การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

D.C. MOTOR CONTROL BY FUZZY SELE-TUNING

นายนิมิต บุญภิรมย์

MR. NIMIT BOONPIROM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-255-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....31531.....
วัน, เดือน, ปี.....11 พ.ย. 2541.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D.C. MOTOR CONTROL BY FUZZY SELF - TUNING

NIMIT BOONPIROM

A THESIS SUBMITTER IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1998

ISBN 974-622-255-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง**
นักศึกษา	**นายนิมิต บุญภิรมย์**
อาจารย์ผู้ควบคุมนิพนธ์	**รศ.ดร.กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ**
ระดับการศึกษา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า**
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการนำเสนอ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จุดประสงค์เพื่อเป็นการประยุกต์ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และนำคุณสมบัติของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นการควบคุมแบบเรียนรู้ โดยอาศัยหลักการควบคุมจากฐานความรู้ ที่ได้จากคุณสมบัติของระบบและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ และทำการปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดหรือถูกรบกวนจากภายนอก เพื่อให้มีค่าสมรรถนะ ในย่านที่เหมาะสม คุณสมบัติอีกประการของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองจะไม่มีความซับซ้อนทางขบวนการทางคณิตศาสตร์ โครงสร้างของระบบควบคุมจะประกอบด้วย ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองผ่านไมโครคอมพิวเตอร์ ตัวควบคุมการขับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ ดี.ซี.ชอปเปอร์ และตัวตรวจจับความเร็วรอบ และตรวจจับกระแส การควบคุมจะควบคุมทั้งลูปควบคุมความเร็วและลูปควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ ผลการทดลองควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบสนามแม่เหล็กแยกส่วนด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จะแสดงผลการตอบสนองทั้งในระดับความเร็วและการตอบสนองเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	D.C. motor control by fuzzy self- tuning
Student	Nimit Boonpirom
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kitti Paitoonwatanakij
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1998

Abstract

In this thesis, the self-tuning fuzzy control d.c. motor is proposed. The purpose is to apply a self-tuning fuzzy controller for the d.c. seperately excited motor with speed control, which has low time constant. The presented method employs the property of self-tuning fuzzy controller without complex mathematic model. The learning, self-tuning, is based on the knowledge base which obtained from system's characterictic and expert experience. The self-tuning carries out by creating the new scaling factor in case of the instantaneous load levels or mechanical disturbance. The structure of self-tuning fuzzy controller consists of self-tuning control, d.c. chopper, speed and current sensor devices. For the control part, both close loop, speed and current control are applied. The experimental results of the fuzzy self-tuning with separate excited d.c. motor for both step response and step load in comparison with the PID controller are shown.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ดี โดยได้รับความรู้และความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ ที่ได้สอนผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ พนาฤทธิ์ เศรษฐกูล ผู้อำนวยการ ศูนย์นวตกรรม เทคโนโลยีไทย–ฝรั่ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้สอนและให้ความกรุณา สนับสนุนด้านเครื่องมือ และคำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รัชนีพร พุคยาภรณ์ พุกกะมาน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุน ทุกประการ ตลอดเวลาการศึกษาต่อ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมห้องวิจัย สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังโดยตลอด

สุดท้ายนี้ คุณอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัย ขออุทิศให้กับ บุพการี และบูรพคณาจารย์ ต่อไป

นิมิต บุญภิรมย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....		II
กิตติกรรมประกาศ.....		III
สารบัญ.....		IV
สารบัญตาราง.....		X
สารบัญภาพ.....		XIII
บทที่		
1	บทนำ.....	1
	แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์.....	2
	วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
	ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
2	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....	6
	2.1 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....	6
	2.2 สมการรูปอนุพันธ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก...	7
	2.2.1 วงจรสมมูลย์อาร์เมเจอร์.....	7
	2.2.2 วงจรสมมูลย์ของวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก.....	8
	2.2.3 สมการสร้างแรงบิด.....	8
	2.2.4 การเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าเป็นกำลังงานกล.....	9
	2.3 สมการต่อหนึ่งหน่วยของมอเตอร์.....	9
	2.3.1 ค่าแรงดันต่อหน่วยในวงจรอาร์เมเจอร์.....	10
	2.3.2 สมการหนึ่งหน่วยในวงจรอาร์เมเจอร์.....	10
	2.3.3 สมการหนึ่งหน่วยในสมการการสร้างแรงบิด	11
	2.3.4 สมการหนึ่งหน่วยในสมการความเร็วเชิงมุม	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.4 คุณสมบัติสภาวะเสถียรของการควบคุมอาร์เมเจอร์และการควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก.....	12
	2.5 การควบคุมอาร์เมเจอร์.....	13
	2.6 การควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก.....	15
	2.7 พฤติกรรมทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เส้นแรงคงที่...	18
3	ทฤษฎีฟัซซี่และการควบคุมแบบฟัซซี่.....	23
	3.1 ฟัซซี่เซต.....	23
	3.2 นิยามพื้นฐานของฟัซซี่เซต.....	24
	3.3 ตัวปฏิบัติการฟัซซี่.....	25
	3.4 ความสัมพันธ์ของฟัซซี่.....	27
	3.4.1 การปฏิบัติการบนความสัมพันธ์ฟัซซี่.....	28
	3.4.2 การคอมโพซิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี่.....	30
	3.5 ตัวแปรลิงค์จีสติค.....	31
	3.5.1 การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรลิงค์จีสติก.....	31
	3.5.2 ขอบเขตของตัวแปรลิงค์จีสติก.....	32
	3.6 กฎของฟัซซี่.....	32
	3.7 ประพจน์แบบฟัซซี่.....	32
	3.8 ตัวควบคุมฟัซซี่.....	33
	3.8.1 โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้.....	33
	3.8.2 ฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล.....	34
	3.8.3 ฐานความรู้	34
	3.8.4 กลไกการอนุมาน.....	35
	3.8.5 ดีฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล.....	37
	3.9 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.10 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้.....	38
	3.11 การกำหนดฐานความรู้.....	39
	3.11.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	40
	3.11.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลข.....	42
	3.12 ฐานของกฎ.....	42
	3.12.1 แนวทางการออกแบบฐานกฎ.....	43
	3.13 ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	45
	3.13.1 ชนิดตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	45
	3.13.2 โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self tuning	46
	3.13.2.1 สเกลแฟคเตอร์.....	47
	3.13.3 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะและปรับค่าสเกลแฟคเตอร์...	49
4	การออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์.....	51
	4.1 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจร chopper.....	51
	4.2 หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ chopper.....	54
	4.2.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ chopper ในควอดแดนท์ที่ 1.....	55
	4.2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในควอดแดนท์ที่ 2....	56
	4.2.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 2 ควอดแดนท์..	56
	4.3 การออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	58
	4.4 โครงสร้างของการควบคุมและก ารขับเคลื่อนมอเตอร์.....	66
5	การออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	72
	5.1 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	5.2 การออกแบบตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์และกระแสแบบฟัซซี่.....	73
	5.2.1 ฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล.....	74
	5.2.2 ฐานความรู้.....	75
	5.2.3 ฐานกฎ.....	80
	5.2.4 การอินเฟอเรนซ์ และการออกแบบกฎ.....	81
	5.2.5 แนวทางการออกแบบกฎ.....	81
	5.2.6 ดีฟัซซิฟิเคชั่น.....	83
	5.2.7 ภาคดีเนอร์เมอไรซ์เซชั่น.....	85
	5.2.8 การออกแบบตัวควบคุมกระแส.....	86
	5.2.9 โครงสร้างของตัวควบคุมกระแส.....	86
	5.2.10 การออกแบบส่วนประกอบของตัวควบคุมกระแส.....	87
	5.3 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงสมรรนะ.....	88
	5.3.1 การปรับค่าสมรรถนะ.....	88
	5.3.2 โครงสร้างของตัวปรับค่าสมรรถนะ.....	89
	5.3.3 การออกแบบตัวปรับสมรรถนะ.....	90
	5.4 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	93
	5.5 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	94
	5.5.1 ตัวประเมินสมรรถนะ.....	95
	5.5.2 ตัวอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี่.....	95
	5.5.3 การออกแบบตัว fuzzy inference.....	96
	5.5.4 การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	5.5.5 การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท.....	96
	5.5.6 กฎการปรับสเกลแฟคเตอร์.....	97
	5.6 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองโดยใช้การปรับดัชนีตัวถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น.....	97
6	การทดลองและผลการทดลอง.....	99
	6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง.....	99
	6.1.1 D.C. shunt wound motor separately excited.....	99
	6.1.2 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ.....	99
	6.1.3 เครื่องจำลองโหลดทางกล.....	100
	6.1.4 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	100
	6.1.5 เครื่องมือวัดไฟฟ้า	100
	6.6.2 โครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	100
	6.3 การทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	102
	6.4 การทดลองที่ 2 - การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปกติ.....	109
	6.4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยปรับแต่งค่าสเกลแฟคเตอร์.....	110
	6.5 การทดลองที่ 3 - การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับปรุงสมรรถนะ.....	121
	6.6 การทดลองที่ 4 - การทดลองควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่โดยปรับหลายความเร็ว.....	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	6.7 การทดลองที่5 - การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลง.....	147
	6.8 การทดลองที่ 6 - การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	159
	6.9 การทดลองที่ 7 - การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าดัชนีความถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวปรับปรุงสมรรถนะ.....	165
	6.10 การทดลองที่ 8 การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้าตรงโดยใช้ตัวควบคุมPID.....	168
7	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	170
	บรรณานุกรม.....	174
	ภาคผนวก ก.....	176
	ภาคผนวก ข.....	182
	ประวัติผู้เขียน.....	188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ความสัมพันธ์ของ ตัวแปรอินพุท และเอาท์พุทของการออกแบบกฎ.....	45
5.1	แสดงกฎความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมความเร็ว.....	82
5.2	แสดงกฎความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส.....	87
6.1	แสดงขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง.....	99
6.2	แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1000.....	104
6.3	แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1200.....	105
6.4	แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1400.....	106
6.5	แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1600.....	107
6.6	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	111
6.7	ตารางการกำหนดค่าสเกล ของรูปที่6.10 ค่าสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง.....	113
6.8	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	114
6.9	แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.2.....	115
6.10	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	116
6.11	แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.3.....	117
6.12	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6.13	แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.4.....	119
6.14	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	119
6.15	แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.5.....	121
6.16	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	123
6.17	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.95.....	126
6.18	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97.....	128
6.19	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.....	130
6.20	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.2.....	132
6.21	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.3.....	134
6.22	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.5.....	136
6.23	ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	137
6.24	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ในการทดลองที่ค่าสเกลแฟคเตอร์ ต่ำ ๆ.....	139
6.25	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 800 r.p.m.....	141
6.26	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 1200 r.p.m.....	143
6.27	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.....	145
6.28	แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
	1600 r.p.m.....	147
6.29	แลดงค่าสเกลแฟคเตอร์ที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่ในลูปความเร็ว.....	148
6.30	แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และการกำหนดการเบรค.....	149
6.31	แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และการกำหนดการเบรค.....	151
6.32	แสดงการกำหนดค่าในการจ่ายโหลดมอเตอร์.....	153
6.33	แสดงการกำหนดค่าในการจ่ายโหลดมอเตอร์.....	155
6.34	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	157
6.35	แสดงผลค่าสมรรถนะของการปรับสเกลแฟคเตอร์ในแต่ละรอบการทำงาน.....	158
6.36	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	159
6.37	แสดงผลของการปรับสเกลแฟคเตอร์.....	160
6.38	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	160
6.39	แสดงผลของการปรับสเกลแฟคเตอร์	161
6.40	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	163
6.41	แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง.....	164
6.42	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	164
6.43	แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง.....	164
6.44	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	166
6.45	แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง.....	167
6.46	แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด.....	168
6.47	แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง.....	169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....	7
2.2	โครงสร้างทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	12
2.3ก	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด สภาวะเสถียร.....	14
2.3ข	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกระแสสภาวะเสถียร.....	14
2.4ก,ข	แสดงกราฟสภาวะคงตัวของ การควบคุมสนามแม่เหล็ก ของ มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง ที่ $u_a = u_{a0}$	16
2.5	แสดงย่านการควบคุมอาร์เมเจอร์และการควบคุมสนามแม่เหล็ก	17
2.6	แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและกำลังมอเตอร์เมื่อควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์และควบคุมสนามแม่เหล็ก.....	18
2.7	แผนผังเชิงเส้น ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อสนามแม่เหล็กคงที่.....	19
2.8	แสดงกราฟทางเดินของรากที่ค่า b ค่าต่างๆ.....	20
2.9	แสดงการตอบสนองของความเร็ว และการตอบสนองต่อโหลดเมื่อค่า b มีค่า $\sqrt{2}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$,1	21
2.10	แสดงการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์ในค่า b ค่าต่าง ๆ	22
3.1	แสดง linguistic variable กำหนดย่านความเร็วรถ	31
3.2	แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้	34
3.3	การอนุมานโดยวิธีของ Mamdani	36
3.4	แสดงฟังก์ชันสมมาตร	40
3.5	แสดงความกว้างของจุดตัดของทั้งสองฟังก์ชัน	41
3.6	แสดงความต่อเนื่องของ เอาท์พุท	41
3.7	แสดงความไม่ต่อเนื่องของเอาท์พุท	42
3.8	ระบบควบคุมฟัซซี่แบบลูปปิดแบบฟัซซี่.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.9	ผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับและการแบ่งช่วงของเอาท์พุทเพื่อหาความสัมพันธ์ของ e และ ce.....	44
3.10	Phase plant ของ e และ ce.....	44
3.11	แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self tuning	46
3.12	แสดงค่าสมรรถนะ ทั้ง 3 ค่า ที่ใช้วัดการตอบสนองของระบบ	47
3.13	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วนการปรับสเกลแฟคเตอร์	49
4.1ก	วงจรพื้นฐานของวงจร chopper	52
4.1ข	สัญญาณแรงดันและกระแสของโหลด	52
4.2ก	แสดงทิศทางของแรงบิดและความเร็วใน 4 ควอดแดนท์	54
4.2ข	แสดงทิศทางของแรงดันและกระแส อาร์เมเจอร์ใน 4 ควอดแดนท์	54
4.3	แสดงวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ chopper ควอดแดนท์ที่ 1	55
4.4	แสดงวงจรการเบรคมอเตอร์แบบ regeneration	56
4.5	แสดงวงจร chopper แบบ 2 ควอดแดนท์ โดยใช้ IGBT.....	57
4.6	แสดงรูปคลื่นสัญญาณ ของกระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆของวงจร chopper แบบ 2 ควอดแดนท์.....	58
4.7	โครงสร้างของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 2 ควอดแดนท์.....	59
4.8	แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทของพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น.....	59
4.9	แสดงวงจรการสร้างสัญญาณ P.W.M. โดยใช้ IC. MC. 34060.....	61
4.10	แสดงรูปสัญญาณ ที่ผ่านการเลื่อนเฟส	62
4.11	แสดงรูปวงจรเลื่อนเฟส.....	62
4.12	แสดงวงจรขับเกท IGBT แบบ 2 ควอดแดนท์ โดยใช้ IC. IR2110	63
4.13	แสดงการลดลงของกระแสคอลเล็คเตอร์ (I_c) และ การเพิ่มขึ้นของแรงดันคร่อมขาคอลเล็คเตอร์และอิมิเตอร์ (V_{CE})	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.14	แสดงการต่อวงจร RCD สนับเบอร์ในchopper 2 ควอดแดนท์	65
4.15	แสดงโครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบกระตุ้นแยกด้วยไมโครคอมพิวเตอร์.....	66
5.1	แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมความเร็วและควบคุมกระแส มอเตอร์กระแสตรงแบบเรียงกัน.....	73
5.2	แสดงฟังก์ชันสามเหลี่ยมที่ใช้เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่.....	75
5.3ก	แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดความเร็ว (e).....	76
5.3ข	แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการค่าผิดพลาดความเร็ว (ce)..	76
5.4	แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่ากระแสอ้างอิง(i_{ref}).....	77
5.5	แสดงการปรับสเกลแฟคเตอร์ในระดับหยาบและระดับ ละเอียดของฟังก์ชันความ เป็น สมาชิกของอินพุท	80
5.6	แสดงการอินเฟอร์เรนซ์ของตัวแปรอินพุทและ ตัวแปรเอาท์พุทตามความสัมพันธ์ ของกฎ.....	83
5.7	แสดงการอินเฟอร์เรนซ์ โดยใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยม.....	84
5.8	แสดงการหาค่า U_3 และ U_4.....	84
5.9	การหาค่า COG จากค่า U_1 ,U_2 ,U_3,U_4.....	85
5.10	แสดงโครงสร้างของตัวปรับค่าสมรรถนะที่รวมกับ ตัวควบคุมความเร็วและตัวควบคุมกระแสแบบฟัซซี่.....	90
5.11	แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอาท์พุทของตัวปรับปรุงสมรรถนะ.....	91
5.12	แสดงฟังก์ชันความไม่เป็นเชิงเส้นของค่า ดัชนี จาก 0.5 - 2.....	93
5.13	แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ กระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง.....	94
6.1	แสดงโครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า ด้วยตัวเอง.....	101
6.2	แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วของ อาร์เมเจอร์ เมื่อจ่ายแรงดัน 150 โวลท์	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.3	แสดงรูปการขยายขอบขาขึ้นของสัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์.....	104
6.4	แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่วัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 100 โวลท์.....	105
6.5	แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 120 โวลท์.....	106
6.6	แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 142 โวลท์.....	107
6.7	แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 180 โวลท์.....	108
6.8	แสดงลักษณะของรูปสัญญาณกระแสอาร์เมเจอร์ ในขณะที่มอเตอร์ ไร้โหลด.....	109
6.9	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแส อาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope	112
6.10	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาด ที่บันทึกจากตัวควบ คุม ฟัซซี่.....	113
6.11	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแส อาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope	114
6.12	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและ ค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจาก ตัวควบคุมฟัซซี่.....	115
6.13	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแส อาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope	116
6.14	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและ ค่าผิดพลาดที่บันทึกจาก ตัวควบคุมฟัซซี่	117
6.15	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแส อาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.17	แสดงผลการตอบสนองความเร็วและกระแส จาก digital storage scope..	120
6.18	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่.....	121
6.19	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.9.....	124
6.20	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.9.....	124
6.21	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.95.....	125
6.22	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.95.....	126
6.23	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.97.....	127
6.24	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.97.....	128
6.25	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.....	129
6.26	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.....	130
6.27	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.2.....	131
6.28	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.2.....	132
6.29	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.3.....	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.31	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.5.....	135
6.32	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.5.....	136
6.33	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.97 และใช้สเกลแฟคเตอร์ ในตารางที่ 6.19.....	138
6.34	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.97.....	139
6.35	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 800 r.p.m.....	140
6.36	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาด ที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 800 r.p.m.....	141
6.37	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1200 r.p.m.....	142
6.38	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้ จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1200 r.p.m	143
6.39	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.....	144
6.40	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้ จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.....	145
6.41	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1600 r.p.m.....	146
6.42	แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้ จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1600 r.p.m.....	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.44	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดของ ความเร็ว เมื่อจ่ายโหลด 25 % ของพิกัดมอเตอร์ที่บันทึก จากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.....	150
6.45	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ เมื่อจ่ายโหลด 50 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.	151
6.46	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาด ของความเร็ว เมื่อ จ่ายโหลด 50 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.....	152
6.47	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแส อาร์เมเจอร์ เมื่อจ่ายโหลด 75% ของพิกัดมอเตอร์ที่วัด ได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.....	153
6.48	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาด ของความเร็ว เมื่อ จ่ายโหลด 75% ของพิกัดมอเตอร์ บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่.....	154
6.49	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ เมื่อจ่ายโหลด 100 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.....	155
6.50	แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดของความเร็ว เมื่อจ่าย โหลด 100 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่	156
6.51	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะเมื่อมีการ ปรับค่าด้วย ตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ	158
6.52	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและ ค่าสมรรถนะเมื่อมีการ ปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ.....	159
6.53	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะเมื่อมีการ ปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ.....	161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.54	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะโดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 5 รอบ.....	163
6.55	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะโดยการปรับค่า p ด้วยตัวเองโดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ.....	165
6.56	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะโดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ.....	167
6.57	แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะโดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ.....	168
6.58	โครงสร้างของตัวควบคุมแบบ PID โดยสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม simulink.....	170
6.59	แสดงผลกี่ตอบสนองของสัญญาณความเร็ว เมื่อเปลี่ยนระดับความเร็วและเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลองจากโปรแกรม simulink	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ตัวควบคุมฟัซซี่โลจิก นับว่ามีบทบาทมากในระบบควบคุมในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดใหญ่หรือในระบบที่มีความซับซ้อนมาก เช่น ระบบควบคุมของ รถยนต์, ระบบควบคุมการผลิต หรือระบบแขนกล เป็นต้น จะพบว่าการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ ที่กล่าวนี้ จะต้องจำลองโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก และบางระบบจะเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดจากการเสื่อมของอุปกรณ์หรือได้รับการรบกวนจากภายนอกจะต้องปรับค่า พารามิเตอร์ใหม่ หรือในกรณีที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์หรือแบบจำลองที่คณิตศาสตร์ของระบบที่จะควบคุม

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาตัวควบคุมแบบดั้งเดิมซึ่งอ้างอิงกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาก มาเป็นตัวควบคุมที่อาศัยฐานความรู้ของมนุษย์ หรือฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ หรือประสบการณ์จากพฤติกรรมของกระบวนการนั้นในอดีต มาสร้างตัวควบคุม ตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า “ ตัวควบคุมแบบฐานความรู้” ซึ่งตัวควบคุมฟัซซี่โลจิกมีหลักการควบคุมแบบฐานความรู้ หรือเป็นตัวควบคุมที่ใช้กับค่าต่าง ๆ ที่มีความคลุมเครือได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ประยุกต์ตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติและตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง มาใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง แม้ว่าคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงจะมีคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้น แต่หลังจากการพัฒนาการขับเคลื่อนได้ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาทดแทนการใช้รีเลย์ หรืออุปกรณ์แบบเก่า ซึ่งผลที่ได้จาก วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น วงจรอินเวอร์เตอร์ หรือคอนเวอร์เตอร์ จะมีผลทำให้กระบวนการ เดิมไม่เป็นเชิงเส้น การใช้ตัวควบคุมฟัซซี่มาควบคุมมอเตอร์กระแสตรง จะช่วยลดในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม และยังมีการเรียนรู้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในกรณีที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์มาก่อน โดยตัวควบคุมฟัซซี่จะเรียนรู้และปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่จะควบคุม ด้วยตัวเอง เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์

1. การใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง กับกระบวนการที่มีคาบเวลาคงที่ (time constant) ต่ำ และมีโมเมนต์แรงเฉื่อย (moment of inertia) สูง เช่น โหลดมอเตอร์ เป็นต้น

2. สร้างตัวควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และควบคุมกระแสเพื่อเพิ่มอัตราเร่งในการตอบสนองของความเร็ว และรักษาระดับแรงบิดให้คงที่ทุกย่านความเร็ว

3. ปรับค่าสมรรถนะ โดยเพิ่มลูปหรือการวนรอบของตัวควบคุมฟัซซี่เพื่อปรับค่าสมรรถนะระยะสั้นให้มีเวลา การเข้าถึงเร็ว และมีอัตราค่าพุ่งเกินของความเร็วต่ำ

4. มีการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ และมีการเรียนรู้ของตัวควบคุม จากรูปแบบที่ประมาณค่าไว้

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษา และออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2. เพื่อศึกษา และออกแบบการปรับค่าสมรรถนะ โดยการสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ปรับค่าสมรรถนะของอัตราการพุ่งเกิน และลดเวลาการเข้าถึงของความเร็วมอเตอร์

3. เพื่อสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอปเปอร์ โดยใช้ ไอ.จี.บี.ที. ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบสนามแม่เหล็กแยกส่วน และสนามแม่เหล็กถาวร ขนาดไม่เกิน 1.5 กิโลวัตต์ ขับเคลื่อนแบบ 2 ควอดแดนท์

4. เพื่อสร้างชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ และกระแสมอเตอร์ชนิด 2 ลูปแบบต่อเรียงกัน โดยมีลูปควบคุมกระแสอยู่ภายใน และลูปควบคุมความเร็วอยู่ภายนอก

5. เพื่อสร้าง และออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเชิงประมาณ ให้ได้ขอบเขตตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบ และสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ และปรับค่าสมรรถนะ โดยประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ประกอบด้วยลูปความเร็ว และลูปกระแส และสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ ดี.ซี. ชอปเปอร์ ควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์แบบ 2 ควอดแดนท์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด บทดังนี้

บทที่1 กล่าวถึง แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์ วิธีการนำตัวควบคุมฟัซซี่มาประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบกระตุ้นแยก แนวคิดในการนำเสนอ จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รายละเอียดโดยรวมของบทต่าง ๆ ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก สมการดิฟเฟอร์เรนเชียลและภาพบล็อกส่วนต่าง ๆ ของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สมการในรูปต่อหน่วย คุณสมบัติสภาวะเสถียรของการควบคุมอาร์เมเจอร์และการควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก หลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์และควบคุมสนามแม่เหล็ก พฤติกรรมทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เส้นแรงแม่เหล็กคงที่

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีฟัซซี่และการควบคุมแบบฟัซซี่ ประกอบด้วย นิยามพื้นฐานของฟัซซี่เซต ตัวปฏิบัติการฟัซซี่ ความสัมพันธ์และการคอมโพซิชั่นแบบฟัซซี่ ประพจน์แบบฟัซซี่ ตัวควบคุมฟัซซี่ โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฐานความรู้ ชนิดของตัวควบคุมแบบฐานความรู้ แนวทางในการออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุม ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง และโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองแบบ self - tuning

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ โครงสร้างของวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่วนประกอบของวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ ภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าความถี่ ข้อพิจารณาในการเลือกความถี่ การออกแบบวงจรขับโหลด การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของ IGBT การออกแบบวงจรสนับเบอร์ หน้าที่ของวงจรสนับเบอร์ทำงานขณะตัดกระแส การออกแบบวงจรสนับเบอร์

บทที่ 5 กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบเรียงกันแบบฟัซซี่ ส่วนประกอบของตัวควบคุมมอเตอร์แบบฟัซซี่ การออกแบบตัวควบคุมความเร็ว แบบฐานความรู้ ในส่วนต่าง ๆ การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท สเกลแฟคเตอร์ สเกลแฟคเตอร์ในระดับหยาบ สเกลแฟคเตอรในระดับละเอียด การอินเฟอเรนซ์และการออกแบบกฎ แนวทางการออกแบบกฎ ดีฟัซซิฟิเคชั่น ภาคดีเนอร์เมอไรซ์เซชั่น การออกแบบตัวควบคุมกระแส โครงสร้างของตัวควบคุมกระแส การออกแบบส่วนประกอบของตัวควบคุมกระแส การปรับปรุงค่าสมรรถนะ โครงสร้างของตัวปรับค่าสมรรถนะ ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

บทที่ 6 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลอง ซึ่งแบ่งเป็นส่วนย่อยดังนี้

- ทดลองวัดสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์จากตัวขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ chopper ที่สร้างขึ้น
- ทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ โดยทดลองปรับค่าสเกลแฟคเตอร์เป็นค่าต่าง ๆ เพื่อดูความสัมพันธ์ของสเกลแฟคเตอร์ที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของการตอบสนองที่ได้
- ทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ มีตัวปรับค่าสมรรถนะ โดยทดลองเพิ่มตัวปรับสมรรถนะลงในตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ และปรับค่าดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นในค่าต่าง ๆ เพื่อดูผลการตอบสนองและค่าสมรรถนะที่ได้
- ทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองโดยการทดลองให้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองเรียนรู้ และปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่ด้วยตัวเอง
- ทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองที่มีตัวปรับค่าสมรรถนะ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 แต่ให้ตัวควบคุมฟัซซี่ปรับค่าดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นด้วยตัวเอง
- ทดลองแบบจำลอง ตัวควบคุม PID. เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม simulink เพื่อดูผลเปรียบเทียบ กับตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

เป็นการสรุปผลการทดลอง ในด้านข้อดีของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองนี้จะง่ายในการปรับพารามิเตอร์กว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิมซึ่งจะต้องปรับแต่งค่าทางคณิตศาสตร์ และสามารถนำไปควบคุมมอเตอร์กระแสตรงในย่านต่าง ๆ โดยเก็บค่าสมรรถนะโดยประมาณของมอเตอร์ในย่านต่าง ๆ ไว้และให้ตัวควบคุมปรับแต่งให้ได้ค่าที่เหมาะสม และกล่าวถึงปัญหาการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำวิจัย และแนวทางในการพัฒนา ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

2.1 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited D.C. motor)

มอเตอร์กระแสตรงไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเป็นมอเตอร์ที่สามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากวงจรอาร์มาเจอร์และวงจรสนามแม่เหล็กแยกออกจากกันเป็นอิสระ [1][2][3] ทำให้ควบคุมลักษณะสมบัติความเร็ว-แรงบิดให้ใกล้เคียงกับลักษณะสมบัติในอุดมคติได้ การควบคุมจะควบคุมได้ 2 ส่วน คือ ควบคุมแรงดันที่วงจรอาร์เมเจอร์หรือจะควบคุมแรงดันวงจรสนามแม่เหล็ก ซึ่งการควบคุมแรงดันจะเป็นการเพิ่มลดแรงดันโดยวิธีต่อตัวต้านทานอนุกรมหรือใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังก็ได้โดยทั่วไปการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะใช้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้ หรือวงจรชอปเปอร์ การควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์และการควบคุมวงจรสนามแม่เหล็กจะให้ผลการตอบสนองของแรงบิดที่แตกต่างกันดังจะกล่าวต่อไป

ในการพิจารณาเลือกมอเตอร์กระแสตรงเพื่อใช้ในงานควบคุมความเร็วจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะสมบัติของภาระและ ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ด้วย หากโหลดต้องการผลตอบสนองทางกลอย่างรวดเร็วโรเตอร์ของมอเตอร์ ควรมีความยาวมาก ๆ เทียบกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพื่อลดความเฉื่อยของของมวลโรเตอร์ และหากภาระต้องการแรงบิดสูงก็ควรเลือกมอเตอร์ที่มีขดลวดชดเชยที่ขั้วแม่เหล็กเพื่อลดปฏิกริยาอาร์มาเจอร์และลดค่าคงที่เวลาของวงจรอาร์มาเจอร์ด้วย แต่ขดลวดชดเชยก็มีผลเสียคือทำให้กระแสอาร์มาเจอร์ไม่เรียบเท่าที่ควรสำหรับมอเตอร์ขับที่มีขนาดไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ เช่น มอเตอร์ขับตัวป้อนให้เครื่องมือกล และมอเตอร์เซอร์โว มักใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร [2] [3][4]

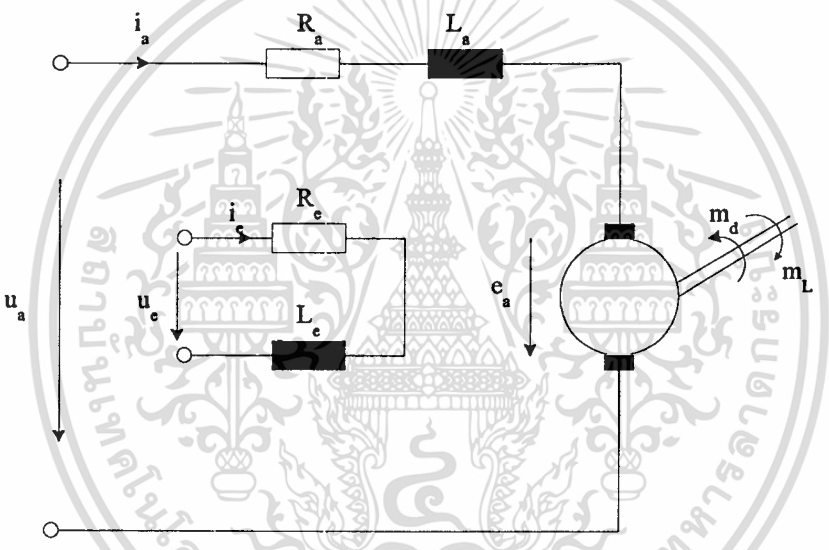
ในบทนี้จะขอกล่าวถึงโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกและคุณลักษณะของการควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์และการควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ของความเร็วและการสร้างแรงบิด ในสภาวะไร้โหลดและสภาวะมีโหลดโดยจะแสดงในรูปของสมการต่อหนึ่งหน่วย เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างตัวควบคุมกระแสและตัวควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมการรูปอนุพันธ์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงส่วนประกอบทางวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก จากรูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ซึ่งประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ วงจรอาร์เมเจอร์ วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก และ ส่วนที่เปลี่ยนเป็นพลังงานกล [1]

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก



2.2.1 วงจรสมมูลย์อาร์เมเจอร์

วงจรอาร์เมเจอร์เป็นส่วนหมุนของมอเตอร์จะรับพลังงานไฟฟ้าโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ จากรูปวงจรจะประกอบด้วยค่า R_a และ L_a ของขดลวดอาร์เมเจอร์ เขียนเป็นวงจรสมมูลย์ได้ดังนี้

$$u_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \qquad (2.1)$$

$$e_a = K_1 \phi_e \omega \qquad (2.2)$$

กำหนดให้

R_a = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

L_a = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e_a = แรงดันต้านกลับที่สร้างขึ้นที่วงจรอาร์เมเจอร์

i_a = กระแสที่ไหลในวงจรอาร์เมเจอร์

u_a = แรงดันที่ขั้วของวงจรอาร์เมเจอร์

ϕ_e = เส้นแรงแม่เหล็กจากวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

K_1 = ค่าคงที่ของมอเตอร์

ω = ความเร็วเชิงมุมที่เพลาของมอเตอร์

2.2.2 วงจรสมมูลย์ของวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

เป็นวงจรที่สร้างสนามแม่เหล็กให้วงจรอาร์เมเจอร์จะอยู่ในส่วนที่อยู่กับที่ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก ประกอบขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กพันอยู่บนขั้วแม่เหล็ก เขียนเป็นวงจรสมมูลย์ได้ดังนี้

$$u_e = i_e R_e + N_e \frac{d\phi_e}{dt} \qquad (2.3)$$

กำหนดให้

u_e = แรงดันจ่ายวงจรสนามแม่เหล็ก

R_e = ความต้านทานของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

i_e = กระแสที่ไหลในวงจรสนามแม่เหล็ก

N_e = จำนวนรอบขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.2.3 สมการการสร้างแรงบิด

การสร้างแรงบิดที่เพลาของมอเตอร์ เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มอเตอร์จะหาได้จาก

$$m_d = K_2 \phi_e i_a \qquad (2.4)$$

K_2 = ค่าคงที่ของมอเตอร์

ในระบบกลชนิดหมุน จากกฎของนิวตันจะหาความสัมพันธ์ของโมเมนต์แรงเฉื่อย ได้จากสมการที่ (2.5)

$$J\frac{d\omega}{dt} = m_d - m_L \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการแรงบิดของมอเตอร์จะได้ดังสมการที่ (2.6) (เมื่อไม่คิดแรงเสียดทาน)

$$m_d = J\frac{d\omega}{dt} + m_L \qquad (2.6)$$

กำหนดให้

J = โมเมนต์แรงเฉื่อย

ω = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

m_d, m_L = แรงบิดของมอเตอร์และแรงบิดของโหลด ตามลำดับ

2.2.4 การเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าเป็นกำลังงานกล

จากสมการที่ (2.2) และ (2.4) จะได้

$$ei_a = \frac{K_1}{K_2} m_d \omega \qquad (2.7)$$

กำหนดให้

$e_a i_a$ = กำลังไฟฟ้า (electrical power :Pe)ที่จ่ายให้มอเตอร์

$m_d\omega$ = พลังงานกลที่มอเตอร์สร้างขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ (mechanical power develop :Pm)

m_d, m_L = แรงบิดของมอเตอร์และแรงบิดของโหลด ตามลำดับ

2.3 สมการต่อหนึ่งหน่วย ของมอเตอร์ (per - unit system or normalization)

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ให้เป็นค่าต่อหน่วยเพื่อให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยนำค่าตัวแปรแต่ละค่าหารด้วยค่าพิกัด การหาสมการของตัวแปรที่พิกัด

$$u_{a0} = e_o = K\phi_{e0}\omega_0 \qquad (2.8)$$

$$i_{a0} = \frac{u_{a0}}{R_a} \qquad (2.9)$$

$$u_{e0} = i_{e0}R_e \qquad (2.10)$$

$$m_0 = K_2\phi_{e0}i_{e0} \qquad (2.11)$$

กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

u_{a0} = แรงดันอาร์เมเจอร์ที่พิกัด

e_0 = แรงดันย้อนกลับของอาร์เมเจอร์ที่พิกัด

i_{a0} = กระแสอาร์เมเจอร์ที่พิกัด

u_{e0} = แรงดันสร้างสนามแม่เหล็กที่พิกัด

m_0 = แรงบิดที่พิกัดมอเตอร์

ϕ_{e0} = เส้นแรงแม่เหล็กที่พิกัด

ω_0 = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ที่พิกัด

2.3.1 ค่าแรงดันต่อหน่วยในวงจรอาร์เมเจอร์

$$\frac{u_a}{u_{a0}} = \frac{i_a R_a}{u_{a0}} + \frac{L_a \frac{di_a}{dt}}{u_{a0}} + \frac{e_a}{u_{a0}} \qquad (2.12)$$

$$\frac{u_a}{u_{a0}} = \frac{i_a}{i_{a0}} + T_a \frac{d\left(\frac{i_a}{i_{a0}}\right)}{dt} + \frac{e_a}{u_{a0}} \qquad (2.13)$$

โดยที่ค่าคงที่ทางไฟฟ้า (electrical time constant) ของวงจรอาร์เมเจอร์ กำหนดให้เท่ากับ T_a

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}$$

แทนค่า T_a ในสมการที่ 2.13 จะได้

$$T_a \cdot \frac{d\left(\frac{i_a}{i_{a0}}\right)}{dt} = \frac{u_a}{u_{a0}} - \frac{i_a}{i_{a0}} - \frac{\omega}{\omega_0}\frac{\phi_e}{\phi_{e0}} \qquad (2.14)$$

2.3.2 สมการหนึ่งหน่วยในวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

$$\frac{u_e}{u_{e0}} = \frac{i_e R_e}{u_{e0}} + \frac{N_e \frac{d\phi_e}{dt}}{u_{e0}} \qquad (2.15)$$

กำหนดให้

T_{e0} = ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กโดยจะได้จาก

$$T_{e0} = N_e \frac{\phi_{e0}}{u_{e0}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f\left(\frac{\phi_e}{\phi_{e0}}\right)$ = ฟังก์ชันการแปลงกลับหนึ่งหน่วยของ magnetization curve

แทนค่า T_ω ในสมการ (2.15) จะได้

$$T_{e0}\frac{d\left(\frac{\phi_e}{\phi_{e0}}\right)}{dt} = \frac{u_e}{u_{e0}} - f\left(\frac{\phi_e}{\phi_{e0}}\right) \qquad (2.16)$$

2.3.3. สมการหนึ่งหน่วยในสมการการสร้างแรงบิด

กำหนดให้

T_{mn} = ค่าคงที่ทางกล (Mechanical Time Constant)

$$T_{mn} = \frac{J\omega_0}{m_0}$$

แทนค่า T_{mn} ในสมการที่ (2.6) จะได้

$$T_{mn}\frac{d\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}{dt} = \frac{i_a}{i_{a0}}\frac{\phi_e}{\phi_{e0}} - \frac{m_L}{m_0} \qquad (2.17)$$

2.3.4. สมการหนึ่งหน่วยในสมการความเร็วเชิงมุม (angular velocity)

กำหนดให้

ε = มุมการเคลื่อนที่ของเพลา (เรเดียน)

T_e = ค่าเวลาคงที่ของความเร็วเชิงมุม

$$T_e = \frac{\varepsilon}{\omega_0} \qquad (2.18)$$

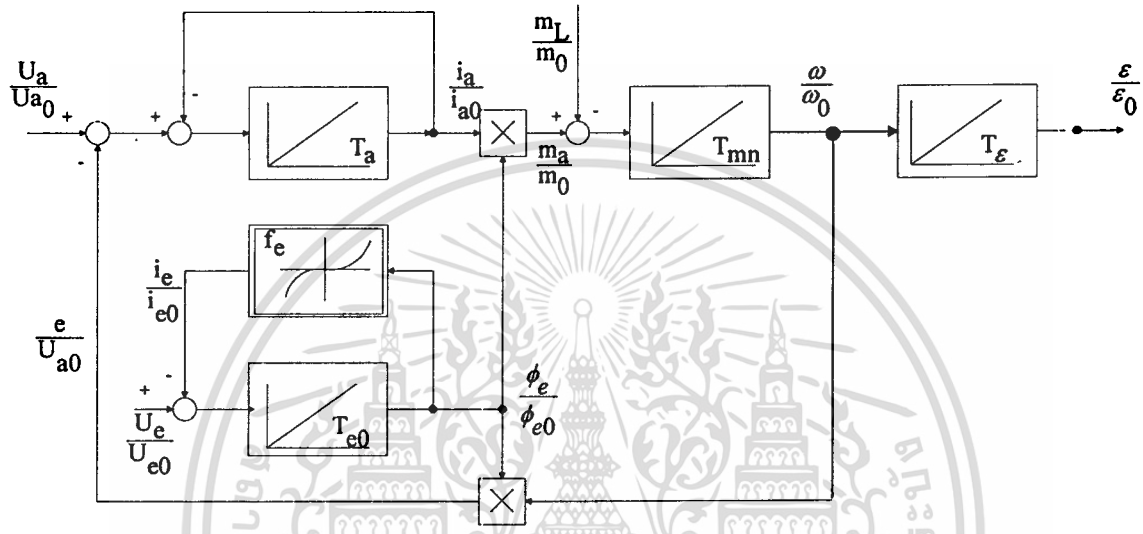
จะได้

$$T_e\frac{d\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)}{dt} = \frac{\omega}{\omega_0} \qquad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าสมการหนึ่งหน่วยในหัวข้อที่ (2.3.1-2.3.4) เราสามารถเขียนโครงสร้างทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังรูปที่ 2.2

รูปที่2.2 โครงสร้างทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



2.4 คุณสมบัติสภาวะเสถียรของการควบคุมอาร์เมเจอร์และการควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก

(Steady State Characteristic with armature and Field Control)

จากสมการที่ (2.13) (2.14) และ (2.17) จะแทนค่าอนุพันธ์ของตัวแปรเท่ากับศูนย์ กำหนดให้

$$T_a \frac{d\left(\frac{i_a}{i_{a0}}\right)}{dt} = 0$$

$$T_{eo} \frac{d\left(\frac{\phi_e}{\phi_{e0}}\right)}{dt} = 0$$

$$T_{mn} \frac{d\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}{dt} = 0$$

เขียนสมการสภาวะเสถียรได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{u_a}{u_{a0}} - \frac{i_a}{i_{a0}} - \frac{\omega}{\omega_0}\frac{\phi_e}{\phi_{e0}} = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{u_e}{u_{e0}} - f\left(\frac{f_e}{f_{e0}}\right) = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{i_a}{i_{a0}}\frac{f_e}{f_{e0}} - \frac{m_L}{m_0} = 0 \quad (2.22)$$

กำหนดให้

b = ค่าหนึ่งหน่วยของเส้นแรงแม่เหล็ก

$$b = \frac{\phi_e}{\phi_{e0}} \leq 1$$

แทนค่าในสมการที่ (2.20) (2.23) และ (2.24)

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1}{b}\frac{u_a}{u_{a0}} - \frac{1}{b^2}\frac{m_L}{m_0} \quad (2.23)$$

$$\frac{i_a}{i_{a0}} = \frac{1}{b}\frac{m_L}{m_0} \quad (2.24)$$

การควบคุมมอเตอร์สภาวะเสถียร สามารถหาฟังก์ชันได้จากสมการที่ (2.23)และ (2.24)

$$\frac{\omega}{\omega_0} = f_1\left(\frac{u_a}{u_{a0}}, \frac{m_L}{m_0}\right) \quad (2.25)$$

และ

$$\frac{i_a}{i_0} = f_2\left(\frac{m_L}{m_0}\right) \quad (2.26)$$

สมการที่ (2.25) และ (2.26) สามารถสร้างเป็นกราฟเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ (ดังรูปที่ 2.3ก และ 2.3ข)

2.5 การควบคุมอาร์เมเจอร์

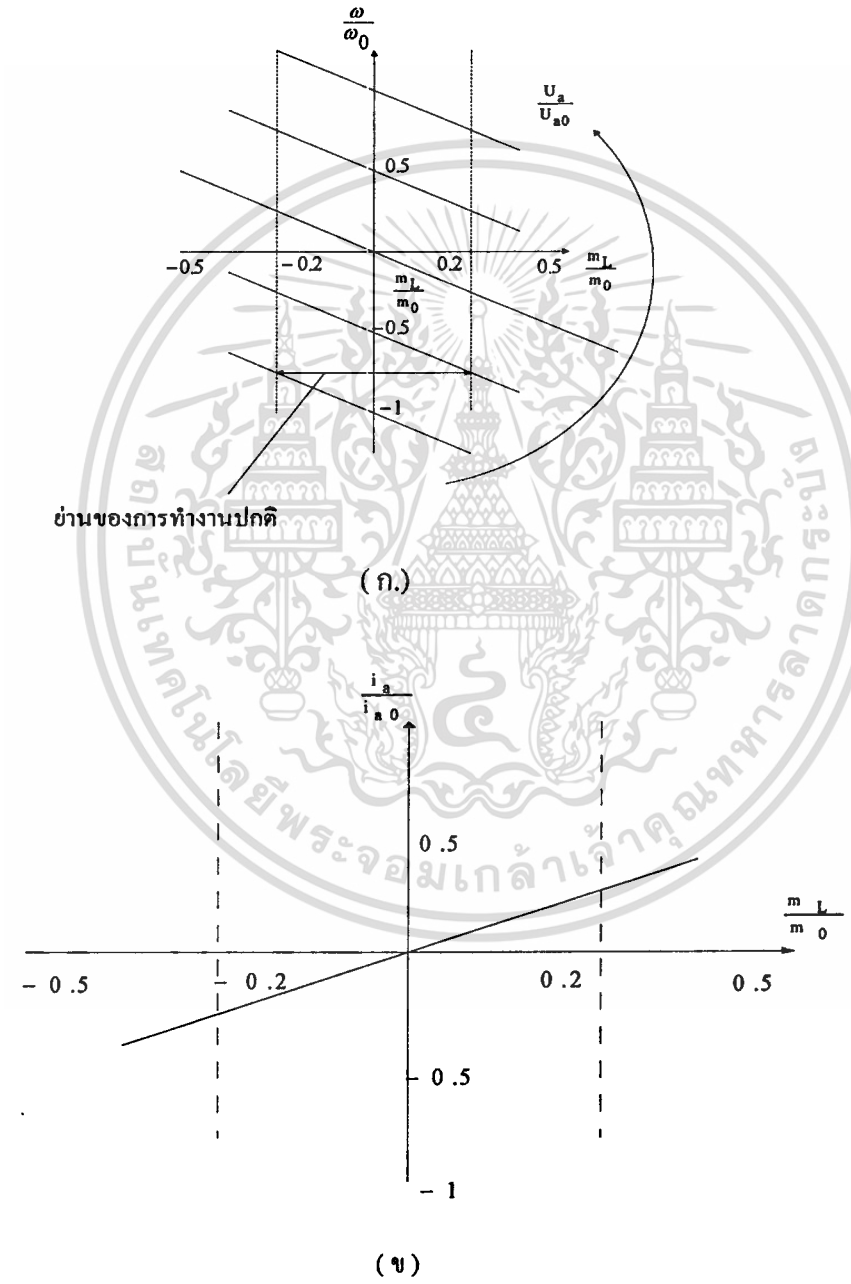
จากรูปที่ 2.2 และสมการที่ (2.23) ถ้าค่า b = 1 แสดงว่าสนามแม่เหล็กเท่ากับพิกัด สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{u_a}{u_{a0}} - \frac{m_L}{m_0} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{i_a}{i_{a0}} = \frac{m_L}{m_0} \qquad (2.28)$$

รูปที่ 2.3 **ก. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด สภาวะเสถียร**
ข. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกระแสสภาวะเสถียร



จากรูปที่ 2.23 ก. มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ทั้ง 4 ควอดแดนท์คือสามารถกลับทิศทางของแรงบิดและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้การควบคุมความเร็วของอาร์เมเจอร์จะปรับได้ทั้งแรงดันบวกและแรงดันลบ โดยปรับสูงสุดเท่ากับแรงดันที่พิกัด (U_{aN}) เท่านั้น รูปที่ 2.23 ข. แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและกระแสอาร์เมเจอร์

กระแสของอาร์เมเจอร์จะเป็นสัดส่วนกับแรงบิด โดยไม่แปรค่าตามค่าแรงดันและความเร็วรอบ ค่ากระแสและแรงบิดที่เป็นค่าเนอเมอไรซ์จะคิดในสภาวะที่หยุดนิ่งหรือล๊อคโรเตอร์ ซึ่งมีค่าประมาณ 8-10 เท่าของค่าพิกัดการทำงานในย่านปกติของกระแสและแรงบิดจะอยู่ในย่าน

$$-0.2 \leq \frac{m_L}{m_0} = \frac{i_a}{i_{a0}} \leq 0.2 \qquad (2.29)$$

2.6 การควบคุมวงจรสนามแม่เหล็ก (Field Control)

การควบคุมอีกแบบหนึ่ง เป็นการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการลดเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะควบคุมค่า b ในสมการที่ 2.24 นั่นเอง ย่านการควบคุมจะอยู่ในย่าน $-1 \leq b \leq 1$

จุดประสงค์ของการลดเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น ในขณะที่โหลดลดลง หรือในช่วงโหลดมีค่าน้อยเพราะการลดเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะทำให้แรงบิดลดลง ฉะนั้นการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กจะใช้ในกรณีที่ค่า U_a มีค่าเท่ากับพิกัดเพราะการเพิ่มค่า U_a เพื่อให้ความเร็ว สูงขึ้น U_a จะเกินค่าพิกัด ถ้าเปลี่ยนแปลงค่า $\frac{u_a}{u_{ao}} = \pm 1$ ในสมการที่ (2.23) จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า b จะทำให้ความชันของความสัมพันธ์ ระหว่าง $\frac{\omega}{\omega_o}$ และ $\frac{m_L}{m_o}$ เปลี่ยนไป โดยเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว และแรงบิดจะตัดกันที่

สภาวะไม่มีโหลด $\quad m_L = 0, \quad \frac{\omega_{NL}}{\omega_0} = \frac{1}{b}$

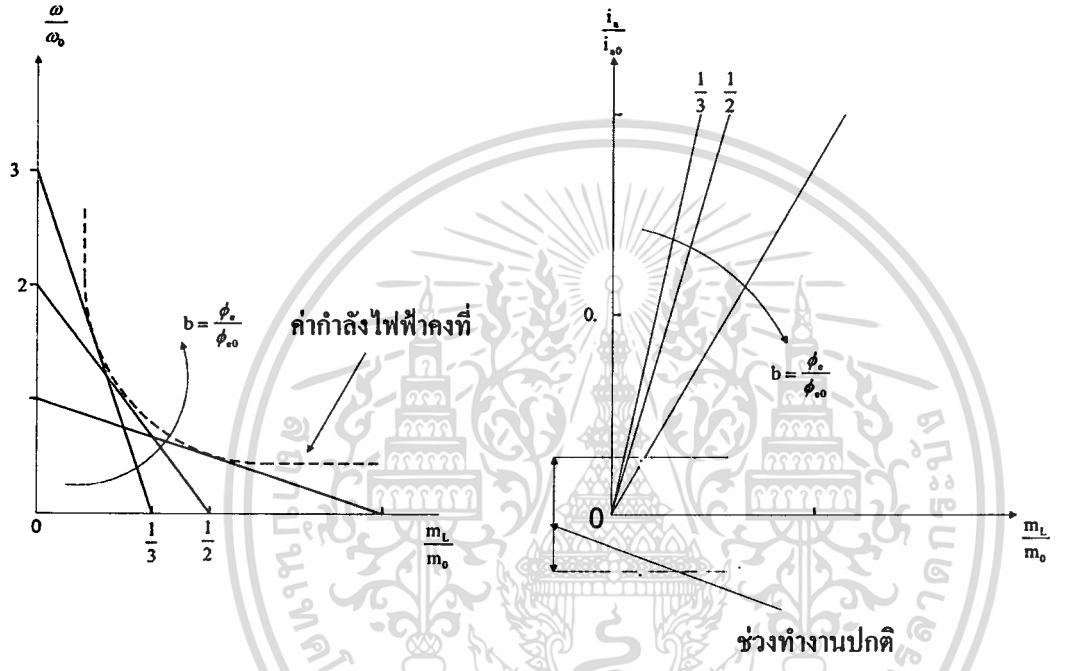
สภาวะหยุดนิ่ง $\quad \omega = 0, \quad \frac{m_{ST}}{m_0} = b$

ผลของการลดสนามแม่เหล็ก ความเร็วไร้โหลดจะเพิ่มขึ้นขณะที่แรงบิดจะลดลง ดังนั้นความชันของกราฟจะถูกเปลี่ยนแปลง ด้วยค่า $1/b^2$ จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่ากระแสอาร์มาเจอร์ และกำลังสูญเสียในอาร์มาเจอร์ จะเพิ่มขึ้น ขณะที่มอเตอร์จ่ายแรงบิดคงที่ และทำการลดค่าสนามแม่เหล็ก ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยวิธีลดสนามแม่เหล็ก จะถูกใช้ในกรณีที่ต้องการลดแรงบิดของมอเตอร์หรือในกรณีที่ไม่สามารถเพิ่มแรงดันที่อาร์มาเจอร์ได้ในช่วงของการลดสนามแม่เหล็กนี้ค่ากำลังไฟฟ้าจะคงที่

รูปที่ 2.4 ก.,ข. แสดงกราฟสภาวะคงตัวของ การควบคุมสนามแม่เหล็ก ของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ $u_a = u_{a0}$



ก. ข.

