$$K = K_p K_{ct} K_a K_m$$

จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันในสมการที่ (2-61) เราสามารถวิเคราะห์หาค่า ω_n เพื่อใช้พิจารณาแบนด์วิดท์ของหุ้ลุป และแควมปีบั้งแฟคเตอร์ ξ เพื่อใช้พิจารณาผลตอบสนองของหุ้ลุปจากสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

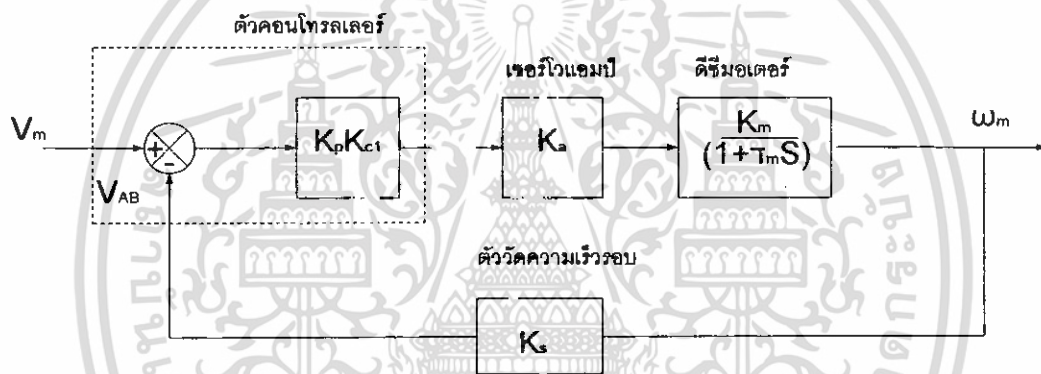
(2-61) เราสามารถหา ω_n และ ξ ได้ดังนี้

$$\omega_n^2 = K / \tau_m \quad (2-62)$$

$$\xi = 2\sqrt{1/K_T \tau_m} \quad (2-63)$$

2.11.3 บล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ

เราสามารถแยกเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบได้ดังแสดงในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 แสดงบล็อกไดอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ

ส่วนประกอบของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ

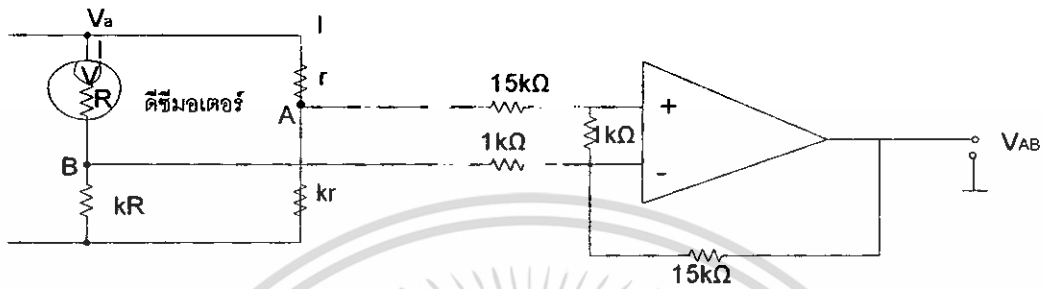
1. ตัวคอนโทรลเลอร์
2. เซอร์โวแอมป์
3. ดีซีมอเตอร์
4. ตัววัดความเร็วรอบ

ส่วนประกอบหมายเลข 1, 2 และ 3 เราได้พิจารณาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของส่วนประกอบเหล่านั้นแล้วในตอนวิเคราะห์รูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน ส่วนประกอบหมายเลข 4 เราจะต้องพิจารณาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมันต่อไป

$$V_a = V + IR(1+k)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I' = \frac{V + IR(1+k)}{r(1+k)}$$



รูปที่ 2.39 แสดงวงจรการวัดความเร็วรอบ

$$V_A = \frac{Vk}{(1+k)} + kIR$$

$$V_B = kIR$$

$$V_{AB} = \frac{kV}{(1+k)} + kIR - kIR$$

$$V_{AB} = \frac{k}{(1+k)} V$$

$$V = K_b \omega_m$$

$$V_{AB} = \frac{kK_b}{(1+k)} \omega_n$$

$$V_{AB} = K_s \omega_n$$

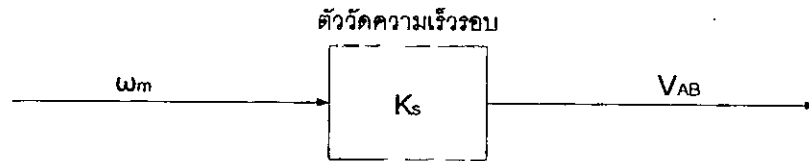
(2-64)

เมื่อ

$$K_s = kK_b / (1+k)$$

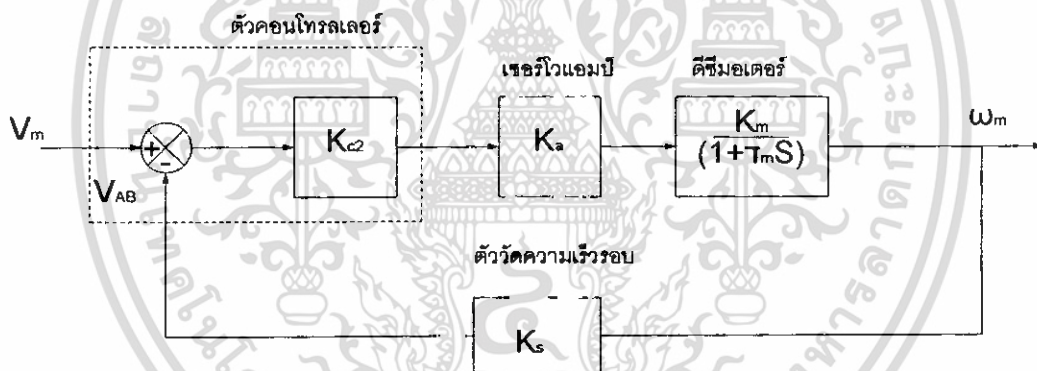
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2-64) เราสามารถเขียนบล็อกไคอะแกรมของตัววัดความเร็วรอบได้ดังนี้



รูปที่ 2.40 แสดงบล็อกไคอะแกรมวัดความเร็วรอบ

2.11.4 การวิเคราะห์รูปคอนโทรลความเร็วรอบจากบล็อกไคอะแกรมของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน



รูปที่ 2.41 แสดงบล็อกไคอะแกรมของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ

จากรูปที่ 2.41 เราหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของรูปคอนโทรลความเร็วรอบ

$$\frac{\omega_m}{V_m} = \frac{K_{c2}K_aK_m}{\tau_m S + (K_{c2}K_aK_mK_s + 1)}$$

$$\frac{\omega_m}{V_m} = \frac{K'}{\tau_m S + (K'K_s + 1)} \quad (\text{เมื่อ } K' = K_{c2}K_aK_m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_m = \frac{K' / (K' K_s + 1)}{1 + \left(\frac{\tau_m}{K' K_s + 1} \right) S} \quad (2-65)$$

$$\omega_n(t) = \left[\frac{K'}{(K' K_s + 1)} \right] e^{-t/(\tau_m (K' K_s + 1))} \quad (2-66)$$

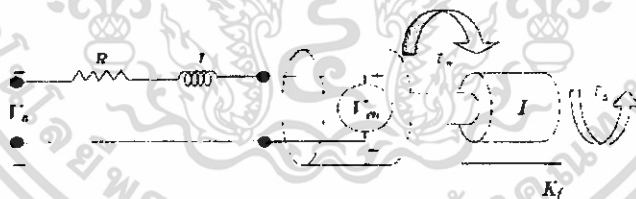
สมการที่ (2-66) แสดงถึงผลตอบสนองของระบบต่อสเตปอินพุทเมื่อคอนโทรลความเร็วมีความเร็วคงที่

$$\omega_m \Big|_{t \rightarrow \infty} = \frac{K'}{(K' K_s + 1)} \equiv \frac{1}{K_s} \quad (2-67)$$

2.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุมแบบ SMART

2.12.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของดี.ซี.มอเตอร์

ในเรื่องนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมของ DC Motor โดยจะนำมาเขียนในลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Math Model) ดังนี้



รูปที่ 2.42 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของมอเตอร์

เมื่อใส่ Voltage จากภายนอกเข้ามาจะเกิดกระแสขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยที่มอเตอร์จะสร้าง torque (T) ขึ้นมาโดยจะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_m = k_m I \quad (2-68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทาน R และขดลวดตัวนำ L ต่อนุกรมอยู่กับ V_{emf} (Back electromotive force voltage) เกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดของมอเตอร์เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก โดยสามารถประมาณค่าให้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ได้ดังนี้

$$V_e = k_e \omega \quad (2-69)$$

ใช้ Kirchoff's Voltage Law (ผลรวมของแรงเคลื่อน ไฟฟ้าภายในเท่ากับศูนย์) ดังนี้

$$V_a - Ri - L \frac{di}{dt} = 0 \quad (2-70)$$

พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยประมาณค่าแรงเสียดทานของมอเตอร์ให้เป็นเชิงเส้นกับอัตราเร็วเชิงมุม โดยที่ IR คือ Inertial load of Armature จากกฎของนิวตัน

$$\sum M = \tau_m - k_f \omega - \tau_o = I_a \dot{\omega} \quad (2-71)$$

แทนสมการ (2-68) และ (2-69) ลงใน (2.70) และ (2.71) และจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของ Time derivatives

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m}{I_a} i + \frac{-k_e}{I_a} \omega - \frac{\tau_o}{I_a} \quad (2-72)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{R}{L} i + \frac{k_e}{L} \omega - \frac{V_a}{L} \quad (2-73)$$

เนื่องจากเป็น DC Motor และเราไม่คิด friction ที่เกิดขึ้นจากสมการที่ (2-72) และ (2-73) จะได้ว่า

$$i = -\frac{k_e}{R} \omega - \frac{1}{R} V_a \quad (2-74)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m}{I_a} i - \frac{\tau_o}{I_a} \quad (2-75)$$

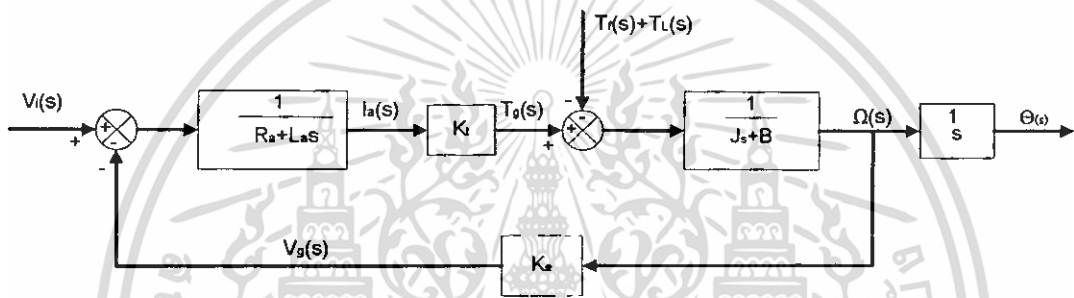
แทนค่าสมการ (2-74) ลงในสมการ (2-75)

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{k_m k_e}{I_a R} \omega - \frac{1}{I_a R} V_a - \frac{\tau_o}{I_a} \quad (2-76)$$

สามารถแสดงเป็น state space model โดยมีตัวแปรที่เราสนใจคือ θ และ ω อินพุตของมอเตอร์คือ Voltage และ Torque

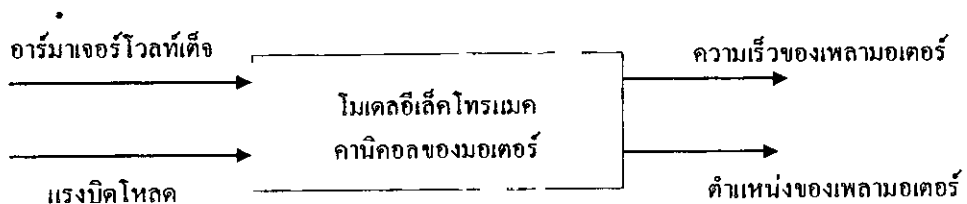
$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k_m k_t}{J_s R} & -\frac{k_m}{J_s R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J_s R} \end{bmatrix} V_a \quad (2-77)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_a \quad (2-78)$$



รูปที่ 2.43 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีแอมพลิไฟท์ ในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็วมักจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังในระบบการนำร่องและระบบการบังคับต่าง ๆ และเนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสารแม่เหล็กและการขยายด้วยโซลิตสเตททำให้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบการขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดรูปต่าง ๆ มากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมจะต้องใช้โมเดลคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ ในหัวข้อนี้เราจะได้พัฒนาทีเนียร์โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและแบบฟิลด์แยกกระตุ้น



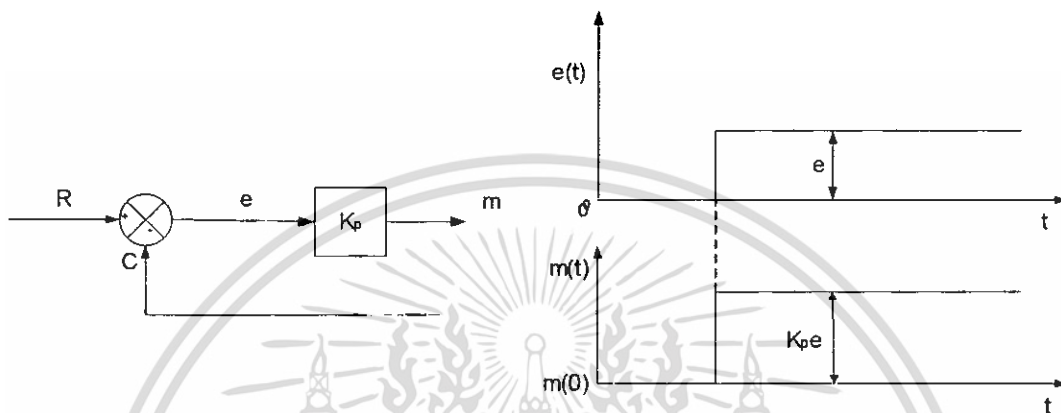
รูปที่ 2.44 แสดงบล็อกไดอะแกรมโมเดลอิเล็กทรอนิกส์โทรแมคคานิคของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 คุณสมบัติของตัวคอนโทรลเลอร์

2.13.1 ปรีอพออร์ชันนอลคอนโทรล

สัญญาณตัวแปรเพื่อทำการแก้ไขตัวคอนโทรลเลอร์ จะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณเออร์เรอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.45



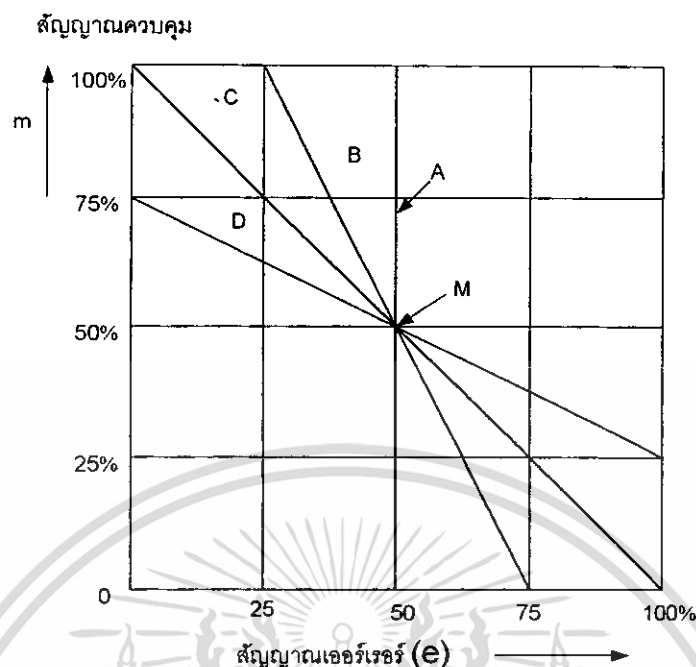
รูปที่ 2.45 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบปรีอพออร์ชันนอล

$$m = K_p e + m(0) \tag{2-79}$$

เมื่อ K_p คือค่าลึงขยายของตัวคอนโทรลเลอร์แบบปรีอพออร์ชันนอล
 $m(0)$ คือเอาท์พุทของตัวคอนโทรลเลอร์เมื่อเออร์เรอร์เป็นศูนย์

การคอนโทรลแบบนี้มักจะแสดงอยู่ในรูปของปรีอพออร์ชันนัลแบนด์ (PB) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่า PB คือค่าสัญญาณเออร์เรอร์ที่ทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไปร้อยละเมื่อ PB เท่ากับ 50 % หมายถึงถ้าสัญญาณเออร์เรอร์เกิดขึ้น 50% สัญญาณควบคุมจะเปลี่ยนไป 100 % ดังแสดงในรูปที่ 2.46

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100 [\%] \tag{2-80}$$



รูปที่ 2.46 แสดงปร็อพออร์ชันนัลแบนด์

- A : PB = 0 , $K_p = \infty$ (100/0)
 B : PB = 50 , $K_p = 2$ (100/50)
 A : PB = 0 , $K_p = 1$ (100/100)
 B : PB = 50 , $K_p = 0.5$ (100/200)
 M: เป็นค่าคงที่

จากรูปที่ 2.46 แสดงว่าค่า PB เป็นตัวบอกความไวของการแก้ความผิดพลาดจึงอาจเรียกค่า K_p ว่า ความไวของปร็อพออร์ชันนัลคอนโทรลได้อีกชื่อหนึ่ง

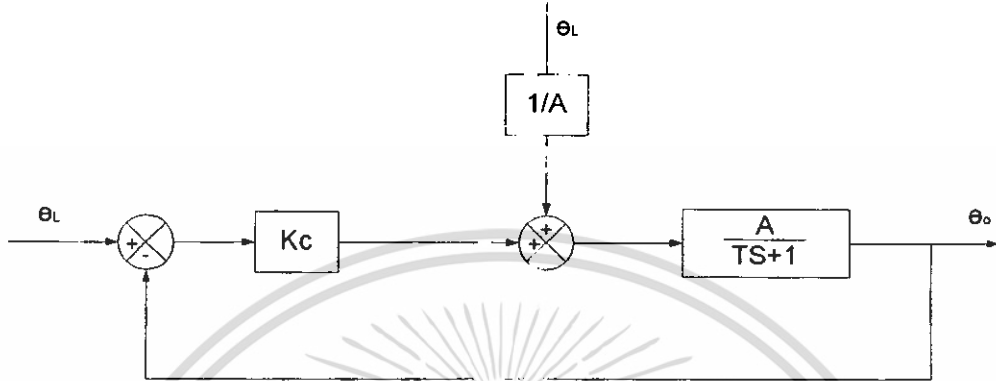
ข้อเสียของการคอนโทรลแบบปร็อพออร์ชันนัล คือกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดจะเกิดค่าออฟเซ็ท (ค่าผิดพลาด) ของสัญญาณกระบวนการ (C) ที่สถานะคงที่ โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีไทม์เล็ก ๆ การแก้ไขด้วยการลดค่า PB แต่ก็ไม่สามารถกำจัดค่าได้หมด เพราะถ้าค่า K_p สูงเกินไปการควบคุมจะเกิดการออสซิลเลท

2.13.2 โหลดเปลี่ยนแปลงในระบบคอนโทรลแบบปร็อพออร์ชันนัล

$$\theta_0 = \frac{1/(TS+1)}{1+K_p A/(TS+1)} = \frac{1}{TS+1+K_p A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\theta_o}{\theta_L} = \frac{A_2}{T_i S + 1}$$



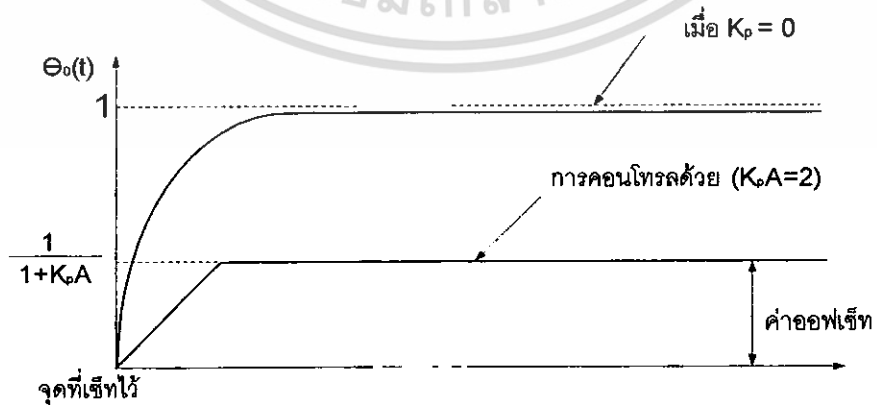
รูปที่ 2.47 แสดงระบบคอนโทรลแบบปรีออปพอร์ชันนัล

เมื่อ

$$A_2 = \frac{1}{1 + K_p A}$$

$$T_i = \frac{T}{1 + K_p A}$$

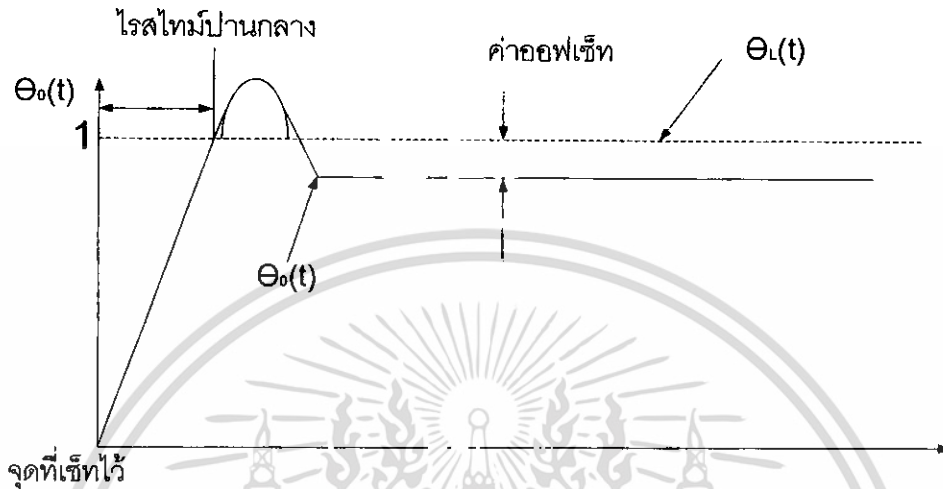
$$\begin{aligned} \text{ค่าออฟเซ็ท} &= \theta_1(\infty) - \theta_0(\infty) = 0 - \frac{1}{1 + K_p A} \\ &= -\frac{1}{1 + K_p A} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.48 แสดงผลตอบสนองของระบบ P – คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบยูนิตสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออฟเซ็ทเทอร์รอร์จะเป็นตัวจำกัดการ ใช้งานของระบบการคอนโทรลแบบ
ปรีอพออร์ชันนัลและการคอนโทรลแบบนี้จะใช้งานได้ในบางกรณีเท่านั้น

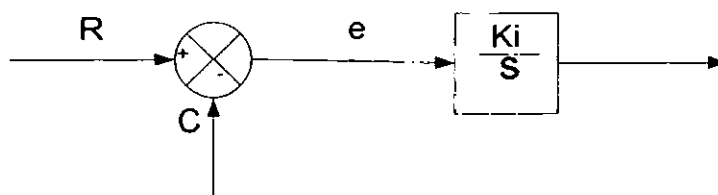


รูปที่ 2.49 แสดงผลตอบสนองของระบบ P-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต (θ)
แบบยูนิตสเตป

ปรีอพออร์ชันนัลคอนโทรลจะใช้งานได้เฉพาะในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดมากนัก หรือระบบที่มีกระบวนการที่มีไทม์แล็กน้อย ๆ หมายถึงระบบจะต้องมีปรีอพออร์ชันนัลแบนด์น้อย (K_p มีค่ามาก) ซึ่งจะทำให้ค่าออฟเซ็ทเทอร์รอร์ลดลง

2.13.3 อินทิกรัลคอนโทรล

การคอนโทรลแบบอินทิกรัล ค่าสัญญาณควบคุม (m) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลของสัญญาณเออร์เรอร์ (e) จึงสามารถแก้ค่าออฟเซ็ทได้ การควบคุมแบบนี้บางทีเรียกว่ารีเซ็ทแอ็คชัน



รูปที่ 2.50 แสดงระบบคอนโทรลแบบอินทิกรัลคอนโทรล

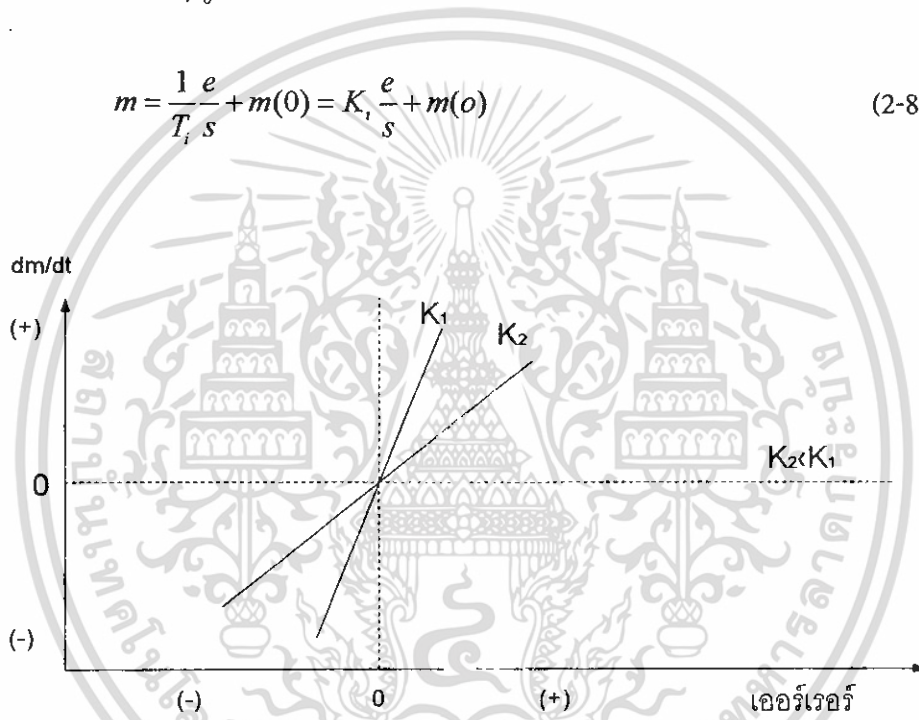
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dm}{dt} = K_i e \quad (2-81)$$

เมื่อ K_i คือค่าคงที่มีหน่วย (%/วินาที /%)
 $T_i = 1/K_i$ คืออินทิกรัลไทม์ มีหน่วยเป็น (วินาที)
 จากสมการที่ (2-81) เราหาเอาท์พุทของตัวคอนโทรลเลอร์

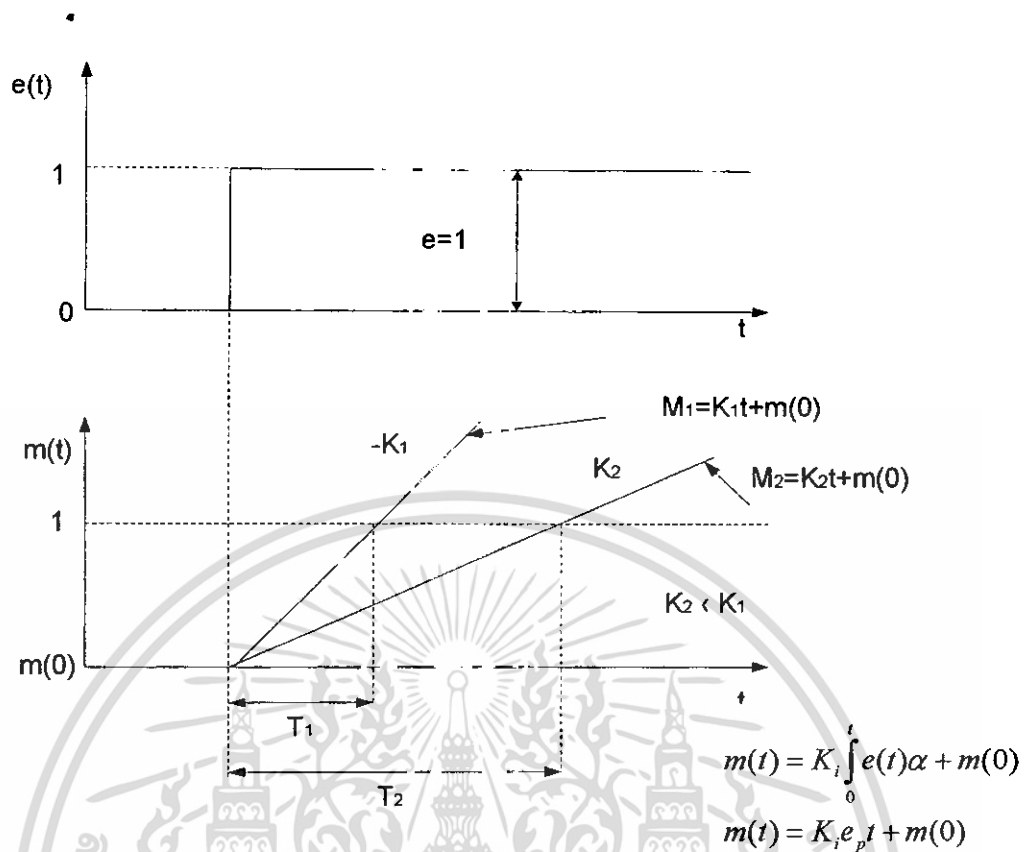
$$m = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + m(0)$$

$$m = \frac{1}{T_i} \frac{e}{s} + m(0) = K_i \frac{e}{s} + m(0) \quad (2-82)$$



รูปที่ 2.51 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทขึ้นอยู่กับกำลังขยายและเออร์เรอร์
 เมื่อ $m(0)$ = เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์ที่เวลา $t = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

