



การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับด้วย

เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ สำหรับชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์

A Control of DC Motor Speed and AC Generator Voltage using

Fuzzy Logic for a Motor-Generator Set

วัชรพงศ์ ราชพงศ์

Watcharapong Ratchapong

Order Key	JA481
BIB Key	168 513

๐

เลขหมู่	TK2681 ๖๖2 2542 จ.2
เลขทะเบียน	
.....	๕ ๖๖.๒ 2542

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2542

ชื่อวิทยานิพนธ์ การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์
กระแสสลับด้วยเครื่องควบคุมแบบฟีดแบ็ค สำหรับชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์
ผู้เขียน นาย วัชรพงศ์ ราชพงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ มนัส เกื้อกูลกิจการ)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ มนัส เกื้อกูลกิจการ)

.....กรรมการ
(ดร. นิตยา นินทรกิจ)

.....กรรมการ
(ดร. นิตยา นินทรกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ไพบุลย์ นวลนิล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันท์พรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์ กระแสสลับด้วยเครื่องควบคุมแบบพีซี สำหรับชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์
ผู้เขียน	นาย วัชรพงศ์ ราชพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซึ่งลอจิก ระบบควบคุมทั้งหมดเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ซึ่งจะควบคุมมอเตอร์กระแสตรงขนาด 4.1 กิโลวัตต์ และเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับขนาด 4 กิโลวัตต์แอมแปร์ โดยจะควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับให้ได้ความเร็วเชิงโรตตเท่ากับ 1,500 รอบ/นาที เพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องควบคุมขนาดกระแสกระตุ้นของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมาเป็นขนาด 220 โวลต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าชุดนี้ให้มีเสถียรภาพการทำงานตามที่ต้องการ เช่น เมื่ออยู่ในสถานะไร้ภาระทางไฟฟ้าแล้วทำการเพิ่มภาระสูงสุดในพื้นที่ พบว่าระบบใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าความถี่และแรงดันอ้างอิงประมาณ 3 วินาที และเมื่ออยู่ในสถานะที่มีภาระสูงสุดแล้วทำการปลดภาระทั้งหมดในพื้นที่ พบว่าระบบใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าความถี่และแรงดันอ้างอิงประมาณ 3 วินาทีเช่นกัน ค่าความผิดพลาดของความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ในช่วง ± 0.5 เฮิรตซ์ และ ± 2.0 โวลต์ ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของซอฟต์แวร์ระบบควบคุมดังกล่าวนี้สามารถทำงานได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ เชื่อมโยงกับผู้ใช้ได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และมีลักษณะการควบคุมในเวลาจริง

Thesis Title	A Control of DC Motor Speed and AC Generator Voltage using Fuzzy Logic for a Motor-Generator Set
Author	Mr. Watcharapong Ratchapong
Major Program	Electrical Engineering
Academic Year	1999

Abstract

This thesis presents the use of Fuzzy Logic Control for Controlling an Electrical Power Generation System. The controller uses software that runs on a PC to control a 4.1 kW DC motor and a 4 kVA AC generator. It fixes the synchronous speed of the DC motor at 1500 rpm and simultaneously controls the field current excitation of the AC generator to retain the quality of power generated at 220 V and 50 Hz. In the experiment, the Fuzzy Logic Control successfully controls the system into desired performance in a stable manner. The response time to the reference voltage and frequency after a sudden increase in load (from no load to full load) is about 3 seconds. The response time to the reference voltage and frequency after a sudden decrease in load (from full load to no load) is also about 3 seconds. The error in frequency and voltage of the generated power are ± 0.5 Hz and ± 2.0 V respectively. The software is able to operated in multi-tasking operation, providing real-time control while at the same time allowing the user to change parameters and review results.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ มนัส เกื้อกูลกิจการ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งให้กำลังใจตลอดมา ประคองเหมือนบิดาของข้าพเจ้าเอง ตลอดจนกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์ ในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่สำคัญต่องานวิจัย ตลอดจนกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. นิตยา นินทรกิจ ที่ให้คำปรึกษาและกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ไพบูลย์ นวลนิล ที่กรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนกระทั่งบรรลุล่วงวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาประเภทผลการเรียนดีเด่น เพื่อเป็นทุนการศึกษา

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน โดยเฉพาะ ครู นิศย์ กองทอง ต่อการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่สำคัญ จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอโน้มระลึกถึงพระคุณ บิดา มารดา ที่ส่งเสริม ชี้แนะ เป็นกำลังใจและอุปถัมภ์ทางด้านการศึกษามาโดยตลอดจนประสบความสำเร็จ

วัชรพงศ์ ราชพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(11)
ตัวย่อและสัญลักษณ์.....	(15)
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร.....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
2 ทฤษฎีและหลักการควบคุมโดยใช้ฟuzzyลอจิก.....	6
2.1 แนวคิดพื้นฐานของฟuzzyลอจิก.....	6
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบฟuzzyลอจิก	7
3 เครื่องจักรกลไฟฟ้าและหลักการควบคุม.....	12
3.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	12
3.1.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
3.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
3.1.3 เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก.....	14
3.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยก.....	15
ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก	
3.2 เครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ.....	16
3.2.1 โครงสร้างการทำงานของเจนเนอเรเตอร์	16
3.2.2 หลักการทำงานของเจนเนอเรเตอร์.....	17
3.2.3 การควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์.....	18

3.3	ลักษณะการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า.....	19
3.4	ชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม.....	21
4	การออกแบบตัวควบคุมฟิซซี่ลอจิก.....	22
4.1	ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง โดยอาศัย.....	22
	ทฤษฎีฟิซซี่ลอจิก	
4.2	ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ.....	31
	โดยอาศัยทฤษฎีฟิซซี่ลอจิก	
5	ระบบควบคุมชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์.....	41
5.1	ส่วนการรับสัญญาณอินพุต	43
5.2	ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	44
5.3	ส่วนตัวควบคุมระบบแบบฟิซซี่ลอจิก	45
5.4	ส่วนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	51
5.5	ส่วนการส่งสัญญาณเอาต์พุต.....	53
5.5.1	ส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสง.....	55
5.5.2	ส่วนสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสง.....	57
6	ผลและการอภิปรายการทดลอง.....	64
6.1	การทดลองครั้งที่ 1.....	65
6.2	การทดลองครั้งที่ 2.....	69
6.3	การทดลองครั้งที่ 3.....	71
6.4	การทดลองครั้งที่ 4.....	73
6.5	การทดลองครั้งที่ 5.....	76
6.6	การทดลองครั้งที่ 6.....	78
6.7	การทดลองครั้งที่ 7.....	80
7	บทวิจารณ์และสรุป.....	83
	บรรณานุกรม.....	85
	ภาคผนวก	87
	ภาคผนวก ก คุณสมบัติและรายละเอียดของไอจีบีที.....	87

ภาคผนวก ข คุณสมบัติและรายละเอียดของตัวแยกทางแสง.....	93
ภาคผนวก ข1 พื้นฐานตัวแยกทางแสง.....	93
ภาคผนวก ข2 คุณสมบัติต่างๆ ที่น่าสนใจ.....	94
ภาคผนวก ค คุณสมบัติและรายละเอียดของการ์ด Lab-PC-1200.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	104

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	แสดงค่าควอนไทล์ ของ E และ Ech ของระบบควบคุมความเร็ว	23
4.2	แสดงค่าจุดศูนย์ถ่วง(Assigned Value) ของเอาต์พุตพีซีในระบบควบคุมความเร็ว	24
4.3	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีซีในระบบควบคุมความเร็วเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลง	26
4.4	แสดงค่าเอาต์พุตทั้งหมดของทุกกรณีที่เกิดขึ้นในระบบควบคุมความเร็วซึ่งได้จากการคำนวณ โดยกฎพีซี	28
4.5	แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไชเคิลของระบบควบคุมความเร็ว	30
4.6	การแสดงค่าควอนไทล์ ของ E และ Ech ของระบบควบคุมแรงดัน	32
4.7	แสดงค่าจุดศูนย์ถ่วง(Assigned Value) ของเอาต์พุตพีซีในระบบควบคุมแรงดัน	33
4.8	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีซีในระบบควบคุมแรงดันเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลง	35
4.9	แสดงค่าเอาต์พุตทั้งหมดของทุกกรณีที่เกิดขึ้นในระบบควบคุมแรงดันซึ่งได้จากการคำนวณ โดยกฎพีซี	37
4.10	แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไชเคิลของระบบควบคุมแรงดัน	39
6.1	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีซีของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 1	65
6.2	แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไชเคิลของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 1	66
6.3	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีซีของการควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ ในการทดลองครั้งที่ 1	67
6.4	แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไชเคิลของระบบควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ในการทดลองครั้งที่ 1	68
6.5	แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไชเคิลของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 2	69

6.6	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสน้ำในการทดลองครั้งที่ 3	71
6.7	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสน้ำในการทดลองครั้งที่ 4	74
6.8	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ ในการทดลองครั้งที่ 4	75
6.9	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมความเร็ว มอเตอร์กระแสน้ำในการทดลองครั้งที่ 5	76
6.10	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมความเร็ว มอเตอร์กระแสน้ำในการทดลองครั้งที่ 7	80
6.11	แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมแรงดัน เจนเนอเรเตอร์กระแสน้ำในการทดลองครั้งที่ 7	81
ข1	คุณสมบัติของตัวแยกทางแสงเบอร์ 4N26	97

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงลักษณะครีชีพเขตและฟิชชีเขตของอุณหภูมิที่รู้สึกว่ายุ่น	7
2.2 แสดงแผนผังการทำงานของทฤษฎีฟิชชีลอจิก	8
2.3 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบฟิชชีลอจิกในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง	10
2.4 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบฟิชชีลอจิกในการควบคุมแรงดันเครื่องเงินเนอเรเตอร์กระแสสลับ	10
3.1 แสดงเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก	14
3.2 แสดงวงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก	15
3.3 แสดงระบบควบคุมการทำงานของเงินเนอเรเตอร์โดยใช้ AVR	18
3.4 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องเงินเนอเรเตอร์	18
3.5 แผนภูมิแสดงการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง	20
3.6 แผนภูมิแสดงการควบคุมแรงดันของเครื่องเงินเนอเรเตอร์กระแสสลับ	20
3.7 แสดงระบบในการควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้า	20
4.1 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 1 : Error Frequency (E) ในระบบควบคุมความเร็ว	24
4.2 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 2 : Error Change Frequency (Ech) ในระบบควบคุมความเร็ว	25
4.3 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟิชชีในระบบควบคุมความเร็ว	25
4.4 แสดง ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 1 : Error Voltage (E) ในระบบควบคุมแรงดัน	33
4.5 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 2 : Error Change Voltage (Ech) ในระบบควบคุมแรงดัน	34
4.6 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟิชชีในระบบควบคุมแรงดัน	34
5.1 แสดงระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	41
5.2 แสดงระบบควบคุมแรงดันของเงินเนอเรเตอร์	41
5.3 แสดงการทำงานของระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์และแรงดันเงินเนอเรเตอร์ โดยการควบคุมแบบฟิชชีลอจิกที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์	42

5.4	แสดงส่วนการรับสัญญาณอินพุตโดยผ่านหม้อแปลง	43
5.5	แสดงการรับสัญญาณอินพุตไปยังการ์ด Lab PC 1200	44
5.6	แสดงความเร็วในการสุ่มและจำนวนจุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้ง โดยใช้โปรแกรม Labview	45
5.7	แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่เจนเนอเรเตอร์ผลิตได้ โดยคำนวณจากสัญญาณ ที่ได้จากการแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล	46
5.8	แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่สูงกว่าค่าอ้างอิง (220 โวลต์, 50 เฮิรตซ์)	46
5.9	แสดงค่าแรงดันต่ำกว่าค่าอ้างอิงแต่ความถี่ที่สูงกว่าค่าอ้างอิง	47
5.10	แสดงค่าแรงดันสูงกว่าค่าอ้างอิงแต่ความถี่ที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิง	47
5.11	แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิง	47
5.12	แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่ใกล้เคียงค่าอ้างอิง	48
5.13	แสดงขั้นตอนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	49
5.14	แสดงขั้นตอนการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์	50
5.15	แสดงการส่งสัญญาณออกจากขา 10 และ 11 ของการ์ด Lab PC 1200	51
5.16	แสดงความเร็วในการส่งและจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้ง โดยใช้โปรแกรม Labview	52
5.17	แสดงการส่งสัญญาณที่มีค่าความถี่ 50 เปอร์เซ็นต์	52
5.18	แสดงการส่งสัญญาณที่มีค่าความถี่ 75 เปอร์เซ็นต์	53
5.19	แสดงส่วนการส่งสัญญาณไปควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง	53
5.20	แสดงส่วนการส่งสัญญาณไปควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์	54
5.21	แสดงสัญญาณที่เข้าและออกจากตัวแยกทางแสง	54
5.22	แสดงส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่รับมาจากการ์ด Lab PC 1200	55
5.23	แสดงค่าความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกจากการ์ด Lab PC 1200	55
5.24	แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 10 %	56
5.25	แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 25 %	56
5.26	แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 50 %	56
5.27	แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 75 %	57
5.28	แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 90 %	57
5.29	แสดงส่วนการทำงานของวงจรซอฟต์แวร์โดยใช้ไอจีบีที	57
5.30	แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าความถี่ 10 %	58

5.31	แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไซเคลิล 25 %	58
5.32	แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไซเคลิล 50 %	58
5.33	แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไซเคลิล 75 %	59
5.34	แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไซเคลิล 90 %	59
5.35	แสดงความเร็วในการสลับและจำนวนจุดที่ใช้ในการสลับแต่ละครั้ง โดยใช้โปรแกรม Labview	60
5.36	แสดงค่าแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์	60
5.37	แสดงความเร็วในการส่งและจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้ง ซึ่งมีความถี่ในการส่ง 250 เฮิรตซ์	61
5.38	แสดงสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงขณะไร้ภาระซึ่งมีค่าควิตี้ไซเคลิล 58 %	62
5.39	แสดงสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงขณะไร้ภาระซึ่งมีค่าควิตี้ไซเคลิลเพิ่มขึ้นเป็น 62 %	62
5.40	แสดงสัญญาณเข้าขาเกดขณะไร้ภาระ ซึ่งมีค่าควิตี้ไซเคลิล 58 %	62
5.41	แสดงสัญญาณเข้าขาเกดขณะมีภาระ ซึ่งมีค่าควิตี้ไซเคลิลเพิ่มขึ้นเป็น 62 %	63
6.1	แสดงระบบการควบคุมการผลิตไฟฟ้า	64
6.2	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 1	66
6.3	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 1	68
6.4	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 2	70
6.5	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 2	70
6.6	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 3	72
6.7	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 3	73
6.8	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 4	74
6.9	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 4	75
6.10	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 5	77
6.11	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 5	78
6.12	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 6	79
6.13	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 6	79
6.14	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 7	81
6.15	แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 7	82
ก1	แสดงแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของไอจีบีทีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ มอสเฟตในพิกัดเดียวกัน	87