การควบคุม อาร์เมเจอร์และการควบคุมกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก

จากที่ได้กล่าวแล้ว จะเห็นได้ว่าการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงนั้น สามารถทำได้ 2 แบบ คือ

1. การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์จะเป็นการควบคุมความเร็วต่ำกว่าความเร็วพิกัด ถึงความเร็วพิกัด ในการควบคุมในช่วงนี้ จะให้ค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดและคงที่ที่ค่าพิกัด หรือเป็น การควบคุมค่า u_a ระหว่าง $0 \le u_a \le u_{a0}$ โดยให้ $\phi_e = \phi_{e0}$ ค่าแรงดันย้อนกลับที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์จะแปลค่าตามแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ที่ขั้วทำให้ค่ากำลังของมอเตอร์แปลผันตามค่าแรงดันที่จ่ายให้ด้วยแต่ค่าแรงบิดจะคงที่

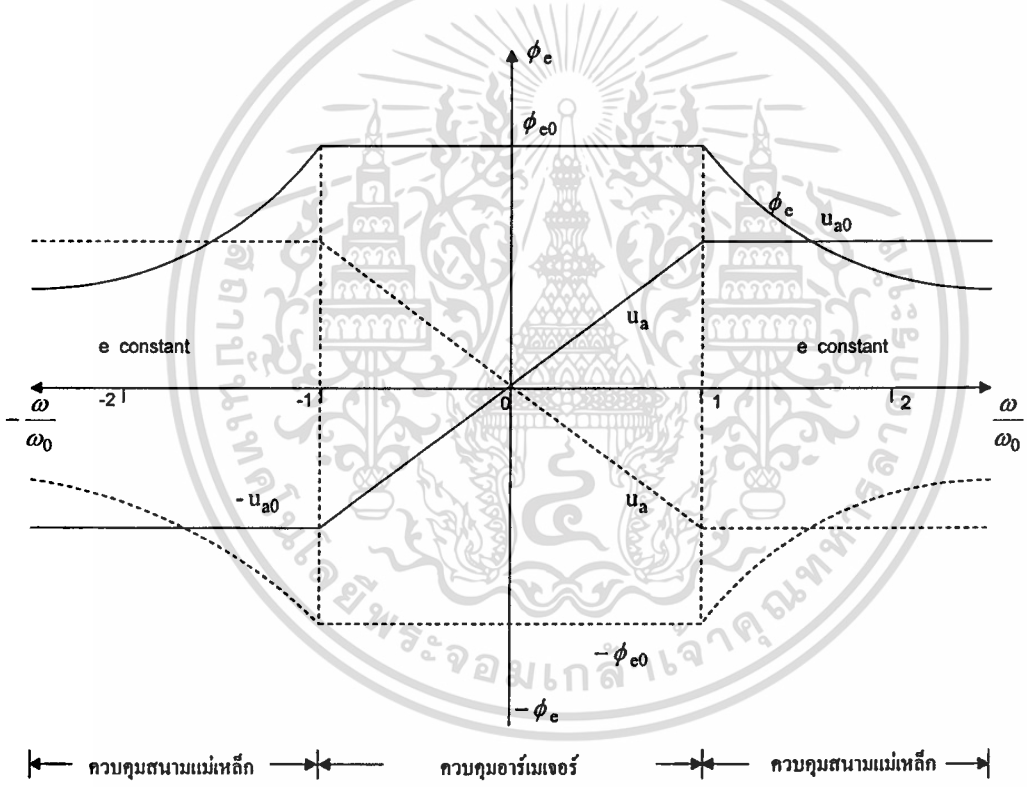
2.การควบคุมความเร็วโดยการลดค่าสนามแม่เหล็กจะเป็นการควบคุมความเร็วให้สูงกว่าความเร็วพิกัดโดยการจ่ายแรงดันให้อาร์เมเจอร์คงที่ที่แรงดันพิกัด และลดค่าเส้นแรงแม่เหล็กหรือลดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่สร้างสนามแม่เหล็กมีผลทำให้ความเร็วของมอเตอร์สูงขึ้น แต่แรงดันย้อนกลับที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์จะคงที่ทำให้ค่ากำลังของมอเตอร์จะคงที่ที่ค่ากำลังพิกัดตลอดย่านการควบคุมความเร็วค่าแรงบิดในช่วงนี้จะลดลง

จากรูปที่ 2.5 ได้แสดงถึงการควบคุม ความเร็วมอเตอร์ทั้งสองลักษณะใน 4 ทิศทางซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน u_a และ ϕ_e ทั้งสองช่วง คือ จากแกน x ในช่วง -1 ถึง 1 แสดงถึงความเร็วเชิงมุมหนึ่งหน่วย จากการควบคุมความเร็วในแบบที่หนึ่ง และค่าความเร็วเชิงมุมที่สูงกว่า 1 จะเป็นการควบคุมความเร็วในแบบ ที่ 2

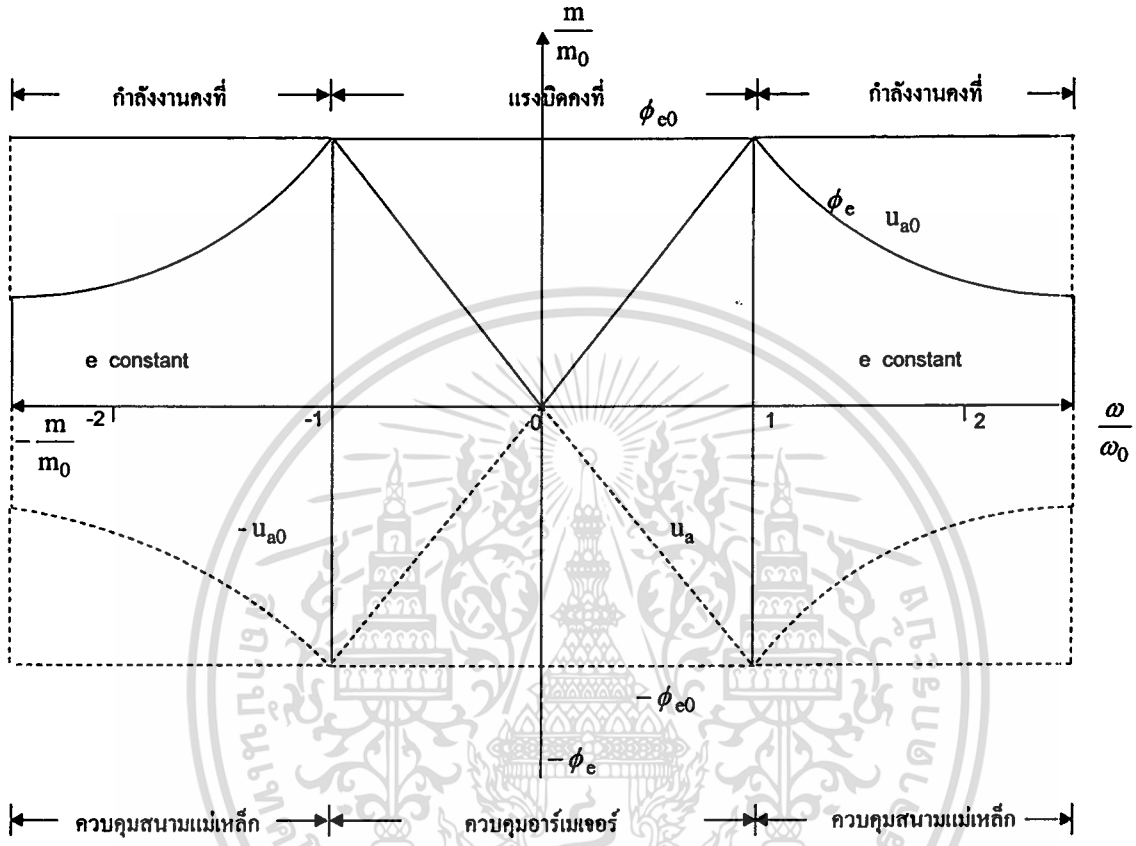
รูปที่ 2.5 แสดงย่านการควบคุมอาร์เมเจอร์และการควบคุมสนามแม่เหล็ก



จากรูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของมอเตอร์กับค่ากำลังของมอเตอร์ในการควบคุมความเร็วทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่าการควบคุมในแบบที่หนึ่ง ค่ากำลังจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงดันย้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลงแต่ค่าแรงบิดคงที่แต่ในการควบคุมแบบที่สอง แม้ว่าความเร็วจะสูงขึ้นก็ตาม แต่ค่ากำลังของมอเตอร์จะคงที่ ค่าแรงบิดจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและกำลังมอเตอร์ เมื่อควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์และควบคุมสนามแม่เหล็ก



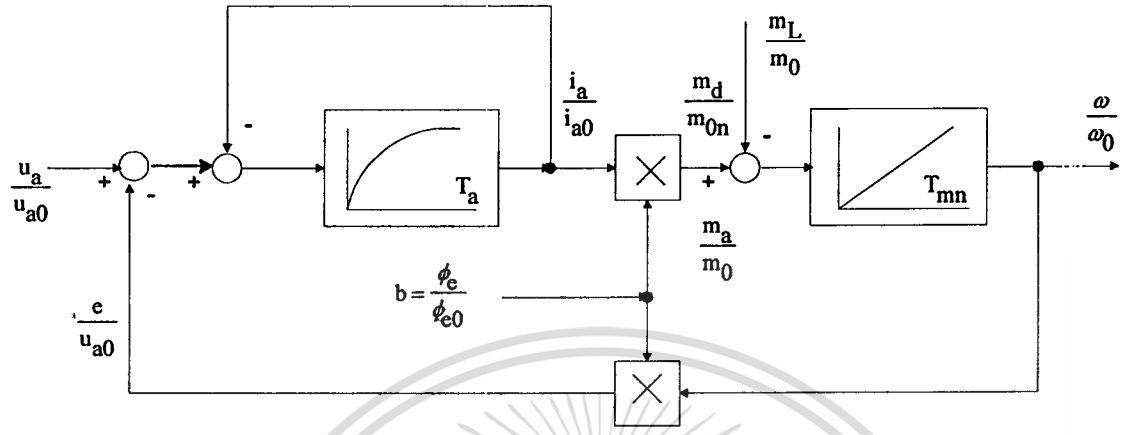
2.7 พฤติกรรมทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เส้นแรงคงที่

จากรูปบล็อกในรูปที่ 2.2 เมื่อเราทำให้ง่ายขึ้นโดยให้เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดสนามมีค่าคงที่ ทำให้เขียนออกมาเป็นแผนผังได้ตามรูปที่ 2.7

ในกรณีนี้ถ้ากำหนดให้สนามแม่เหล็กคงที่จะเขียนฟังก์ชันการถ่ายโอนได้โดยแปลงลาปลาซ (Laplace transform)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่2.7 แผนผังเชิงเส้น ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อสนามแม่เหล็กคงที่



โดยกำหนดให้

$$L(\frac{u_a}{u_0}) = U_a(s)$$

$$L(\frac{\omega}{\omega_0}) = \Omega(s)$$

$$L(\frac{i_a}{i_{a0}}) = I_a(s)$$

$$L(\frac{m_L}{m_0}) = M_L(s)$$

จากรูปที่ 2.7 สามารถหาฟังก์ชั่นโอนย้ายของระบบได้คือ

$$\Omega(s) = \frac{bU_a(s) - (T_a s + 1)M_L(s)}{T_a T_m s^2 + T_m s + b^2} \qquad (2.30)$$

$$I_a(s) = \frac{T_{mn} s\, U_a(s) + b\, M_L(s)}{T_a T_m s^2 + T_m s + b^2} \qquad (2.31)$$

สมการดังกล่าวเป็นสมการที่นำไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อทำให้เกิด ค่าที่เหมาะสม (optimum) มากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากตัวส่วน ของสมการที่ 2.30, 2.31 จะพบว่าสมการคุณลักษณะคือ

$$N(s) = T_a T_m s^2 + T_m s + b^2 \qquad (2.32)$$

ตำแหน่งขั้วจากสมการคุณลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s_{1,2} = \frac{1}{2t_a}\left(-1 \pm \sqrt{\frac{1-(2b)^2 T_a}{T_m}}\right) \quad (2.33)$$

โดยมีความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) คือ

$$\omega_e = \sqrt{s_1 s_2} = \sqrt{\frac{b}{T_a T_m}} \quad (2.34)$$

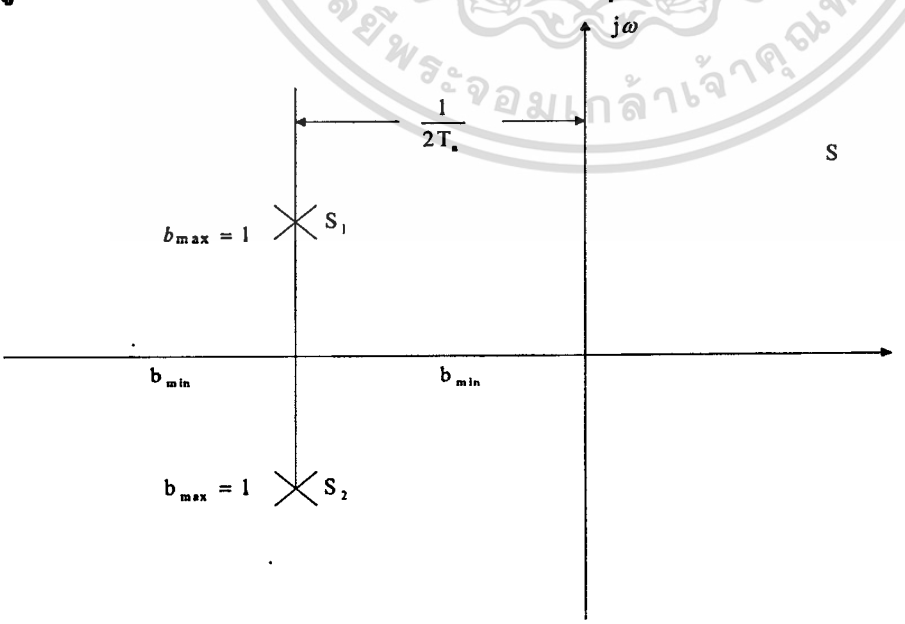
และค่าอัตราหน่วง (damping ratio)

$$D = -\frac{R_e(s_1)}{|s_1|} = \frac{1}{2b}\sqrt{\frac{T_m}{T_a T_m}} \quad (2.35)$$

เมื่อนำมาเขียนกราฟทางเดินของรากที่ค่า b ต่างๆจะได้ตามรูปที่ 2.8 ในกรณีที่มีการควบคุมที่อาร์เมเจอร์ทำให้ค่า b = 1 สามารถหาตำแหน่งของขั้วจากสมการที่ ได้คือ

$$s_{1,2} = \frac{1}{2T_a}\left(-1 \pm \sqrt{\frac{1-4T_a}{T_m}}\right) \quad (2.36)$$

รูปที่ 2.8 แสดงกราฟทางเดินของรากที่ค่า b ค่าต่าง ๆ



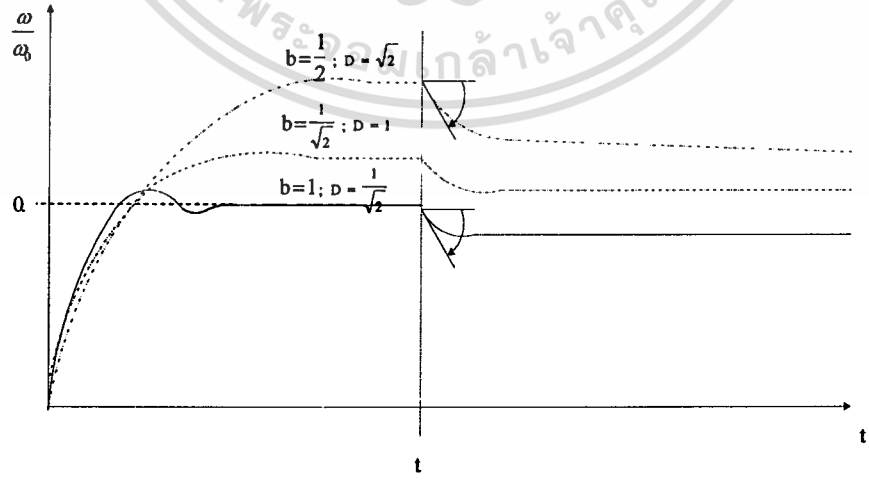
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือระบบจะเสถียรเมื่อค่า S_1,S_2 เนื่องจากตำแหน่งของขั้วยังคงอยู่บนแกนจริง (real)ในกรณีที่มีการควบคุมที่ขดสนาม (b<1) จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมหรือภาระที่ป้อนเข้ามาช้ามากทั้งนี้เนื่องจากว่าค่า natural frequency และ damping retio เพิ่มขึ้นนั่นเองการควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงในการควบคุมระบบขับเคลื่อนผู้ใช้ส่วนมากต้องการที่จะเลือกความเร็วอ้างอิงซึ่งมอเตอร์ จะต้องรักษาความเร็วนี้ตลอดช่วงการทำงาน เมื่อเกิดภาวะภาระเกินมอเตอร์ ควรจะสร้างแรงบิดให้มากที่สุด ซึ่งอาจเป็น 2 เท่าของแรงบิดพิกัด ซึ่งค่าสูงสุดนี้มักกำหนดในรูปของขีดจำกัดกระแสในระยะเวลาสั้น (Short time current limit) ลักษณะสมบัติใน ภาวะคงตัวของระบบขับจึงเป็นดังรูปที่ 2.8

จากรูปที่ 2.9ได้แสดงการตอบสนองชั่วขณะของความเร็วในขณะที่ไม่มีโหลด โดยจ่ายแรงดัน 10 % ของแรงดันที่พิกัดและการตอบสนองของโหลด เมื่อจ่ายโหลด 2% ของพิกัดที่เวลา t1 เมื่อเปลี่ยนค่า b เป็นค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่า damping ratio เป็น $\sqrt{2}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$, 1 เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อควบคุมค่าเส้นแรงสนามแม่เหล็กโดยการลดค่าสนามแม่เหล็กลงหรือเป็นการลดค่า b ให้ต่ำกว่า 1 แล้ว อัตราการตอบสนองของโหลดจะทำให้ความเร็วรอบต่ำลงกว่า การตอบสนองของค่า b =1 หรือสนามแม่เหล็กต่ำกว่าพิกัด

รูปที่ 2..9 แสดงการตอบสนองของความเร็ว และการตอบสนองต่อโหลดเมื่อค่า bมีค่า $\sqrt{2}$

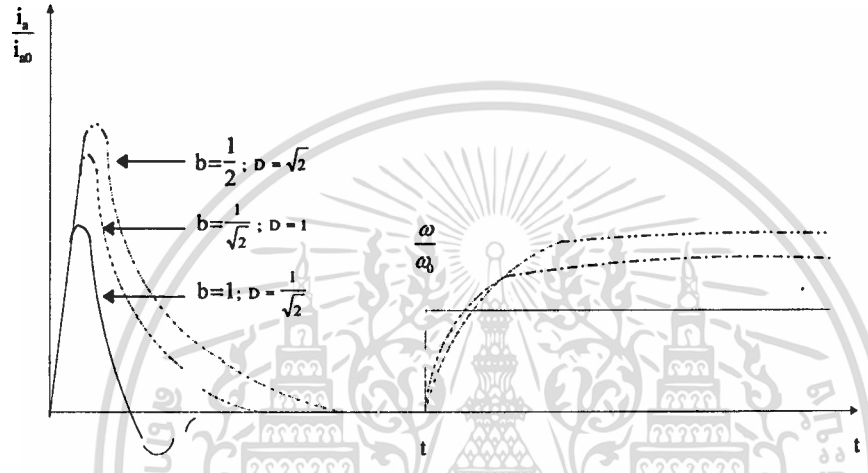
$,\frac{1}{\sqrt{2}},1$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปลี่ยนค่า b ในค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.10 จะทำให้ผลการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์ ได้แสดงการตอบสนองของกระแส เมื่อมีการเปลี่ยนระดับและเมื่อจ่ายโหลดมีค่าสมรรถนะที่แตกต่างกัน

รูปที่ 2.10 แสดงการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์ ในค่า b ค่าต่าง ๆ



จากคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่กล่าวแล้วในบทนี้ ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการควบคุมมอเตอร์ในสภาวะที่สนามแม่เหล็กคงที่ โดยการควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์และการควบคุมสนามแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่า การควบคุมทั้งสองลักษณะมีผลกับค่าแรงบิดแตกต่างกัน ค่ากำลังของมอเตอร์จะคงที่และมีค่าสูงสุดที่ค่าพิกัดเท่านั้น แม้ว่าจะปรับความเร็วมอเตอร์ให้สูงขึ้น อีกประการหนึ่ง การลดค่าสนามแม่เหล็กยังจะมีผลให้แรงบิดลดลงด้วย ซึ่งการควบคุมความเร็วมอเตอร์ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ เพื่อรักษาค่าแรงบิด ยกเว้นในงานที่ รับโหลดน้อยแต่ต้องการความเร็วสูงจึงจะใช้การควบคุมสนามแม่เหล็ก

ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเลือกควบคุมความเร็วมอเตอร์ในโหมดของการควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ในย่านที่ความเร็วต่ำกว่าพิกัด ถึงความเร็วที่พิกัด โดยประยุกต์ทฤษฎีของฟัซซี่ สร้างตัวควบคุมฟัซซี่เพื่อควบคุมความเร็ว และควบคุมกระแส ซึ่งบทต่อไปจะได้กล่าวถึงทฤษฎีของฟัซซี่และการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีฟัซซี่และการควบคุมแบบฟัซซี่

3.1 ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set)

ฟัซซี่เซต คือ เซตที่ใช้อธิบายสิ่งที่มีความคลุมเครือและไม่สามารถกำหนดขอบเขตได้อย่างชัดเจน โดยสมาชิกภายในเซตจะมีอัตราความเป็นสมาชิกอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งกำหนดโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ส่วนการควบคุมแบบฟัซซี่ คือ การนำส่วนที่เป็นประสบการณ์หรือความชำนาญของผู้ควบคุมระบบมาสร้างเป็นกฎแบบฟัซซี่และเก็บไว้เป็นฐานความรู้เพื่อสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญแบบ real-time โดยไม่จำเป็นต้องใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล ที่อธิบายพฤติกรรมของระบบ [5] [6]

นิยาม 3.1 เอกภพสัมพัทธ์ (Universe of Discourse)

เอกภพสัมพัทธ์ คือ เซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณาใช้สัญลักษณ์ U ถ้ากำหนด x เป็นสมาชิกใด ๆ ของ U จะเขียนแทนด้วย $x \in U$

นิยาม 3.2 ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set)

ถ้า A เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์ U จะสามารถเขียนเซต A แบบแจกแจงสมาชิก ได้ในรูปของ คู่อันดับ x และ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ ดังนี้ [7]

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in U\} \tag{3.1}$$

ถ้า U เป็นค่าต่อเนื่อง

$$A = \int_U \mu_A(x) / x \tag{3.2}$$

ถ้า U เป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง

$$A = \sum \mu_A(x) / x \tag{3.3}$$

นิยาม 3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต (Membership Function of Fuzzy Set)

ถ้ากำหนด ให้ A เป็นฟัซซี่เซต ดังนั้น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต A แทนด้วย $\mu_A(x)$จะมีค่าอยู่ในย่าน [0,1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 นิยามพื้นฐานของฟัซซี่เซต

นิยาม 3.4 ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต (Support of fuzzy set)

ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต คือ คลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้ [7] [8]

$$\sup(A) = \{x \in U / \mu_A(x) > 0\} \quad (3.4)$$

A = ฟัซซี่เซตใดๆ

Sup(A) = ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต A

นิยาม 3.6 ฟัซซี่ซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton)

ฟัซซี่ซิงเกิลตัน คือ ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซตที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียว

นิยาม3.7 ศูนย์กลางของฟัซซี่ (Centre of fuzzy)

ศูนย์กลางของฟัซซี คือ ค่ากึ่งกลางของฟัซซี่เซต หรือค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยาม 3.8 จุดแบ่งของฟัซซี่เซต (Crossover point of fuzzy set)

จุดแบ่งของฟัซซี่เซต คือ จุดใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

นิยาม 3.9 ความสูงของฟัซซี่เซต (Height of Fuzzy Set)

ความสูงของฟัซซี่เซต คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยาม 3.10 α - cut เซตของฟัซซี่เซต (α-cut set of fuzzy set)

α - cut เซตของฟัซซี่เซต คือ คลิปเซตของสมาชิก x ทั้งหมด ที่มีอัตราความเป็นสมาชิก มากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วย

$$A_a = \{x \in U / \mu_A(x) \geq a\} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวปฏิบัติการฟัซซี่

นิยาม 3.11 การเท่ากันของฟัซซี่เซต (Equality)

ฟัซซี่เซต A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อ ฟัซซี่เซตทั้งสองถูกนิยามบนเอกภพสัมพัทธ์เดียวกันและมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเหมือนกัน [7][8][9] นั่นคือ

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \qquad \forall x \in U \tag{3.6}$$

นิยาม 3.12 การเป็นสับเซตของฟัซซี่เซต (Contain)

ฟัซซี่เซต A จะบรรจุอยู่ในฟัซซี่เซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก x ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต A น้อยกว่าหรือ เท่ากับ อัตราความเป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วย

$$A \subset B \text{ ก็ต่อเมื่อ } \mu_A(x) \le \mu_B(x) \qquad \forall x \in U \tag{3.7}$$

นิยาม 3.13 คอมพลีเมนท์ (complement)

คอมพลีเมนท์ของฟัซซี่เซต A ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ เขียนแทนด้วย A' ถูกนิยามดังนี้

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{3.8}$$

นิยาม 3.14 ยูเนียน (Union)

ถ้า A และ B เป็นฟัซซี่เซตใน U การรวมสมาชิกทั้งหมดของทั้ง 2 เซต จะเขียนได้เป็น $A \cup B$ โดย

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right] \tag{3.9}$$

นิยาม 3.15 อินเตอร์เซคชัน (Intersection)

ถ้า A และ B เป็นฟัซซี่เซตใน U การรวมสมชิกที่เป็นสมาชิกทั้ง 2 เซต จะเขียนได้เป็น

$A \cap B$ โดย $\mu_{A\cap B}(x) = \min\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right]$ (3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 3.16 กฎของดีมอแกนต์ (Demorgan's law)

กฎของดีมอแกนต์กล่าวว่า คอมพลีเมนต์ของฟัซซี่เซตสองเซตที่ยูเนี่ยนกันจะสมมูลกับการอินเตอร์เซคชันกันระหว่างคอมพลีเมนตท์ของแต่ละฟัซซี่เซตซึ่งเขียนแทนได้ด้วย

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B} \tag{3.11}$$

นิยาม 3.17 S - Norm (Triangular co-norms)

ให้

$$S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

เป็นการถ่ายโอนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต A และ B ค่าความเป็น สมาชิกจะเป็นการยูเนียน ระหว่าง A และ B สามารถเขียนได้เป็น

$$S\,[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cup B}(x) \tag{3.12}$$

ซึ่งสามารถจะแยกได้เป็น 4 เงื่อนไข

1. Boundary condition

$$S(1,1) = 1 \;,\; S(0,a) = S(a,0) = a$$

2. Commutative condition

$$S(a,b) = S(b,a)$$

3. Nondecreasing condition

$$S(a,b) \leq S(a',b')$$

เมื่อ

$$a \leq a' \quad \text{และ} \quad b \leq b'$$

4. Associative condition

$$S(S(a,b),c) = S(a,S(b,c))$$

นิยาม 3.18 T - Norm (Triangular norms)

ให้

$$t:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการถ่ายโอนฟังก์ชันความเป็นสมชิกของฟัซซี่เซต A และ B ค่าความเป็นสมาชิก จะเป็นการอินเตอร์เซ็กชันระหว่าง A และ B สามารถเขียนได้เป็น

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A\cap B}(x) \tag{3.13}$$

แบ่งออกเป็น 4 เงื่อนไขดังนี้

1. Boundary condition

$$t(0,0) = 0 \ , \ t(a,1) = t(1,a) = 0$$

2. Commutative condition

$$t(a,b) = t(b,a)$$

3. Nondecreasing condition

$$t(a,b) \leq t(a',b')$$

เมื่อ

$$a \leq a' \quad \text{และ} \quad b \leq b'$$

4. Associativity

$$t(t(a,b),c) = t(a,t(b,c))$$

3.4 ความสัมพันธ์ของฟัซซี่ (Fuzzy Relation)

ความสัมพันธ์ของฟัซซี่ หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 2 คู่ขึ้นไป โดยมีอัตราความเป็นสมาชิกหรือ Degree of Membership อยู่ในช่วง 0 - 1 โดยกำหนดคำนิยามดังนี้ [7] [8]

นิยามที่ 3.19 ความสัมพันธ์ของฟัซซี่ (Fuzzy Relation)

ถ้า U และ V เป็นเอกภพสัมพัทธ์ต่อเนื่องนับไม่ได้ (Uncountable continuous universes) และ $\mu_R : U \times V \rightarrow [0,1]$ จะได้ว่า

$$R = \int_{U\times V} \mu_R(u,v)/(u,v) \tag{3.14}$$

(u,v) คือ คู่อันดับใดๆ ในเซตของผลคูณคาร์ทีเซียน U×V โดยที่ $u \in U$ และ $v \in V$

R คือ ความสัมพันธ์ของฟัซซี่

สัญลักษณ์ อินทิกรัล แทน เซตของ $\mu_R(u,v)/(u,v)$ ทั้งหมด ใน U×V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า U และ V เป็นเอกภพสัมพัทธ์เชิงจำนวนนับได้ (countable discret universe)

$$R = \sum_{U\times V} \mu_R(u,v)/(u,v) \qquad (3.15)$$

โดยที่ $\mu_R(u,v) = \mu_{U\times V}(u,v) = \min(\mu_U(u), \mu_V(v))$

ตัวอย่าง ที่ 3.1 ถ้าค่าความเป็นสมาชิกสัมพันธ์ กำ หนดเป็น

$$\mu_R(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } x = y \\ 0.8 & \text{เมื่อ } |x-y| = 1 \\ 0.3 & \text{เมื่อ } |x-y| = 2 \end{cases}$$

สามารถเขียนค่าความสัมพันธ์ฟัซซี่เขียนเป็นเมตริกซ์ได้ดังนี้

R:

x \ y	1	2	3
1	1	0.8	0.3
2	0.8	1	0.8
3	0.3	0.8	1

3.4.1 การปฏิบัติการบนความสัมพันธ์ฟัซซี่ (Operation on Fuzzy Relation)

นิยามที่ 3.20 การอินเตอร์เซ็กชั่นของความสัมพันธ์ (intersection of fuzzy relation)

ถ้า R และ S เป็นความสัมพันธ์แบบฟัซซี่บน $X \times Y$ อินเตอร์เซ็กชั่นของ R และ S กำหนดได้เป็น

$$\forall(x,y) \in X \times Y: \mu_{R\cap S}(x,y) = \min(\mu_R(x,y), \mu_S(x,y)) \qquad (3.16)$$

การปฏิบัติการ min อาจเรียกว่า "T-norm"

นิยามที่ 3.21 การยูเนี่ยนของความสัมพันธ์ (Union of fuzzy relation)

การยูเนี่ยนของ R และ S กำหนดได้เป็น

$$\forall(x,y) \in X \times Y: \mu_{R\cup S}(x,y) = \max(\mu_R(x,y), \mu_S(x,y)) \qquad (3.17)$$

การปฏิบัติการ max อาจเรียกว่า "S-norm"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 3.22 โพรเจกชั่นของ R บน Y กำหนดได้เป็น

ถ้า R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่บน $X \times Y$ เมื่อ X, Y เป็นค่าต่อเนื่อง

$$\text{projRonY} = \int_{Y} \sup_{x} \mu_R(x,y)/y \qquad (3.18)$$

ถ้า X, Y เป็นค่าจำนวน (discrete domain) ให้ใช้ตัวปฏิบัติการ MAX แทน supremum

ตัวอย่าง 3.2 กำหนดความสัมพันธ์ฟัซซี่ ดังนี้

R:		y1	y2	y3	y4
	x1	0.8	1	1	0.7
	x2	0	0.8	0	0
	x3	0.9	1	0.7	0.8

$$\text{projR onX} = \frac{1}{x_1} + \frac{0.8}{x_2} + \frac{1}{x_3}$$

$$\text{projR onY} = \frac{0.9}{y_1} + \frac{1}{y_2} + \frac{0.7}{y_3} + \frac{0.8}{y_4}$$

นิยามที่ 3.23 Total Projection บนความสัมพันธ์ R

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ บน $X \times Y$ total projection บน R คือ อัตราความเป็นสมาชิกสูงสุดของความสัมพันธ์ R

$$\begin{aligned} R &= \{ [(x,y), \mu_R(x,y)] / (x,y) \in X \times Y \} \\ \text{projRonX} &= \{ (x, \max_{Y} \mu_R(x,y)) / (x,y) \in X \times Y \} \\ \text{projRonY} &= \{ (y, \max_{X} \mu_R(x,y)) / (x,y) \in X \times Y \} \\ \text{total.proj} &= \max_{X}.\max_{Y} \{ \mu_R(x,y) / (x,y) \in X \times Y \} \end{aligned} \qquad (3.19)$$

นิยามที่ 3.24 การขยายเป็นทรงกระบอก (cylindrical extension)

การขยายเป็นทรงกระบอก หมายถึง การขยายฟัซซี่เซต ไปสู่ความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ กำหนดได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ce(F) = \int_{X\times Y} \mu_F(y)/(x,y) \mid (x,y) \in X \times Y \qquad (3.18)$$

โดยที่ F เป็นฟัซซี่เซตบน Y หรือ

$$ce(F) = \int_{X\times Y} \mu_F(x)/(x,y) \mid (x,y) \in X \times Y \qquad (3.19)$$

โดยที่ F เป็นฟัซซี่เซตบน X

ตัวอย่าง 3.3 จากตัวอย่างที่ 3.2 แสดงค่าโพรเจกชั่นและ การขยายทรงกระบอกได้ดังนี้

	y1	y2	y3	y4	proj on X
x1	0.8	1	1	0.7	1
x2	0	0.8	0	0	0.8
x3	0.9	1	0.7	0.8	1
proj on Y	0.9	1	0.7	0.9	Total Projection = 1

ce(A)

	y1	y2	y3	y4
x1	1	1	1	1
x2	0.8	0.8	0.8	0.8
x3	1	1	1	1

3.4.2 การคอมโพซิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี่ (Composition of Fuzzy Relation)

นิยามที่ 3.25

ให้ A เป็นฟัซซี่บนเอกภพสัมพัทธ์ X

R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่

$R = X \times Y$

คอมโพซิชั่นของ A และ R เท่ากับ B บนเอกภพสัมพัทธ์ Y หมายถึง

$$B = A \circ R = proj(ce(A) \cap R) \qquad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Max-Min composition

$$\mu_B(y) = \max_x \min(\mu_A(x), \mu_R(x,y)) \quad (3.21)$$

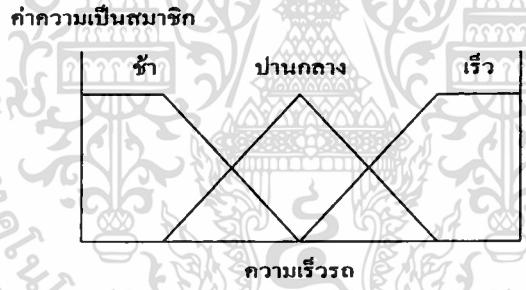
- Max-product composition

$$\mu_B(y) = \max_x (\mu_A(x), \mu_R(x,y)) \quad (3.22)$$

3.5 ตัวแปรลิงค์จีสติก (Linguistic Variable)

หมายถึง ตัวแปรที่กำหนดย่าน หรือขนาดปริมาณ ทางฟิสิกส์ ที่สามารถกำหนดเป็นภาษามนุษย์ เช่น "อากาศร้อน" "อุณหภูมิสูง" "รถมีความเร็วสูง" หรือ "ความดันปานกลาง" เป็นต้นโดยปริมาณเหล่านี้จะใช้ เป็นตัวกำหนดชื่อของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่ (ดังรูปที่ 3.1)

รูปที่ 3.1 แสดง linguistic variable กำหนดย่านความเร็วรถ



จากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่ของความเร็วรถ 3 ฟังก์ชัน คือ ช้า ปานกลาง และ เร็ว

3.5.1 การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรลิงค์จีสติก

การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปร จะใช้เป็น (X, T, U, M)

X = ปริมาณ หรือตัวแปรทางฟิสิกส์ที่ใช้แทน เช่น ความเร็ว เป็นต้น

T = เซตของตัวแปรทั้งหมดของตัวแปร X เช่น { ช้า, ปานกลาง, เร็ว}

U = เอกภพสัมพัทธ์ของ X เช่น [0, V_{MAX}]

M = ความสัมพันธ์ของ T แต่ละค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า linguistic variable นี้ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ และการจำแนกปริมาณทางฟิสิกส์ โดยความรู้สึกของมนุษย์ หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อที่จะนำไปประเมินผลจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิด ขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วในอดีต

3.5.2 ขอบเขตของตัวแปรลิงค์จีสติก (Linguistic Hedges)

การกำหนดย่าน และ linguistic hedges นอกจากจะกำหนดเป็นระดับของ ปริมาณแล้ว แต่ละตัวแปรยังสามารถขยาย หรือเพิ่มลดระดับจากความรู้สึกได้ เช่น "เร็วมาก" "ช้ามาก" "ช้าปานกลาง" โดยทั่วไปเราจะกำหนดระดับของตัวแปรได้ 3 ระดับ

- ตัวแปรหลัก เช่น "ช้า" "ปานกลาง" ช้ามาก"
- ค่าตรงข้าม เช่น "ไม่...." "หรือ" "และ"
- ขอบเขต เช่น "ช้ามาก" "ค่อนข้างช้า"

การกำหนดขอบเขต อาจกำหนดค่าของความเป็นสมาชิก ได้ดังนี้

$$\mu_{veryA(x)} = [\mu_A(x)]^2$$
$$\mu_{lessA(x)} = [\mu_A(x)]^{1/2} \qquad (3.23)$$

3.6 กฎของฟัซซี่

ในระบบของฟัซซี่ จะเป็นการสรุปจากเหตุ และผลตามฐานความรู้ของมนุษย์ ซึ่งเราจะ กำหนดให้อยู่ใน รูปของ IF - THEN เช่น

IF <fuzzy proposition>, THEN <fuzzy proposition>

3.7 ประพจน์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Proposition)

ประพจน์ หมายถึงการกล่าวถึงความจริงทางคุณสมบัติ หรือค่าปริมาณของวัตถุใด หรือ ตัวแปรใด ตัว แปรหนึ่ง ประพจน์แบบฟัซซี่จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

3.7.1 ประพจน์เดี่ยว หมายถึงการบอกคุณสมบัติของตัวแปรค่าเดียวโดยกำหนดตัวแปรนี้ให้เป็น linguistic เช่น กำหนดให้

X เป็น linguistic variable ของความเร็ว

S, M, F เป็น linguistic variable จำแนกย่านของความเร็วออกเป็น Slow , Medium , Fast ตามลำดับ เขียนได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X IS S
X IS M
X IS F เป็นต้น

3.7.2 ประพจน์แบบผสม หมายถึงการรวมประพจน์เดี่ยว 2 ประพจน์ หรือมากกว่า โดยเชื่อมด้วยตัวปฏิบัติการ "AND", "OR" หรือ "NOT" เชื่อมเพื่อใช้เป็นการสรุปเหตุและผล เช่น

X IS S OR X IS NOT M

ลักษณะการเชื่อมด้วยตัวปฏิบัติการ จะแบ่งได้หลายชนิด ถ้ากำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรลิงค์จีสติก อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U และ V ตามลำดับ A และ B เป็นฟัซซี่เซต

- การเชื่อมด้วย "AND"

X IS A AND Y IS B

หรือเขียนได้

$$\mu_{A\cap B}(x,y) = t[\mu_A(x),\mu_B(y)]$$

- การเชื่อมด้วย "OR"

X IS A OR Y IS B

หรือเขียนได้

$$\mu_{A\cup B}(x,y) = S[\mu_A(x),\mu_B(y)]$$

3.8 ตัวควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy Controller)

ตัวควบคุมฟัซซี่ที่กล่าวนี้จะเป็นตัวควบคุมแบบใช้ฐานความรู้ (knowledge base) หรือประสบการณ์ จากผู้เชี่ยวชาญ เป็นกฎหรือแนวทางในการควบคุมเราจะเรียกตัวควบคุม ได้อีกชื่อหนึ่งว่า "ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ ฐานความรู้ " (Fuzzy Knowledge Base Controller) ใช้ค่าย่อว่า FKBC [7]

3.8.1 โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้ (FKBC)

โครงสร้างของ FKBC จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.2

ก. ฟัซซี่พิเคชั่น โมดูล (Fuzzification Module)

ข. ฐานความรู้ (Knowledge Base)

ค. กลไกการอนุมาน (Inference Engine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ดีฟัซซิฟีเคชั่นโมดูล (Defuzzication Module)

3.8.2 ฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- นอเมอร์ไรซ์เซชั่น (Normalization) เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนสเกลของตัวแปรอินพุต หรือคลิปเซตให้อยู่ ในสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของย่านการควบคุม

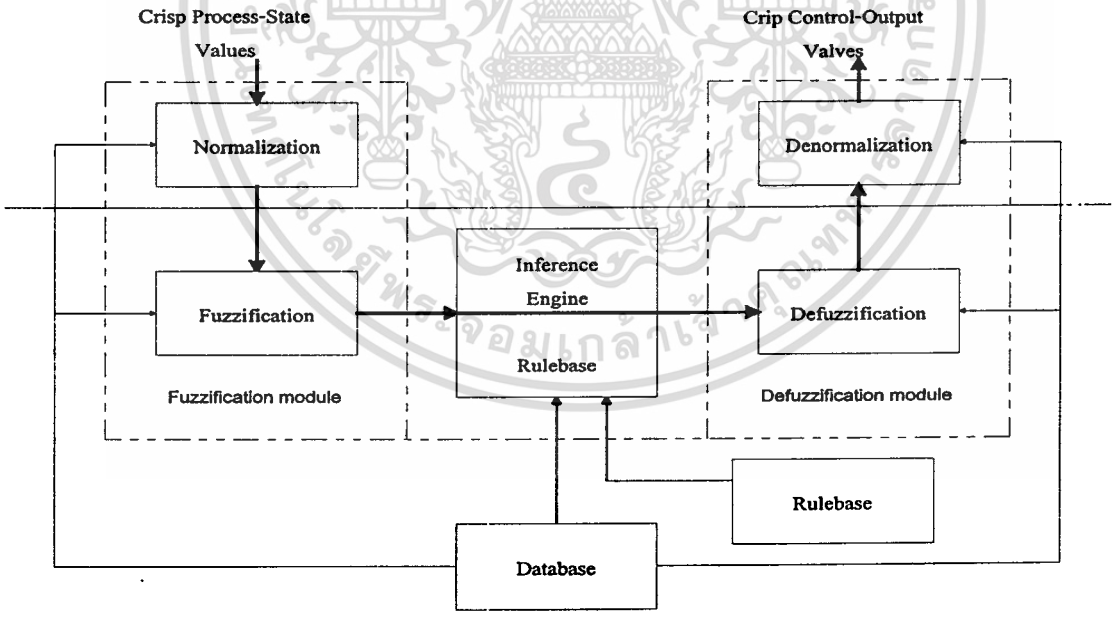
- ฟัซซิฟีเคชั่น (Fuzzification) เป็นส่วนที่ใช้แปลงปริมาณของคลิปเซตที่ผ่านการนอเมอไรซ์แล้วให้เป็น ค่าความเป็นสมาชิก ของฟัซซี่เซต โดยมีย่านอยู่ระหว่าง [0,1]

3.8.3 ฐานความรู้

ส่วนประกอบของฐานความรู้จะประกอบด้วย

- ฐานข้อมูล (Data Base) เป็นที่เก็บของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในส่วนประกอบของตัวควบคุมฟัซซี่ เช่น ค่าคงที่ของส่วนฟัซซิฟีเคชั่นโมดูล, กฎ, ดีฟัซซิฟีเคชั่นโมดูล, ค่าสเกลเฟคเตอร์, ฟังก์ชันต่าง ๆ

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้



-ฐานกฎ (Rules Base) เป็นที่เก็บของกฎการควบคุมอาจจะอยู่ในรูปของ IF_THEN หรือเป็นตารางความสัม พันธ์ฟัซซี่ แนวทางในการออกแบบฐานกฎ จะใช้กลไกการอนุมาน และจากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่จะควบคุม ซึ่งจะกล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.4 กลไกการอนุมาน

กลไกการอนุมานมีหน้าที่สรุปผล (consequent) จากเหตุ (antecedent) และเงื่อนไขโดยทั่วไปการเชื่อมโยงของเหตุผลจะมี 2 ชนิดคือ [9][10][11][12]

- Generalized modus ponens (GMP) คือการสรุปจากเหตุไปหาผล
- Generalized modeus tollens (GMT) คือการสรุปจากผลไปหาเหตุ

รูปแบบของทั้ง 2 วิธีมีดังนี้

GMP:

Premise	:	x is A'
implication	:	if x is A then y is B
consequence	:	y is B'

GMT:

Premise	:	y is B'
implication	:	if x is A then y is B
consequence	:	x is A'

โดย

A, A', B, B'	=	เป็นฟัซซี่เซต
x, y	=	ตัวแปรลิงค์จีสติค
$\mu_R(x,y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ของ A และ B
$\mu_A(x),\ \mu_B(y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร x, y
f_{imp}	=	ฟังก์ชันการอิมพลิเคชัน (implication) หรือฟังก์ชันการเชื่อมโยงค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ฟัซซ

$$\mu_{R'}(x,y) = f_{imp}(\mu_A(x),\ \mu_B(y)) \qquad x \in U, y \in V \tag{3.24}$$

โดยทั่วไป ในการสร้างตัวควบคุมฟัซซี่จะนิยามใช้การเชื่อมโยง แบบ GMP และใช้ f_{imp} ด้วยวิธี Mamdani โดยสร้างเป็นกฎได้ดังนี้

R_1 : IF X IS A_1 AND Y IS B_1 THEM Z IS C_1

R_2 :IF X IS A_2 AND Y IS B_2 THEM Z IS C_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

A_1, B_1, A_2, B_2 = ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท

C_1, C_2 = ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

R_1, R_2 = กฎความสัมพันธ์ฟัซซี่

z = ตัวแปรลิงค์จีสติก ในเอกภพสัมพัทธ์ U, V, W ตามลำดับ

α_1, α_2 = ระดับความเป็นสมชิกของ 2 อินพุท (fire strength)

จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของผลสรุป (μ_c)

$\alpha_1 = \min(\mu_{A1}(x_0), \mu_{B1}(y_0))$

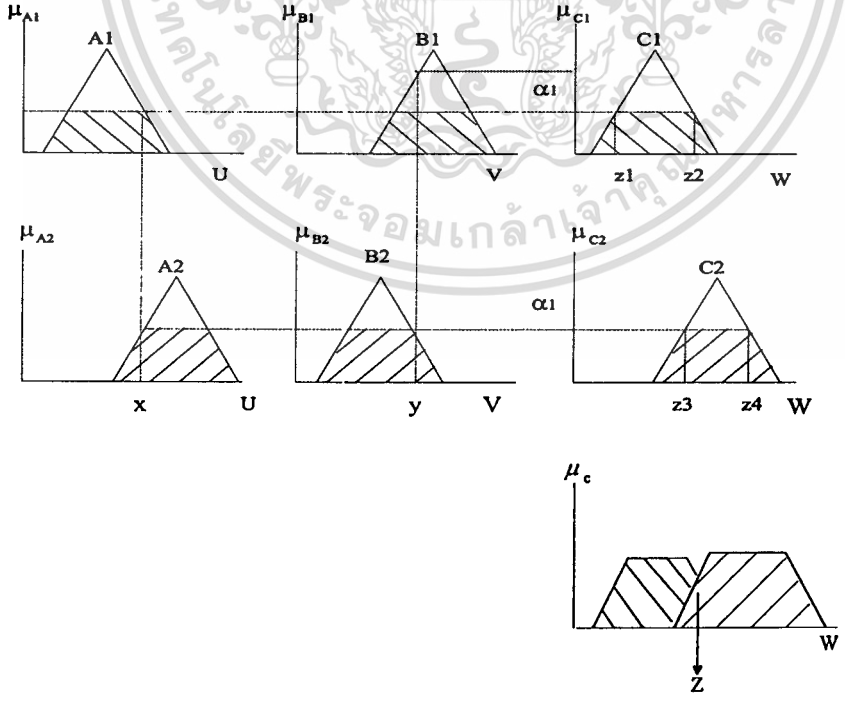
$\alpha_2 = \min(\mu_{B1}(x_o), \mu_{B1}(y_o))$

$\mu_{ci}(z) = \min(\alpha_i, \mu_c(z))$

$\mu_c(z) = \max(\mu_{c1}, \mu_{c2})$

จากผลของการหาค่า ระดับความเป็น สมาชิก สามารถทำการอนุมานได้ ในที่นี้จะแสดงการอนุมานในแบบของ Mamdani (ดังรูปที่ 3.3) [9][10][11]

รูปที่ 3.3 การอนุมานโดยวิธีของ Mamdani



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.5 ดีฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- ดีฟัซซิฟิเคชั่น ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกลไกการประเมิน กลับมาเป็นค่าปเซต เพื่อใช้เป็นค่าที่นำไปควบคุมต่อไป วิธีการดีฟัซซิฟิเคชั่นที่นิยมใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่คือวิธี Center of Gravity (COG.)

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_c(z) * z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_c(z_i)} \qquad (3.25)$$

z_0 = ตัวแปรเอาท์พุทอยู่ในรูปของคลิปเซต

z_i = ตัวแปรเอาท์พุทที่ได้แต่ละกฎ

i = จำนวนกฎที่ถูกประเมิน

$\mu_c(z_i)$ = ค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการประเมิน

- ดีนอเมอไรเซชั่น (Denormalization)

เป็นส่วนที่แปลงค่าสเกลของตัวแปรเอาท์พุทจากดีฟัซซิฟิเคชั่น ให้อยู่ในย่านของปริมาณที่ใช้ควบคุมจริง

3.9 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่

ตัวควบคุมฟัซซี่ที่นิยมใช้จะมีชนิดต่าง ๆ คล้ายกับการควบคุมแบบดั้งเดิม เช่น แบบ P , PD, PI, PID เป็นต้น การกำหนดตัวแปรอินพุท และตัวแปรเอาท์พุทจะสอดคล้องกับรูปแบบของตัวควบ คุม และเพื่อไปใช้เป็นตัวแปรในส่วนเหตและผลสรุปของกฎ การกำหนดตัวแปร กำหนดได้ดังนี้ [7]

ตัวแปรอินพุท

e = ค่าผิดพลาดระหว่างค่ากำหนด และค่าที่ได้จริง (error)

ce = อัตราค่าผิดพลาด (change of error)

δe = ผลรวมของค่าผิดพลาด

ตัวแปรเอาท์พุท

u = ตัวแปรเอาท์พุทซึ่งเป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม

Δu = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหาค่าตัวแปรได้จาก

$$e(k) = y_{sp} - y(k) \quad (3.26)$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3.27)$$

$$u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (3.28)$$

กำหนดให้

y_{sp} = ค่าเอาท์พุทของกระบวนการที่ออกแบบ

$y(k)$ = ค่าเอาท์พุทของกระบวนการจริง

k = เวลาการสุ่มสัญญาณ (sampling time)

3.10 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้ (Type of FKBC)

การแบ่งชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่จะอ้างอิงถึงคุณสมบัติเดิมของการควบคุมแบบคอนเวอร์ชั่นเนล โดยการควบคุมแบบฟัซซี่ จะกำหนดความสัมพันธ์จากกฎ และประเมินแบบ GMP จากเหตุเพื่อให้ได้ ผลสรุปกำหนดให้ส่วนของเหตุและผลสรุปจะอยู่ในรูปของตัวแปรลิงค์จีสติค [7]

ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

จากสมการ

$$u = K_p.e \quad (3.29)$$

โดย K_p = Proportional gain

แสดงในรูปกฎของฟัซซี่

if e(k) is (antecedent) then u(k) is (consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_d \cdot ce \quad (3.30)$$

โดย K_p = proportional gain

K_d = derivative gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในรูปกฎของฟัซซี่

if e(k) is (antecedent) and ce (k) is (antecedent) then u(k) is (consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_I \cdot \int e dt \quad (3.31)$$

$$D u = K_p \cdot \dot{e} + K_I \cdot e \quad (3.32)$$

โดย K_I = intergral gain

แสดงในรูปกฎของฟัซซี่

if e(k) is (antecedent) and ce (k) is (antecedent) then Δ u (k) is (consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Integral-derivative (PID)

จากสมการ

$$u = K_P \cdot e + K_d \cdot \dot{e} + K_I \cdot \int e dt \quad (3.33)$$

กำหนด δe = ผลรวมของค่าผิดพลาด

$$\delta e = \sum_{i=1}^{k-1} e(i) \quad (3.34)$$

แสดงด้วยกฎของฟัซซี

if e(k) is (antecedent) and ce (k) is (antecedent) and δe is (antecedent) then u(k) is (consequent)

3.11 การกำหนดฐานข้อมูล

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ตัวควบคุมฟัซซี่จะประกอบด้วยฐานข้อมูล ซึ่งเป็นที่เก็บของ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก และสเกลของส่วนอินพุท และเอาท์พุทในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของการกำหนดฟังก์ชันและสเกลต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต เราอาจจะกำหนดได้ 2 แบบ คือ แบบตัว เลขหมายถึง การแสดงอัตราของความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลขในเอกภพสัมพัทธ์ และแบบแสดงเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในที่นี้จะขอกล่าวในแบบของฟังก์ชัน โดยที่ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะจำแนกระดับของค่าลิงก์จีสติค ในเอกภพสัมพัทธ์ เพื่อทำหน้าที่แปลงปริมาณอินพุทที่อยู่ในรูปของ คลิปเซตให้อยู่ในโดเมนของฟัซซี่เซต ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมใช้จะมีหลายชนิด เช่น s-ฟังก์ชัน, π-ฟังก์ชัน, ฟังก์ชันเหลี่ยม, Trapezoid function และ เอกซ์โปเนนเชียลฟังก์ชัน เป็นต้น

หลักเกณฑ์ในการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

1. การกระจายของข้อมูล หรือคุณลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุท ของกระบวนการที่ควบคุมว่าเป็นสมาชิกเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น ถ้าเป็นเชิงเส้นควรใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยม ถ้าไม่เป็นเชิงเส้นควรใช้แบบเอ็กโปเนนเชียล

2. คุณสมบัติในการคำนวณ เช่นความเร็วในการคำนวณขนาดของหน่วยความจำ

3. ความต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องของข้อมูล โดยทั่วไปจำนวนฟังก์ชันที่ใช้กำหนดระดับ ของค่าลิงก์จีสติคควรไม่ต่ำกว่า 5 ถึง 7 ระดับ ถ้าต่ำกว่านี้จะเกิดความไม่ต่อเนื่อง และเกิดความผิด พลาดในผลลัพธ์ ถ้ามีจำนวนมากกว่านี้ จะทำให้เพิ่มเวลาการคำนวณให้มากขึ้น

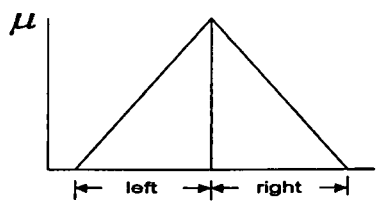
4. การกำหนดฟังก์ชัน แต่ละฟังก์ชันควรให้มีการทับกันระหว่างฟังก์ชัน (overlap) ของ เซตที่อยู่ติดกัน เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมต้องมีกฎควบคุมอย่างน้อย 1-2 กฎ ในการรองรับตัวแปรอินพุท เปอร์เซนต์การการทับกันจะอยู่ที่ประมาณ 15-50 %

5. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ค่าสูงสุด (Peak Value) หมายถึง ค่าสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแต่ละเทอม จะต้องมีค่าเท่ากับ 1

- ความกว้างทางซ้าย และขวา (Left and Right Width) หมายถึง ช่วงของความกว้าง ระหว่างจุดสูงสุด และจุดศูนย์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือเรียกว่า ซัพพอร์ตของค่าสมาชิก ทั้งซ้าย และขวา ถ้าความกว้างทั้งสองเท่ากัน เราเรียกว่าฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันสมมาตร
(ดังรูปที่ 3.4.)

รูปที่ 3.4 แสดงฟังก์ชันสมมาตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดตัด (Crosspoints) จุดที่ฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันที่อยู่ใกล้เคียงกันตัดกัน จากรูปที่ 3.5 กำหนดให้

x เท่ากับจุดตัด

d_1 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 1.

d_2 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 2.