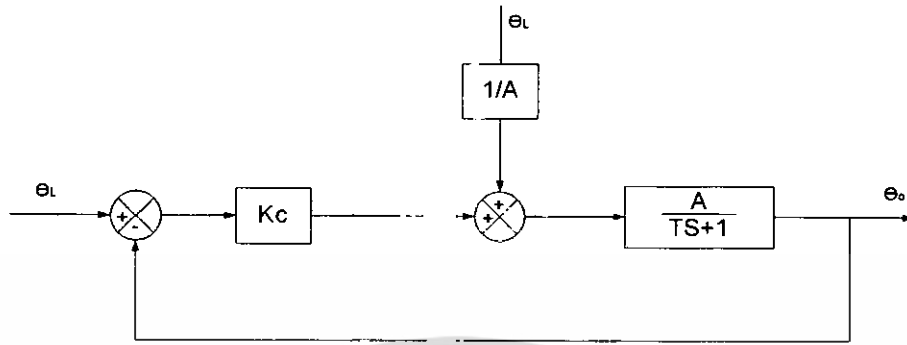


รูปที่ 2.52 แสดงผลตอบสนองของ 1 คอนโทรลเลอร์ต่อเออร์เรอร์ที่มีค่าคงที่

เมื่อ ออร์เรอร์คงที่ m เอ้าท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะเป็นฟังก์ชันกับเวลา
 ถ้าระบบมี $K_i = K_1$ จะมีอินทิกรัลไทม์ $= T_1$
 ถ้าระบบมี $K_i = K_2$ จะมีอินทิกรัลไทม์ $= T_2$

T_i (อินทิกรัลไทม์) คือเวลาที่ใช้ในการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุม (m) จนกว่าสัญญาณผลต่างจะหมดไป ดังนั้นถ้าค่า T_i น้อย action จะเกิดเร็ว ทำให้สัญญาณ $e=0$ เร็วแต่ก็มีข้อเสียที่ว่าถ้าค่า T_i น้อยเกินไปจะทำให้ ξ ของกระบวนการมีค่าต่ำ อาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ (unstable) ได้ แต่ถ้าให้ T_i มากเกินไป ค่า stabilizing time ของกระบวนการจะยาวนานเกินไป

2.13.4 ผลตอบสนองของระบบอินทิกรัลคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด

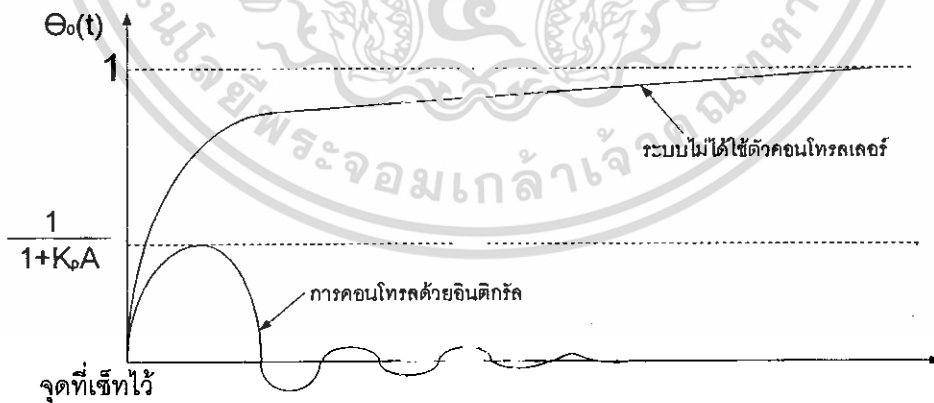


รูปที่ 2.53 แสดงระบบอินทิกรัลคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด

$$\frac{\theta_o}{\theta_L} = \frac{1/(TS+1)}{1 + K_c A / S(TS+1)} = \frac{S}{S(TS+1) + K_c A}$$

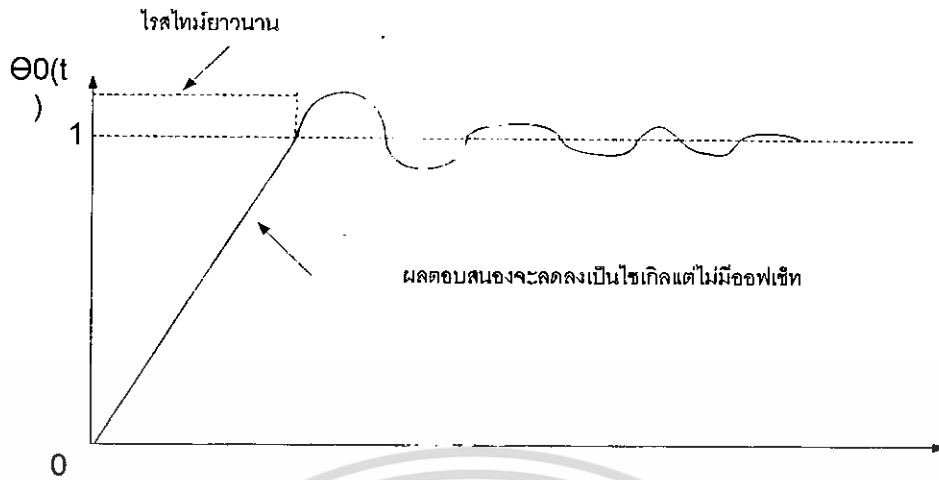
$$\frac{\theta_o}{\theta_L} = \frac{S}{TS^2 + S + K_c A}$$

ค่าออฟเซต $= \theta_o(\infty) - \theta_L(\infty) = 0 - 0 = 0$



รูปที่ 2.54 แสดงผลตอบสนองของระบบ I คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดในลักษณะ
ยูนิตสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.55 แสดงผลตอบสนองของระบบ 1 คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต θ , ในลักษณะยูนิตสเตป

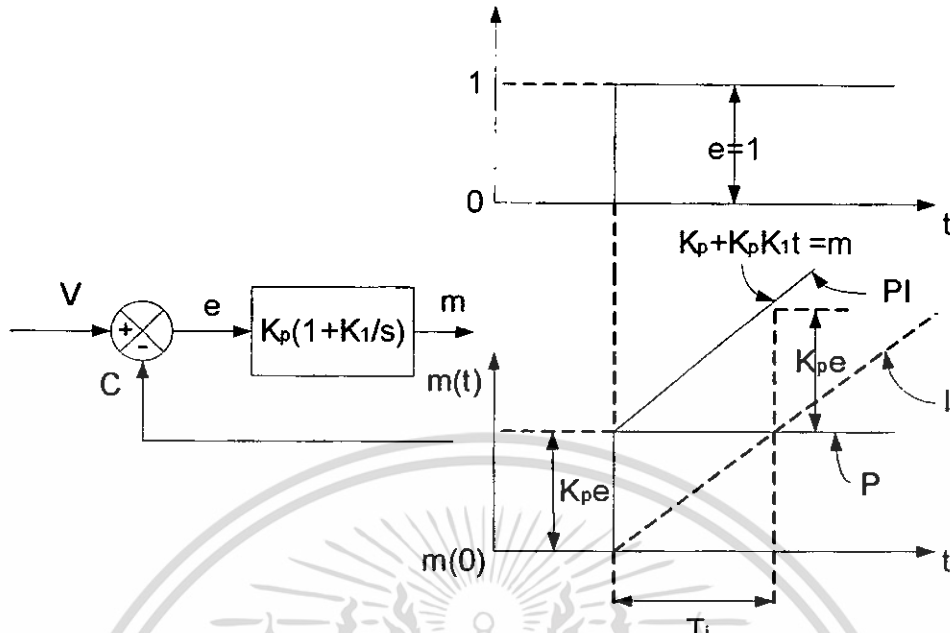
ถ้ากระบวนการที่มีไทม์แล็กมีค่ามากจะทำให้ ผลตอบสนองของระบบเกิดออสซิลเลทได้ ดังนั้นอินทิกรัลคอนโทรลจะไม่ถูกนำไปใช้โคคเคียวแต่ถ้าจะนำไปใช้ก็จะใช้กับกระบวนการที่มีไทม์แล็กน้อย

2.13.5 ปรีออปพอร์ชันนัล – อินทิกรัลคอนโทรล

การคอนโทรลแบบนี้เราจะหาสัญญาณควบคุม (m) ได้ตามสมการที่ (2-83)

$$m = K_p e_p \left(\frac{t^2}{2T_i} + 1 + T_d \right), m(0) = 0 \quad m = K_p e + K_p K_i \int_0^t e dt + m(0) \quad (2-83)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.56 แสดงผลตอบสนองของปร็ออปพอร์ชันนัล - อินติกรัลคอนโทรล

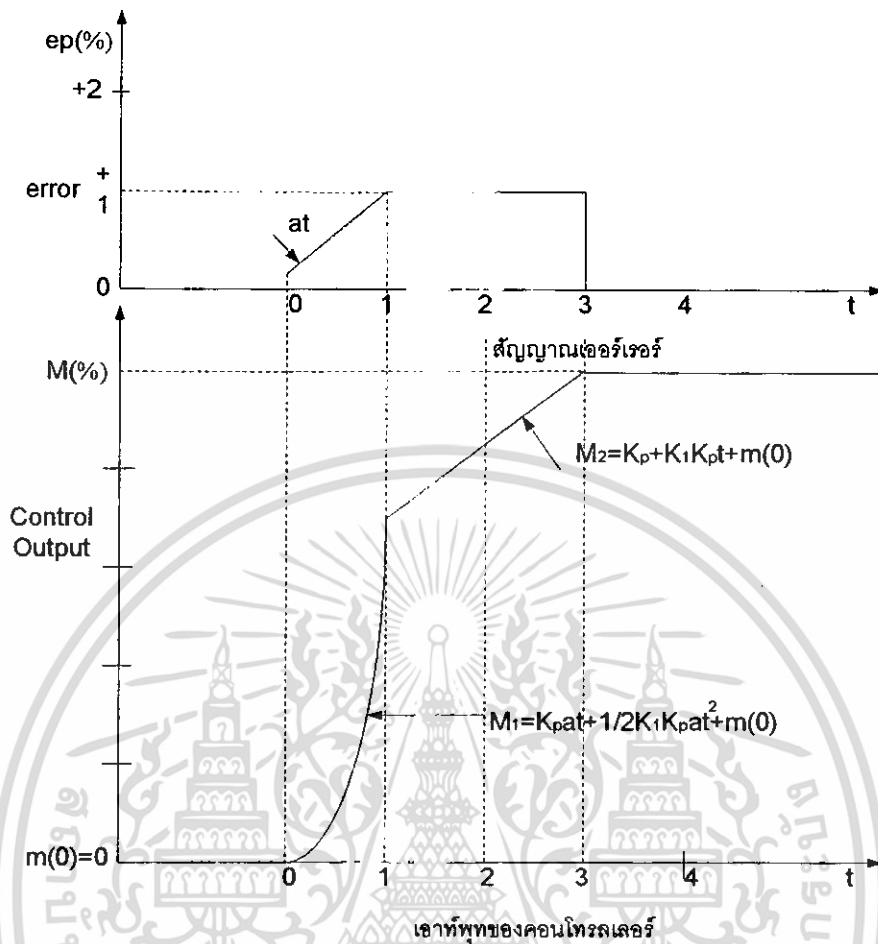
ข้อดีของ PI คอนโทรล คือการคอนโทรลแบบนี้จะให้คุณสมบัติของทั้งแบบปร็ออปพอร์ชันนัลและแบบอินติกรัลซึ่งสามารถทำให้ค่าออฟเซ็ทในแบบปร็ออปพอร์ชันนัลหมดไป และ K_i กำลังขยายของการอินทิเกรตสามารถจะปรับค่าได้อย่างอิสระ

ข้อเสียของ PI คอนโทรล คือระบบอาจจะไม่เสถียรภาพกรณีค่า T_i น้อยและไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีไทม์แล็กมาก ๆ เพราะการตอบสนองของตัวแปรกระบวนการ (C) ช้ามากไม่สามารถแก้ไขผิดพลาดได้ทันเวลา

ระบบ PI คอนโทรลจะใช้ได้กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดมาก ๆ ได้ แต่โหลดควรจะต้องเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับ T_i เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการออสซิลเลท เนื่องจากโอเวอร์ชูทของการอินติกรัล และระบบมักจะให้โอเวอร์ชูทสูงก่อนที่จะเข้าสู่เซ็ทติงไทม์

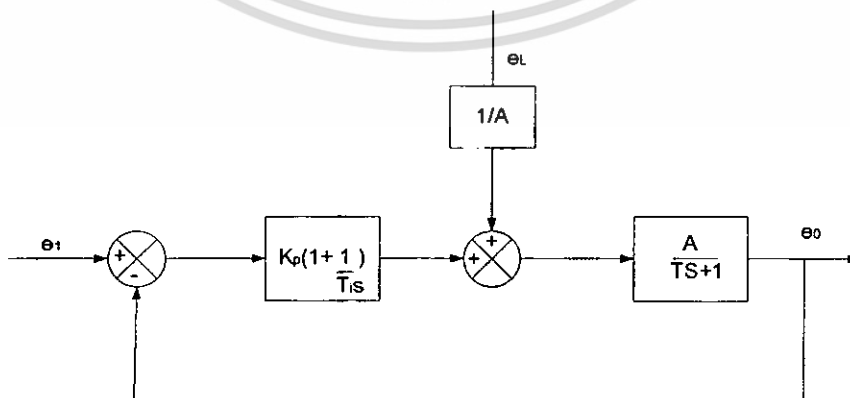
ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้เออร์เรอร์มีฟังก์ชันตามรูปข้างล่างนี้ ให้เขียนกราฟของเอาต์พุทของคอนโทรลเลอร์ (m) ของระบบ PI คอนโทรล

$$m = K_p e + K_p K_i \int_0^t e_p dt + m(0)$$



รูปที่ 2.57 แสดงผลตอบสนองสัญญาณเอ้าพุทเออร์เรอร์ของคอนโทรลเลอร์

2.13.6 ผลตอบสนองของระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด



รูปที่ 2.58 แสดงระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\frac{\theta_0}{\theta_L} &= \frac{1/(1+TS)}{1 + [K_p A / (TS + 1)](1 + 1/T_i S)} \\ &= \frac{(T_i / K_p A) S}{(T_i T / K_p A) S^2 + T_i (1 + 1/K_p A) S + 1}\end{aligned}$$

$$\frac{\theta_0}{\theta_L} = \frac{A_i S}{\tau_1^2 S^2 + 2\xi \tau_1 S + 1}$$

เมื่อ

$$A_i = \frac{T_i}{K_p A}$$

$$\tau_1 = \sqrt{T_i T / (K_p A)}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{T_i / T} \left((1 + K_p A) / \sqrt{K_p A} \right)$$

กำหนดให้

$$\theta_L(s) = \frac{1}{s}$$

$$\theta_0(s) = \frac{A_i}{\tau_1^2 S^2 + 2\xi \tau_1 S + 1}$$

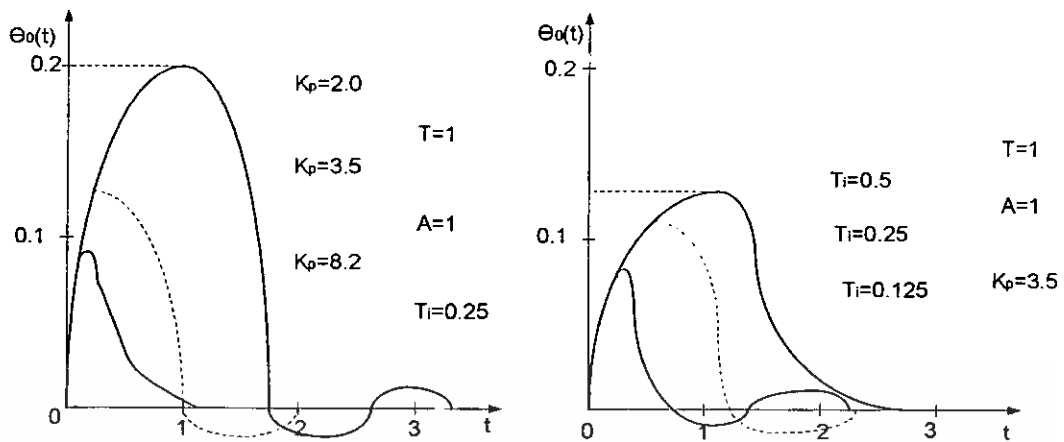
$$\theta_0(s) = A_i \left(\frac{1}{\tau_1 \sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi t / \tau_1 \sin \sqrt{1-\xi^2} \frac{t}{\tau_1}} \right)$$

ค่าออฟเซ็ท $= \theta_i(\infty) - \theta_0(\infty)$
 $= 0 - 0 = 0$

2.13.7 ดิริเวทีฟคอนโทรล

การควบคุมแบบนี้เหมาะกับกระบวนการที่มีไทม์แล็กมาก ๆ เพราะสามารถแก้ค่าผิดพลาดโดยการกระทำล่วงหน้าที่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น สัญญาณควบคุมจะแปรตามอัตรา การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเออร์เรอร์ (e) ดังแสดงในรูปที่ 2.59 การคอนโทรลแบบดิริเวทีฟ หรือ เรทคอนโทรลนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบเดิขโดด ๆ ได้ เพราะว่าเมื่อเออร์เรอร์เป็นศูนย์

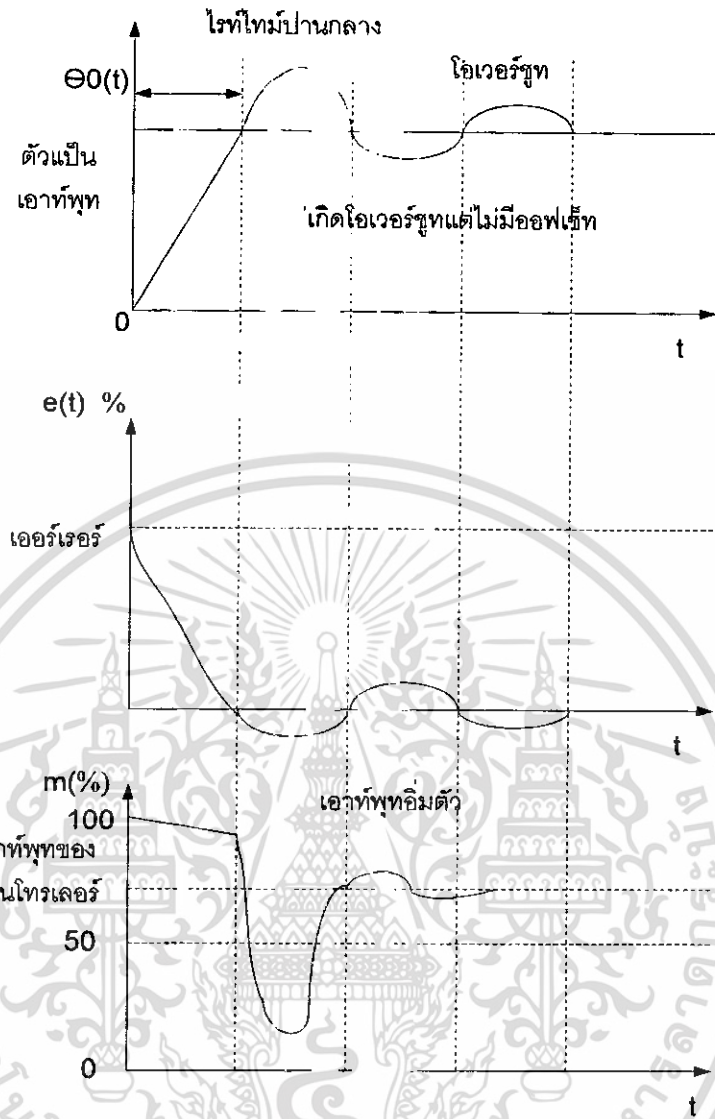
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.59 แสดงผลตอบสนองของระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบ
ยูนิตสเตป

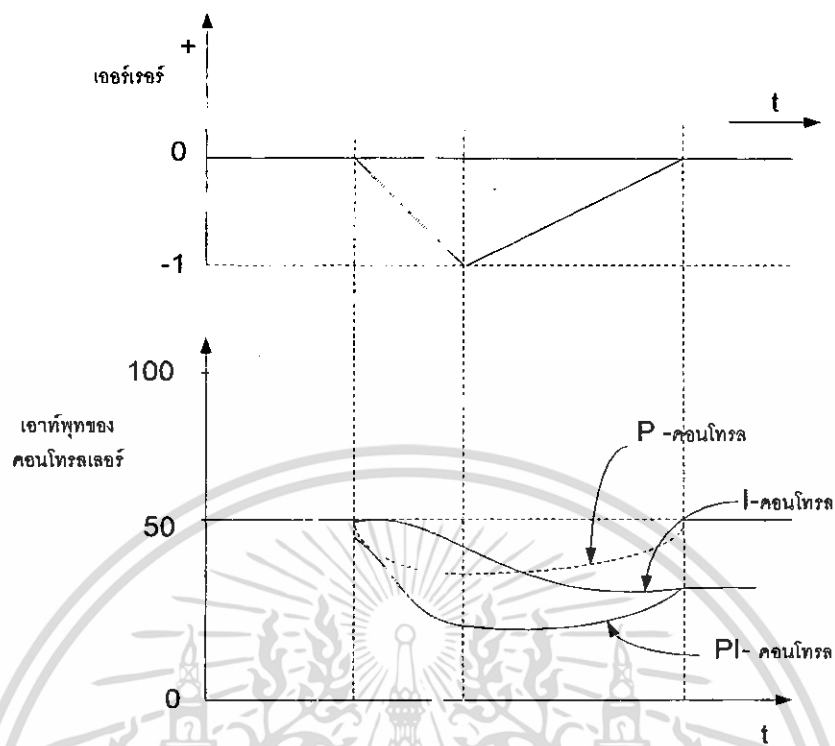


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.60 แสดงผลตอบสนองของระบบ PI คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุท (θ_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

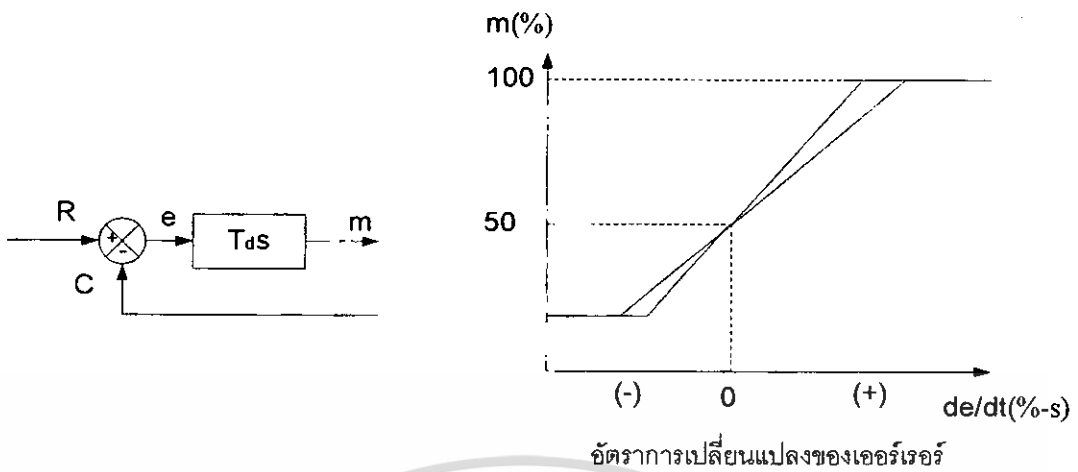


รูปที่ 2.61 แสดงผลตอบสนองระหว่างเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์กับเออร์เรอร์

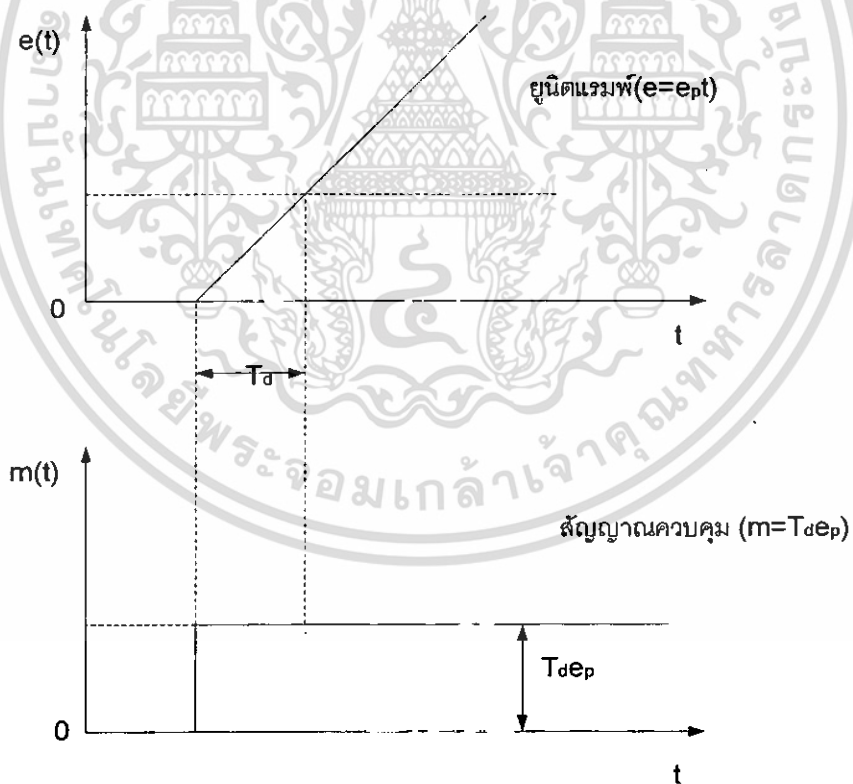
หรือมีค่าคงที่ คอนโทรลเลอร์จะไม่ให้สัญญาณเอาต์พุตเลย (หมายถึง $m = 0$ ด้วย) ดังนั้นสมการของ m หาได้ดังนี้

$$m = T_d \frac{de}{dt} + m(0)$$

เมื่อ T_d = ค่าล้นขยายคงที่ของดิริเวทีฟคอนโทรล (%- s /%) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ดิริเวทีฟไทม์ (มีหน่วยเป็นนาที)



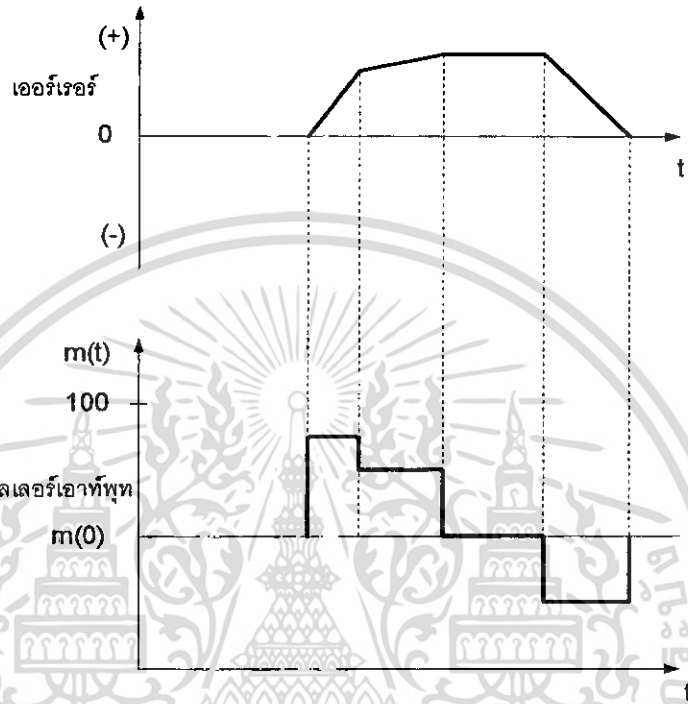
รูปที่ 2.62 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบคิเวทิฟคอนโทรล



รูปที่ 2.63 แสดงผลตอบสนองระหว่างสัญญาณควบคุมและยูนิตแรมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