ก2	ขนาดพื้นที่จิปจิลิกอนของไอจีบีทีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอสเฟต ในพิกัดเดียวกัน	88
ก3	ขนาดพื้นที่ของตัวถัง ไอจีบีทีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอสเฟต ในพิกัดเดียวกัน	88
ก4	ภาพตัดขวางและวงจรไฟฟ้าภายในของมอสเฟต 1 เซลล์	89
ก5	ภาพตัดขวางและวงจรไฟฟ้าภายในของไอจีบีที 1 เซลล์	90
ก6	แสดงวงจรสมมูลและสัญลักษณ์มาตรฐานของไอจีบีที	90
ข1-ก	แสดงตัวแยกทางแสงที่เอาต์พุตเป็นโฟโตรีซิสเตอร์	94
ข1-ข	แสดงตัวแยกทางแสงที่เอาต์พุตเป็นโฟโตรีลิ่งคัน	94
ข1-ค	แสดงตัวแยกทางแสงที่เอาต์พุตเป็นสวิตช์สองทิศทางหรือไคแอก	94
ข1-ง	แสดงตัวแยกทางแสงที่เอาต์พุตเป็น SCR	94
ข2	แสดงตัวแปรอินพุตของตัวแยกทางแสงซึ่งส่วนใหญ่เป็นไดโอด เปล่งแสงอินฟราเรดทำมาจากสารแกลเลียมอาร์เซไนด์	95
ค1	แสดงตำแหน่งของขั้วต่อบนการ์ด Lab-PC-1200	98

ตัวย่อและสัญลักษณ์

Ω	=	ohm
%	=	percent
$\pm$	=	plus or minus
+	=	positive of, or plus
μ s	=	micro seconds
A	=	amperes
ACH <0..7>	=	analog channel 0 through 7 signals
ADC	=	analog-to-digital converter
AGND	=	analog ground signal
AI	=	analog input
AISENSE/AIGND	=	analog input sense/analog input ground signal
AVR	=	automatic voltage regulator
CH	=	channel
dB	=	decibels
DC	=	direct current
DGND	=	digital ground signal
EXTCONV	=	external convert signal
EXTTRIG	=	external trigger signal
Hz	=	hertz
I/O	=	input/output
kVA	=	kilo volt-amperes
kW	=	kilo Watt
LSB	=	least significant bit
mA	=	milli amperes
N	=	North
PID	=	proportional integral derivative
PD	=	proportional derivative
p.u.	=	per unit

rpm	=	round per minute
S	=	South
s	=	seconds
V	=	volts
VDC	=	volt direct current

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำสั้นเรื่อง

ในความเป็นจริง ระบบที่เราต้องการควบคุมโดยส่วนใหญ่นั้นมักจะเป็นระบบพลวัต ซึ่งมีลักษณะความไม่แน่นอนสูง และยากต่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายคุณลักษณะที่ถูกต้องของระบบ ซึ่งระบบเหล่านั้นอาจเป็นระบบที่ไม่เชิงเส้น หรือเป็นระบบที่แปรเปลี่ยนตามเวลา หรือมีจำนวนอินพุต/เอาต์พุตที่ซับซ้อนมาก จึงได้มีการคิดค้นทฤษฎีระบบควบคุมสมัยใหม่ในลักษณะต่างๆเกิดขึ้นอยู่เสมอๆ โดยเฉพาะทฤษฎีระบบควบคุมที่เกิดขึ้นในระยะหลังนี้ มักมีแนวโน้มให้ระบบมีความสามารถในการเรียนรู้(learning) ปรับตัวเอง(adaptive) ทำนายผล(prediction) หรือมีความสามารถในการหาเงื่อนไขที่มีความเหมาะสม(optimum)ในการควบคุมระบบได้ ในบางกรณีอาจมีลักษณะของระบบผู้เชี่ยวชาญร่วมอยู่อีกด้วย อย่างไรก็ตามทฤษฎีระบบควบคุมแต่ละวิธีมักจะมีขีดจำกัดในตัวมันเองและมีความเหมาะสมกับระบบที่มีลักษณะเฉพาะตามแนวทางของแต่ละทฤษฎีเท่านั้น จนกระทั่งหลังจากมีการพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ในช่วงค.ศ. 1965 ได้มีการนำเอาหลักการของฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) มาใช้กับระบบควบคุมแบบอนาลอกมากขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความไม่ชัดเจนของปริมาณต่างๆ เช่น อุณหภูมิ น้ำหนัก ความเร็ว แรงดัน โดยสามารถที่จะระบุเป็นค่าที่แน่นอนได้ เป็นตัวเลขที่ชัดเจนได้ว่า อุณหภูมิห้อง น้ำหนักกี่กิโลกรัม แต่ถ้าหากเป็นความรู้สึก เช่น หนาว ค่อนข้างหนาว หนาวมาก การวัดปริมาณเหล่านั้นให้เป็นค่าที่ชัดเจนทำได้ยากมาก และยังเมื่อนำไปเกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ทำการวิเคราะห์และประมวลผล เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากหรือทำไม่ได้เลย เนื่องจากคอมพิวเตอร์จะทำงานกับข้อมูลที่มีความแตกต่างชัดเจนเช่น "0" กับ "1" แต่ในความรู้สึกที่เป็น 2.0, 0.35, 0.4, 0.7 ปริมาณเหล่านี้จะใช้วิธีการคณิตศาสตร์แบบเดิม เพื่อให้คอมพิวเตอร์รับรู้ไม่ได้แล้ว จึงได้มีการคิดค้นฟัซซี่ลอจิกขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยความไม่ชัดเจนของระดับลอจิกสามารถทำให้ชัดเจนได้ การควบคุมระบบยังสามารถทำได้ละเอียดอ่อนกว่าเดิม เช่น จากที่เคยมี ร้อนกับเย็น ก็สามารถปรับได้เป็น ร้อนมาก ร้อนน้อย ค่อนข้างร้อน อุ่น ค่อนข้างอุ่น เย็น ค่อนข้างเย็น เป็นต้น จะเห็นว่าการควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถควบคุมผลของตัวรบกวนในระบบต่างๆ ความไม่แน่นอนเชิงเส้นของระบบและการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรต่างๆได้เป็นอย่างดี ตัวควบคุมที่ใช้หลักการของไมโครโปรเซสเซอร์สามารถเก็บข้อมูลเก่าๆ และทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในเวลาข้างหน้าเมื่อรู้ค่าของอินพุตของระบบในปัจจุบัน

นายลอตฟี ซาเดห์ (Lotfi Zadeh) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์ ซึ่งเป็นผู้คิดค้น ทฤษฎีฟัซซีลอจิกได้ในปี 1965 ได้ให้ข้อสังเกตว่า “ระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ความ ต้องการค่าที่แน่นอนนั้นแทบจะไม่จำเป็น” และสิ่งที่เขาค้นสมมติฐานไว้ได้กลายมาเป็นข้อกำหนด ของระบบและกฎการควบคุมอัตโนมัติต่อมา

การสร้างฟัซซีลอจิกจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์เพื่อสามารถเขียนเป็นกฎการตัดสินใจ ต่อสถานการณ์นั้นโดยใช้เพียงคณิตศาสตร์ง่ายๆ และไม่ได้ใช้สมการที่ซับซ้อนแต่อย่างใด คอมพิวเตอร์สามารถตีความกฎเหล่านั้นได้โดยตรงและไม่พบปัญหาความยุ่งยากในการคำนวณ (มานะ ลัทธนิพนธ์, 2540ข)

ทฤษฎีฟัซซีลอจิกมีข้อได้เปรียบเหนือระบบลอจิกแบบทั่วไปอยู่ 3 ประการคือ

1. เซตของฟัซซีลอจิก สามารถให้คำจำกัดความของคุณภาพทางภาษาได้ดีกว่า เช่น คำว่า ก่อนข้างหรือเกือบจะ ซึ่งนำไปใช้ประกอบคำแสดงคุณลักษณะต่างๆ ไป เช่น สูง เตี้ย ดี เลว ร้อน และอื่นๆ และยังสามารถให้ค่าความสำคัญของแต่ละสมาชิกในฟัซซีเซตได้ ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1
2. เอาต์พุตที่ได้จากระบบฟัซซีลอจิกจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าอินพุตของระบบจะเปลี่ยนไปอย่างทันทีทันใดก็ตาม
3. อาศัยประสบการณ์การควบคุมของมนุษย์มาเป็นพื้นฐานของระบบ โดยใช้คณิตศาสตร์ ง่ายๆ และไม่ได้ใช้สมการที่ซับซ้อนแต่อย่างใด เหมาะกับระบบที่ซับซ้อนยุ่งยาก หรือทำให้เกิด ความชัดเจนได้ยาก

ฟัซซีลอจิกสามารถออกแบบเพื่อเลียนแบบความรู้สึกมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็น ความร้อน ความเย็น ระยะไกลหรือใกล้ ที่ผ่านมารวดนี้ หรือ ผ่านมานานแล้ว เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะวัด ออกมาเป็นคำพูดหรือความรู้สึกมากกว่าจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม ทั้งนี้และทั้งนั้นก็เพื่อ จะลดปัญหาของระบบที่ซับซ้อนมาเป็นการจัดการทางเซตเรียกว่า ฟัซซีเซต

ฟัซซีลอจิกมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีฟัซซีเซต (fuzzy Set) ซึ่งจะช่วยให้อธิบายการปฏิบัติการ และกฎการควบคุมของระบบเป็นคำพูดได้อย่างชัดเจนขึ้น ถึงแม้จะมีลักษณะที่ไม่ใกล้เคียงพอ แต่ มันก็ง่ายกว่าการคำนวณทางคณิตศาสตร์ หลักการสำคัญของทฤษฎีฟัซซีเซตคือ ยอมรับสมาชิกที่มี ลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิกโดยมีการจัดลำดับของการเป็นสมาชิกซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีเซตดั้งเดิม ซึ่งการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับ ผลลัพธ์ที่เกิดจากการตัดสินใจของมนุษย์ ทำให้ผลของการควบคุมออกมาเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

เนื่องจากความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ ทำให้ใน ระยะสิบปีที่ผ่านมา ราคาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องคอมพิวเตอร์ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ กลับมีคุณภาพเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ทำให้ได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการกระบวนการ

อุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางมากขึ้นเป็นลำดับโดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ และต้องการผลการควบคุมที่มีความน่าเชื่อถือสูง เนื่องจากการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุม กระบวนการทางอุตสาหกรรมจะทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมดีขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่าย ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมการผลิตและบำรุงรักษาเครื่องจักรกลต่างๆ ให้น้อยลง โดยเมื่อนำเครื่อง คอมพิวเตอร์มาใช้ในระบบควบคุมและเปรียบเทียบผลกับการควบคุมเดิมแล้ว ดูเหมือนว่า ประสิทธิภาพและความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์แทบไม่มีขีดจำกัด สามารถสร้างวงจรควบคุม ที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย และจากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ระบบที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง จักรกลไฟฟ้าก็เป็นอีกระบบหนึ่งที่ต้องการผลการควบคุมที่มีความน่าเชื่อถือสูง เช่นในลักษณะของ มอเตอร์โดยทั่วๆ ไป เมื่อได้รับการกระตุ้นแล้ว จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงไป ซึ่งในงาน บางประเภทไม่ต้องการให้เกิดเหตุการณ์แบบนี้ ดังนั้นจึงต้องมีการหาวิธีที่จะควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าภาระจะเปลี่ยนไปมากน้อยก็ตาม หรือการควบคุมแรงดัน ของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับซึ่งแต่ก่อนจะใช้วงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับทางด้านฮาร์ดแวร์ ด้วยๆ ซึ่งยากในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ จึงมีการนำเอาการควบคุมทางด้าน ซอฟต์แวร์มาใช้ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ จากสิ่งที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้จึงเป็นแนวคิดที่จะประยุกต์ โดยการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซี่ ลอจิก

1.2 การตรวจสอบเอกสาร

1.2.1 การควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกที่เรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง (ภากร สันสนิยานิช และคณะ, 2539 : CT 26-31) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการควบคุมการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าโดยใช้เครื่องควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองในการออกแบบระบบควบคุม เพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่าจึงแบ่งการควบคุมออกเป็นระดับหยาบและละเอียด แล้วเปลี่ยนโครงสร้างระบบควบคุมจาก Fuzzy PID Controller มาเป็น Fuzzy PD Controller เพื่อลดเวลาที่ใช้ใน การประมวลผล ระบบควบคุมทั้งหมดนี้เป็นซอฟต์แวร์ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ในการ ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ได้ความเร็วรอบที่พิกัดเพื่อให้ได้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ และเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับให้ได้แรงดันคงที่ที่ 220 โวลต์ จากการทดลองแสดง ให้เห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถเรียนรู้ได้ระดับหนึ่ง โดยประสิทธิภาพของระบบที่ ควบคุมแรงดันเป็นที่น่าสนใจทั้งในด้านผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงและผลตอบสนองต่อการ รบกวนจากภายนอก แต่ประสิทธิภาพของระบบที่ควบคุมความถี่ไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมี ปัญหาในทางวงจรตรวจจับความถี่ และปัญหาทางด้านการทำงานหลายอย่างในเวลาเดียวกัน

1.2.2 การใช้เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในหน่วยผลิตไฟฟ้า (Kristjansson, et al., 1995: 329-335) งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกมาเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีการใช้ฟัซซี่ลอจิกไปควบคุมแรงดัน 120 โวลต์และความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับให้คงที่ โดยในระบบจะประกอบด้วย มอเตอร์กระแสตรง ซึ่งใช้เป็นตัวขับ (Prime mover) ของ Hampden DM-100 DC เครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ (AC-generator) ของ Hampden SM-100-3 เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller , FLC) ซึ่งเป็นหัวใจหลักของระบบ โดยใช้ภาษาซีในการเขียน เป็นตัวตัดสินใจโดยจะมีการรับตัวแปรเข้าสองตัวผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล คือความถี่และแรงดัน แล้วทำการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อนำไปหาตัวแปรออกสองตัว คือ แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดสนามและกระแส shunt แล้วส่งผ่านวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกไปยังมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ ซึ่งในการทดลองได้มีการปรับระบบโดยมีการเพิ่มภาระให้แก่เครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ แล้วมีการเปรียบเทียบความละเอียดของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาลอก ซึ่งมีขนาด 8 บิต และ 12 บิต ตามลำดับ จากผลที่ได้จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และแรงดัน ณ สถานะคงตัว ที่ความละเอียด 12 บิต จะน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงที่ความละเอียด 8 บิต ผู้วิจัยได้สรุปว่าการประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกในหน่วยผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังมีประสิทธิภาพสูง

1.2.3 เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับเครื่องเจนเนอเรเตอร์ (อรวรรณ รุจิราลัย, 2540) งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์ให้คงที่ เครื่องเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีกำลังผลิต 2 กิโลวัตต์ แอมแปร์ ซึ่งสามารถปรับแรงดันอ้างอิงได้ตั้งแต่ 220 - 230 โวลต์ โดยในส่วนฮาร์ดแวร์จะประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์วอร์ต วงจรสวิตชิ่งเอสซีอาร์ และจอแสดงผลแอลซีดี ส่วนซอฟต์แวร์จะเป็นโปรแกรมประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษาซี โดยมีการรักษาระดับแรงดันให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ± 10 เปอร์เซ็นต์

สำหรับงานวิจัยนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับหลักการของเอกสาร 1.2.1 และ 1.2.2 กล่าวคือใช้ซอฟต์แวร์ทำงานบนคอมพิวเตอร์ ควบคุมชุดมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าความถี่และแรงดันตามที่ต้องการ แต่มีข้อแตกต่างจากเอกสาร 1.2.1 คือ

1. ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกทั่วไป ไม่ได้ใช้ฟัซซี่ลอจิกที่เรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง
2. แก้ปัญหาในการวัดค่าความถี่

ส่วนข้อแตกต่างจากเอกสาร 1.2.2 คือการมีเป้าหมายให้ค่าความถี่และแรงดันเข้าสู่ค่าอ้างอิงเร็วที่สุด แต่ไม่ได้ต้องการเปรียบเทียบว่าความละเอียดของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นอนาลอกมีผลต่อความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตอย่างไร

และ มีความแตกต่างจากเอกสาร 1.2.3 คือ

1. ใช้ซอฟต์แวร์ทำงานบนคอมพิวเตอร์ ไม่ได้ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

2. นอกเหนือจากการควบคุมแรงดันแล้วยังควบคุมความถี่ด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องกำเนิดกระแสตรงด้วยวิธีพีชชีลอจิก

1.3.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำงานหลายอย่างในเวลาเดียวกันได้ (multi-tasking Operation) นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ เชื่อมโยงกับผู้ใช้ได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และมีลักษณะการควบคุมในเวลาจริง(real-time processing)

1.3.3 เพื่อส่งเสริมให้มีการศึกษาและนำพีชชีลอจิกไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการควบคุมโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก

2.1 แนวคิดพื้นฐานของฟัซซี่ลอจิก

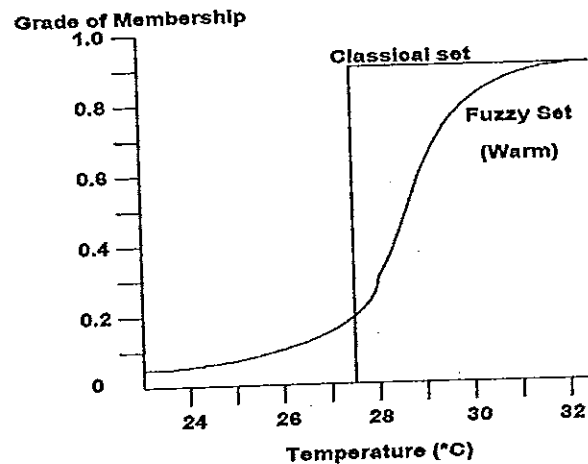
เมื่อปีค.ศ. 1965 นายลอตฟี ซาเดห์ (Lotfi Zadeh) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์ ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับตรรกศาสตร์รูปแบบใหม่ที่มีลักษณะสอดคล้องกับการให้เหตุผลของมนุษย์ที่มีลักษณะคลุมเครือในเชิงปริมาณ(quantitative) เช่น หากมีคำถามว่ารู้สึกร้อนหรือหนาว คำตอบที่อยากตอบอาจเป็นร้อนไม่มาก หรือกำลังดี หรือคำถามที่ว่าสีที่เห็นเป็นสีอะไร(สมมุติว่าเป็นสีเทา) เป็นสีขาวหรือดำ คำตอบที่อยากตอบอาจไม่ใช่ทั้งขาวและดำ เพราะดูจะเป็นคำตอบที่ชัดเจนเกินไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในหลายๆกรณี มนุษย์เรามีลักษณะการใช้ตรรกศาสตร์แบบมีน้ำหนัก คือ มีการให้ระดับความเป็นไปได้ของตรรก ว่ามีลักษณะเช่นนั้นมาก ปานกลางหรือน้อย ซึ่งยากแก่การที่จะกำหนดให้ชัดเจนว่ามีกี่ระดับ ทั้งนี้เนื่องจากการประเมินความรู้สึกรู้สึกของมนุษย์เราเป็นไปในเชิงคุณภาพ(qualitative) ทำให้มีความคลุมเครือเมื่อนำมาพิจารณาในเชิงปริมาณ ซึ่งตรรกศาสตร์ที่เราคุ้นเคยนั้นมีเพียง 2 คำตอบเท่านั้น คือ จริง-เท็จ,ดำ-ขาว,0-1 หรือในลักษณะเดียวกันนี้ โดยที่เซตคำตอบมีลักษณะเป็นคริสป์เซต(Crisp Set) ทำให้การนำตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิมมาประยุกต์ใช้ดูจะมีขีดจำกัดอยู่พอสมควร ดังนั้นแนวคิดตรรกศาสตร์รูปแบบใหม่นี้จึงเปิดโอกาสให้คำตอบของตรรกมีน้ำหนักอยู่ในระดับใดก็ได้ ระหว่าง 2 คำตอบของตรรกศาสตร์เดิม เซตของสมาชิกในตรรกศาสตร์รูปแบบใหม่จึงเป็นเซตของจำนวนจริงที่มีค่าอยู่ในช่วง[0,1]เป็นฟัซซี่เซต แทนที่จะมีสมาชิกเพียง 2 ตัวคือ 0 กับ 1 ดังเช่นตรรกศาสตร์ที่เราคุ้นเคยกัน ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 2.1 เรียกตรรกศาสตร์รูปแบบใหม่นี้ว่าฟัซซี่ลอจิก โดยนิยามค่าระดับหรือน้ำหนักความเป็นไปได้ใหม่นี้ว่า ระดับการเป็นสมาชิก และเรียกฟังก์ชันเชิงตรรกที่กำหนดค่าระดับการเป็นสมาชิกของตัวแปรหนึ่งๆนี้ว่า ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(membership Function) โดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต A แทนด้วยสัญลักษณ์ที่อยู่ภายในยูนิเวอร์ส X มีค่าทางคณิตศาสตร์อยู่ภายในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 เขียนเป็นรูปแบบได้ดังนี้

$$m_A(x) : x \rightarrow [0,1]$$

หมายความว่า ระดับการเป็นสมาชิกของ x ในฟัซซี่เซต A อยู่ในช่วงทั้งหมดจาก 0 ถึง 1

โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกเลย

1 หมายถึง เป็นสมาชิกอย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 2.1 แสดงลักษณะคริสป์เซตและฟัซซีเซตของอุณหภูมิที่รู้สึกว่ายุ่น

จุดประสงค์หลักของฟัซซีลอจิก คือ การกำหนดเงื่อนไขและรูปแบบการคำนวณของระบบ รวมทั้งเทคนิคของการหาคำตอบซึ่งจะเป็นค่าประมาณมากกว่าค่าที่ถูกต้องแม่นยำ

ซึ่งสิ่งหนึ่งที่ดึงดูดใจการใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตแทนทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิมคือ นิพจน์เชิงคุณภาพ(Qualitative Expression) เช่น เล็กมาก,ค่อนข้างใหญ่ มีลักษณะคลุมเครือคล้ายภาษาพูดของมนุษย์ (มานะ ลัทธวินิพนธ์, 2540ข)

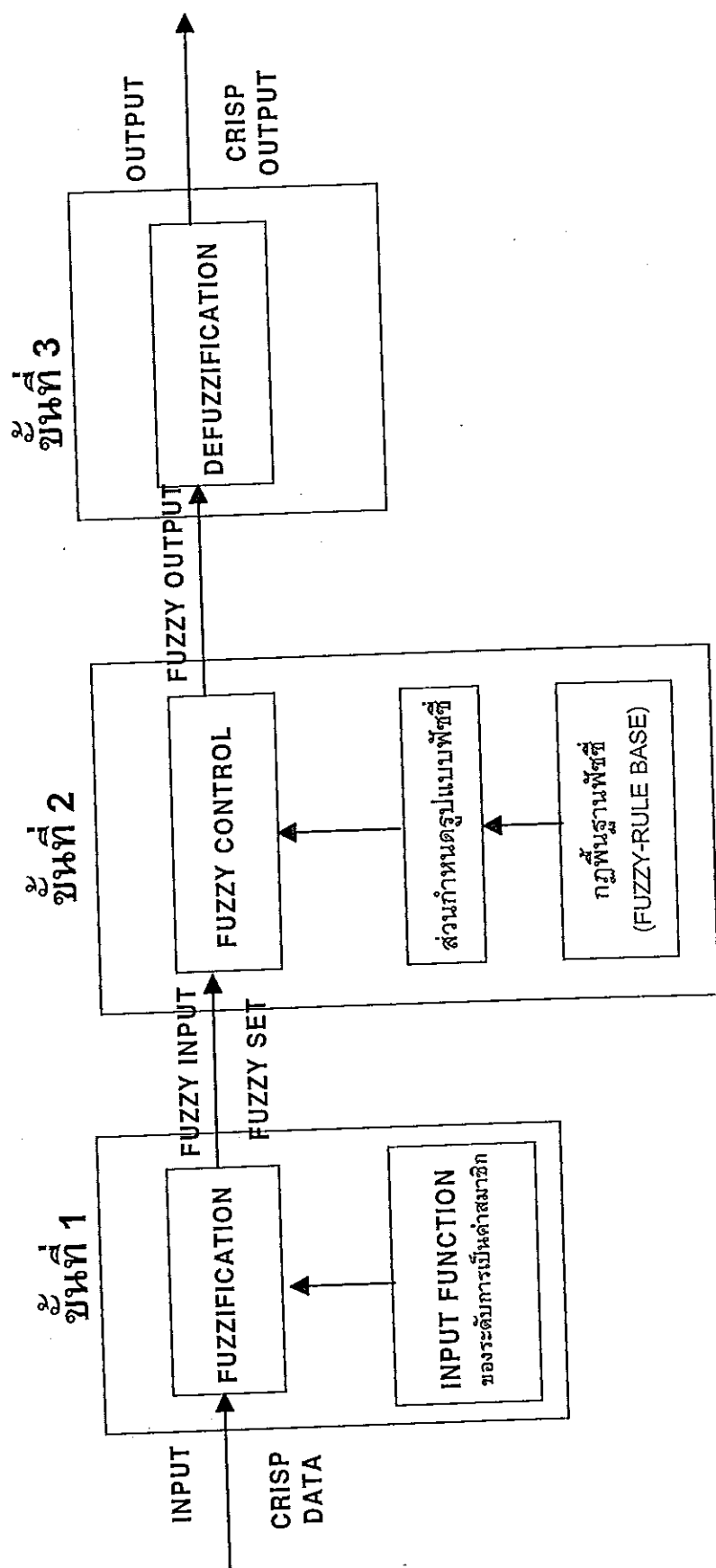
นอกจากนี้การดำเนินการเชิงตรรกของฟัซซีลอจิกมีลักษณะเช่นเดียวกับในทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิม โดยการดำเนินการพื้นฐานที่เราเห็นบ่อยๆ ได้แก่ ยูเนียน(union), อินเตอร์เซกชัน(intersection) และคอมพลีเมนต์(complement)

2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Control System) คือ ระบบกฎพื้นฐานอันเป็นกฎฟัซซี(Fuzzy rules) ที่สามารถแทนส่วนที่ใช้แทนการตัดสินใจทางกล (human mechanical) เพื่อให้ได้คำตอบที่แน่นอนของระบบ จุดประสงค์หลักของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิกคือ ใช้แทนส่วนปฏิบัติการทางมนุษย์ (human operator) ด้วยกฎพื้นฐานของฟัซซี (Fuzzy Rule-Based System)

โดยทั่วไประบบควบคุมฟัซซีลอจิกจะมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังภาพประกอบ 2.2 คือ

- ส่วนที่ 1 เรียกว่า ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับเข้ามาจากระบบควบคุมซึ่งเป็นค่าข้อมูลอินพุต(มักจะเรียกว่า ข้อมูลคริสป์ :Crisp Data) ให้เป็นอินพุตของระบบควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Input) คือมีความหมายเดียวกับระบบฟัซซี ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าความเป็นสมาชิก (grade of membership) ในรูปของฟัซซีเซต (Fuzzy set)



ภาพประกอบที่ 2.2 แผนผังแสดงการทำงานของทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

- ส่วนที่ 2 ในฟัซซีเซตเมื่อข้อมูลอินพุตผ่านส่วนที่ 1 แล้วจะเข้าสู่ส่วนของการประมวลผล ซึ่งจะมีการตีความและวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่ได้มีการกำหนดไว้ หรือเข้าสู่กฎพื้นฐานของฟัซซี (Fuzzy-Rule Base) ระบบควบคุมแบบฟัซซีจะเป็นตามแบบของการป้อนกลับ ด้วยเหตุนี้การป้อนกลับในระบบฟัซซีจะเกิดขึ้นในส่วนกฎพื้นฐานนี้เอง

- ส่วนที่ 3 เป็นส่วนสุดท้าย เรียกว่า ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) โดยผลของการเข้ากฎพื้นฐานฟัซซี จะถูกแปลงกลับไปเป็นค่าเอาต์พุตจริงหรือข้อมูลดิจิทัล ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำการเปรียบเทียบเอาต์พุตฟัซซี (Fuzzy Output) ทั้งหมดเข้ากับผลลัพธ์รวม ปัจจุบันนิยมใช้วิธีหาศูนย์กลางพื้นที่ (Center Of Area :COA) เช่น วิธีการหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid, Center of Gravity) เพราะสามารถถ่วงน้ำหนักของเอาต์พุตฟัซซีของแต่ละกฎได้อย่างทั่วถึง ได้ค่าเอาต์พุตอันเป็นค่าโดยประมาณของระบบการทำงานจริง

สิ่งที่ได้กล่าวข้างต้นคือทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก การสร้างความสัมพันธ์แบบฟัซซี (Fuzzy Relations) เป็นไปในลักษณะ IF.....THEN ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกิดขึ้นก่อน (Antecedent, If part) และผลที่ตามมา (Consequent, then part) พร้อมทั้งมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) ของแต่ละส่วน ผลที่ตามมาของแต่ละกฎจะถูกรวมกันด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่น ยูเนียน และการหาจุดเซนทรอยด์ เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตจริงเพียงค่าเดียว (ค่าตรรกศาสตร์ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1) ภายในกรอบการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะมีการสร้างกฎแต่ละข้อ ซึ่งได้มาจากความรู้และประสบการณ์ของการปฏิบัติการทางมนุษย์ เช่น

“ IF the temperature is Hot

THEN decrease the Current to a Medium level ”

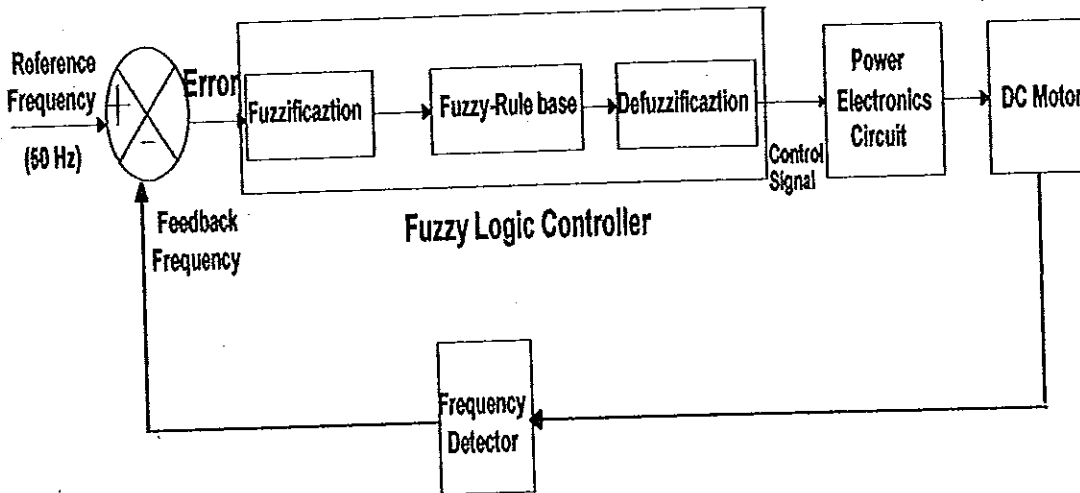
จากกฎข้อนี้ Hot และ Medium เป็นตัวแปรฟัซซี สามารถที่จะเปลี่ยนภาษามนุษย์ ให้อยู่ในรูปแบบภาษาคอมพิวเตอร์ ได้ก็คือ