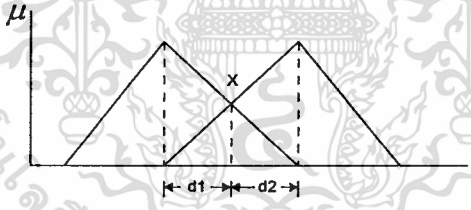
ระดับของจุดตัด (Cross-point level) เท่ากับ ระยะระหว่างจุดตัดถึงแกน x

อัตราส่วนของจุดตัด (Cross-point ratio) เท่ากับ d_1/d_2

ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่เป็นเชิงเส้นการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมมาตร มีระดับของจุดตัดเท่ากับ 0.5 และมีอัตราส่วนจุดตัดเท่ากับ 1 จะทำให้มีค่าสมรรถนะของ ระบบดีคือ มจุดพุ่งเกิน (overshoot) ต่ำ เวลาการเข้าถึง (Rise Time) เร็ว [ ]

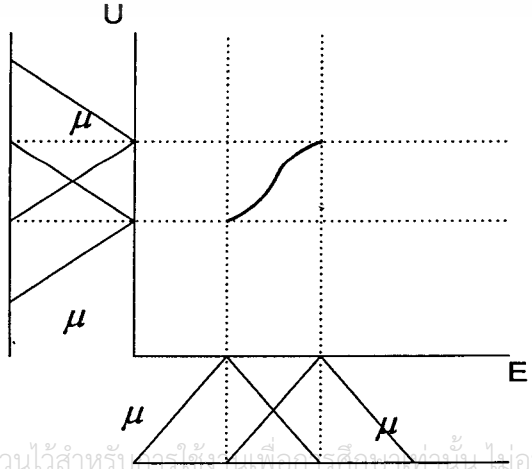
ในส่วนของความต่อเนื่องของการควบคุม ควรจะให้ระยะ d_1 และ d_2 ของทั้งสองฟังก์ชัน ที่ใกล้กันมีระยะเท่ากัน และที่ตำแหน่งศูนย์ของค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองฟังก์ชัน จะตรงกับ ตำแหน่งที่เป็นค่าสูงสุดพอดี (ดังแสดงในรูปที่3.5)

รูปที่ 3.5 แสดงความกว้างของจุดตัดของทั้งสองฟังก์ชัน



จะเห็นความต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง (จากรูปที่ 3.6 ,3.7) ของค่าเอาท์พุท จากการกำหนดระยะ ของจุดตัดและความกว้างทางซ้าย และทางขวาของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

รูปที่ 3.6 แสดงความต่อเนื่องของ เอาท์พุท

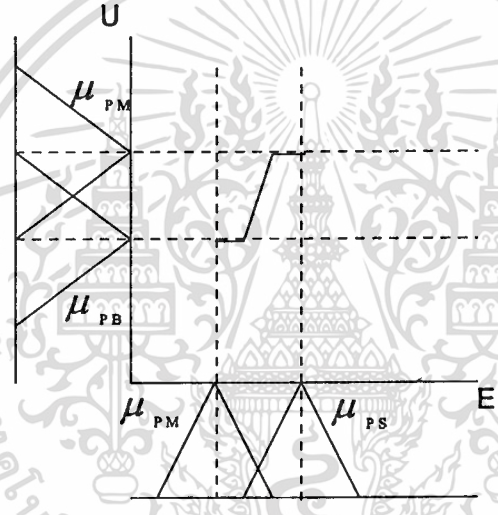


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลข

การกำหนดฟังก์ชันเชิงตัวเลข ในโดเมนที่ต่อเนื่อง หมายถึงการแบ่งย่านในเอกภพสัมพัทธ์ ออกเป็นเซกเมนต์ เราเรียกว่า "การควอนไตซ์เซชั่น (quantization)" และกำหนดดีกรีค่าลิงค์จีสติค แต่ละค่าเป็นตัวเลข การกำหนดฟังก์ชันวิธีนี้ การกำหนดระดับของการควอนไตซ์จะมีผลต่อการ ควบคุมแบบหยาบ และควบคุมแบบละเอียด ถ้าให้ระดับมากจะมีผลให้ค่าเอาท์พุทละเอียด แต่จะใช้ เวลานานขึ้น และจะต้องใช้หน่วยความจำมากขึ้น

รูปที่ 3.7 แสดงความไม่ต่อเนื่องของเอาท์พุท



3.12 ฐานของกฎ

กฎ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการควบคุมแบบฟัซซี่ กฎจะเป็นส่วนที่โยงถึงความ สัมพันธ์ของตัวแปรลิงค์จีสติค ในส่วนของอินพุท และเอาท์พุท และใช้ในการประเมินผลลัพธ์ ของฟัซซีรูปแบบของฐานกฎที่นิยมใช้ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. แบบอันดับ ระบบที่มี 1 อินพุท 1 เอาท์พุท จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A_1 THEN y is B_1

กฎที่ 2 : IF x is A_2 THEN y is B_2

...

กฎที่ N : IF x is A_N THEN y is B_N

โดยให้ x = ตัวแปรลิงค์จีสติคของอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

y = ตัวแปรลิงค์จีสติคของเอาท์พุท

A1, B1 = ลิงค์จีสติคฟังก์ชัน หรือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท และเอาท์พุทตามลำดับ

N = จำนวนกฎ

จำนวน N จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบ แต่โดยทั่วไปจะใช้จำนวนกฎเท่ากับ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ระบบที่มี 2 อินพุท 1 เอาท์พุท จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A_1 AND y is B_1 THEN z is C_1

กฎที่ 2 : IF x is A_2 AND y is B_2 THEN z is C_2

...

กฎที่ N : IF x is A_N AND y is B_N THEN z is C_N

3.12.1 แนวทางการออกแบบฐานกฎ

แนวทางการออกแบบกฎแบบได้เป็น 2 วิธี [8] คือ

1 วิธี เฮอรีสติค (Heuristic approach)

วิธีเฮอร์รีสติค เป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ได้จากประสบการณ์หรือจากการทดสอบและค่าสมรรถนะที่ต้องการนำมาออกแบบกฎโดยประมาณได้โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอินพุทและผลการตอบสนอง

สมมุติว่าพิจารณาระบบควบคุมฟัซซี่แบบปิด (ดังรูปที่ 3.8) มีค่าอินพุท 2 ตัวคือ ค่าผิดพลาด (e) และอัตราการผิดพลาด (ce) ค่าเอาท์พุท (u)การตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับ (step responce) (ดังรูปที่ 3.9) สามารถสร้างระบบฟัซซี่ที่มี phase plant ระหว่าง ค่าอินพุททั้งสอง (ดังรูปที่ 3.10)ค่าสมรรถนะที่เราต้องการคือค่าเวลาการเข้าถึงสั้น (short rise time) และ เปอร์เซนต์การพุ่งเกินต่ำ (overshoot) เราสามารถแบ่งช่วงผลการตอบสนองของเอาท์พุทออกเป็นช่วงๆ และกำหนดกฎเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทตามที่เราต้องการ เช่น

- ถ้าต้องการค่าเวลาการเข้าสั้น เราสามารถออกแบบกฎได้เป็น

IF e is positive AND ce is negative THEN u is positive

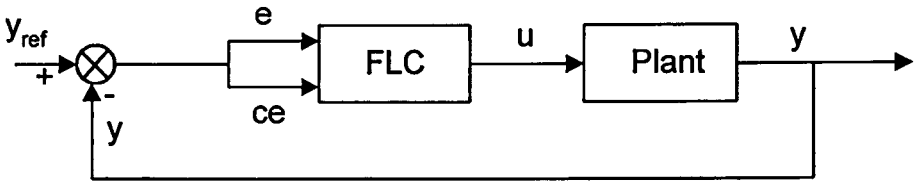
เป็นต้น

- ถ้าต้องการลดค่าเปอร์เซนต์การพุ่งเกิน

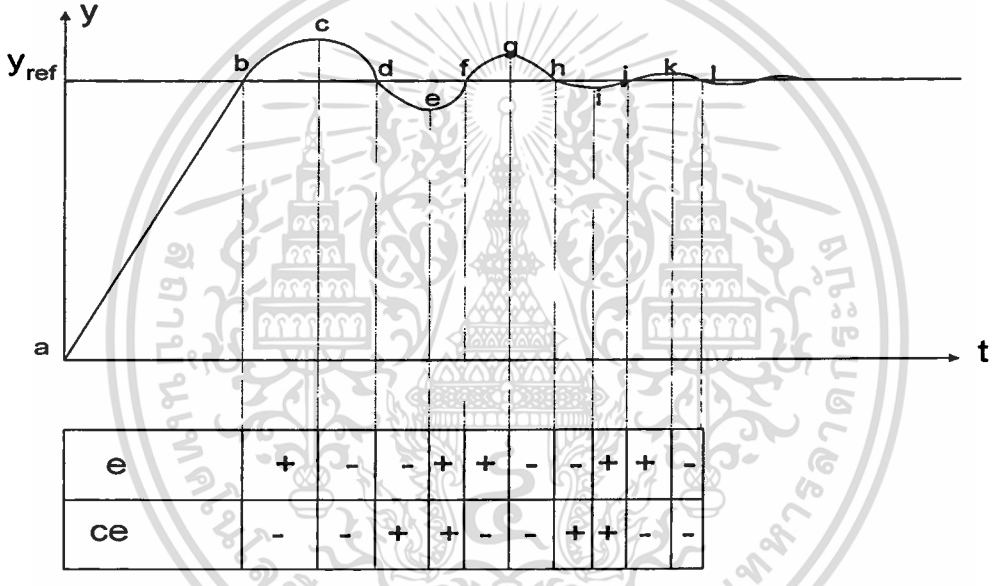
IF e is negative AND ce is negative THEN u is negative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

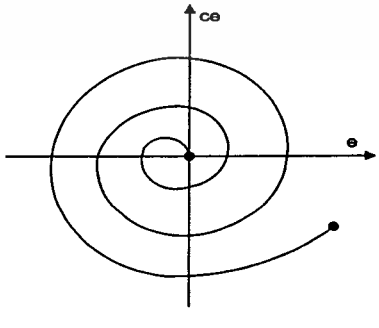
รูปที่ 3.8 ระบบควบคุมฟัซซี่แบบลูปปิดแบบฟัซซี่



รูปที่3.9 ผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับและการแบบช่วงของเอาท์พุทเพื่อหาความสัมพันธ์ของ e และ ce



รูปที่ 3.10 Phase plant ของ e และ ce



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ ของ ตัวแปรอินพุท และเอาท์พุทของการออกแบบกฎ

Rule no.	e	ce	Output	reference
1	P	Z	P	points a,e,i
2	Z	N	N	points b,f,j
3	N	Z	N	points c,g,k
4	Z	P	P	points d,h,l
5	Z	N	Z	set points
6	P	N	P	range A,E

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว สามารถสร้างเป็นตารางความสัมพันธ์อินพุทและเอาท์พุท โดยประมาณ (ดังตารางที่ 3.1) และใช้เป็นแนวทางในการสร้างกฎของฟัซซี่ต่อไป

2. วิธี ดีเทอร์มิเนติค (Deterministic approach) เป็นวิธีสร้างแบบจำลอง อ้างอิงและนำไปออกแบบกฎ ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้ รายละเอียดดูจาก [8]

3.13 ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง (self- tuning fuzzy controller)

กระบวนการต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโลกหรือในระบบอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไปจะเป็นกระบวนการ ที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของกระบวนการอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อการทำงานในระยะเวลานาน ๆหรืออาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการเสื่อมคุณภาพของวัสดุหรือ จากองค์ประกอบโดยรอบเปลี่ยนแปลง ดังนั้นระบบควบคุมอัตโนมัติที่ดีจำเป็นต้องออกแบบเพื่อ รับกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวโดยมีการหรับค่าหรือปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ให้สอดคล้องการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ในการออกแบบระบบควบคุมแบบฟัซซี่จะมีการออกแบบในย่านของกระบวนการที่จำกัด หรือ ออก แบบให้เหมาะสมในระดับหรือย่านในช่วงเวลาจำกัด การออกแบบให้ครอบคลุมย่าน กว้าง ๆ และรับกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในอนาคต จะทำได้ยากมาก ดังนั้นจึงได้มีการสร้าง ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง เพื่อให้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

3.13.1 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง แบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนี้

- Self-tuning fuzzy controller คือ ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ใช้การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก [7][8] [13][14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Self-organizing fuzzy controller คือ ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ใช้การปรับปรุงกฎ หรือการสร้างกฎใหม่ [7][8][15][16]

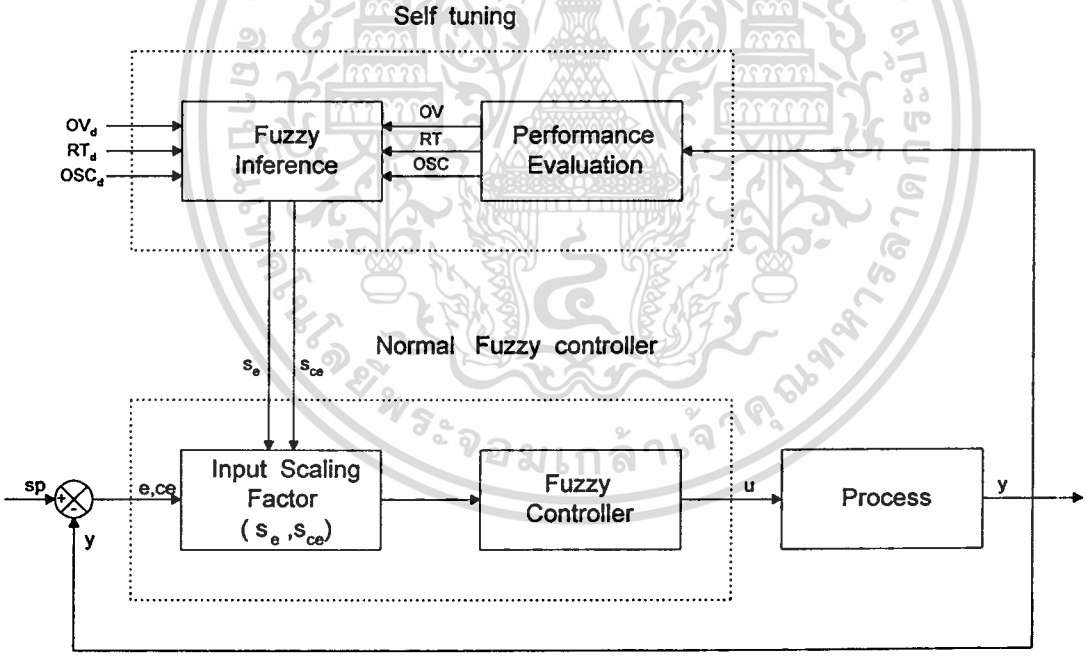
- Adaptive fuzzy controller คือ การปรับทั้งค่าสเกลแฟคเตอร์และการปรับปรุงกฎหรือสร้างกฎใหม่ [7][8][17]

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอ เฉพาะวิธีการของ self tuning คือ การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์

3.13.2 โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self tuning

ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self-tuning เป็นตัวควบคุมฟัซซี่ปรับค่าด้วยตัวเอง ที่ใช้หลักการปรับค่าสเกลเฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งอาจจะเป็นการปรับสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของฟังก์ชันอินพุท หรือ ฟังก์ชันเอาท์พุทหรืออาจจะเป็นการปรับสเกลของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันก็ได้

รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self tuning



โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ ชนิด Self - tuning แบบเป็นส่วนสำคัญได้ 2 ส่วน [7][13] (ดังแสดงในรูปที่ 3.11) คือ

1. ตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ (Normal fuzzy controller)

รายละเอียดดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวควบคุมการปรับค่าด้วยตัวเอง(Self - organizing/learning)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

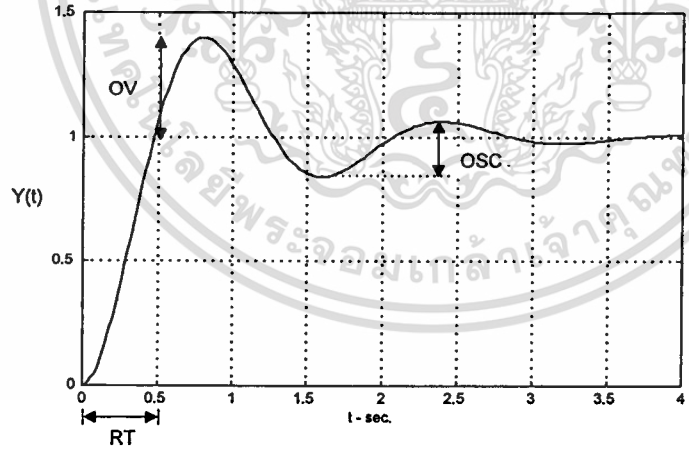
- ตัวประเมินสมรรถนะ (Performance Evaluation)

ค่าสมรรถนะที่ทำการตรวจสอบ มี 3 ค่าคือ

- เปอร์เซนต์การพุ่งเกิน (Overshoot percentage : %OV)
- เวลาการเข้าถึง (Rise time : RT)
- เปอร์เซนต์การแกว่ง (Percentage amplitude oscillation : %OSC)

โดยค่าสมรรถนะที่วัดได้จะควบคุมไว้ให้อยู่ในช่วงหรือระดับที่กำหนดไว้ซึ่งในความเป็นจริง ค่าของเปอร์เซนต์การพุ่งเกินและเวลาการเข้าถึงจะมีความสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีพลวัตสูง หรือมีคาบเวลาการตอบสนองต่ำ ๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า การออกแบบให้เวลาการเข้าถึงเร็ว จะมีผลให้ เปอร์เซนต์การพุ่งเกินมีค่าสูงตามไปด้วย ดังนั้นการออกแบบค่าสมรรถนะจะต้องคำนึงถึง จุดประสงค์ของการนำไปใช้งาน และผลกระทบของกลไกที่ต่อเชื่อมโยงทางกลจากรูปที่ 3.12 แสดงถึงค่าสมรรถนะทั้ง 3 ค่า ที่ได้จากสัญญาณเอาท์พุท

รูปที่ 3.12 แสดงค่าสมรรถนะ ทั้ง 3 ค่า ที่ใช้วัดการตอบสนองของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.2.1 สเกลแฟคเตอร์

ดังที่กล่าวมาแล้ว การเนอเมอไรซ์ คือการเปลี่ยนย่านของคลิปเซต ให้อยู่ในย่านของฟัซซี่เซต และหลังจากผ่านกระบวนการของฟัซซี่แล้ว จะแปลงกลับให้อยู่ในรูปของคลิปเซตเพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

สเกลแฟคเตอร์จะใช้ในการเพิ่มลดสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซี่ซึ่งมีผลต่อค่าสมรรถนะของการตอบสนองจะเปรียบได้ก็จะคล้ายกันกับอัตราการขยาย ของตัวควบคุมแบบคอมเวอชั่นแนลนั่นเอง

ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ PI จะเขียนรูปแบบของสเกลแฟคเตอร์ได้ดังนี้

กำหนดให้

S_e = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของ ตัวแปรค่าผิดพลาด

S_{ce} = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวแปรค่าอัตราการผิดพลาด

S_u = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวแปร เอาท์พุท

$F(S_e.e(k) , S_{ce}.ce(k))$ = ฟังก์ชันของฟัซซี่

$$S_u \cdot Du(k) = F(S_e \cdot e(k), S_{ce} \cdot ce(k)) \quad (3.35)$$

วิธีการหาค่าสเกลแฟคเตอร์

วิธีการหาค่าสเกลแฟคเตอร์โดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ

- แบบ Heuristic
- แบบ analytic

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวิธีของเฮอร์รีสติด [8] ซึ่งเป็นวิธีหาค่าสเกลแฟคเตอร์ แบบ ลองถูกลองผิด (Trial and error) โดยพิจารณาการตอบสนองของระบบ ในกรณีของตัวควบคุมเป็นแบบ ฟัซซี่ PI การวัดสมรรถนะ ทั้ง 3 ค่าทำได้ดังนี้

กำหนดให้

$\Delta OV, \Delta RT, \Delta OSC$ เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสมรรถนะ ทั้ง 3 ค่า

$OV_d, \Delta RT_d, \Delta OSC_d$ เป็นค่าสมรรถนะที่ออกแบบไว้

OV, RT, OSC เป็นค่าสมรรถนะที่วัดได้จริง

$$\Delta OV = OV - OV_d \quad (3.36)$$

$$\Delta RT = RT - RT_d \quad (3.37)$$

$$\Delta OSC = OSC - OSC_d \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.3 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะและปรับค่าสเกลแฟคเตอร์

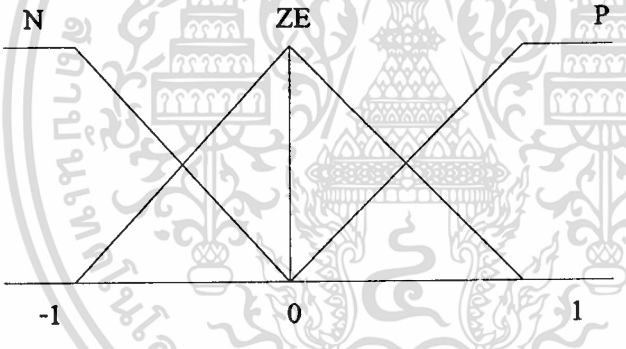
- **ภาคประเมินสมรรถนะ**

เป็นส่วนที่รับค่า สมรรถนะ ทั้ง 3 ค่า คือ OV, RT และ OSC จากเอาท์พุทเพื่อทำการตรวจสอบในภาคฟัซซี่อินเฟอเรนซ์

- **ภาคฟัซซี่อินเฟอเรนซ์**

ในภาคฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิด Self - tuning จะมีส่วนประกอบคล้ายกับตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ คือประกอบด้วย ภาคฟัซซิฟิเคชั่น กฎ และ ภาคดีฟัซซิฟิเคชั่น เช่นเดียวกัน ค่าสมรรถนะ ที่ได้จาก ภาคประเมินสมรรถนะ ไปหาค่า ΔOV, ΔRT และ ΔOSC ไปแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ดังรูปที่ 3.13) โดยจะใช้เป็นฐานข้อมูลของภาคฟัซซิฟิเคชั่นและดีฟัซซิฟิเคชั่น

รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วนการปรับสเกลแฟคเตอร์



การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์

$S_e(k)$ = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของค่าผิดพลาด t

$S_{ce}(k)$ = ค่าการเปลี่ยนแปลงสเกลแฟคเตอร์ของค่าผิดพลาด

$$s_e(k+1) = s_e(k) + \Delta s_e \quad (3.39)$$

$$s_{ce}(k+1) = s_{ce}(k) + \Delta s_{ce} \quad (3.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎการปรับสเกลเฟคเตอร์

กฎของตัวควบคุมฟัซซี่ในส่วนของการปรับสเกลเฟคเตอร์ จะมีการออกแบบคล้ายกับตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.13 หลังจากได้ผ่านการสรุปผลแล้ว จะได้ค่าของสเกลเฟคเตอร์เพื่อใช้ในการปรับแต่งสเกลเพื่อขยายย่านเอกภพสัมพัทธ์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ โดยจะเป็นการคำนวณวนรอบจนได้ค่าสมรรถนะในระดับที่ต้องการ การอินเฟอเรนซ์ในส่วนของ กรปรับสเกลเฟคเตอร์จะใช้วิธีการของ Mamdani และมีวิธีการดีฟัซซิฟิเคชั่น โดยใช้วิธีของ COG. เช่นเดียวกันกับตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ

สรุปที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นี้ ได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของ ฟัซซี่เซต ตัวปฏิบัติการฟัซซี่ ความสัมพันธ์ของฟัซซี่ ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ และ ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ self tuning ซึ่งในบทที่ 5 จะได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่เพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์

การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์กำลัง เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีหลายวิธี [1][3] ดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ว่าการสร้างแรงบิดของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าของกระแสอาร์เมเจอร์ ดังนั้นการควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์ จะต้องคำนึงถึง ค่ากระแสจะต้องมีความต่อเนื่องของสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วต่ำ ๆ การใช้อุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิกส์กำลังจะมีผลต่อการบั่นทอน สัญญาณเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการใช้วงจรสับไฟฟ้า(chopper) จะช่วยให้ความต่อเนื่องของสัญญาณกระแสเนื่องจาก ใช้ความถี่ในการตัดสัญญาณสูง แต่ผลเสียคือ จะเกิดสัญญาณรบกวนมาก ถ้าใช้ความถี่สูงเกินไป

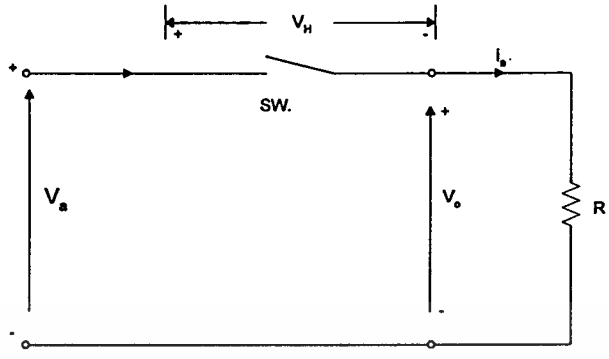
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกวิธีการขับเคลื่อนแบบ ดี.ซี. ชอปเปอร์ เนื่องจากวิธีนี้จะมีการกระเพื่อมของสัญญาณค่ากระแสไฟฟ้า ในขณะที่แรงดันต่ำๆ น้อยกว่าแบบอื่น และใช้การควบคุมแบบ 2 ควอดแดนท์ คือให้มอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว และมีการเบรคเมื่อความเร็วลดลง

4.1 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจร chopper

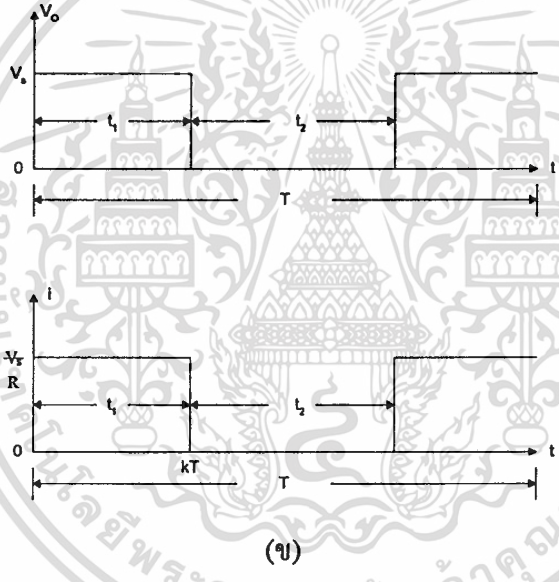
วงจร chopper เป็นวงจรที่ใช้แปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ให้มีแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทเปลี่ยนแปลง เฉลี่ยได้ หลักการของวงจร chopper จะเป็นการใช้สัญญาณความถี่สูงควบคุมการสับสวิทช์ เปิด-ปิด โดยประยุกต์ใช้อุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิกส์กำลัง เป็นตัวเปิด-ปิด ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้จะเป็นค่าแรงดันเฉลี่ย[18][19]หลักการทำงานพื้นฐานจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ก และ 4.1 ข. เป็นการแสดงวงจรพื้นฐานของวงจร chopper ในโหลดที่เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.1 (ก.) วงจรพื้นฐานของวงจร chopper (ข.) สัญญาณแรงดันและกระแสของโหลด



(ก)



(ข)

กำหนดให้

V_s	=	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายเข้า
V_o	=	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่โหลดได้รับ
V_H	=	แรงดันตกคร่อมสวิทช์
T	=	คาบเวลาของสัญญาณควบคุมการปิด-เปิดของสวิทช์
t_1	=	คาบเวลาการเปิดของสวิทช์
t_2	=	คาบเวลาการปิดของสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i_o	=	กระแสของโหลด
v_o	=	แรงดันชั่วขณะที่โหลดได้รับ
k	=	ค่าอัตราส่วนระหว่างเวลาเปิดและเวลาปิด (duty cycle)
f	=	ความถี่ในการสวิทช์
R	=	ความต้านทานของโหลด
$V_{r.m.s.}$	=	แรงดัน root mean square ของเอาท์พุท
P_i	=	ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด

สมการแรงดันเฉลี่ยของแรงดันเอาท์พุท สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Vo = \frac{1}{T}\int_0^{t_1} v_o dt = \frac{t_1}{T} V_s = ft_1 V_s = kV_s \qquad (4.1)$$

$$V_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{kT} v_o^2 \, dt} = \sqrt{k} V_s \qquad (4.2)$$

$$P_i = \frac{1}{T}\int_0^{kT} v_o i \, dt = \frac{1}{T}\int_0^{kT} \frac{v_o^2}{R} dt = k\frac{V_s^2}{R} \qquad (4.3)$$

ค่า duty cycle สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังนั้น แรงดันเอาท์พุท สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง V_s การควบคุมระดับแรงดันเฉลี่ย ของวงจร chopper นั้น สามารถควบคุมการเปิดปิด สวิทช์ ซึ่งจะทำได้หลายวิธี [18] คือ

- วิธี Pulse - Width - Modulation (P.W.M.) เป็นการเปิด-ปิด ที่ความถี่คงที่ ค่าใดค่าหนึ่ง ใช้วิธีปรับ Duty cycle

- วิธี Variable - frequency เป็นการควบคุมการเปิด-ปิด ที่ duty cycle คงที่ แต่ปรับเปลี่ยนขนาดความถี่ของการเปิด-ปิดสวิทช์

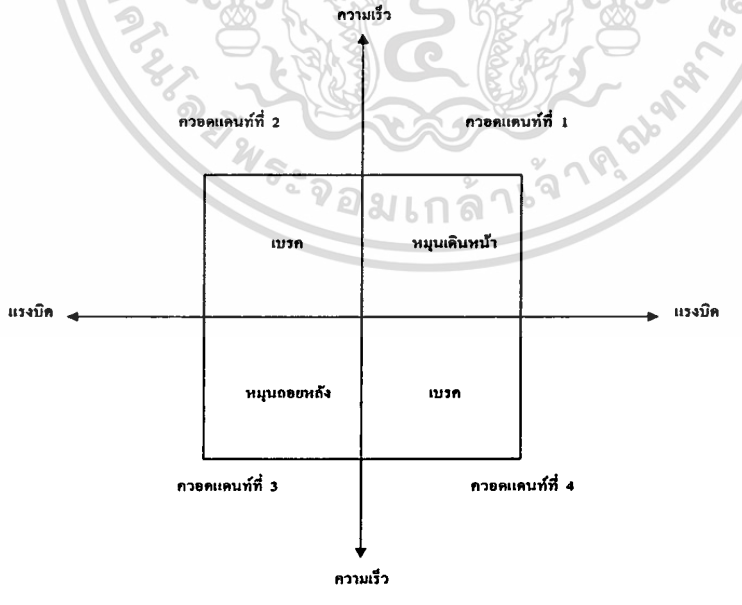
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ chopper

วงจร chopper จะนิยมใช้ในการควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์ โดยอาจจะใช้อุปกรณ์สวิทช์ประเภท Transistor , Power MOSFET หรือ IGBT เนื่องจากจะไม่ยุ่งยากในการจะให้หยุดนำกระแส เหมือนกับ SCR. และข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ Transistor , Power MOSFET และ IGBT สามารถเปิด- ปิด วงจรที่ความถี่สูงได้[7] วงจร chopper สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ หลายทิศทาง โดยเราจะกำหนดให้เป็น 4 ควอดแดนท์ จากรูปที่ 4.2 ก. แสดงทิศทางระหว่างแรงบิดและความเร็วแบ่งออกเป็น 4 ควอดแดนท์ รูปที่ 4.2 ข. แสดงทิศทางของแรงดันและกระแส ทั้ง 4 ควอด แดนซ์ ในควอดแดนท์ที่ 1 มอเตอร์จะหมุนเดินหน้า ทิศทางของแรงดันและกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์จะเป็นบวก ในควอดแดนท์ที่ 2 ในสภาวะเบรค มอเตอร์จะเปลี่ยนการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เราเรียกว่า การเบรคแบบ regenerative ทิศทางของแรงดันเป็นบวก แต่ทิศทางของกระแสจะกลับทิศทางจากเดิม เป็นลบ ในควอดแดนท์ที่ 3 และ4 เมื่อมอเตอร์กลับทางหมุน โดยกลับขั้วแรงดันที่อาร์เมเจอร์ จะมีทิศทางของแรงดันและกระแส จะเปลี่ยนไปเช่นเดียวกัน

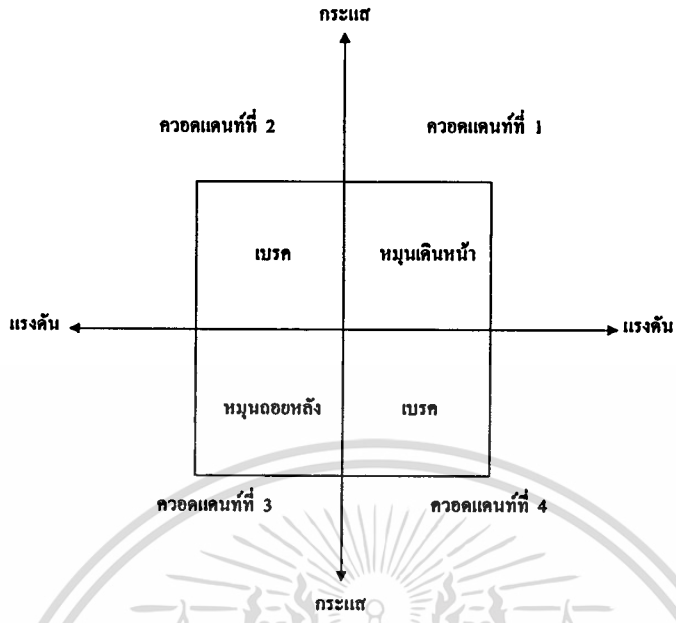
รูปที่ 4.2 ก. แสดงทิศทางของแรงบิดและความเร็วใน 4 ควอดแดนท์

ข. แสดงทิศทางของแรงดันและกระแส อาร์เมเจอร์ ใน 4 ควอดแดนท์



(ก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

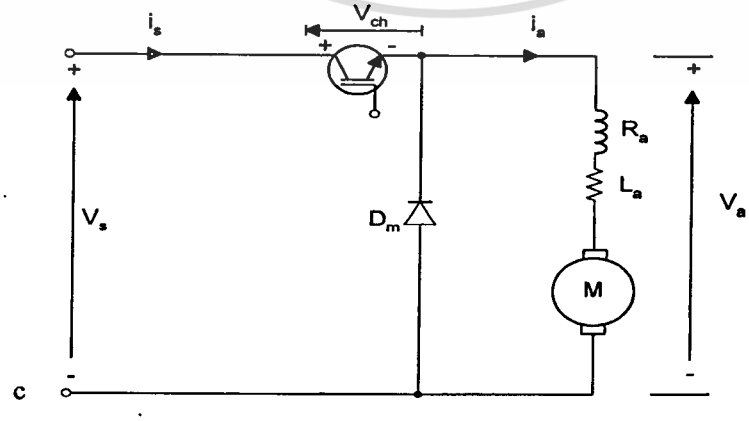


(ข.)

4.2.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ chopper ในควอดแดนท์ที่ 1

การขับเคลื่อนมอเตอร์แบบในควอดแดนท์ที่ 1 มีหลักการดังที่ได้กล่าวแล้ว ในการทำงานเราจะใช้อุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิกส์กำลัง เป็นตัวเปิด-ปิดวงจร จากรูปที่ 4.3 จะเป็นวงจรchopper โดยใช้ IGBT เป็นตัวเปิด-ปิด จากสัญญาณความถี่ควบคุมขาเกทของ IGBT เมื่อ IGBT อยู่ในสภาวะปิด พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์ จะไหลผ่าน D_m ทำหน้าที่ เป็น free wheeling diode

รูปที่ 4.3 แสดงวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ chopper ควอดแดนท์ที่ 1

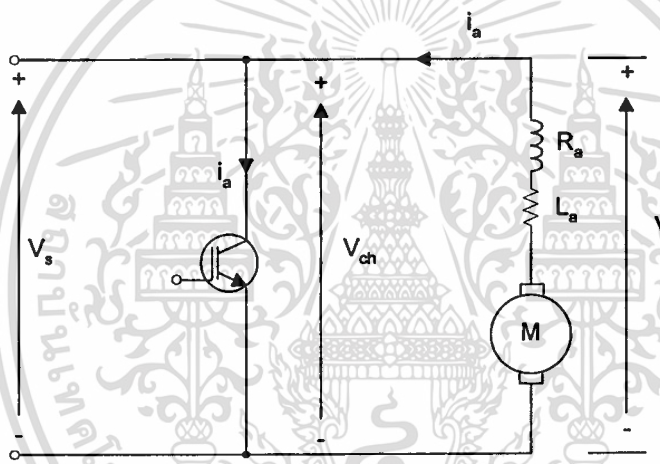


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในควอดแดนท์ที่ 2

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในควอดแดนท์ที่ 2 คือการทำให้มอเตอร์หยุดหมุนหรือเบรคมอเตอร์แบบ regenerative ทิศทางของแรงดันเป็นบวก แต่ทิศทางของกระแสจะกลับทิศทางจากเดิม ทิศทางกระแสเป็น ลบ ในสภาวะนี้ มอเตอร์จะเปลี่ยนสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังงานของมอเตอร์จะย้อนกลับไปที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าและถูกลัดวงจรกระแสโดย IGBT แรงบิดมีทิศทางสวนทางกับทิศทางเดิม ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ จะลดลงอย่างลดเร็ว จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงวงจร chopper ที่ใช้ในการเบรคมอเตอร์

รูปที่ 4.4 แสดงวงจรการเบรคมอเตอร์แบบ regeneration



สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยของการเบรคมอเตอร์

$$V_{ch} = (1 - k)V_s \quad (4.4)$$

$$P = I_a V_s(1 - k) \quad (4.5)$$

$$E_g = K_v I_a \omega \quad (4.6)$$

$$= V_{ch} + R_a I_a = (1 - k)V_s - R_a I_a \quad (4.7)$$

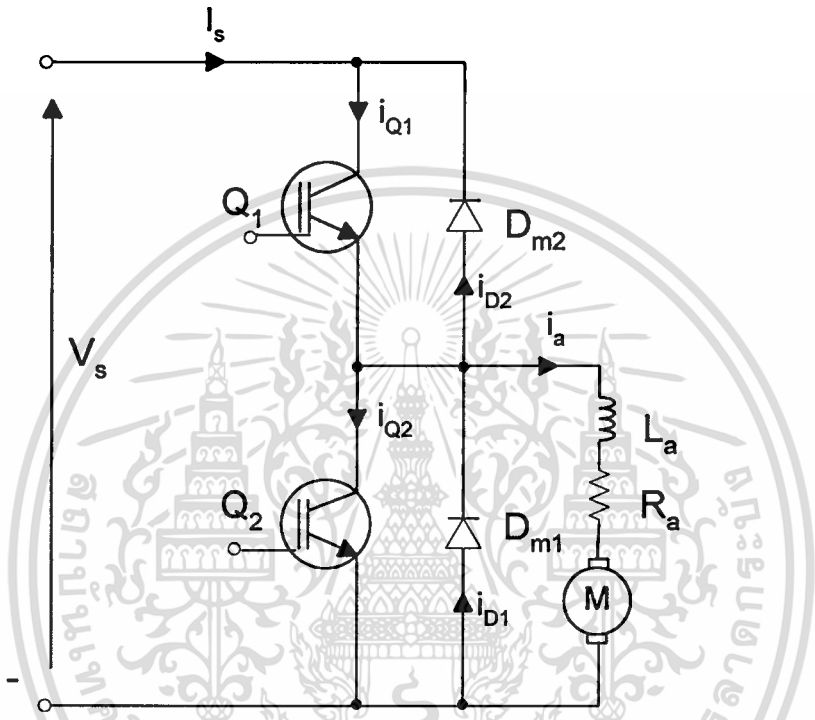
4.2.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 2 ควอดแดนท์

ในวงจรการขับเคลื่อนแบบ 2 ควอดแดนท์ จะนำการขับเคลื่อนแบบ 1 ควอดแดนท์ และ แบบ 2 ควอดแดนท์ มารวมกัน จะได้การควบคุม ทั้งสองทิศทาง คือในสภาวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์หมุน และสภาวะเบรค เราเรียกว่าการควบคุมแบบ 2 ควอดแดนท์ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่4.5 จะประกอบด้วย IGBT 2 ตัว คือ Q_1 และ Q_2 โดย Q_1 จะทำงานในควอดแดนท์ ที่ 1 และ Q_2 จะทำงานใน ควอดแดนท์ที่ 2 ไดโอด ที่ เป็น Free wheeling 2 ตัว คือ D_{m1} และ D_{m2}

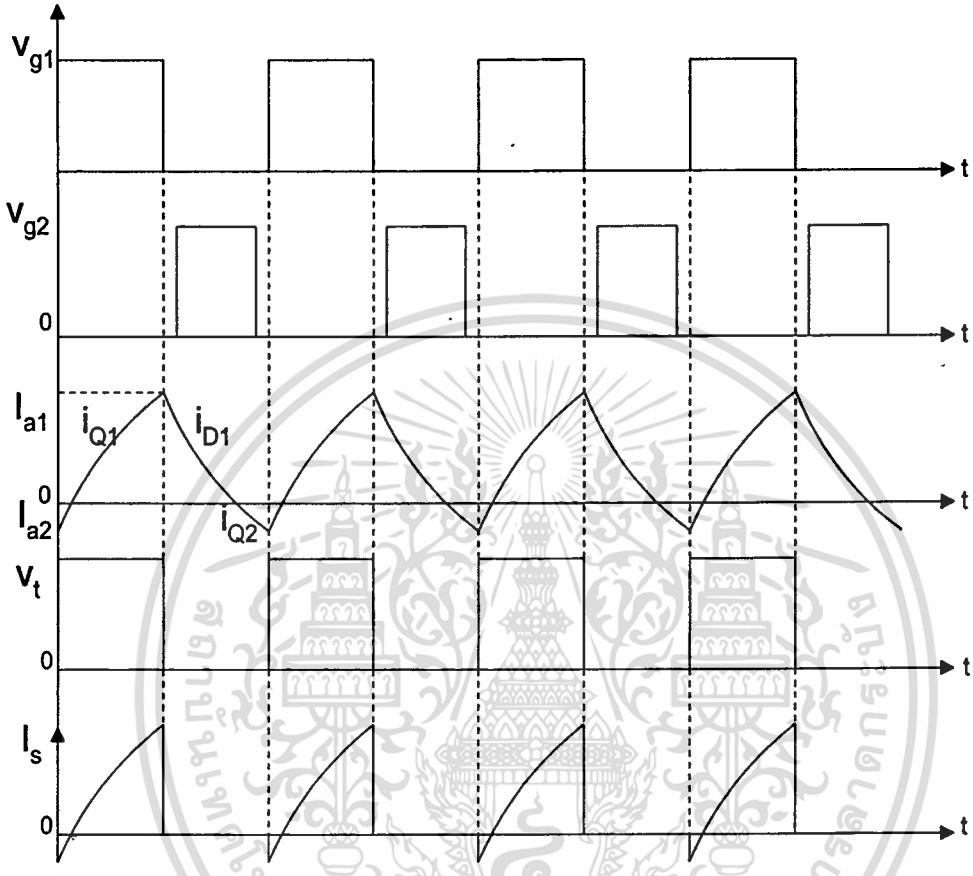
รูปที่ 4.5 แสดงวงจร chopper แบบ 2 ควอดแดนท์ โดยใช้ IGBT



รูปของสัญญาณ ในแต่ละส่วนของการขับเคลื่อนแบบ chopper แบบ 2 ควอดแดนท์ จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.6 สัญญาณที่ควบคุม ขาเกท ของ Q_1 และ Q_2 จะมีการหน่วงเวลาเล็กน้อยเพื่อป้องกันการลัดวงจรชั่วขณะ เมื่อ Q_1 และ Q_2 ทำงานพร้อมกัน รูปคลื่นสัญญาณของกระแส I_a จะเกิดขึ้นจากผลของการลดพลังงานสะสม ในตัวเหนี่ยวนำ ในขดลวด อาร์เมเจอร์ และกระแส ในช่วงที่ Q_2 ทำการ regenarative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณ ของกระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆของวงจร chopper แบบ 2 ควอดแดนท์

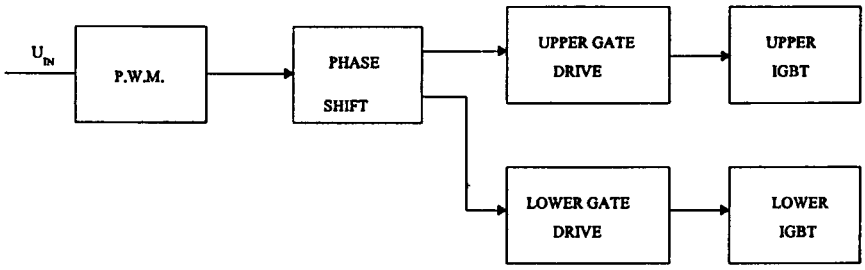


4.3 การออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากหลักการพื้นฐานของวงจร chopper ดังที่กล่าวมาแล้ว จะนำมาสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยในที่นี้เราจะเลือกการขับเคลื่อนแบบ 2 ควอดแดนท์ ที่แสดงในหัวข้อที่ผ่านมา โดยมีจุดประสงค์ให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว และมีการเบรคเมื่อระดับของความเร็วลดลง การควบคุมแรงดันเฉลี่ยในวงจรอาร์เมเจอร์ จะใช้วิธี P.W.M. พิกัดของขนาดมอเตอร์ที่ต้องการขับเคลื่อน ขนาดไม่เกิน 2 กิโลวัตต์ แรงดัน 220 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

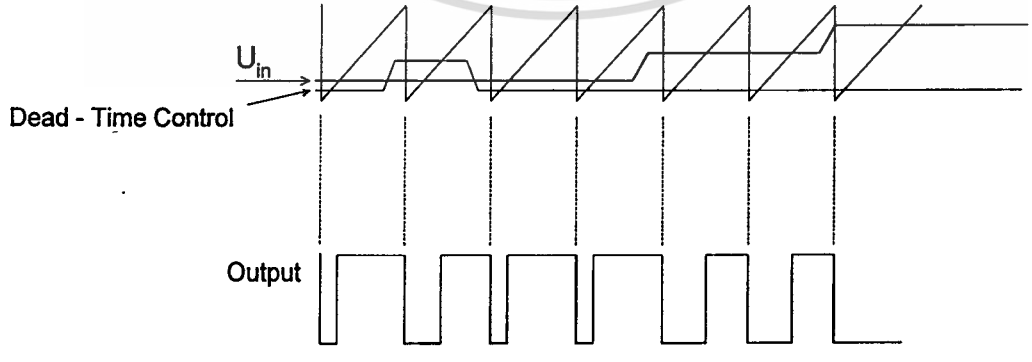
รูปที่ 4.7 โครงสร้างของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 2 ควอดแดนท์



โครงสร้างของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 2 ควอดแดนท์ ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. วงจรสร้างสัญญาณ Pulse Width modulation (P.W.M.) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณความถี่และควบคุมความกว้างของสัญญาณ ตามค่าคำสั่งที่จ่ายให้วงจร จากรูป 4.3 กำหนดให้คำสั่งเท่ากับค่า U_{in} ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปฟันเลื่อยที่ถูกสร้างขึ้นภายในวงจร P.W.M. หน้าที่สำคัญของวงจร P.M.W. คือ สร้างสัญญาณรูปฟันเลื่อย และ เปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยกับระดับแรงดัน U_{in} จากรูปที่แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบ ของสัญญาณทั้งสอง ได้ สัญญาณเอาท์พุท เป็นพัลส์ ที่เปลี่ยนแปลงค่า Duty cycle ตามผลการเปรียบเทียบ สัญญาณเอาท์พุทนี้จะนำไปผ่านวงจรขับเกท ของ IGBT. เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวงจรต่อไป ส่วนสัญญาณ Dead time control ที่เห็นในรูปเป็นสัญญาณอินพุทอีกขาหนึ่ง IC. เบอร์ 34060 [20] มีไว้ให้ในกรณีที่ต้องการควบคุม dead time โดยมีคุณสมบัติเดียวกันกับขา U_{in}

รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทของพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดย่านความถี่ของวงจร P.W.M.

หลักเกณฑ์ในการกำหนดขนาดของความถี่ ให้วงจร chopper มีดังนี้

1. คุณสมบัติของ IGBT ที่นำมาใช้ในการเปิด-ปิด ในที่นี้เลือกใช้ IGBT ของบริษัท Internation Rectifier (IR.) [21] เบอร์ IRGPH40U อัตราทนแรงดันสูงสุด เท่ากับ 600 โวลท์ การตอบสนองกับความถี่ 1- 10 kHz. อัตราทนกระแสต่อเนื่องที่ คอลเลคเตอร์ 40 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซส

2. ความต่อเนื่องของกระแสอาร์เมเจอร์ ในขณะที่มีการเปิด-ปิด ถ้าความถี่ของการเปิด-ปิด น้อยเกินไป จะเกิดความไม่ต่อเนื่องของกระแสทำให้ มีผลกับค่าแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น แต่ถ้าความถี่สูงเกินไป จะเกิดสัญญาณรบกวนสูงเช่นกัน จากเหตุผลและการทดสอบ เลือกความถี่ เท่ากับ 10 kHz.

การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณ P.W.M.