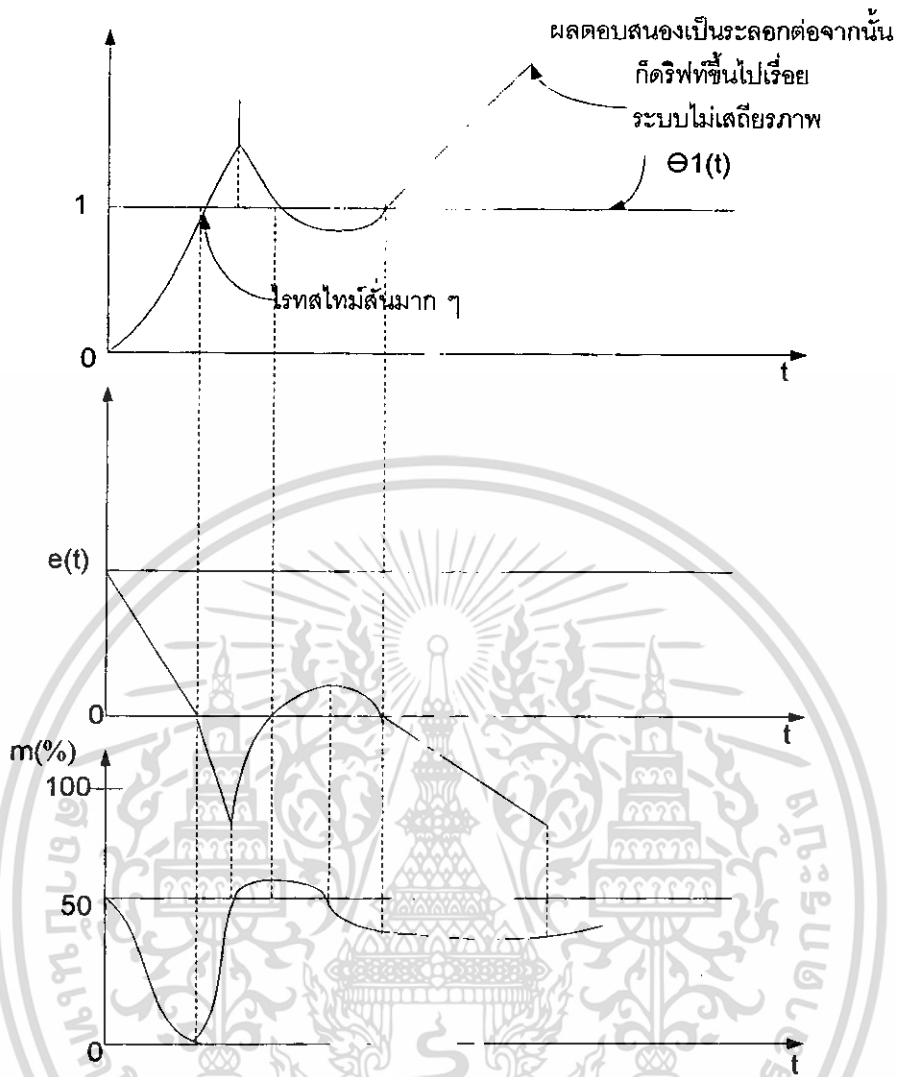
T_d คือเวลาที่สัญญาณควบคุมนำหน้า (lead) สัญญาณเออร์เรอร์อยู่ ค่าสัญญาณเออร์เรอร์(e) ที่เป็นศูนย์เริ่มต้นเป็นสัญญาณเออร์เรอร์ที่เกิดจากระบบการที่มีไทม์แล็กมาก ๆ D – แอคชั่นจะมีผลต่อเมื่อสัญญาณเออร์เรอร์ e มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ถ้าสัญญาณเออร์เรอร์คงที่ D - แอคชั่นจะหมดปฏิบัติการทันที



รูปที่ 2.64 แสดงผลตอบสนองระหว่างคอนโทรลเลอร์เอาต์พุตกับเออร์เรอร์

เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเออร์เรอร์ และจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเออร์เรอร์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ข้อเสียของ D – คอนโทรล คือมีความไวต่อสัญญาณเออร์เรอร์ (e) มาก โดยเฉพาะกรณี T_d มีค่ามาก จะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพจึงไม่เหมาะกับกระบวนการที่มีค่าไทม์แล็กน้อย ๆ และกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหลหรือระบบควบคุมความดันเป็นต้น



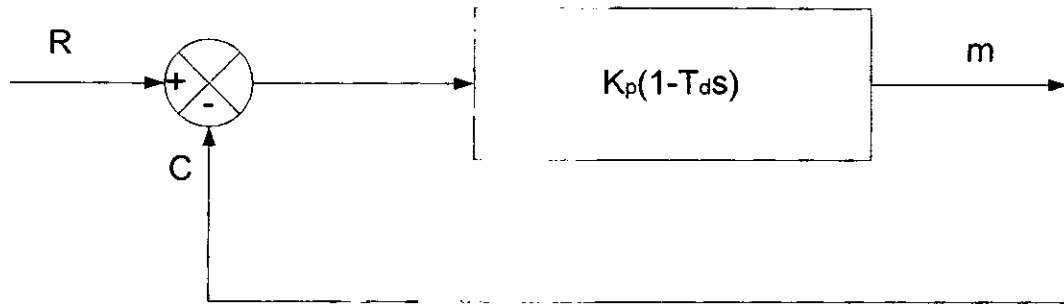
รูปที่ 2.65 แสดงผลตอบสนองของระบบ D-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุท(θ_1)

2.13.8 ปรีออปเพอร์ชันนัล-ดิริเวทีฟคอนโทรล

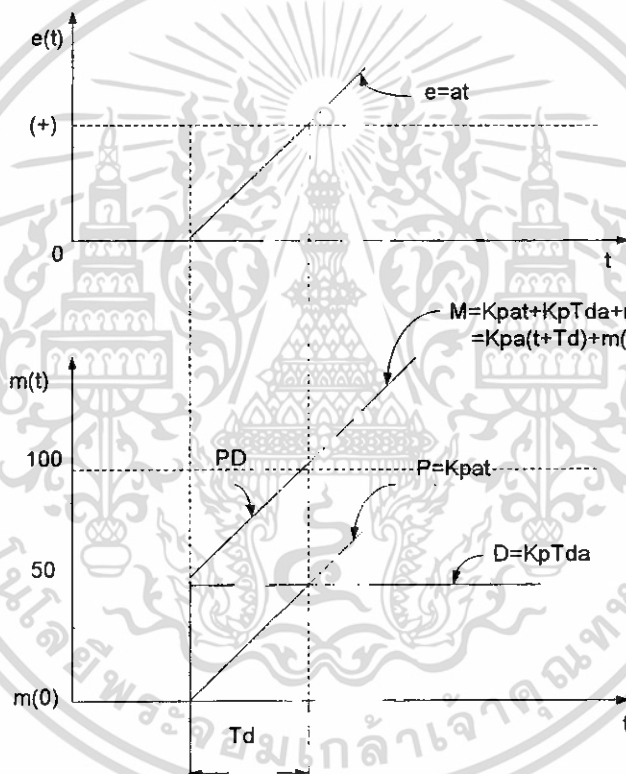
PD-คอนโทรลเป็นการร่วมระหว่าง P และ D - แอคชันดังแสดงในรูปที่ 2.66

$$m = K_p e + K_p T_d \frac{de}{dt} + m(0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



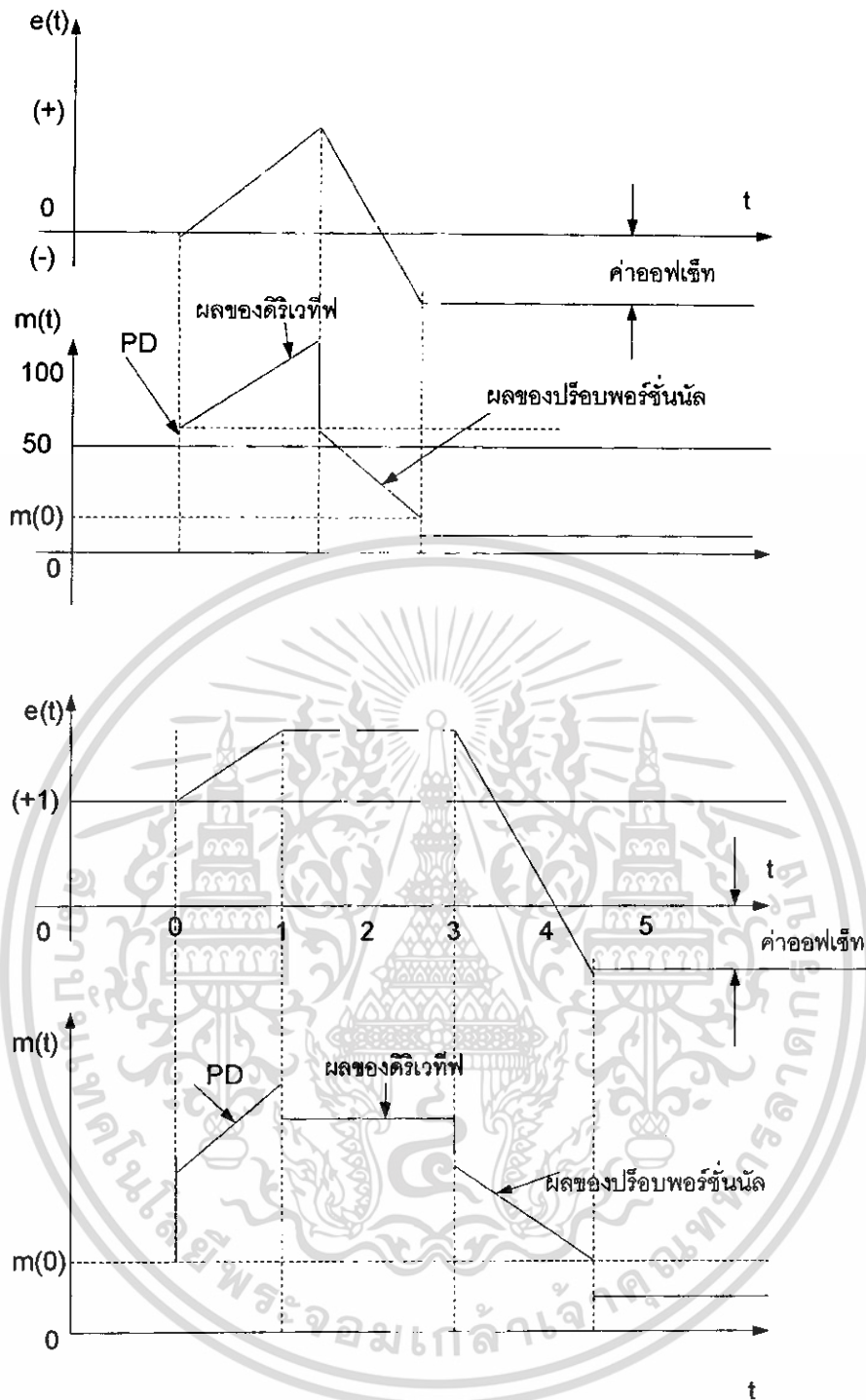
รูปที่ 2.66 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบPD คอนโทรล



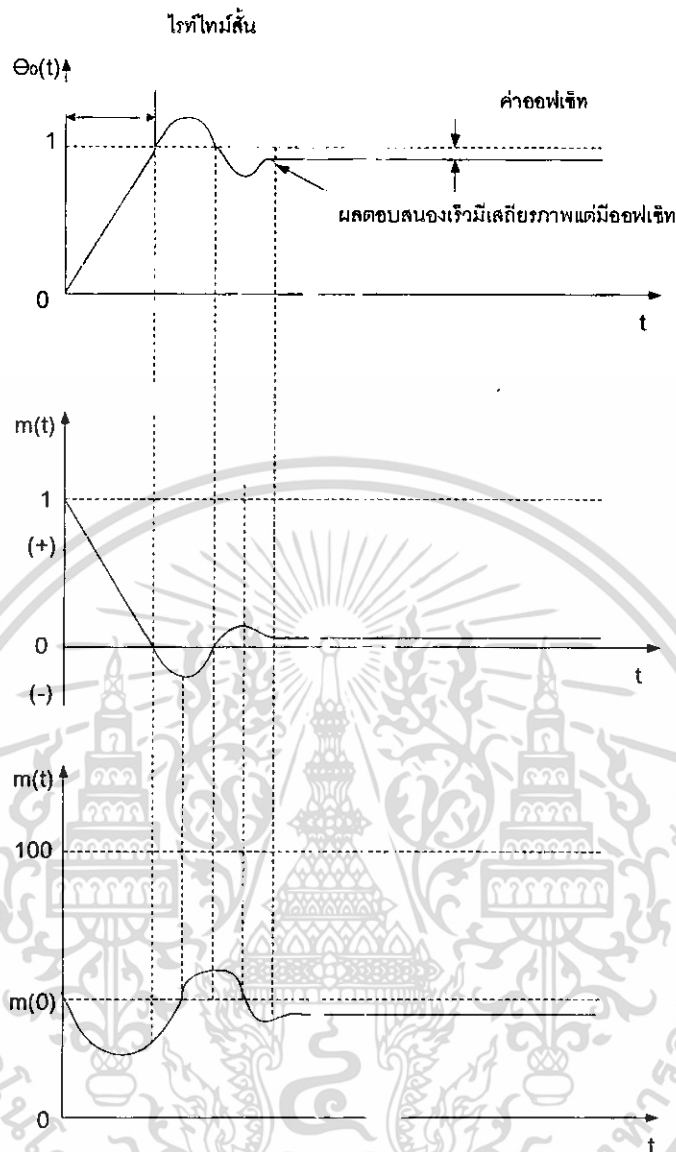
รูปที่ 2.67 แสดงผลตอบสนองของเออร์เรอร์กับสัญญาณควบคุม

ถ้ากำหนดสัญญาณเออร์เรอร์ (e) ที่เวลา t สัญญาณควบคุม (m) จะมีเวลาเท่ากับ $(t+T_d)$ คือ สัญญาณควบคุมจะนำหน้า (lead) สัญญาณเออร์เรอร์ (e) อยู่เท่ากับ T_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.68 แสดงผลตอบสนองของ PD คอนโทรลเลอร์กับสัญญาณควบคุม



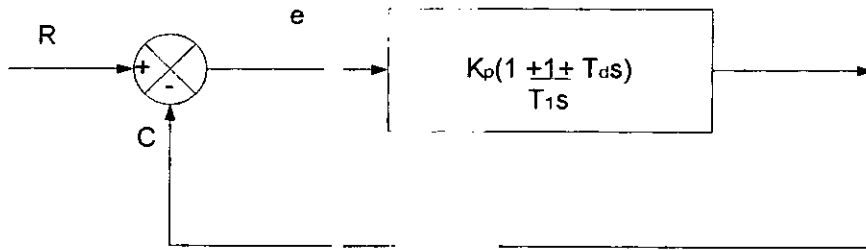
รูปที่ 2.69 แสดงผลตอบสนองของระบบ PD-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุท(θ)

PD-คอนโทรล การคอนโทรลแบบนี้ไม่สามารถแก้ไขออฟเซ็ทของปร็อบพอร์ชันนัลคอนโทรลเลอร์ได้ แต่สามารถควบคุมระบบที่มีโพลด์เปลี่ยนแปลงรวดเร็วได้

2.13.9 ปร็อบพอร์ชันนัลอินทิกรัลดิริเวทีฟคอนโทรล

PID-คอนโทรล คือการรวมระหว่างการควบคุม P-คอนโทรล I-คอนโทรล และ D-คอนโทรลเข้าด้วยกันดังแสดงได้ในรูปที่ 2.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.70 แสดงPID คอนโทรลเลอร์

$$187 m = \frac{K_p}{T_i} \int e dt + K_p e + K_p T_d \frac{de}{dt} + m(0) \quad (2-84)$$

การคอนโทรลแบบ PID สามารถแก้ข้อเสียของปรีออปทอร์ชันนัลคอนโทรล และลดโอเวอร์ชูทที่จะทำให้เกิดการอสซิลเลท เนื่องจากอินทิกรัลคอนโทรล และจะให้ผลตอบสนองได้รวดเร็วตามคุณสมบัติของดีริเวทีฟคอนโทรล

(1) เมื่อ $e = e_p u(t)$

$$m = \frac{K_p e_p}{T_i} \int_0^t u(t) dt + K_p e_p u(t) + K_p T_d e_p \frac{du(t)}{dt}$$

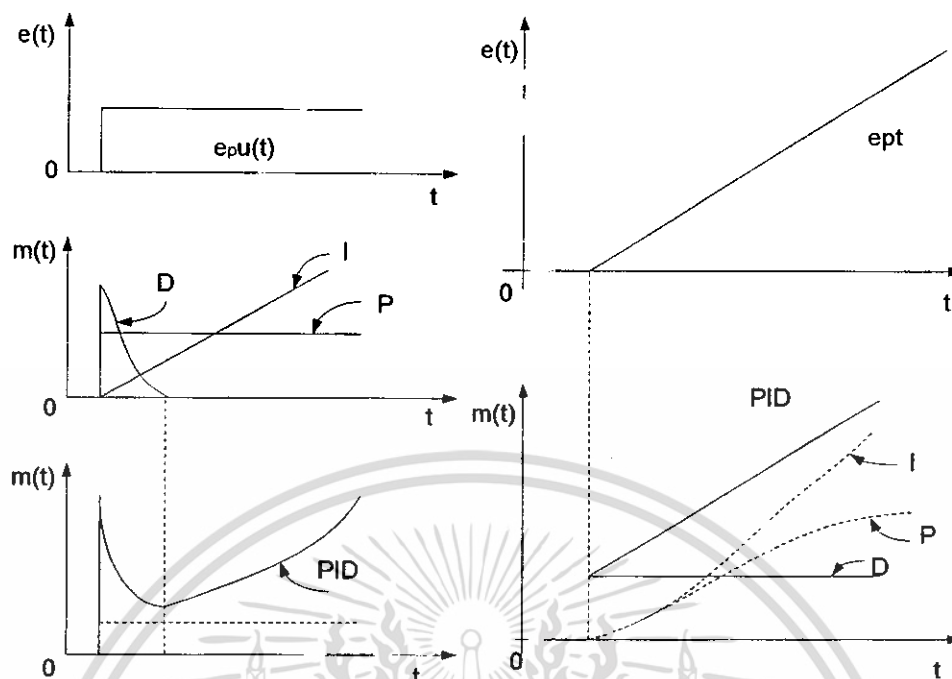
$$m = K_p e_p \left(\frac{t}{T_i} + 1 + T_d e(t) \right), m(0) = 0$$

(2) เมื่อ $e = e_p t$

$$m = \frac{K_p e_p}{T_i} \int_0^t t dt + K_p e_p t + K_p T_d \frac{dt}{dt}$$

$$m = K_p e_p \left(\frac{t^2}{2T_i} + 1 + T_d \right), m(0) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.71 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบการคอนโทรลแบบต่าง ๆ P-คอนโทรล, PI-คอนโทรลและPID-คอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด

2.14 คุณลักษณะการไหล (Flow Characteristic)

คุณลักษณะการไหลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและการเคลื่อนที่ของวาล์วจากตำแหน่งปิดไปยังตำแหน่งที่กำหนด ตามความดันที่ตกคร่อมวาล์วโดยมีอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

สำหรับผู้ผลิตวาล์วจะกำหนดคุณลักษณะการไหลของวาล์ว โดยวัดอัตราการไหลที่ผ่านวาล์วโดยมีการปรับเปลี่ยนการเปิดวาล์วในขณะที่ควบคุมความดันตกคร่อมวาล์วให้คงที่

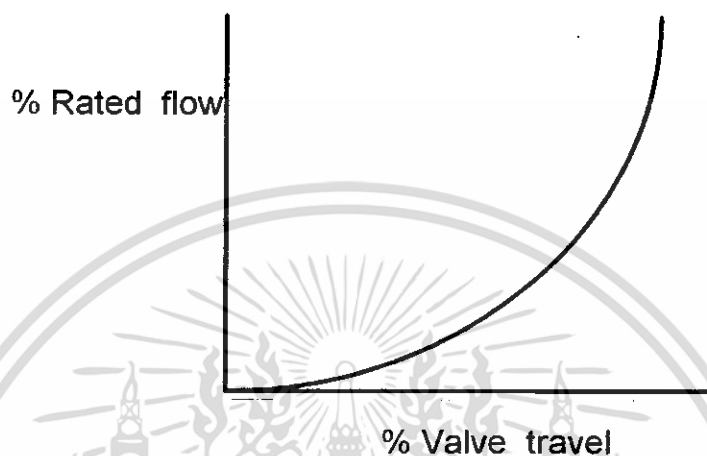
โดยทั่วไปแล้วความดันตกคร่อมวาล์วจะเปลี่ยนแปลง ตามการเปิดของวาล์วที่เปลี่ยนไป ด้วยเหตุผลนี้ การแสดงพฤติกรรมวาล์วทางด้านไดนามิกส์จึงเป็นการแสดงคุณลักษณะการไหลในการติดตั้งจริง ในการใช้งานแล้วอัตราการไหลในระบบจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการเปิดของวาล์วและความดันตกคร่อมระบบ อย่างไรก็ตามการรู้คุณลักษณะการไหลเป็นสิ่งจำเป็นในการหาขนาดและการใช้งานที่เหมาะสม

คุณลักษณะการไหลของวาล์วจะมีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ Equal Percentage, Linear และ Quick opening

2.14.1 Equal Percentage

ถ้าสันนิษฐานว่าความดันที่ตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่ วาล์วที่มีคุณลักษณะแบบนี้ เมื่อเอกสารถือเป็นเอกสารถือที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วเปิดจะทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นจากการเปิดวาล์วเป็นสาเหตุให้อัตราการไหลเดิมที่ผ่านวาล์วเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับการเปิดวาล์ว ดังแสดง อัตราการไหลเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปิดในรูปที่ 2.72



รูปที่ 2.72 แสดงกราฟคุณลักษณะ Equal Percentage

วาล์วแบบ Equal Percentage เป็นวาล์วที่มีอัตราการขยายตามการเปิดและจะถูกแนะนำให้ใช้ สำหรับกระบวนการที่มีอัตราการขยายลดลง เมื่อการไหลของวาล์วเพิ่มขึ้น

ถ้าความดันที่ตกคร่อมระหว่างวาล์วมีค่าคงที่ วาล์วแบบ Equal Percentage จะแสดงคุณลักษณะการเพิ่มเป็นแบบเชิงเส้น ด้วยเหตุผลนี้ วาล์วแบบ Equal Percentage เป็นวาล์วที่ถูกแนะนำให้ใช้สำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมตัววาล์ว หรือถ้ามีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับความดันตกคร่อมของระบบอยู่บนวาล์ว (อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์) ตัวอย่างกระบวนการแบบนี้ จะเป็นการควบคุมความดันและการควบคุมอัตราการไหลที่ไม่เป็นเชิงเส้น

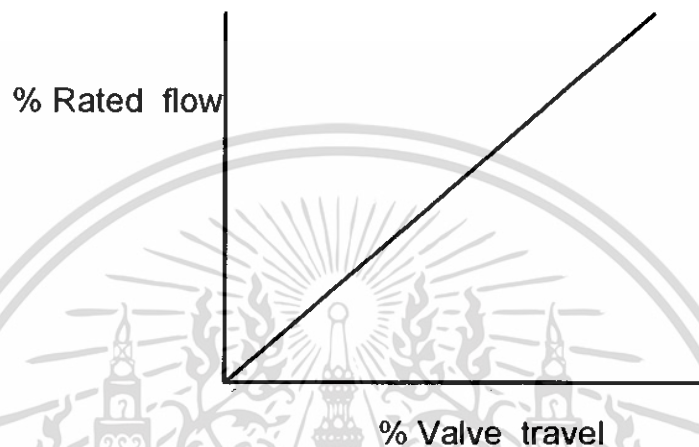
หลักการทั่วไปสำหรับการเลือกใช้วาล์วควบคุมแบบ Equal Percentage เป็นดังนี้

- กระบวนการที่คาดว่าความดันแตกต่างระหว่างวาล์วมีการเปลี่ยนแปลงมาก (Large change in pressure drop)
- กระบวนการที่กำหนดให้มีค่าความดันแตกต่างระหว่างวาล์วน้อย (Small percentage of the total pressure drop)
- ใช้ในฟังก์ชันควบคุมความดันและอุณหภูมิ (Pressure and Temperature control loops)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 Linear

มีอัตราการไหลผ่านวาล์วเป็นเชิงเส้นกับการเปิดของวาล์ว ดังแสดงอัตราการไหลเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปิดในรูปที่ 2.73



รูปที่ 2.73 แสดงกราฟคุณลักษณะ Linear

วาล์วที่มีคุณลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น จะถูกใช้งานกับกระบวนการที่มีค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่ตลอดการเปิดของวาล์ว ตัวอย่างการใช้งานเป็นการควบคุมระดับ, การควบคุมการไหลที่เป็นเชิงเส้น, Surge protection ของคอมเพรสเซอร์, การป้องกันการไหลต่ำสุดของปั๊ม, ระบบลดความดัน, การควบคุมการไหลตามแรงโน้มถ่วง, การควบคุมแบบ Split range

หลักการทั่วไปสำหรับการเลือกใช้อัตราการไหลวาล์วควบคุมแบบ Linear เป็นดังนี้

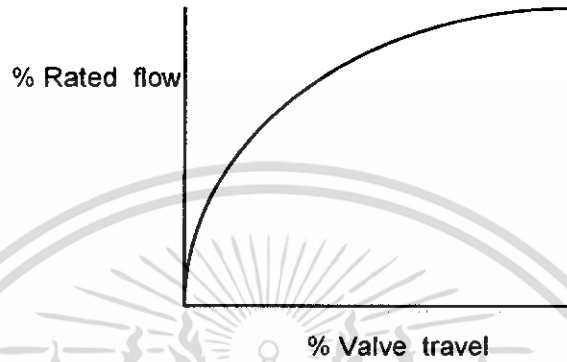
- ใช้ในฟังก์ชันการควบคุมระดับของเหลวหรืออัตราการไหล (Liquid level or flow loops)
- กระบวนการที่คาดว่าความดันแตกต่างกันระหว่างวาล์วมีค่าคงที่ (Pressure drop across the valve constant)

2.14.3 Quick Opening

วาล์วคุณลักษณะแบบนี้การเพิ่มอัตราการไหลอย่างรวดเร็วเมื่อวาล์วเปิด อัตราการไหลเริ่มต้นจะเป็นเชิงเส้น เมื่อวาล์วเริ่มเปิดจนกระทั่งถึง 50 - 70 % อัตราการไหลจะคงที่เมื่อพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลิ้นวาล์วเท่ากับช่องทางออก วาล์วแบบนี้จะถูกใช้กับการเปิดปิดที่เกี่ยวข้อกับความดัน ดังแสดงอัตราการใช้ไหลเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปิดในรูปที่ 2.74



รูปที่ 2.74 แสดงกราฟคุณลักษณะ Quick Opening

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรมอเตอร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ การออกแบบ ตัวควบคุม

3.1 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์แมคคานิคอล

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระตุ้นมีโมเดลดังแสดงในรูปที่ 3.1

R_a : ความต้านทานของอาร์มาเจอร์

L_a : อินдукแตนซ์ของอาร์มาเจอร์

V_g : โวลต์เต็งกำเนิดในอาร์มาเจอร์

R_f : ความต้านทานของฟิลด์

L_f : อินдукแตนซ์ของฟิลด์

\emptyset : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

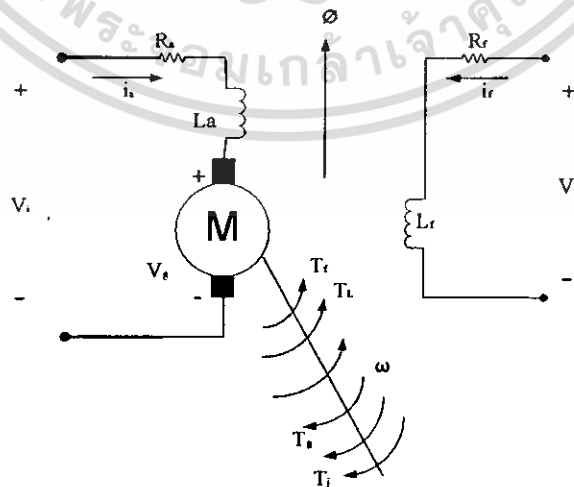
ω : ความเร็วของเพลอาาร์มาเจอร์

T_g : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

T_r : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

T_j : แรงเฉื่อยของมอเตอร์

T_L : แรงบิดโหลดบนเพลของมอเตอร์



รูปที่ 3.1 แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐานโมเดลของดีซีมอเตอร์ได้จากกฎของอาร์มาเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + La \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (3-1)$$

เทอมโวลต์เตจ $V_g(t)$ ในสมการ (3-1) คือโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์มาเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสของฟลักซ์ (i_f) ตามกฎของฟาราเดย์ฟลักซ์ของเส้นลวดตัวนำหมุน ในฟลักซ์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นในขดลวดนั้น

$$V(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (3-2)$$

เมื่อ $\lambda(t)$ เส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไปซึ่งขดลวดและ t คือเวลาในการหมุนของคีมนิวเทตของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เตจขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ (3-2) เมื่อ $d\lambda(t)/dt$ จะเป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ หรือเราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K\phi(t) \omega(t) \quad (3-3)$$

สมมติให้กระแสของฟลักซ์มีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลง ในเส้นแรงฟลักซ์เนื่องจากอาร์มาเจอร์แอกซ์เส้นแรงฟลักซ์ก็จะมีค่าคงที่ดังนั้นจะได้สมการ

$$V_g(t) = K_e \omega(t) \quad (3-4)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟลักซ์มีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์มาเจอร์

$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad (3-5)$$

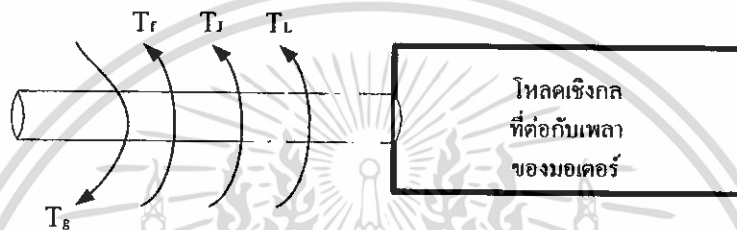
เมื่อ K_t คือค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_g(t) = T_g(t)\omega(t) \quad (3-6)$$