“ IF (A is A1 and B is B1 and C is C1 and D is D1)

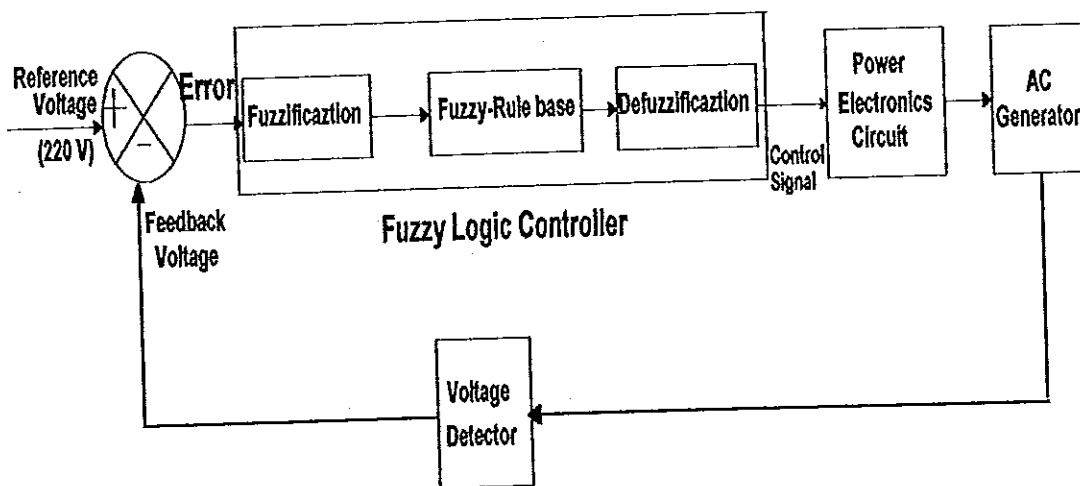
THEN (E is E1 and F is F1)

จากหลักการทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกที่กล่าวมาข้างต้น ได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยทำการควบคุมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน (Prime mover) และควบคุมเครื่องจักรเชิงโรตารี ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดแรงเคลื่อนกระแสสลับ (AC Generator) โดยจะต้องควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ได้ความเร็วที่เชิงโรตารี ที่ 1500 รอบ/นาที เพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องควบคุมขนาดของกระแสกระตุ้นของเครื่อง

เจนเนอเรเตอร์กระแสสลับเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีขนาดเท่ากับ 220 โวลต์ ดังแสดงตามภาพประกอบ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง



ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ

จากภาพประกอบ 2.3 และ 2.4 มีการรับค่าความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตได้ หลังจากนั้นก็เข้าสู่ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การฟัซซี่ฟิเคชัน หาค่าฟัซซี่ฟิเคชันคือค่าความผิดพลาด(Error) โดยหาได้จากความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตมาเปรียบเทียบกับค่าความถี่ และแรงดันอ้างอิง

2. การเข้าสู่กฎพื้นฐานของฟิชชี เป็นหัวใจหลักของการควบคุม เปรียบเสมือนการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งจะมีการตีความและวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่ได้มีการกำหนดไว้

3. การตีฟิชชีให้คะแนน หากค่าเอาต์พุตจริง เนื่องจากในแต่ละอินพุตจะได้ค่าเอาต์พุตฟิชชีออกมาหลายค่า เราจึงต้องหาค่าที่แม่นยำเพียงค่าเดียวเพื่อให้ได้ค่าของ เอาต์พุตที่แท้จริงของตัวควบคุม ฟิชชีลอจิก ซึ่งจะใช้กรรมวิธีการหาค่าศูนย์กลางเพื่อหาค่าเซนทรอยด์ เมื่อได้ค่าเอาต์พุตจริงแล้ว นำค่าที่ได้ไปพิจารณาหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมเพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตมีค่าความถี่และแรงดันเข้าสู่ค่าอ้างอิง

บทที่ 3

เครื่องจักรกลไฟฟ้าและหลักการควบคุม

ระบบควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบการควบคุมการผลิตไฟฟ้า โดยทำการควบคุมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับ(prime mover) และควบคุมเครื่องจักรเชิงโรตารี ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ(AC Generator) โดยจะต้องควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ได้ความเร็วที่เชิงโรตารี ที่ 1500 รอบ/นาที เพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องควบคุมขนาดของกระแสกระตุ้นของเครื่องเจนเนอเรเตอร์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีขนาดเท่ากับ 220 โวลต์ ดังนั้นในบทนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และหลักการควบคุม

3.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกับพลังงานกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวหมุน เมื่อเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) และถ้าเครื่องจักรแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานกล เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับแปรงถ่าน (Carbon brush) ทำหน้าที่ในการจัดเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักรจึงเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แต่เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในจะทำให้กระแสไหลจากภายนอกเข้าสู่ตัวเครื่องจักรซึ่งซีคอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันก็จะมีกระแสไหลตรงข้ามทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งเห็นได้ว่าเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งสามารถนำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนำมาเป็นมอเตอร์ก็ได้

จุดเด่นของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงคือการทำงานอยู่ในตำแหน่งมุมระหว่างสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก กับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมกัน 90 องศา ซึ่งเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนั้นได้ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง

3.1.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้

- เปลือกนอก(Yoke frame) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของตัวที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งเป็นวงจรมแม่เหล็กเชื่อมต่อระหว่างขั้วแม่เหล็ก นอกจากนี้เปลือกนอกยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้งเครื่องจักร รวมถึงเป็นเบ้ายึดลูกปืน(bearing) สำหรับเพลาคั่วหมุน การทำเปลือกนอกทำได้โดยการใช้เหล็กหล่อหรือวิธีม้วนเหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง

- ขั้วแม่เหล็ก(Pole) เป็นส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเมื่อหมุนตัวหมุน หรือเกิดแรงบิดเมื่อมีกระแสไหลในอาร์เมเจอร์ โดยที่ขั้วแม่เหล็กประกอบไปด้วยแกนขั้วแม่เหล็ก(pole core) และ ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (field winding)

- อาร์เมเจอร์ (Armature) เป็นส่วนที่เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และเกิดแรงบิดจากสนามแม่เหล็ก โดยประกอบไปด้วยแกนอาร์เมเจอร์(armature core) เป็นแผ่นเหล็กบางๆ วางเรียงซ้อนกัน เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน(eddy current) บนแกนของอาร์เมเจอร์จะมีร่องไว้สำหรับการพันขดลวดเรียกว่าร่องสลอต(slot) โดยร่องนี้จะไว้สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์

- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นแท่งตัวนำ โดยปกติใช้แท่งทองแดงวางเรียงกันและมีฉนวนกันกลางเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างแท่งทองแดง ตัวคอมมิวเตเตอร์จะใช้เป็นจุดต่อระหว่างขดลวดอาร์เมเจอร์ และมีแปรงถ่านมากบนคอมมิวเตเตอร์ เพื่อป้อนไฟฟ้าเข้าไปในอาร์เมเจอร์ หรือจ่ายไฟออกมาจากอาร์เมเจอร์ ดังนั้นคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทำตัวคอมมิวเตเตอร์ต้องเป็นตัวนำที่ดี มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ เป็นตัวนำความร้อน และมีความสึกกร่อนต่อการเสียดสีน้อย หรือไม่สึกกร่อนเลยยิ่งดี

- แปรงถ่าน (Carbon brush) เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่ส่งวงจรระหว่างจุดที่หมุนึงกับส่วนที่หมุนก็คือตรงส่วนที่เป็นตัวคอมมิวเตเตอร์ ตัวแปรงถ่านจะมีส่วนที่เป็นกราไฟท์(Graphite) และส่วนที่เป็นสายทองแดงอีกเพื่อใช้ต่อกับวงจรไฟฟ้าได้ ช่องยึดแปรงถ่าน(brush holder) เป็นตัวยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ คุณสมบัติของแปรงถ่านต้องเป็นตัวนำที่ดี มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ และต้องไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายที่ตัวคอมมิวเตเตอร์

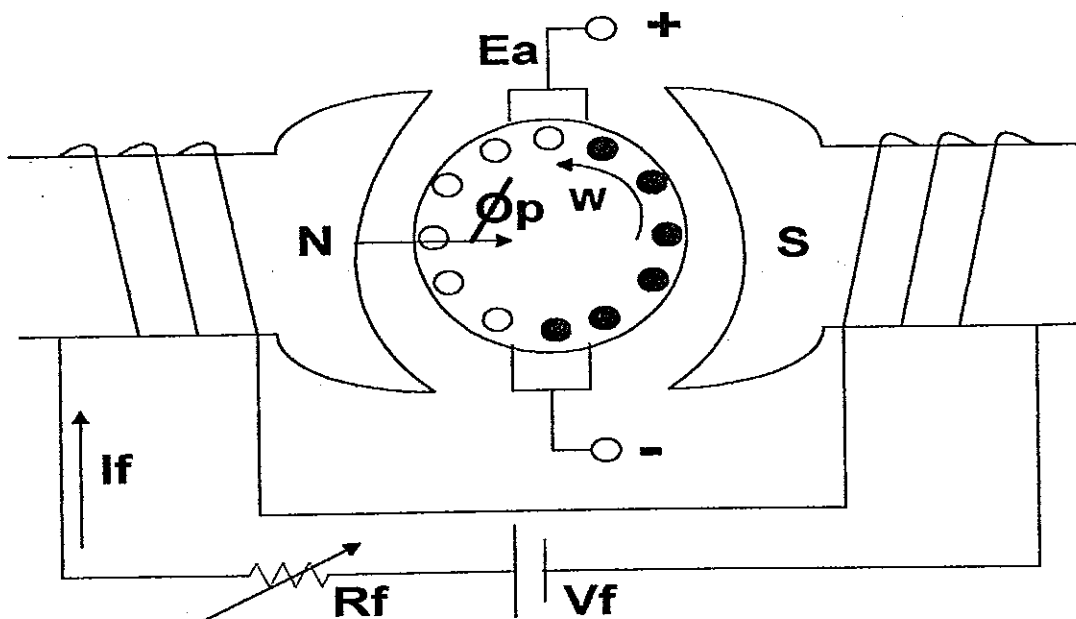
3.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อนำเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมาทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยปกติแล้วการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าบนขดลวดที่อยู่บนตัวหมุน ซึ่งจะเกิดศักดาไฟฟ้าออกมาเป็นลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่ต้องมีสนามแม่เหล็กออกจากขั้วแม่เหล็ก และแท่งตัวนำเมื่อเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก เนื่องจากแท่งตัวนำเมื่อเคลื่อนที่ผ่านขั้ว N จะมีทิศทางหนึ่งและเมื่อผ่านขั้ว S สนาม

แม่เหล็กจะกลับทิศทาง ดังนั้นขดลวดที่ใช้ในการพันในเครื่องจักรไฟฟ้าต้องมีด้านทั้ง 2 ด้านอยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกัน เพื่อสกัดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของขดลวดจะได้มีทิศเสริมกัน เมื่อนำปลายของขดลวดมาต่อเข้ากับวงแหวนครึ่งซีกของแต่ละด้าน แล้วนำแปรงถ่านมากดบนวงแหวนเพื่อสกัดไฟฟ้ามาใช้งาน ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้จะเหมือนผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier) โดยเป็นกระแสตรง ดังนั้นเมื่อได้มีการพัฒนาระบบวงแหวนครึ่งซีกมาเป็นซีคอมมิวเตเตอร์แทน ส่วนที่เป็นซีคอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านจึงถูกเรียกว่าตัวเรียงกระแสทางกล (mechanical rectifier)

3.1.3 เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

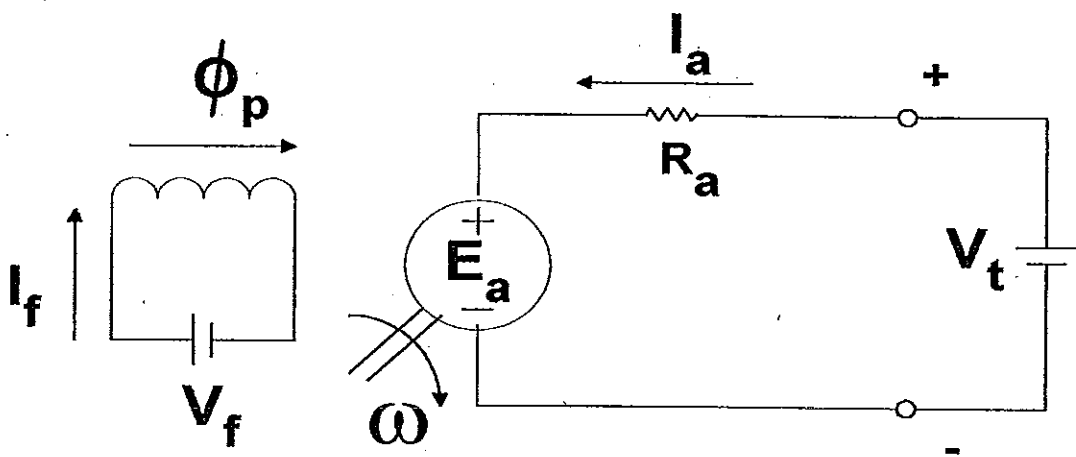
เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงที่มีวงจรของส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กแยกจากวงจรอาร์เมเจอร์ สามารถควบคุมกระแสของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กได้อย่างอิสระ ซึ่งจะมีผลถึงค่าเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Φ_p) โดยความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I_f) กับเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กกับความต้านทานของวงจรแม่เหล็ก ในการปรับค่ากระแส (I_f) ทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเรียกว่า รีโอสแตต (rheostat) หรือปรับค่าสกัดไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กโดยตรง ดังแสดงตามภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แสดงเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

3.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กมาใช้งานในลักษณะของการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานกล เราเรียกเครื่องจักรนี้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 แสดงวงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

ขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ ศักดาไฟฟ้าที่เข้า (V_t) จะมีค่ามากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าแม่เหล็กเหนี่ยวนำ (E_a) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad \dots(3.1)$$

$$E_a = K_t \Phi_p \omega \quad \dots(3.2)$$

ดังนั้น
$$\omega = (V_t - I_a R_a) / (K_t \Phi_p) \quad \dots(3.3)$$

K_t : เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์

I_a : กระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์

R_a : ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

จะพบว่าความเร็วเชิงมุม (ω) จะเปลี่ยนแปลงตามภาระโดยเมื่อมีภาระมากขึ้น ค่ากระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์จะมากขึ้นทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง และในการควบคุมมอเตอร์