วงจรกำเนิดสัญญาณ P.W.M. นี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ MC34060P จากบริษัท Motorola ซึ่งมีวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยและวงจรเปรียบเทียบอยู่ภายใน การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการกำเนิดความถี่กำหนดได้ดังนี้

กำหนดให้

f_{osc} เท่ากับ ความถี่ของสัญญาณพัลส์

R_T , C_T เท่ากับ ค่าพารามิเตอร์ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T C_T} \tag{4.8}$$

การคำนวณหาค่า C_T และ R_T

ความถี่ที่ใช้ในการขับมอเตอร์ จะเลือกใช้ที่ 10kHz. เหตุผลในการเลือกความถี่ในย่านนี้ เพื่อต้องการ ให้กระแสของมอเตอร์ มีริปเปิ้ลน้อย เราสามารถเลือกย่านความถี่ให้มีค่ามากกว่านี้ แต่ผลตามมาจะมีสัญญาณรบกวนมาก จากคู่มือของ IC MC34060P. จะหาค่าของ C_T เท่ากับ 0.0047 μF. และความต้านทาน R_T เท่ากับ 500 kΩ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

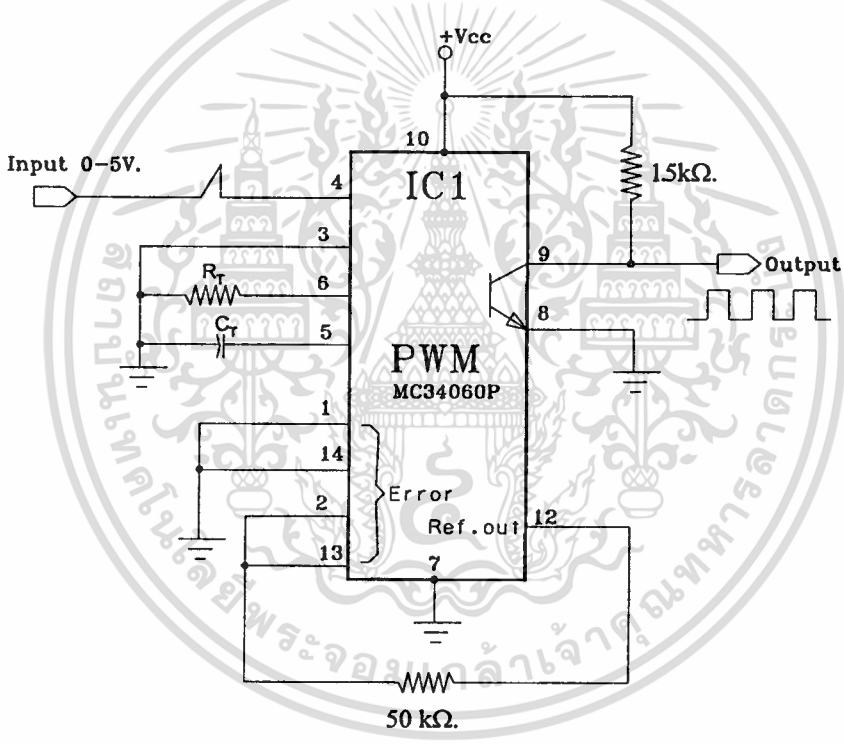
คำนวณหาค่า R_T จากสูตร

$$R_T = \frac{1.1}{f_{OSC} \times C_T} \qquad (4.9)$$

พิจารณาเลือก = 0.001 μF.

$$R_T = \frac{1.1}{10 \times 10^3 \times 0.001 \times 10^{-6}} = 110\ k\Omega.$$

รูปที่ 4.9 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณ P.W.M. โดยใช้ IC. MC. 34060

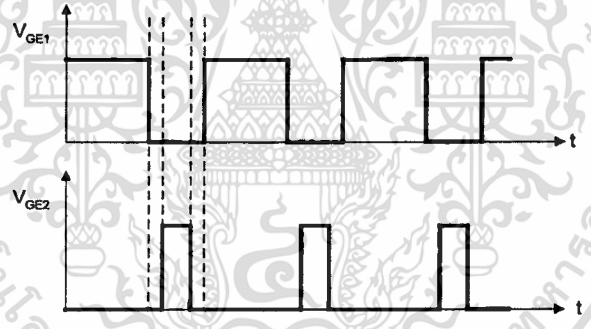


จากรูปที่ 4.3 แสดงรูปวงจรการสร้างสัญญาณ P.W.M. โดยใช้ IC. MC. 34060 ค่าความกว้างของสัญญาณเอาท์พุท จะถูกควบคุมจากระดับแรงดัน D.C. ที่ป้อนเข้าทางอินพุท ที่ขา 4 ในช่วงระดับแรงดัน 0 – 5 โวลท์ ค่าความถี่ของสัญญาณเอาท์พุท จะถูกกำหนดที่ค่า R_T และ C_T ตามสมการที่ (4.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรการเลื่อนเฟส (phase shift) เนื่องจากการออกแบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ ในที่นี้เป็นแบบ 2 ควอดแดนท์ โดยกำหนดให้ IGBT. ทั้งสองตัวทำงานสลับกัน ดังนั้น เฟส ของสัญญาณควบคุม IGBT. ทั้งสองตัวจะห่างกัน 180 องศา หรือทำงานสลับ แต่ปัญหา ในการเปิด-ปิดของ IGBT. แต่ละตัวอาจจะมีโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันได้ชั่วขณะ ทำให้ เกิดการลัดวงจรได้ ดังนี้ จึงได้สร้างวงจรเลื่อนเฟสของสัญญาณทั้งสอง ให้มีการหน่วงเวลา เพื่อป้องกันการลัดวงจรจากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณควบคุม IGBT. ทั้งสองตัว หลังจากได้ผ่านวงจรเลื่อนเฟสจะเห็นได้ว่า จะมีช่วงว่างเล็กน้อยก่อนที่ IGBT. แต่ละตัวจะทำ งาน รูปที่ 4.11 แสดงวงจรเลื่อนเฟส โดยประยุกต์จาก IC. OP – AMP และ IC. CMOS สร้างวงจรเลื่อนเฟส

รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณ ที่ผ่านการเลื่อนเฟส

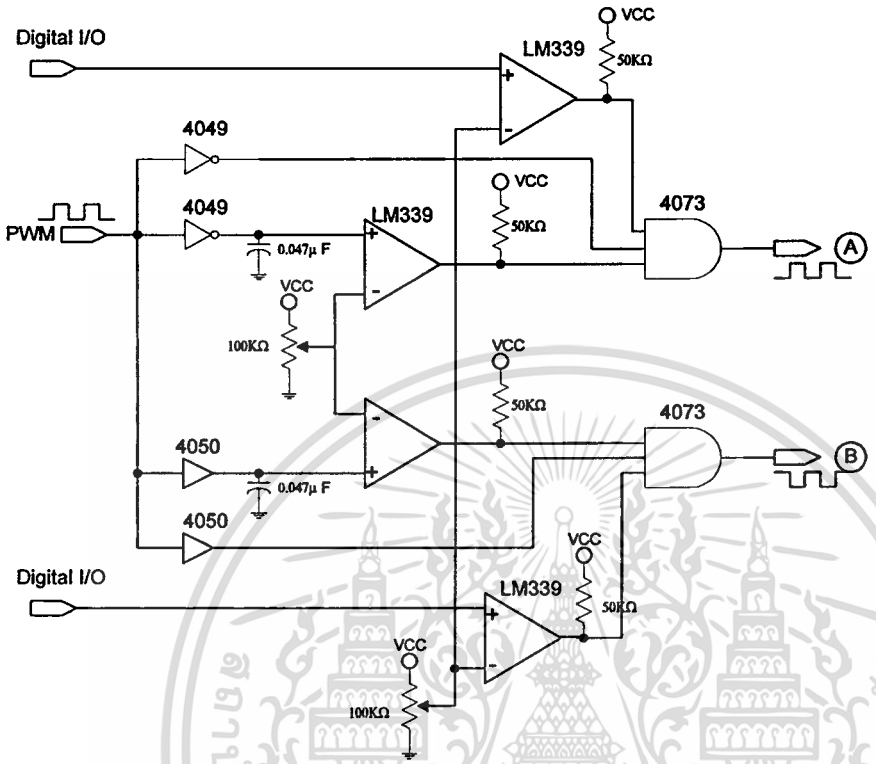


3. วงจรขับเกท IGBT (gate driver circuit)

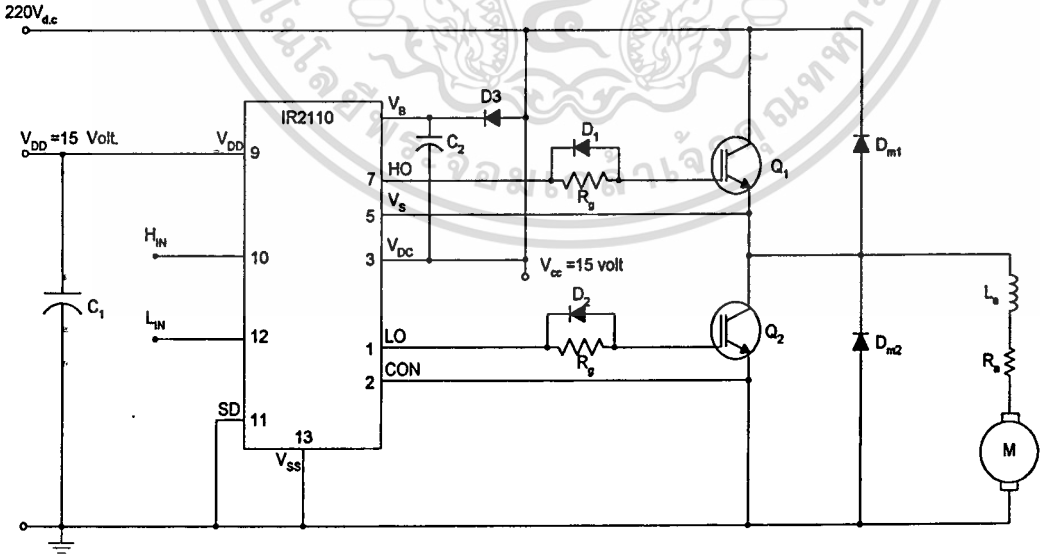
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณ P.W.M. เพื่อใช้ในการควบคุมการ ทำงานของ IGBT. ในที่นี้ใช้ IC. IR2110[21] ซึ่งมีวงจรขยายสัญญาณ 2 ชุดอยู่ในตัวเดียวกัน สามารถควบคุมขาเกทของ IGBT. ได้ทั้งสองควอดแดนท์สามารถทนแรงดันได้สูง และ ป้องกันสัญญาณรบกวนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงรูปวงจรเลื่อนเฟส



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรขับเกท IGBT แบบ 2 ควอดแดนท์ โดยใช้ IC. IR2110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 แสดงการใช้ IC. IR2110 ขับขาเกท แบบ 2 ควอดแดนท์ โดยจะมีขาอินพุท 2 ขา คือขา H_{in} และ L_{in} ซึ่งรับสัญญาณ จาก ไอซี สร้างสัญญาณ P.W.M. และวงจรเลื่อนเฟส เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณ รบกวนในวงจร ได้ต่อเชื่อมสัญญาณด้วย OP -TO isolater ทั้งสองอินพุทก่อนจะเข้าขา H_{in} และ L_{in} วงจรที่แสดงในรูปที่ 4.6 นี้เป็นวงจรที่ผู้ผลิตได้แนะนำ ในคู่มือการใช้ ไอ ซี [21]

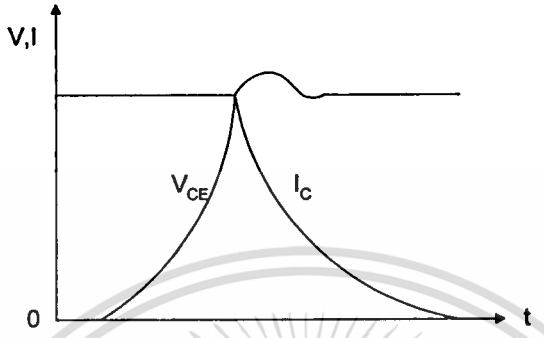
ส่วนที่สำคัญของวงจรนี้คือ ตัวต้านทาน R_g และไดโอด D_1 และ D_2 ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่จะขับขาเกทของ IGBT ทั้งสองตัว ผลของการจำกัดกระแสเกทนี้ จะทำให้หน่วงเวลาการเปิด ของ IGBT จะทำให้ลดสัญญาณการพุ่งเกิน (over shoot) แรงดัน chopper ที่โหลดได้รับได้ และแรงดันพุ่งเกินนี้จะมีผลกับสัญญาณรบกวนให้กับบริเวณรอบข้างมาก แต่ผลเสียของการให้ค่าความต้านทาน R_g มากเกินไป จะมีพลังงานสะสมที่ขาเกทของ IGBT มากเกินไป จะทำให้ IGBT เสียหายได้ ส่วนไดโอด D_1 และ D_2 จะควบคุม ในช่วง IGBT ปิด คือให้ IGBT ปิดวงจรโดยไม่ผ่าน R_g หรือ ไม่มีการจำกัดกระแสขณะที่หยุดทำงาน ทำให้ IGBT หยุดนำกระแสอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ได้พบว่า ผลเสียของการป้องกันสัญญาณการพุ่งเกิน จะทำให้ สัญญาณ pulse เสียรูปไป เกิดความลาดเอียงของช่วงขอบขาขึ้น ทำให้ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาท์พุทของ chopper ไม่เป็นเชิงเส้น แต่เพื่อป้องกันอันตราย จำเป็นต้องมีการป้องกันไว้ โดยจะแสดงรูปสัญญาณให้เห็นในช่วงต่อไป การออกแบบค่า Rg จะได้จาก คู่มือ ไอซี จากบริษัทผู้ผลิต $R_g = 100\ \Omega$. และ ไดโอด D_1 และ D_2 จะเลือกใช้ ประเภท fast diode ขนาด 5 แอมป์

4. วงจรสนับเบอร์

วงจรสนับเบอร์มีหน้าที่ในการลดการเกิดกำลังงานสูญเสียของ IGBT ขณะที่เปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงการเปลี่ยนสถานะจาก เปิด ไปเป็นปิด หรือหยุดการนำกระแส จะเกิดอัตราการเปลี่ยนแปลง ของแรงดันอย่างรวดเร็ว เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้อาจทำได้โดยการต่อวงจรสนับเบอร์เข้ากับ IGBT เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่าน IGBT ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในที่นี้เราจะใช้สนับเบอร์แบบ RCD ต่อคร่อมระหว่างคอลเลคเตอร์และขาอิมิเตอร์ [22][23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงการลดลงของกระแสคอลเล็คเตอร์ (I_c) และ การเพิ่มขึ้นของแรงดันคร่อมขาคอลเล็คเตอร์และอิมิเตอร์ (V_{CE})



การทำงานของวงจร RCD สนับเบอร์ ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้คือ เมื่อ IGBT เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1 และ ไดโอด D_1 ของวงจรสนับเบอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C_1 ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม C_1 จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ IGBT เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้น ถ้าให้ C_1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงออกไปเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่าน IGBT ลดลงจนมีค่าน้อย ๆ ได้ทันกัน และจะลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว IGBT ได้ ขณะที่ IGBT นำกระแสอีกครั้ง C_1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_1 แรงดันตกคร่อม C_1 จะลดลงต่ำอีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป ค่าของ C_1 และ R_1 ที่เหมาะอาจหาได้จาก โหลดของ ดีซีมอเตอร์ ขนาด 2.2 kw. กินกระแส 10 Amp. V_s = 220 Volt. ความถี่ในการชอป (Frequency Chopper) F_s = 10 kHz. IGBT มีค่า Tf = 1 μSec

$$T_{on}(\min) = 4.10 \ \mu\text{Sec} \qquad (4.10)$$

คำนวณหาค่า C_s จากสมการ $C_s = \dfrac{2I_m t_{FL}}{9V_s}$

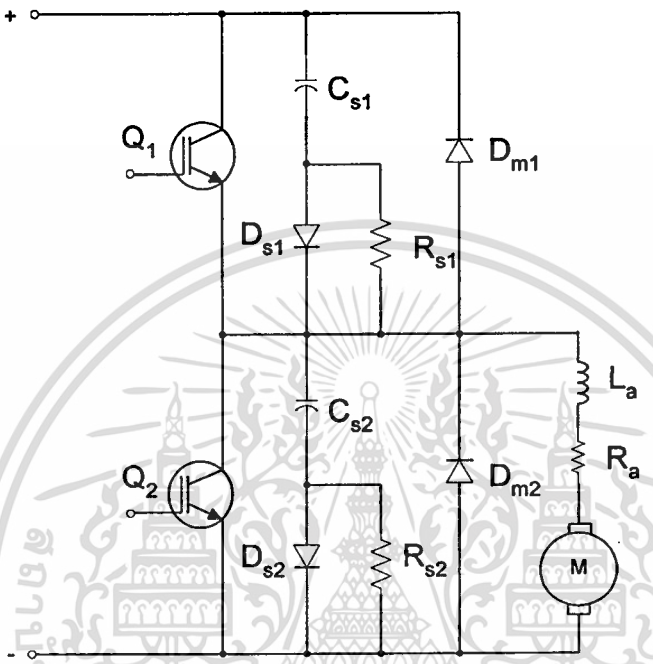
$$C_s = \frac{2 \times 10 \times 10^{-6}}{9 \times 220}$$

$$= 0.01 \ \mu\text{F}.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกคาปาซิเตอร์ C_s = 0.01 μF.

รูปที่ 4.14 แสดงการต่อวงจร RCD สนับเบอร์ในchopper 2 ควอดแดนท์



คำนวณหาอัตราทนกำลังของตัวต้านทานที่มาต่ออนุกรมกับ C_s

$$P_{rs} = 0.5C_sV_s^2F_s \qquad (4.11)$$

$$= 0.5\times 0.01\times 10^{-6}\times 220^2\times 10\times 10^3$$

= 2.42 Watt.

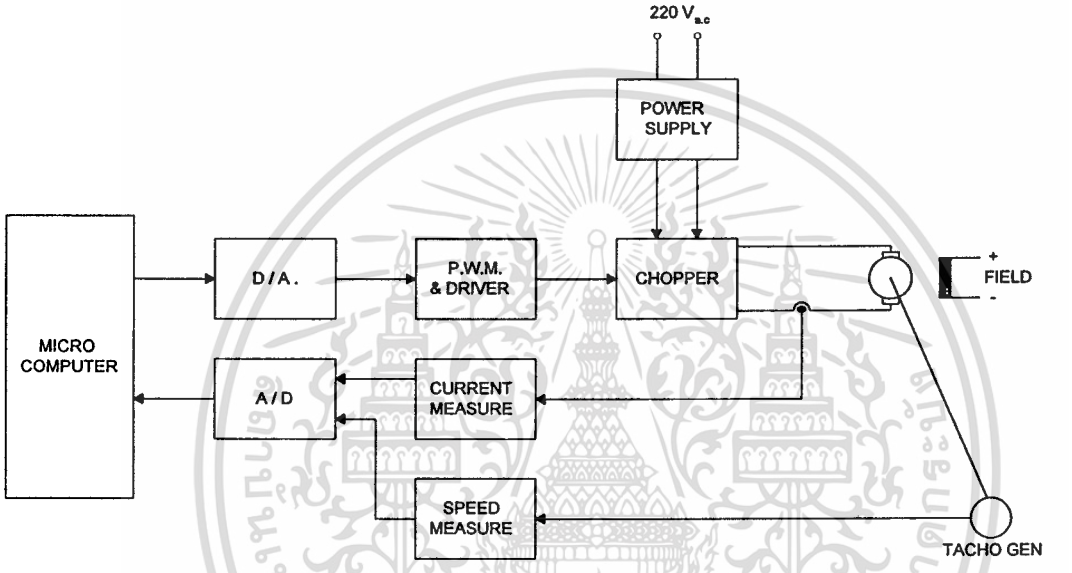
คำนวณค่า R_S จากสูตร $T_{on}(min) = 5R_sC_s$

$$R_s = \frac{4.10\times 10^{-6}}{5\times 0.01\times 10^{-6}} = 82\,\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 โครงสร้างของการควบคุม และการขับเคลื่อนมอเตอร์

รูปที่ 4.15 แสดงโครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



ในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ จะออกแบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ดังแสดงโครงสร้างของการควบคุม ในรูปที่ 4.15 ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จะถูกสร้างขึ้นบนไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านการขับเคลื่อนมอเตอร์ แบบ chopper 2 ควอดแดนท์ วัดระดับความเร็วมอเตอร์ด้วย tacho generator และวัดกระแสของวงจรอาร์เมเจอร์ด้วย hall sensor ส่งผ่าน A/D card เข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ และส่งค่าที่ประมวลผลได้ ผ่าน D/A card เพื่อส่งให้ตัวขับเคลื่อนควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานต่อไป ในช่วงต่อไปจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตัวควบคุม หลังจากที่ได้กล่าวถึงการสร้างตัวกำเนิดสัญญาณ P.W.M. , วงจรการเลื่อนเฟส , วงจรการขับเกท,และ วงจร chopper ด้วย IGBT. 2 ควอดแดนท์ แล้วนั้น ในหัวข้อต่อไป จะกล่าวถึง ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้ในการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเร็วและค่ากระแสอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ทดสอบ

- D.C. shunt wound motor

แรงดันพิกัด	220	volt
กำลังไฟฟ้าพิกัด	1000	watt
กระแสพิกัด	9	amp
ความเร็วรอบ	1500	r.p.m.

ขนาดของเครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์

ใช้ tacho genertor A.C. tacho generator ขนาด 10 volt, 1.5 watt, 6000 r.p.m

ขนาดของเครื่องวัดค่ากระแสอาร์เมเจอร์

ใช้วัดค่ากระแสโดยใช้ hall sensor สำเร็จรูป ขนาด 10 amp.

ขนาดของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. power supply)

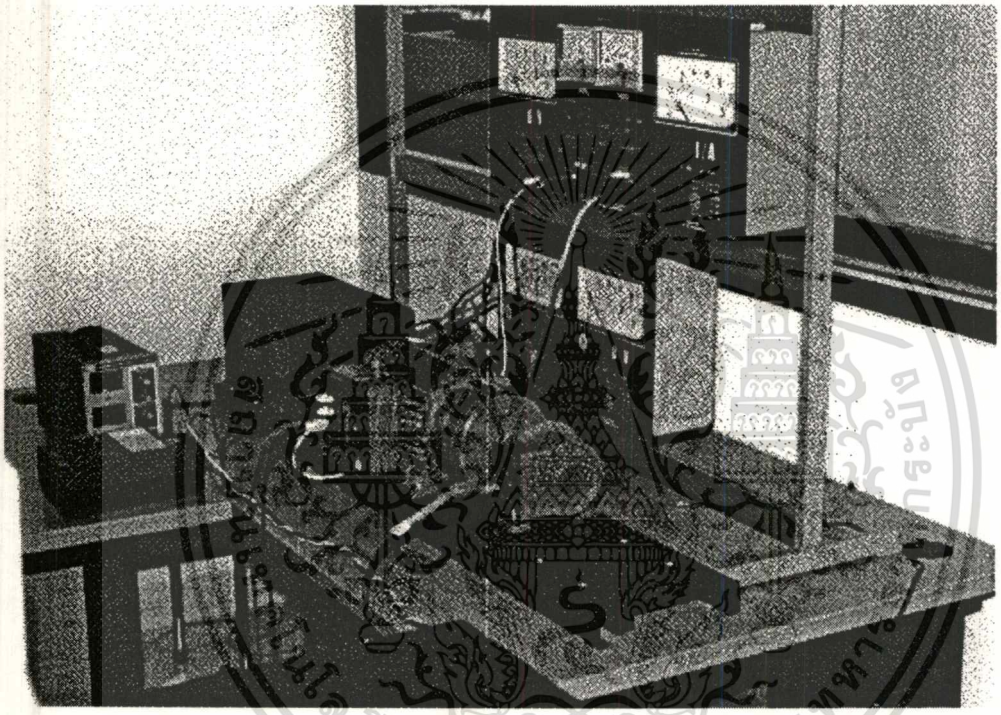
เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จะแยกเป็น 2 ส่วน

- เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงวงจรอาร์เมเจอร์ ใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดทดสอบสำเร็จรูป ขนาด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เท่ากับ 0 - 250 โวลท์ กระแสสูงสุด 10 แอมป์

- เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก ใช้เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 0 - 250 โวลท์ กระแสสูงสุด 8 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

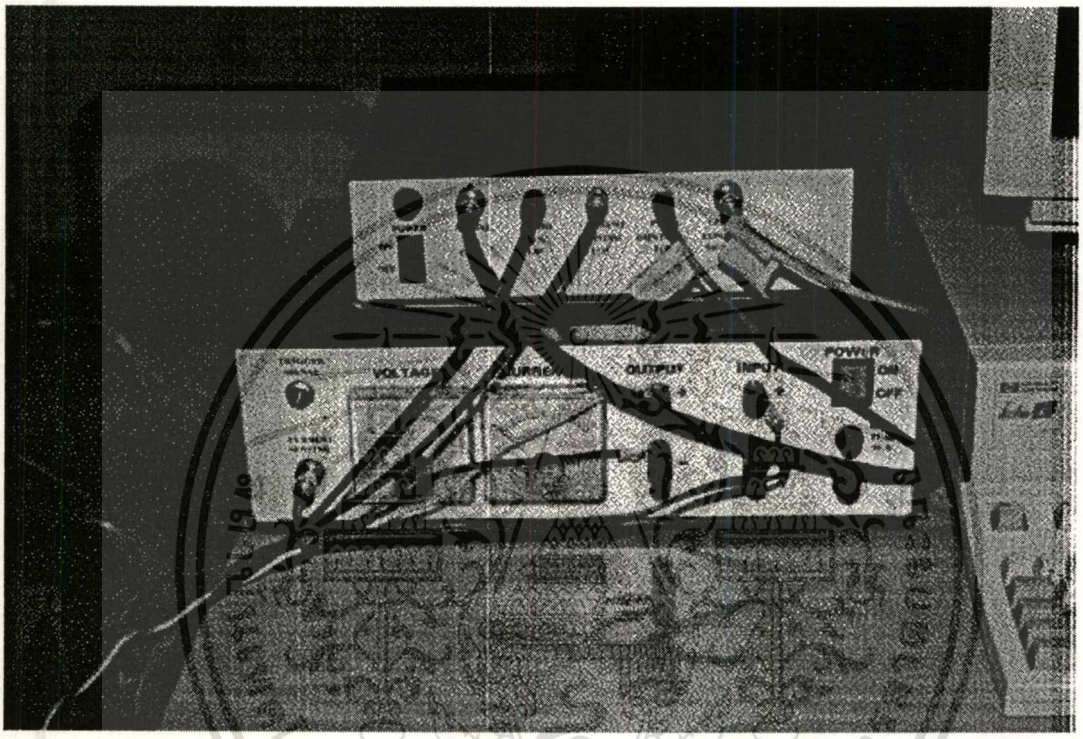
รูปที่ 4.16 แสดงภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกที่ใช้ทดลอง



จากรูปที่ 4.16 แสดงภาพของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รายละเอียดในภาพ จะแสดง มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วรอบ magnetic powder brake เครื่องมือวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

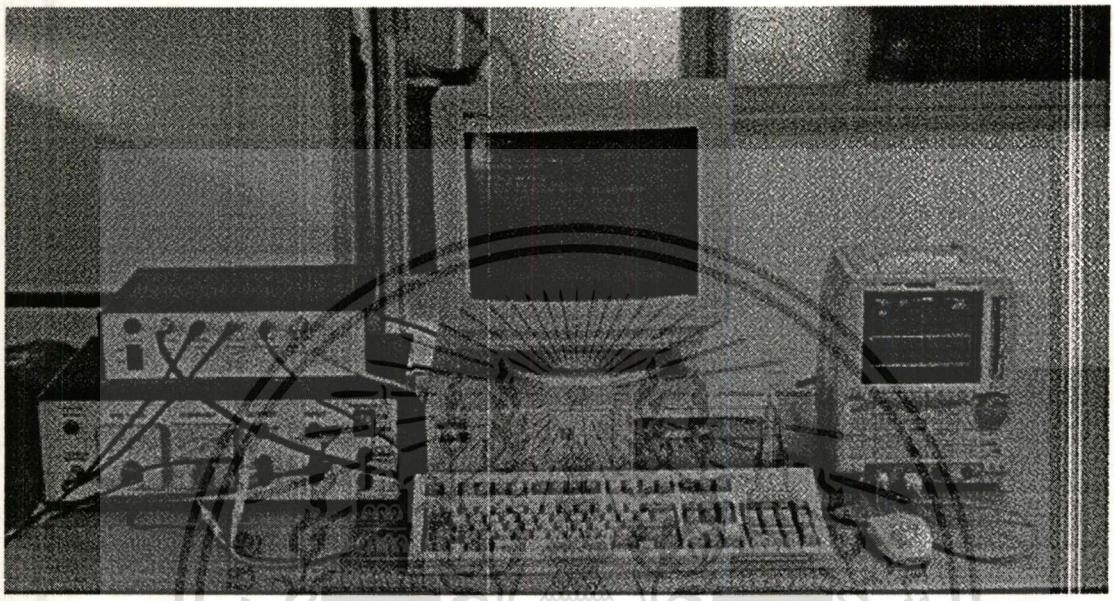
รูปที่ 4.17 แสดงภาพ ของตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ chopper ที่ สร้างขึ้น



จากภาพที่ 4.17 แสดงตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น โดยประกอบด้วย วงจรกรองสัญญาณ ความเร็วรอบที่วัดได้จาก tacho generator ตัวกรองสัญญาณกระแสที่วัดได้ ตัวสร้างสัญญาณ PWM. ตัวเลื่อนเฟส เป็นส่วนประกอบในกล่องด้านบน ตัวขับเกทของ IGBT ตัววัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้ hall sensor และ IGBT แบบ 2 ควอดแดนซ์ เป็นส่วนประกอบในกล่อง ด้านล่าง จากตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนี้ จะต่อเชื่อม กับ A/D card ที่ติดตั้งไว้ที่ ไมโครคอมพิวเตอร์ ดังจะแสดงในรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 แสดงภาพ ของตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ไมโครคอมพิวเตอร์ และ digital storage scope ที่ใช้วัดและบันทึกสัญญาณ



จากรูปที่ 4.18 แสดงภาพของตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ไมโครคอมพิวเตอร์ และ digital storage scope ที่ ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

สรุปการนำเสนอในบทนี้ ได้กล่าวถึง โครงสร้างของตัวควบคุมและตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้เป็นแบบ chopper วิธีการสร้างตัวกำเนิดสัญญาณ P.W.M. การสร้างชุดเลื่อนเฟส และ การขับเกทของ IGBT แบบ 2 ควอดแดนท์ ซึ่ง ในส่วนของการสร้างสัญญาณ P.W.M. และ การขับเกท จะใช้ IC. สำเร็จรูป โดยลักษณะของวงจร จะใช้ตามวงจรแนะนำได้จาก คู่มือ จากบริษัทผู้ผลิต ส่วนในกรออกแบบวงจรเลื่อนเฟส จะประยุกส์จาก IC. OP-AMP และ IC. CMOS ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ซึ่งสร้างบนไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุม ฟัซซี่ ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยกล่าวเป็นหัวข้อใหญ่ได้ดังนี้

- โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่
- การออกแบบตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์และตัวควบคุมกระแสแบบฟัซซี่
- โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงสมรรถนะ
- การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ โดยมีตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะ
- โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง
- การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง
- การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองโดยใช้การปรับดัชนีตัวถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น

5.1 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่

โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ จะประกอบด้วย ตัวควบคุมความเร็วและตัวควบคุมกระแสมอเตอร์ ชนิดต่อเรียงกัน(cascade control) ประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบลูปปิด 2 ลูป คือลูปของตัวควบคุมกระแส และลูปของตัวควบคุมความเร็ว (ดังรูปที่ 5.1) โดยลูปกระแสเป็นลูปที่อยู่วงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำไปควบคุมวงจรขับเคลื่อนแบบชอปเปอร์ควบคุมระดับแรงดันของอาร์เมเจอร์ โดยมีการกำหนดตัวแปรดังนี้

ω_r = ความเร็วอ้างอิง

ω_m = ความเร็วที่วัดได้จากเทคโครมีเตอร์

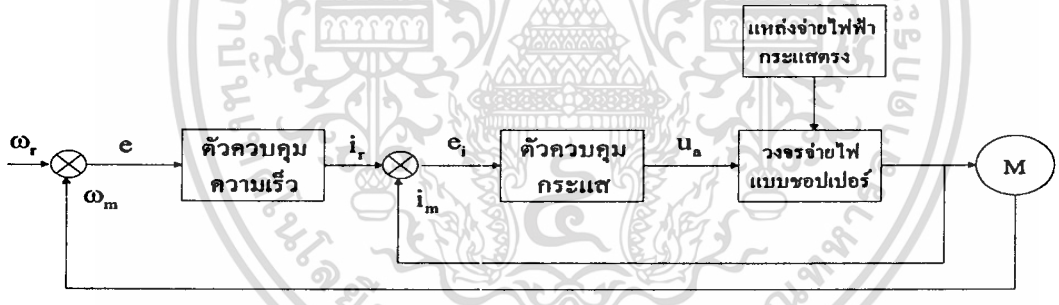
e,ce = ค่าผิดพลาดและอัตราการผิดพลาดระหว่างความเร็วอ้างอิงกับความเร็วที่วัดได้

i_r = ค่ากระแสอาร์เมเจอร์อ้างอิง ซึ่งเป็นค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมความร็วโนลูปแรก

i_m = ค่ากระแสอาร์เมเจอร์ที่วัดได้

u_a = ค่าเอาท์พุทของลูปกระแส เพื่อไปควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ผ่าน อุปกรณ์ขับมอเตอร์ต่อไป

รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมความเร็วและควบคุมกระแสมอเตอร์กระแสตรงแบบเรียงกัน



5.2 การออกแบบตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์และตัวควบคุมกระแสแบบฟัซซี่

จากรูปที่ 5.1 ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมมอเตอร์นี้ จะประกอบด้วยตัวควบคุม 2 ส่วน คือ

- ตัวควบคุมความเร็วเป็นตัวควบคุมที่อยู่วงนอก เราจะใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ แบบ FKBC.โดยจะมีการควบคุมแบบฟัซซี่ PD.ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.8 ของบทที่ 3
- ตัวควบคุมกระแส เป็นตัวควบคุมที่อยู่วงใน จะใช้ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ FKBC. เช่นกัน แต่จะมีการควบคุมแบบฟัซซี่ PI. ต่อไปจะกล่าวถึงการออกแบบ ตัวควบคุมแต่ละส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 ฟัซซิฟิเคชั่นโมดูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาค นอร์เมอไรซ์เซชั่น และ ฟัซซิฟิเคชั่น

ภาคนอร์เมอไรซ์เซชั่น

เป็นการแปลงสเกลของค่าอินพุทคือค่าผิดพลาดของความเร็วให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซี่ โดยทั่วไปแล้วการนอร์เมอไรซ์เซชั่น จะแปลงค่าเอกภพสัมพัทธ์ ของตัวแปรอินพุท ให้อยู่ในช่วง [0,1] แต่ในที่นี้เรากำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ ให้อยู่ในช่วง [-8,8] การแปลงสเกลนี้เราจะใช้ค่า สเกลเฟคเตอร์เป็นตัวคูณค่าผิดพลาดจริง ให้อยู่ในย่านของเอกภพที่กำหนด การหาเนอเมอไรซ์แฟคเตอร์ หาได้จากสมการที่ (5.1)

$$N.F. = \frac{X_{max} - X_{min}}{N} \qquad (5.1)$$

กำหนดให้

X_{max} = ค่าความเร็วสูงสุดที่ได้จาก A/D CARD ที่อ่านได้

X_{min} = ค่าความเร็วต่ำสุดที่ได้จาก A/D CARD ที่อ่านได้

N = ค่าสูงสุดของเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซี่

N.F. = นอร์เมอไรซ์แฟคเตอร์

ฟัซซิฟิเคชั่น

มีหน้าที่ในการแปลงคลิปเซตของค่าผิดพลาด (e) และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพ ลาด (ce) ของค่าอ้างอิงและค่าที่วัดได้จริง และผ่านการนอเมอไรซ์ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ E และ CE ให้อยู่ในรูปของฟัซซี่เซต โดยค่าความเป็นสมาชิกของ e และ ce จะถูกกำหนดให้เท่ากับ μ_e และ μ_{ce} ตามลำดับ มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] ในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้วิธีแปลงแบบฟังก์ชัน โดยเลือกฟังก์ชันเชิงประมาณ โดยใช้ฟังก์ชัน สามเหลี่ยม โดยสมการของฟังก์ชันสามเหลี่ยมกำหนดได้ดังนี้

กำหนดให้

T(u; a, b, c) = ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

a, b, c = ค่าตัวประกอบของฟังก์ชันสามเหลี่ยม

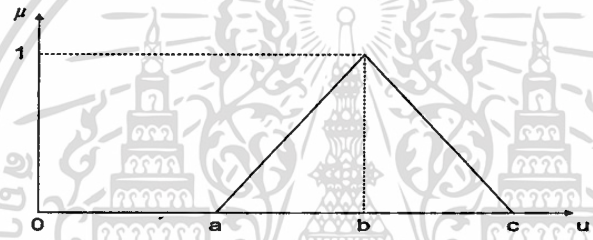
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

u = ค่าตัวแปรอินพุท ในที่นี้คือค่าของ e และ ce

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u - a)/(b - a) & a \le u \le b \\ (c - u)/(c - b) & b \le u \le c \\ 0 & u > c \end{cases} \qquad (5.2)$$

ลักษณะของฟังก์ชันสามเหลี่ยมที่ใช้จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 แสดงฟังก์ชันสามเหลี่ยมที่ใช้เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่



5.2.2 ฐานความรู้

ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ฐานข้อมูล และ ฐานกฎ

ฐานข้อมูล

จะเป็นที่เก็บของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกต่าง ๆ จะเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function)ของอินพุท และเอาท์พุท สเกลเฟคเตอร์ (scale factor) และค่าคงที่ต่าง ๆ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท

เป็นฟังก์ชันที่ใช้แปลงตัวแปรอิตพุท e และ ce ให้อยู่ในฟัซซี่เซต มีข้อกำหนดดังนี้

1. กำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาด E เท่ากับ [-8,8] เอกภพสัมพัทธ์ของอัตราการผิดพลาด CE เท่ากับ [-4,4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 %

3. จำนวนเทอมของฟัซซี่เซต 7 เทอม และกำหนดค่าลิงก์จีสติค 7 ระดับ (ดังแสดงในรูป 5.3)

NB = Negative big

NM = Negative medium

NS = Negative small

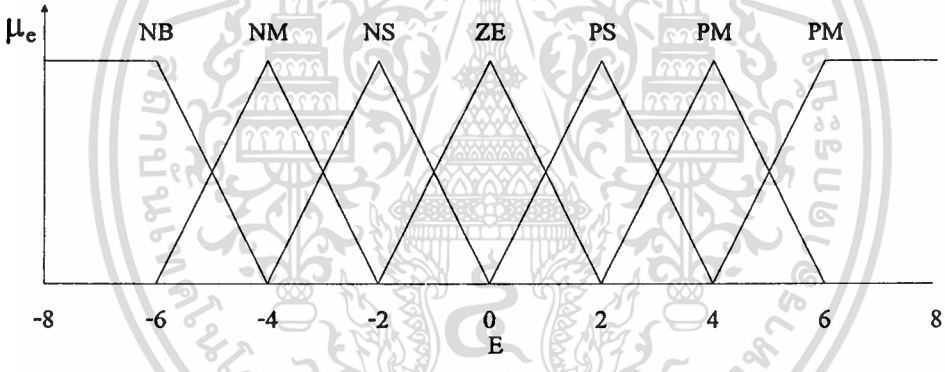
ZE = Zero

PS = Positive small

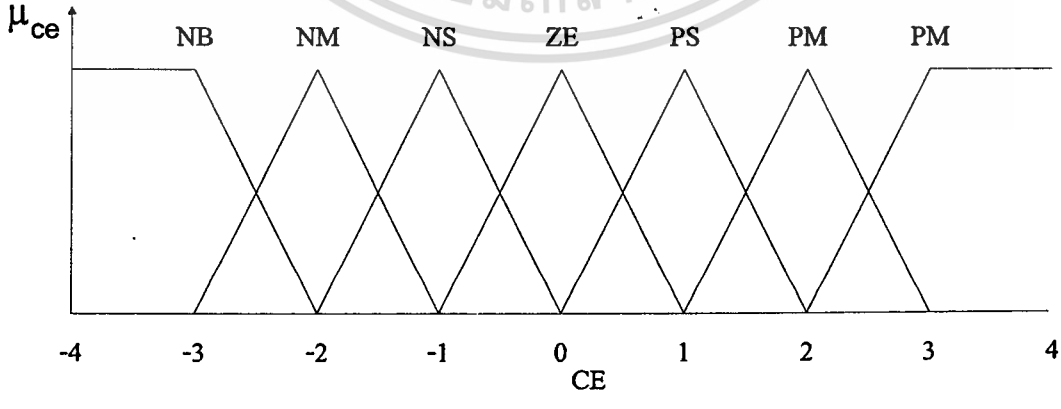
PM = Positive medium

PB = Positive big

รูปที่ 5.3 ก. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดความเร็ว (e)



ข. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการค่าผิดพลาดความเร็ว (ce)



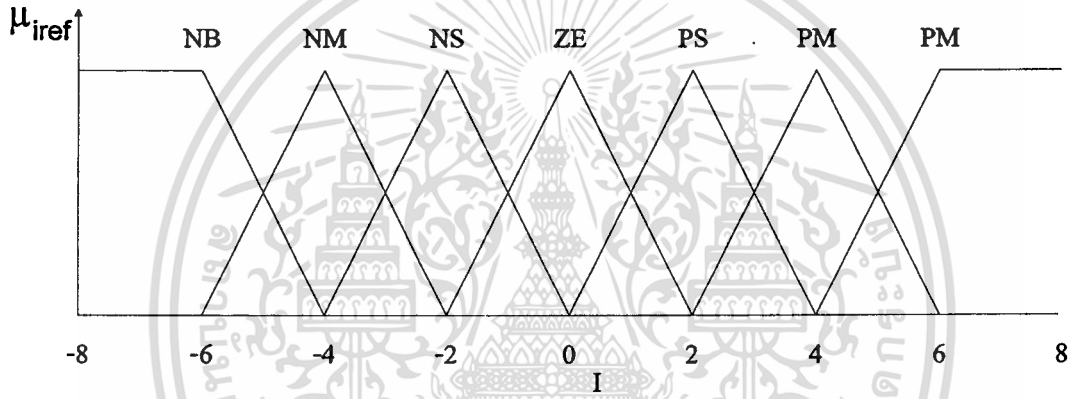
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

มีหน้าที่ในการแปลงฟัซซี่เซตให้อยู่ในรูปของคลิปเซต ในส่วนนี้จะแปลงค่าความเป็นสมาชิกของ e และ ce ในรูปของฟัซซี่เซต ให้อยู่ในรูปของคลิปเซต ของกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ในภาคดีฟัซซิฟีเคชั่น มีข้อกำหนดดังนี้

1. เอกภพสัมพัทธ์ของค่ากระแสอ้างอิง I เท่ากับ [-8,8]
2. มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 %
3. มีจำนวนฟัซซี่เซต 7 เทอม และค่าลิงก์วีสติด 7 ระดับ (ดังแสดงในรูปที่ 5.4.)

รูปที่ 5.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่ากระแสอ้างอิง(i_{ref})



สเกลแฟคเตอร์

สเกลแฟคเตอร์เป็นส่วนประกอบส่วนที่ 2 ในฐานข้อมูลเป็นตัวเลขที่ใช้คูณเพื่อเพิ่มหรือลดขอบเขตในเอกภพสัมพัทธ์ ของฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกอินพุท และเอาท์พุท เพื่อเพิ่มหรือลดความไวในการตอบสนองของตัวควบคุม ในตัวควบคุมแบบปรับค่าด้วยตัวเอง จะใช้วิธีปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ใน ลูปการควบคุมความเร็วนี้ จะให้ตัวแปรเอาท์พุทเป็นค่ากระแสอ้างอิงเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในลูป ของกระแสซึ่งอยู่ชั้นใน ค่ากระแสอ้างอิงนี้มีบทบาทในการเร่งการทำงานของลูปกระแส มีผลให้มอเตอร์สร้างแรงบิดอย่างรวดเร็วเพื่อเป็น การเร่งความเร็วของตัวควบคุมกระแส จะให้ผลกับเวลาการเข้า ถึง (Rise time) ของความเร็วแต่ค่าการพุ่งเกิน (Overshoot) จะมีค่าสูงเกินไป และอาจทำให้เกิด การกระชากที่ตัวโรเตอร์ หรืออาร์เมเจอร ดังนั้นจึงได้แบ่งของค่าสเกแฟคเตอร์ ของอินพุทฟังก์ชันออกเป็น 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สเกลแฟคเตอร์ในระดับหยาบ

เป็นการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ในช่วงเริ่มต้นหรือในช่วงที่ความเร็วเริ่มต้น ในช่วงนี้มอเตอร์จะสร้างแรงบิดในการเริ่มหมุนเพื่อเอาชนะภาระทางกลต่าง ๆ ดังนั้น การกำหนดความไวของ การเริ่มหมุนตอบสนองในช่วงนี้ไม่ควรสูงมาก เพราะจะมีผลทำให้กระแสเริ่มต้นมีค่าสูงเกินไป และเกิดการกระชากทางกลไกของมอเตอร์ การลดความไวในการตอบสนอง จะทำได้โดยเพิ่มค่า สเกลแฟคเตอร์

กำหนดให้

N_E = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ E

N_{CE} = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ CE

N_I = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ I_{ref}

การกำหนดย่านของค่าผิดพลาด (e)

$e > 0.7$

$N_E = 1.$

$N_{CE} = 1.$

$N_I = 1.$

$$E : [-(N_E.E), (N_E.E)] \quad (5.3)$$

$$CE : [-(N_{CE}.CE), (N_{CE}.CE)] \quad (5.4)$$

$$I_{ref} : [-(N_I.I_{ref}), (N_I.I_{ref})] \quad (5.5)$$

จากสมการที่ (5.4)-(5.5) ได้แสดงย่านของเอกภพสัมพัทธ์ ของ E, CE และ I_{ref} ซึ่งประกอบด้วย สเกลแฟคเตอร์ N_E,N_{CE},N_I ที่กำหนดไว้ คูณอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สเกลแฟคเตอร์ระดับละเอียด

เป็นการปรับค่าความไวรอบค่าความเร็วอ้างอิง หรือช่วงที่ระดับความเร็วเข้าใกล้ค่าความ เร็วอ้างอิง จุดประสงค์หลักในการปรับสเกลช่วงนี้เพื่อลดค่าพุ่งเกิน และเพิ่มความไวในการตอบ สนองการรบกวนจากแรงบิดของโหลดชั่วขณะจากการทดลองพบว่าอัตราเร่งของความเร็วในช่วงนี้มีค่าน้อย เพราะอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาท์พุทที่ได้รับจากการอินเฟอร์เรนซ์ อยู่บริเวณ ค่า ZE หรือใกล้เคียง เช่น NS, PS ถ้าให้ผลลัพธ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ถ้าไม่ขยายสเกลการอินเฟอเรนซ์ อาจจะไปหยุดที่กฎใดกฎหนึ่ง มีผลให้เวลาการตอบสนองช้าลง จากการทดสอบจะกำหนดค่าได้ดังนี้

การกำหนดย่านของค่าผิดพลาด (e)

$$-0.7 < e < 0.7$$

$$N_E = 0.75$$

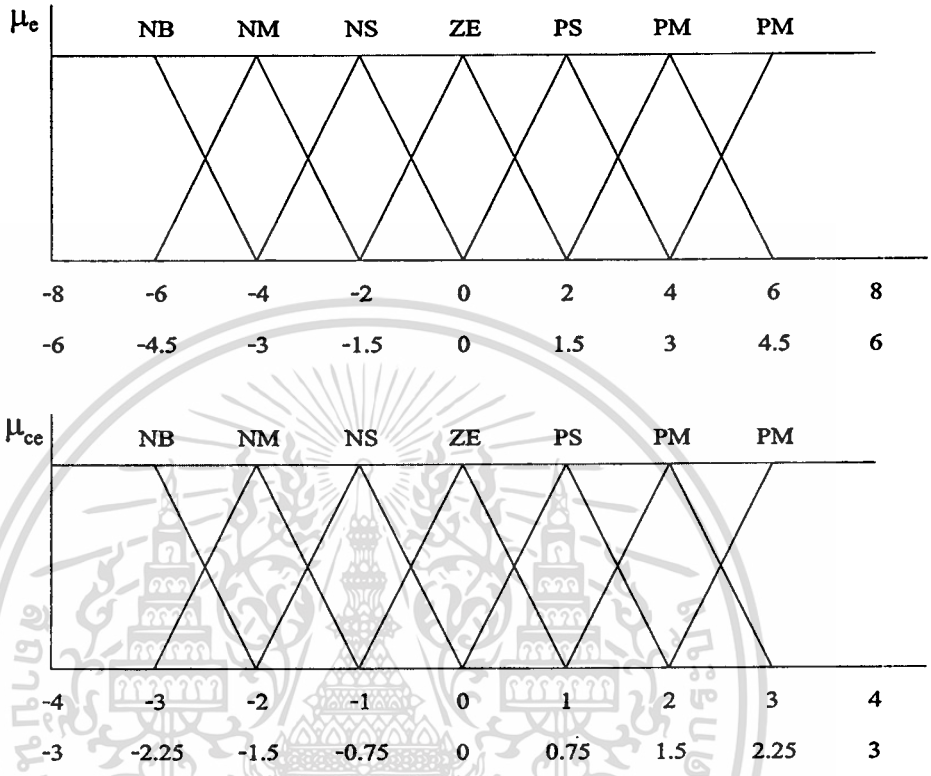
$$N_{CE} = 0.75$$

$$N_I = 1.$$

การปรับสเกลแฟคเตอร์ในระดับหยาบและละเอียดจะแสดงให้เห็นได้ ดังรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนค่าสเกลเฟคเตอร์ ค่าฟัซซี่เซตแต่ละชุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของค่าเอกภพสัมพัทธ์ย่านต่าง ๆ สรุปได้ว่า ถ้าย่านของเอกภพสัมพัทธ์มีค่าน้อยลง ความไวของการตอบสนองของตัวควบคุมจะมากขึ้น แต่ปัญหาสำคัญในการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ที่น้อยเกินไปอาจทำให้ย่านของเอกภพสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่า ค่าอินพุททำให้ค่าอินพุท หลุดออกจากย่านเอกภพสัมพัทธ์ ซึ่งวิธีการแก้ไข จะต้องมีการจำกัดค่าสูงสุด แต่ละย่านไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 แสดงการปรับสเกลแฟคเตอร์ในระดับหยาบและระดับละเอียดของฟังก์ชัน ความ เป็น สมาชิกของอินพุท



5.2.3 ฐานกฎ

ในระบบของการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ กฎถือเป็นเรื่องสำคัญ เพราะ ตัวควบคุมฟัซซี่ จะอาศัยกฎในการที่จะประเมินความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอินพุทและเอาท์พุท หรือกฎเป็นตัวกำหนดแนวทาง ว่าจะควบคุมระบบนั้นอย่างไร ตามพฤติกรรมของระบบที่ผ่านมาในอดีตกฎจะเป็นตัวแสดงฐานความรู้ของมนุษย์ หรือฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ตัวควบคุมจะนำกฎนี้เป็น ข้อกำหนดในการที่จะประเมิน และสรุปผล ในฟัซซี่โลจิก เราเรียกการประเมินและการอนุมาน นี้ว่าการอินเฟอเรนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 การอินเฟอเรนซ์ และการออกแบบกฎ

การอินเฟอเรนซ์ คือการหาข้อสรุปจากหลักฐานหรือเหตุผลของที่มา แล้วนำมาสรุปตามเงื่อนไขความสัมพันธ์ (implication) ในที่นี้ จะเลือกใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์แบบ GMP และการออก แบบเงื่อนไขในรูปของกฎตามวิธีแมมดานี (Mamdani's rule) ดังรูปแบบดังนี้

R_1 : IF e is A_1 AND ce is B_1 THEN I_{ref} is C_1

R_2 : IF e is A_2 AND ce is B_2 THEN I_{ref} is C_2

.....

R_n : IF e is A_n AND ce is B_n THEN I_{ref} is C_n

กำหนดให้

$R_1,R_2,...,R_N$ เท่ากับอันดับของกฎ จำนวนของกฎจะได้จากการจับคู่ (Combination) ของ e และ ce จะได้จำนวนกฎทั้งหมด 49 กฎ

$A_1,A_2,...,A_N$ เป็นค่าลิงก์จีสติกของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ e, ce และ I_{ref}

$B_1,B_2,...,B_N$ ตามลำดับ มีจำนวน n เท่ากับ 49

$C_1,C_2,...,C_N$

5.2.5 แนวทางการออกแบบกฎ

การสร้างกฎจะใช้วิธีเฮอริสติค ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 3 โดยมีแนวทางดังนี้

1. ทดสอบหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยการสร้างตารางบันทึกความสัมพันธ์ของค่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ (U_a), กระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) และความเร็วรอบ (n)

2.ใช้วิธีประมาณจากประสบการณ์ และพฤติกรรมของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้น แยก และปรับแต่งกฎจากการทดลองเพื่อให้เกิดความสะดวก จะสร้างเป็นตารางกฎเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุท ขนาด 7×7

จากกฎที่ออกแบบได้จะถูกบรรจุที่ฐานความรู้ในส่วนของฐานกฎ เพื่อใช้ประกอบในการอินเฟอร์เรนซ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงกฎความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมความเร็ว

ce / e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NS
NM	NM	NS	NS	NS	ZE	ZE	ZE
NS	NM	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PS
ZE	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
PM	ZE	PS	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PM	PB	PB	PB

จากเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกฎ สามารถหาระดับของความเป็นสมาชิก (fire strength : α) ของทั้งสองอินพุท คือ e และ ce โดยใช้ตัวปฏิบัติการ min จากตัวอย่างของกฎ

R_1 : IF e is NM AND ce is ZE THEN I_{ref1} is NM

R_2 : IF e is NS AND ce is NS THEN I_{ref2} is NS

กำหนดให้

μ_{e1}, μ_{e2} = ค่าความเป็นสมาชิก e_1, e_2 ตามลำดับ

μ_{ce1}, μ_{ce2} = ค่าความเป็นสมาชิก ce_1, ce_2

α_1, α_2 = ระดับความเป็นสมาชิกของ R_1 และ R_2

จะได้

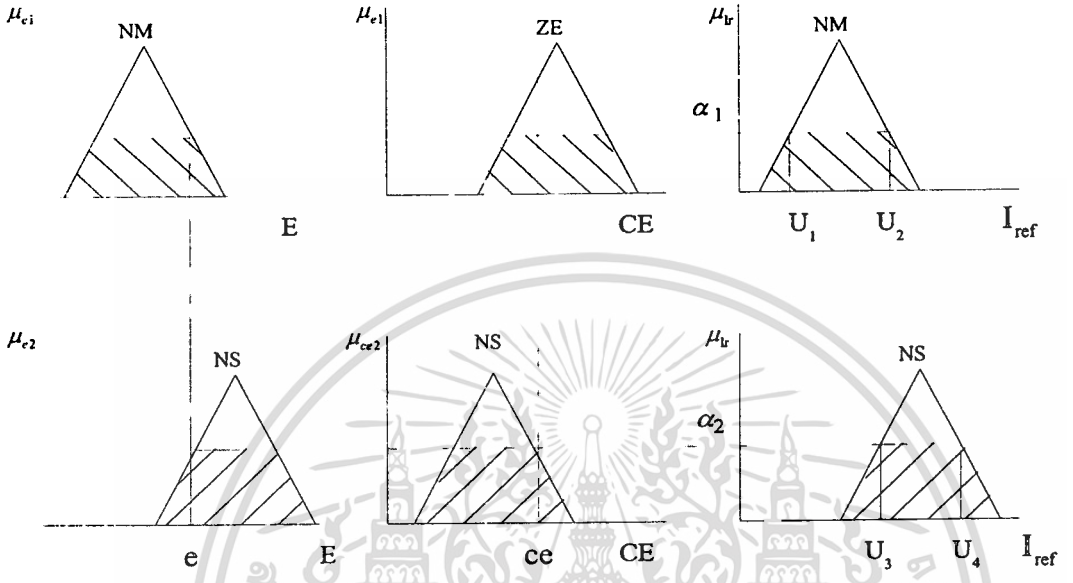
$$\alpha_1 = \min(\mu_{NM}(e_1), \mu_{ZE}(ce_1)) \quad (5.6)$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{NS}(e_2), \mu_{NS}(ce_2)) \quad (5.7)$$

ดังแสดงในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 แสดงการอินเฟอร์เรนซ์ของตัวแปรอินพุทและตัวแปรเอาท์พุทตามความสัมพันธ์ของกฎ



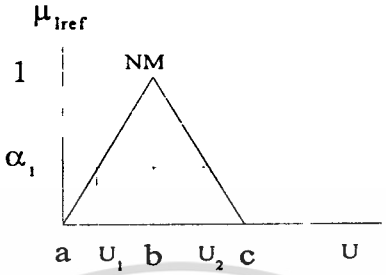
จากรูปที่ 5.6 จะแสดงให้เห็นถึงการอินเฟอเรนซ์ ของตัวแปรอินพุทและตัวแปรเอาท์พุทตามสมการที่ (5.6) และ (5.7) ค่าอินพุท e และ ce ที่เป็นค่าคลิปเซต จะถูกเป็นค่าความเป็นสมาชิก โดยภาคฟัซซิฟิเคชั่น ได้ระดับค่าความเป็นสมาชิกต่างกัน และนำไปหาค่า α_1 ,α_2 โดยการผ่านตัวปฏิบัติการ min เพื่อให้ได้ ค่าได้ค่าความเป็นสมาชิกของเอาท์พุทตามกฎที่กำหนดไว้

5.2.6 ดีฟัซซิฟิเคชั่น

หลังจากที่ผ่านการอินเฟอเรนซ์ในหัวข้อที่ผ่านมา จะนำค่าα ที่ได้มาหาค่าคลิปเซต หรือหาค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ โดยผ่านภาคดีฟัซซิฟิเคชั่น ซึ่งมีหน้าที่ในการแปลงค่าฟัซซี่เซตให้อยู่ในรูปคลิปเซต เพื่อใช้เป็นตัวแปลเอาท์พุทต่อไป ในลูปควบคุมความเร็วนี้ ค่าตัวแปรเอาท์พุทจะอยู่ในรูปของกระแสใช้เป็นค่ากระแสอ้างอิง ของ ลูปกระแสต่อไป จากค่า α_1 และ α_2 ที่ได้จากการอินเฟอเรนซ์ เราจะนำค่า α แต่ละตัวแปรกลับให้ เป็นค่า I_{ref} โดยวิธีแปลงกลับฟังก์ชันสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5. 7 แสดงการอินเฟอร์เรนซ์ โดยใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยม



การอินเฟอเรนซ์โดยใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยม สามารถหาได้จากสมการที่ (5.8) และ (5.9)

$$U_1 = \alpha_1(b-a) + a \quad (5.8)$$

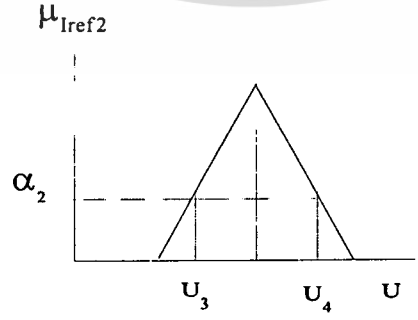
$$U_2 = c - \alpha_2(c-b) \quad (5.9)$$

กำหนดให้

U_1 = เอกภพสัมพัทธ์ของเอาท์พุท ซึ่งจะเป็นค่ากระแสอ้างอิงในลูปตัวควบคุมกระแสต่อไป

U_1, U_2 = ค่าเอาท์พุทตัวที่ 1 และ 2 ในฟังก์ชัน NM การหาค่า U_3 และ U_4 ของ α_2 ทำเช่นเดียวกัน

รูปที่ 5.8 แสดงการหาค่า U_3 และ U_4

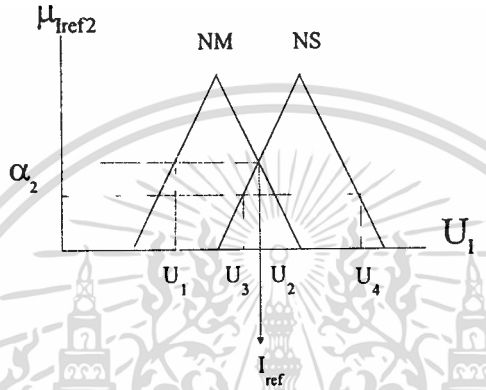


นำค่า U_1, U_2, U_3, U_4 มาหา I_{ref} โดยใช้วิธี COG ดังนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{ref} = \frac{\alpha_1 U_1 + \alpha_1 U_2 + \alpha_2 U_3 + \alpha_2 U_4}{2(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (5.10)$$

รูปที่ 5.9 การหาค่า COG จากค่า U_1, U_2, U_3, U_4



5.2.7 ภาคดีเนอร์เมอไรซ์เซชั่น

เป็นการแปลงค่าสเกลเอาท์พุท คือ ค่า I_{ref} ให้อยู่ในย่านเดียวกันกับค่ากระแสที่วัดได้ ที่จะนำไปหากระแสผิดพลาด (current error) ในลูปกระแสต่อไป ค่า ดีเนอร์เมอไรซ์แฟคเตอร์ จะหาได้จากสมการที่(5.11)

กำหนดให้

DF = ดีเนอร์เมอไรซ์แฟคเตอร์

I_{max}, I_{min} = ค่ากระแสสูงสุด และกระแสต่ำสุดได้จากการทดสอบ

U_I = ค่าสูงสุดของเอกภพสัมพัทธ์ เอาท์พุทของลูปความเร็ว

$$DF = \frac{I_{max} - I_{min}}{U_I} \quad (5.11)$$

$$I_{ref} = U \cdot DF \quad (5.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.8 การออกแบบตัวควบคุมกระแส (Current Controller)

หน้าที่ ของการควบคุมกระแสของมอเตอร์ เพื่อควบคุมการสร้างแรงบิดเริ่มต้น และเป็นการจำกัดค่ากระแสเริ่มต้นไม่ให้สูงเกินไปในตัวควบคุมกระแสนี้เราจะใช้ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ PI โดยมีการกำหนดตัวแปรดังนี้

กำหนดให้

$e_i(k)$	=	ค่าผิดพลาดของกระแส
ce_i	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด
$I_{ref}(k)$	=	ค่ากระแสอ้างอิง เป็นค่าเอาท์พุทของลูปควบคุมความเร็ว
$I_{mea}(k)$	=	ค่ากระแสที่วัดได้
$U(k)$	=	แรงดันเอาท์พุทของตัวควบคุม
$\Delta U(k)$	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุท
k	=	เวลาการสุ่มสัญญาณ
A,B,C	=	ค่าลิงค์จิสติกฟังก์ชันของอินพุท และเอาท์พุท

$$e_i(k) = I_{ref}(k) - I_{mea}(k) \quad (5.13)$$

$$ce_i = e_i(k) - e_i(k-1) \quad (5.14)$$

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1) \quad (5.15)$$

รูปแบบการอินเฟอเรนซ์ แบบฟัซซี่ PI

IF $e_i(k)$ is A AND $Ce_i(k)$ is B THEN $\Delta U(k)$ is C

5.2.9 โครงสร้างของตัวควบคุมกระแส

โครงสร้างของตัวควบคุมกระแสจะมีโครงสร้างเหมือนกับตัวควบคุมความเร็ว (หัวข้อที่ 5.2) ทุกประการ มีความแตกต่างเพียงการอินเฟอเรนซ์ ซึ่งการอินเฟอเรนซ์ของตัวควบคุมกระแสเป็นแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.10 การออกแบบส่วนประกอบของตัวควบคุมกระแส