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะถ่ายไปยังโหนดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทานหมายถึงความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กของโรเตอร์และอิสเทรีซิส จากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหนดของมอเตอร์คือ



รูปที่ 3.2 แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อ โหนดของมอเตอร์

$T_{g(t)}$: แรงบิดของมอเตอร์

$T_{m(t)}$: แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_{L(t)}$: แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ ความเฉื่อยของ โหนด

$T_{L(t)}$: แรงบิด โหนด

ในช่วงเวลาใด ๆ ก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับและมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด $T_{m(t)}$ $T_{L(t)}$ และ $T_{L(t)}$ ดังนั้น

$$T_{g(t)} = T_{m(t)} + T_{L(t)} + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3-7)$$

เมื่อ J คือผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหนดที่ต่ออยู่ที่เพลลาของมอเตอร์

ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ ประกอบกันขึ้นที่เพลลาของมอเตอร์ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสกอสฟริกชันและมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากฟริกชันอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (3-8)$$

เมื่อ B คือสัมประสิทธิ์ของวิสกอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ $T_f(t)$ คือผลรวมของฟริกชันของโหลดและของมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลัง ในเหล็กของเพลามอเตอร์ยกเว้นวิสกอสฟริกชัน

สมการ (3-1), (3-4), (3-5) และ (3-8) เป็นชุดสมการพื้นฐานของดีซีมอเตอร์โมเดลและจากสมการเหล่านี้ เราสามารถจะหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ได้โดยใช้ลาปลาซทรานฟอร์มทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐานและเขียน ได้ใหม่เป็น

$$V_1(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a)I_a(s) \quad (3-9)$$

$$V_g(s) = K_e\omega(s) \quad (3-10)$$

$$T_g(s) = K_f I_a(s) \quad (3-11)$$

$$T_g(s) - T_f(s) - T_L(s) = (B + sJ)\omega(s) \quad (3-12)$$

ข้อควรสังเกต

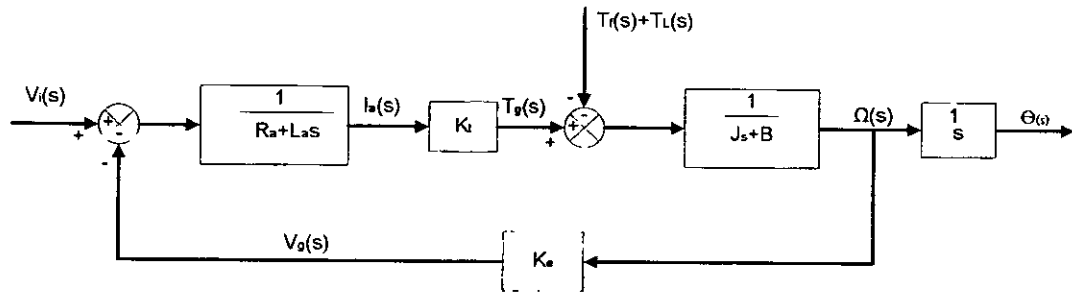
สมมติว่า โวลต์เตจ ที่ป้อนให้กับวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าคงที่ ดังนั้นมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่คือทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่งด้วยโหลดที่คงที่ กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นโดยโรเตอร์จะหาได้จากสมการ (3-6) และเมื่อร่วมกับสมการ (3-5) ก็จะได้

$$P_g = T_g\omega = K_f I_a\omega \quad (3-13)$$

เมื่อทุกเทอมในสมการสุดท้ายมีค่าคงที่ เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่ง กำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืน โดยอาร์มาเจอร์ต้องเท่ากับผลคูณของโวลต์เตจคร่อมอาร์มาเจอร์และกระแสที่ไหลผ่าน ดังนั้น

$$P = V_g I_a = K_e\omega I_a \quad (3-14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โวลต์

ดังนั้นเราจะได้ว่า กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนในโรเตอร์ คือสรุปได้ว่า $K_t = K_e$

3.1.1 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์

บล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 3.3 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุตและมีเอาต์พุตเป็นทั้งความเร็วเชิงมุม ω และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม θ จากรูป 3.3 ความเร็วเอาต์พุตของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s)V_1(s) + G_2(s)[T_f(s) + T_L(s)] \quad (3-15)$$

เมื่อ

$$G_1(s) = \left. \frac{\omega(s)}{V_1(s)} \right|_{T_f(s) + T_L(s) = 0} \quad (3-16)$$

$$G_2(s) = \left. \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} \right|_{V_1(s) = 0} \quad (3-17)$$

$G_1(s)$ คือทรานสเฟอ์ฟังก์ชันระหว่างโวลต์เต็มและความเร็ว

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m}{\tau s + 1}$$

$$= \frac{K_m}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \quad (3-18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t K_e}$$

$$\alpha = \frac{L_a J}{R_a B + K_t K_e}$$

$$\beta = \frac{R_a J + L_a B}{R_a B + K_t K_e}$$

สมการ(3.18)เป็น โวลต์เตจทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ในเมื่อสมมติว่า T_r และ T_L มีค่าเป็นศูนย์สมการ (318) สมการเขียนใหม่ได้เป็น

$$G_1(s) = \frac{R_t}{R_a B (1 + \tau_e s)(1 + \tau_m s) + K_t K_e}$$

$$\tau_e = L_a / R_a = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้า}$$

$$\tau_m = J / B = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางเชิงกล}$$

ถ้าอินดักเต้นซ์ของอาร์มาเจอร์มีค่าน้อย ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้าสามารถตัดทิ้งได้และสมการ (3-18) ได้เป็น

$$\begin{aligned} G_v(s) &= \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{R_t}{R_a (Js + B) + K_t K_e} \\ &= \frac{K_m}{\tau s + 1} \end{aligned} \quad (3-19)$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{R_a J}{R_a B + K_t K_e}$$

ในสมการ (3-19) ค่าคงที่ K_m อาจเรียกได้ว่าเป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแรงบิดโหลด $G_2(s)$ หาได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_2(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{1}{1 + \frac{Js+B}{K_t K_e}} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m \left[\frac{L_a}{R_a} s + 1 \right]}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \quad (3-20)$$

ซึ่งถ้าอินตีกแต้นท์ของอาร์มาเจอร์ไม่นำมาคิดถึง สมการ (3-20) ก็ลดลงได้

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m}{\tau s + 1}$$

3.2 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากการทำงานของวาล์วควบคุมนั้น จำเป็นต้องอาศัยการประมวลผลของการคำนวณที่มีความไวค่อนข้างมาก และมีหน่วยความจำให้ใช้มากพอสมควร เหล่านี้ทำให้ต้องเลือกใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบดิจิทัล หรือ Digital Signal Processing (dsPIC) ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก่อน

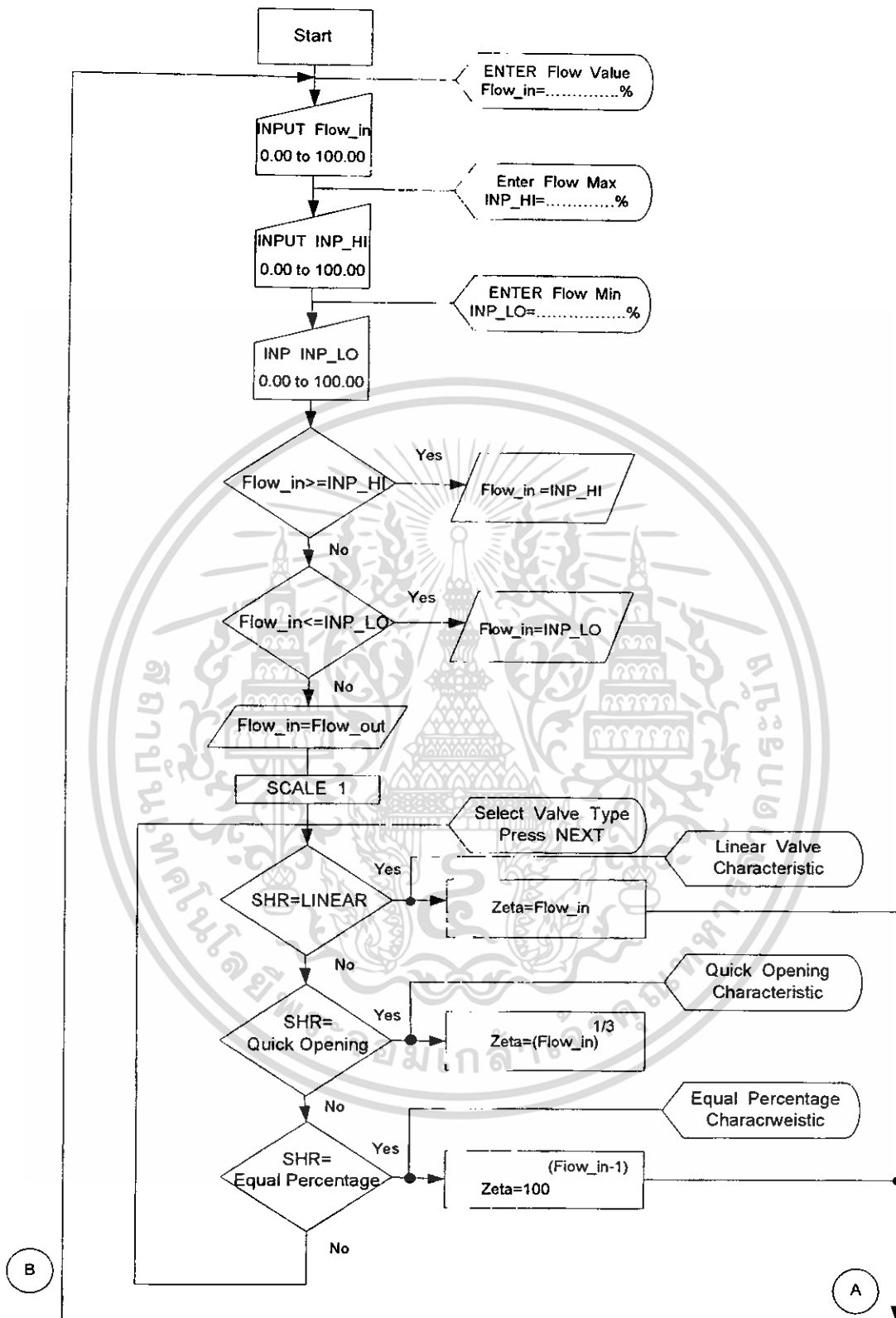
3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 16 บิต มีชื่ออีกอย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSP นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

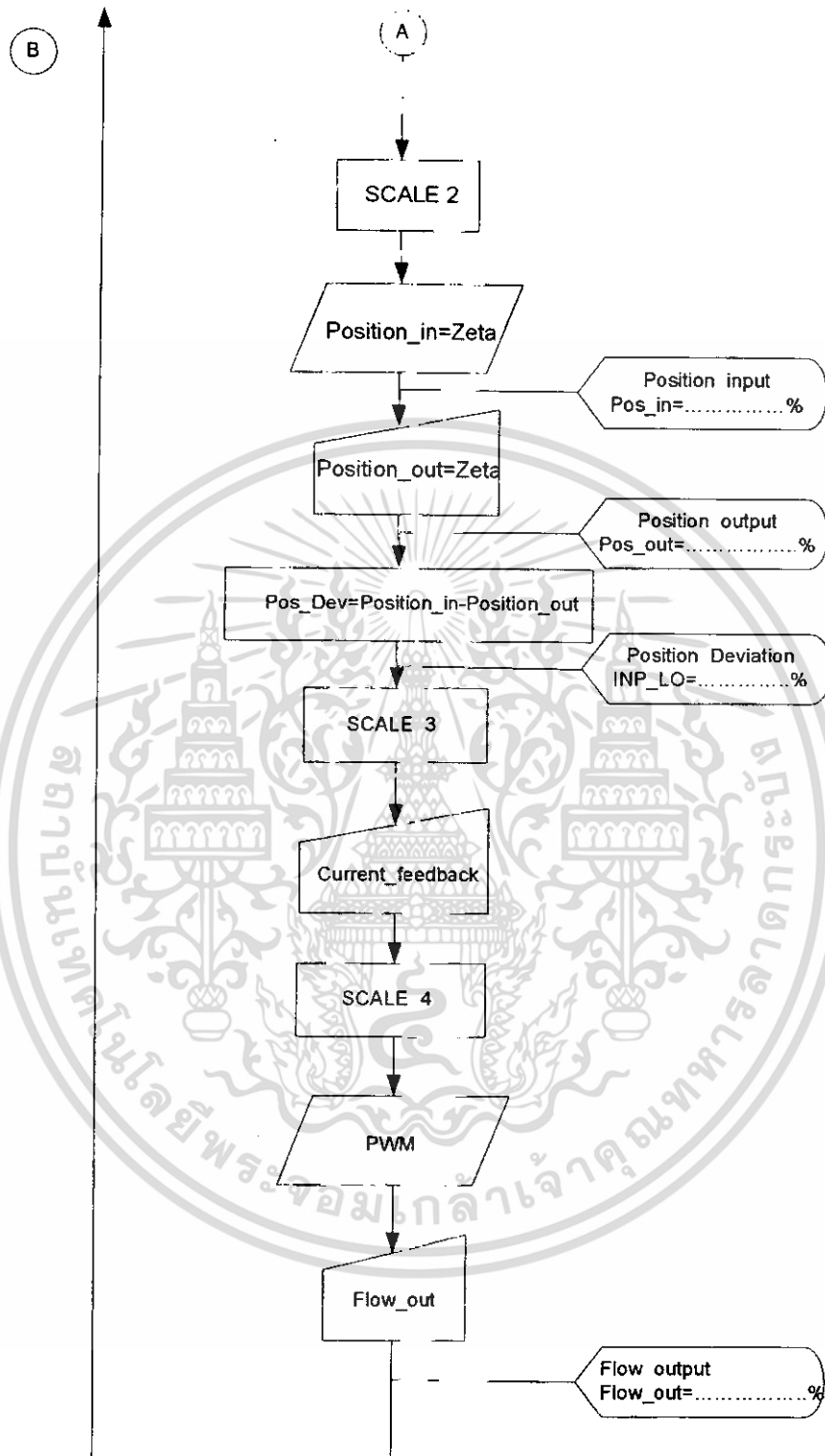
ในการใช้งานนั้นจะเลือกรุ่น dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา สาเหตุที่เลือกรุ่นนี้เนื่องจากมีโมดูลของ pulse width modulation ถึง 3 คู่ ซึ่งเท่ากับความต้องการ อีกทั้งหน่วยความจำและพอร์ทก็มีให้ใช้มากเพียงพอกับความต้องการอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ จะกล่าวอยู่ในภาคผนวก ค.

3.3 การออกแบบโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ (flow chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 อธิบาย Flow-Chart

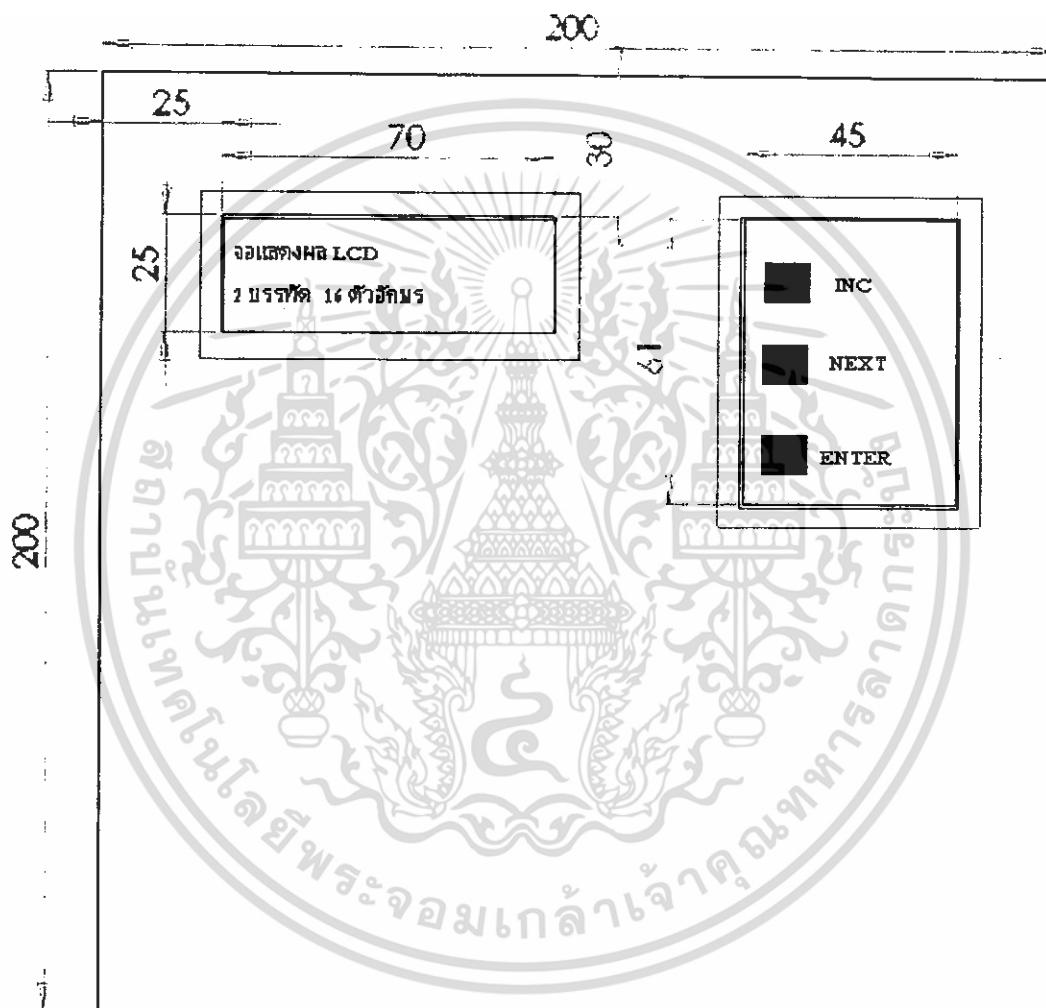
จากแผนผังการทำงานของโปรแกรมรูปที่ 3.4 เริ่มต้นทำงานจะแสดงผลจะปรากฏข้อความให้ผู้ใช้งานป้อนค่าอัตราการไหลซึ่งมีค่าระหว่าง 0.00 ถึง 100 % ของย่านการวัดเมื่อกดตกลงจะแสดงผลจะปรากฏข้อความให้ผู้ใช้งานป้อนค่าอินพุตอัตราการไหลสูงสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.00 ถึง 100.00 % ของย่านการวัด เมื่อกดตกลงจะแสดงผลจะปรากฏข้อความให้ผู้ใช้งานป้อนค่าอินพุตอัตราการไหลต่ำสุดที่ยอมรับได้ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.00 ถึง 100.00 % ของย่านการวัด ต่อจากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่าอินพุตอัตราการไหลมีค่าเกินหรือต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ต่อจากนั้นจะแสดงผลจะปรากฏข้อความให้ผู้ใช้งานกำหนดคุณลักษณะการไหลผ่านวาล์วว่าเป็นแบบ linear Quick Opening หรือ Equal Percentage ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าอินพุตตำแหน่งของระบบการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งจะมีโพเทนทิโอมิเตอร์เป็นตัวป้อนกลับตำแหน่ง ซึ่งค่าที่คำนวณได้นี้จะนำมาเพื่อคำนวณหาค่า PWM ที่เหมาะสมกับระบบการควบคุม ณ เวลานั้น ๆ



3.4 การออกแบบวาล์วควบคุมแบบ smart

3.4.1 ลักษณะทั่วไป

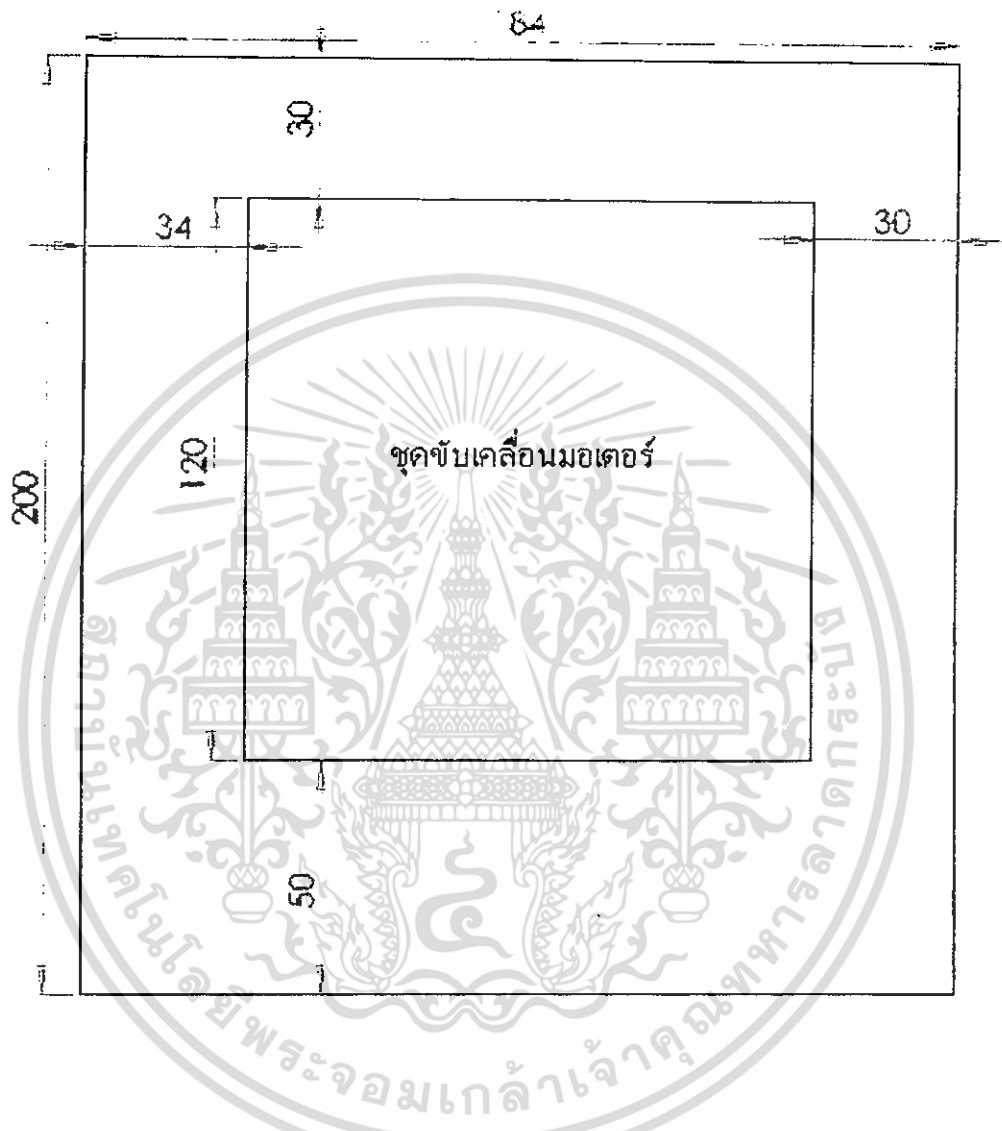
3.4.1.1 ส่วนแสดงผลและสวิตช์กดเลือก



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งและขนาดส่วนแสดงผลและสวิตช์กดเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

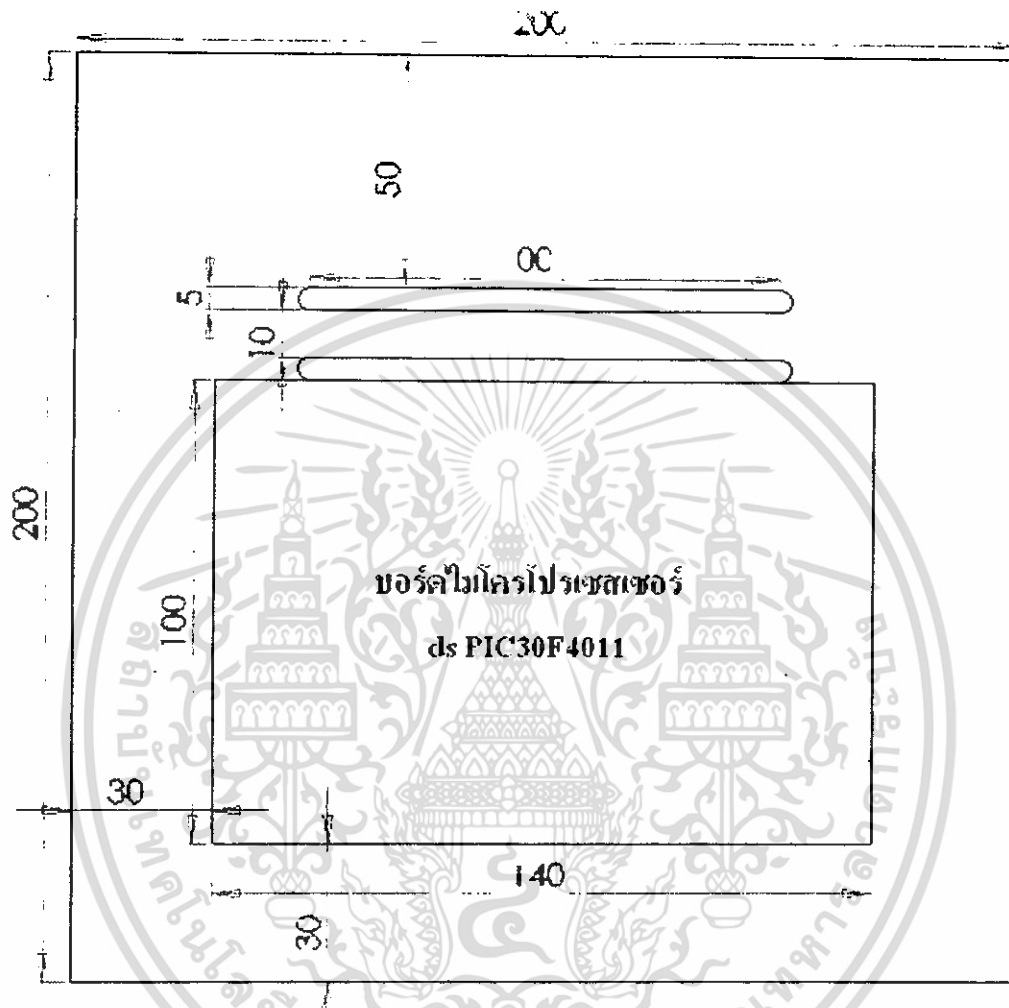
3.4.1.2 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดและตำแหน่งของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

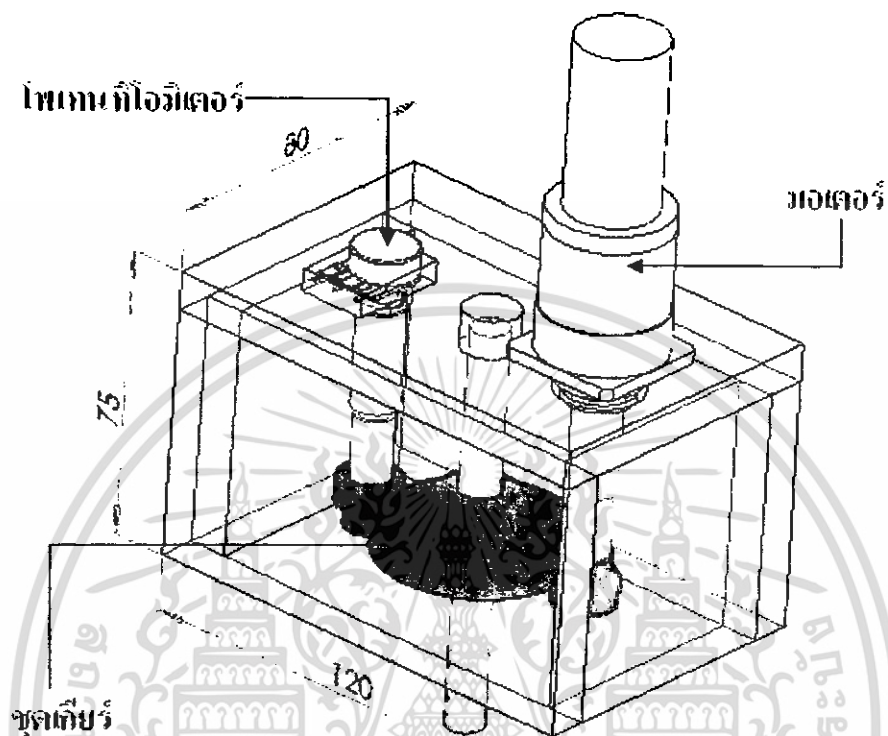
3.4.1.3 บอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดและตำแหน่งของบอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์ ds PIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