ไฟฟ้ากระแสตรงไม่ให้เสียหายเนื่องจากกระแสเกินค่าที่พิกัดจึงจำเป็นต้องควบคุมให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดอาเมเจอร์ ต้องไม่เกินค่ากระแสที่พิกัด

มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานในการขับเคลื่อนในอุตสาหกรรมและง่ายต่อการควบคุม (พิชิต คำของ, 2540) รวมไปถึงช่วงในการควบคุมความเร็วจะกว้าง คือ เริ่มตั้งแต่ความเร็วเชิงมุมที่ศูนย์จนถึงความเร็วเชิงมุมที่พิกัด ($\omega_r = 1.0 \text{ p.u}$) ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ย่านแรงบิดคงที่ (constant torque) ส่วนอีกช่วงเริ่มตั้งแต่ความเร็วเชิงมุมที่พิกัด ($\omega_r = 1.0 \text{ p.u}$) จนถึงสองเท่าความเร็วเชิงมุม ($\omega_r = 2.0 \text{ p.u}$) ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ย่านกำลังคงที่ (constant power)

การควบคุมในงานวิจัยนี้ทำการควบคุมในย่านกำลังคงที่ เนื่องจากการควบคุมความเร็วในย่านแรงบิดคงที่ที่ต้องป้อนกระแสเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเป็นค่าที่พิกัด ซึ่งมีผลทำให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Φ_p) เป็นค่าที่พิกัดและมีค่าคงที่ตลอดการควบคุม โดยการเพิ่มหรือลดความเร็วทำได้โดยการเพิ่มหรือลดศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขั้วอาร์เมเจอร์ (V_a) ซึ่งกระแสที่ไหลเข้าขั้วอาร์เมเจอร์เมื่อรับภาระเต็มที่มีค่าประมาณ 20 แอมแปร์ ทำให้ยากต่อการหาอุปกรณ์ที่สามารถทนกระแสได้ยาก ราคาสูง และง่ายต่อการเกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงเลือกการควบคุมในย่านกำลังคงที่ กล่าวคือการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะมีค่าแปรตามศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Φ_p) โดยป้อนแรงดันเข้าอาร์เมเจอร์ค่าคงที่ที่พิกัด

สรุปได้ว่าการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง สามารถทำได้โดยการควบคุมศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

3.2 เครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสลับ

เครื่องเจนเนอเรเตอร์ที่นำมาทดลองเป็นประเภทซิงโครนัส (Synchronous Generator) ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม

3.2.1 โครงสร้างการทำงานของเจนเนอเรเตอร์

เจนเนอเรเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless) โดยจะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนกระตุ้น (Exciter) จะประกอบด้วย

- Exciter Field Winding ซึ่งเป็นขดลวดที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเมื่อถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าตรงโดยจะติดอยู่กับส่วนที่อยู่กับที่

- Exciter Armature Winding ซึ่งเป็นชุดขดลวดที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น โดยเป็นส่วนที่ติดกับเพลลา และหมุนไปพร้อมกับเพลลา กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน Exciter Armature Winding จะเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส

2. Rotating Rectifier เป็นชุดที่ติดกับเพลลาจึงหมุนไปตามเพลลา มีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดจาก Exciter Armature Winding ให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง เพื่อที่ป้อนให้กับ Field Winding ของ Generator ต่อไป

3. Main Generator คือ ส่วนที่เป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาเพื่อนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะประกอบด้วย

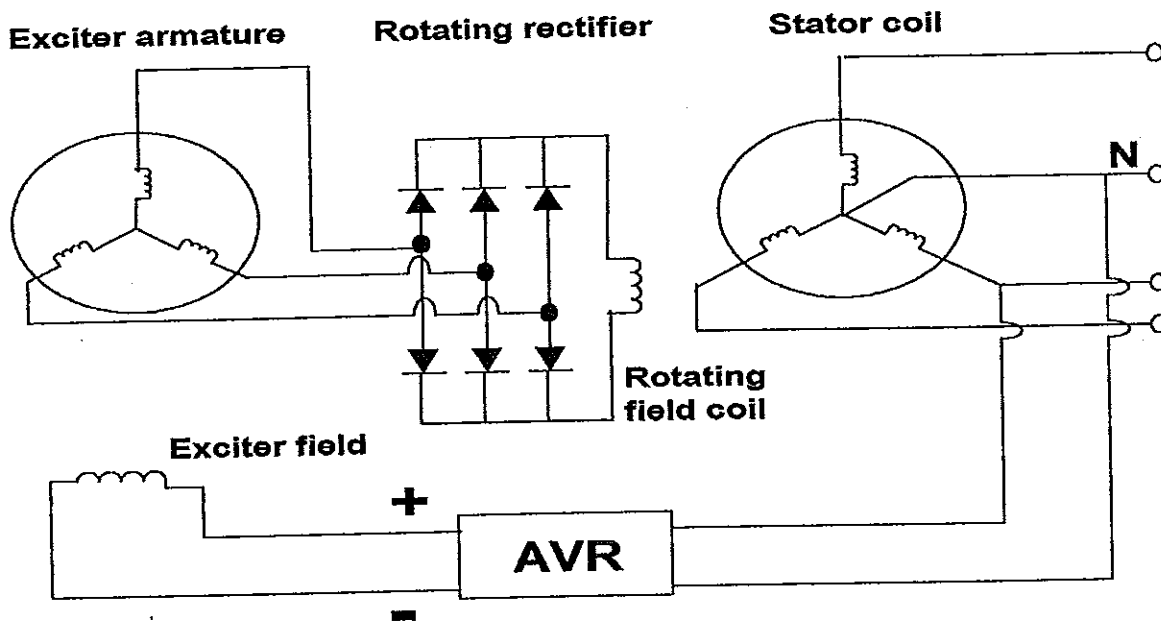
- Rotating Field Winding เป็นชุดขดลวดที่พันด้านโรเตอร์รอบแกนเหล็กที่ติดเพลลา ทำให้เหล็กกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าที่ขดลวดนี้จะเป็นกระแสตรงที่มาจาก Rotating Rectifier

- Stator Armature Winding เป็นชุดขดลวดซึ่งพันกระจายลงในร่องด้านในของสเตเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น และจะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปใช้งาน

4. Voltage Regulator (Voltage Control Unit) เป็นชุดควบคุมแรงดันให้คงที่ จะทำงานโดยการนำเอากระแสสลับที่เกิดขึ้นจาก Stator Winding มาแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าตรงแล้วจ่ายให้กับ Exciter Field Winding โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าตรงนี้จะถูกบังคับให้มีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่มาจาก Stator Winding ชุดควบคุมแรงดันนี้มีส่วนสำคัญมากที่จะกำหนดกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน

3.2.2 หลักการทำงานของเจนเนอเรเตอร์

เมื่อทำให้โรเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์หมุน โดยอาศัยตัวคั่นกำลังในการจับจะทำให้ Exciter Field Winding ติดกับสนามแม่เหล็กที่เหลือน้ำค้างอยู่ (residual flux) ดังนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่ Exciter Armature Winding มีกระแสไฟฟ้าสลับไหลและจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรงโดย Rotating Rectifier กระแสไฟฟ้าตรงจะไหลเข้า field winding ของ Main Generator และจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ประกอบกับการหมุนของโรเตอร์ ซึ่งจะติดกับชุดขดลวด Armature ของ Main Generator เกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น และแรงดันไฟฟ้านี้จะส่งผ่านไปยังวงจร AVR (Automatic Voltage Regulator) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะป้อนให้ชุดขดลวด Exciter Field Winding ต่อไป ดังแสดงตามภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 แสดงระบบควบคุมการทำงานของเจนเนอเรเตอร์โดยใช้ AVR

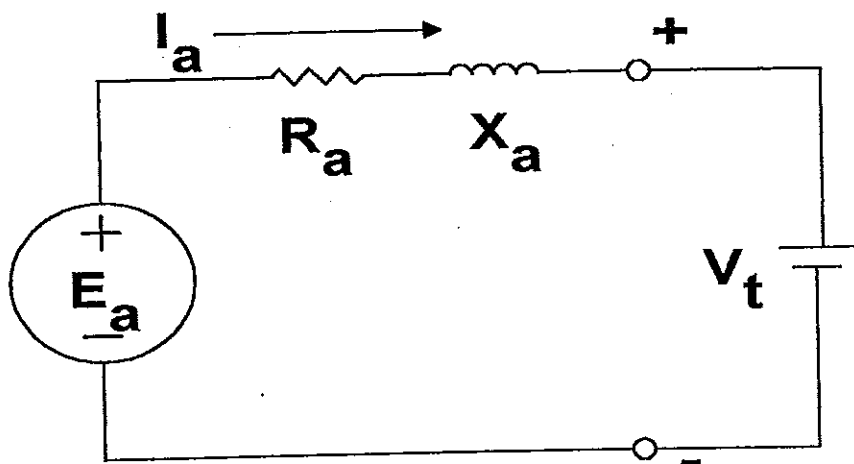
3.2.3 การควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์

สำหรับการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์นั้นเราสามารถทำได้โดยการควบคุมขนาดแรงดันที่ขั้วซึ่งพิจารณาจากสมการแรงดันที่ขั้ว

$$V_t = E_a - I_a(R_a + jX_a) \quad \dots(3.4)$$

R_a : ค่าความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์

X_a : ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาเมเจอร์



ภาพประกอบ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องเจนเนอเรเตอร์

จะเห็นว่าขนาดแรงดันที่ขั้ว (V_f) จะมีค่าแปรตามแรงดันกำเนิด (E_a) และกระแสอาร์มเจอร์ (I_a) ซึ่งกระแสอาร์มเจอร์จะมีค่าแปรตามภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นหากต้องการควบคุมแรงดันที่ขั้วก็ทำได้โดยการควบคุมแรงดันกำเนิด

นอกจากนี้แรงดันกำเนิดจะมีค่าแปรตามความเร็วรอบของโรเตอร์ (ω) และกระแสกระตุ้น (I_f) ดังสมการ

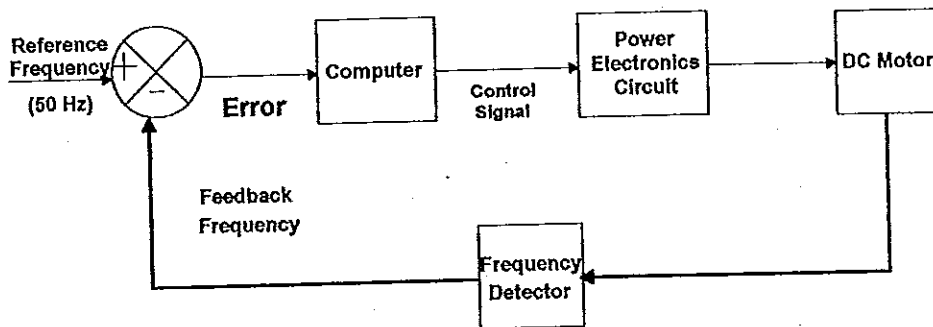
$$E_a = K I_f \omega \quad \dots(3.5)$$

หากควบคุมให้โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่(ก็คือ การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ กระแสตรงให้คงที่นั่นเอง) ขนาดแรงดันกำเนิดจะมีค่าแปรตามกระแสกระตุ้นเท่านั้น

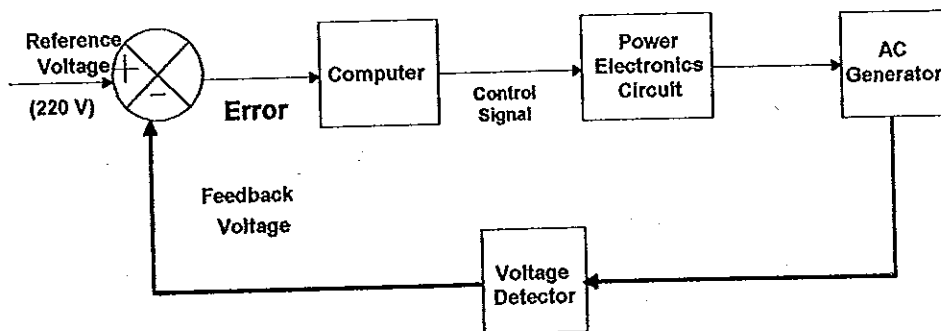
ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการข้างต้นมาใช้ กล่าวคือ แรงดันที่ขั้วจะมีค่าแปรตามแรงดันกำเนิด ซึ่งแรงดันกำเนิดจะมีค่าแปรตามกระแสกระตุ้นเท่านั้น ดังนั้นหากต้องการควบคุมแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์ ทำได้โดยการควบคุมกระแสกระตุ้นของ Exciter Field Winding

3.3 ลักษณะการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้เป็นการควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทำการควบคุมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง และเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสลับ โดยจะต้องควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ได้ความเร็วเชิงโคโรนัส ที่ 1500 รอบ/นาที เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 50 เอ็มพีย ในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมขนาดของกระแสกระตุ้นของเครื่องเจนเนอเรเตอร์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีขนาดเท่ากับ 220 โวลต์ โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงและการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสลับกำเนิดไฟฟ้านั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม ซึ่งใช้วิธีการที่เรียกว่า การควบคุมแบบดิจิทัลโดยตรง (DDC , Direct Digital Control) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์กับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ (220 โวลต์ 50 เอ็มพีย) และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบมาคำนวณค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมเพื่อปรับให้ค่าความเร็วและแรงดันเข้าสู่ค่าอ้างอิง ดังแสดงภาพประกอบ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

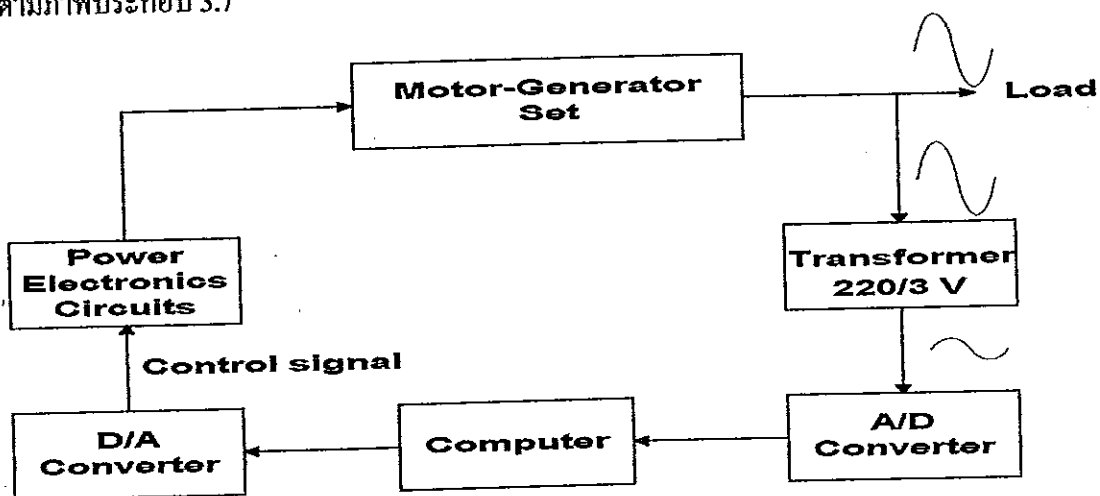


ภาพประกอบ 3.5 แผนภูมิแสดงการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง



ภาพประกอบ 3.6 แผนภูมิแสดงการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถแสดงระบบในการควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้าตามภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 แสดงระบบในการควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 3.7 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ (Motor-Generator Set) เป็นชุดในการผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณไซน์
2. หม้อแปลง (Transformer) ทำหน้าที่แปลงแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิต โดยมีอัตราส่วนการแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์ เป็น 3 โวลต์
3. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอก (สัญญาณไซน์) เป็นสัญญาณดิจิทัล เนื่องจากคอมพิวเตอร์รับได้เฉพาะสัญญาณดิจิทัล
4. คอมพิวเตอร์ (Computer) เป็นหัวใจหลักของระบบ ทำการรับสัญญาณดิจิทัลเพื่อหาค่าความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตได้ แล้วประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม
5. วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (D/A Converter) ทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อส่งไปยังวงจรควบคุมต่อไป
6. วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics Circuit) ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาลอกเพื่อที่จะนำไปควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับให้ได้ตามค่าอ้างอิง

3.4 ชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม

งานวิจัยนี้ทำการควบคุมชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ที่ต่อเข้าด้วยกัน โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Separately Excited-Field DC Motor) โดยมีคุณสมบัติดังนี้ 4.1 กิโลวัตต์, 1500 รอบ/นาที, 220 โวลต์, 21.8 แอมแปร์ (MAWDLEY'S)
- 2) เครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ (AC Generator) โดยมีคุณสมบัติดังนี้ 4 กิโลวัตต์แอมแปร์, 50 เฮิรตซ์, 1500 รอบ/นาที, 380 โวลต์ (ต่อแบบสตาร์), 6.1 แอมแปร์ (MAWDLEY'S)

บทที่ 4

การออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ใช้สำหรับการควบคุมแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับและความเร็วมอเตอร์กระแสตรงซึ่งเป็นจุดประสงค์หลัก การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ การออกแบบตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง และการออกแบบตัวควบคุมแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ

4.1 ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยอาศัยทฤษฎีพีชชีลอจิก

ขั้นที่ 1 การพีชชีพีเคชั่นของอินพุต เป็นการหาอินพุตของระบบ หาช่วงพีชชีของอินพุต และทำการสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้

- กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมความเร็ว

เนื่องจาก (Fitzgerald, 1992) $N = 120f/P$... (4.1)

N : ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

f : ความถี่ (เฮิรตซ์)

P : จำนวนโพลของมอเตอร์

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่าความถี่จะแปรผันตรงกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะควบคุมความเร็วที่ผลิตได้ให้คงที่ที่ 1500 รอบ/นาที เพื่อให้ได้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ดังนั้นอินพุตที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์คือความถี่

ในที่นี้จะกำหนดให้มีอินพุตของระบบ 2 ตัว คือ

1. ค่าความผิดพลาด (Error, E) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความถี่ จากมอเตอร์กระแสตรง (f_g) กับค่าความถี่อ้างอิงที่กำหนดไว้ ($f_{ref} = 50 \text{ Hz}$)

$$\text{Error} (E) = \text{Process Output} (f_g) - 50 \quad \dots (4.2)$$

2. ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (Error Change, Ech) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดล่าสุด (Lated Error) กับค่าความผิดพลาดก่อนหน้านี้ (Previous Error)

$$\text{Error Change} (Ech) = \text{lated Error} (E_l) - \text{previous Error} (E_p) \quad \dots (4.3)$$

โดยตัวแปรทางอินพุตทั้ง 2 ตัวนี้ คำนวณผ่านขั้นตอนของการฟัซซิฟิเคชันในรูปแบบของ ฟัซซี่ของอินพุต โดยการเทียบค่าตัวแปรทางอินพุตกับตาราง 4.1 ซึ่งเป็นค่าควอนไทซ์ (Quantized) ที่กำหนดขึ้น ทำให้สามารถลดจำนวนของอินพุตที่จะนำมาทำฟัซซิฟิเคชันได้

ตาราง 4.1 แสดงค่าควอนไทซ์ ของ E และ Ech ของระบบควบคุมความเร็ว

Error Frequency (E ,Hz)	Error Change Frequency (Ech,Hz)	Quantized Value
$E \geq 2.5$	$Ech \geq 2.5$	+5
$2 \leq E < 2.5$	$2 \leq Ech < 2.5$	+4
$1.5 \leq E < 2$	$1.5 \leq Ech < 2$	+3
$1 \leq E < 1.5$	$1 \leq Ech < 1.5$	+2
$0.5 \leq E < 1$	$0.5 \leq Ech < 1$	+1
$-0.5 < E \leq 0.5$	$-0.5 \leq Ech < 0.5$	0
$-1 < E \leq -0.5$	$-1 < Ech \leq -0.5$	-1
$-1.5 < E \leq -1$	$-1.5 < Ech \leq -1$	-2
$-2 < E \leq -1.5$	$-2 < Ech \leq -1.5$	-3
$-2.5 < E \leq -2$	$-2.5 < Ech \leq -2$	-4
$E \leq -2.5$	$Ech \leq -2.5$	-5

ขั้นที่ 2 การกำหนดตัวแปรเอาต์พุตฟัซซี่ การสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วง

จะช่วง

เราจะกำหนด ตัวแปรทางเอาต์พุตฟัซซี่ 1 ตัวเพื่อที่จะนำไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ที่ใช้ในวงจรชอปเปอร์(Chopper) เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงมีค่าตามค่าความเร็วอ้างอิง(1500 รอบ/นาที) เพื่อให้ได้ความถี่ที่ผลิต 50 เฮิร์ตซ์ และมีการกำหนดค่าจุดศูนย์ถ่วง(Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซี่เพื่อให้สามารถทำการดีฟัซซิฟิเคชันได้ ดังแสดงในตาราง 4.2

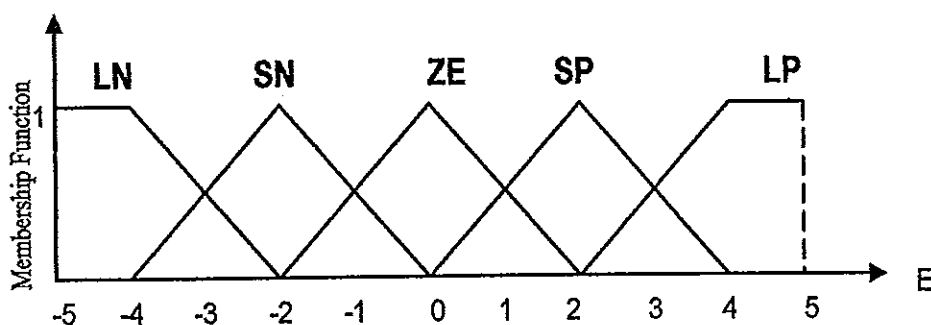
ตาราง 4.2 แสดงค่าจุดศูนย์ถ่วง(Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซี่ระบบควบคุมความเร็ว

Output Status	Assigned Value
LN	-0.2
SN	-0.1
ZE	0
SP	0.1
LP	0.2

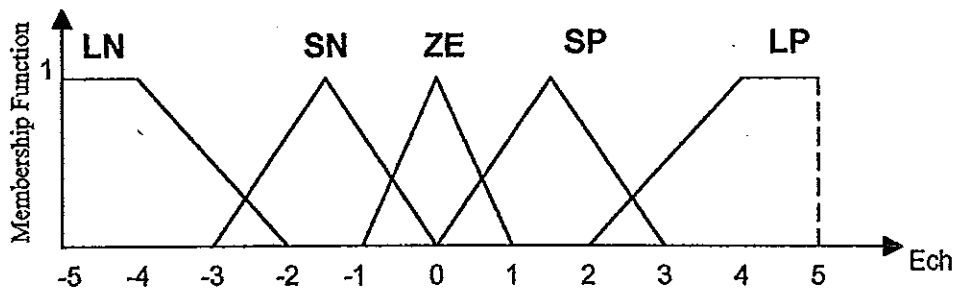
ขั้นที่ 3 การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา (Fuzzy Linguistic) และ การกำหนดค่าความเป็นสมาชิก (Grade of Membership Function) ของ Fuzzy Subset ต่างๆ ที่ระดับการควอนไทซ์ที่แตกต่างกัน การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในที่นี้ เราจะแบ่งระดับของฟัซซี่ที่ใช้กับตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตได้ 5 ภาษา ดังนี้

- Large Positive (LP) : บวกมาก
- Small Positive (SP) : บวกน้อย
- Zero (ZE) : ศูนย์
- Small Negative (SN) : ลบน้อย
- Large Negative (LN) : ลบมาก

โดยจะกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 2 ตัวดังนี้

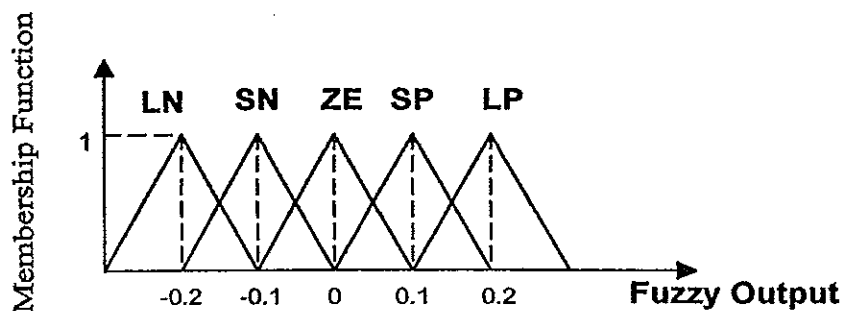


ภาพประกอบ 4.1 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 1 : Error Frequency (E)
ในระบบควบคุมความเร็ว



ภาพประกอบ 4.2 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 2 : Error Change Frequency (Ech)
ในระบบควบคุมความเร็ว

การกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซีนั้นทำได้โดยนำค่าจุดศูนย์ถ่วง (Assigned Value) จากตาราง 4.2 มานั้นเอง ดังภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซีในระบบควบคุมความเร็ว

ขั้นที่ 4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุม หรือ การหากฎเกณฑ์และเงื่อนไขที่สามารถนำค่าจากอินพุตประมวลผลออกไปได้

เมื่อได้ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วก็จะเป็นการสร้างเงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก เพื่อสามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงได้ตามจุดประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบที่เป็นไปได้หรือเป็นการกำหนดให้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกปฏิบัติการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วมอเตอร์กระแสตรงนั่นเอง โดยค่าเอาต์พุตฟัซซีเพื่อนำไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล จะเป็นค่าเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตทั้ง 2 ตัวที่เปลี่ยนแปลงไปตามตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ในระบบควบคุมความเร็วเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลง

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	SN	SN
SN	LN	SN	SN	SN	ZE
ZE	SN	SN	ZE	ZE	SP
SP	ZE	ZE	SP	SP	LP
LP	SP	SP	LP	LP	LP

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ IF...THEN ได้ดังนี้

1. IF E = LN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LN
2. IF E = LN AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = LN
3. IF E = LN AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = LN
4. IF E = LN AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SN
5. IF E = LN AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = SN
6. IF E = SN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LN
7. IF E = SN AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SN
8. IF E = SN AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = SN
9. IF E = SN AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SN
10. IF E = SN AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = ZE
11. IF E = ZE AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = SN
12. IF E = ZE AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SN
13. IF E = ZE AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = ZE
14. IF E = ZE AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = ZE
15. IF E = ZE AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = SP
16. IF E = SP AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = ZE
17. IF E = SP AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = ZE

18. IF E = SP AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = SP
19. IF E = SP AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SP
20. IF E = SP AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = LP
21. IF E = LP AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = SP
22. IF E = LP AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SP
23. IF E = LP AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = LP
24. IF E = LP AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = LP
25. IF E = LP AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = LP

ในที่นี้ใช้ตัวดำเนินการ 'AND' โดยใช้ค่าต่ำสุด(minimum) ของตัวแปรเงื่อนไข(condition) ในการคำนวณผลลัพธ์รวมของฟัซซี่ ซึ่งการเลือกค่าต่ำสุดจะทำให้ความแข็งแกร่งของกฎที่ได้เลือก อยู่แน่นขึ้นกับค่าตัวแปรส่วนเงื่อนไข ที่มีค่าความเป็นสมาชิกน้อยที่สุด (มานะ ถิทธิวิชพันธ์, 2540ค)

เช่น กรณีที่ 1 : IF E = LN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LN

มีความหมายว่า ถ้าความค่าผิดพลาด(E) มีค่าเป็นลบมาก(Large Negative)คือมีค่าน้อยกว่า ค่าแรงดันอ้างอิงมาก และ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด(Ech) มีค่าเป็นลบมาก(Large Negative) คือมีค่าเปลี่ยนแปลงแรงดันลดลงไปจากครั้งที่แล้วมาก แล้วค่าเอาต์พุตฟัซซี่มีค่าลบมาก ซึ่งจะทำให้ค่าคิวซีไซเคิลของแรงดันที่ไปตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กลดลงมากคือแรงดันที่ตกคร่อม ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะลดลง ซึ่งจะทำให้ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเพิ่มขึ้น

ขั้นที่ 5 การดีฟัซซี่ฟิเคชันของเอาต์พุต และการกำหนดวิธีการรวมผลของฟัซซี่ เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่เป็นค่าจริงในรูปครีสปเซต(Crisp set)

จากเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 3 เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของค่าเอาต์พุต จะเห็นว่าในแต่ละอินพุตจะได้ค่าเอาต์พุตฟัซซี่ออกมาหลายค่า เราจึงต้องหาค่าที่แม่นยำเพียงค่าเดียวเพื่อให้ได้ค่าของเอาต์พุตที่แท้จริงของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะใช้กรรมวิธีการหาค่าศูนย์กลางเพื่อหาค่าเซนทรอยด์ โดยหาได้จากสูตร

$$Y = \sum_{n=1}^n (\mu_n * Y_n) / \sum \mu_n \quad \dots(4.4)$$

เมื่อ Y = Crisp Output

μ = Membership Function

$n = \text{Number of Membership} = 1, 2, 3, \dots$

หลังจากที่ได้ทำตามตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นที่ 3 เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ทุก ๆ กรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ จะได้ผลลัพธ์โดยสามารถเขียนเป็นตาราง 4.4 ซึ่งแสดงค่าเอาต์พุต

ตาราง 4.4 แสดงค่าเอาต์พุตทั้งหมดของทุกกรณีที่เกิดขึ้นในระบบควบคุมความเร็วซึ่งได้จากการคำนวณโดยกฎฟัซซี่

Ech \ E	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
-4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
-3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.15	-0.15	-0.15	-0.1	-0.1	-0.05	-0.05	-0.05
-2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0
-1	-0.15	-0.15	-0.15	-0.1	-0.1	-0.05	-0.05	-0.05	0.05	0.05	0.05
0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1
1	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0.15	0.15
2	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2
4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ตัวอย่างการคำนวณค่าของเอาต์พุต ในตาราง 4.4

จากกรณีค่า $E = -3$ อยู่ในฟัซซี่สับเซต LN มีค่า $\mu_1(LN) = 0.5$, $\mu_2(SN) = 0.5$ และค่า $Ech = -5$ มีค่า $\mu(LN) = 1$ ซึ่งจากตาราง 4.3 พบว่าเอาต์พุตฟัซซี่ สามารถเกิดได้ 2 กรณีคือ