1. ภาคเนอร์เมอไรซ์เซชั่น ในลูปกระแสมีการเนอร์เมอไรซ์ จากค่า ei และ cei ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซี่เซต E_i และ CE_i ในช่วง [-8,8],[-4,4] ตามลำดับ โดยใช้วิธีการดัง ที่กล่าวแล้วในลูปความเร็ว

2. ภาคดีฟัซซิฟิเคชั่น ใช้วิธีการฟัซซิฟิเคชั่นแบบฟังก์ชัน เช่นเดียวกับลูปความเร็ว ประกอบด้วย

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุท แบบฟังก์ชันสามเหลี่ยมจำนวน 7 เทอม
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอาท์พุท แบบฟังก์ชันสามเหลี่ยมจำนวน 7 เทอม

3. ภาคการอินเฟอเรนซ์ ใช้วิธีการอินเฟอเรนซ์เช่นเดียวกันกับลูปความเร็ว โดยสร้าง ตารางกฎ ขนาด 7×7

ตารางที่ 5.2 แสดงกฎความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส

e \ ce	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NS
NM	NM	NS	NS	NS	ZE	ZE	ZE
NS	NM	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PS
ZE	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
PM	ZE	PS	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PM	PB	PB	PB

4. การปรับสเกลแฟคเตอร์ ในลูปนี้จะกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ระดับเดียวคือระดับหยาบ กำหนดให้

Ne_i = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ E_i

NCE_i = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ CE_i

NU = สเกลแฟคเตอร์ของเอกภพสัมพัทธ์ U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยให้

$$Ne_i = NCE_i = NU = 1$$

5. ภาคดีฟัซซิฟีเคชั่น

ใช้ การดีฟัซซิฟีเคชั่นแบบ COG

5.3 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงสมรรถนะ

ในลูปของการควบคุมกระแส ซึ่งถือว่าเป็นลูปภายในของการควบคุมมอเตอร์ จะมีอินพุทเป็นค่าผิดพลาดของกระแสอ้างอิง และกระแสที่วัดได้ และมีเอาท์พุทเป็นค่าระดับแรงดันเพื่อสั่ง ผ่านให้วงจรควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ต่อไป จากการทดลองพบว่า จะมีค่าพุ่งเกินของค่าความเร็วที่ วัดได้สูง ถ้าต้องการให้เวลาเข้าถึงรวดเร็วเพราะอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสมีค่าสูง ดังนั้น จึงต้องทำการปรับค่าสมรรถนะ เพื่อต้องการลดค่าพุ่งเกิน และให้เวลาเข้าถึงรวดเร็ว

5.3.1 การปรับค่าสมรรถนะ

ค่าสมรรถนะถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบตัวควบคุม ค่าสมรรถนะจะแสดงถึงผลของการตอบสนองที่ได้ให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของการควบคุม คือมีความเร็วและความแม่นยำตามระดับที่ต้องการ

การปรับสถานะมีด้วยกันหลายวิธี ในที่นี้จะได้นำวิธีการปรับปรุงค่าสมรรถนะตามเทคนิคของ Jihong Lee [6] ซึ่งได้เคยนำเสนอเทคนิคของการปรับปรุงค่าสมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซี่ แบบ PI จากสมการของค่าเอาท์พุท ของตัวควบคุมฟัซซี่แบบ PI แบบปกติ สามารถเขียนในรูป สมการที่ (5.16)

$$U(k+1) = U(k) + \Delta U(k) \qquad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 โครงสร้างของตัวปรับค่าสมรรถนะ

โครงสร้างของตัวควบคุมสมรรถนะนี้ จะเป็นการนำตัวควบคุมสมรรถนะมาเพิ่มในตัวควบคุมฟัซซี่ในลูปของตัวควบคุมกระแส ในตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ออกแบบไว้แต่เดิม โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน

- ตัวประเมินสมรรถนะมีหน้าที่รับค่าผิดพลาดและอัตราการผิดพลาด ของความเร็ว ซึ่งเป็นค่าอินพุทของตัวควบคุมความเร็วมาทำการประเมินแบบฟัซซี่โดยสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ขึ้นมาอีก หนึ่งชุด ดังจะกล่าวต่อไป

- ตัวปรับค่าสมรรถนะ เป็นส่วนที่นำค่าเอาท์พุท ที่ได้จากการประเมินเรียบร้อยแล้ว มาปรับค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมหลัก ดังแสดงให้เห็นในสมการที่ (5.17)

$$U(k+1) = (1 - (r(k))^{p})U(k) + \Delta U(k) \qquad (5.17)$$

กำหนดให้

$U(k), \Delta U(k)$ = ค่าเอาท์พุทของลูปกระแส และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุท

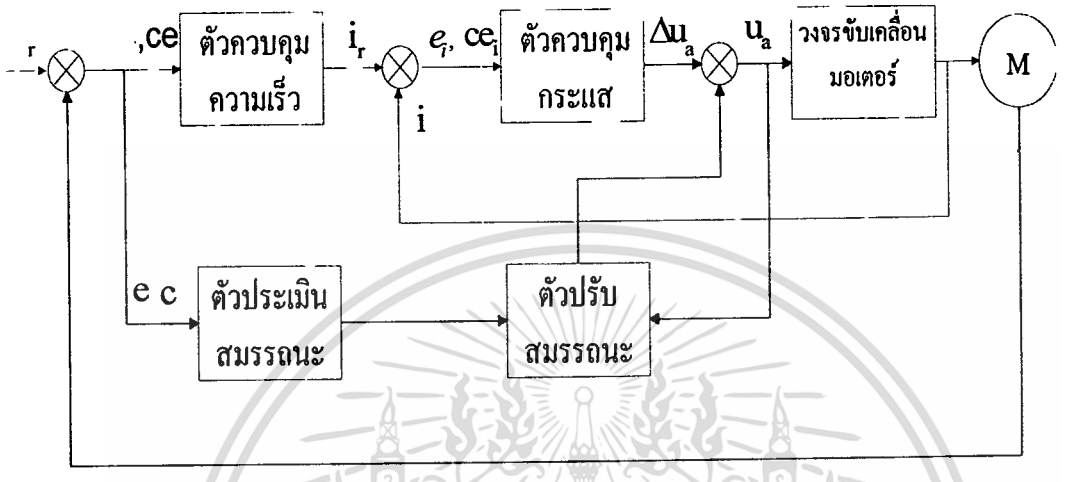
$r(k)$ = ค่ารีเซตที่ k

p = ดัชนีแสดงน้ำหนักของความไม่เป็นเชิงเส้น

จุดประสงค์หลักของการปรับค่าสมรรถนะ คือใช้ค่า r เป็นตัวคูณเพื่อเพิ่มหรือลด ค่าเอาท์พุทของลูปกระแส โดยการตรวจสอบจากค่าผิดพลาด (e) และอัตราการผิดพลาด (ce) ของค่า ความเร็ว และย่านตัวปรับสมรรถนะแบบฟัซซี่ มีค่าเอาท์พุทเป็นค่า r เมื่อนำส่วนประกอบทั้งสองส่วนประกอบลงในตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก จะได้โครงสร้างของตัวควบคุมใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 แสดงโครงสร้างของตัวปรับค่าสมรรถนะที่รวมกับตัวควบคุมความเร็วและตัวควบคุมกระแสแบบฟัซซี่



จากรูปที่ 5.10 ตัวปรับค่าสมรรถนะจะรับค่า e และ ce ซึ่งเป็นอินพุทของควบคุมความเร็วผ่านตัวประเมินสมรรถนะ และ ตัวปรับค่าสมรรถนะ เมื่อได้ค่าเอาท์พุท และจะนำไป รวมกับค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส ดังสมการที่ (5.17)

5.3.3 การออกแบบตัวปรับสมรรถนะ

ส่วนประกอบของตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะจะเหมือนกับตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติทุกประการ ในที่นี้ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุทจะใช้เหมือนกับตัวควบคุมความเร็วในหัวข้อที่ 5.2ในส่วนอื่น ๆ จะกล่าวได้ต่อไปนี้

1. ค่าอินพุทเป็นค่าผิดพลาด (e) ของความเร็วและอัตราการผิดพลาด (ce) ของความเร็ว ดังนั้นในส่วนนี้จะไม่มีภาคนอเมอร์ไรเซชั่น และฟัซซิฟิเคชั่น นำค่า e และ ce จากลูปความเร็วที่ย่านการฟัซซิฟิเคชั่นเรียบร้อยแล้วมาใช้ในการอินเฟอเรนซ์

2. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท เป็นฟังก์ชันสามเหลี่ยม แบบไม่เป็นเชิงเส้น จำนวน 7 ระดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NR = No reset

VS = Very small reset

SR = Small reset

MR = Medium reset

BR = Big reset

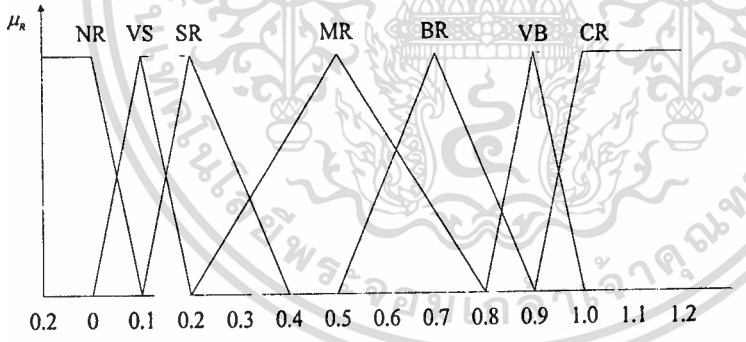
VR = Very big reset

CR = Complete reset

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท จะประกอบในเอกภพสัมพัทธ์ R เท่ากับ [-0.2,1.2]ดังรูปที่ 5.11

3. ภาคอินเฟอเรนซ์ ใช้วิธีการอินเฟอเรนซ์ เช่นเดียวกันกับลูปความเร็ว และลูปกระแส โดยการสร้างตารางกฎขนาด 7×7

รูปที่ 5.11 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอาท์พุทของตัวปรับปรุงสมรรถนะ



4. กฎ การออกแบบกฎ จะใช้วิธีประมาณ และปรับแต่งจากการทดลองโดยรูปแบบของกฎจะคล้ายกับตัวควบคุมทั้งสองลูป

R_j : IF e is A_j AND ce is B_j THEN r is R_j

โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e, ce คือ ค่าอินพุทของลูปควบคุมความเร็ว

A_j, B_j คือ ฟัซซี่เซตในรูปลิงค์จีสติกของอินพุทฟังก์ชัน

R คือ ฟัซซี่เซตในรูปลิงค์จีสติกของเอาท์พุทฟังก์ชัน

r คือ ค่ารีเซตซึ่งเป็นตัวแปรเอาท์พุท

j คือ ลำดับของกฎมีจำนวน 49 กฎ

จากรูปแบบของกฎ จะสร้างตารางกฎขนาด 7X7 ดังแสดงในตารางที่ 5.3

5. การอินเฟอร์เรนซ์ และดีฟัซซิฟีเคชั่นจะใช้วิธีอินเฟอร์เรนซ์ เช่นเดียวกันกับลูปควบคุมความเร็ว และควบคุมกระแส การดีฟัซซิฟีเคชันใช้วิธี COG.

6. การกำหนดค่าดัชนีของความไม่เป็นเชิงเส้น จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า r และค่า $(1 - r^p)$ เพื่อดูลักษณะของฟังก์ชัน และทำการทดสอบเพื่อเลือกค่า p ที่เหมาะสม ในที่นี้จะ ใช้ค่า p = 0.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์จะสรุปได้ ถ้า p มีค่าเกิน 1 จะมีการตอบสนองเร็ว

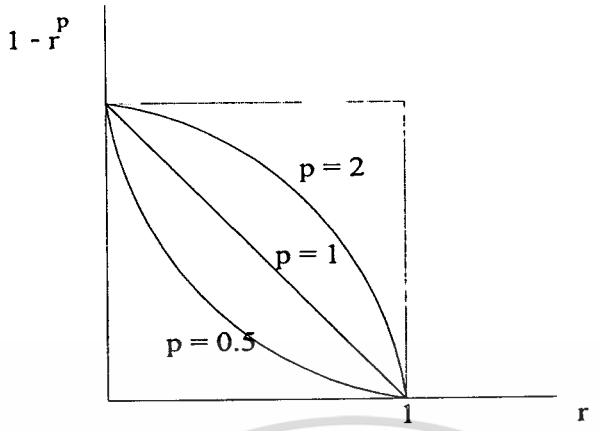
ตารางที่ 5.3 แสดงตารางกฎการอินเฟอเรนซ์ใน การปรับสมรรถนะ

e \ ce	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NS	ZE	PS	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

ขึ้น ถ้าค่า p ต่ำกว่า 1 จะให้การตอบสนองช้าลง (ดังแสดงในรูปที่5.12.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 แสดง ฟังก์ชันความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าดัชนี จาก 0.5 - 2



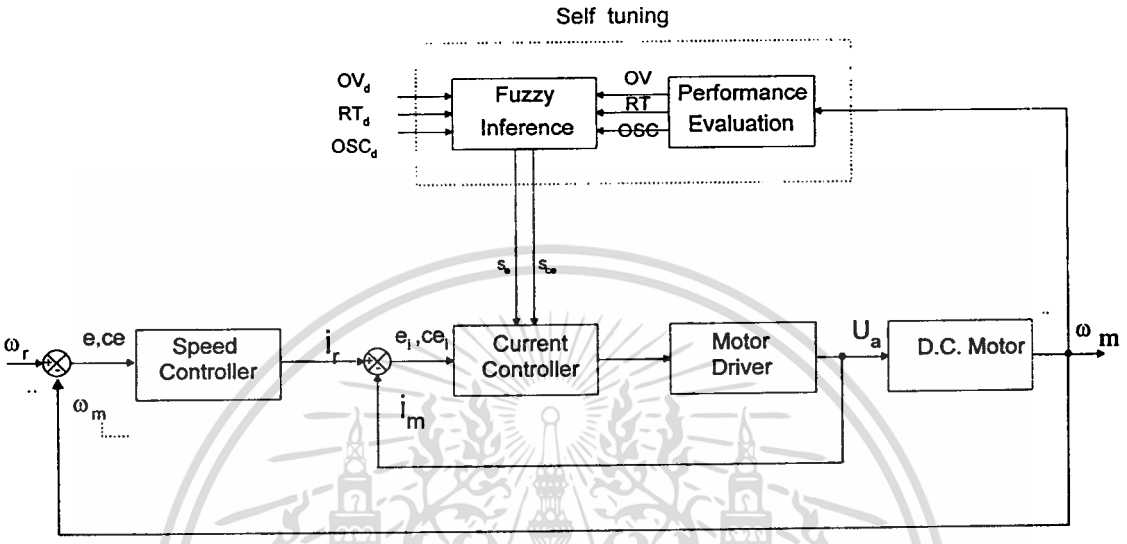
ค่าดัชนีความไม่เป็นเชิงเส้น ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.12 แสดงถึงความเปลี่ยนแปลงของค่า $1- r^p$ เมื่อค่า p เปลี่ยนแปลงในค่าต่าง ๆ ซึ่งผลจะทำให้ ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแสเปลี่ยนแปลงไป คล้ายกับเป็นการถ่วงน้ำหนักของค่าเอาท์พุทนั่นเอง ดังนี้ การควบคุมแรงดันที่อาร์เมเจอร์ จะเปลี่ยนไป ผลของการตอบสนองของความเร็วก์จะเปลี่ยนไปด้วย

5.4 โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

จากที่ได้กล่าวถึง โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองไปแล้วนั้นในบทที่ 3 ในหัวข้อนี้ จะได้นำโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองมาประยุกค์ใช้ ในตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ซึ่งมีจุดประสงค์ ที่จะให้ตัวควบคุมฟัซซี่เรียนรู้และปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ในลูปตัวควบคุมกระแส ในกรณีที่ยังไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่จะควบคุม โดยการทำให้ตัวควบคุมมอเตอร์ ทำงานแบบวนลูปและปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ จนได้ค่าสมรรถนะตามที่ได้กำหนดไว้ โครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จะแสดงดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.13 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง



ในรูปที่ 5.13 จะแสดงถึงตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ซึ่งมีความแตกต่างจากตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ โดยการเพิ่ม ส่วนตัวปรับค่าด้วยตัวเอง (Self tuning) ในตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ ตัวปรับค่าด้วยตัวเองนี้ จะทำการรับค่าความเร็วที่ได้จากมอเตอร์ และทำการประเมินค่าสมรรถนะ และ และนำค่าสมรรถนะที่ได้เปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะที่ออกแบบไว้ และนำผลที่ได้ ปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ใหม่ในรอบต่อไป จนได้ค่าสเกลแฟคเตอร์ ที่ให้ค่าสมรรถนะตามที่ต้องการ การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ในที่นี้ เราจะทำการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส

5.5 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

จากโครงสร้างดังรูปที่ 5.13 จะขอกล่าวส่วนประกอบ ของ ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1. ตัวประเมินสมรรถนะ (Performance Evaluation)

ตัวประเมินสมรรถนะ นะมีหน้าที่ ในการตรวจสอบค่าสมรรถนะ 3 ค่า คือ

- เปอร์เซนต์การพุ่งเกิน (Overshoot percentage : %OV)
- เวลาการเข้าถึง (Rise time : RT)
- เปอร์เซนต์การแกว่ง (Percentage amplitude oscillation : %OSC.)

การตรวจสอบค่าสมรรถนะจะทำการตรวจ ทุกครั้งที่มีการทำงานใน 1 รอบและนำค่าสมรรถนะที่ได้เปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะที่ได้ออกแบบไว้ และนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าสเกลแฟคเตอร์เพื่อใช้ในรอบต่อไป

5.5.2. ตัวอินเฟอเรนซ์ แบบฟัซซี่ (Fuzzy Inference)

มีการทำงานเหมือนกับตัวควบคุมฟัซซี่ โดยทั่วไป ในส่วนประกอบนี้จะออกแบบตัวควบคุมมีส่วนประกอบเหมือนกับหัวข้อที่ 5.2.1 และมีค่าเอกภพสัมพัทธ์ต่างกัน มีจำนวนของกฎเท่ากัน ดังจะกล่าวในบทที่ 6 ซึ่ง เป็นบทของการทดลองต่อไป ค่าตัวแปรเอาท์พุทที่นำไปใช้ในการปรับสเกลจะกำหนดได้ดังนี้

กำหนดให้

S_e = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของ ตัวแปรค่าผิดพลาด

S_{ce} = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวแปรค่าอัตราการผิดพลาด

S_u = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวแปร เอาท์พุท

$F(S_e.e(k) , S_{ce}.ce(k))$ = ฟังก์ชันของฟัซซี่

$$S_u \cdot \Delta u(k) = F(S_e \cdot e(k), S_{ce} \cdot ce(k)) \quad (5.18)$$

กำหนดให้

$\Delta OV, \Delta RT, \Delta OSC$ เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสมรรถนะ ทั้ง 3 ค่า

$OV_d, \Delta RT_d, \Delta OSC_d$ เป็นค่าสมรรถนะที่ออกแบบไว้

OV, RT, OSC เป็นค่าสมรรถนะที่วัดได้

$$\Delta OV = OV - OV_d \quad (5.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta RT = RT - RT_d \quad (5.20)$$

$$\Delta OSC = OSC - OSC_d \quad (5.21)$$

5.5.3 การออกแบบ ตัว fuzzy inference

จากการทดลอง พบว่าในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกนี้มีผลของค่า OSC. น้อยดังนั้น ผู้เขียน จะคำนวณเฉพาะในส่วนของ RT. และ OV. โดยค่าที่ออกแบบไว้จะกำหนดค่า RT. และ ค่า OV. จะออกแบบไว้ในรูปของ percentage over shoot จำกัดไว้ไม่เกิน 5 % ความสำคัญของ RT. และ OV. จะมีผลสัมพันธ์กัน ในโหลดประเภทมอเตอร์จะมีค่า time constant ต่ำ ดังนั้น ถ้า ค่า RT. มีค่าน้อย ค่า OV.จะมีค่ามาก เนื่องจาก ค่าพลวัตของมอเตอร์ ดังนั้นในทางปฏิบัติ ค่า RT. เหมาะสม คือเวลาที่ทำให้ค่าการตอบสนอง ได้รับค่า OV. ไม่เกิน 5 % การปรับสเกลแฟคเตอร์ จะทำได้ 2 ส่วน

- สเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท
- สเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

5.5.4 การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท

การหาค่าสเกแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท หาได้จากสมการที่ (5.22) และ สมการที่ (5.23)

กำหนดให้

$s_e(k)$ = ค่าสเกลแฟคเตอร์ของค่าผิดพลาด

$s_{ce}(k)$ = ค่าการเปลี่ยนแปลงสเกลแฟคเตอร์ของค่าผิดพลาด

$$s_e(k+1) = s_e(k) + \Delta s_e \quad (5.22)$$

$$s_{ce}(k+1) = s_{ce}(k) + \Delta s_{ce} \quad (5.23)$$

5.5.5 การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

การหาค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุทในแต่ละรอบหาได้จากสมการที่ (5.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$s_u(k)$ = ค่าสเกลแฟคเตอร์ขอฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

$$s_u(k+1) = s_u(k) + \Delta s_u \quad (5.24)$$

5.5.6 กฎการปรับสเกลเฟคเตอร์

กฎของตัวควบคุมฟัซซี่ในส่วนของการปรับสเกลเฟคเตอร์ จะมีการออกแบบคล้ายกับตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ ดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.13 หลังจากได้ผ่านการสรุปผลแล้ว จะได้ค่าของสเกลเฟคเตอร์ เพื่อใช้ในการปรับแต่งสเกลเพื่อขยายย่านเอกภพสัมพัทธ์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ โดยจะเป็นการคำนวณวนรอบจนได้ค่าสมรรถนะในระดับที่ต้องการ

5.6 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองโดยใช้การปรับดัชนีตัวถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น

จากหัวข้อที่ 5.3 ได้นำเสนอตัวควบคุมฟัซซี่โดยมีตัวปรับปรุบสมรรถนะไปแล้วนั้น จากการผลทดลองในบทที่ 6 ได้พบว่า ค่าดัชนีการถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น (p)มีผลต่อสมรรถนะของการตอบสนองมาก ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ สร้างตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยใช้ปรับค่า p เพื่อให้ได้สมรรถนะตามที่ต้องการ ซึ่งโครงสร้างต่าง ๆ ของตัวปรับค่า p นี้มี โครงสร้างคล้ายการปรับสเกลแฟคเตอร์ แต่ตัวแปรเอาท์พุทของการปรับ จะกำหนดเป็นค่า p และตรวจสอบค่าสมรรถนะเฉพาะค่า RT. จากสมการที่ (5.25) จะทำการปรับปรุงค่า p โดยกำหนดค่าดังนี้

กำหนดให้

$p(k)$ = ค่าดัชนีความถ่วงน้ำหนักความเป็นเชิงเส้น ในรอบที่ k

k = รอบของการปรับด้วยตัวเอง

$$p(k) = p(k-1) + \Delta p \quad (5.25)$$

สรุป การออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ ที่กล่าวในบทที่ 5 นี้ ได้กล่าวถึงแนวทางในการออกแบบตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์และตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสอาร์เมเจอร์ ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของตัวควบคุมฟัซซี่แบบ FKBC. การออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกแบบปกติ และการออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองและ ตัวควบคุมฟัซซี่แบบปรับค่าดัชนีการถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นด้วยตัวเอง ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองในบทที่ 5 และการออกแบบตัวขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ 2 ควอแดนท์ในบทที่ 4 แล้วนั้น ในบทนี้เราจะนำตัวควบคุมและตัวขับเคลื่อนมอเตอร์มาทำการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 1 kw. โดยรายละเอียดของการทดลองจะได้กล่าวต่อไป

การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จะทดลองกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นชุดทดสอบเครื่องจักรกลไฟฟ้า สำเร็จรูป ดังมีรายละเอียดของ อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองดังนี้

6.1. อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

6.1.1 D.C. shunt wound motor separately excited

ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลองจะมีพิกัดตามตารางที่ 6.1

ตาราง 6.1 แสดงขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง

แรงดันพิกัด	220	volt
กำลังไฟฟ้าพิกัด	1000	watt
กระแสพิกัด	6.2	amp.
ความเร็วรอบ	2200	r.p.m.

6.1.2 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

ใช้ Tachogenerator เป็นเครื่องวัดความเร็วรอบของมอเตอร์

- A.C. tacho generator ขนาด 10 volt, 1.5 watt, 6000 r.p.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 เครื่องจำลองโหลดทางกล

- Magnetic Powder Brake เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แทนโหลดทางกลเป็นอุปกรณ์ทดลองประกอบอยู่ในชุดทดสอบเครื่องจักรกลไฟฟ้า

6.1.4 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. power supply)

- D.C. power supply ขนาด 2 kw. 220 volt ใช้สำหรับขับเคลื่อนวงจรอาร์เมเจอร์
- D.C. power supply ขนาด 500 w. 220 volt ใช้สำหรับขับเคลื่อนวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

6.1.5 เครื่องมือวัดไฟฟ้า

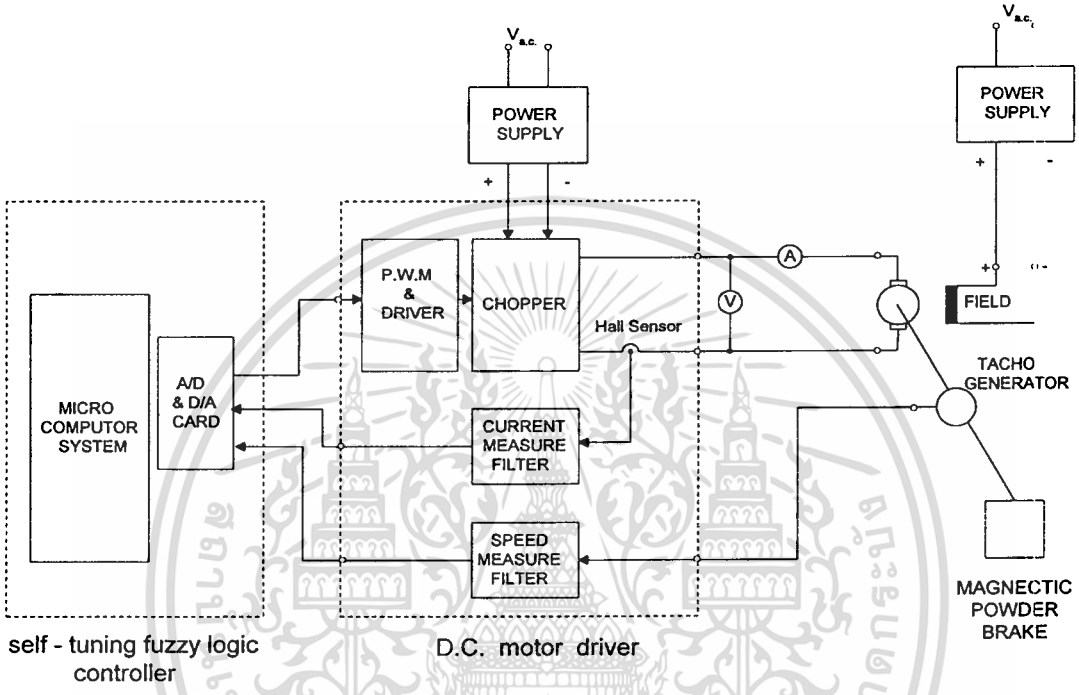
- D.C. volt meter 0 - 300 volt. 2 ตัว
- D.C. amp meter 0 - 10 amp. 2 ตัว
- Digital storage oscilloscope 150 MHz.

6.2 โครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัว เอง

ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองจะเป็นการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกผ่านไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะควบคุมระดับแรงดันที่จ่ายให้ขั้ววงจรอาร์เมเจอร์ เพื่อทำให้ระดับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนแปลงไป ตามความต้องการของผู้ใช้ ดังแสดงโครงสร้างของวงจรที่จะทำการทดลอง ดังรูปที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้างของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า ด้วยตัวเอง



จากรูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้าง ของควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

เป็นโปรแกรมที่สร้างด้วยภาษา C ทำงานบนคอมพิวเตอร์ P.C PENTIUM 75 MHz. เชื่อมโยงผ่าน เป็น A/D - D/A CARD ขนาด 12 บิท (ตามผนวก ก.)

- D.C motor driver วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ แบบ chopper 2 ควอแดนซ์ เพื่อควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ซึ่งประกอบด้วย ภาคสร้างสัญญาณ P.W.M. วงจรขับ IGBT วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากเครื่องวัดความเร็วรอบ วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากเครื่องวัดกระแสอาร์เมเจอร์

- D.C. motor , tacho generator ใช้เป็นเครื่องวัดความเร็วของมอเตอร์ และ Hall sensor ใช้วัดกระแสอาร์เมเจอร์ ผ่านภาคกรองสัญญาณ กลับเข้าสู่ คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

การทดลองนี้มาจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการสัญญาณเอาท์พุทของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ chopper โดยการทดลองควบคุมระดับแรงดันของวงจรอาร์เมเจอร์ผ่านไมโครคอมพิวเตอร์ ในย่านต่าง ๆ

6.2.1. ต่อวงจร วงจรตามรูปที่ 6.1 นำ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาต่อเชื่อมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ซึ่งภายในของ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ chopper จะประกอบด้วย ตัวกำเนิด สัญญาณ P.W.M. , ตัวเลื่อนเฟส , ตัวขับเกท , และ วงจร chopper ด้วย IGBT แบบ 2 ควอแดนท์ นอกจากนี้ จะประกอบด้วย ส่วนของการกรองสัญญาณและขยายสัญญาณของเครื่องวัดความเร็วรอบและวัดกระแส สัญญาณค่าความเร็วและกระแสวงจรอาร์เมเจอร์ ที่วัดได้ จะผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวน แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบเป็น 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก และ แหล่งจ่ายวงจรอาร์เมเจอร์

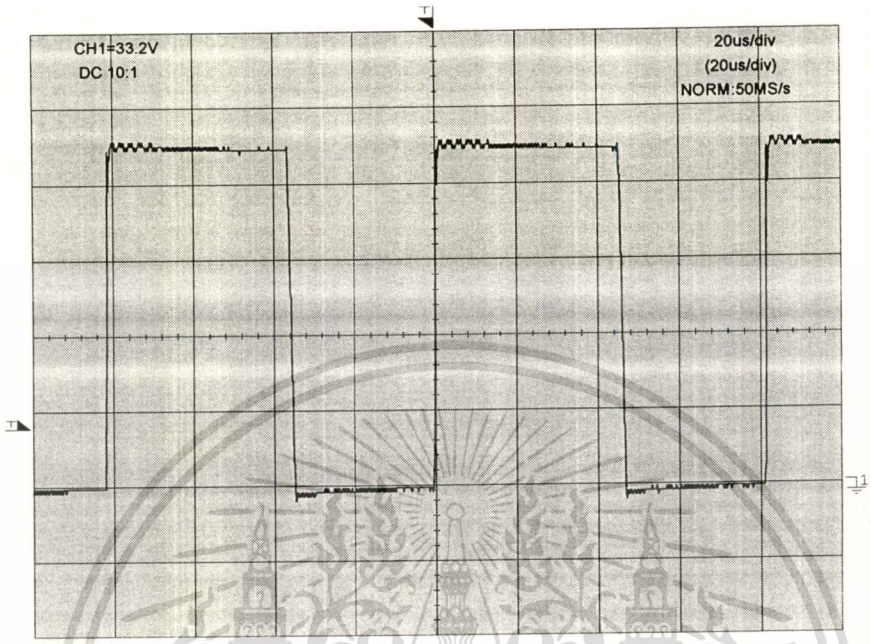
6.2.2. จ่ายแรงดันให้วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก เท่ากับพิกัดของมอเตอร์ และทดลองจ่ายแรงดันให้วงจรอาร์เมเจอร์ เท่ากับ 150 โวลท์

6.2.3 RUN โปรแกรม ทดสอบ A/D card

6.2.4. บันทึกรูปสัญญาณ แรงดัน ที่ขั้วของมอเตอร์ โดยใช้ dititat storage scope และเก็บในรูปของแฟ้มรูปภาพ และนำมาคัดลอกในแฟ้มรายงาน ดังแสดงผลในรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

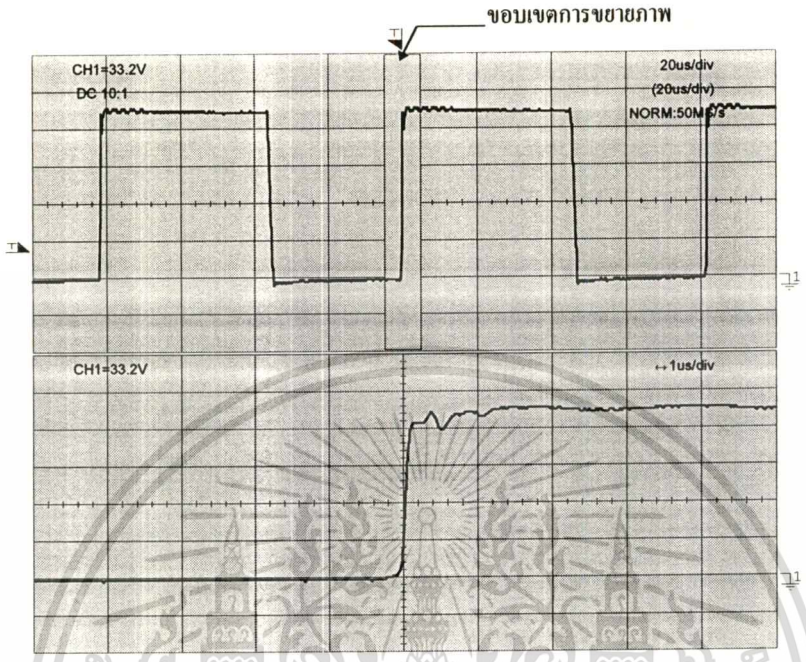
รูปที่ 6.2 แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วของ อาร์เมเจอร์ เมื่อจ่ายแรงดัน 150 โวลท์



จากรูปที่ 6.2 ได้แสดงให้เห็นถึงแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ที่แรงดัน 150 โวลท์ ที่ผ่านวงจร chopper จะเห็นความลาดเอียงทางขอบขาลงที่ เป็นสภาวะการหยุดทำงานของ IGBT ความลาดเอียงเกิดจากผลของวงจร snubber เพื่อป้องกันการเกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อจ่ายโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ การเกิด oscillation เล็ก ๆ ที่ยอดคลื่นของสัญญาณ เกิดจาก สัญญาณรบกวนจากแปรงถ่านของมอเตอร์ และผลของสภาวะการทำงานชั่วขณะ ซึ่งจะขยายให้เห็นใน รูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.3 แสดงรูปการขยายขอบขาขึ้นของสัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์



จากรูปที่ 6.3 แสดงการขยายสัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ จากรูปที่ 6.2 เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลของการทำงานชั่วขณะ เมื่อผ่านวงจร chopper การเกิด oscillation แม้ว่าจะผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวน แต่เนื่องจากเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จะไม่มีผลกับการควบคุมมากนัก

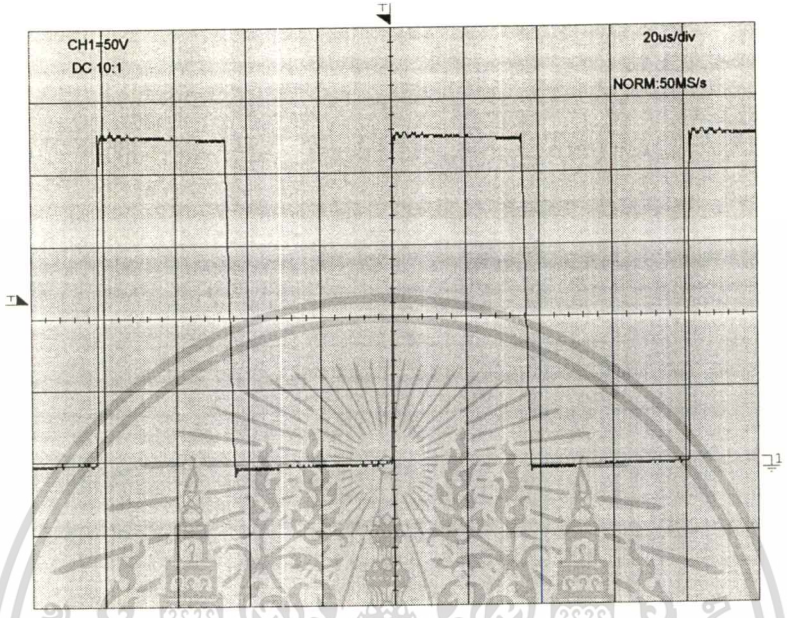
6.2.5. ทำ การทดลอง เหมือนกับ หัวข้อที่ 6.2.4 จะเป็นการทดลองควบคุมระดับแรงดันของวงจรอาร์เมเจอร์ ผ่านตัวขับเคลื่อนแบบ chopper และ บันทึกค่าแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ ด้วย digital storage scope ทดลอง ป้อนคำสั่งเพื่อดูผลของสัญญาณแรงดัน ในย่านต่าง ๆ โดยการกำหนดข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท จะกำหนดดังตาราง ที่ 6.3, 6.4 ,6.5 ผลของรูปสัญญาณ จะแสดงในรูปที่ 6.4 , 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.2 แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1000

ข้อมูลการทดลอง	ขนาดข้อมูล	หน่วย
แรงดัน power supply	220	โวลท์
คำสั่ง ผ่าน computor	1000	
แรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์	100	โวลท์
ความเร็วมอเตอร์	950	รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่วัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 100 โวลท์

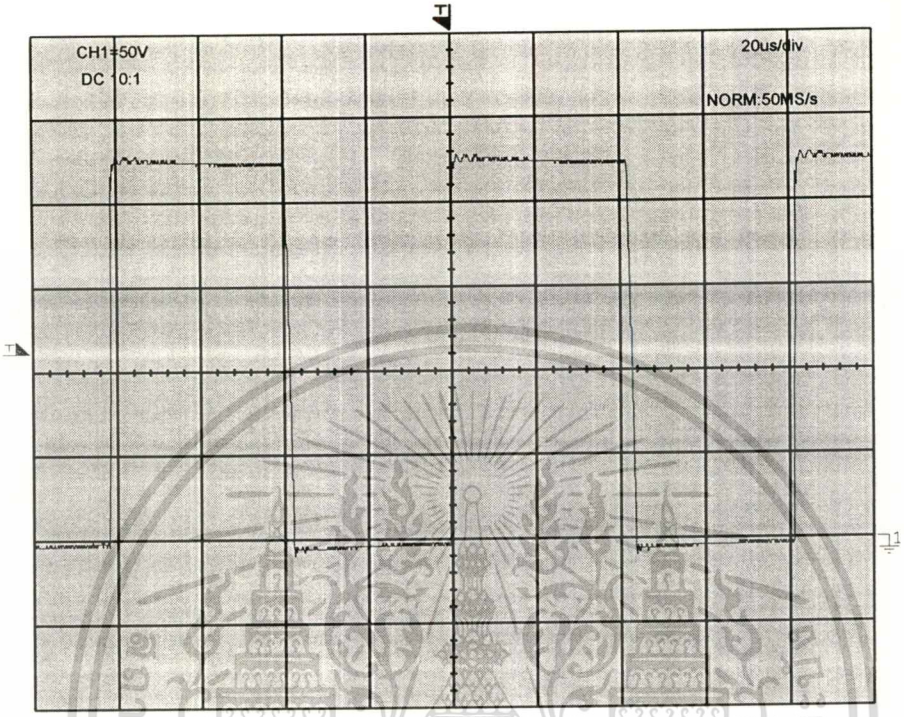


ตารางที่ 6.3 แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1200

ข้อมูลการทดลอง	ขนาดข้อมูล	หน่วย
แรงดัน power supply	220	โวลท์
คำสั่ง ผ่าน computor	1200	
แรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์	120	โวลท์
ความเร็วมอเตอร์	1100	รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5 แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์แรงดันเอาท์พุท 120 โวลท์

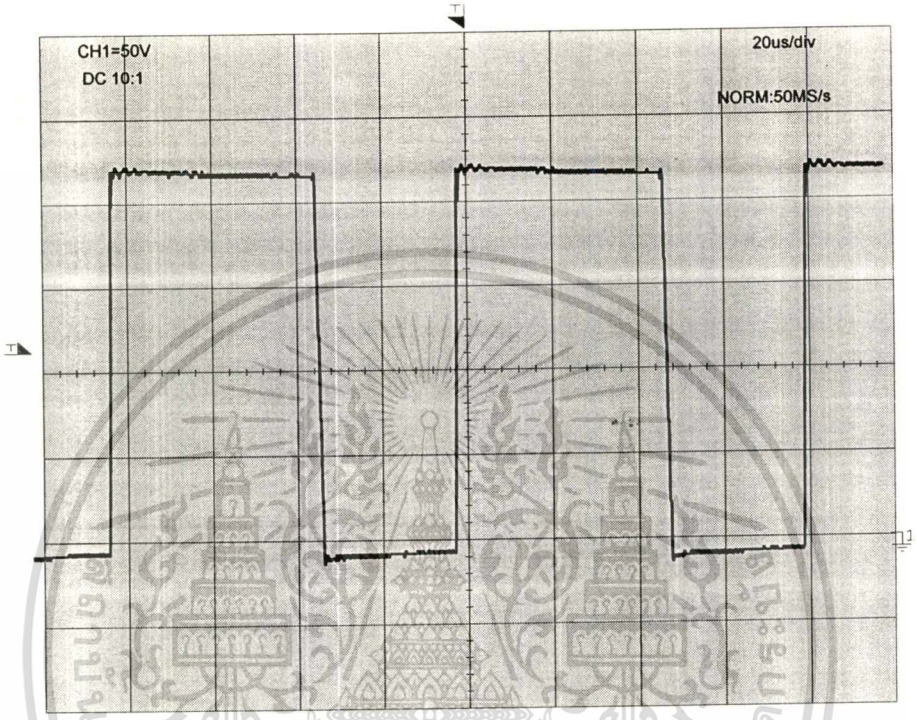


ตารางที่ 6.4 แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1400

ข้อมูลการทดลอง	ขนาดข้อมูล	หน่วย
แรงดัน power supply	220	โวลท์
คำสั่ง ผ่าน computor	1400	
แรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์	142	โวลท์
ความเร็วมอเตอร์	1200	รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 142 โวลท์

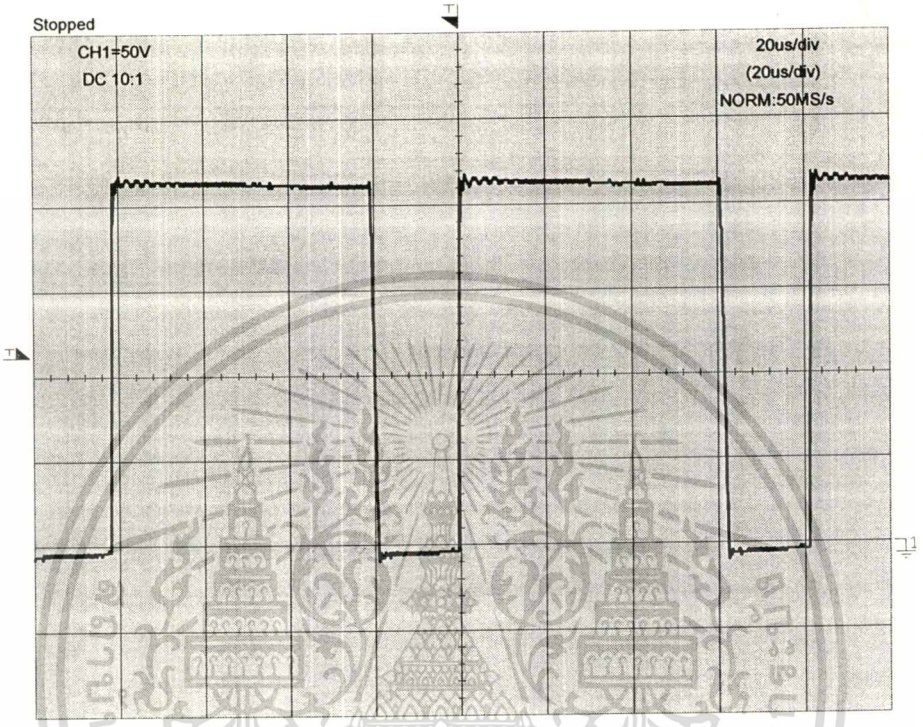


ตารางที่ 6.5 แสดง ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท คำสั่ง 1600

ข้อมูลการทดลอง	ขนาดข้อมูล	หน่วย
แรงดัน power supply	220	โวลท์
คำสั่ง ผ่าน computor	1600	
แรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์	180	โวลท์
ความเร็วมอเตอร์	1600	รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

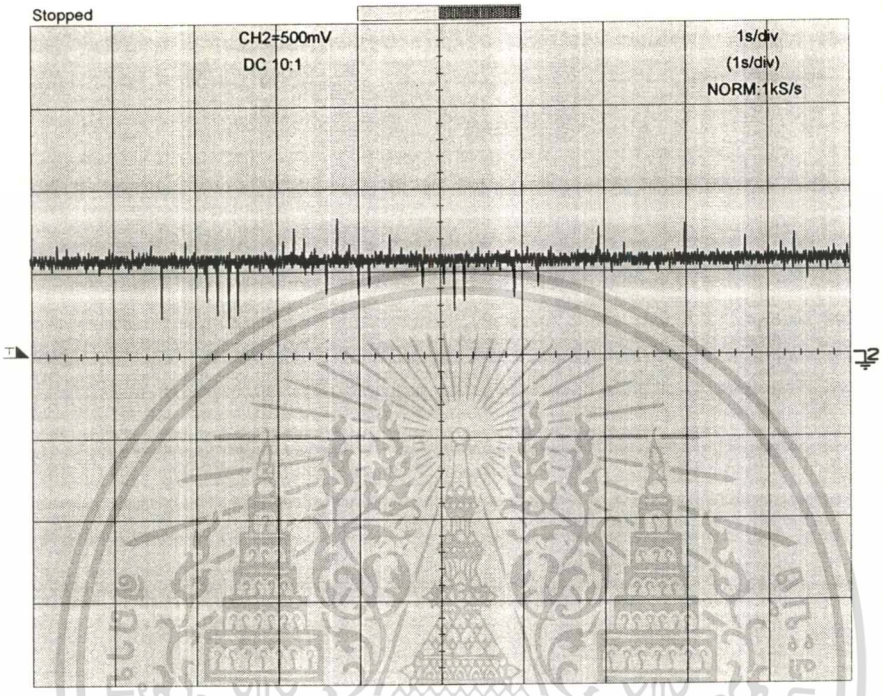
รูปที่ 6.7 แสดงรูปสัญญาณแรงดันที่ ขั้วอาร์เมเจอร์ แรงดันเอาท์พุท 180 โวลท์



6.2.6 ทดลองวัดสัญญาณกระแสวงจรอาร์เมเจอร์ ที่ ได้จาก hall sensor จากการทดลองในหัวข้อที่ 6.2.5 ตารางที่ 6.5 ในรูปที่ 6.8 แสดงลักษณะของสัญญาณกระแส ในวงจรอาร์เมเจอร์ ซึ่งกระแสที่บันทึกนี้เป็นกระแสในสภาวะที่มอเตอร์ไร้โหลด ดังนี้ค่าปริมาณกระแสในแต่ละคำสั่งจะมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.8 แสดงลักษณะของรูปสัญญาณกระแสอาร์เมเจอร์ ในขณะที่มอเตอร์ ไร้โหลด



จากรูปที่ 6.8 ลักษณะของสัญญาณกระแสที่อาร์เมเจอร์ ซึ่งผลของการใช้วงจรขับเคลื่อนแบบ chopper จะมีรูปคลื่นที่เรียบ เนื่องจากใช้ความถี่สูงในการควบคุมให้ IGBT เปิด-ปิด ทำให้ผลของแรงบิดที่ได้จากกระแสมอเตอร์เรียบ กว่าการใช้วงจรขับเคลื่อนชนิดอื่น ๆ สัญญาณรบกวนเล็ก ๆ ที่เห็นเป็นผลจากรอยต่อระหว่างแปรงถ่านกับ commutator และการวัดสัญญาณยังมิได้ผ่านวงจรกรองสัญญาณ ซึ่งไม่เกิดผลต่อการควบคุมมากนัก แต่จะมีผลในการเกิดสัญญาณรบกวนที่ระบบข้างเคียง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง

6.4 การทดลองที่ 2 - การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปกติ

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และการติดต่อเชื่อมโยงกับไมโครคอมพิวเตอร์แล้วในหัวข้อที่ 6.2 ในหัวข้อนี้จะทำการทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยโครงสร้างการควบคุมจะเป็นแบบ 2 ลูป หรือแบบcascade โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการควบคุมลูปของความเร็วและลูปกระแส ดังในหัวข้อที่ 5.1 และได้แสดงรูปโครงสร้างของตัวควบคุมในรูปที่ 2.1

6.3.1 จุดประสงค์ในการทดลอง

- เพื่อทดลองการตอบสนองของความเร็วในการเปลี่ยนระดับความเร็ว (step response)จากความเร็วที่ ศูนย์ ถึง ความเร็วที่ต้องการหรือความเร็วอ้างอิง (set point)
- เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของการตอบสนองของความเร็ว ในค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในค่าต่าง ๆ
- เพื่อทดลองปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ค่าต่าง ๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าสมรถนะ

6.3.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยปรับแต่งค่าสเกลแฟคเตอร์

การทดลองนี้เราจะนำตัวควบคุมฟัซซี่ที่ได้ออกแบบไว้แล้วมาทดลองควบคุมมอเตอร์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ออกแบบนั้นจะเป็นค่าโดยประมาณ จะต้องทดสอบกับมอเตอร์และทำการปรับแต่งเพื่อให้ได้ค่าสมรรถนะที่เหมาะสม

วิธีการปรับแต่งเราจะใช้วิธี การปรับค่าพารามิเตอร์โดยการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในลูปความเร็ว โดยปรับสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันเอาท์พุทของลูปแรก เนื่องจากเอาท์พุทของลูปแรก จะใช้เป็น ค่าอ้างอิงของลูปกระแส การควบคุมระดับอ้างอิงจะมีผลให้ค่ากระแส สร้างแรงบิดให้มอเตอร์อย่างรวดเร็ว เพราะฉะนั้น ความไวในการตอบสนอง จะขึ้นอยู่กับตัวควบคุมกระแส โดยตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไว้จะมี 2 ระดับ คือระดับหยาบและระดับละเอียด การกำหนดสเกล แฟคเตอร์ทั้งสองระดับจะกำหนดดังนี้

- **ตัวควบคุมระดับหยาบ** คือระดับของการควบคุมความเร็ว เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน จนความเร็วประมาณ 70 % ของระดับ set point การกำหนดระดับความไวของการตอบสนอง จะต้องไม่เร็วมาก เพื่อป้องกัน การพุ่งเกิน เนื่องจากค่าโมเมนต์แรงเฉื่อย และ ป้องกันกระแสเริ่มมีค่าสูง เกินไป การปรับอาจจะปรับได้ทั้งฟังก์ชันอินพุทและฟังก์ชันเอาท์พุท ค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองกำหนดดังนี้
- **ตัวควบคุมระดับละเอียด** คือ ระดับของการควบคุมความเร็วใกล้จุด set point ระยะนี้จะมีผลให้สัญญาณเข้าใกล้ set point ได้รวดเร็ว และ ตอบสนองต่อการรบกวนทางกลจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะทำการกำหนดค่าของสเกลแฟคเตอร์เริ่มต้น จะทดลองป้อนระดับความเร็วที่ต้องการ (set point) ผ่านคอมพิวเตอร์ แบบ unit step

การบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลอง บันทึกเป็น 2 ส่วน

- วัดรูปสัญญาณโดยใช้ digital storage scope โดยจะประกอบด้วยค่าแรงดันที่วัดได้จาก tacho generator และ แรงดันที่ได้จากตัวตรวจวัดกระแส

- บันทึกผลของแรงดันจาก tacho generator โดยอ่านได้จากไมโครคอมพิวเตอร์ ค่าผิดพลาดและค่าเอาท์พุท เป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม และนำที่ได้เขียนรูปกราฟสัญญาณ ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยมีการกำหนดสเกลของรูปกราฟที่ได้จาก MATLAB ตลอดทุกการทดลองดังนี้

การกำหนดค่าสเกลของรูปกราฟจาก MATLAB

ความเร็ว : 1 volt :100 r.p.m.

ค่าผิดพลาด : 1 volt : 200 r.p.m.

เอาท์พุทของตัวควบคุม : 1 : 1 volt

การตรวจสอบค่าสมรรถนะ

ในการทดลองนี้จะนำผลที่ได้จากการวัดสัญญาณของความเร็วจากแรงดันที่ได้จาก tacho generator และ ค่ากระแสที่วัดได้จาก hall sensor โดยใช้ digital storage scope และผลที่ถูกบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ นำไปเขียนกราฟ นำผลที่ได้ทั้งสองส่วน คำนวณหาค่า rise time (RT.)., percentage over shoot(%OV.) การพิจารณาค่าที่เหมาะสม จะใช้แนวทางแบบดั่งเดิม ใช้วิธี ITAE [24] โดยกำหนดให้ ค่า %OV. มีค่าประมาณ 5 - 6 %

การทดลองที่ 2.1

การทดลองจะกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้นดังตารางที่ 6.6 และทำการทดลองป้อนคำสั่งที่ 1000 r.p.m.