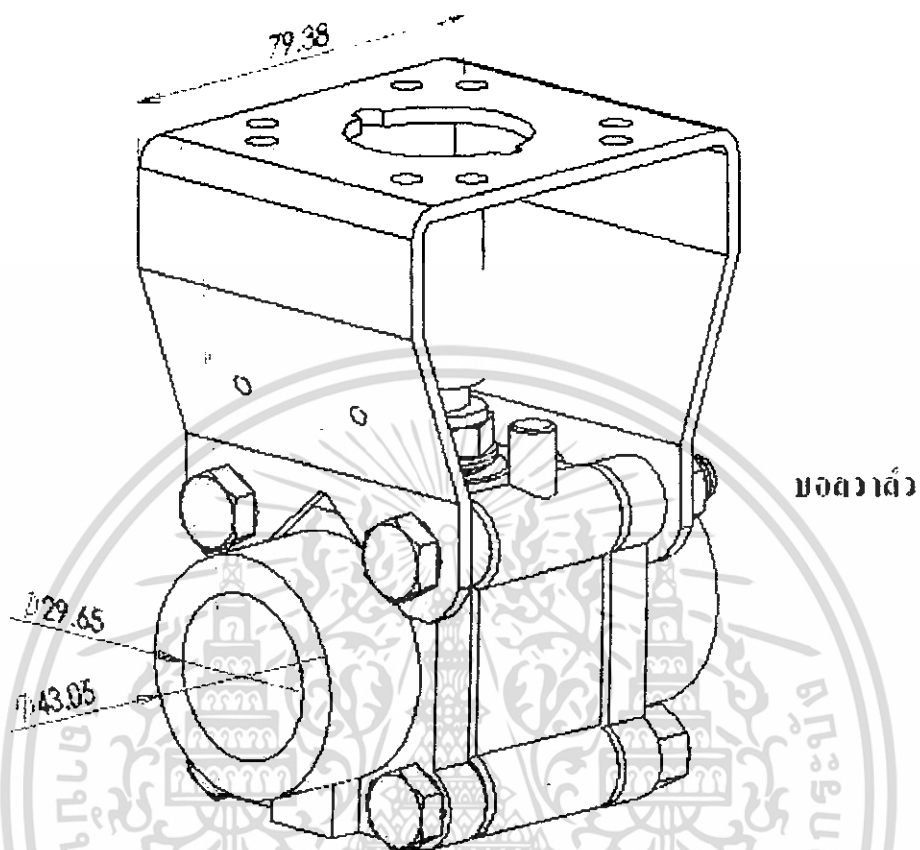
3.4.1.4 ชุดฟีดเบตต์มอเตอร์และชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดและตำแหน่งของชุดฟีดเบตต์มอเตอร์และชุดขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

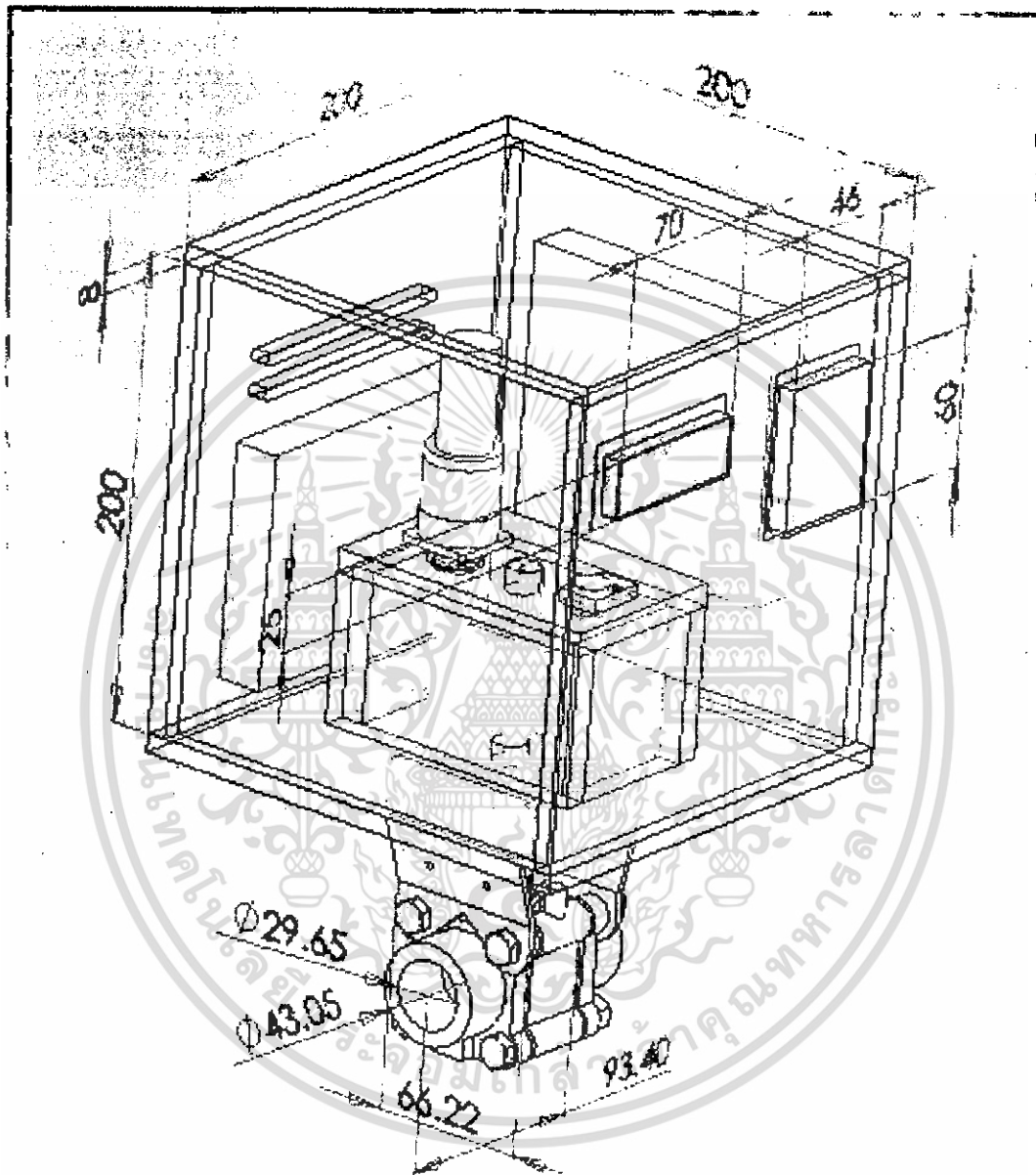
3.4.1.5 ตัวบอลวาล์ว



รูปที่ 3.9 แสดงขนาดและตำแหน่งการติดตั้งบอลวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

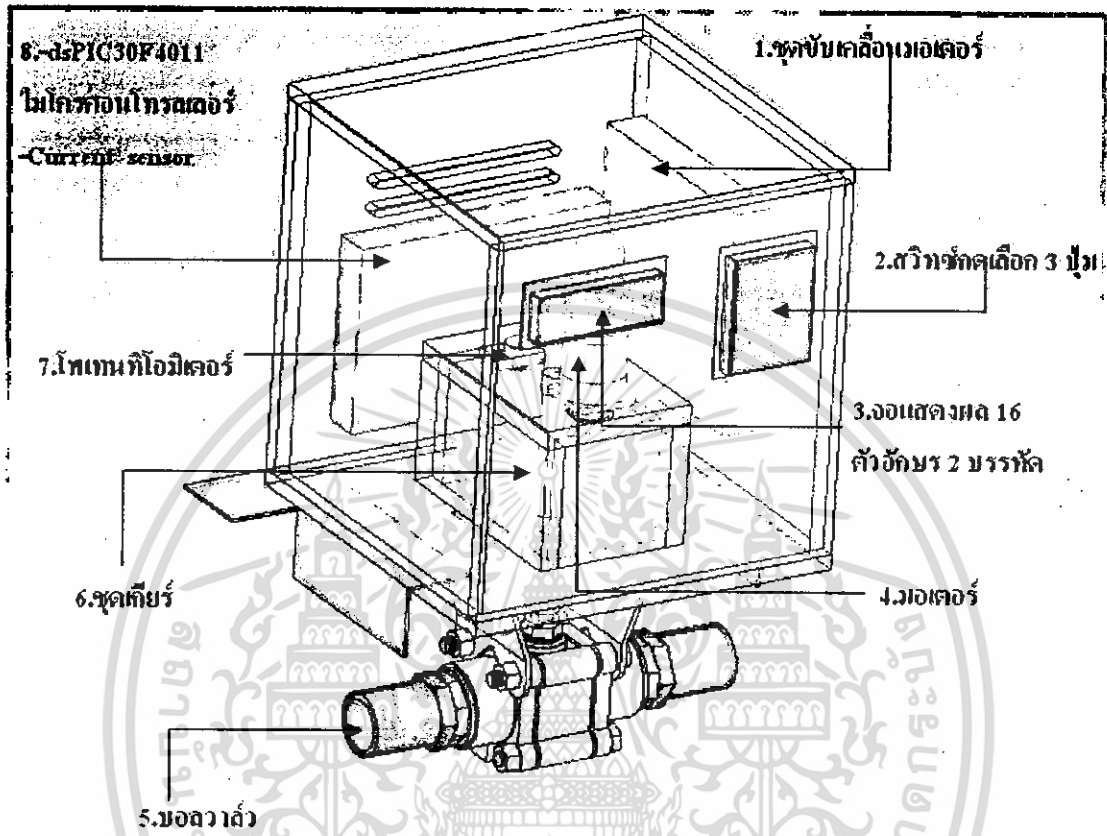
3.4.1.6 แสดงลักษณะโดยรวมของวาล์ว



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะ โดยรวมของวาล์ว

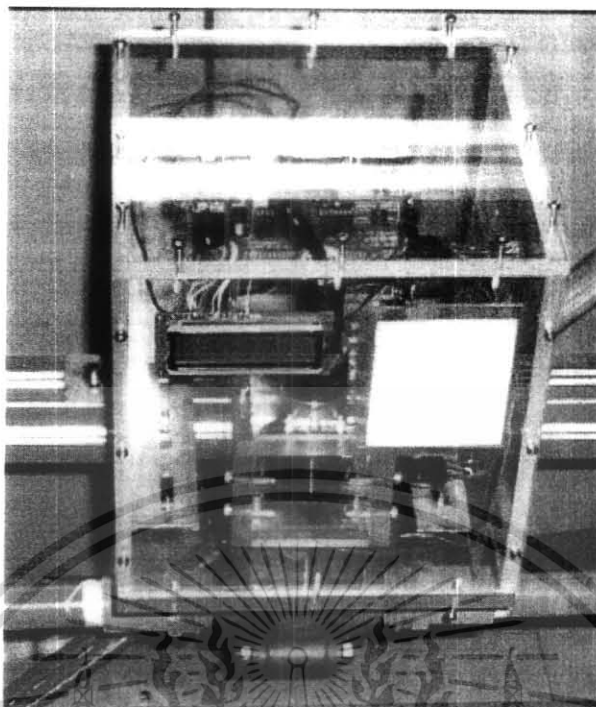
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ลักษณะการติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นส่วนต่างๆ ของวาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งและ โครงสร้างของวาล์ว

3.5 อธิบายชิ้นส่วนต่างๆ ของวาล์วควบคุม

3.5.1 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์

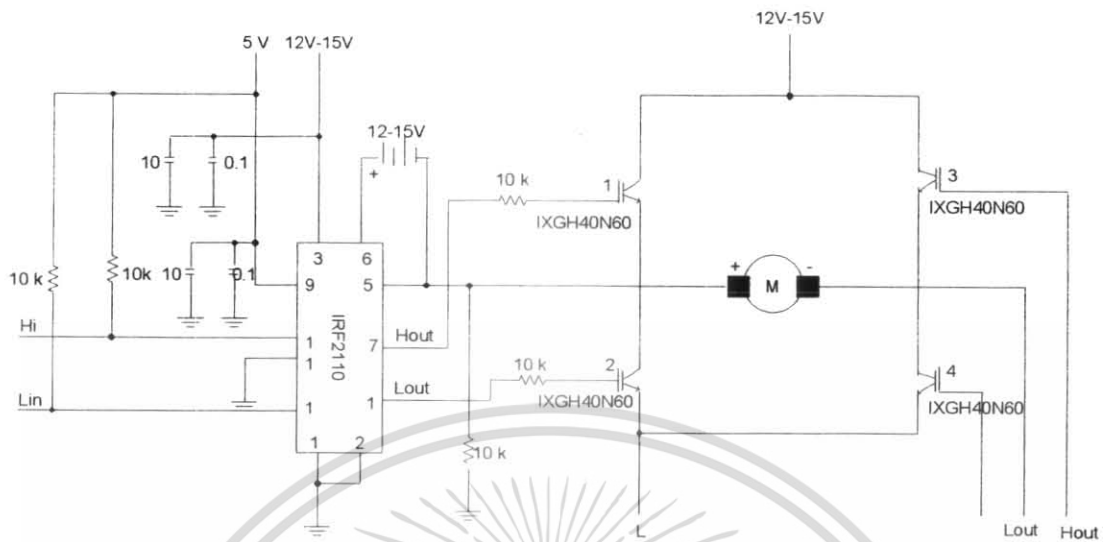
จากรูปที่ 3.13 ในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์อาศัยหลักการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 4 ควอดแดรอนและคำนึงถึงกระแสกับแรงดันทางด้านเอาต์พุตซึ่งในที่นี้เราจำกัดกระแสไว้ไม่เกิน 15 แอมแปร์ และแรงดันอยู่ที่ -12 ถึง 12 โวลต์ สำหรับการทำงานของวงจรนี้จะรับสัญญาณอินพุต แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชันความถี่ประมาณ 2.5 KHz ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยค่าดีวตีไซเคิลจะอยู่กับผลของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สัญญาณพัลส์วิดท์ที่ออกมา 1 คู่ จะประกอบได้ด้วยสัญญาณแบบ High และ Low ซึ่งสัญญาณทั้งสองนั้นจะเป็นแบบคอมพลิเมนต์ารี่มี deattime ประมาณ 200 ns

สัญญาณทั้งสองจะถูกส่งเข้าไปที่ตัว Gatedrive เพื่อขยายสัญญาณทางด้านเอาต์พุต จะได้ Hout และ Lout เพื่อไปสั่งการทำงานของตัวสวิทซ์ซึ่ง ในโปรเจกนี้ใช้มอเตอร์มอสเฟตเนื่องจากความสามารถในการทนต่อกระแส แรงดัน และสามารถสวิทซ์ที่ความถี่สูง ๆ ได้

มอเตอร์ 1 ตัวใช้สัญญาณพัลส์วิดท์ 2 คู่ เพื่อให้สามารถเลือกทิศทางของกระแสได้แรงดันป้อนให้มอเตอร์นั้นจะอยู่ที่ -12 ถึง 12 โวลต์ ซึ่งตัวที่จะกำหนดขนาดของแรงดันที่จะป้อนให้มอเตอร์ก็คือ สัญญาณพัลส์วิดท์ที่ปรับค่าดีวตีไซเคิลได้ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่

$$V_a = \text{Ton}/(\text{Toff}+\text{Ton}) * V_{\text{battery}} = \text{duty cycle} * V_{\text{battery}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

3.5.2 สวิตช์กดเลือก 3 ปุ่ม



รูปที่ 3.14 แสดงสวิตช์กดเลือก

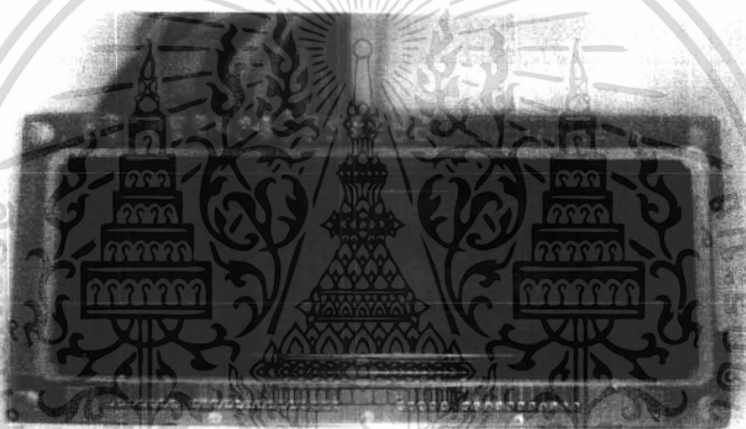
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สำหรับรับค่าอินพุตของระบบ จากสวิตช์กดเลือกทั้ง 3ปุ่มรวมทั้งกดเลือกฟังก์ชันการใช้งานประกอบด้วย

- INC คือ สวิตช์กดเพื่อปรับค่าของตัวแปร โดยการกดแต่ละครั้งจะเพิ่มค่าที่ละหนึ่งจากศูนย์ถึงเก้า
- NEXT คือ เป็นการเลื่อนตำแหน่งของค่าประจำหลักของค่าตัวแปรต่าง ๆ รวมถึงเป็นการเลื่อนฟังก์ชันการใช้งาน
- ENTER คือ เป็นการยืนยันเพื่อใช้ค่าหรือฟังก์ชันนั้น ๆ

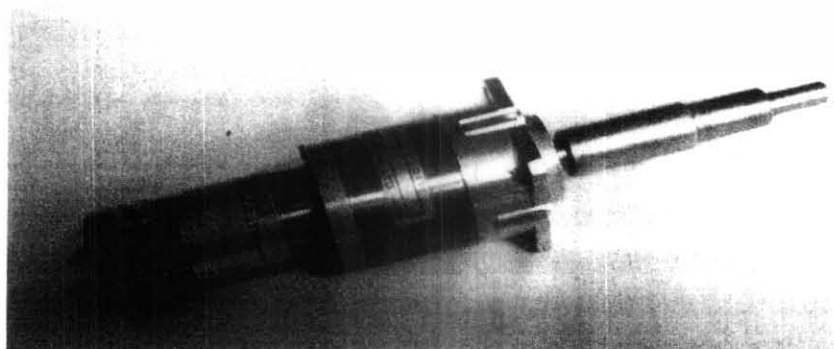
3.5.3 จอแสดงผล 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

สำหรับส่วนแสดงผลจะแสดงผ่านทางจอLCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด



รูปที่ 3.15 แสดงหน้าจอล CD 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร

3.5.4 มอเตอร์



รูปที่ 3.16 แสดงภาพของมอเตอร์ที่นำไปติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

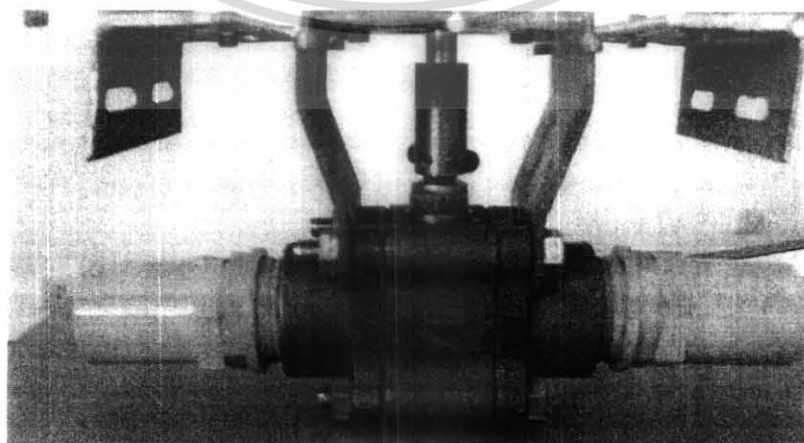
เป็นแบบดิซิมอเตอร์มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
R_a	9.17 Ohm
L_a	5.16 mH
J	$3 \times 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$
K_T	0.65 Nm/A
K_b	1.32 V/Krpm

3.5.5 ขอลวลั่ว

ขอลวลั่วจัดเป็น Valve Body แบบหนึ่งที่มีการเคลื่อนที่แบบ Rotary ที่ออกแบบให้เกิด Pressure Drop น้อยที่สุด (ในกรณีที่เป็นแบบ Full Ball) เมื่อมีอัตราการไหลมาก คือมี Flow Capacity มากกว่า Globe Valve เมื่อมีขนาดเท่ากัน Ball Valve จัดอยู่ในพวก High Recovery Valve ทำให้เกิดความดันตกคร่อมน้อย แต่โอกาสที่จะเกิด Cavitations นั้นมีมากกว่าแบบอื่น ๆ แต่โดยทั่วไปเราจะแบ่งประเภทของ Ball Valve ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต คือ Full Ball Valve หรือเรียกว่า Full Port และ Segmented Ball Valve โดยในการทำวิจัยครั้งนี้ได้นำ Ball Valve แบบ Full Port มาใช้ซึ่ง แบบ Full Port นี้มีลักษณะของช่องทางเดินของของไหลตามส่วนโค้งของวงกลมเมื่อของไหล ๆ ผ่าน ส่วนของช่องของ Ball กับผนังวาล์วด้านในจะไหลผ่านได้โดยตลอด คือ ขนาดของช่องทางเดินมีขนาดเท่ากับขนาดความโตของท่อด้านใน (I.D.) ส่วนของ Ball จะถูกยึดด้วย Seats และ Shaft ที่หมุนอยู่ใน Bearing

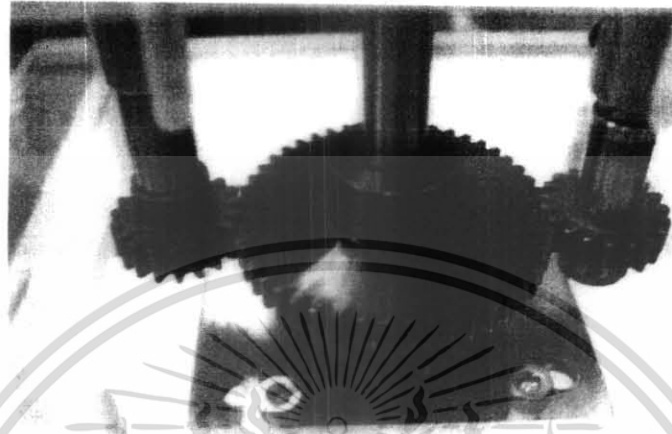


รูปที่ 3.17 แสดงภาพของขอลวลั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 ชุดเกียร์

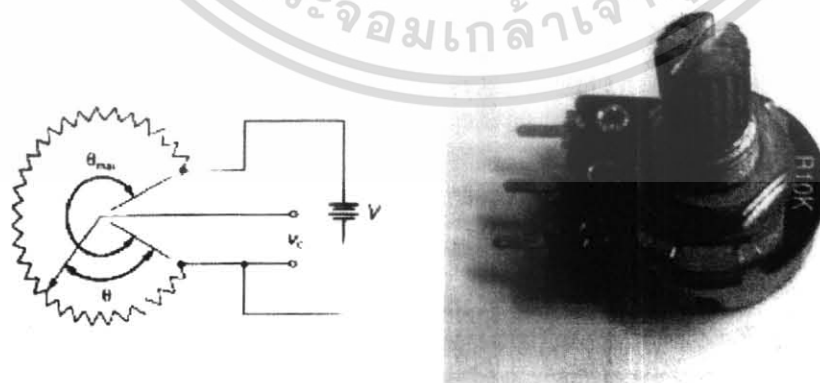
ใช้สำหรับทดสอบการขับเคลื่อน ของแกนเฟลาโมเตอร์กับเกียร์ที่ต่อร่วมกับแกนของ บอลลาตัวและชุดป้อนกลับตำแหน่งจากโพเทนทิโอมิเตอร์



รูปที่ 3.18 แสดงภาพชุดเกียร์

3.5.7. โพเทนทิโอมิเตอร์

โพเทนทิโอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังนั้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดและแรงเคลื่อนไฟฟ้า สำหรับ Potentiometer นั้น โดยปกติจะมี 2 แบบ คือ แบบเชิงเส้นกับแบบเชิงมุม ซึ่งแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ โดยแบบเชิงเส้นตัวซึ่งจะมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ในขณะที่แบบเชิงมุมตัวซึ่งจะหมุนรอบแกนแกนหนึ่งพิจารณา Potentiometer แบบเชิงมุม ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะของโพเทนทิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณา voltage divided circuit เราจะได้

$$\frac{V_0}{V} = \frac{\theta}{\theta_{\max}} \quad 3-21$$

เมื่อ V คือความต่างศักย์ที่ตกคร่อมทั้งหมดตลอดความยาวของ Potentiometer และ θ_{\max} คือมุมหมุนทั้งหมดของ Potentiometer , ดังนั้นอัตราส่วนของเอาต์พุต V_0 กับอินพุตจะ เป็น θ

$$\frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{V_0}{\theta} = \frac{V}{\theta_{\max}} = \text{ค่าคงที่} \quad 3-22$$

3.5.8 ส่วนประมวลผลสัญญาณ

3.5.8.1 dsPIC30F4011 ไมโครคอนโทรลเลอร์

dsPIC30F4011 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการใช้งานนั้นจะเลือกรุ่น dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา สาเหตุที่ใช้รุ่นนี้เนื่องจากมีโมดูลของ pulse width modulation ถึง 3 คู่ ซึ่งเท่ากับความต้องการ อีกทั้งหน่วยความจำและพอร์ตก็มีให้ใช้มากเพียงพอต่อความต้องการอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ จะกล่าวอยู่ในภาคผนวก ค.

รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.8.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current sensor)

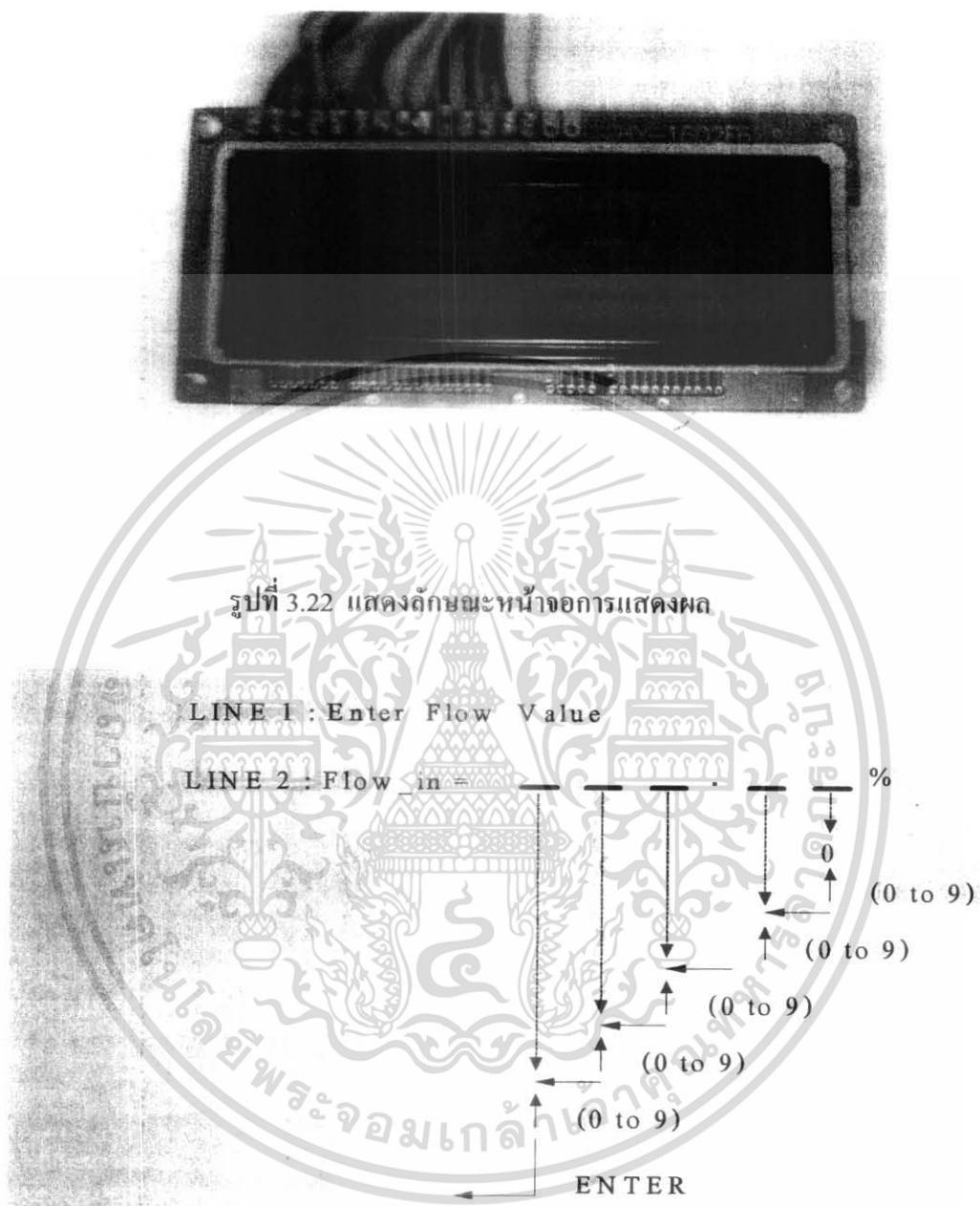
ตัวตรวจจับกระแส เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับค่ากระแสของมอเตอร์ทั้งในขณะที่มีโหลดและไม่มีโหลดเพื่อทำการชดเชยค่าในการควบคุมมอเตอร์ด้วย ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ จะกล่าวอยู่ในภาคผนวก ค.