- เงื่อนไขกรณีที่ 1 คือ

IF $E = LN$ AND $Ech = LN$ THEN Fuzzy Output = LN

จากเงื่อนไขและตาราง 4.3 จะทราบว่าเอาต์พุตฟัซซี่อยู่ในฟัซซี่สับเซต LN โดยมีค่าเอาต์พุตฟัซซี่ $_1 = -0.2$ และ $\mu(\text{Fuzzy Output}_1)$ คือ

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{Fuzzy Output}_1) &= \min [\mu_1(E), \mu(\text{Ech})] \\
 &= \min [\mu_1(\text{LN}), \mu(\text{LN})] \\
 &= \min [0.5, 1] \\
 &= 0.5
 \end{aligned}$$

และเงื่อนไขกรณีที่ 6 คือ

IF E = SN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LN

จากเงื่อนไขและตาราง 4.3 จะทราบว่า เอาต์พุตฟัซซี่อยู่ในฟัซซี่สับเซต LN โดยมีค่าเอาต์พุตฟัซซี่₂ = -0.2 และ $\mu(\text{Fuzzy Output}_2)$ คือ

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{Fuzzy Output}_2) &= \min [\mu_2(E), \mu(\text{Ech})] \\
 &= \min [\mu_2(\text{SN}), \mu(\text{LN})] \\
 &= \min [0.5, 1] \\
 &= 0.5
 \end{aligned}$$

จากค่าเอาต์พุตฟัซซี่ทั้ง 2 ตัว นำมาหาค่าของเอาต์พุตที่แท้จริง โดยใช้สูตรการหาค่าศูนย์ถ่วงจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{เอาต์พุต} &= [\mu(\text{Fuzzy Output}_2) * \text{Fuzzy Output}_1 + \mu(\text{Fuzzy Output}_1) * \text{Fuzzy Output}_2] / \\
 &[\mu(\text{Fuzzy Output}_1) + \mu(\text{Fuzzy Output}_2)] \\
 &= [0.5 * (-0.2) + 0.5 * (-0.2)] / (0.5 + 0.5) \\
 &= -0.2 \quad \text{ซึ่งตรงกับค่าในตาราง 4.4}
 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 6 การเปลี่ยนค่าเอาต์พุตที่หาได้จากตาราง 4.4 เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัซไค เกิดหลังจากที่ได้ทำดีฟัซซิฟิเคชันเสร็จแล้ว ก็จะได้ผลลัพธ์ในการคำนวณในรูปเอาต์พุต ซึ่งค่าเอาต์พุตนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงได้โดยตรง จึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการที่จะทำการเปลี่ยนให้ค่าของเอาต์พุตนั้นสามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงได้ ซึ่งวิธีการก็คือนำเอาต์พุตไปเปรียบเทียบกับตารางเอาต์พุต(ดังตาราง 4.5) ซึ่งเป็นขั้นตอนการกลับกันกับการหาค่าอินพุตของฟัซซี่ (วินูลย์ ปิยวัฒน์เมธา และคณะ, 2537) เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัซไคเกิด เมื่อได้ทำการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัซไคเกิดแล้ว ก็จะสามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัซไคเกิดไปควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงได้ต่อไป

ตาราง 4.5 แสดงค่าความผันแปรของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของระบบ
ควบคุมความเร็ว

เอาต์พุต	ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิล
[0.16,0.20]	2
[0.11,0.15]	1.5
[0.06,0.10]	1
[0.01,0.05]	0.5
0	0
[-0.05,-0.01]	-0.5
[-0.10,-0.06]	-1
[-0.15,-0.11]	-1.5
[-0.20,-0.16]	-2

เมื่อได้ค่าการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ที่สามารถนำค่าที่ได้ไป
ใช้ในวงจรชอปเปอร์(Chopper) เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อ
ให้ได้ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงตามค่าอ้างอิง

ตัวอย่างการหาค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของตัวควบคุมพีซีแอลจิกจาก

ตาราง 4.5

ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของตัวควบคุมพีซีแอลจิกที่ออกแบบไว้ ใช้เพื่อเพิ่มหรือ
ลดค่าแรงดันที่ไปตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อให้ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงตามค่า
อ้างอิง

เมื่ออยู่ในสถานะไร้ภาระทางไฟฟ้าค่าความถี่ผลิต 50 เฮิร์ตซ์ ที่ดิวตี้ไซเคิล 58 แต่เมื่อมีภาระ
ทางไฟฟ้าจะทำให้ความถี่ลดลงเหลือ 48 เฮิร์ตซ์ ดังนั้น

$$\text{ค่าความผิดพลาด(Error,E)} = 48 - 50 = -2$$

$$\text{ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด(Error Change,Ech)} = -2 - 0 = -2$$

จากตารางกำหนดค่าควอนไทซ์ในตาราง 4.1 จะได้

$$\text{ค่าควอนไทซ์ ของ E} = -4$$

$$\text{ค่าควอนไทซ์ ของ Ech} = -4$$

เมื่อได้ค่าของอินพุตครบทั้ง 2 ตัว แล้วก็สามารถหาค่าของเอาต์พุตได้จากตาราง 4.4 ได้ (ดังตัวอย่างการคำนวณค่าของเอาต์พุต ในตาราง 4.4) คือ เอาต์พุต = -0.20

ซึ่งค่าเอาต์พุต = -0.20 นี้เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไซเคิล (ดังตาราง 4.5) จะ ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไซเคิล = -2 ดังนั้นค่าคิวต์ไซเคิลก็จะมีค่าเท่ากับ $58 - 2 = 56$ ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ไปตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กมีค่าลดลง ซึ่งทำให้ความเร็วมอเตอร์กระแสตรงมีค่ามากขึ้น และเข้าใกล้ค่าความเร็วอ้างอิง(1500 รอบ/นาท) นั่นก็คือความถี่ที่ผลิตได้ก็จะมีค่าเข้าใกล้ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิร์ตซ์)

4.2 ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสกลับ โดยอาศัยทฤษฎีฟuzzyลอจิก

ขั้นที่ 1 การฟuzzyฟิเคชันของอินพุต เป็นการหาอินพุตของระบบ หาช่วงฟuzzyของอินพุต และทำการสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้

- กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมแรงดัน

ในที่นี้จะกำหนดให้มีอินพุตของระบบ 2 ตัว คือ

1. ค่าความผิดพลาด (Error , E) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าแรงดันจากเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสกลับ (V_g) กับแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ ($V_{ref}=220$)

$$\text{Error (E)} = \text{Process Output (} V_g \text{)} - 220 \quad \dots(4.5)$$

2. ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (Error Change,Ech) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดล่าสุด (Lated Error) กับค่าความผิดพลาดก่อนหน้านี้ (Previous Error)

$$\text{Error Change (Ech)} = \text{lated Error (} E_l \text{)} - \text{previous Error (} E_p \text{)} \quad \dots(4.6)$$

โดยตัวแปรทางอินพุตทั้ง 2 ตัวนี้ ต้องนำมาผ่านขั้นตอนของการฟuzzyฟิเคชันในรูปของ ฟuzzyของอินพุต โดยการเทียบค่าตัวแปรทางอินพุตกับตาราง 4.6 ซึ่งเป็นค่าควอนไทซ์ (Quantized) ที่กำหนดขึ้น ทำให้สามารถลดจำนวนของอินพุตที่จะนำมาทำฟuzzyฟิเคชันได้

ตาราง 4.6 การแสดงค่าควอนไทซ์ ของ E และ Ech ของระบบควบคุมแรงดัน

Error Voltage (E ,volt)	Error Change Voltage (Ech,volt)	Quantized Value
$E \geq 15$	$Ech \geq 15$	+5
$12 \leq E < 15$	$12 \leq Ech < 15$	+4
$8 \leq E < 12$	$8 \leq Ech < 12$	+3
$5 \leq E < 8$	$5 \leq Ech < 8$	+2
$2.5 \leq E < 5$	$2.5 \leq Ech < 5$	+1
$-2.5 < E \leq 2.5$	$-2.5 \leq Ech < 2.5$	0
$-5 < E \leq -2.5$	$-5 < Ech \leq -2.5$	-1
$-8 < E \leq -5$	$-8 < Ech \leq -5$	-2
$-12 < E \leq -8$	$-12 < Ech \leq -8$	-3
$-15 < E \leq -12$	$-15 < Ech \leq -12$	-4
$E \leq -15$	$Ech \leq -15$	-5

ขั้นที่2 การกำหนดตัวแปรเอาต์พุตฟัซซี่ การสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เ็นไปได้ใน

แต่ละช่วง

เราจะกำหนดตัวแปรทางเอาต์พุตฟัซซี่ 1 ตัว เพื่อที่จะนำไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงควิตี-
ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ที่ใช้ในวงจรชอปเปอร์(Chopper) เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปตก
คร่อม Exciter Field Winding เพื่อให้ได้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับตามค่า
แรงดันอ้างอิง(220 โวลต์) และมีการกำหนดค่าจุดศูนย์กลาง(Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซี่
เพื่อให้สามารถทำการดีฟัซซิฟิเคชันได้ ดังแสดงในตาราง 4.7

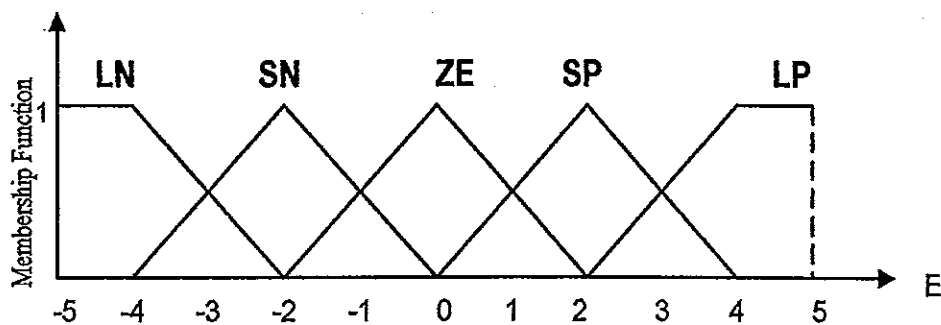
ตาราง 4.7 แสดงค่าจุดศูนย์ถ่วง(Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซี่ในระบบควบคุมแรงดัน

Output Status	Assigned Value
LN	-0.2
SN	-0.1
ZE	0
SP	0.1
LP	0.2

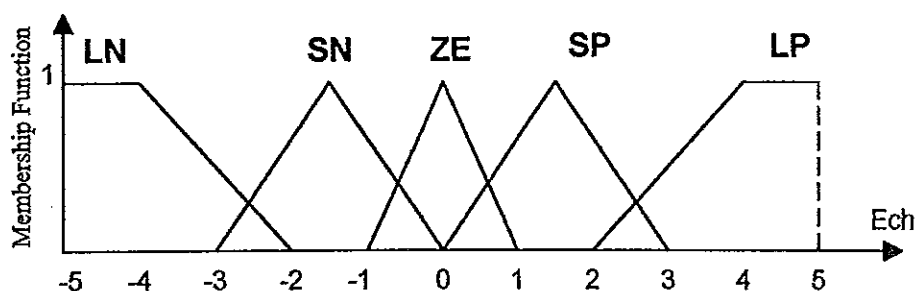
ขั้นที่ 3 การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา (Fuzzy Linguistic) และ การกำหนดค่าความเป็นสมาชิก (Grade of Membership Function) ของ Fuzzy Subset ต่างๆ ที่ระดับการควอนไทซ์ที่แตกต่างกัน การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในที่นี้ เราจะแบ่งระดับของฟัซซี่ที่ใช้กับตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตได้ 5 ภาษา ดังนี้

- Large Positive (LP) : บวกมาก
- Small Positive (SP) : บวกน้อย
- Zero (ZE) : ศูนย์
- Small Negative (SN) : ลบน้อย
- Large Negative (LN) : ลบมาก

โดยจะกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 2 ตัวดังนี้

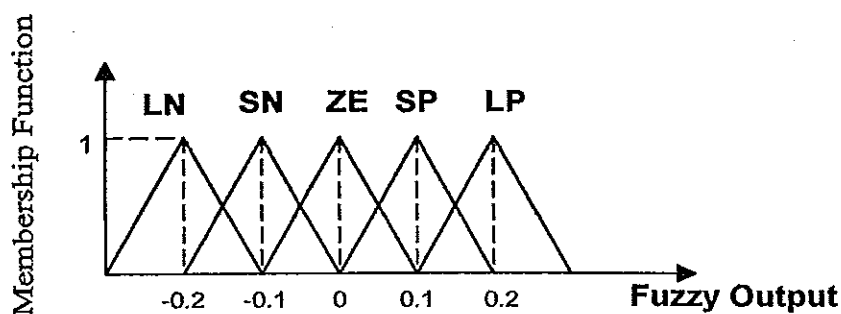


ภาพประกอบ 4.4 แสดง ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 1 : Error Voltage (E)
ในระบบควบคุมแรงดัน



ภาพประกอบ 4.5 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตที่ 2 : Error Change Voltage (Ech)
ในระบบควบคุมแรงดัน

การกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซี่นั้นทำได้โดยนำค่าจุด
ศูนย์ถ่วง (Assigned Value) จากตาราง 4.7 มานั้นเอง ดังภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.6 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซี่ในระบบควบคุมแรงดัน

ขั้นที่ 4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุม หรือ การหากฎเกณฑ์และเงื่อนไขที่สามารถ
นำค่าจากอินพุตประมวลผลออกไปได้

เมื่อได้ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วก็จะเป็นการสร้างเงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการควบคุมของ
ตัวควบคุมฟัซซี่ต่อไป เพื่อสามารถควบคุมแรงดันของเครื่องเงินเนอเรเตอร์กระแสสลับได้ตามจุด
ประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบที่
เป็นไปได้หรือเป็นการกำหนดให้ตัวควบคุมฟัซซี่ต่อไปปฏิบัติการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรง
ดันของเครื่องเงินเนอเรเตอร์กระแสสลับนั่นเอง โดยค่าเอาต์พุตฟัซซี่เพื่อนำไปหาค่าการเปลี่ยน-
แปลงควิตซ์ไซเคิล จะเป็นค่าเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตทั้ง 2 ตัวที่เปลี่ยนแปลงไปตามตาราง 4.8

ตาราง 4.8 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ในระบบควบคุมแรงดันเมื่ออิพู่ ค มีการเปลี่ยนแปลง

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LP	LP	LP	SP	SP
SN	LP	SP	SP	SP	ZE
ZE	SP	SP	ZE	ZE	SN
SP	ZE	ZE	SN	SN	LN
LP	SN	SN	LN	LN	LN

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ IF...THEN ได้ดังนี้

1. IF E = LN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LP
2. IF E = LN AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = LP
3. IF E = LN AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = LP
4. IF E = LN AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SP
5. IF E = LN AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = SP
6. IF E = SN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LP
7. IF E = SN AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SP
8. IF E = SN AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = SP
9. IF E = SN AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SP
10. IF E = SN AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = ZE
11. IF E = ZE AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = SP
12. IF E = ZE AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SP
13. IF E = ZE AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = ZE
14. IF E = ZE AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = ZE
15. IF E = ZE AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = SN
16. IF E = SP AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = ZE
17. IF E = SP AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = ZE
18. IF E = SP AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = SN