ตารางที่ 6.6 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

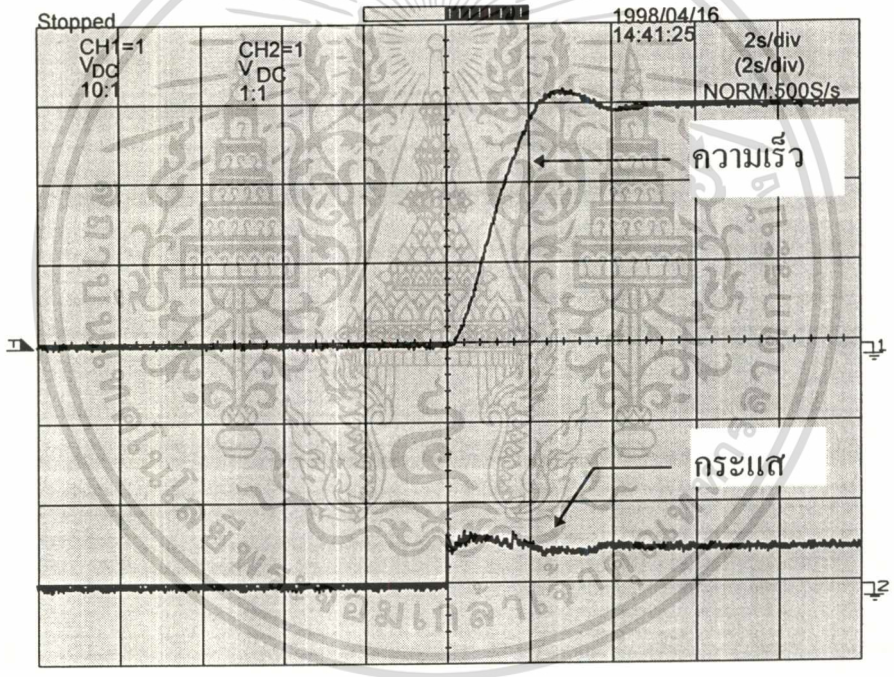
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-8, 8	1
- เอาท์พุท	-4, 4	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

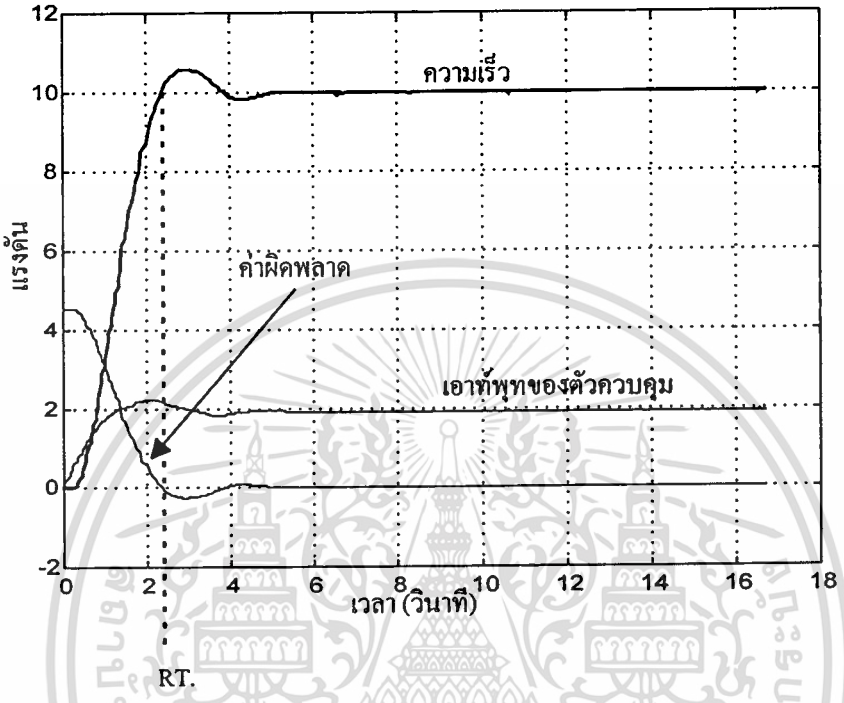
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-20, 20	0.4

รูปที่ 6.9 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดที่บันทึกจากตัวควบ คุม ฟัซซี่



ตารางที่ 6.7 ตาราง ค่าสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่6.10

RT. (sec.)	2.2 sec.
%OV	5 %

ตารางที่ 6.7 เป็นการแสดงค่าสมรรถนะ จากกราฟโดยใช้โปรแกรม MAT LAB. สร้างรูปกราฟ จะใช้เท่ากันตลอดการทดลอง และค่าสมรรถนะ 2 ค่าที่ทำการบันทึก คือค่า RT. และ %OV. สเกลแฟคเตอร์ที่กำหนดให้ ยังไม่มีความเหมาะสม เพราะค่า %OV. มากเกินไป และ การเข้าสู่สภาวะเสถียร ของค่าความเร็วช้า แสดงให้ถึงผลของค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในจุดที่อยู่ใกล้ค่าอ้างอิง ดังนั้นจึงทำการปรับปรุง สเกลแฟคเตอร์ ในระดับละเอียด ซึ่งการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ครั้งต่อไป จะทำการปรับเฉพาะในส่วนของตัวควบคุมละเอียด เพราะตัวควบคุมละเอียดจะมีผลต่อค่า %OV. มากกว่า ตัวควบคุมในระดับหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

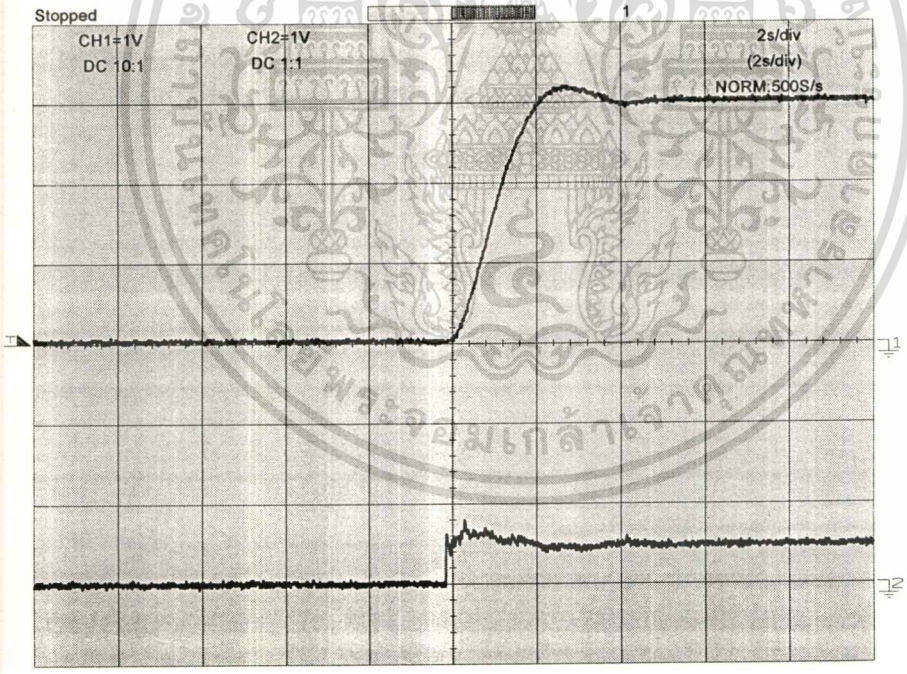
การทดลองที่ 2.2

เป็นการลดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของตัวควบคุมระดับละเอียด ตามตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

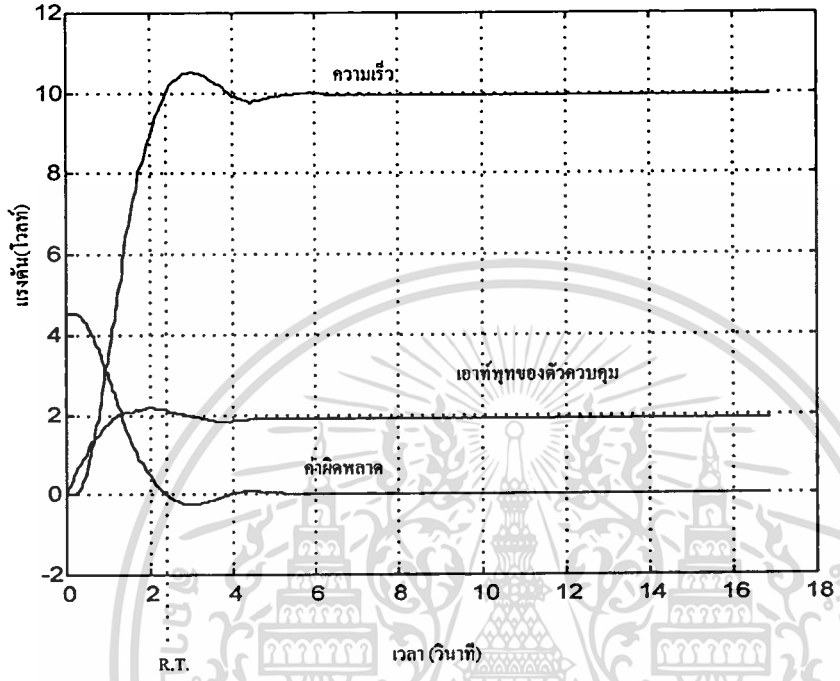
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-13, 13	0.6

รูปที่ 6.11 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจาก ตัวควบคุมฟัซซี่



ตารางที่ 6.9 แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.2

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.36
%OV	5.04

จากรูปที่ 6.10 และรูปที่ 6.11 เป็นผลที่เกิดจากการขยายย่านของเอกภพสัมพัทธ์ โดยการเพิ่มค่าสเกลแฟคเตอร์ ค่าเปอร์เซนต์การพุ่งเกิน จะลดลง แต่เวลาการเข้าถึงจะเพิ่มขึ้น ซึ่งในโหลดประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีค่าเวลาคงที่ต่ำ ๆ และประกอบด้วยโมเมนต์แรงเฉื่อย จะไม่สามารถควบคุมค่าสมรรถนะ คือเปอร์เซนต์การพุ่งเกินและเวลาการเข้าถึงให้ได้ตามค่าที่ต้องการไปพร้อม ๆ กันได้เพราะค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กัน ในที่นี้ เราจะพิจารณาเพียงค่าเปอร์เซนต์การพุ่งเกิน โดยให้เวลาการเข้าถึงแปรเปลี่ยนไปตาม ซึ่งเวลาการเข้าถึงจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าเปอร์การพุ่งเกินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

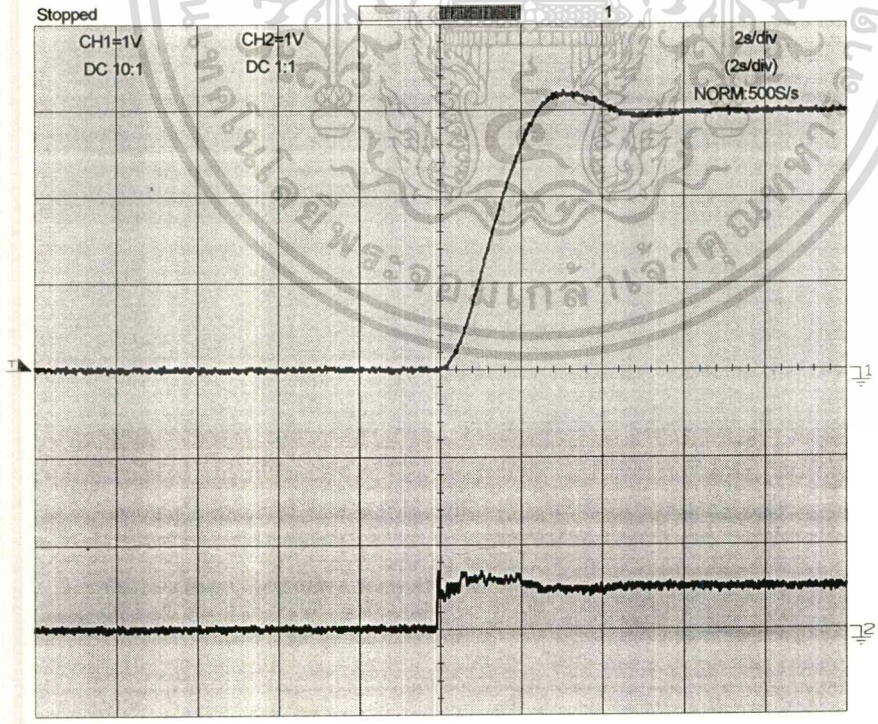
การทดลองที่ 2.3

ในการทดลองครั้งนี้ จะทดลองปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ โดยการเพิ่มค่าสเกลแฟคเตอร์ในตัวควบคุมละเอียด จากการทดลองที่ 2.2

ตารางที่ 6.10 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

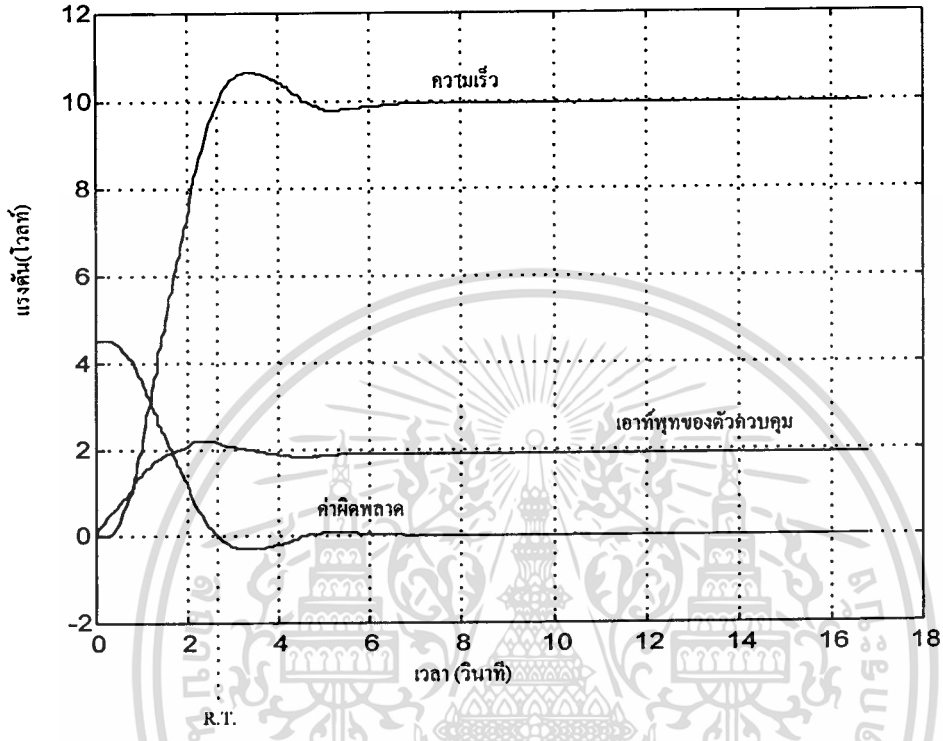
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-10, 10	0.8

รูปที่ 6.13 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.14 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดที่บันทึกจาก ตัวควบคุมฟัซซี่



ตารางที่ 6.11 แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.3

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.64
%OV	6.48

การทดลอง ที่ 2.4 การทดลองต่อไป จะทำการเปลี่ยนค่าสเกลแฟคเตอร์ ทั้งตัวควบคุมหยาบ และสเกลแฟคเตอร์ของตัวควบคุมละเอียด ตามตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก - ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-8, 8	1.0

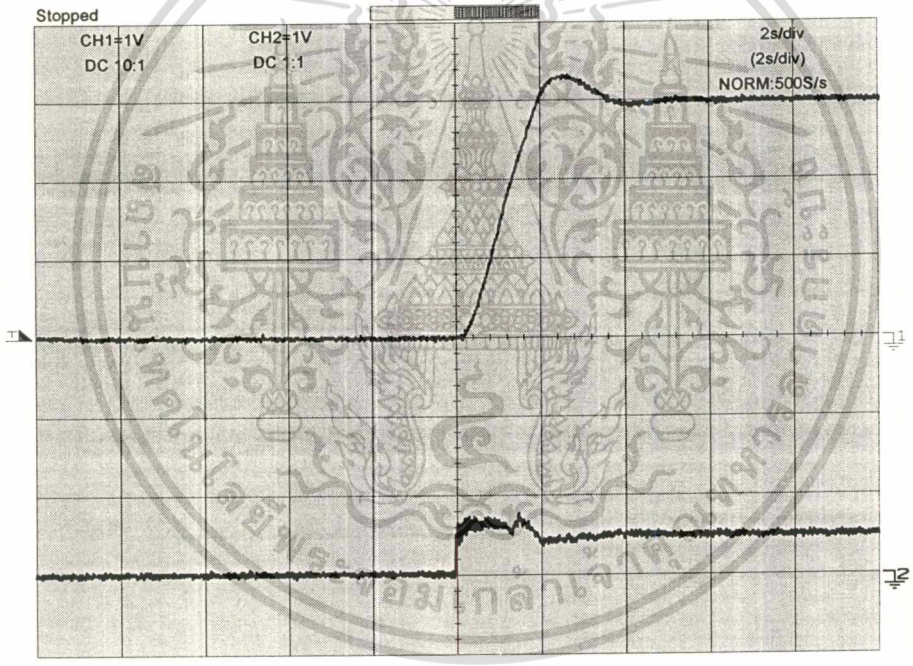
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอาท์พุท	-10, 10	0.8

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

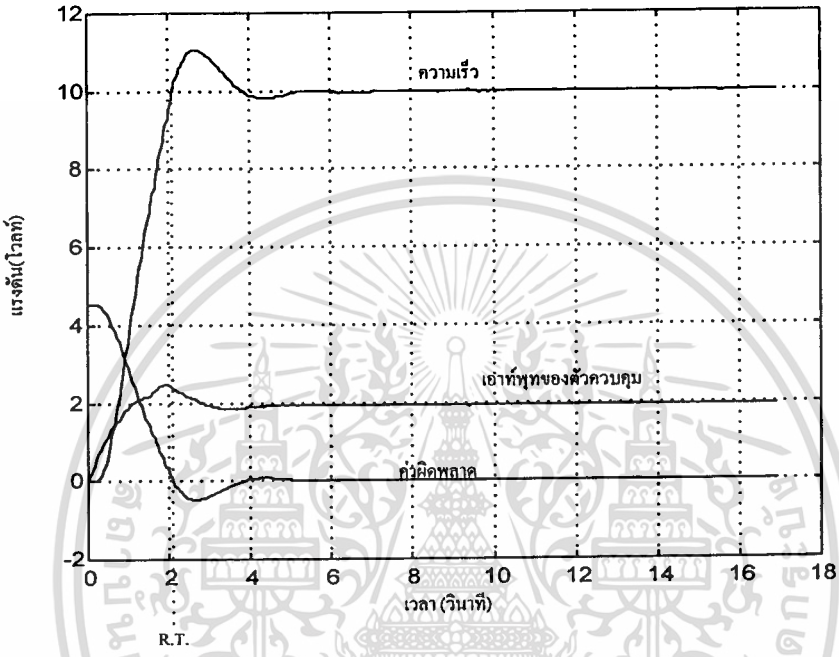
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-20, 20	0.4

รูปที่ 6.15 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.16 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่



ตารางที่ 6.13 แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.4

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.09
%OV	10.61

การทดลองที่ 2.5 ปรับเปลี่ยนค่าสเกลเฟคเตอร์ในตัวควบคุมหยาบและตัวควบคุมละเอียด ตาม ตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.14 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์

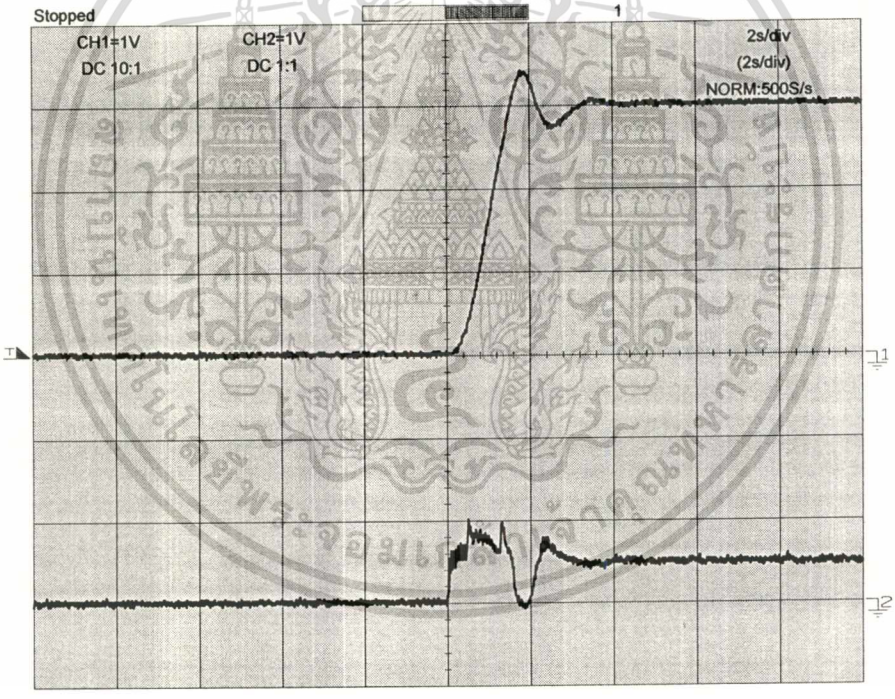
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินพุท	-8, 8	1
- เอาท์พุท	-10, 10	0.8

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

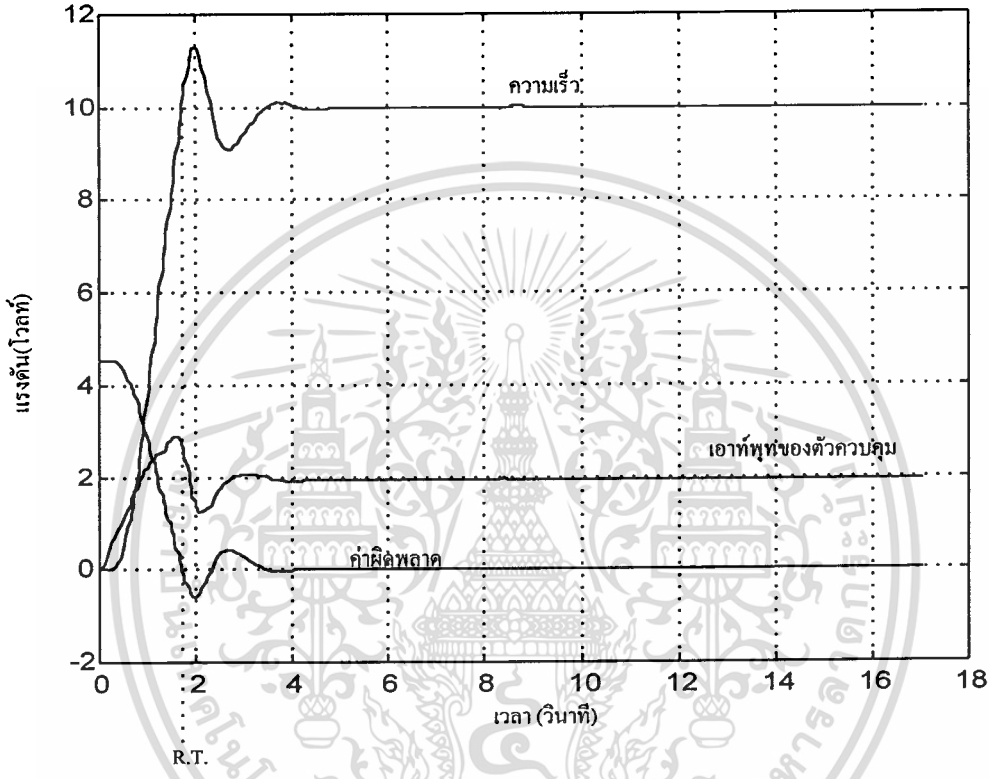
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-26, 26	0.3

รูปที่ 6.17 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.18 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่



ตารางที่ 6.15 แสดงผลของค่าสมรรถนะจากการทดลองที่ 2.5

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.70
%OV	13.04

จากผลการทดลองที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า การลดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของตัวควบคุมระดับละเอียดมีค่าน้อยมาก จะมีผลทำให้มอเตอร์ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ค่า RT. จะมีค่าน้อยมาก และค่า %OV. มีค่าสูง เกิดการ oscillation และยังเกิดการกระเพื่อมของค่ากระแสอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในลูปความเร็ว การที่ผู้เขียนเลือกการปรับสเกลแฟคเตอร์ในลูปนี้ เนื่องมาจากค่าเอาท์พุทของลูปความเร็วจะใช้เป็น ค่ากระแสอ้างอิงในลูปของกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งเป็นลูปด้านใน ค่ากระแสอ้างอิงนี้จะมีผลในการควบคุมค่ากระแสอาร์เมเจอร์ให้มีการตอบสนองเร็วหรือช้า ผลของค่ากระแสของอาร์เมเจอร์จะมีผลต่อการสร้างแรงบิดเริ่มต้นของมอเตอร์ เพราะฉะนั้นการสร้างแรงบิดของมอเตอร์จะทำให้ความเร็วในการเริ่มหมุนของมอเตอร์มีอัตราเร่งสูง หรือต่ำ จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสในอาร์เมเจอร์นี้

จากผลการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซี่ทั้งอินพุทและเอาท์พุท มีผลมากต่อค่าสมรรถนะของการตอบสนองของความเร็ว ถ้าสเกลแฟคเตอร์ในตัวควบคุมระดับหยาบ มีค่าน้อย จะทำให้การตอบสนองเริ่มแรกมีค่าเร็ว มอเตอร์จะหมุนเข้าสู่ค่าอ้างอิงอย่างรวดเร็วทำให้ ค่า RT. จะมีค่าน้อย แต่ก็จะมี ค่า %OV. สูงขึ้นเช่นกัน ค่าสเกลแฟคเตอร์ในตัวควบคุมระดับ ละเอียดมีผลการเพิ่มความเร็วในการตอบสนองบริเวณใกล้ ค่าอ้างอิง ซึ่งจะมีผลต่อค่า %OV. และจะมีผลต่อการเกิด oscilation ด้วย การปรับให้ค่าสเกลแฟคเตอร์ในส่วนนี้มีค่าน้อยจะทำให้การตอบสนองใกล้ระดับอ้างอิงเร็ว ผลจะทำให้สัญญาณของความเร็วเข้าสู่สภาวะเสถียรเร็วด้วย และนอกจากนั้น การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ให้มีการทำงานเร็ว จะมีผลต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์ จะเกิดการกระชาก ดังผลทดลองที่ 2.5 ค่าสเกลแฟคเตอร์ในตัวควบคุมระดับละเอียดมีค่าน้อยมาก มอเตอร์จะเริ่มหมุนอย่างรวดเร็ว และเกิดกระชากในเริ่มต้น ซึ่งจะสังเกตุเห็นได้จาก การแกว่งของค่ากระแส การตอบสนองเช่นนี้ ในมอเตอร์กระแสตรงที่มีขนาดปานกลางหรือขนาดใหญ่ จะเป็นอันตรายกับมอเตอร์ในส่วนของกลไกทางกล

6.5 การทดลองที่ 3 - การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับปรุงสมรรถนะ

จากการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าการออกแบบค่าสเกลแฟคเตอร์ ของตัวควบคุมฟัซซี่ในการที่จะได้ค่าสมรรถนะที่เหมาะสม นั้นค่อนข้างจะยุ่งยากพอควร และยังมีค่า %OV สูง ในการทดลองต่อไปนี้ จะสร้างตัวปรับปรุงสมรรถนะ โดยจะปรับปรุงสมรรถนะในตัวควบคุมในลูปกระแส เพราะลูปกระแสเป็นลูปในและเป็นลูปสุดท้าย ก่อนที่จะควบคุมวงจรอาร์เมเจอร์ผ่านตัวขับเคลื่อน หลักเกณฑ์ของการควบคุมสมรรถนะ ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 5.2.3 จากสมการที่ (5.14) และ รูปที่ 5.10 พบว่าผลการเป็นเชิงเส้นของสัญญาณเอาท์พุท จะขึ้นอยู่กับ ดัชนีแสดงน้ำหนักของความไม่เป็นเชิงเส้น (p) ดังนั้นการทดลองในหัวข้อนี้ เราจะปรับค่า p เพื่อดูผลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองและตรวจสอบค่าสมรรถนะ การกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ จะใช้ค่าสเกลแฟคเตอร์ในการทดลองที่ 2.4

การกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ จะกำหนด ตามตารางที่ 6.11 ซึ่งค่าสเกลแฟคเตอร์นี้ จะกำหนดเท่ากับการทดลองที่ 2.4 ซึ่งจะทำให้ผลการตอบสนองเร็ว และมีค่า %OV มากในการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์แบบปกติ และจะใช้ค่าสเกลแฟคเตอร์เท่ากัน ตั้งแต่การทดลองที่ 3.1 ถึง การทดลองที่ 3.7 โดยจะทำการปรับค่า p ตั้งแต่ 0.9 - 1.5 เพื่อตรวจสอบสมรรถนะ เมื่อค่า p เปลี่ยนแปลงไป

การทดลองที่ 3.1 - ทดลองกำหนด ค่า p = 0.9

ตารางที่ 6.16 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

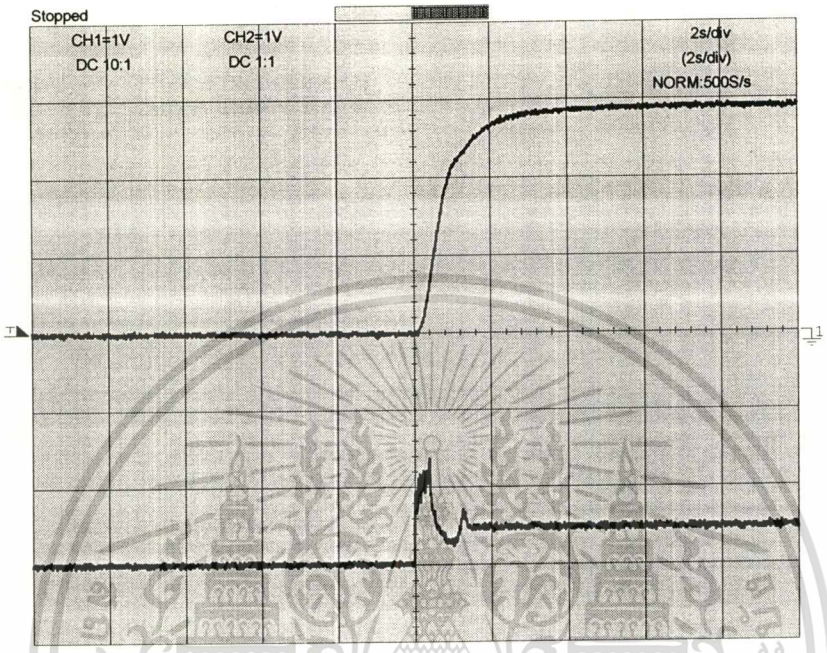
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-8, 8	1
- เอาท์พุท	-10, 10	0.8

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

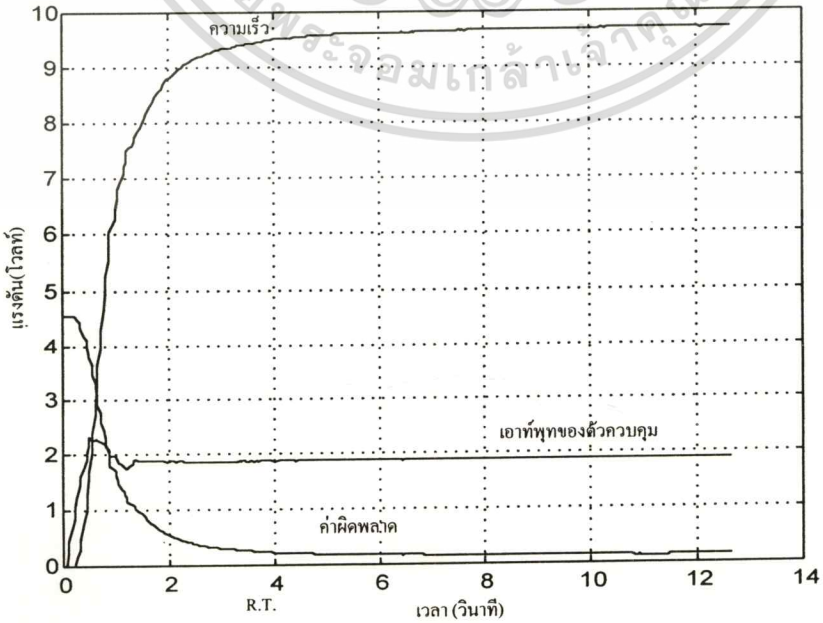
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-20, 20	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.19 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.9



รูปที่ 6.20 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

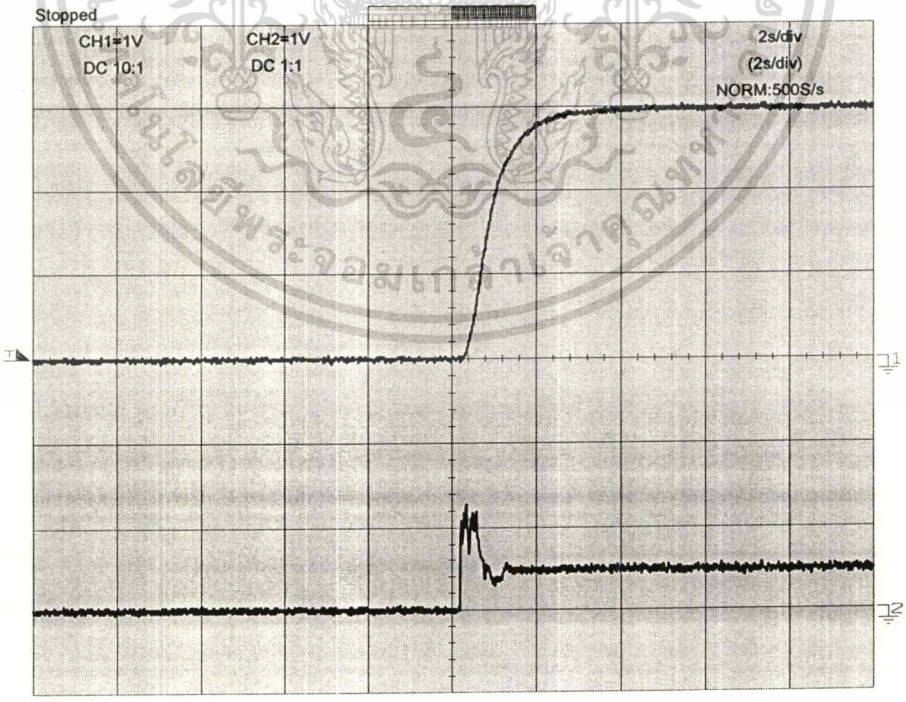
จากผลการทดลองที่ 3.1 นี้ปรากฏว่าการกำหนดค่า p = 0.9 จะทำให้การตอบสนองของความเร็วมีการหน่วงเวลามาก และ ค่าความเร็วไม่เข้าสู่ ค่า set point ดังจะเห็นได้จากผลการทดลอง ความเร็วที่ได้จริง มีค่าน้อยกว่า set point และ ค่าผิดพลาดของความเร็วที่สภาวะเสถียรประมาณ 200 r.p.m. ค่า p =0.9 ไม่สามารถนำไปใช้ได้ การทดลองต่อไปจะทำการเพิ่มค่า p ให้สูงขึ้น โดยจะเพิ่มที่ p = 0.95

การทดลองที่ 3.2 - กำหนด ค่า p = 0.95

ตารางที่ 6.17 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

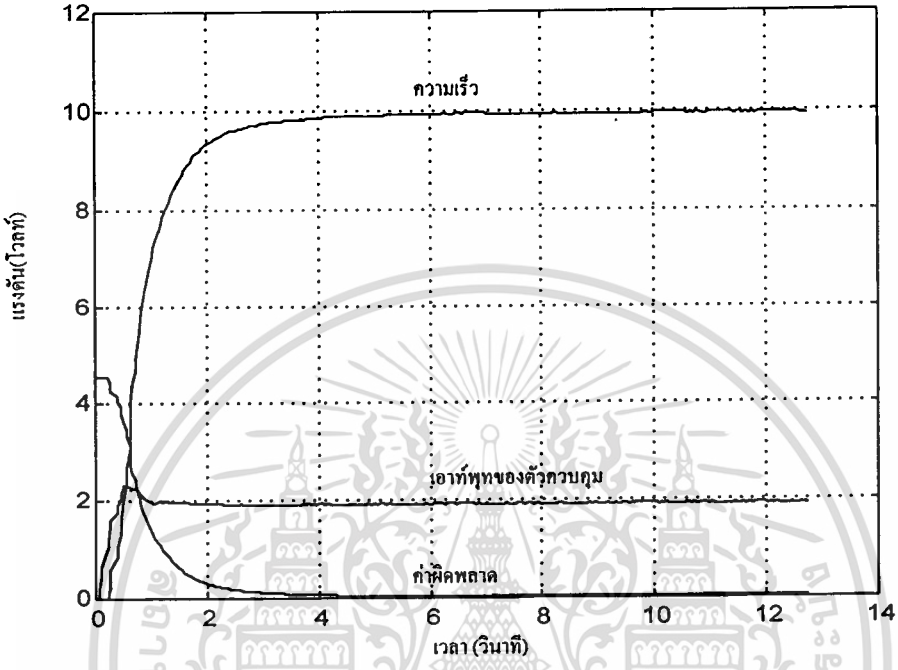
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-20, 20	0.4

รูปที่ 6.21 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.22 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.95



ตารางที่ 6.17 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.95

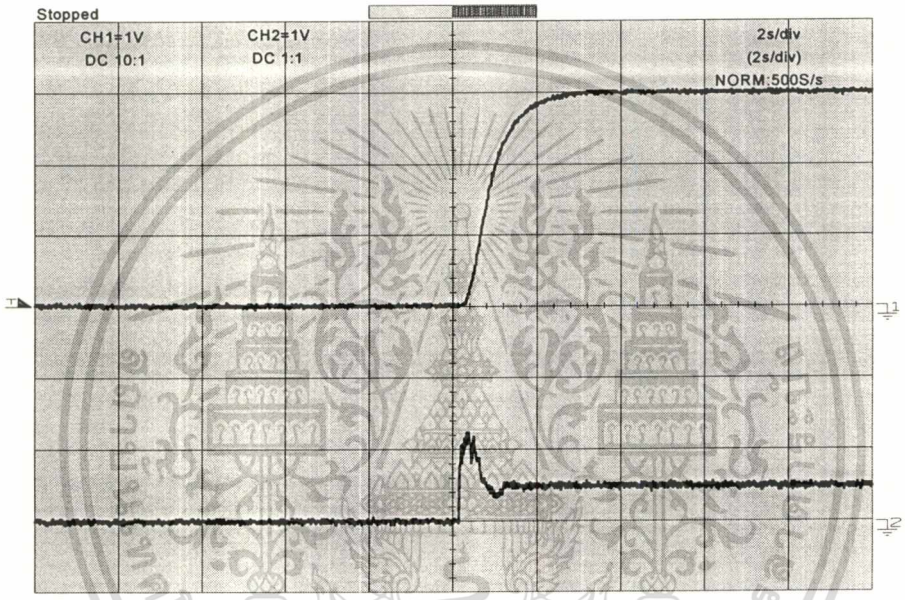
ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	4
%OV	0

จากผลการทดลองตามตารางที่ 6.17 จะเห็นได้ว่า ค่า RT. มีค่ามาก การตอบสนองของความเร็วมีค่าช้ามาก ไม่มีค่าพุ่งเกินหรือ %OV. มีค่าเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

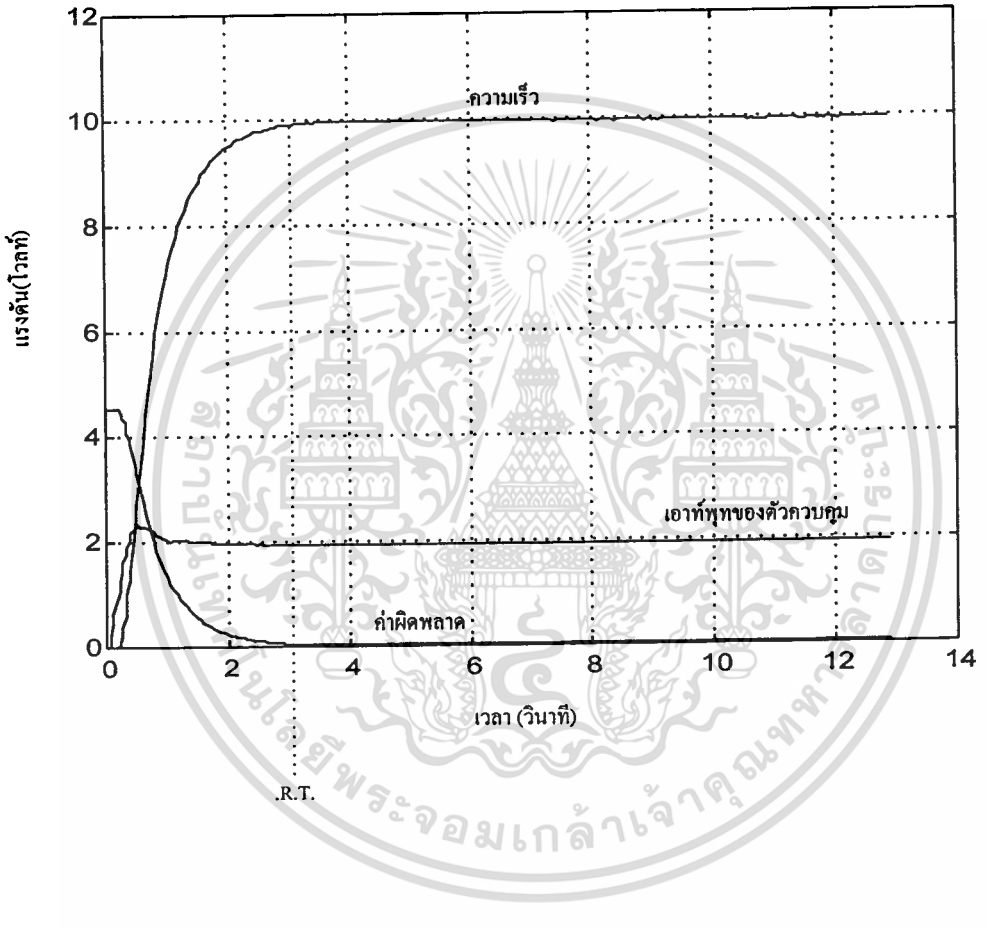
การทดลองที่ 3.3 - ปรับค่า p = 0.97

รูปที่ 6.23 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6. 24 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.97



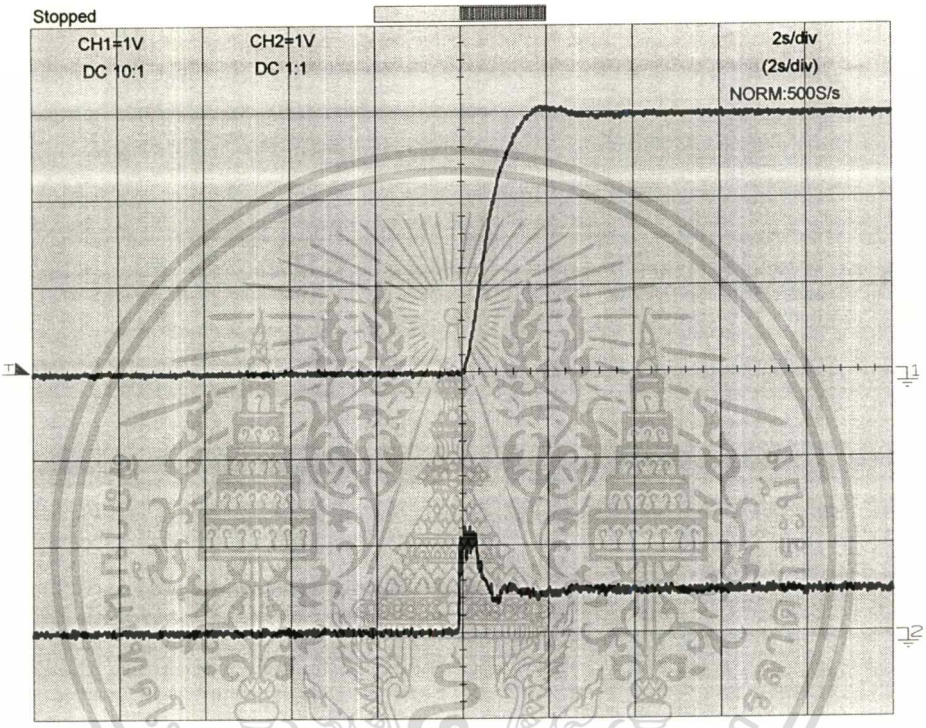
ตารางที่ 6.18 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.58
%OV	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

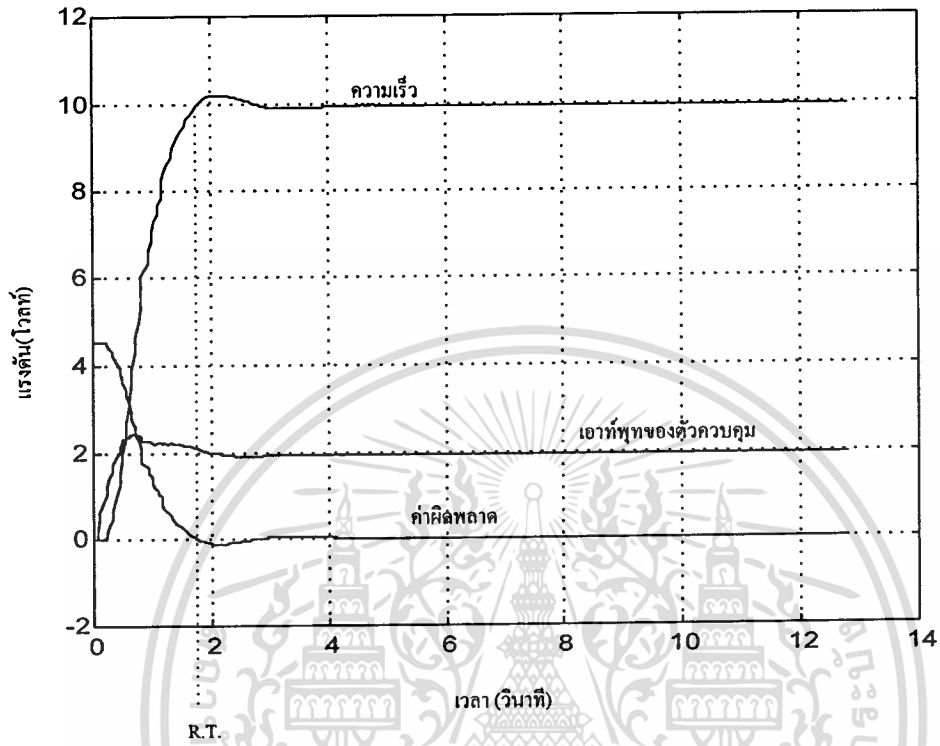
การทดลองที่ 3.4 - ปรับค่า p = 1

รูปที่ 6.25 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.26 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1



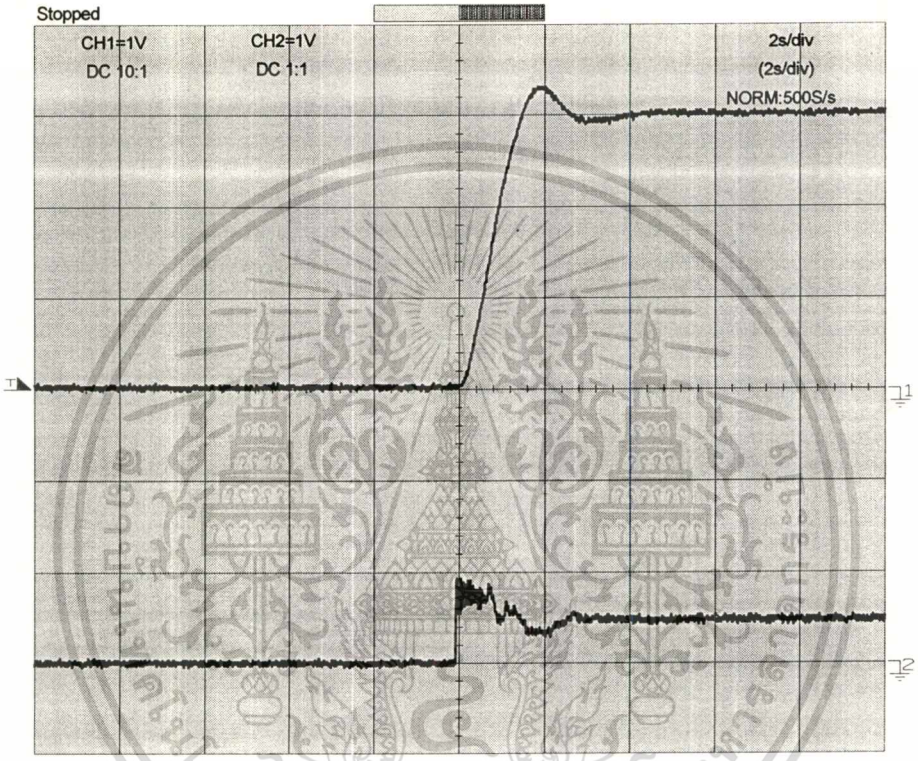
ตารางที่ 6.19 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.76
%OV	2.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

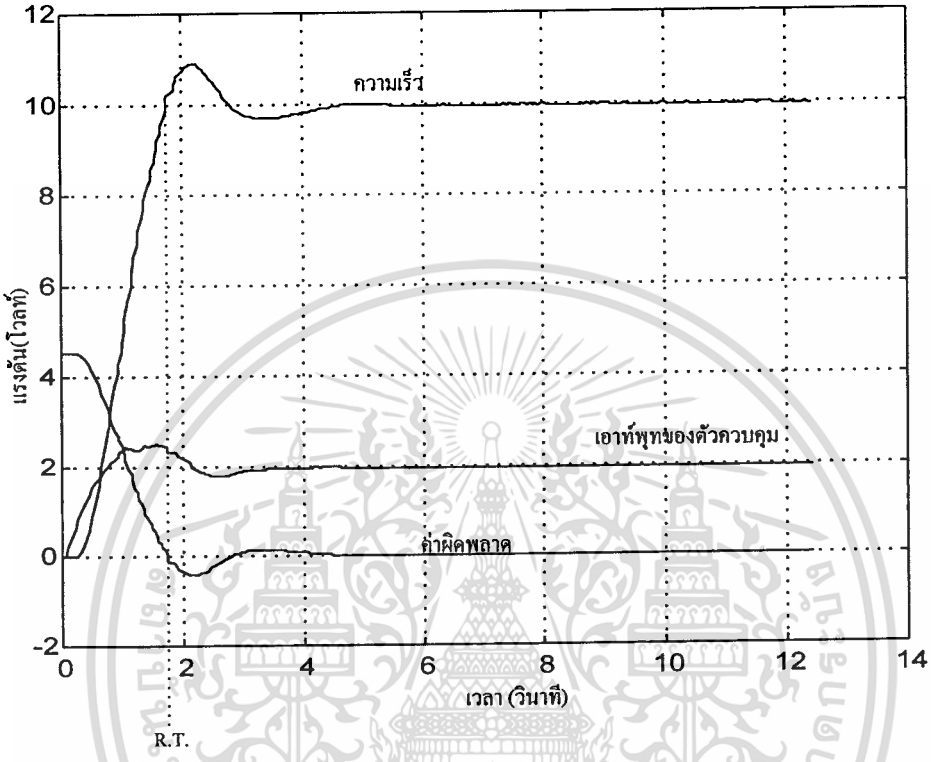
การทดลอง 3.5 - ปรับค่า p = 1.2

รูปที่ 6.27 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.28 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.2



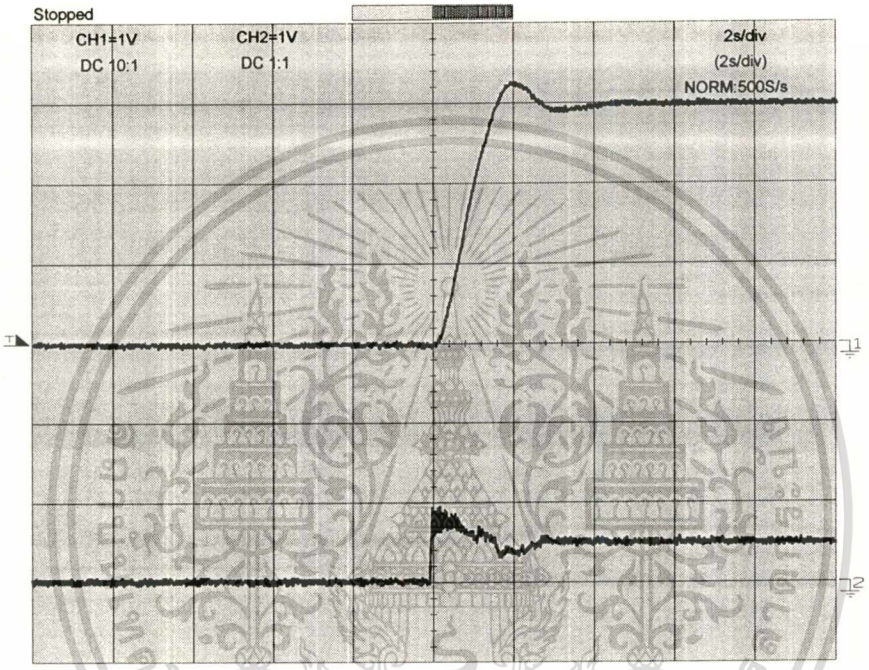
ตารางที่ 6.20 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.2

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.76
%OV	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

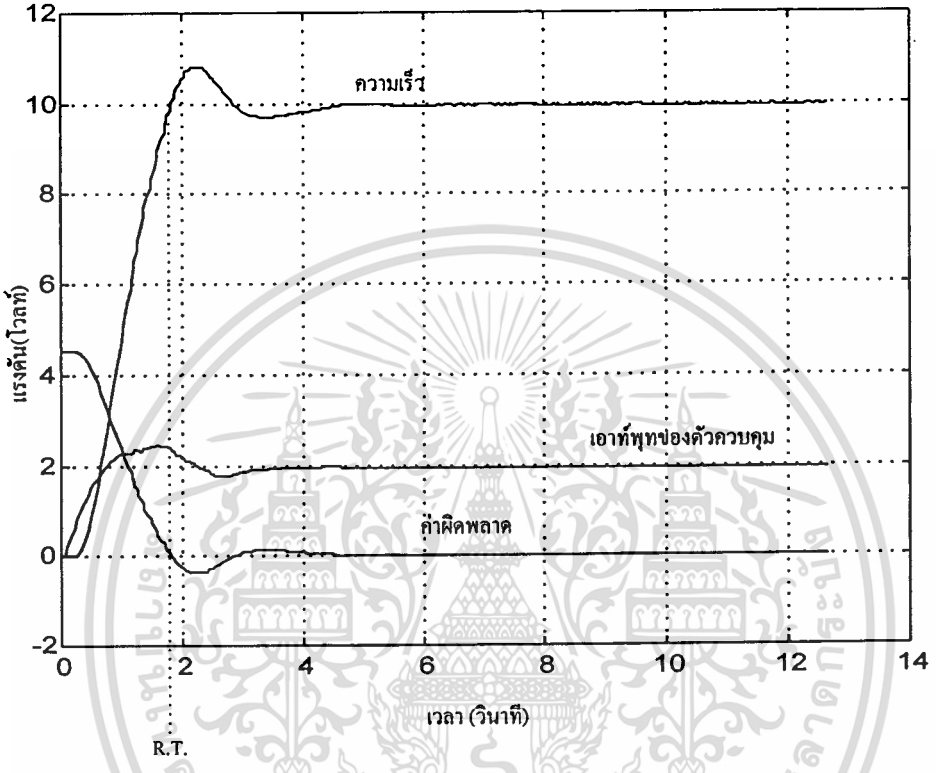
การทดลองที่ 3.6 - ปรับค่า p =1.3

รูปที่ 6.29 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.30 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.3



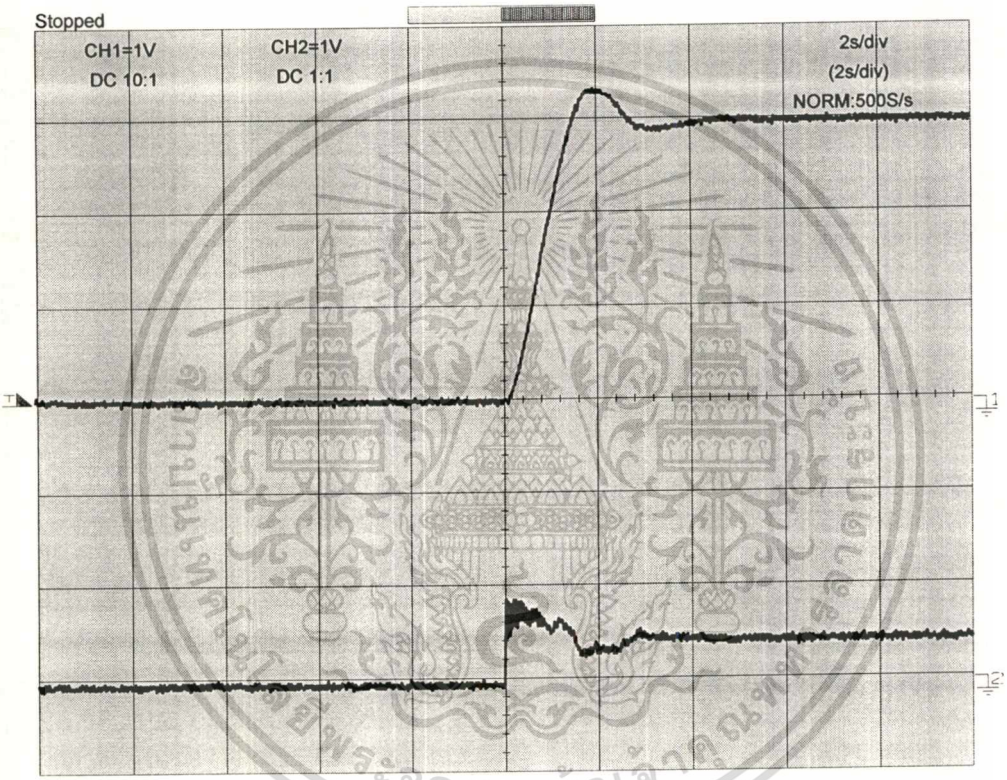
ตารางที่ 6.21 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.3

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.8
%OV	8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