รูปที่ 3.21 แสดง ตัวตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการใช้งานของสวิตช์กดเลือก



รูปที่ 3.23 แสดงแผนผังการใช้งานสวิตช์ปุ่มกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.23 จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นจอแสดงผลจะปรากฏข้อความดังในรูปที่ 3.22 ซึ่งถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเลขที่หน้าจอแสดงผลผู้ใช้จะต้องกดปุ่ม INC เพื่อเพิ่มค่าที่ละหนึ่งจากศูนย์ถึงเก้าเมื่อได้เลขประจำหลักแล้วต้องการปรับค่าเลขหลักถัดไปให้ผู้ใช้กดปุ่ม NEXT แล้วกดปุ่ม INC เพื่อเพิ่มค่าที่ละหนึ่งจากศูนย์ถึงเก้าจนได้ค่าที่ต้องการซึ่งทำในทำนองนี้จนครบหลักซึ่งค่าที่สามารถปรับได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00% ถึง 100.00% แล้วจึงกดปุ่ม ENTER เพื่อยืนยันค่า

3.7 ข้อจำกัดการใช้งาน

เนื่องจากในหารทดลองนี้ของไหลที่ใช้ในการทดลอง คือน้ำดังนั้นผู้ออกแบบจึงได้ระบุข้อกำหนดต่าง ๆ เพื่อตอบสนองต่อการไหลที่เป็นน้ำและ Actuator ในระบบนี้เป็นคีมอเตอร์ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1 วาล์วควบคุมแบบ SMART นี้ กำหนดว่าเป็นบอลวาล์วที่มีการติดตั้งร่วมกับบอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกคุณลักษณะการไหลของวาล์วได้ 3 แบบ ซึ่งประกอบด้วย คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ linear คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ Equal Percentage และ คุณลักษณะการไหลของวาล์วแบบ Quick Opening นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถจำกัดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของ อัตราการไหลได้จากการโปรแกรมผ่านปุ่มกดเลือกและปรับการทำงานทั้ง 3 ปุ่ม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดสอบเทอร์คของมอเตอร์

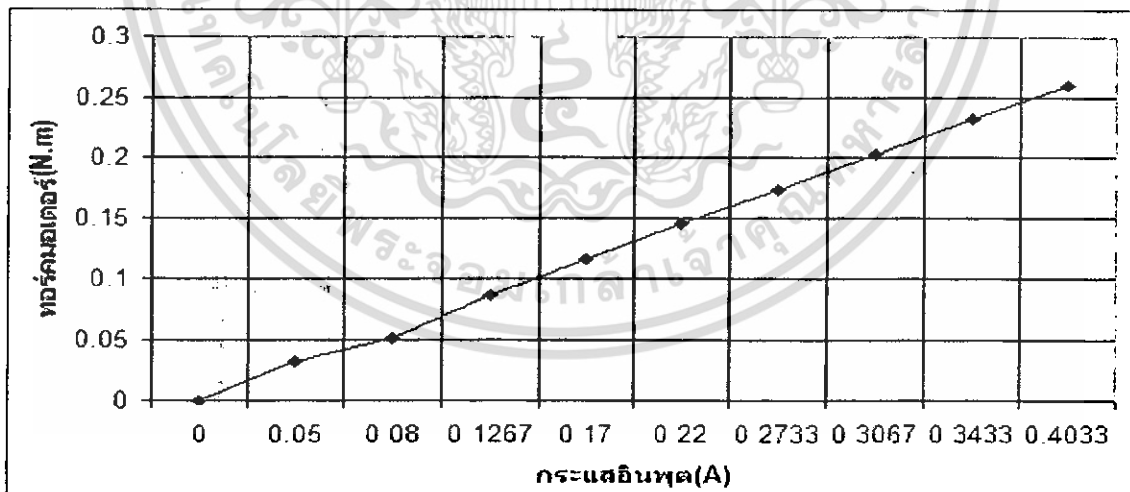
ในการทดสอบเทอร์คของมอเตอร์ในการทดลองนี้เราจะทำการทดสอบ โดยวัดน้ำหนักของคัมถ่วงน้ำหนักที่ปลายคานที่ต่อเชื่อมกับแกนเพลลาของมอเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. นำคานเหล็กความยาว 29 เซนติเมตรมาต่อเชื่อมกับแกนเพลลาของมอเตอร์ในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน
2. นำคัมถ่วงน้ำหนักมาแขวนที่ปลายคานด้านตรงข้ามกับมอเตอร์
3. ป้อนกระแสปริมาณหนึ่งจากน้อยไปมากให้กับมอเตอร์
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของคานว่ามี การเคลื่อนที่หรือไม่ ถ้าสังเกตพบว่ามี การเริ่มเคลื่อนที่ให้จดบันทึกค่ากระแสลงในตารางบันทึกผล
5. เปลี่ยนขนาดของคัมถ่วงน้ำหนักให้มากขึ้นแล้วนำมาแขวนที่ปลายคานที่จุดเดิม
6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึงข้อ 5 ทั้งหมด 3 ครั้ง
7. นำค่าที่จดบันทึกไปคำนวณหาค่าคงที่ของเทอร์คแล้วบันทึกผลลงตารางที่ 4.1 แล้วสร้างกราฟแสดงผลการทดลอง

4.2 ค่าคงที่ทอร์กของมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองค่าคงที่ทอร์กของมอเตอร์

ครั้งที่	กระแส	กระแส	กระแส	กระแสเฉลี่ย (A)	ความยาวคาน(m)	มวล (kg)	ทอร์ก (N.m)	Kt (N.m/A)
	(A)	(A)	(A)					
	1	2	3					
1	0	0	0	0	0.29	0	0	0
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.29	0.11	0.032	0.657692
3	0.08	0.08	0.08	0.08	0.29	0.18	0.052	0.64250
4	0.12	0.13	0.13	0.126667	0.29	0.30	0.087	0.679688
5	0.17	0.17	0.17	0.17	0.29	0.40	0.116	0.674419
6	0.22	0.22	0.22	0.22	0.29	0.50	0.145	0.659091
7	0.28	0.27	0.27	0.273333	0.29	0.60	0.174	0.639706
8	0.3	0.31	0.31	0.306667	0.29	0.70	0.203	0.659091
9	0.34	0.34	0.35	0.343333	0.29	0.80	0.232	0.67052
10	0.4	0.41	0.4	0.403333	0.29	0.90	0.261	0.649254



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเฉลี่ยกับค่าทอร์กของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการทดสอบค่าคงที่โวลต์เตจของมอเตอร์มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

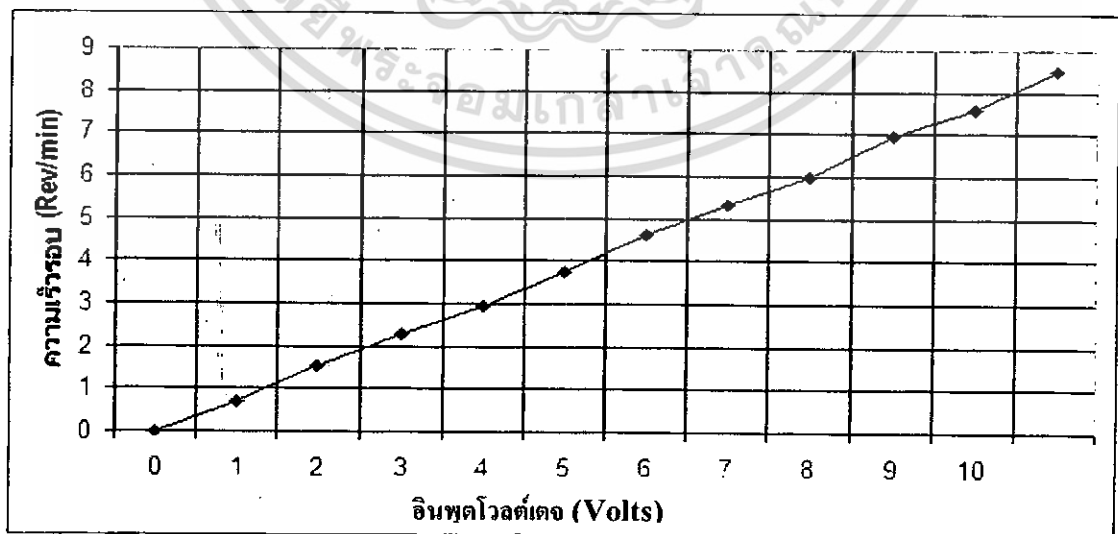
1. ต่อดวงจรป้อนพลังงานให้แก่มอเตอร์โดยต่อแหล่งจ่ายไฟกับขั้วของมอเตอร์
2. ป้อนโวลต์เตจให้แก่มอเตอร์โดยเริ่มจาก 1 โวลต์ แล้วปรับเพิ่มขึ้นทีละ 1 โวลต์จนถึง 12 โวลต์
3. ในแต่ละครั้งของการป้อนโวลต์เตจ ให้มอเตอร์ให้นับรอบการเคลื่อนที่พร้อมจับเวลาของการหมุนแล้วจดบันทึกผลการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3 ถึงข้อ 4 แล้วหาค่าเฉลี่ยเวลา แล้วจดบันทึกลงตารางบันทึกผลการทดลอง
5. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าคงที่โวลต์เตจของมอเตอร์ แล้วบันทึกลงตารางที่ 4.2 แล้วสร้างกราฟแสดงผลการทดลอง



4.4 ค่าคงที่ทอร์คของมอเตอร์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองค่าคงที่โวลต์เดจของมอเตอร์

โวลต์เดจ	เวลา	เวลา	เวลา	เวลา	เวลา(min)	Rev	Rev/min	Kc (V/Rev /min)
	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(min)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	เฉลี่ย			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	85	85	84	84.6666	1.412112	1	0.708159	1.412111
2	77	78	78	77.6666	1.29444	2	1.545064	1.294444
3	69	68	69	68.6666	1.14444	2	2.287805	1.311130
4	62	61	61	61.3333	1.02222	3	2.934782	1.362962
5	64	64	64	64.0000	1.06667	4	3.750000	1.333333
6	65	65	65	65.0000	1.08333	5	4.615384	1.300000
7	67	68	68	67.6666	1.12777	6	5.320197	1.315740
8	60	60	60	60.0000	1.00000	6	6.000000	1.333333
9	60	60	61	60.3333	1.005555	7	6.96133	1.292856
10	64	63	63	63.3333	1.055555	8	7.578951	1.319444
11	63	64	63	63.3333	1.055555	9	8.52632	1.290123



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตโวลต์เดจกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พารามิเตอร์ของมอเตอร์

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
R_a	9.17 Ohm
L_a	5.16 mH
J	$3 \times 10^{-5} \text{ Kg m}^2$
K_T	0.66038 Nm/A
K_b	1.324 V/rpm

4.6 การแปลงค่าอนาล็อก 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นดิจิตอล 10 บิต

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการแปลงค่าอนาล็อก 0 ถึง 5 โวลต์เป็นดิจิตอล 10 บิต

โวลต์เดจอินพุต	10 บิต ดิจิตอล
0	0.000
0.5	102.390
1.0	204.800
1.5	307.199
2.0	409.600
2.5	512.000
3.0	614.400
3.5	716.802
4.0	819.200
4.5	921.600
5.0	1024.000

4.7 ขั้นตอนการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวชี้ไขเคลกับกระแสของมอเตอร์

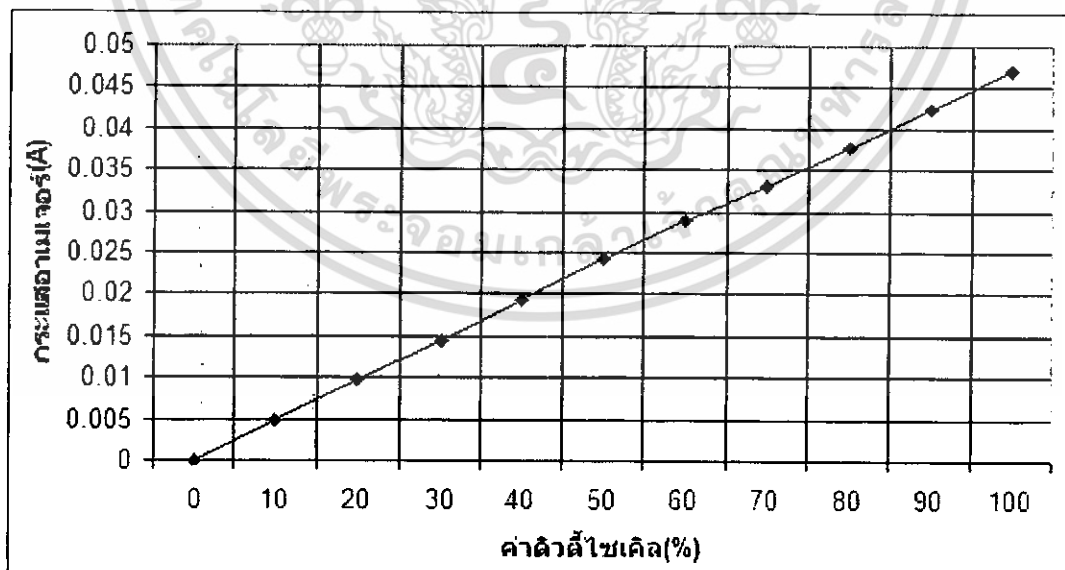
1. กำหนดค่าการสร้าง PWM เพื่อให้ได้ค่าตัวชี้ไขเคลจากโปรแกรม เพื่อขับมอเตอร์โดยกำหนดค่าตัวชี้ไขเคลจาก 0 ถึง 100 % โดยเพิ่มทีละ 10 %
2. วัดค่า $T_{on}(ms)$ และ $T_{off}(ms)$ แล้วอ่านค่าจากจอแสดงผลของออสซิลอโคป แล้วบันทึกผลลงตาราง
3. วัดค่าโวลต์เตจอินพุต (V_{in}) จากจุดต่อที่ ขั้วของมอเตอร์และบันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. อ่านค่ากระแสอาร์มาเจอร์ I_a (A) ที่ตรวจจับได้จากตัว Current Sensor
5. บันทึกผลการทดลองแล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าตัวชี้ไขเคลกับกระแสอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์



4.8 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวชี้ไขเคลกับกระแสแอมเจอร์ของมอเตอร์

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวชี้ไขเคลกับกระแสแอมเจอร์ของมอเตอร์

ค่าตัวชี้ไขเคล(%)	Ton(ms)	Toff (ms)	Vbatt (V)	Vin (V)	Ia (A)
0	0	20	12	0	0
10	2	18	12	1.2	0.004832
20	4	16	12	2.4	0.009684
30	6	14	12	3.6	0.014504
40	8	12	12	4.8	0.019411
50	10	10	12	6.0	0.024166
60	12	8	12	7.2	0.029008
70	14	6	12	8.4	0.033152
80	16	4	12	9.6	0.03644
90	18	2	12	10.8	0.42421
100	20	0	12	12	0.047045



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวชี้ไขเคลกับกระแสแอมเจอร์ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (กรณีไม่มีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาขึ้น)

1. ทำการป้อนอินพุตจากปุ่มกดจาก 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) โดยเพิ่มอินพุตทีละ 5 % of range
2. เลือกคุณลักษณะการควบคุมแบบต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่คุณลักษณะการควบคุมการไหลแบบ Linear, Quick Opening, Equal Percentage
3. อ่านค่าคุณเอาท์พุตจากการคำนวณตาม คุณลักษณะที่เลือกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) ซึ่งอ่านค่าจากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. อ่านค่าเอาท์พุตที่ได้จากการป้อนกลับของตัวป้อนกลับตำแหน่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) จากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลลงในตาราง

4.10 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (กรณีไม่มีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาลง)

1. ทำการป้อนอินพุตจากปุ่มกดจาก 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) โดยลดอินพุตทีละ 5 % of range
2. เลือกคุณลักษณะการควบคุมแบบต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่คุณลักษณะการควบคุมการไหลแบบ Linear, Quick Opening, Equal Percentage
3. อ่านค่าคุณเอาท์พุตจากการคำนวณตาม คุณลักษณะที่เลือกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) ซึ่งอ่านค่าจากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. อ่านค่าเอาท์พุตที่ได้จากการป้อนกลับของตัวป้อนกลับตำแหน่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) จากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลลงในตาราง

4.11 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (กรณีมีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาขึ้น)

1. ทำการป้อนอินพุตจากปุ่มกดจาก 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) โดยเพิ่มอินพุตทีละ 5 % of range
2. เลือกคุณลักษณะการควบคุมแบบต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่คุณลักษณะการควบคุมการไหลแบบ Linear, Quick Opening, Equal Percentage
3. อ่านค่าคุณเอาต์พุตจากการคำนวณตาม คุณลักษณะที่เลือกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) ซึ่งอ่านค่าจากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. อ่านค่าเอาต์พุตที่ได้จากการป้อนกลับของตัวป้อนกลับตำแหน่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % of range (ขาขึ้น) จากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลลงในตาราง

4.12 การทดสอบผลการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (กรณีมีของไหลไหลผ่านและเป็นอินพุตขาลง)

1. ทำการป้อนอินพุตจากปุ่มกดจาก 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) โดยลดอินพุตทีละ 5 % of range
2. เลือกคุณลักษณะการควบคุมแบบต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่คุณลักษณะการควบคุมการไหลแบบ Linea , Quick Opening , Equal Percentage
3. อ่านค่าคุณเอาต์พุตจากการคำนวณตาม คุณลักษณะที่เลือกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) ซึ่งอ่านค่าจากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. อ่านค่าเอาต์พุตที่ได้จากการป้อนกลับของตัวป้อนกลับตำแหน่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 0 % of range (ขาลง) จากจอแสดงผล LCD แล้วบันทึกผลลงในตาราง

4.13 กราฟและตารางแสดงคุณลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลไหลผ่าน)

ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	เอาต์พุตที่ ได้จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	เอาต์พุตที่ ได้จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0	100	100	100
1	5	5	5	95	95	95
2	10	10	10	90	90	90
3	15	15	15	85	85	85
4	20	20	20	80	80	80
5	25	25	25	75	75	75
6	30	30	30	70	70	70
7	35	35	35	65	65	65
8	40	40	40	60	60	60
9	45	45	45	55	55	55
10	50	50	50	50	50	50
11	55	55	55	45	45	45
12	60	60	60	40	40	40
13	65	65	65	35	35	35
14	70	70	70	30	30	30
15	75	75	75	25	25	25
16	80	80	80	20	20	20
17	85	85	85	15	15	15
18	90	90	90	10	10	10
19	95	95	95	5	5	5
20	100	100	100	0	0	0

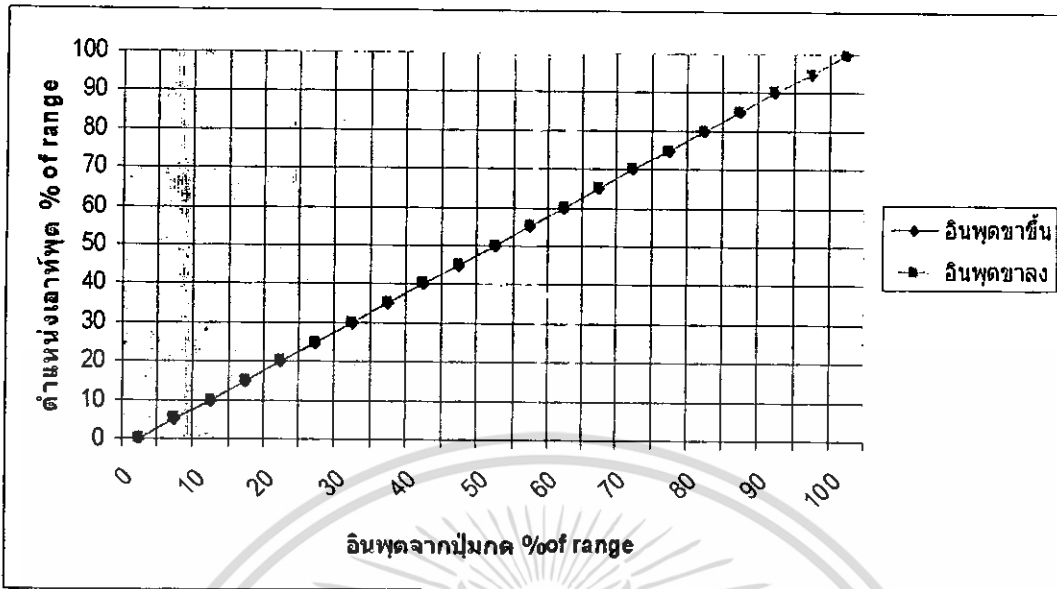
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

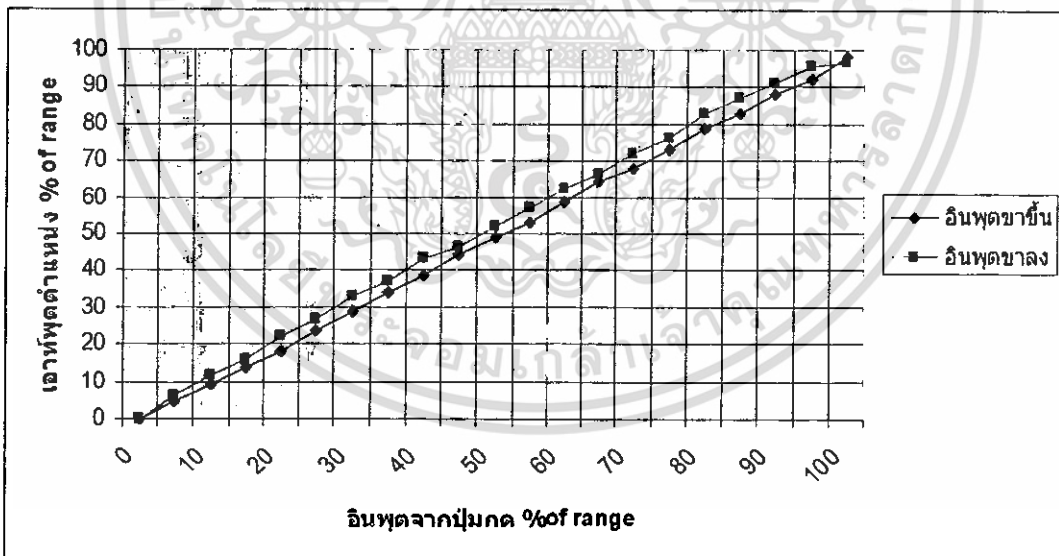
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้ง อินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน)

ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0	100	100	97.00
1	5	5	4.50	95	95	96.03
2	10	10	9.32	90	90	91.11
3	15	15	14.17	85	85	87.05
4	20	20	18.03	80	80	83.00
5	25	25	23.58	75	75	76.20
6	30	30	28.90	70	70	72.11
7	35	35	34.00	65	65	66.28
8	40	40	38.64	60	60	62.21
9	45	45	44.23	55	55	57.02
10	50	50	49.10	50	50	52.25
11	55	55	53.20	45	45	46.18
12	60	60	58.78	40	40	43.40
13	65	65	64.65	35	35	37.12
14	70	70	67.81	30	30	33.13
15	75	75	73.22	25	25	26.78
16	80	80	78.92	20	20	22.34
17	85	85	83.20	15	15	16.02
18	90	90	88.11	10	10	12.00
19	95	95	92.03	5	5	6.30
20	100	100	98.23	0	0	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้งอินทขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลผ่าน)



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Linear ทั้งอินทขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลผ่าน)

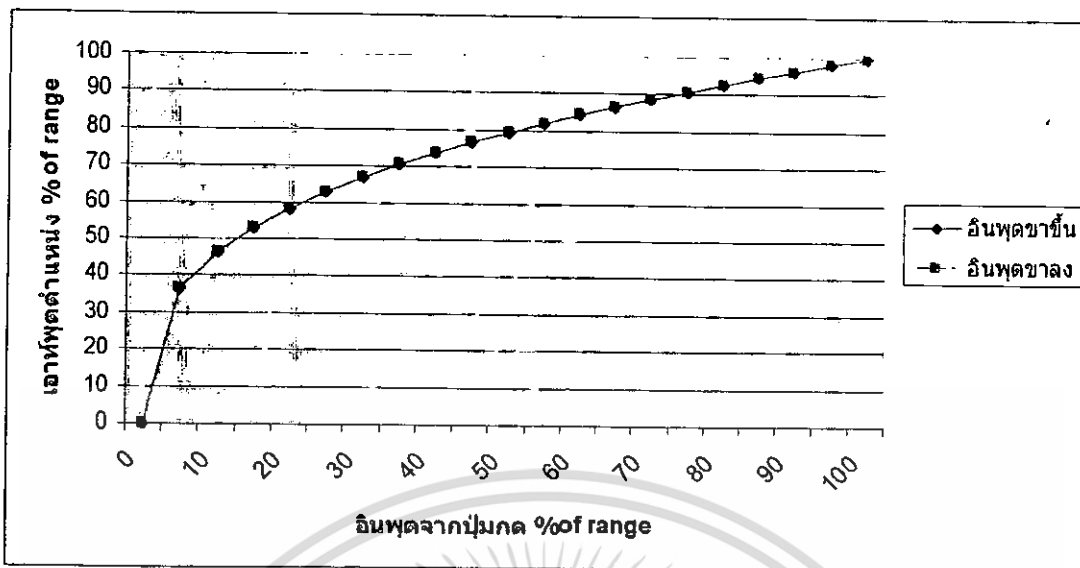
ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	เอาต์พุตที่ ได้จาก การคำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0	100	100	100
1	5	36.48	36.48	95	98.30	98.30
2	10	46.42	46.42	90	96.55	96.55
3	15	53.13	53.13	85	94.73	94.73
4	20	58.48	58.48	80	92.83	92.83
5	25	63	63	75	90.86	90.86
6	30	66.94	66.94	70	88.79	88.79
7	35	70.47	70.47	65	86.62	86.62
8	40	73.68	73.68	60	84.34	84.34
9	45	76.63	76.63	55	81.93	81.93
10	50	79.37	79.37	50	79.37	79.37
11	55	81.93	81.93	45	76.63	76.63
12	60	84.34	84.34	40	73.68	73.68
13	65	86.62	86.62	35	70.47	70.47
14	70	88.79	88.79	30	66.94	66.94
15	75	90.86	90.86	25	63	63
16	80	92.83	92.83	20	58.48	58.48
17	85	94.73	94.73	15	53.13	53.13
18	90	96.55	96.55	10	46.42	46.42
19	95	98.30	98.30	5	36.48	36.48
20	100	100	100	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

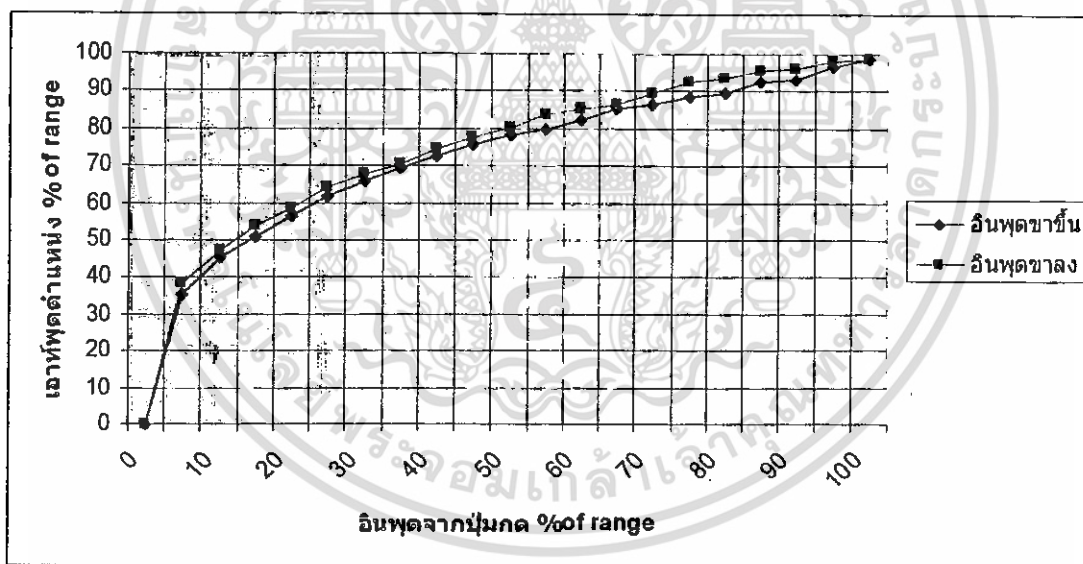
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน)

ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0	100	100	98.79
1	5	36.48	35.31	95	98.30	98.32
2	10	46.42	45.40	90	96.55	96.57
3	15	53.13	51.11	85	94.73	95.68
4	20	58.48	56.45	80	92.83	93.87
5	25	63	62.00	75	90.86	92.97
6	30	66.94	65.78	70	88.79	89.85
7	35	70.47	69.66	65	86.62	86.80
8	40	73.68	72.57	60	84.34	85.40
9	45	76.63	75.60	55	81.93	83.96
10	50	79.37	78.39	50	79.37	80.38
11	55	81.93	79.95	45	76.63	77.70
12	60	84.34	82.30	40	73.68	74.69
13	65	86.62	85.58	35	70.47	70.53
14	70	88.79	86.73	30	66.94	67.99
15	75	90.86	88.80	25	63	64.30
16	80	92.83	89.79	20	58.48	58.52
17	85	94.73	92.68	15	53.13	54.20
18	90	96.55	93.35	10	46.42	47.38
19	95	98.30	97.00	5	36.48	38.49
20	100	100	98.93	0	0	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีช่องไหลผ่าน)



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีมีช่องไหลผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลผ่าน)

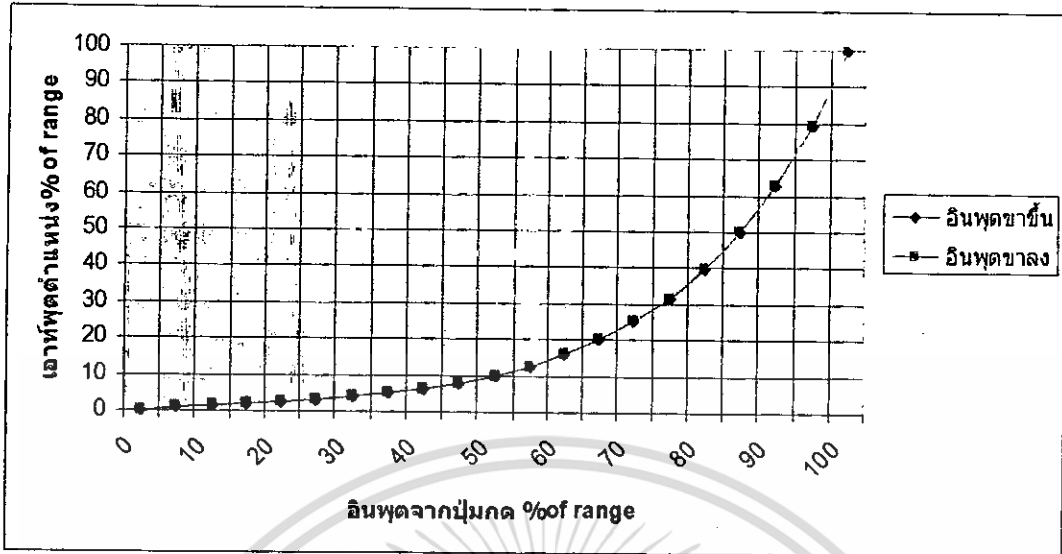
ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0	100	100	100
1	5	1.26	1.26	95	79.43	79.43
2	10	1.58	1.58	90	63.10	63.10
3	15	2.0	2.0	85	50.12	50.12
4	20	2.51	2.51	80	39.81	39.81
5	25	3.16	3.16	75	31.62	31.62
6	30	3.98	3.98	70	25.12	25.12
7	35	5.01	5.01	65	19.95	19.95
8	40	6.31	6.31	60	15.85	15.85
9	45	7.94	7.94	55	12.59	12.59
10	50	10	10	50	10	10
11	55	12.59	12.59	45	7.94	7.94
12	60	15.85	15.85	40	6.31	6.31
13	65	19.95	19.95	35	5.01	5.01
14	70	25.12	25.12	30	3.98	3.98
15	75	31.62	31.62	25	3.16	3.16
16	80	39.81	39.81	20	2.51	2.51
17	85	50.12	50.12	15	2.0	2.0
18	90	63.10	63.10	10	1.58	1.58
19	95	79.43	79.43	5	1.26	1.26
20	100	100	100	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

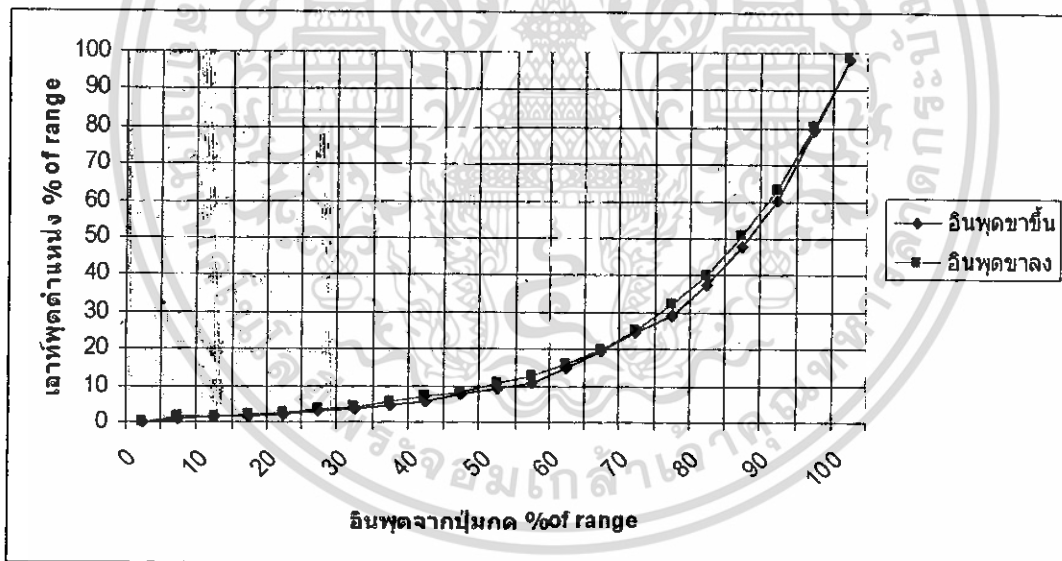
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน)

ลำดับที่	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาขึ้น) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาขึ้น) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาขึ้น) % of range	อินพุตจาก ปุ่มกด (ขาลง) % of range	อินพุตที่ได้ จากการ คำนวณตาม สมการ คุณลักษณะ (ขาลง) % of range	ตำแหน่ง เอาต์พุต (ขาลง) % of range
0	0	0	0.02	100	100	98.8
1	5	1.26	1.25	95	79.43	80.43
2	10	1.58	1.47	90	63.10	63.57
3	15	2.0	1.8	85	50.12	50.90
4	20	2.51	2.20	80	39.81	40.00
5	25	3.16	3.12	75	31.62	32.62
6	30	3.98	3.75	70	25.12	25.78.12
7	35	5.01	4.76	65	19.95	20.10
8	40	6.31	5.91	60	15.85	15.97
9	45	7.94	7.64	55	12.59	12.79
10	50	10	9.20	50	10	10.58
11	55	12.59	10.59	45	7.94	8.34
12	60	15.85	14.85	40	6.31	7.00
13	65	19.95	19.34	35	5.01	5.87
14	70	25.12	24.79	30	3.98	4.10
15	75	31.62	29.62	25	3.16	3.67
16	80	39.81	37.81	20	2.51	2.78
17	85	50.12	84.12	15	2.0	2.23
18	90	63.10	60.10	10	1.58	1.78
19	95	79.43	79.43	5	1.26	1.56
20	100	100	98.70	0	0	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีไม่มีของไหลผ่าน)



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage ทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลง (กรณีมีของไหลผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 ผลตอบสนองการควบคุมความเร็วมอเตอร์

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลตอบสนองจากการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จากการ Simulate ในโปรแกรม Matlab 7.0 โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามคุณสมบัติของมอเตอร์และค่าที่ใช้ในระบบการควบคุมจริงจากรูปจะพบว่า เมื่อทำการป้อนอินพุต โวลต์เดจให้แก่วงจรการควบคุม 7.24 โวลต์ จะได้ความเร็วรอบประมาณ 0.089 rad/s ตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.10 แสดงผลตอบสนองการควบคุมความเร็วมอเตอร์

บทที่ 5

ผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและศึกษาค้นคว้าพบว่าวาล์วควบคุมแบบ SMART คือวาล์วควบคุมทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งอยู่ในวาล์วควบคุมนั้น ๆ ซึ่งในปฏิญานิพนธ์นี้ วาล์วควบคุมแบบ SMART ได้ออกแบบไว้ว่าเป็นบอลวาล์วที่ประกอบไปด้วยส่วนการประมวลผล ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F4011 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ส่วนการแสดงผล สวิตช์กดเพื่อเลือก ฟังก์ชันการใช้งานหรือปรับค่าการใช้งาน ซึ่งลักษณะพิเศษของวาล์วควบคุมแบบ SMART ที่ได้ ออกแบบไว้คือสามารถเลือกการใช้งาน คุณลักษณะการไหลของวาล์ว ได้ทั้ง 3 แบบภายในตัววาล์ว ควบคุมเองซึ่งได้แก่ คุณลักษณะการไหลแบบ Linear คุณลักษณะการไหลแบบ Quick Opening และคุณลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage จากการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของ คุณลักษณะการไหลของวาล์ว ทั้ง 3 แบบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายและควบคุม โหลด พบว่าส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนการประมวลผลของวาล์วควบคุมแบบ SMART ให้ ผลตอบสนองของกระบวนการเป็นไปตามหลักการการออกแบบที่ได้กำหนดฟังก์ชันการใช้งานไว้ ในเบื้องต้น

จากผลการทดลองที่ระบุตามตารางหรือรูปภาพ ในบทที่ 4 ซึ่งแสดงผลการทดสอบการ ควบคุมตำแหน่งซึ่งให้ได้คุณลักษณะการไหลแบบต่างๆทั้งอินพุตขาขึ้นและขาลงนั้น อินพุตจาก ปุ่มกดเป็นอินพุตจากผู้ใช้งานเมื่อผู้ใช้งานกดแล้ว ระบบการจัดการสัญญาณประมวลผลจะทำการ คำนวณเพื่อให้ได้เอาต์พุตตามสมการคุณลักษณะแบบต่างๆ ที่ได้มีการเลือกไว้ซึ่งเป็นอินพุตของ ระบบการควบคุมตำแหน่งเพื่อให้ได้ตำแหน่งการเปิด-ปิด ตามคุณลักษณะการไหลแบบต่างๆ กล่าวคือเมื่อต้องการควบคุมคุณลักษณะการไหลแบบต่างๆ ก็เพียงจัดการควบคุมตำแหน่งให้ได้ ตำแหน่งการเปิด-ปิด ตามแบบคุณลักษณะนั้นๆ

5.2 ปัญหา

1. เนื่องด้วยตัวโครงสร้างของวาล์วที่ออกแบบไว้ไม่มั่นคงเพียงพอที่จะทำให้ ไม่เกิดการ สั่นสะเทือนของตัวโครงสร้างวาล์วควบคุม เมื่อประกอบกับระบบของกระบวนการทำให้เกิดการ สั่นสะเทือนของตัววาล์วควบคุมและการสั่นของระบบท่อ จึงส่งผลต่อการควบคุมกระบวนการ ดังกล่าว

2. เนื่องจากระบบมีแรงที่เกิดขึ้น จากของไหลทำให้เกิดทอร์คกระทำต่อตัววาล์วทำให้การ ควบคุมตำแหน่งถูกดันด้วยแรงดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ออกแบบและติดตั้งตำแหน่งของฐานรองมอเตอร์ในแนวตั้งให้มั่นคงขึ้น รวมถึงการวางตำแหน่งตัววัดป้อนค่าตำแหน่งให้ได้ตำแหน่งและมั่นคงขึ้น รวมทั้งทำที่ยึดติดตัววาล์วควบคุมแบบ SMART ที่ตำแหน่งฐานของตัววาล์วแทนที่ตำแหน่งด้านข้างของตัววาล์ว กับแท่น

2. ควรมีการออกแบบระบบควบคุม ให้มีการควบคุมทอร์คของมอเตอร์เพื่อชดเชยกับแรงต้านที่เกิดขึ้นจากของไหล นอกจากนี้ยังควรมีตัวตรวจจับกระแสของมอเตอร์เพื่อป้อนกลับไปยังวงรอบการควบคุมเพื่อหาขนาดพลังงานที่เหมาะสมป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการ



บรรณานุกรม

1. Philip L.Skousen,"Valve Handbook" McGraw Hill,USA,1998
2. โยธิน เปรมปราณีรัชต์" ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์",
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



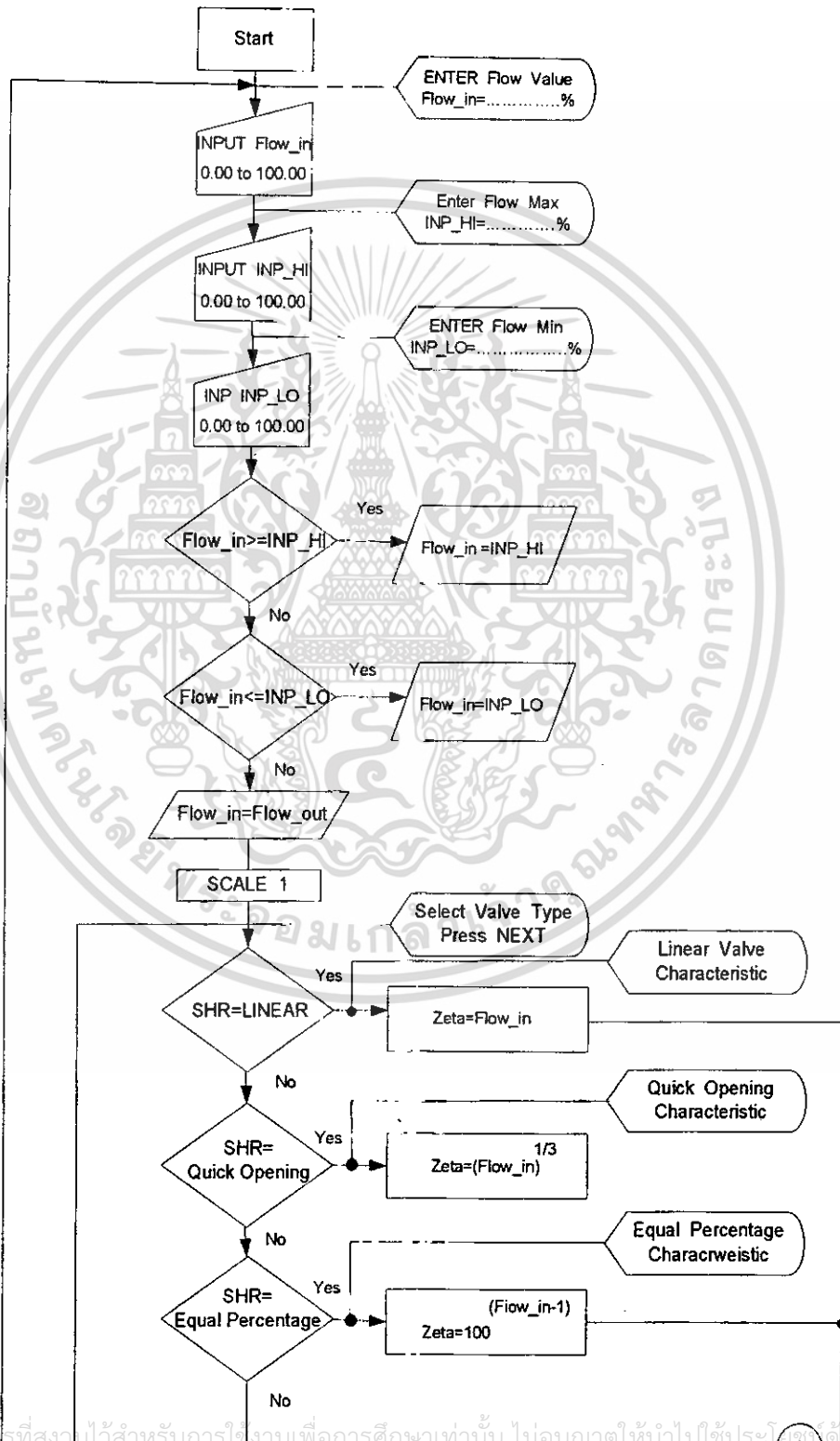
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



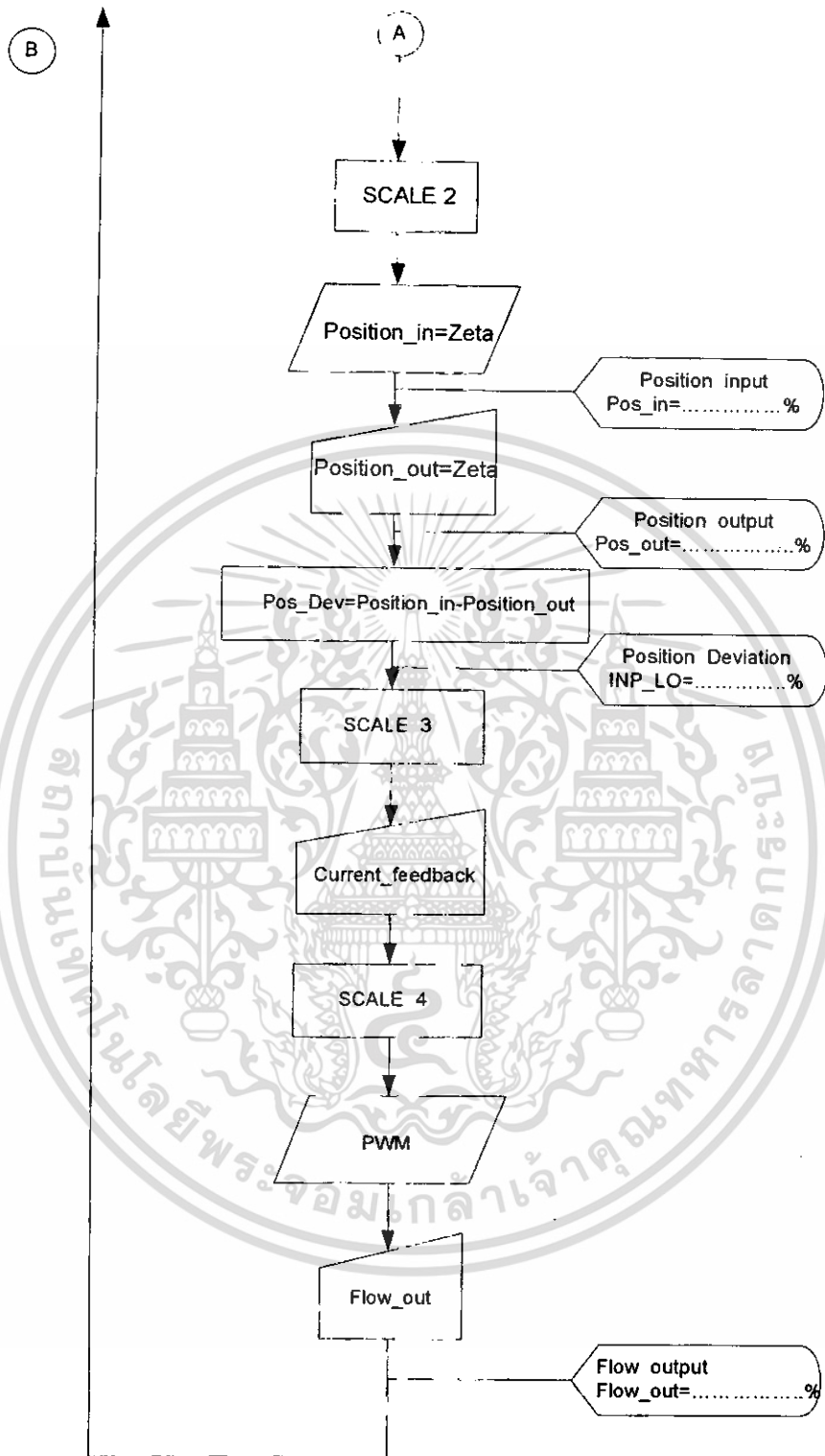
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



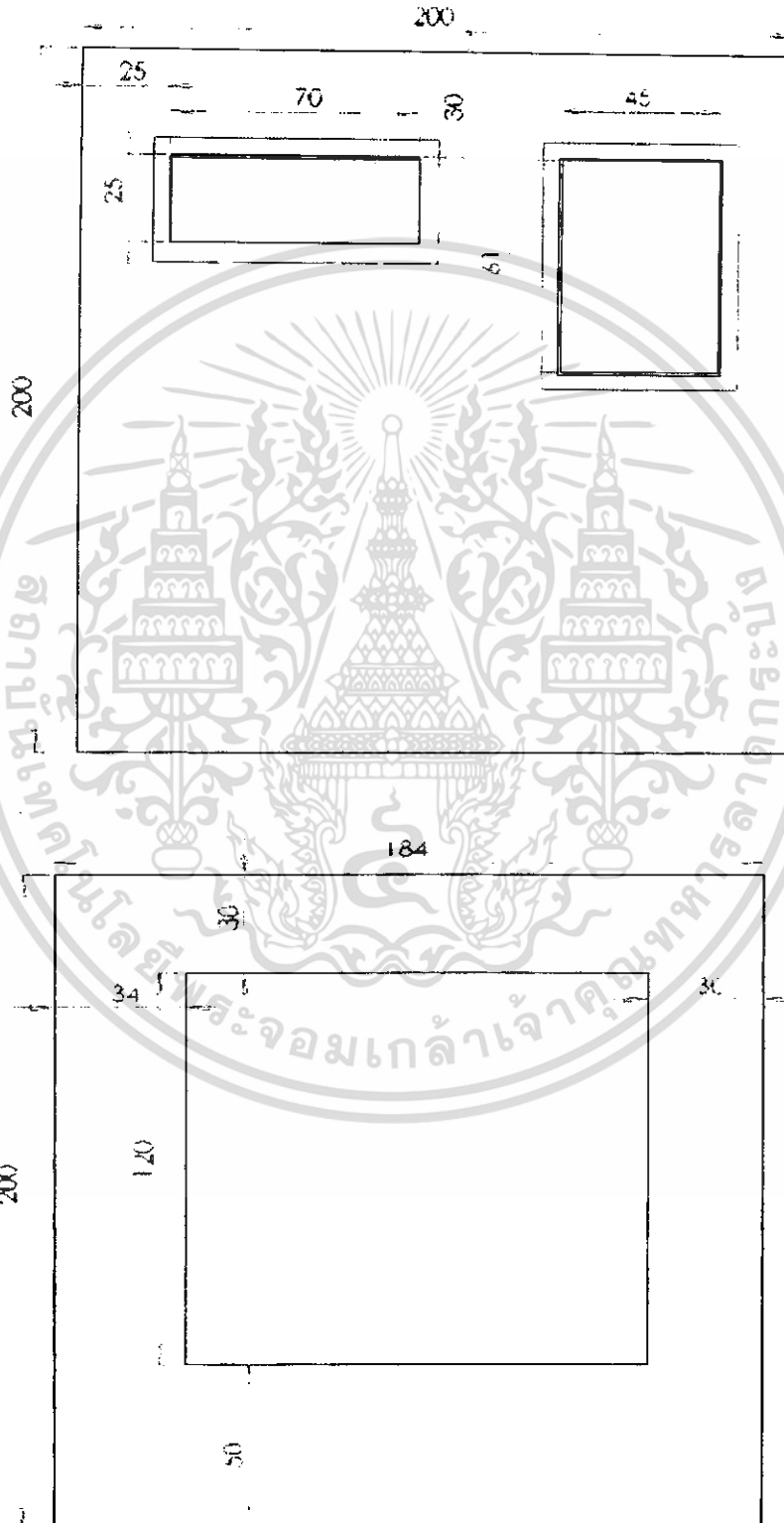
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



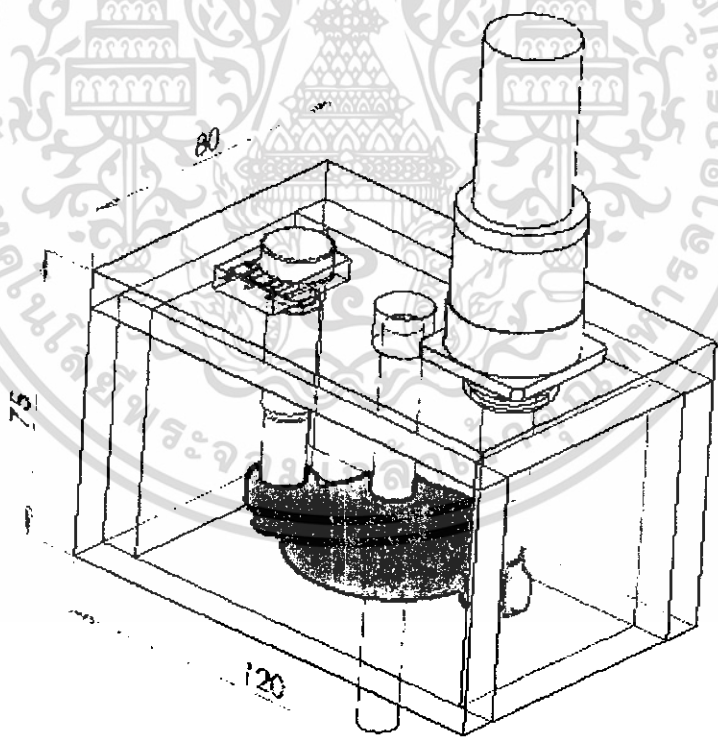
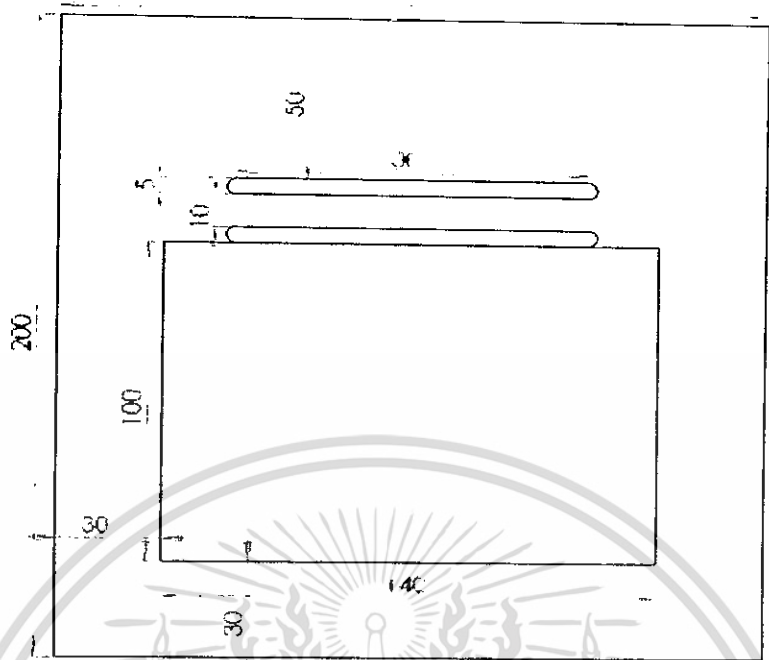
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

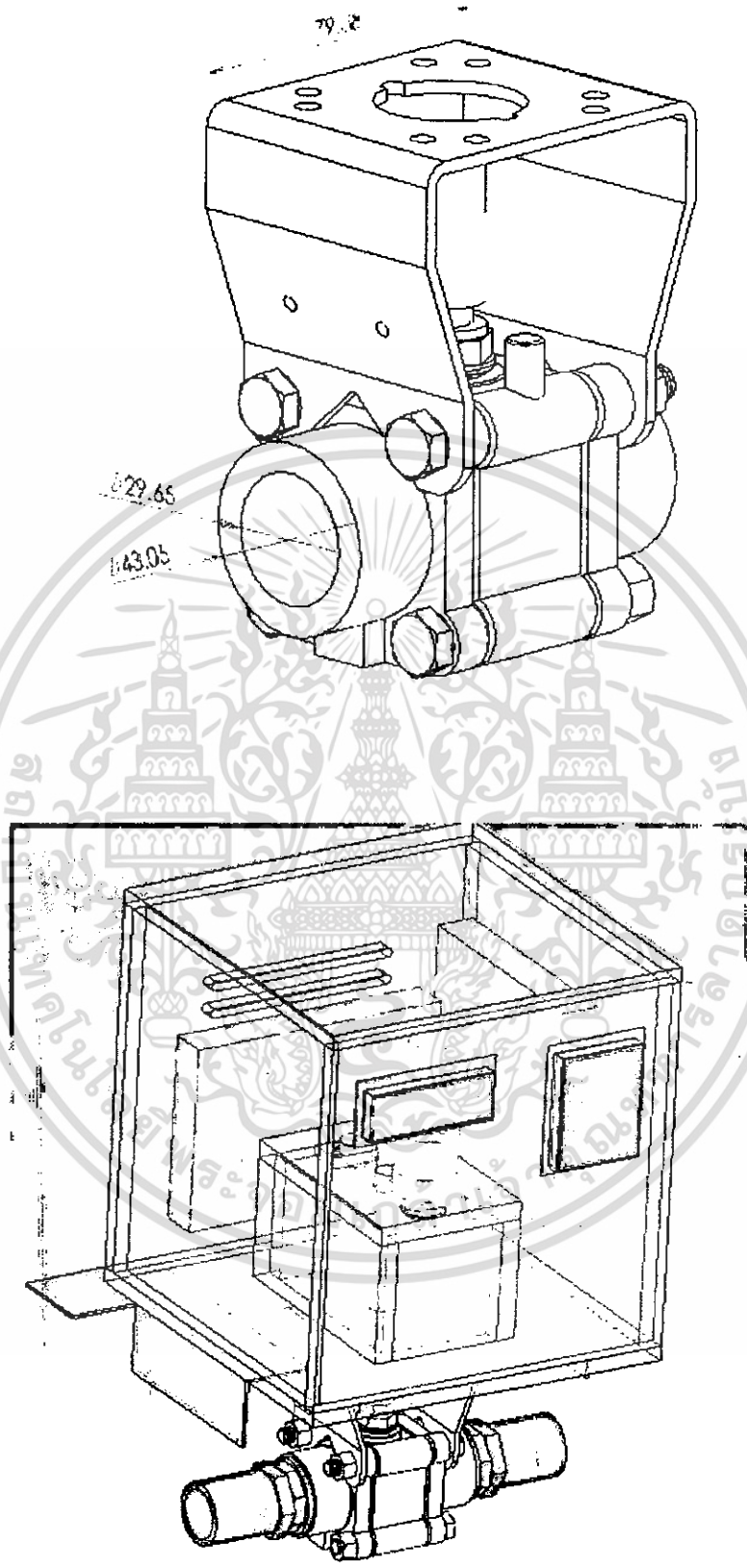
โครงสร้างของตัววัดควบคุมแบบ SMART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลของ ไอซีที่ใช้ในปริิญาานิพนธ์

1. ds PIC 30F4011
2. IR2110 (gate drive)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

dsPIC30F4011/4012 **Data Sheet**

High-Performance, 16-Bit
Digital Signal Controllers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoq, microID, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE, PowerSmart, rPIC and SmartShunt are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


Amplab, FilterLab, Migratable Memory, MXDEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Linear Active Thermistor, Mindi, MiWi, MPASM, MPLIB, MPLINK, PICKit, PICDEM, PICDEM.net, PICLAB, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rLAB, rPICDEM, Select Mode, Smart Serial, SmartTel, Total Endurance, UNI/O, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2006, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==**

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona, Gresham, Oregon and Mountain View, California. The Company's quality system processes and procedures are for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoq® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.



dsPIC30F4011/4012

dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash 16-Bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual" (DS70157).