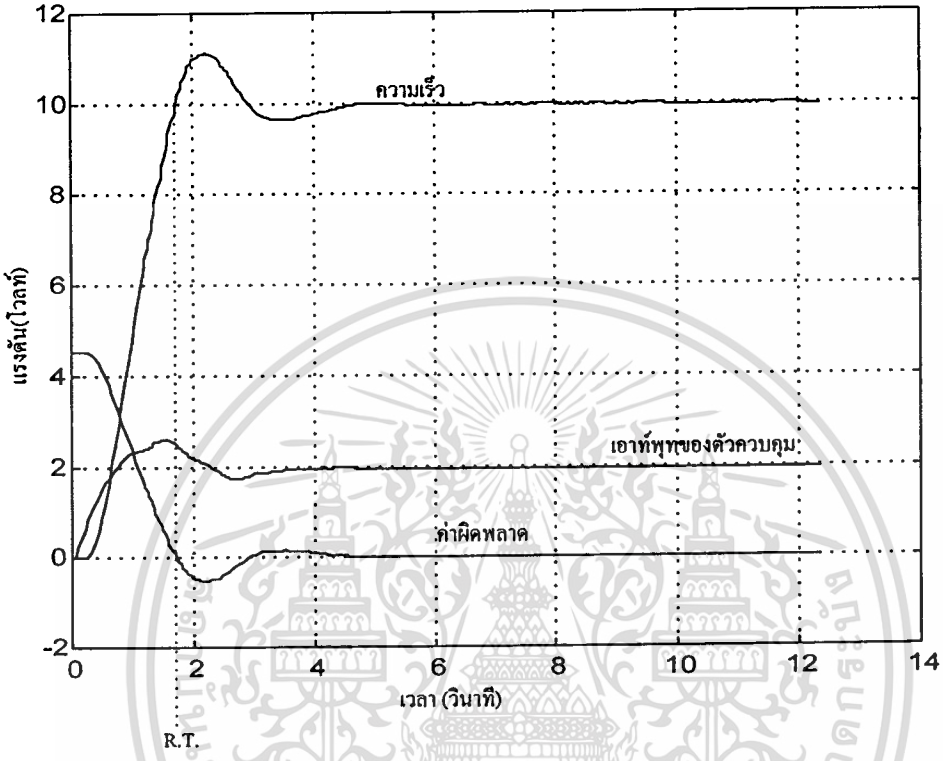
การทดลองที่ 3.7 - ปรับค่า p = 1.5

รูปที่ 6.31 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 1.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.32 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 1.5



ตารางที่ 6.22 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 1.5

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.7
%OV	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง ที่ 3

จากการทดลองตั้งแต่หัวข้อที่ 3.1 - 3.7 จะเห็นได้ว่า ผลการตอบสนองของค่าความเร็วมอเตอร์ จะช้า เมื่อค่า p มีค่าน้อย และจะเร็วขึ้น จนค่า p มีค่า เท่ากับ 1.5 จากการตรวจค่าสมรรถนะ จะพบว่าค่า p ที่ดี ที่ค่า ระหว่าง p = 0.97 ถึง p = 1 จะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงสมรรถนะ จะให้ผลของค่าสมรรถนะที่ดีกว่า แบบปกติ คือ จะได้ค่า RT.. ที่ เร็ว และ มีค่า %OV. ต่ำ ต่อไปจะทดลองเลือกใช้ค่า p = 0.97 ที่ค่าสเกลแฟคเตอร์ที่น้อยเช่นในการทดลองที่ 2.5 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสอาร์เมเจอร์ มาก และเกิดการ oscillation ในตัวควบคุมแบบปกติ ดังจะทำการทดลองในการทดลองที่ 3.8

การทดลองที่ 3.8 ทดลองกำหนดค่า p = 0.97 และเปลี่ยนค่า สเกลแฟคเตอร์ ดังตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6.23 ตารางการกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

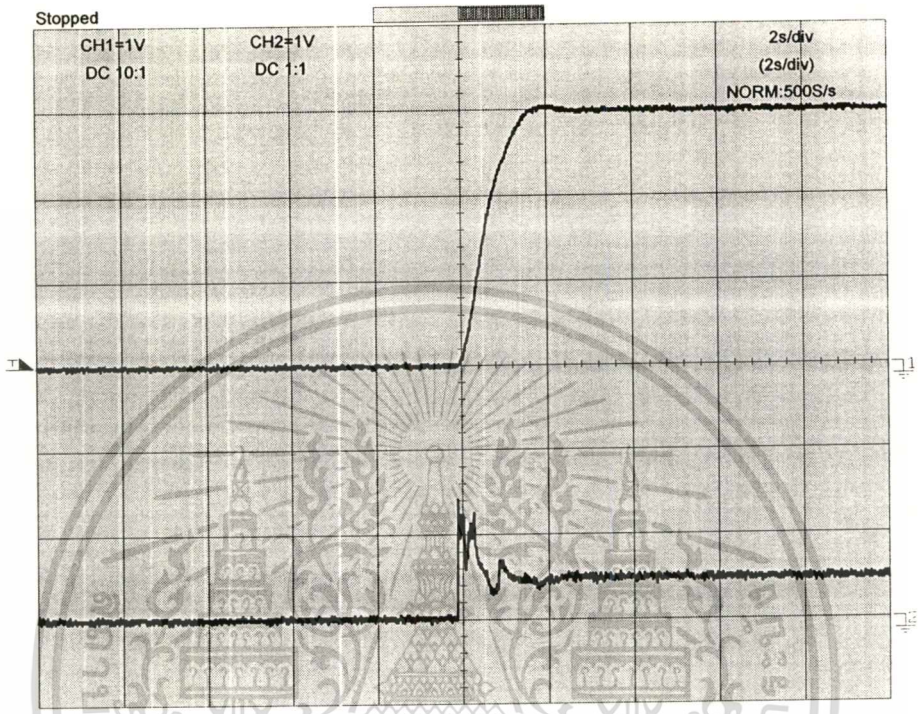
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-8, 8	1
- เอาท์พุท	-12, 12	0.8

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-2.4, 2.4	0.3

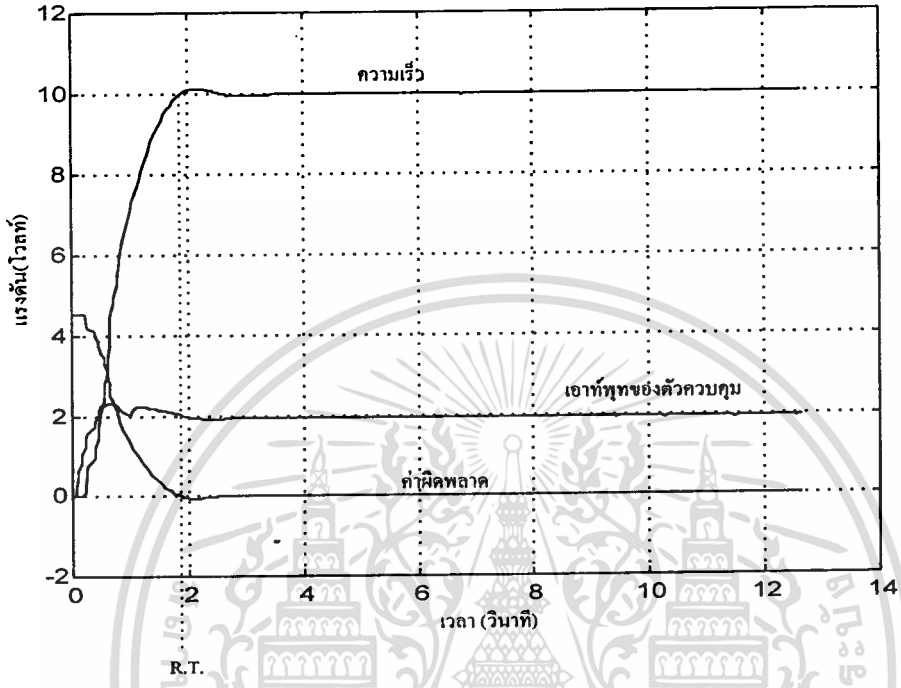
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.33 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope เมื่อปรับค่า p = 0.97และใช้สเกลแฟคเตอร์ ในตารางที่ 6.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.34 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ค่า p = 0.97



ตารางที่ 6.24 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ในการทดลองที่ค่าสเกลแฟคเตอร์ ต่ำ ๆ

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.85
%OV	2

จากผลการทดลองที่ 3.8 จะเห็นได้ว่า ผลของการใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ ที่มีตัวปรับสมรรถนะจะให้ผลของสมรรถนะที่ดีกว่า การทดลองที่ 2.5 ซึ่งไม่มีตัวปรับค่าสมรรถนะ แม้ว่า ค่า สเกลแฟคเตอร์ ในการทดลองที่ 3.8 จะมีค่าสเกลแฟคเตอร์น้อยมาก จากผลการทดลองนี้ ถ้านำผลเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2.5 จะเห็นผลของสมรรถนะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

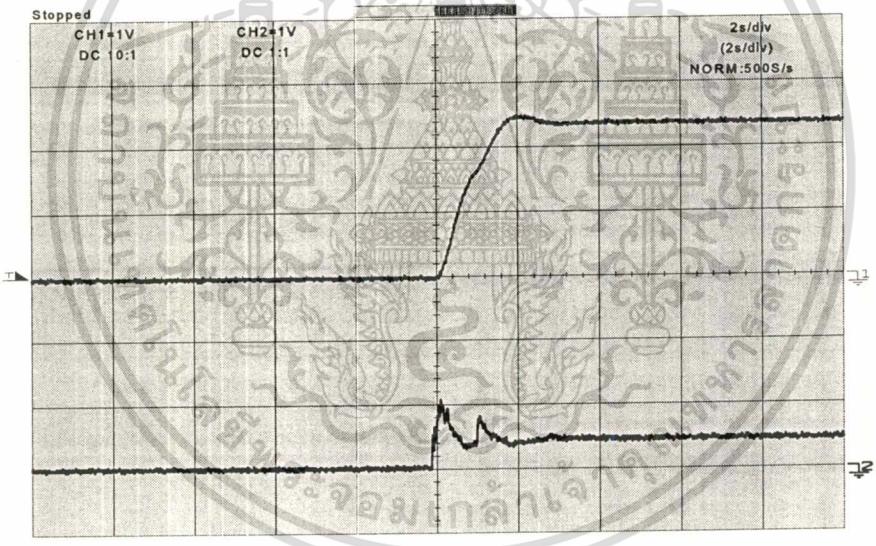
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 การทดลองที่ 4 การทดลองควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ โดยปรับหลายความเร็ว

การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองควบคุมมอเตอร์เพื่อดูผลการตอบสนองหลายความเร็ว โดยจะทำการทดลองที่ ความเร็ว 800 r.p.m , 1200 r.p.m. 1400 r.p.m. และ 1600 r.p.m. โดยใช้ค่าสเกลแฟคเตอร์ เท่ากัน การทดลองที่ 3.8 และ กำหนดค่า p = 0.97

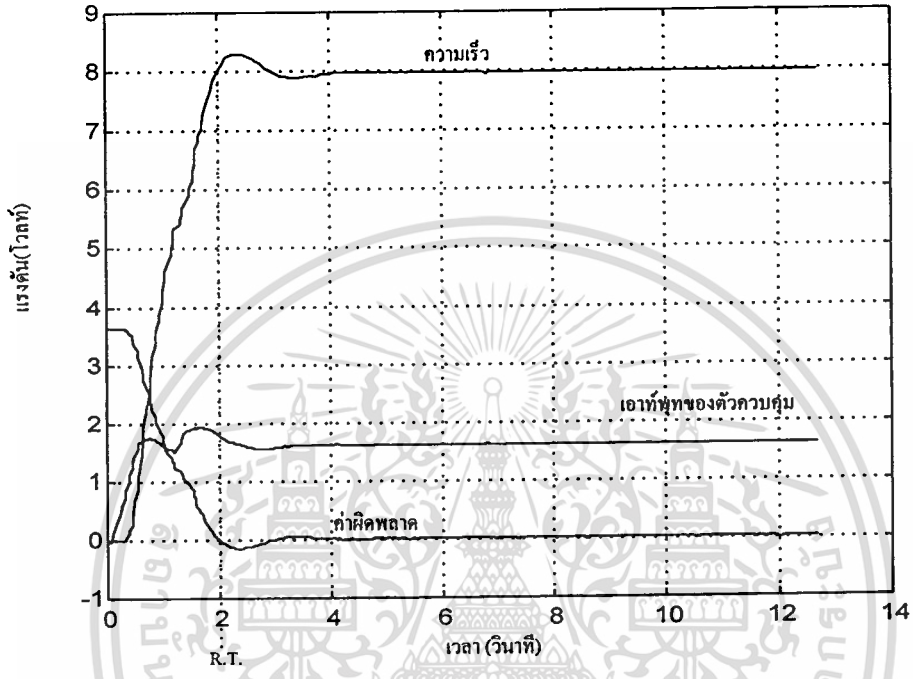
การทดลองที่ 4.1 ทดลองที่ ความเร็ว 800 r.p.m.

รูปที่ 6.35 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 800 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.36 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 800 r.p.m.



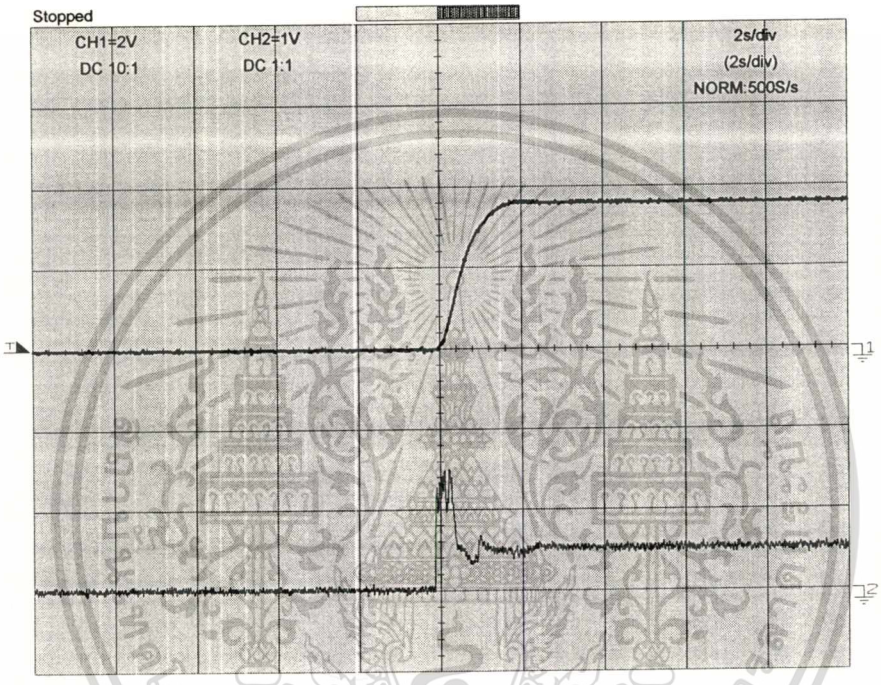
ตารางที่ 6.25 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 800 r.p.m.

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.98
%OV	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2 ทดลองที่ความเร็ว 1200 r.p.m.

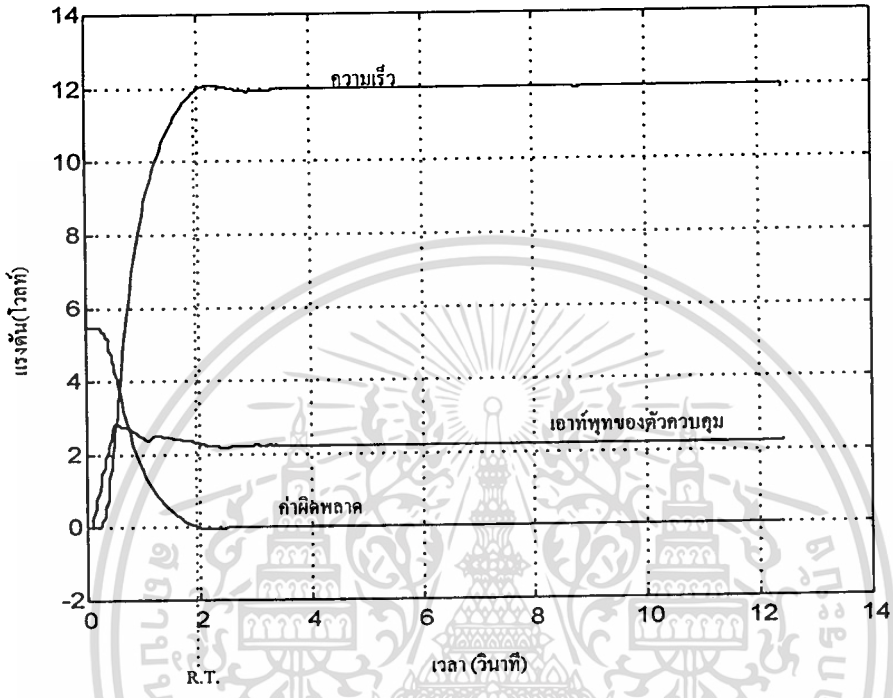
รูปที่ 6.37 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1200 r.p.m.



ในหัวข้อการทดลองหัวข้อนี้ ได้เปลี่ยนค่าสเกลของ digital storage scope ใน chanel ที่ 1 ซึ่งวัดความเร็ว เท่ากับ 2 โวลท์ ต่อ 1 ช่อง เพื่อเกิดความสะดวกในการอ่านข้อมูล จะอ่านค่าความเร็วที่ ได้จาก tacho generator เท่ากับ 36 โวลท์ ที่ ความเร็ว 1200 r.p.m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.38 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1200 r.p.m.



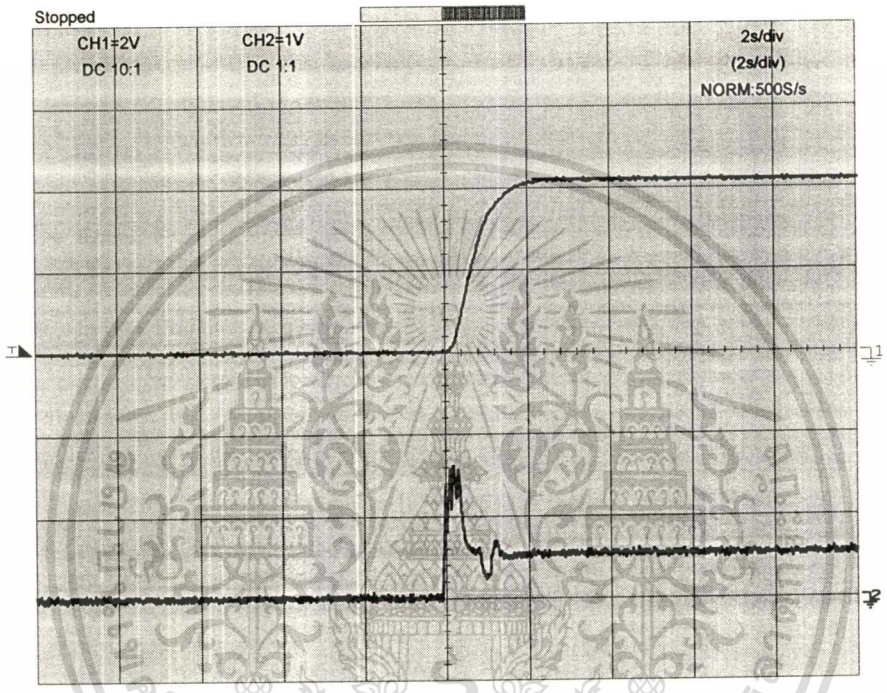
ตารางที่ 6.26 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 1200 r.p.m.

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	1.98
%OV	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.3 การทดลองที่ ความเร็ว 1400 r.p.m.

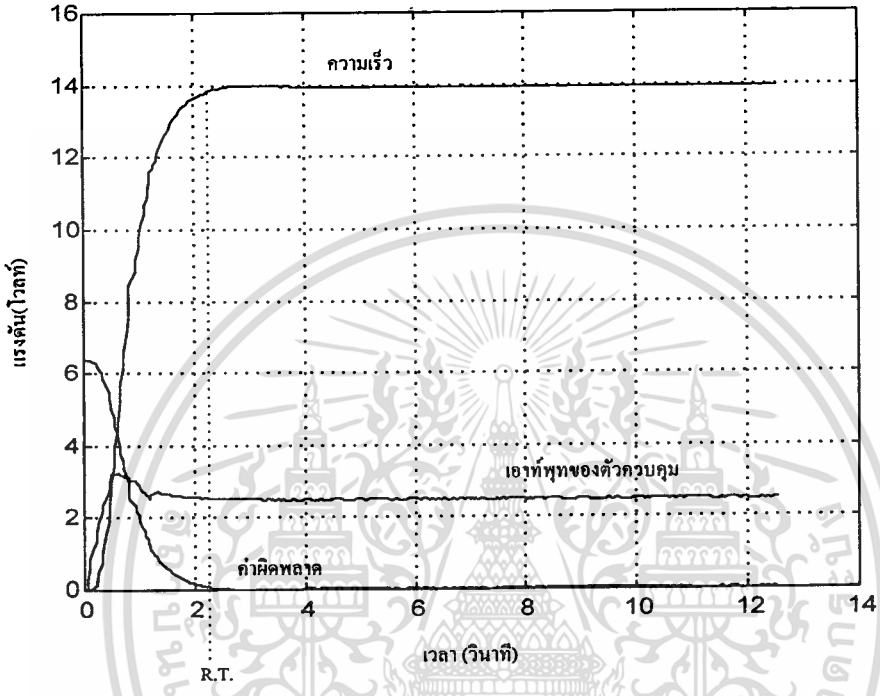
รูปที่ 6.39 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.



จากรูปที่ 6.39 ค่าของสัญญาณความเร็วที่วัดได้ จาก tacho generator จะมีค่าเท่ากับ 42 โวลท์ ค่าสัญญาณ กระแส ของอาร์เมเจอร์ ที่วัดได้จาก hall sensor จะมีค่าเท่ากับ 500 มิลลิโวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.40 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.



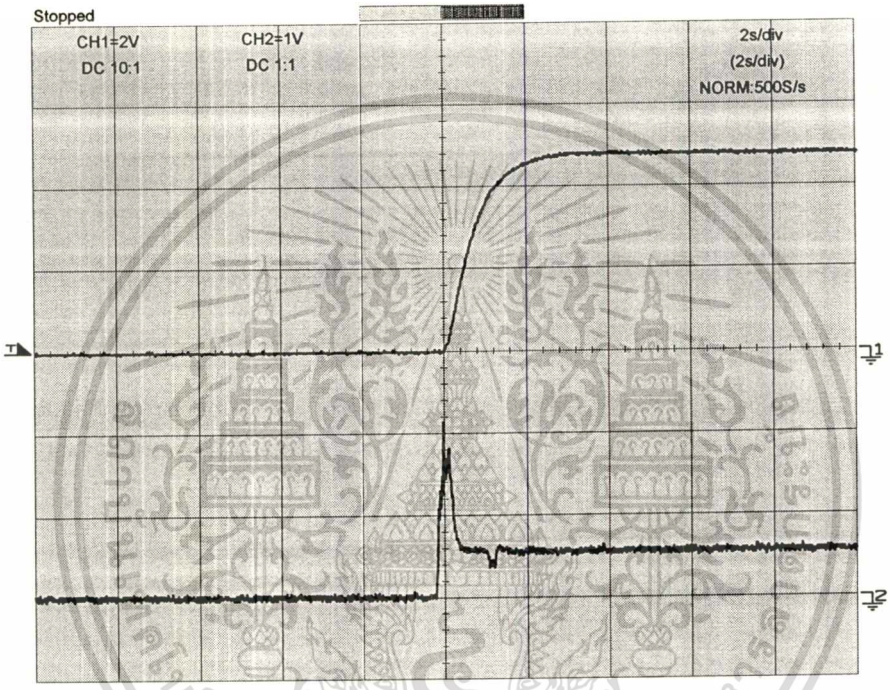
ตารางที่ 6.27 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 1400 r.p.m.

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.09
%OV	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

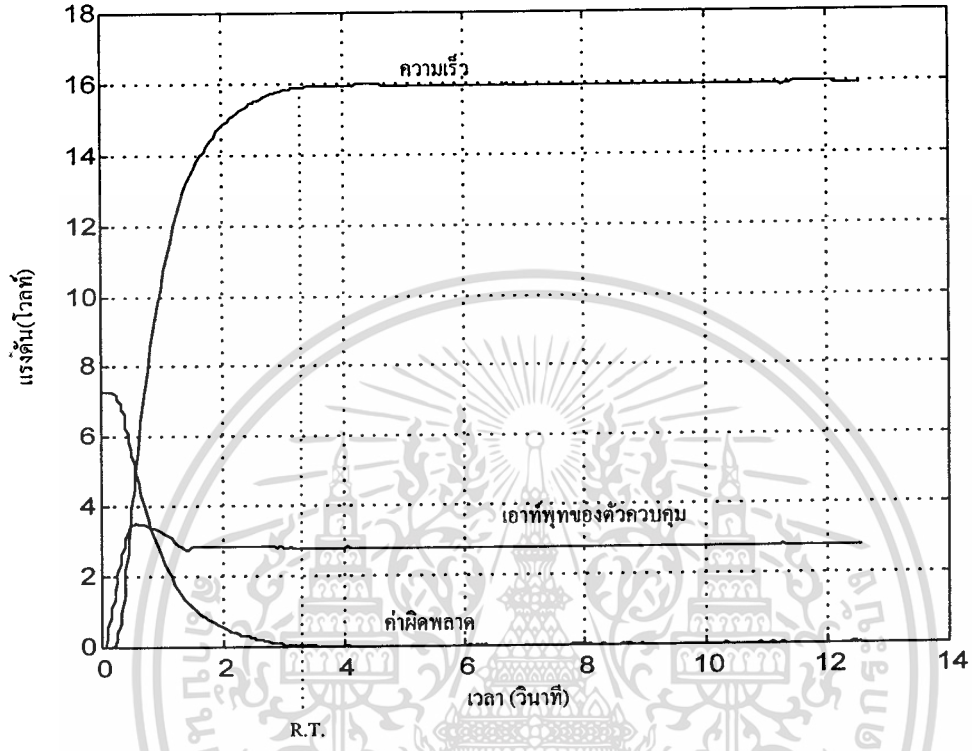
การทดลองที่ 4.4 การทดลองความเร็วที่ 1600 r.p.m.

รูปที่ 6.41 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1600 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.42 แสดงผลการตอบสนองของค่าความเร็วและค่าผิดพลาดที่ได้จากการบันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1600 r.p.m.



ตารางที่ 6.28 แสดงผลของค่าสมรรถนะ เมื่อกำหนดค่า p = 0.97 ที่ความเร็ว 1600 r.p.m.

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
RT. (sec.)	2.75
%OV	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5 การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ เมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลง

การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการควบคุมความเร็วมอเตอร์ และตรวจสอบเมื่อความเร็วของมอเตอร์เข้าสู่สภาวะเสถียร และมีการเปลี่ยนแปลงโหลดกระทันหัน หรือมีการรบกวนจากโหลดทางกลจากภายนอก การทดลองจะป้อนโหลดทางกล ขนาดต่าง ๆ โดยใช้ชุดเบรคมอเตอร์ชนิด magnetic powder brake ซึ่งประกอบอยู่ในชุดทดลอง การควบคุมการเบรค สามารถควบคุมจากภายนอก โดยใช้ควบคุมด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ค่าแรงบิดจากโหลดจะแปลค่าตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวเบรค ฟังก์ชันของการเบรคเป็นแบบ step function

การทดลองที่ 5.1 การทดลองจ่ายโหลด 25 % ของพิกัด

การทดลองนี้จะเป็นการจ่ายโหลดขนาด 25 % โดยมีค่ากระแสอาร์เมเจอร์ขณะรับโหลดเท่ากับ 1.6 แอมป์ ที่กระแสพิกัด 6.2 แอมป์ จ่ายโหลดทันทีทันใด เมื่อความเร็วมอเตอร์เข้าสู่สภาวะเสถียร ตามเวลาที่กำหนดในตารางที่ 6.26 ค่าแรงดันที่ควบคุมการเบรคจะกำหนดจากค่ากระแสของมอเตอร์ที่ 25 % มีค่าเท่ากับ 5 โวลท์ การทดลองจ่ายโหลด ตั้งแต่การทดลองที่ 5.1 ถึงการทดลองที่ 5.4 จะใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับค่าสมรรถนะ โดยกำหนดค่า p = 0.97 และค่าสเกลแฟคเตอร์จะใช้ตามตารางที่ 6.29

ตารางที่ 6.29 แสดงค่าสเกลแฟคเตอร์ที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่ในลูปความเร็ว

- ตัวควบคุมฟัซซี่ ในระดับหยาบ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-8, 8	1
- เอาท์พุท	-12, 12	0.8

- ตัวควบคุมฟัซซี่ในระดับละเอียด

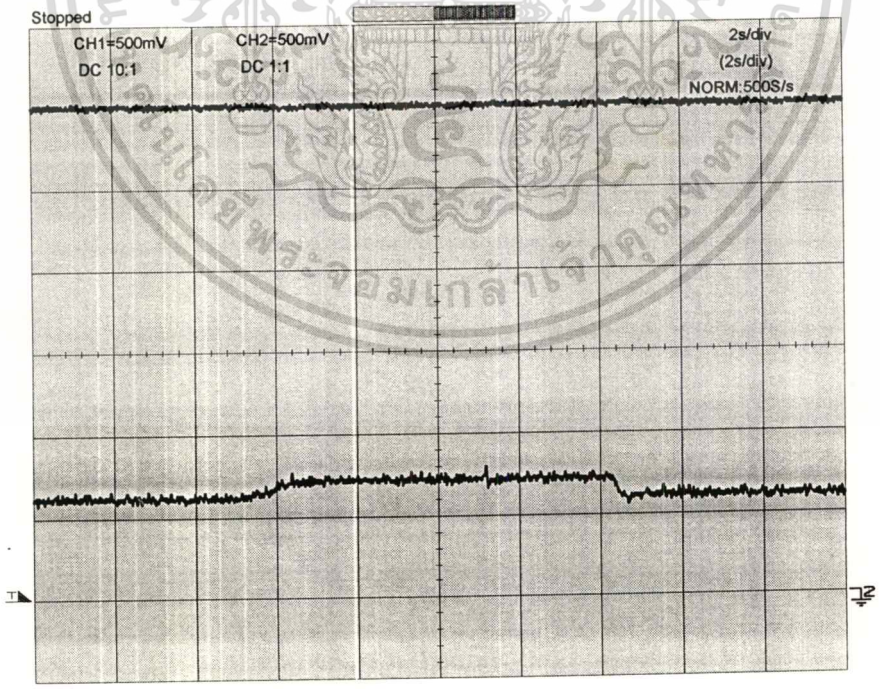
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ช่วงของเอกภพสัมพัทธ์	สเกลแฟคเตอร์
- อินพุท	-6, 6	0.75
- เอาท์พุท	-3.2, 3.2	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.30 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และการกำหนดการเบรค

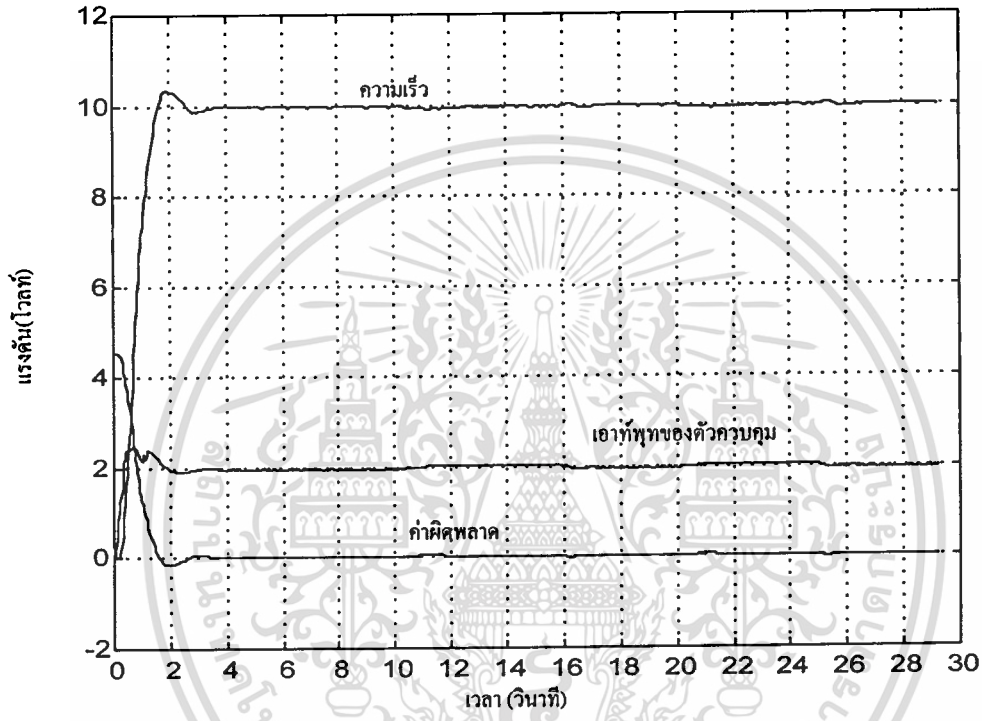
ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วยการวัด
ความเร็วอ้างอิง	1000	r.p.m.
แรงบิดโหลด	0.4	Nm.
กระแสอาร์เมเจอร์	1.6	amp.
แรงดันควบคุมการเบรค	5	volt.
เวลาการจ่ายโหลดเข้า	16	sec.
เวลาการปลดโหลด	25	sec.

รูปที่ 6.43 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์เมื่อจ่ายโหลด 25 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.44 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดของความเร็ว เมื่อจ่ายโหลด 25 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



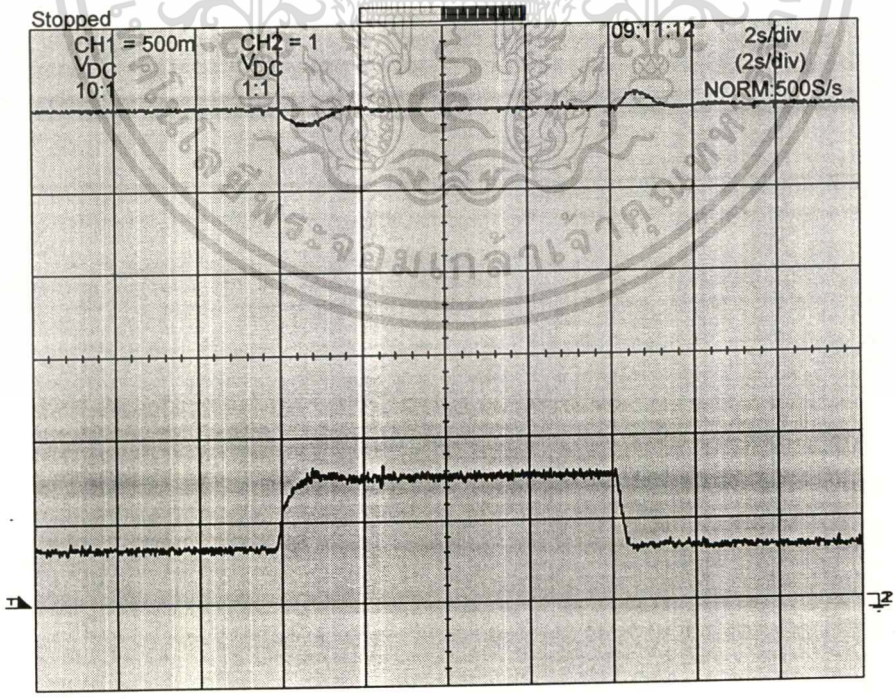
จากผลการทดลองที่ 5.1 เป็นการจ่ายโหลด ขนาด 25 % ของพิกัดจะเห็นได้ว่า เนื่องจากขนาดของโหลดมีค่าน้อยมาก ดังนั้นความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก่อนที่ความเร็วรอบจะปรับเข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง จะเห็นได้จากค่าสัญญาณของกระแสในรูปที่ 6.43 จะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดทางกลเพิ่มขึ้น แต่ค่าของกระแสจะสูงกว่าค่ากระแสในสภาวะไร้โหลดเพียงเล็กน้อย ในเวลาต่อมาเมื่อทำการปลดโหลดออก จะเกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะของ ความเร็วรอบและความเร็วรอบจะเข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิงเช่นเดิม

การทดลอง ที่ 5.2 การทดลองจ่ายโหลด 50 %

ตารางที่ 6.31 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และการกำหนดการเบรค

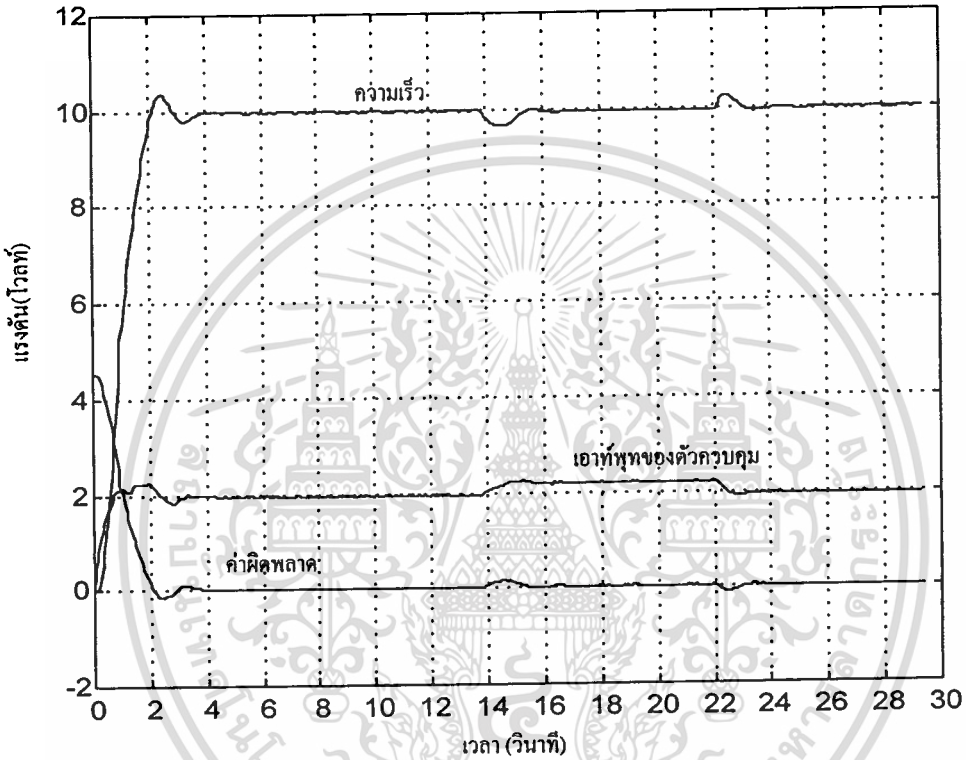
ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วยการวัด
ความเร็วอ้างอิง	1000	r.p.m.
แรงบิดโหลด	1.5	Nm.
กระแสอาร์เมเจอร์	3.2	amp.
แรงดันควบคุมการเบรค	8	volt.
เวลาการจ่ายโหลดเข้า	14	sec.
เวลาการปลดโหลด	22	sec.

รูปที่ 6.45 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์เมื่อจ่ายโหลด 50 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.46 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดของความเร็ว เมื่อจ่ายโหลด 50 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

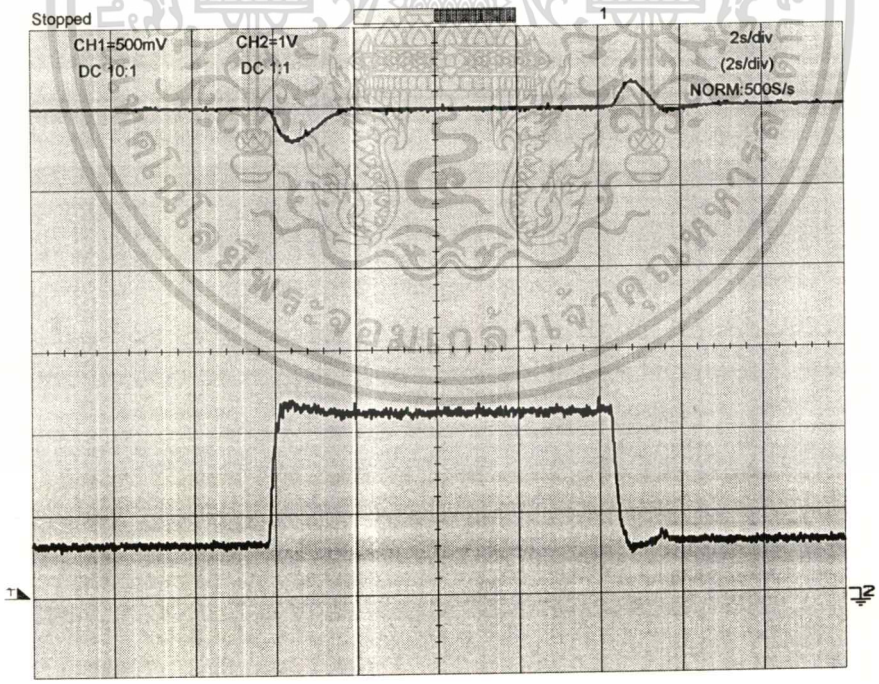
การทดลองที่ 5.3 การทดลองจ่ายโหลด 75 %

การกำหนดค่าในการจ่ายโหลดให้มอเตอร์ขนาด 75 % ของพิกัดตามตารางที่ 6.32

ตารางที่ 6.32 แสดงการกำหนดค่าในการจ่ายโหลดมอเตอร์

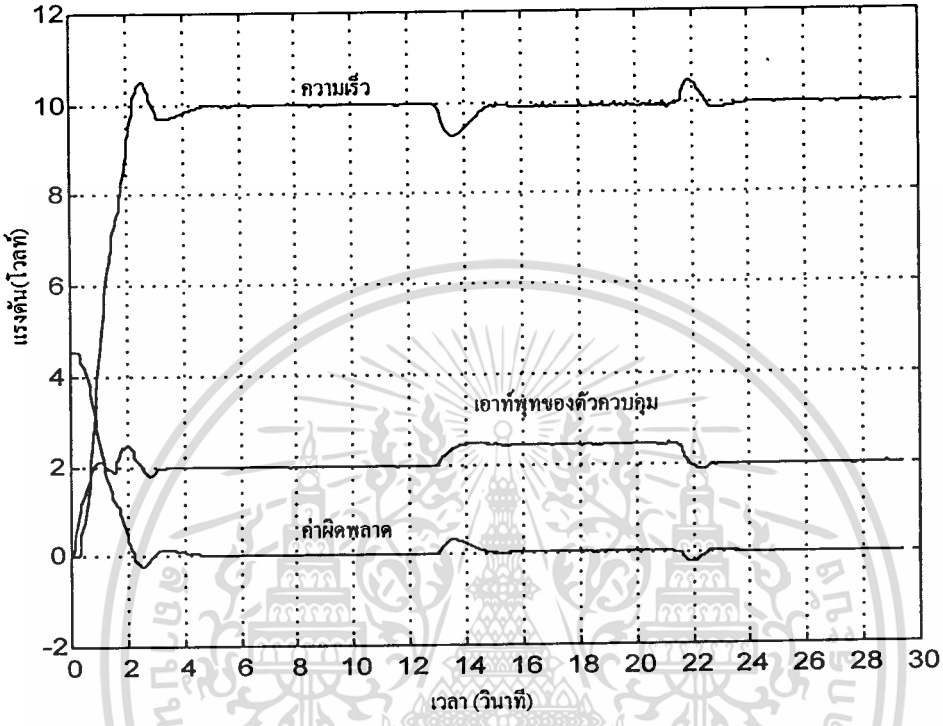
ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วยการวัด
ความเร็วอ้างอิง	1000	r.p.m.
แรงบิดโหลด	3.6	Nm.
กระแสอาร์เมเจอร์	4.3	amp.
แรงดันควบคุมการเบรค	10	volt.
เวลาการจ่ายโหลดเข้า	13	sec.
เวลาการปลดโหลด	21	sec.

รูปที่ 6.47 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์เมื่อจ่ายโหลด 75 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.48 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและค่าผิดพลาดของความเร็ว เมื่อจ่ายโหลด 75 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่บันทึกจากตัวควบคุมฟัซซี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

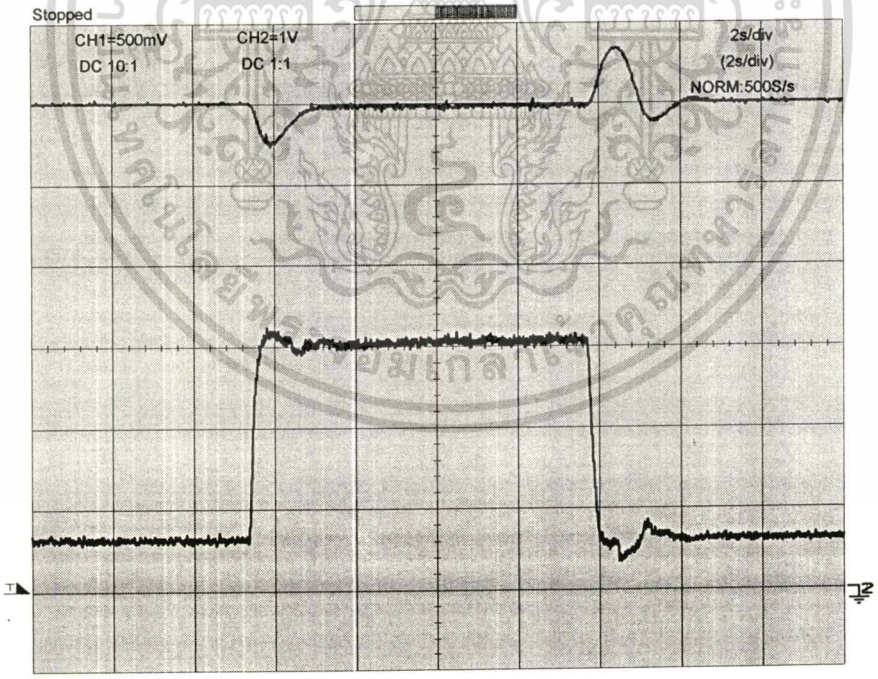
การทดลองที่ 5.4 การทดลองจ่ายโหลด 100 %

การกำหนดค่าในการจ่ายโหลดให้มอเตอร์ขนาด 100 % ของพิกัดตามตารางที่ 6.33

ตารางที่ 6.33 แสดงการกำหนดค่าในการจ่ายโหลดมอเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วยการวัด
ความเร็วอ้างอิง	1000	r.p.m.
แรงบิดโหลด	4	Nm.
กระแสอาร์เมเจอร์	6.2	amp.
แรงดันควบคุมการเบรค	14	volt.
เวลาการจ่ายโหลดเข้า	9	sec.
เวลาการปลดโหลด	17	sec.

รูปที่ 6.49 แสดงผลการตอบสนองของความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 % ของพิกัดมอเตอร์ ที่วัดได้จาก digital storage scope ที่ความเร็ว 1000 r.p.m.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

การทดลองในหัวข้อนี้ จะเป็นการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 5.5.1 การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ด้วยตัวเองนี้ จะปรับที่สเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส โดยให้มีการเรียนรู้เพื่อหาให้ตัวควบคุม ปรับหาค่าสเกลแฟคเตอร์ที่เหมาะสม โดยกำหนดค่าสมรรถนะไว้ และให้ตัวควบคุมทำงานแบบวนลูป โดยมีจุดประสงค์ที่จะให้ตัวควบคุมหาค่าสเกลแฟคเตอร์ที่เหมาะสม ในกรณีที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่จะควบคุม

ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ให้ตัวควบคุม ความเร็วจะกำหนดเท่ากับการทดลองที่ 2.4 ใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ ที่ไม่มีตัวปรับค่าสมรรถนะ ค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวควบคุมกระแสจะกำหนดค่าเริ่มต้นมีค่าสเกลแฟคเตอร์มาก เพื่อให้การตอบสนองเริ่มต้นช้า ในขณะที่เรายังไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ที่จะเรียนรู้ ถ้าตัวควบคุมทำงานเร็วในเริ่มต้น มอเตอร์อาจจะเริ่มทำงานอย่างรวดเร็ว และมีกระแสเริ่มต้นสูงเกินไป

2. กำหนดค่าสมรรถนะโดยประมาณ ในที่นี้ เราจะกำหนด ค่า RT. และ ค่า %OV ไว้ โดยมีจุดประสงค์ให้มอเตอร์ทำงานจนได้ค่า RT. เท่ากับค่า RT. ที่กำหนดไว้หรือมีค่าใกล้เคียงที่จะยอมรับได้ โดยค่า %OV ไม่เกิน 5 - 6 %

3. ทดลองควบคุมมอเตอร์ โดยให้มอเตอร์ทำงานในระยะสั้น ๆ และ ตรวจสอบการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของมอเตอร์

4. การบันทึกผลการทดลอง จะบันทึกในรูปของแฟ้มข้อมูล และนำไปเขียนกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB

การทดลองที่ 6.1 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ให้วนรอบการทำงาน 5 รอบ

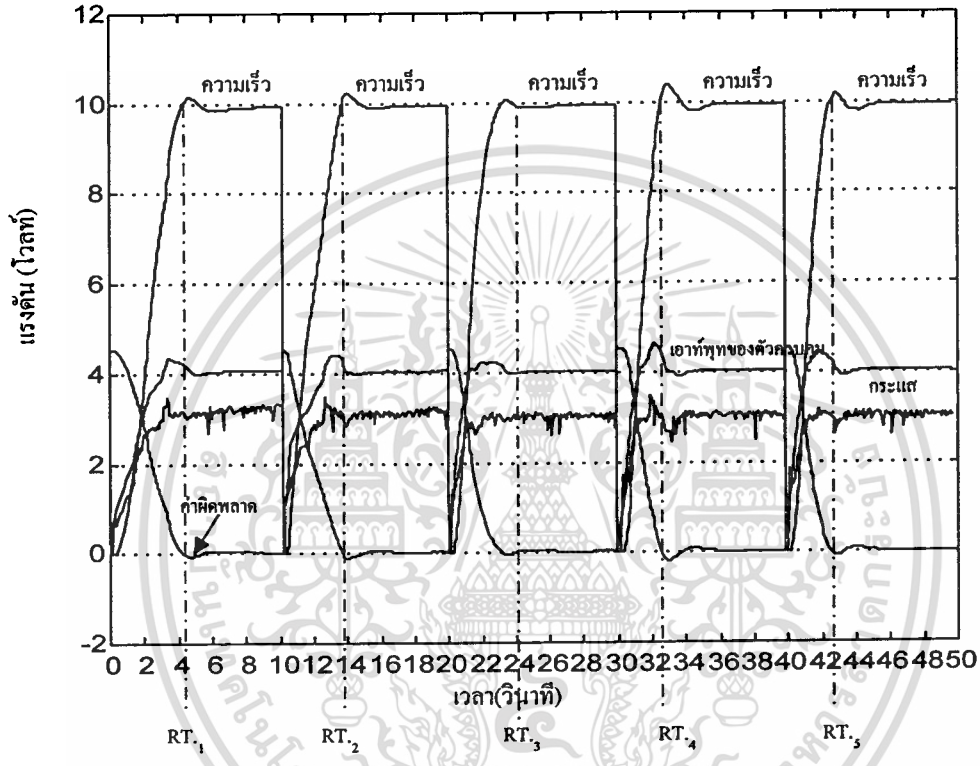
กำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่ต้องการไว้ตามตารางที่ 6.34

ตารางที่ 6.34 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
ค่าสเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้น	0.25	
RT.	2.5	sec.
%OV	6	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.51 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะเมื่อมีการปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ



ตารางที่ 6.35 แสดงผลค่าสมรรถนะของการปรับสเกลแฟคเตอร์ในแต่ละรอบการทำงาน

ค่าสมรรถนะ	รอบที่1	รอบที่ 2	รอบที่3	รอบที่4	รอบที่5
RT. (sec.)	4.18	3.63	3.19	2.58	2.53
%OV	1.52	2.32	0.8	4.08	1.92

จากผลการทดลอง ในรูปที่ 6.50 และ ตามตารางที่ 6.35 จะเห็นได้ว่า ค่า สเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้น ให้ผลการตอบสนองของความเร็ว ช้า มาก คือค่า set point มีค่าเท่ากับ 4.18 sec. แต่เมื่อรอบการทำงานต่อไป ค่าสเกลแฟคเตอร์ จะเริ่มปรับ ขึ้น ทำให้ค่าสมรรถนะเปลี่ยนไป จนกระทั่งในรอบที่ 5 ค่า RT. จะมีค่าใกล้เคียงกับ ค่า RT. ที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

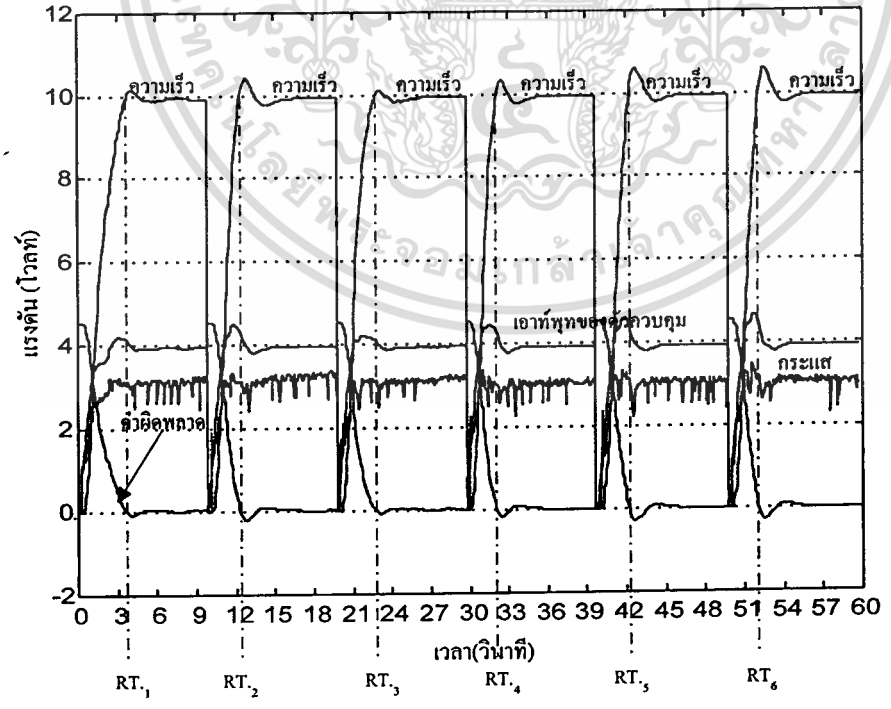
การทดลองที่ 6.2 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ให้วนรอบการทำงาน 6 รอบ

กำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่ต้องการไว้ตามตารางที่ 6.36

ตารางที่ 6.36 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
ค่าสเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้น	0.25	
RT.	2.5	sec.
%OV	6	%

รูปที่ 6.52 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะเมื่อมีการปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.37 แสดงผลของการปรับสเกลแฟคเตอร์

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$
RT. (sec.)	3.68	2.53	2.97	2.31	2.58	2.47
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$
%OV	1.44	4.32	1.2	3.44	6.08	6

ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 6.50 และในตารางที่ 6.29 ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันในค่าเริ่มต้น แม้ว่าค่าสเกลแฟคเตอร์เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากัน แต่การตอบสนองของความเร็วในรอบแรกจะมีค่าต่างกันเล็กน้อย และการแกว่งของการปรับค่าเกิดขึ้น ระหว่างรอบที่ 2 , 3 , และ 4 แต่ในรอบที่ 5 และ 6 ค่าสมรรถนะ จะเข้าใกล้ค่าสมรรถนะที่ออกแบบไว้

การทดลอง 6.3 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ให้วนรอบการทำงาน 7 รอบ