High-Performance, Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 83 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbyte of nonvolatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources:
 - 3 external interrupt sources
 - 8 user-selectable priority levels for each interrupt source
 - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write-back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single-cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions are single cycle
- ± 16 -bit, single-cycle shift

Peripheral Features:

- High-current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
 - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN module, 2.0B compliant

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels:
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center-Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-Bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

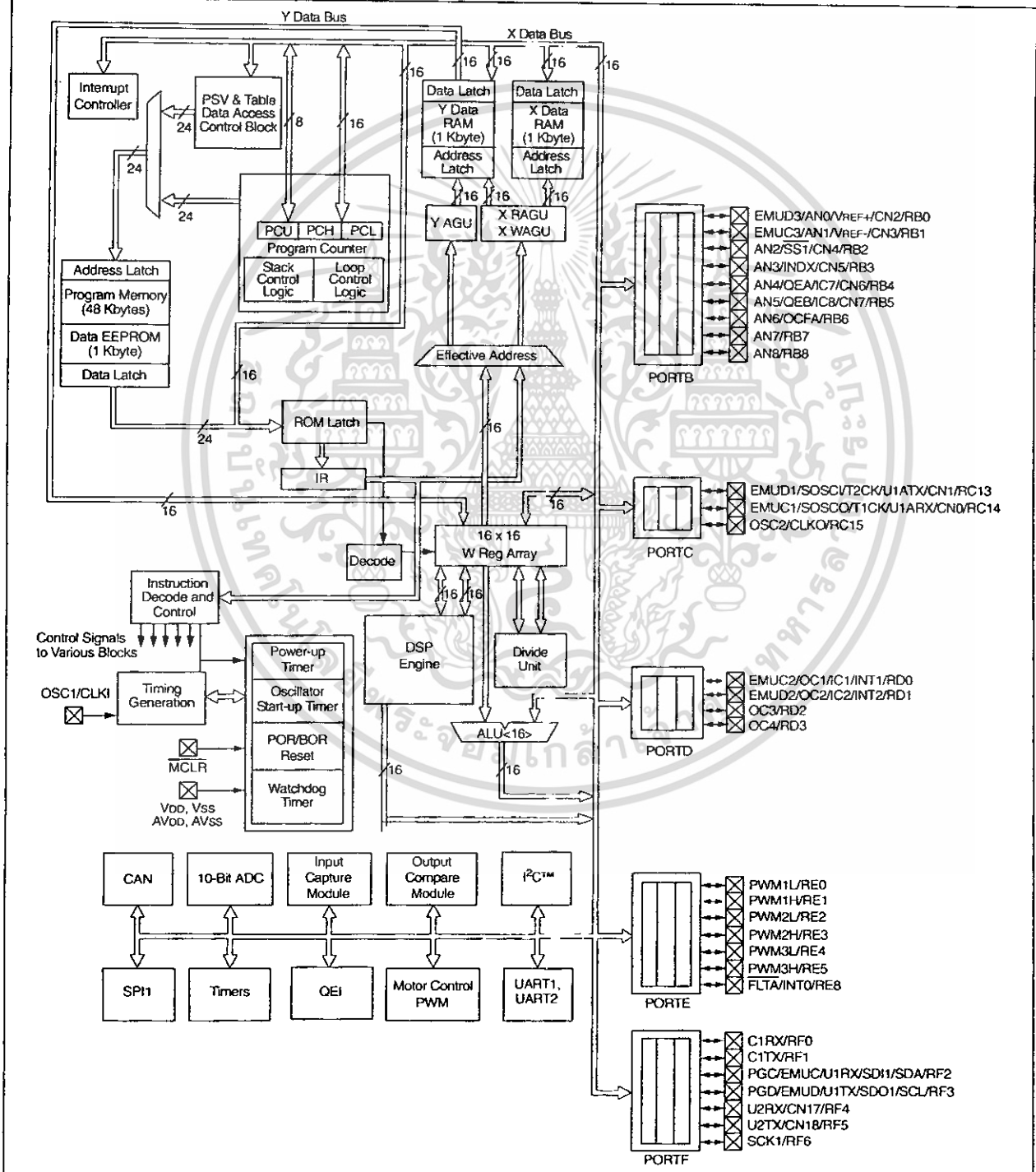
dsPIC30F4011/4012

1.0 DEVICE OVERVIEW

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual" (DS70157).

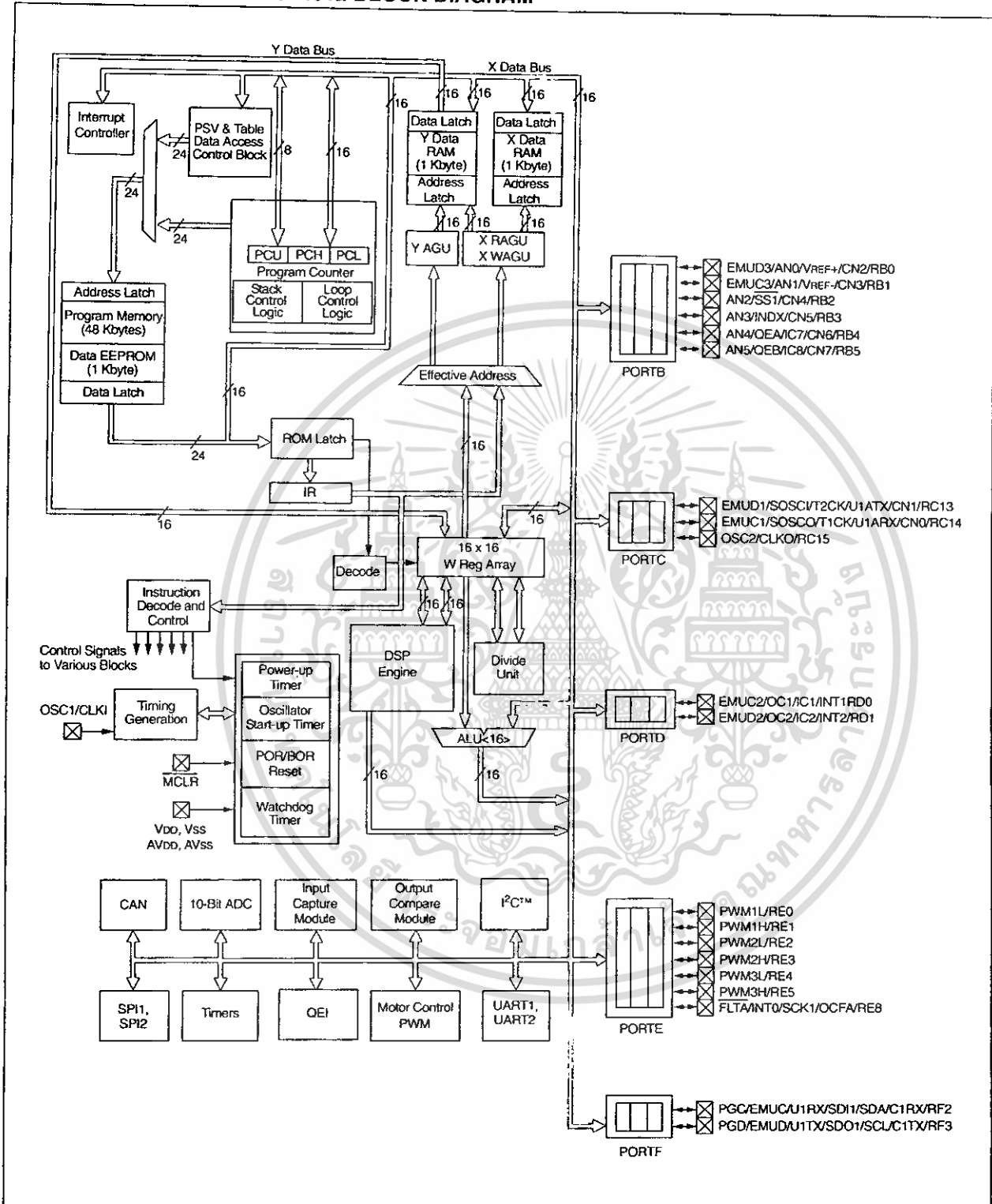
This document contains device-specific information for the dsPIC30F4011/4012 devices. The dsPIC30F devices contain extensive Digital Signal Processor (DSP) functionality within a high-performance, 16-bit microcontroller (MCU) architecture. Figure 1-1 and Figure 1-2 show device block diagrams for the dsPIC30F4011 and dsPIC30F4012 devices.

FIGURE 1-1: dsPIC30F4011 BLOCK DIAGRAM



dsPIC30F4011/4012

FIGURE 1-2: dsPIC30F4012 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

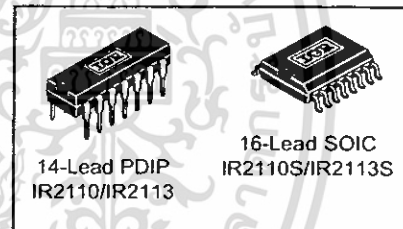
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

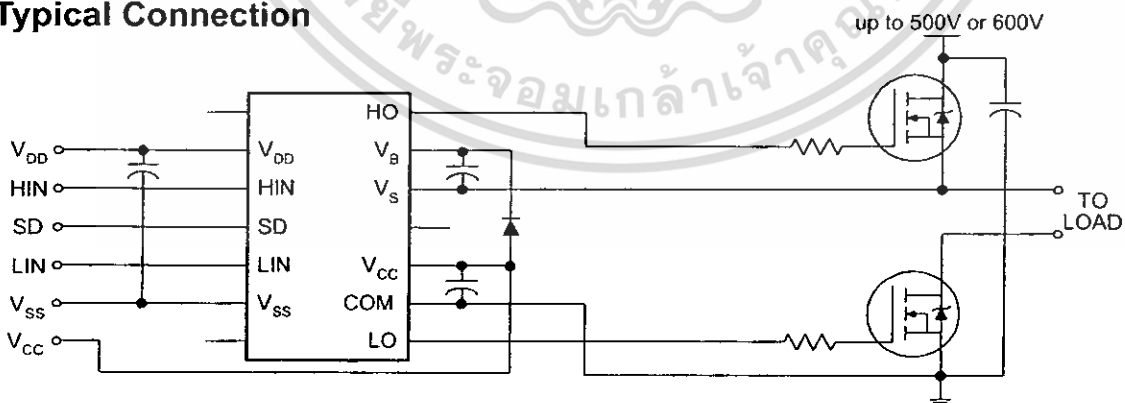
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and Design Tips for proper circuit board layout.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

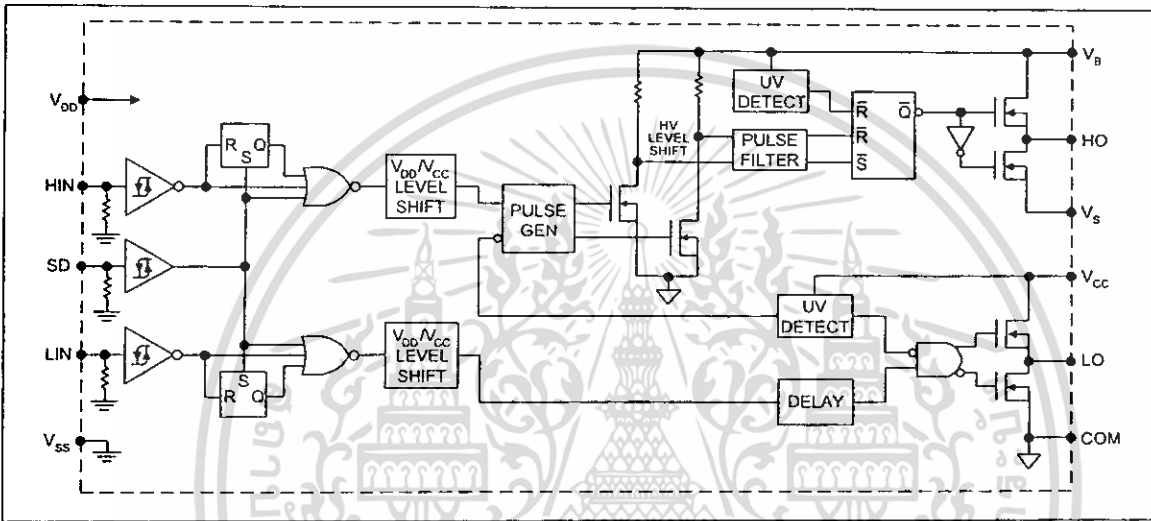
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	— —	— —	10 20		

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

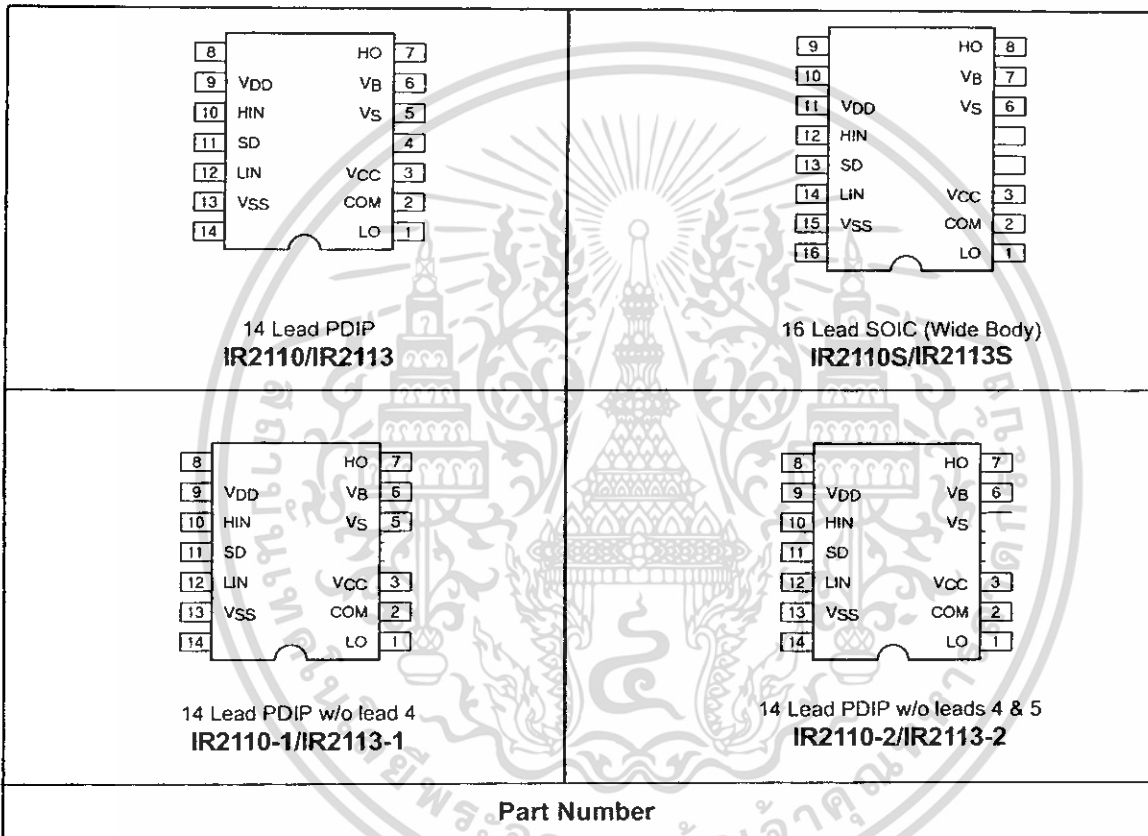
Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
V _{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V _{SS}	Logic ground
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
V _{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

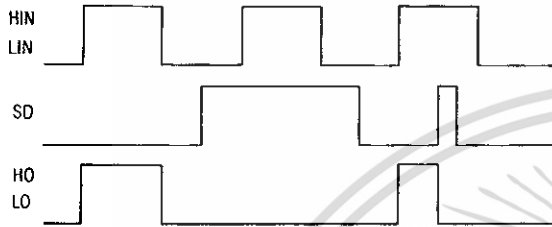


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

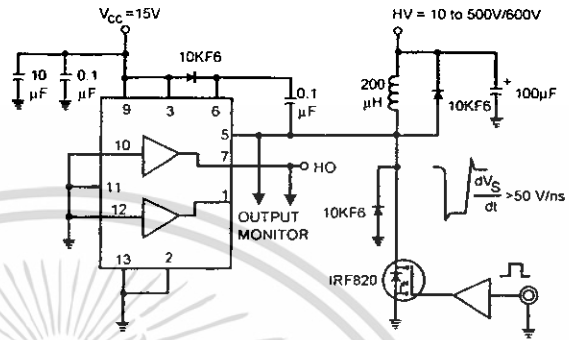


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

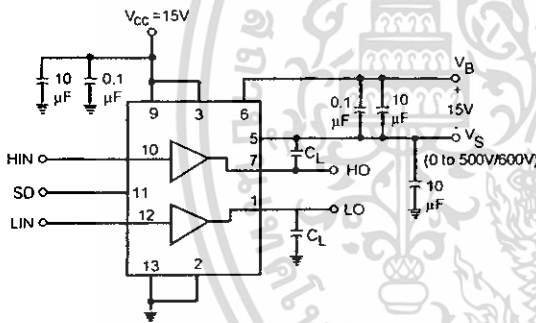


Figure 3. Switching Time Test Circuit

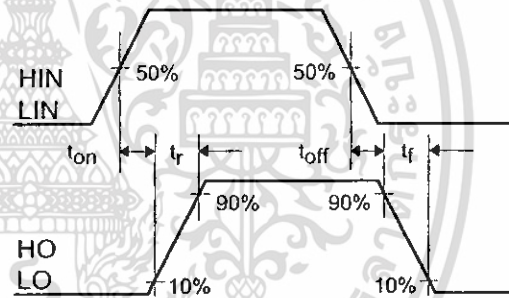


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

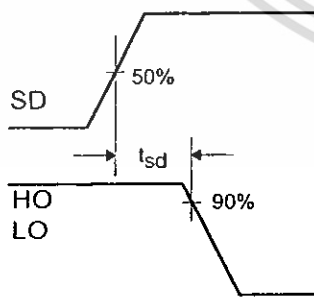


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

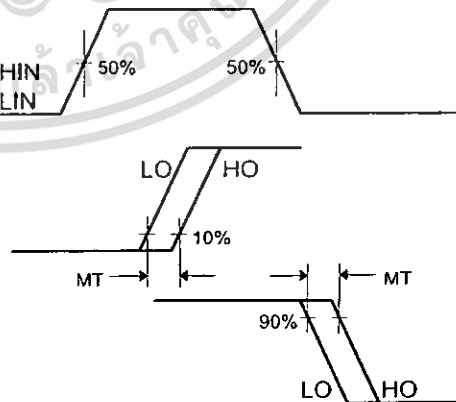
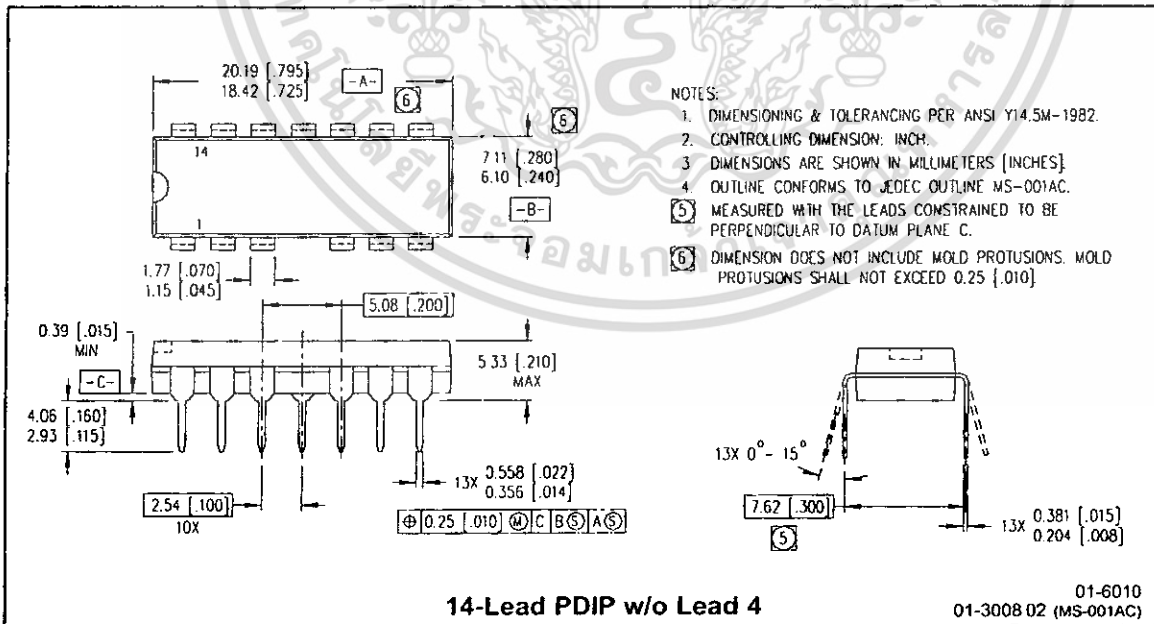
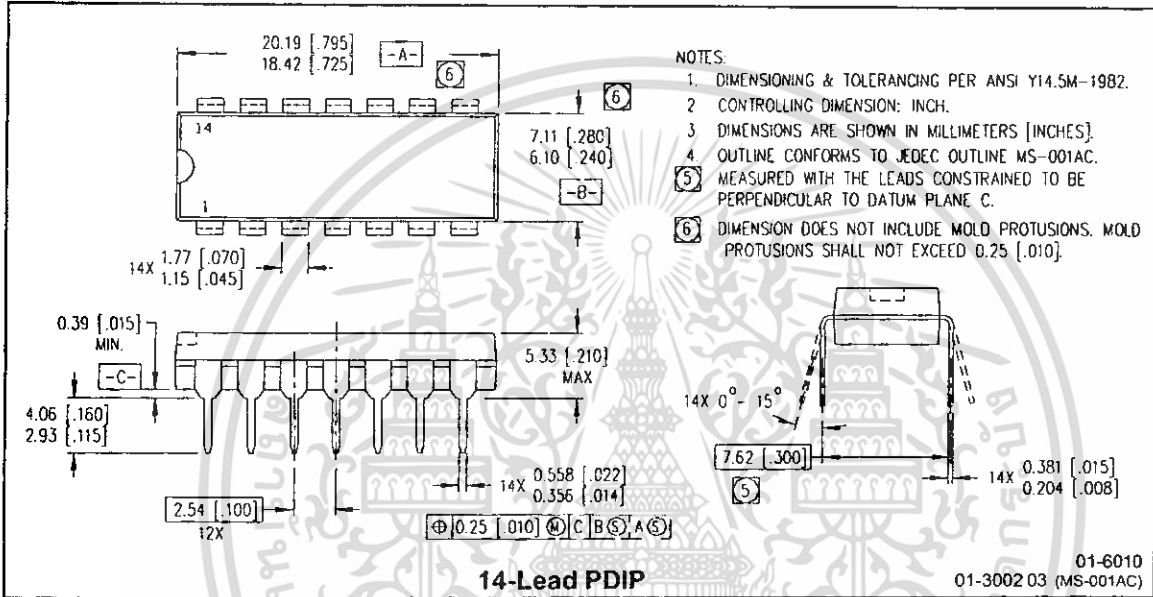


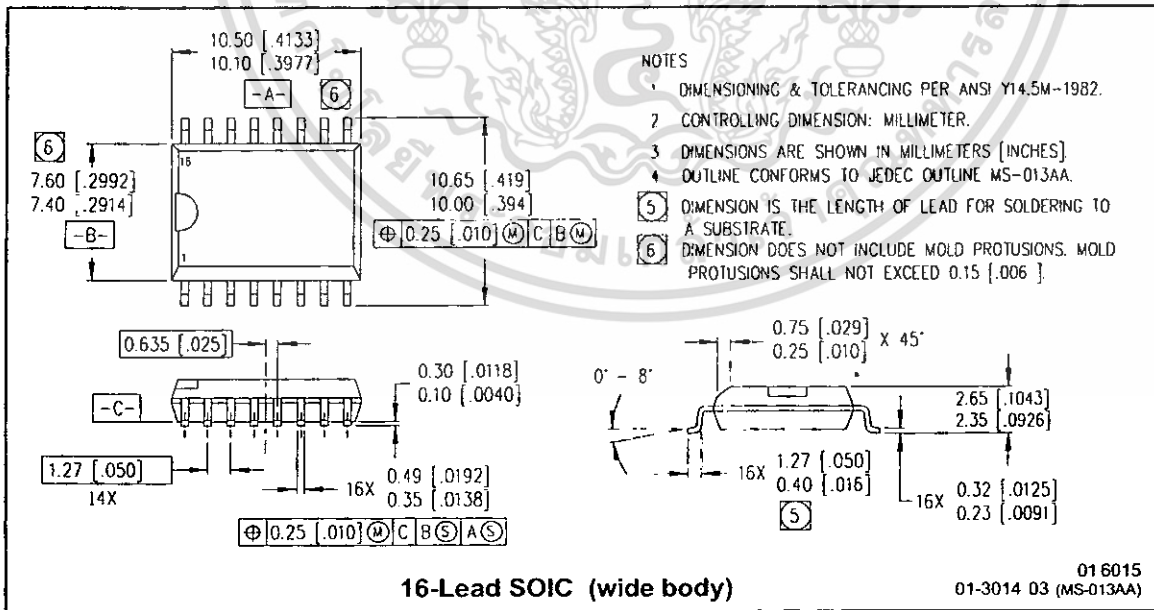
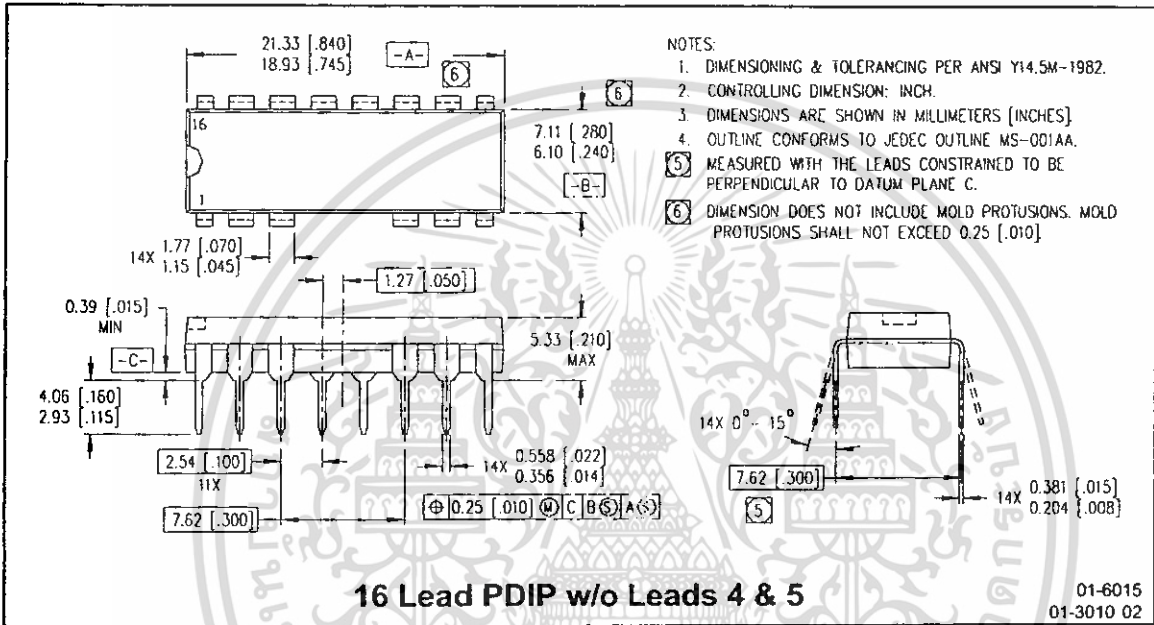
Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

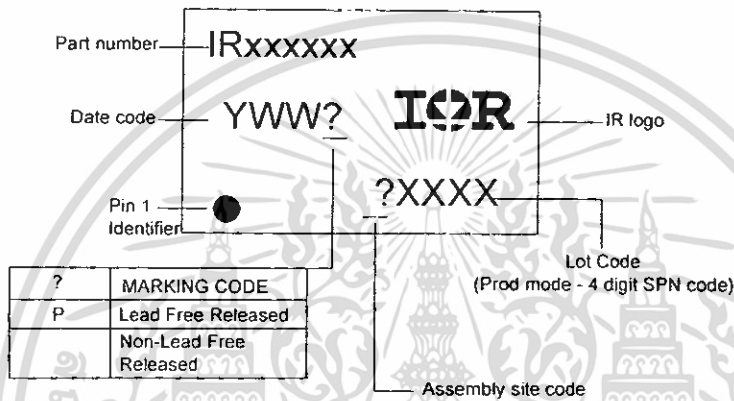
Case Outlines



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF



LEADFREE PART MARKING INFORMATION



ORDER INFORMATION

Part only available Lead Free

- 14-Lead PDIP IR2110 order IR2110PbF
- 14-Lead PDIP IR2110-1 order IR2110-1PbF
- 14-Lead PDIP IR2110-2 order IR2110-2PbF
- 14-Lead PDIP IR2113 order IR2113PbF
- 14-Lead PDIP IR2113-1 order IR2113-1PbF
- 14-Lead PDIP IR2113-2 order IR2113-2PbF
- 16-Lead SOIC IR2110S order IR2110SPbF
- 16-Lead SOIC IR2113S order IR2113SPbF