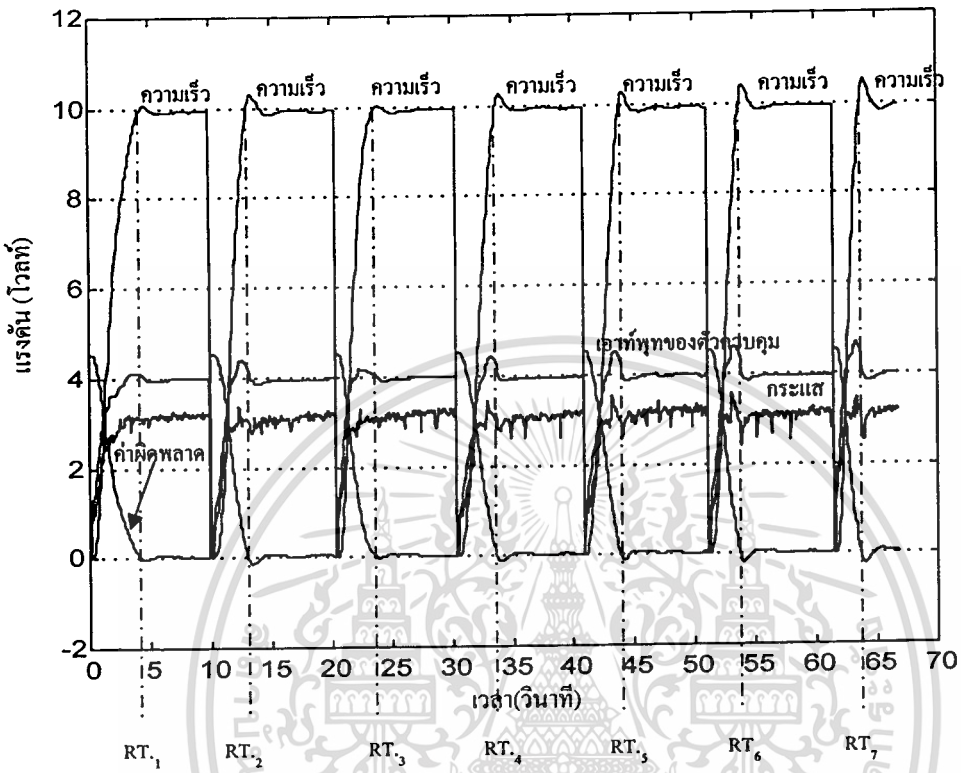
จากผลการทดลองที่ 6.2 พบว่า การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ มีการแกว่งของค่าสมรรถนะในแต่ละรอบ จึงได้ทดลองเพิ่มระดับความแตกต่างของค่าสเกลแฟคเตอร์ เพิ่มจำนวนรอบ และลดค่า RT. . เพื่อจะดูแนวโน้มของการปรับสเกลแฟคเตอร์ และความแตกต่างของสมรรถนะในแต่ละรอบ

ตารางที่ 6.38 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
ค่าสเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้น	0.16	
RT.	2	sec.
%OV	6	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.53 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะเมื่อมีการปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อวนรอบการทำงาน 5 รอบ



ตารางที่ 6.39 แสดงผลของการปรับสเกลแฟคเตอร์

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$	$RT._7$
RT. (sec.)	4.29	3.02	3.35	3.19	3.02	2.64	2.03
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$	$\%OV._7$
%OV	0.8	3.04	0.48	2.56	2.8	4.16	5.04

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.39 พบว่า เมื่อเรากำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์เริ่มต้นมีค่าต่ำ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า RT. เริ่มต้นจะช้ามาก และในรอบต่อไป ตัวควบคุมจะปรับค่าสเกลให้มากขึ้นที่ละน้อย ทำให้ค่า RT. ในช่วงต่อมามีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในรอบที่ 7 ค่า RT. จะเท่ากับ ค่า RT. ที่กำหนดไว้ และค่า %OV จะอยู่ในช่วงที่กำหนด

สรุปผลการทดลองที่ 6.1 - 6.3 เป็นการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอาท์พุทของตัวควบคุมกระแส โดยกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์เริ่มต้นไว้ และตัวควบคุมทำงานเป็นรอบ ตัวควบคุมจะปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ใหม่เพื่อให้ได้ ค่าสมรรถนะของการตอบสนองของความเร็วรอบตามค่าสมรรถนะที่กำหนดไว้ จากผลการทดลอง ตัวควบคุมสามารถปรับค่าสมรรถนะได้ โดยมีรอบการทำงานประมาณ 5 -7 รอบ

การทดลองที่ 7 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าดัชนีความถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวปรับปรุงสมรรถนะ

จากการทดลองที่ 2 เราจะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะสามารถทำให้ค่าสมรรถนะดีขึ้น แม้ว่าในระดับที่มีค่าสเกลแฟคเตอร์ต่ำ ๆ ซึ่งความเร็วในการทำงานของตัวควบคุมจะสูงก็ตาม ตัวปรับปรุงสมรรถนะมีค่าตัวแปรตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ คือค่า ดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น (p) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า p สำหรับการควบคุมมอเตอร์ มีค่าที่สามารถใช้ได้ จะอยู่ในช่วง 0.95 - 1.2 ซึ่งคุณลักษณะของการปรับค่า p อาจจะพิจารณาได้จากรูปที่ 5.10 ของบทที่ 5 ดังนั้นในการปรับค่าด้วยตัวเอง เราอาจจะใช้วิธีการปรับค่า p เช่นเดียวกันกับปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ในกรณีที่ไม่ทราบค่า พารามิเตอร์ของมอเตอร์ ที่จะควบคุมเราจะกำหนดค่า p เริ่มต้นไว้ และให้ตัวควบคุมทำงานแบบวนลูปเช่นการทดลองที่ 5 และปรับค่าที ละลูป จนได้ค่าสมรรถนะตามต้องการ การทดลองต่อไปนี้จะเป็นการปรับค่าสมรรถนะของการควบคุมโดยปรับค่า p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

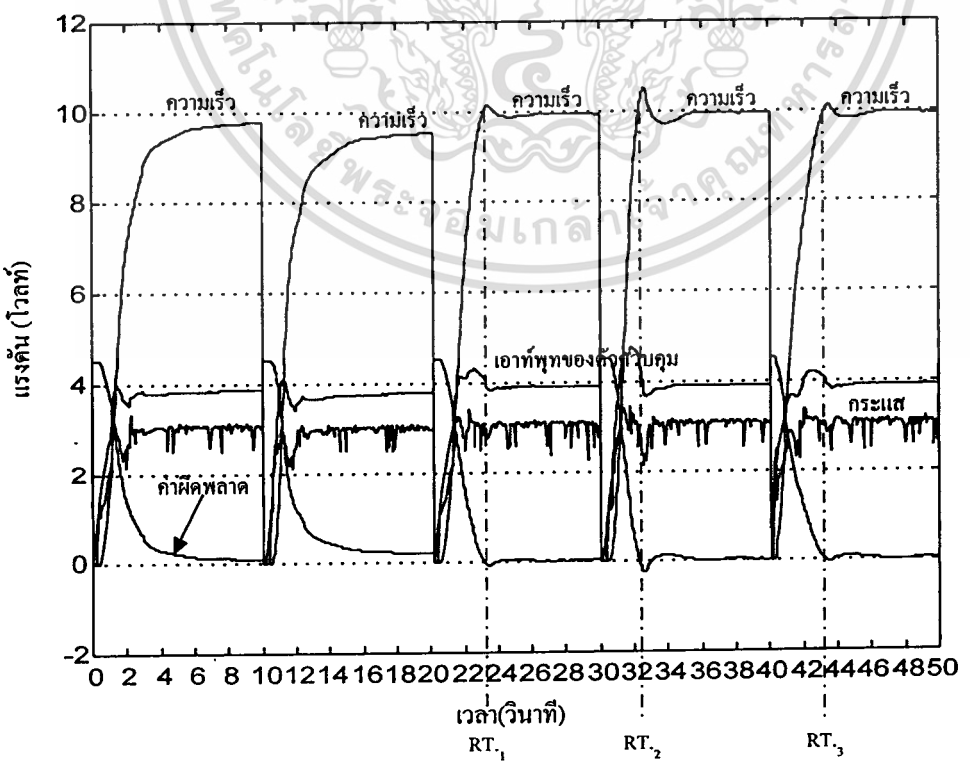
การทดลองที่ 7.1 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยให้วนรอบการทำงาน 5 รอบ

ในการทดลองนี้จะกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ เท่ากับการทดลองที่ 2 ยกเว้นค่า p ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการปรับ การกำหนดค่า p จะกำหนดตามตารางที่ 6.40

ตารางที่ 6.40 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
p	0.9	
RT.	2 .5	sec.
%OV	6	%

รูปที่ 6.54 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะ โดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 5 รอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ 7.1 ในรอบที่ 1 และ รอบที่ 2 ค่าความเร็วจะไม่ถึงค่า set point เนื่องมาจาก ค่า p เริ่มต้นที่กำหนด มีค่าน้อยเกินไป แต่ถึงอย่างไรในรอบต่อมา ตัวควบคุมฟัซซี่จะปรับค่า p ให้มากขึ้น และจะเข้าใกล้ค่าที่กำหนดในรอบที่ 5 ดังผลในตารางที่ 6.41

ตารางที่ 6.41 แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$
RT. (sec.)	3.68	2.53	2.97	2.31	2.58	2.47
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$
%OV	1.44	4.32	1.2	3.44	6.08	6

การทดลองที่ 7.2 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า p ด้วยตัวเอง
โดยให้วนรอบการทำงาน 6 รอบ

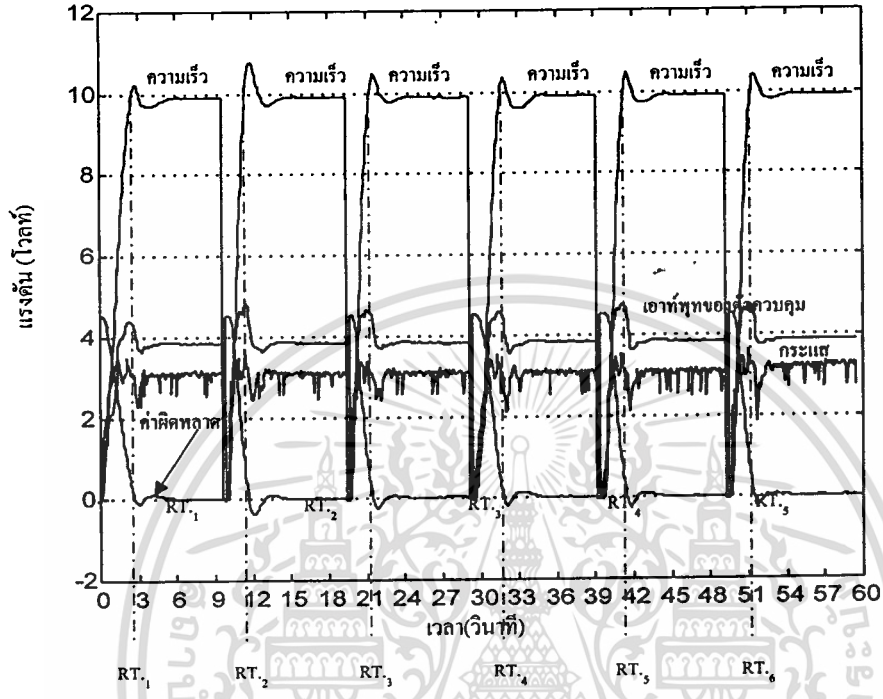
การทดลองนี้ ทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 7.1 แต่เพิ่มจำนวนลูปและกำหนดค่า p เริ่มต้นให้เร็วกว่าเดิม ดังแสดงในตารางที่ 6.42

ตารางที่ 6.42 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
p	1	
RT.	2	sec.
%OV	6	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.55 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะ โดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ



ตารางที่ 6. 43 แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$
RT. (sec.)	2.69	1.7	1.92	2.47	2.14	2.03
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$
%OV	2.7	8.2	5	4.2	5.3	4.5

ผลการทดลองที่ 7.2 ตามรูปที่ 6.54 เป็นการทดลองลดระดับค่าเริ่มต้นให้มีค่าน้อยกว่าเดิม คือ กำหนดค่า RT. เริ่มต้น ให้เท่ากับ 2 sec. ผลการทดลองจะพบว่า ตัวควบคุมฟัซซี่สามารถปรับค่า p จนทำให้ค่า RT. เข้าใกล้ ค่าอ้างอิง ในรอบที่ 5 เมื่อถึงรอบที่ 6 ค่า RT. จะเท่ากับ ค่า RT. ที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7.3 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า p ด้วยตัวเอง
โดยให้วนรอบการทำงาน 5 รอบ

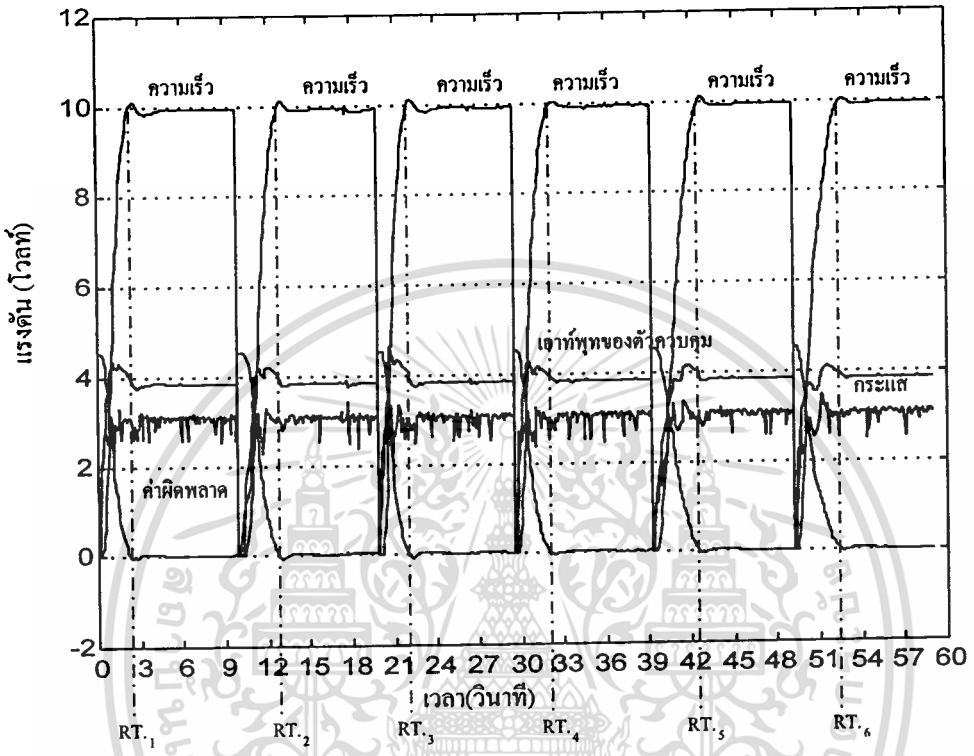
การทดลองนี้ ทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 7.1 แต่เพิ่มจำนวนลูปและกำหนดค่า p เริ่มต้นมากกว่า เดิม และทดลองการปรับค่าจาก ค่า RT. จากน้อยไปหา RT. ที่มาก หรือปรับค่าการตอบสนองของความเร็วให้น้อยลง ดังแสดงข้อมูลเริ่มต้น ในตารางที่ 6.42

ตารางที่ 6.44 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
p	1	
RT.	3	sec.
%OV	6	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.56 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะโดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ



ตารางที่ 6. 45 แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$
RT. (sec.)	2.25	2.86	2.14	2.64	3.24	3.2
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$
%OV	1.04	1.2	1.04	0.4	0.96	1.12

จะเห็นได้จากผลการทดลองที่ 7.3 ค่าสมรรถนะของความเร็วจะปรับค่าด้วยตัวเอง เมื่อต้องการให้ค่า RT. ช้ากว่าค่าที่ กำหนดเริ่มต้น ตัวควบคุมฟัซซี่สามารถปรับได้ ประมาณ 6 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

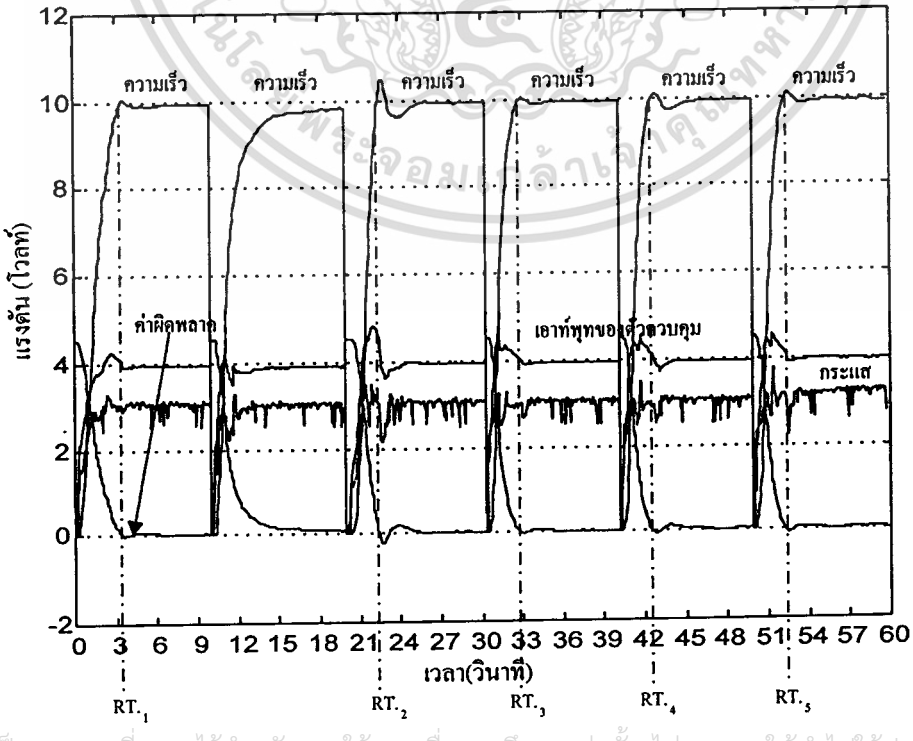
การทดลองที่ 7.4 การทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่า p ด้วยตัวเอง
โดยให้วนรอบการทำงาน 6 รอบ

การทดลองนี้ ทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 7.1 แต่เพิ่มจำนวนลูปและกำหนดค่า p เริ่มต้นให้เร็วกว่าเดิม ดังแสดงในตารางที่ 6.42

ตารางที่ 6.46 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าสมรรถนะที่กำหนด

ค่าอ้างอิง	จำนวน	หน่วย
p	1	
RT.	2 .5	sec.
%OV	6	%

รูปที่ 6.57 แสดงผลของการตอบสนองของความเร็วและค่าสมรรถนะ โดยการปรับค่า p ด้วยตัวเอง โดยวนรอบการทำงาน 6 รอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6. 47 แสดงค่าสมรรถนะของการปรับค่า p ด้วยตัวเอง

ค่าสมรรถนะ	$RT._1$	$RT._2$	$RT._3$	$RT._4$	$RT._5$	$RT._6$
RT. (sec.)	3.41	8.08	2.42	2.58	2.42	2.45
	$\%OV._1$	$\%OV._2$	$\%OV._3$	$\%OV._4$	$\%OV._5$	$\%OV._6$
%OV	0.56	0	4.88	0.56	1.28	1.12

การทดลองที่ 8 การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุม PID.

การทดลองนี้ จะเป็นการสร้างแบบจำลอง ของตัวควบคุม PID. และแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยโปรแกรม simulink การสร้างแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะทดสอบหาค่า พารามิเตอร์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่เป็นตัวเดียวกันกับที่ทดลองกับตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง (ตามผนวก ข.) และสร้างตัวควบคุม PID. โดยใช้วิธีของ Ziegler -Nichols วิธี Reaction curve [24] เพื่อออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID. ดังสมการที่ 6.1 และดังโครงสร้างของตัวควบคุมดังรูปที่ 6.58 ได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$G(s) = K_P + \frac{K_i}{s} + K_d s \qquad (6.1)$$

กำหนดให้

K_P = proportional gain

Ki = integral gain

Kd = derivative gain

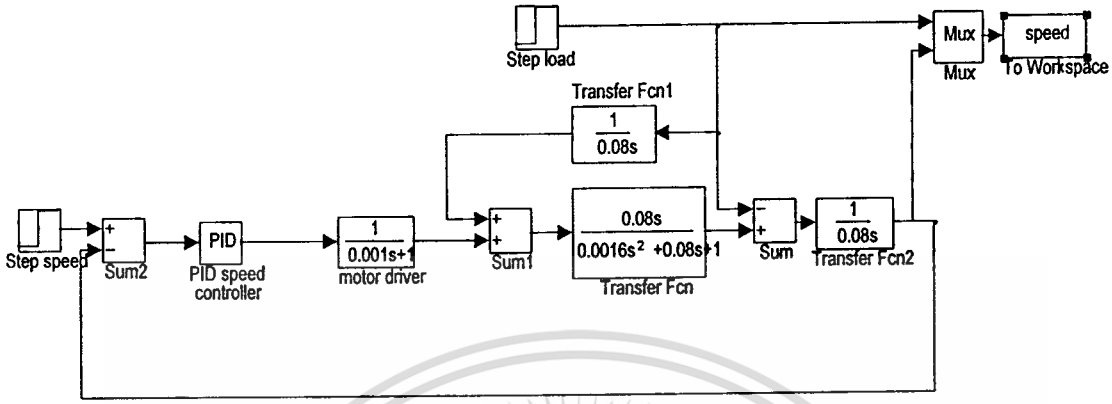
$K_p = 5$

$K_i = 8$

$K_d = 0{,}125$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

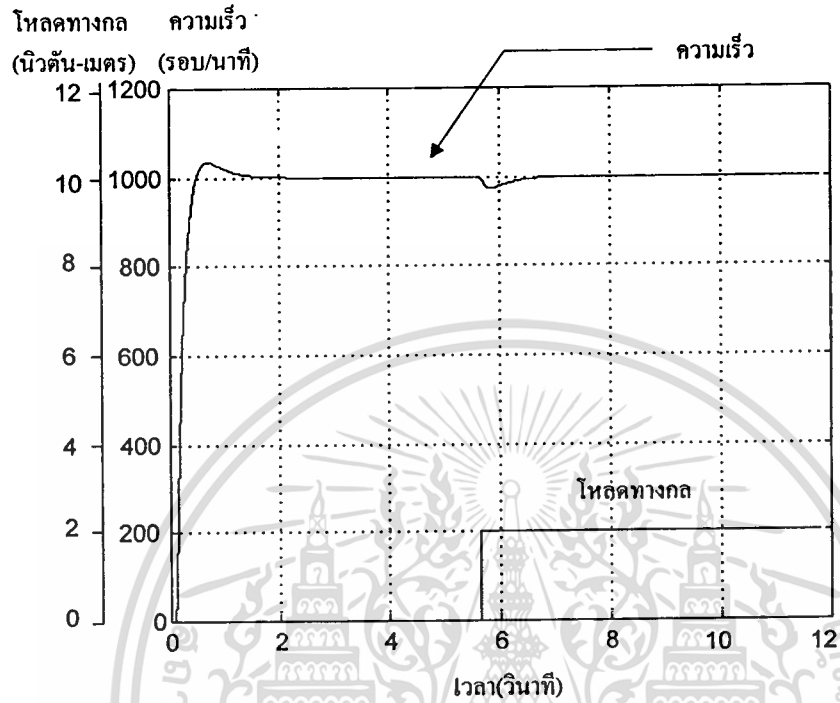
รูปที่ 6.58 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบ PID โดยสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม simulink



จากรูปที่ 6.58 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ PID. สร้างจาก โปรแกรม simulink ในรูปจะเป็นตัวควบคุมแบบลูปเดียว ป้อนค่าความเร็วอ้างอิง แบบ step function ขนาด 1000 r.p.m. และ โหลดทางกล 2 Nm. ค่าพารามิเตอร์ ของมอเตอร์ จะหาได้จากภาคผนวก ข. การกำหนดค่า พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID. และได้ผลการตอบสนองในรูปที่ 6.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.59 รูปแสดงผลการตอบสนองของสัญญาณความเร็ว เมื่อเปลี่ยนระดับความเร็วและ เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง จากแบบจำลองจากโปรแกรม simulink



สรุปผลการทดลองในบทที่ 6 นี้ การทดลองมีทั้งหมด 7 หัวข้อ จะเห็นได้ว่าผลการค่าสเกลแฟคเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะมีผลต่อค่าสมรรถนะของการตอบสนอง และการใช้ตัวปรับค่าสมรรถนะ โดยใช้ดัชนีการถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น มีผลทำให้ค่าสมรรถนะดีขึ้นแม้ว่าค่าสเกลแฟคเตอร์จะถูกกำหนดให้ตัวควบคุมมีสเกลแฟคเตอร์ต่ำ หรือมีการตอบสนองที่เร็วก็ตาม การใช้ตัวปรับค่าสมรรถนะนี้ เหมาะสำหรับใช้กับตัวควบคุม PI. ไม่ว่า โหลดหรือระบบที่ควบคุมจะเป็นแบบใดก็ตาม การทดลองควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองและการทดลองปรับค่าดัชนีการถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นด้วยตัวเอง สามารถเรียนรู้ระบบหรือปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าสมรรถนะตามที่ออกแบบไว้ แต่จากการพิจารณาทั้งสองวิธี การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ ค่อนข้างจะได้ผลที่ดีกว่า ในรอบประมาณ 5 รอบ แต่ถึงอย่างไร ค่าสมรรถนะที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปประยุกต์ใช้กับงานอะไร ต้องการความรวดเร็วและเที่ยงตรงขนาดใด ถ้าเป็นงาน ที่ไม่ต้องการเที่ยงตรงสูง หรือ ไม่ได้ควบคุมตำแหน่งของมุมการหมุน เช่น ระบบเซอร์โว แล้ว ค่า สมรรถนะที่ได้ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยสร้างโปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี่บนไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมผ่าน A/D Card ขนาด 12 บิท เพื่อควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กแยกส่วน โครงสร้างของตัวควบคุมเป็นแบบเรียงกัน คือ มีทั้งลูปควบคุมความเร็วและลูปควบคุมกระแส โดยจุดประสงค์หลักจะรักษาระดับความเร็วและแรงบิดให้คงที่ โดยลูปความเร็วจะนำผลของค่าผิดพลาดจากค่าความเร็วอ้างอิงและค่าที่วัดได้ไปควบคุม ลูปกระแส ลูปกระแส จะเป็นตัวควบคุมระดับการตอบสนองของกระแสให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการ และยังเป็นตัวเร่งการสร้างแรงบิดของมอเตอร์และยังสามารถลดการแกว่งของกระแส เมื่อมีการรบกวนจากโหลดทางกลจากภายนอก การใช้ตัวควบคุมฟัซซี่นี้จะช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการทางคณิตศาสตร์ของตัวควบคุมแบบดั่งเดิม และยังนำฐานความรู้และประสบการณ์มาเป็นแนวทางในการสร้างตัวควบคุมฟัซซี่

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองสามารถเรียนรู้และปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์มาก่อน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเองกับตัวควบคุมแบบ PID. จะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมแบบ PID. จำเป็นจะต้องหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก่อนและทำการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม การจะใช้ตัวควบคุม PID. กับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวอื่น ๆ ก็จะต้องหาค่า พารามิเตอร์ของมอเตอร์ตัวนั้น แต่ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง เพียงให้ตัวควบคุมทำงานแบบวนรอบ และปรับจนได้ค่าสมรรถนะโดยประมาณหรือตามค่าที่ได้ออกแบบไว้ และเก็บค่านั้นเพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์ต่อไป ในด้านของค่าสมรรถนะระหว่าง สองตัวควบคุมนี้ จะมีผลใกล้เคียงกัน

ประโยชน์ของตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง จะช่วยในการเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อมิให้มีกระแสเริ่มเดินสูง แทนเทคนิคการเริ่มหมุนแบบปกติ และยังรักษาระดับความเร็วให้คงที่ตามที่ต้องการ แม้ว่าจะมีการรบกวนหรือรับโหลดทางกลจากภายนอก นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อใช้กับมอเตอร์ที่มีค่าคาบเวลาคงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ ทำการทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยเสนอปรับแต่งค่าสเกลแฟคเตอร์ด้วยมือ การสร้างตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะโดยใช้ดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ด้วยตัวเองและการปรับค่าดัชนีถ่วงน้ำหนักไม่เป็นเชิงเส้นด้วยตัวเอง จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า การปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ด้วยตัวเองสามารถที่จะให้ตัวควบคุมเรียนรู้ และประเมินเพื่อหาค่าสเกลแฟคเตอร์ที่เหมาะสมได้ และการปรับค่าดัชนีถ่วงน้ำหนักก็สามารถใช้ในการปรับค่าได้เช่นเดียวกัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้พบว่า กระบวนการในการสร้างตัวควบคุมและการปรับแต่งจะเกิดความยากและความล้าช้า ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตัวควบคุมแบบเรียงกันดังในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กันทั้งสองลูป นอกจากนี้ ปัญหาในการใช้ตัวขับเคลื่อนที่ใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์กำลัง จะเป็นตัวที่ทำให้ระบบไม่เป็นเชิงเส้น มีผลต่อการกำหนดความสัมพันธ์ต่าง ๆ การออกแบบฟังก์ชันต่าง ๆ ของฟัซซี่ในเริ่มต้น จะเป็นการออกแบบโดยประมาณ แต่ผลที่เกิดขึ้นเราจะหาค่าสมรรถนะที่ดีได้จะต้องออกแบบฟังก์ชัน ปรับค่าสเกลและกฎต่าง ๆ ให้มีความสมบูรณ์จริง จึงจะได้ค่าสมรรถนะที่ ดี ซึ่งค่อนข้างจะยุ่งยาก ดังนั้นการใช้ตัวปรับสมรรถนะสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดี ดังผลการทดลองที่ผ่านมา นอกจากนี้ การใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์หรือการปรับค่าดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น สามารถที่จะประมาณหาค่า พารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ง่าย ซึ่งจะมีประโยชน์กว่าการใช้ตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ แต่ข้อเสียของการปรับค่าด้วยตัวเองของระบบที่มีพลวัตสูง ๆ และมีค่าคาบเวลาคงที่ ต่ำ ๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ไม่สามารถจะปรับค่าในรอบเดียวกันหรือปรับชั่วขณะ เหมือนระบบความร้อน หรือระบบที่มีคาบเวลาสูง ๆ

อย่างไรก็ดี ผู้เขียนขอเสนอแนะนำสำหรับการพัฒนาการสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ต่อไปว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง มีด้วยกันหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการปรับกฎหรือปรับ สเกลแฟคเตอร์ แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมขึ้นกับระบบที่จะควบคุมว่า มีความซับซ้อนทางขบวนการมากน้อยเพียงใด และความไม่เป็นเชิงเส้นมากเพียงใด การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ควรจะมีฐานความรู้ที่ดี หรือการสร้างอาจจะต้องใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยประมาณ เป็นตัวอ้างอิงจะทำให้การปรับค่ารวดเร็วและแน่นอนขึ้น แต่ต้องการใช้แบบจำลองไม่ควรมีความซับซ้อนมากมิฉะนั้น จะใช้เวลาในการคำนวณมากเกินไป และตัวควบคุมฟัซซี่นี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หรืออาจใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ประกอบร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ในการประมาณหรือปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ให้ตัวควบคุมอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany,1985.

[2] S.B. Dewan, G.R. Slemon, A. Straughen, Power Semiconductor Drives, John Wikey & Sons, 1987.

[3] Gordon R. SlemonUniversity of Toronto, Electric Machines and Drives, Electronic Machines and Drives, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.

[4] A.E.Fitzgerald. Charles Kingsley, Stephen D.Umans, Electrical Machinery, Mcgraw- Hill, 1990.

[5] George J. Klir, Ute St. Clair, Bo Yuan, Fuzzy Set Theory Foundations and Applications, Prentice Hall PTR 1997.

[6] George J. Kirl, Bo Yuan, Fuzzy Sets and Fuzzy logic l Theory and Application, Prentice Hall PTR 1995.

[7] Dimiter Driankov, Hans Hellindoom, and Micliael Reimframk, An introduction to Fuzzy Control, Springer-Verlag Berlin,U.S.A,1993.

[8] Jun Yan, Michael Ryan, and James Power, Using Fuzzy Logic, Prentice Hall, International (UK) Limited, 1994.

[9] Mohammad Jamshidi, Nader Vadiee, Timothy J. Ross, Fuzzy Logic and Control, PTR Prentice Hall Inc.,1993.

[10] Liliane Peters, Shuwei Guo, and Raul Camposano, A novel analog controller for intelligent sensors, IFSA, Speccial Issue on Modern Fuzzy Control, vol. 70, No.2-3, March 20, 1995.

[11] Li - Xin Wang, A Course in Fuzzy and Control, Prentice - Hall PTR, 1997.

[12] LI - Xin Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control, Prentice - Hall PTR,1994.

[13] Daugherity,W.C. et al., Performance Evaluation of Self-tuning Fuzzy Controller, Proceedings IEEE International Conference Fuzzy systems, San Diego, pp.389-397, March 8-12, 1992,

[14] Toshiro Terano, Kiyoji Asai, Michio Sugeno, Applied Fuzzy Systems, AP. Professional, 1923.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Sushmita Mitra, Sankau K. Pul, Fuzzy Self - Organization, Inferencing, and Rule Generation, IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol. 26, pp. 608-620, No. 5, September, 1996.

[16] Gholamreza Langazi, Masayoshi Tomizuka, Self Organizing Fuzzy linguistic Control with Application to Arc Welding, IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, ROS 90.

[17] Tang - Kai Yin, C. S. George Lee, Fuzzy Model - Reference Adaptive Control, IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol. 25,No. 12, pp. 1606 - 1615, September, 1996.

[18] Muhammad Harunur Rashid, Power Electronics, Prentice Hall, 1988.

[19] Mohan, Undeland, Robbins, Power Electronics, John Wiley & Sons, 1989.

[20] Motorola, Linear/Interface Ics Device Data, Vol.1, Motorola Inc.,1993.

[21] Internaional Rectifier, High Voltage Mos Gate Driver, Data Sheet No. PD.-6.011B.

[22] George C. Chryssis, High - Frequency Switching Power supplies, McGraw - Hill, 1989.

[23] สมบูรณ์ มาลานนท์, สมคิด วิริยประสิทธิ์, แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

[24] Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Prentice-Hall International Editions, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แสดงถึงรายละเอียดของ A/D card ขนาด 12 บิท ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

Model number

Function		PA-ST12	PA-ST12-H
A/D	Resolution	12 Bits	12 Bits
	Channels	16 differential or 32 single-ended	16 differential or 32 single-ended
	Speed	20 us	10 us
D/A	Resolution	12 Bits	12 Bits
	Channels	2	2
	Speed	10 us	10 us
D I/O	Digital I/P	16 Bits	16 Bits
	Digital O/P	16 Bits	16 Bits

Standard package

Quantity	Products
1	PA-ST12 or PA-ST12-H card
3	Testing wire for connecting D-type connector
1	Testing and sample program diskette
1	This instruction manual

System requirements :

IBM PC or compatibles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Option products

The following is a list of the optional products which are available from acqutek.

Screw terminal board and chassis

Model No	Function
ST-DM37	Screw terminal board for A/D D/A with cable
IC-XCXD	Chassis for ST-DM37 and XCI/XDI expansion board

Digital I/O expansion (XDI) boards

Model No	Type	Channel	Function
XI-PI08	Input	8	3-32V Photo-coupled I/P
XI-IM04-28	Input	4	12-32V AC/DC input module
XI-IM04-140	Input	4	90-140V AC/DC input module
XI-IM04-280	Input	4	180-280V AC/DC input module
XO-RR08	Output	8	10VA reed relay
XO-SRD4	Output	4	3A 5-60V DC S.S.R.
XO-SRA4	Output	4	3A 24V-280V AC S.S.R.
ST-XD02		16	Screw terminal board for 2 XDI
IC-XCXD	Chassis		Chassis for XCI/XDI I/F card

These input and output modules offer several options for digital I/O applications. All come with ribbon cables and connections that enable direct and immediate connection to the digital I/O.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Analog to digital (A/D)

Resolution	12 Bits
Input channel	32 channels (Single-ended)
	16 channels (Differential)
Input voltage range	-5V to 5V , -10V to +10V
	0V to +5V , 0V to +10V
Accuracy	1 Bit
Conversion Time	20 us (PA-ST12)
	10 us(PA-ST12-H)
Overvoltage	35 V.
Gain controller	1, 2, 5, 10, or user define
	By H/W jumper setting or S/W programming
Conversion method	S/W trig
	External clock trig
	Internal 8253/8254 timer trig
	Internal 8254 timer trig (paced)
Connector	37 pins D-type male connector
	(shared with D/A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital to analog (D/A)

Resolution	12 Bits
Channel	2
Output voltage range	-5V to +5V, -10V to +10V
	0V to + 5V, 0V to +10V
Accuracy	1 Bit
Conversion time	10 us
Connector	37 pins D-type male connector
	(shared with A/D)

Digital I/O

Number of digital input	16Bits
Input type	74LS244
Input high/low voltage	2.0V/0.8V
Number of digital output	16Bits
Output type	74LS273
Output high/low voltage	2.4V/0.5V
Digital I/O Connector	4 XDI connectors
	20 pin dual-in-line male box header

Programmable timer

Controller	8253 or 8254
Counters	3 16 Bit down counter
	2 for A/D timer conversion
	1 for user's application
Clock source	4 MHz
Input/output type	TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interface and environmental characters

Compatible bus	IBM PC and compatibles
Data path	8 Bits
Interface type	12 Bit I/O mapped
I/O location occupied	16
Port address range	0100H to 0FF0H
Interrupt	IRQ2 ,3 ,4 ,5 ,7 ,10 ,11 ,12 ,14, 15
Interrupt source	A/D end of conversion (EOC)
Power consumption	1.00A/ +5V
Operating temperature	5 °C to 50°C
Storage temperature	-25°C to +85°C
Operating and storage humidity	0 to 90% non-condensing
Weight	280 g
Dimension	33.6 ×12.6×1.8 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การทดลองหาค่าคงที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

การควบคุมเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กแยก ให้มีความเร็วรอบคงที่ที่สภาวะของภาระทางกลต่างๆด้วยวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถูกสร้างให้เป็นวงจรปิดวงรอบ (close loop) เพื่อนำผลที่ตัวเครื่องจักรไฟฟ้าแสดงออก ให้ย้อนกลับมาควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าใหม่โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลทางด้านออกของเครื่องจักรไฟฟ้าตามต้องการได้ วงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถแปรเปลี่ยนค่าทางไฟฟ้าตามความต้องการใช้ในการควบคุมเครื่องจักรไฟฟ้านั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบค่าคงที่ต่างๆของเครื่องจักรไฟฟ้าที่จะถูกควบคุม อย่างเครื่องจักรไฟฟ้าชนิดขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กแบบแยกหรือแบบชั้นท์ดังวงจรเทียบเคียงรูปที่ 1 และค่าคงที่ประกอบด้วย

1. Time constant ของวงจรอาร์เมเจอร์ (T_a)

$$T_a \cdot \frac{d\left(\frac{i_a}{i_{a0}}\right)}{dt} = \frac{u_a}{u_{a0}} - \frac{i_a}{i_{a0}} - \frac{\omega}{\omega_0}\frac{\phi_e}{\phi_{e0}}$$

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} \qquad (1)$$

2. Time constant ของวงจรขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

$$T_{eN} \cdot \frac{d\left(\frac{\phi_e}{\phi_{eN}}\right)}{dt} = \frac{u_e}{u_{eN}} - \frac{i_e}{i_{eN}} = \frac{u_e}{u_{eN}} - f_e\left(\frac{\phi_e}{\phi_{eN}}\right)$$

$$T_{eN} = \frac{Le(N)}{R_e} \qquad (2)$$

2. Mechanical Time Constant ของการเคลื่อนที่ (T_{mn})

$$T_{mn} \frac{d\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}{dt} = \frac{i_a}{i_{a0}}\frac{\phi_e}{\phi_{e0}} - \frac{m_L}{m_0}$$

$$T_{mn} = \frac{J\omega_0}{m_0} \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

u_{aN} เป็นพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

u_{eN} เป็นพิกัดแรงดันไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

I_{aN} เป็นพิกัดกระแสไฟฟ้าของอาร์เมเจอร์

I_{eN} เป็นพิกัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

$\frac{i_e}{I_{eN}}$ เป็นสัดส่วนกระแสไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ω_0 เป็นความเร็วเชิงมุมของเครื่องจักรไฟฟ้าปราศจากภาระที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าของอาร์เมเจอร์และพิกัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

I_{ak} กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ขณะเครื่องจักรไฟฟ้าหยุดนิ่ง

T_{ak} เป็นแรงบิดเริ่มหมุนของเครื่องจักรไฟฟ้า

u_a เป็นแรงดันไฟฟ้าแปรเปลี่ยนค่าที่อาร์เมเจอร์

u_e เป็นแรงดันไฟฟ้าแปรเปลี่ยนค่าที่ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

ค่า Time constant ของเครื่องจักรไฟฟ้าในสมการ (1), (2) และ (3) จะสามารถหาค่าได้ด้วยการทดลองหาค่าทางไฟฟ้าและทางกล

1. การทดลองหาค่าความต้านทานของ อาร์เมเจอร์ (R_a)

การหาค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์จะหาได้โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้วงจรอาร์เมเจอร์ และวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยไม่มีการกระตุ้นขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก โดยคิดค่าแรงดันตกคร่อมแปรงถ่าน เท่ากับ 2 volt การหาค่าความต้านทานหาได้จากสมการ

$$R_a = \frac{u_a - 2v}{I_a} \qquad (4)$$

จากสมการที่ 4 จะใช้ในการหาค่า R_a ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกที่ใช้ในการทดลอง ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังมีผลการวัดดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงการบันทึกข้อมูลที่ได้จาก การวัดค่าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

	ตำแหน่งแปรงถ่าน	u_a	R_a
	1	8.9	2.22
$I_a = 0.5\ I_{aN}$	2	9	2.25
	3	8.9	2.22
	1	12	2.15
$I_a = 0.75\ I_{aN}$	2	11.9	2.12
	3	12	2.15
	1	15	2.096
$I_a = I_{aN}$	2	15.5	2.17
	3	15.3	2.14
		R_t	2.16

กำหนดให้

R_T = ค่าความต้านทานรวมของการวัด

R_{av} = ค่าความต้านทานเฉลี่ย

$$Rav = \frac{R_T}{3} \qquad \Omega.$$

2. การทดลองหาค่าอินดัคแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

การหาค่าอินดัคแตนซ์ของอาร์เมเจอร์โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้วงจรอาร์เมเจอร์ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ การคำนวณหาค่าอินดัคแตนซ์ของขดลวดอาร์เมเจอร์ได้จากสมการ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$La = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{\left(\frac{u_a - 2}{I_a}\right)^2 - R_a^2} \qquad (5)$$

วิธีการทดลอง

ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้ ความถี่ 50 Hz. ต่อเข้ากับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 1 ตามค่าในตาราง 2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า และหาค่าเฉลี่ยของค่า L_a

ตารางที่ 2 แสดงค่าที่ได้จากการวัดUa และ Ia เพื่อคำนวณหาค่า L_a ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

	u_a	Z	L_a
$I_a = 0.2\ I_{aN}$	85	67	0.212
$I_a = 0.4\ I_{aN}$	155	61.7	0.196
$I_a = 0.6 I_{aN}$	180	47.8	0.152
		L_t	0.186

กำหนดให้

L_T = ค่าอินดัคแตนซ์รวม

$$L_{av} = \frac{L_T}{3} \qquad H.$$

คำนวณหาค่า T_a จากสมการที่ 1 ได้เท่ากับ 0.086 sec.

3. การทดลองหาโมเมนต์ออฟอินเนอร์เทีย (J)

การทดลองหาโมเมนต์ออฟอินเนอร์เทีย ของเครื่องจักรกลและเครื่องจักรไฟฟ้าที่นิยมกันมากที่สุดนั้นโดยการปล่อยให้เครื่องจักหมุนลดความเร็วรอบลงมาอย่างอิสระ ซึ่งวิธีการทดสอบนี้มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เที่ยงตรงเพียงพอกับความต้องการได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องรู้ถึงลักษณะโครงสร้างของเครื่องจักรเครื่องนั้นๆ

สมการการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรไฟฟ้าที่สภาวะคงที่ (steady state)

$$T_e - T_m = J\frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

โดยที่ : T_e เป็นแรงบิดจากตัวขับ (มอเตอร์)

T_m เป็นแรงบิดต้านทานจากภาระ

ω เป็นความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ เท่ากับ $2\pi n$

J เป็นโมเมนต์ออฟอินเนอร์เทียรวมของระบบ

ถ้าคูณสมการที่ (6) ด้วยความเร็วเชิงมุม ω ได้เป็นสมการแสดงความสมดุลย์ของกำลัง

$$P_e - P_m = J\omega.\frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

หรือสมการสมดุลย์ของกำลังทางไฟฟ้าได้เป็น :

$$u_a.I_a = I_a^2.R_a + K_f.\omega.I_f.I_a \quad (8)$$

ในการทดสอบเพื่อหาโมเมนต์ออฟอินเนอร์เทียของเครื่องจักรไฟฟ้านั้น เราจะให้เครื่องจักรไฟฟ้าหมุนที่สภาวะคงที่ และปราศจากภาระทางกลที่เพลา วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบ n คงที่ต่างๆ แทนลงในสมการที่ (8) ได้

$$K_f.\omega.I_f.I_a = u_aI_a - I_a^2.R_a \quad (9)$$

ซึ่ง $K_f.\omega.I_f.I_a$ เป็นกำลังทางกลที่เพลาของมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ $P_m(\omega)$

$$P_m(\omega) = u_aI_a - I_a^2.R_a \quad (10)$$

ถ้าขณะที่มอเตอร์หมุนตัวเปล่าอยู่ และถูกตัดตอนวงจรไฟฟ้าทันทีทันใด เพื่อให้มอเตอร์หมุนลดความเร็วรอบต่ำลงมาจนถึงศูนย์ ณ ที่สภาวะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์นี้จากสมการที่ (7) $P_e = 0$ และ

$$-P_m = J\omega.\frac{d\omega}{dt} \quad (11)$$

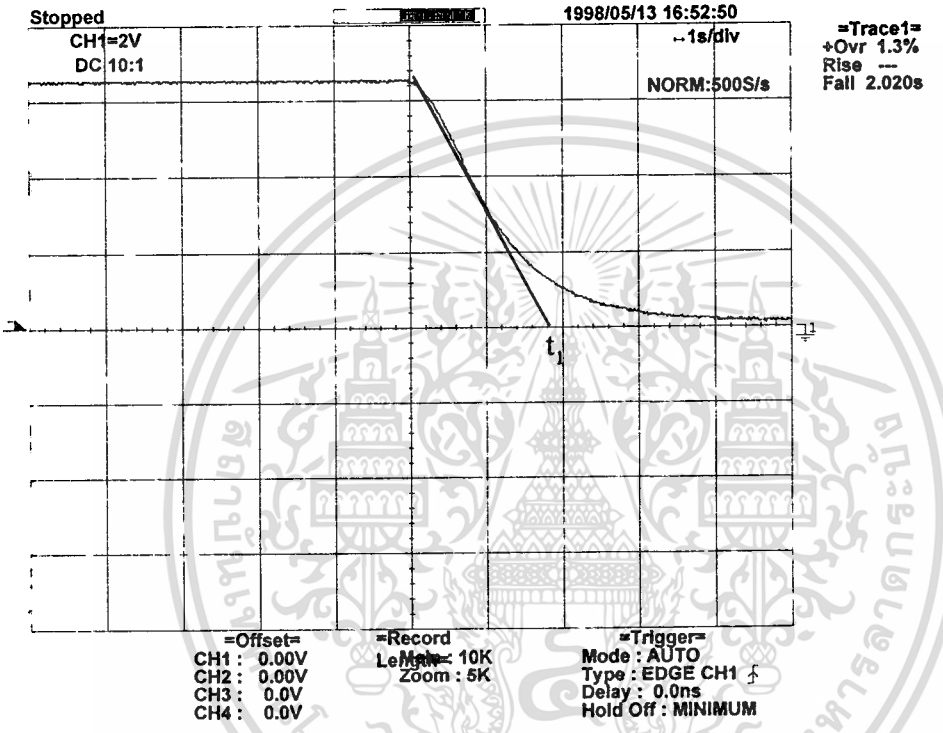
ถ้าแทน P_m ด้วยสมการที่ (10) จะได้

$$J = \frac{(u_aI_a - I_a^2Ra)}{\omega\ \frac{d\omega}{dt}} \quad (12)$$

การหาค่าคาบเวลาคงที่ทางกล(Mechanical time constant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองหาค่าโมเมนต์แรงเฉื่อย ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้วิธีให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วพิกัด และหยุดมอเตอร์ทันทีทันใด และปล่อยให้มอเตอร์ลดความเร็วลงอย่างอิสระ เรียกว่าวิธีการทดสอบ run down ในการทดลองนี้จะบันทึกจาก digital storage scope ดังรูป



จากการทดสอบ Run Down ได้ค่า t_1 = 2 sec.

เมื่อพิจารณาในขณะที่อาร์เมเจอร์หยุดนิ่ง (n = 0 r.p.m.)

ข้อมูลของมอเตอร์ : $U_{a0} = 220$ volt , $I_{a0} = 3.8$ A. $I_{aN} = 6.2$ A.

n = 2200 r.p.m., $t_2 = 2$ sec.

$$\therefore I_{as} = \frac{U_{a0}}{R_a}$$

$$= \frac{220}{2.16}$$

$$= 101.85 \quad A.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_m = P_{in} - I_{aN}^2 R_a$$

$$= [(220 \times 6.2) - (6.2)^2 (2.16)]$$

$$= 1280.47 \quad \text{w.}$$

$$T_{ak} = \frac{Pm}{2\pi\, n} \times 60$$

$$= \frac{1280.47}{2\pi \times 2200} \times 60$$

$$= 5.56 \quad \text{Nm.}$$

$$T_{as} = T_{ak} \frac{I_{as}}{I_{aN}}$$

$$= (5.56) \times \frac{101.85}{6..2}$$

$$= 91.33 \quad \text{Nm.}$$

$$T_m = \frac{(U_{a0} - I_{a0}^2 . R_a)}{2\pi n} \times \frac{60 \times t_1}{T_{ak}}$$

$$= 0.081 \quad \text{sec.}$$

จะได้ค่าคาบเวลาคงที่ของมอเตอร์ ดังนี้ $T_a = 0.02$ sec. $T_m = 0.081$ sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลสรุปผลการทดลองตัวควบคุมฟัซซี่แบบต่าง ๆ

ในส่วนนี้จะได้นำผลจากการทดลองในบทที่ 6 มาสรุปเพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในการปรับแต่งตัวควบคุมทุกแบบที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของการตอบสนองของความเร็ว โดยแบบผลการทดลอง ดังนี้

การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปกติ

การทดลองในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อ ปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ของตัวควบคุมความเร็วซึ่งอยู่ในลูปนอก ในส่วนของระดับหยาบและระดับละเอียด เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่าสมรรถนะของความเร็วมอเตอร์ ดังแสดงดังตาราง

สเกลแฟคเตอร์ระดับหยาบ		สเกลแฟคเตอร์ระดับละเอียด		RT.(sec.)	%OV
อินพุท	เอาท์พุท	อินพุท	เอาท์พุท		
1	1.5	0.75	0.4	2.2	5
1	1.5	0.75	0.6	2.36	5.04
1	1.5	0.75	0.8	2.64	6.48
1	0.8	0.75	0.4	2.09	10.61
1	0.8	0.75	0.3	1.7	13.04

การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับปรุงสมรรถนะ

การทดลองนี้เป็นการทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีตัวปรับปรุงค่าสมรรถนะ ซึ่งหลักการได้นำตัวปรับปรุงสมรรถนะเพิ่มขึ้นไปในตัวควบคุมฟัซซี่แบบปกติ เพื่อปรับปรุงค่าสมรรถนะให้ดีขึ้น การทดลองจะเป็นการดูผลของการเปลี่ยน ดัชนีถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้น (p) เป็นค่าต่าง ๆ เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่าสมรรถนะ ดังแสดงดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเกลแฟคเตอร์ระดับหยาบ		สเกลแฟคเตอร์ระดับละเอียด		p	RT.(sec.)	%OV
อินพุท	เอาท์พุท	อินพุท	เอาท์พุท			
1	0.8	0.75	0.4	0.9	0	0
1	0.8	0.75	0.4	0.95	4	0
1	0.8	0.75	0.4	0.97	1.85	2
1	0.8	0.75	0.4	1	1.76	2.08
1	0.8	0.75	0.4	1.2	1.76	9
1	0.8	0.75	0.4	1.3	1.8	5.2
1	0.8	0.75	0.4	1.5	1.7	11

การทดลองควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกด้วยตัวควบคุมฟัซซี่
โดยปรับหลายความเร็ว

การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองควบคุมมอเตอร์เพื่อดูผลการตอบสนองหลายความเร็ว โดยจะทำการทดลองที่ ความเร็ว 800 r.p.m ,1000 r.p.m., 1200 r.p.m., 1400 r.p.m. และ 1600 r.p.m. โดยใช้ค่าสเกลแฟคเตอร์ เท่ากัน การทดลองที่ 3.8 และ กำหนดค่า p = 0.97 และเปลี่ยนสเกลแฟคเตอร์ ระดับละเอียด ให้อยู่ในช่วงที่ตัวควบคุมทำงานเร็วที่สุ ด คือ 0.75 และ 0.3 ได้ผลการทดลองดังแสดงดังตาราง

ความเร็ว	สเกลแฟคเตอร์ระดับหยาบ		สเกลแฟคเตอร์ระดับละเอียด		p	RT.(sec.)	%OV
	อินพุท	เอาท์พุท	อินพุท	เอาท์พุท			
800	1	0.8	0.75	0.3	0.97	1.98	3.8
1000	1	0.8	0.75	0.3	0.97	1.85	2
1200	1	0.8	0.75	0.3	0.97	1.98	0.67
1400	1	0.8	0.75	0.3	0.97	2.09	0
1600	1	0.8	0.75	0.3	0.97	2.75	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง โดยกำหนดค่าสเกลแฟคเตอร์ ไว้ที่ค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้ตัวควบคุมตอบสนองช้า เพื่อป้องกันการตอบสนองเร็วเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายกับมอเตอร์หรือกระแสเริ่มเดินสูงเกินไป เพราะไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่จะควบคุม หลังจากนั้นจะให้ตัวควบคุมฟัซซี่ ทำงานแบบวนรอบและปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ จนได้ค่าสมรรถนะดังที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง

สเกลแฟคเตอร์ เริ่มต้น	RT. ที่ต้องการ	RT. เริ่มต้น	RT. สุดท้าย	%OV. เริ่มต้น	%OV. สุดท้าย	จำนวนรอบ
0.25	2.5	4.18	2.53	1.52	1.92	5
0.25	2.5	3.68	2.47	1.44	6	6
0.16	2	4.29	2.03	0.8	5.04	7

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าดัชนีความถ่วงน้ำหนักความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวปรับปรุงสมรรถนะ

เป็นการทดลองคล้ายกับการทดลองที่ผ่านมา แต่ใช้การปรับค่า p แทนการปรับค่าสเกลแฟคเตอร์ วิธีการจะคล้ายการทุกประการ โดยการกำหนดค่า p เริ่มต้น และกำหนดค่าสมรรถนะที่ต้องการ จากนั้นตัวควบคุมจะทำการปรับค่า p แบบวนรอบ ดังแสดงในตาราง.

p	RT. ที่ต้องการ	RT. เริ่มต้น	RT. สุดท้าย	%OV. เริ่มต้น	%OV. สุดท้าย	จำนวนรอบ
0.9	2.5	3.68	2.47	1.44	6	6
1	2	269	2.03	2.7	4.5	6
1	3	2.25	3.2	1.04	1.12	6
1	2.5	3.41	2.45	0.56	1.12	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย นิมิต บุญภิรมย์ เกิดเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2498 ที่ จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2529 เข้าศึกษาต่อระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536 มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับ นอกจากงานวิทยานิพนธ์ จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่

1. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ., นิมิต บุญภิรมย์, การวิเคราะห์ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้กฎของฟัซซี่ วารสารวิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2537, หน้า 92-102.
2. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ., นิมิต บุญภิรมย์, ตัวควบคุมฟัซซี่ชนิดปรับค่าด้วยตัวเอง วารสารวิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2539, หน้า 61-69.

ประสบการณ์ในการทำงาน เคยรับราชการทหาร ประจำ กรมช่างโยธาทหารอากาศ เมื่อปี พ.ศ. 2521 - 2531 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีปทุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้