19. IF E = SP AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = SN
20. IF E = SP AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = LN
21. IF E = LP AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = SN
22. IF E = LP AND Ech = SN THEN Fuzzy Output = SN
23. IF E = LP AND Ech = ZE THEN Fuzzy Output = LN
24. IF E = LP AND Ech = SP THEN Fuzzy Output = LN
25. IF E = LP AND Ech = LP THEN Fuzzy Output = LN

ในที่นี้ใช้ตัวดำเนินการ 'AND' โดยใช้ค่าต่ำสุด(minimum) ของตัวแปรเงื่อนไข(condition) ในการคำนวณผลลัพธ์รวมของฟัซซี่ ซึ่งการเลือกค่าต่ำสุดจะทำให้ความแข็งแกร่งของกฎที่ได้เลือก อยู่บนพื้นฐานกับค่าตัวแปรส่วนเงื่อนไข ที่มีค่าความเป็นสมาชิกน้อยที่สุด

เช่น กรณีที่ 1 : IF E = LN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LP

มีความหมายว่า ถ้าความค่าผิดพลาด(E) มีค่าเป็นลบมาก(Large Negative)คือมีค่าน้อยกว่า ค่าแรงดันอ้างอิงมาก และ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด(Ech) มีค่าเป็นลบมาก(Large Negative) คือมีค่าเปลี่ยนแปลงแรงดันลดลงไปจากครั้งที่แล้วมาก แล้วค่าเอาต์พุตฟัซซี่มีค่าบวกมาก ซึ่งจะทำให้ค่าคิวตี้ไซเทิลของแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding เพิ่มขึ้นมากคือแรงดันที่ตกคร่อม Exciter Field Winding จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ขั้นที่ 5 การตัดฟัซซี่ฟัซซี่เคชันของเอาต์พุต และการกำหนดวิธีการรวมผลของฟัซซี่ เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่เป็นค่าจริงในรูปครีสปเซต(Crisp set)

จากเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 3 เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของค่าเอาต์พุต จะเห็นว่าในแต่ละ อินพุตจะได้ค่าเอาต์พุตฟัซซี่ออกมาหลายค่า เราจึงต้องหาค่าที่แม่นยำตรงเพียงค่าเดียวเพื่อให้ได้ค่าของ เอาต์พุตที่แท้จริงของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะใช้กรรมวิธีการหาค่าศูนย์กลาง เพื่อหาค่าเซนทรอยด์ โดยหาได้จากสูตรที่ 4.4

หลังจากที่ได้ทำตามตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นที่ 3 เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ทุก ๆ กรณี ที่สามารถเกิดขึ้นได้ จะได้ผลลัพธ์โดยสามารถเขียนเป็นตาราง 4.9 ซึ่งแสดงค่าเอาต์พุต

ตาราง 4.9 แสดงค่าเอาต์พุตทั้งหมดของทุกกรณีที่เกิดขึ้นในระบบควบคุมแรงดันซึ่งได้จากการคำนวณโดยกฎฟัซซี่

Ech \ E	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
-4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
-3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
-2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0
-1	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	-0.05	-0.05	-0.05
0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.15	-0.15	-0.15
2	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
3	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.15	-0.15	-0.15	-0.2	-0.2	-0.2
4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2

ตัวอย่างการคำนวณค่าของเอาต์พุตในตาราง 4.9

จากกรณีค่า $E = -3$ อยู่ในฟัซซี่สับเซต LN มีค่า $\mu_1(LN) = 0.5$, $\mu_2(SN) = 0.5$ และค่า $Ech = -5$ มีค่า $\mu(LN) = 1$ ซึ่งจากตาราง 4.8 พบว่าเอาต์พุตฟัซซี่ สามารถเกิดได้ 2 กรณีคือ

- เส้นไขกรณีที่ 1 คือ

IF $E = LN$ AND $Ech = LN$ THEN Fuzzy Output = LP

จากเส้นไขและตาราง 4.8 จะทราบว่าเอาต์พุตฟัซซี่อยู่ในฟัซซี่สับเซต LP โดยมีค่าเอาต์พุตฟัซซี่ $\mu_1 = 0.2$ และ $\mu(\text{Fuzzy Output}_1)$ คือ

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{Fuzzy Output}_1) &= \min[\mu_1(E), \mu(Ech)] \\
 &= \min[\mu_1(LN), \mu(LN)] \\
 &= \min[0.5, 1] \\
 &= 0.5
 \end{aligned}$$

และ เส้นไขกรณีที่ 6 คือ

IF E = SN AND Ech = LN THEN Fuzzy Output = LP

จากเงื่อนไขและตาราง 4.8 จะทราบว่า เอาต์พุตฟัซซี่อยู่ในฟัซซี่สับเซต SP โดยมีค่า

เอาต์พุตฟัซซี่₂ = 0.2 และ $\mu(\text{Fuzzy Output}_2)$ คือ

$$\begin{aligned}\mu(\text{Fuzzy Output}_2) &= \min [\mu_2(E), \mu(Ech)] \\ &= \min [\mu_2(SN), \mu(LN)] \\ &= \min [0.5, 1] \\ &= 0.5\end{aligned}$$

จากค่าเอาต์พุตฟัซซี่ทั้ง 2 ตัว นำมาหาค่าของเอาต์พุตที่แท้จริง โดยใช้สูตรการหาค่าศูนย์ถ่วงจะได้

$$\begin{aligned}\text{เอาต์พุต} &= [\mu(\text{Fuzzy Output}_2) * \text{Fuzzy Output}_1 + \mu(\text{Fuzzy Output}_1) * \text{Fuzzy Output}_2] / \\ &[\mu(\text{Fuzzy Output}_1) + \mu(\text{Fuzzy Output}_2)] \\ &= [0.5 * (0.2) + 0.5 * (0.2)] / (0.5 + 0.5) \\ &= 0.2 \quad \text{ซึ่งตรงกับค่าในตาราง 4.9}\end{aligned}$$

ขั้นที่ 6 การเปลี่ยนค่าเอาต์พุตที่หาได้จากตาราง 4.9 เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดั๊ไซ เกิดหลังจากที่ได้ทำคิวดั๊ไซฟิเคชันเสร็จแล้ว ก็จะได้ผลลัพธ์ในการคำนวณในรูปเอาต์พุต ซึ่งค่าเอาต์พุตนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมแรงดันเครื่องเงินเนอเตอร์กระแสสลับได้โดยตรง จึงต้องนำผ่านขบวนการที่จะทำการเปลี่ยนให้ค่าของเอาต์พุตนั้นสามารถควบคุมแรงดันเครื่องเงินเนอเตอร์กระแสสลับได้ ซึ่งวิธีการก็นำเอาต์พุตไปเปรียบเทียบกับตารางเอาต์พุต(ดังตาราง 4.10) ซึ่งเป็นขบวนการกลับกันกับการหาค่าอินพุตของฟัซซี่ เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดั๊ไซเกิด เมื่อได้ทำการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดั๊ไซเกิดแล้วก็จะสามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดั๊ไซเกิดไปควบคุมแรงดันเครื่องเงินเนอเตอร์กระแสสลับได้ต่อไป

ตาราง 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของระบบควบคุมแรงดัน

เอาต์พุต	ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิล
[0.16,0.20]	4
[0.11,0.15]	3
[0.06,0.10]	2
[0.01,0.05]	1
0	0
[-0.05,-0.01]	-1
[-0.10,-0.06]	-2
[-0.15,-0.11]	-3
[-0.20,-0.16]	-4

เมื่อได้ค่าการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) แล้ว ก็สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในวงจรชอปเปอร์ (Chopper) เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding เพื่อให้ได้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับตามค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์)

ตัวอย่างการหาค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของตัวควบคุมพีซีแอลจิกจาก
ตาราง 4.10

ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลของตัวควบคุมพีซีแอลจิกที่ออกแบบไว้ ใช้เพื่อเพิ่มหรือลดค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding เพื่อให้ได้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับตามค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์)

เมื่ออยู่ในสถานะไร้ภาระทางไฟฟ้าค่าแรงดันที่ผลิต 220 โวลต์ V ที่ดิวตี้ไซเคิล 58 แต่เมื่อมีภาระทางไฟฟ้าจะทำให้แรงดันลดลงเหลือ 200 โวลต์ ดังนั้น

$$\text{ค่าความผิดพลาด (Error,E)} = 200 - 220 = -20$$

$$\text{ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (Error Change,Ech)} = -20 - 0 = -20$$

จากตารางกำหนดค่าควอนไทซ์ในตาราง 4.6 จะได้

$$\text{ค่าควอนไทซ์ ของ E} = -5$$

ค่าควอนไทล์ ของ Ech = -5

เมื่อได้ค่าของอินพุตครบทั้ง 2 ตัว แล้วก็สามารถหาค่าของเอาต์พุตได้จากตาราง 4.9 (ดังตัวอย่างการคำนวณค่าของเอาต์พุต ในตาราง 4.9) คือ

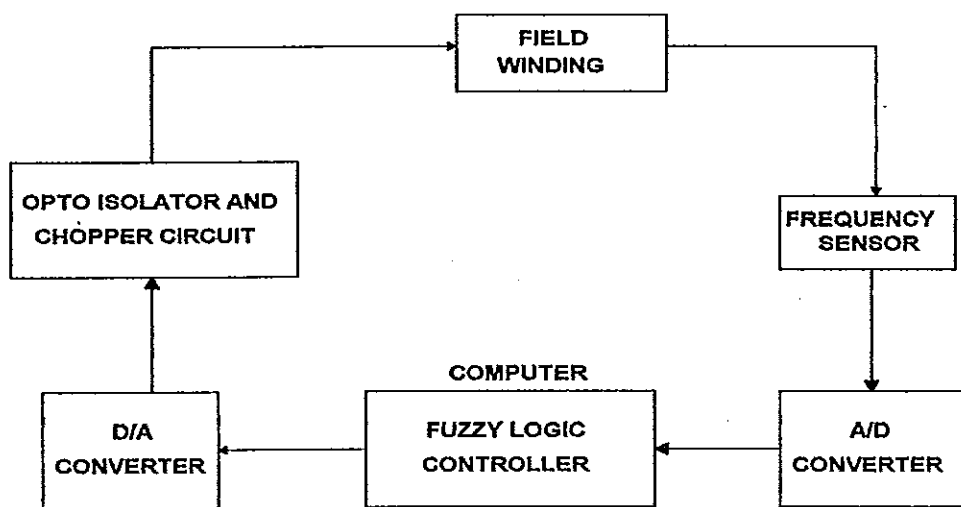
เอาต์พุต = 0.20

ซึ่งค่าเอาต์พุต = 0.20 นี้เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวตี้ไซเคิล(ดังตาราง 4.10) จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวตี้ไซเคิล = 4 ดังนั้นค่าคิวตี้ไซเคิลก็จะมีค่าเท่ากับ $58 + 4 = 62$ ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding มีค่ามากขึ้น แล้วทำให้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับมีค่าเข้าใกล้ค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์)

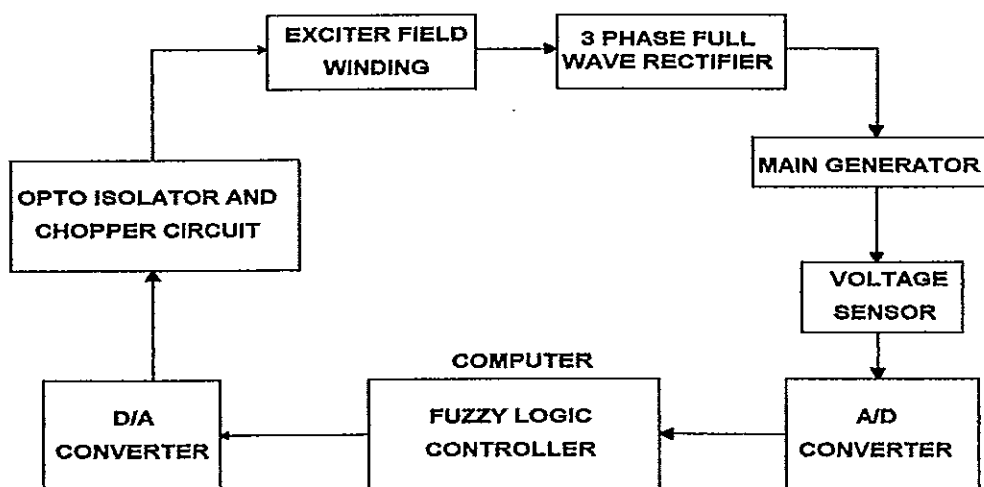
บทที่ 5

ระบบควบคุมชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์

ระบบในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กและแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5.1 แสดงระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง



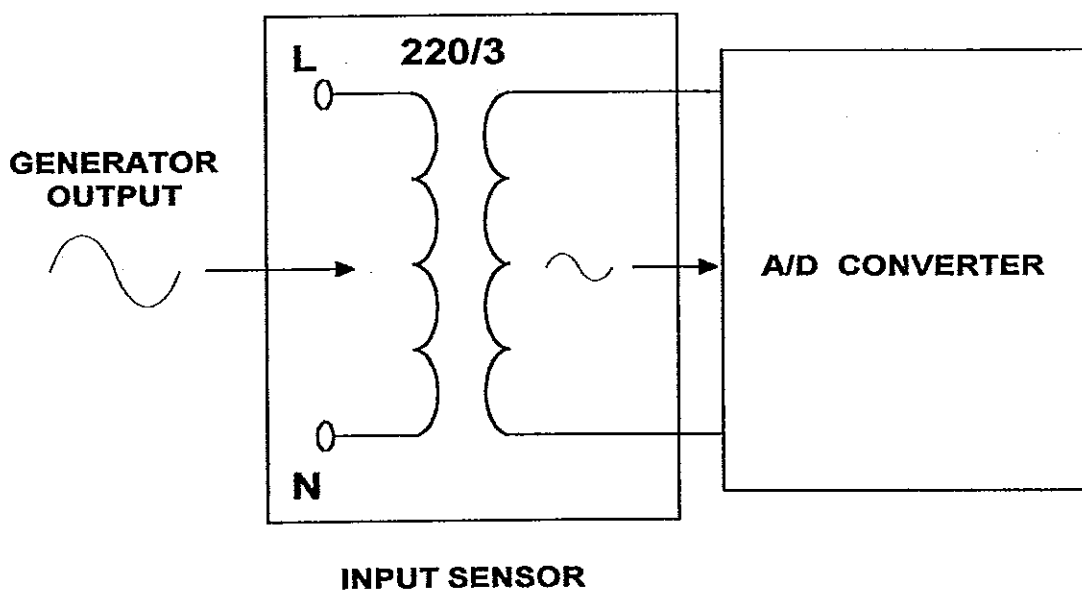
ภาพประกอบ 5.2 แสดงระบบควบคุมแรงดันของเจนเนอเรเตอร์

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบควบคุมทั้งสอง มีอยู่ 5 ส่วน ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.3 ได้แก่

1. ส่วนการรับสัญญาณอินพุต (Input Sensor)
2. ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter , Analog to Digital Converter)
3. ส่วนตัวควบคุมระบบแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller)
4. ส่วนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (D/A Converter , Digital to Analog Converter)
5. ส่วนการส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output Sensor)

5.1 ส่วนการรับสัญญาณอินพุต (Input Sensor)

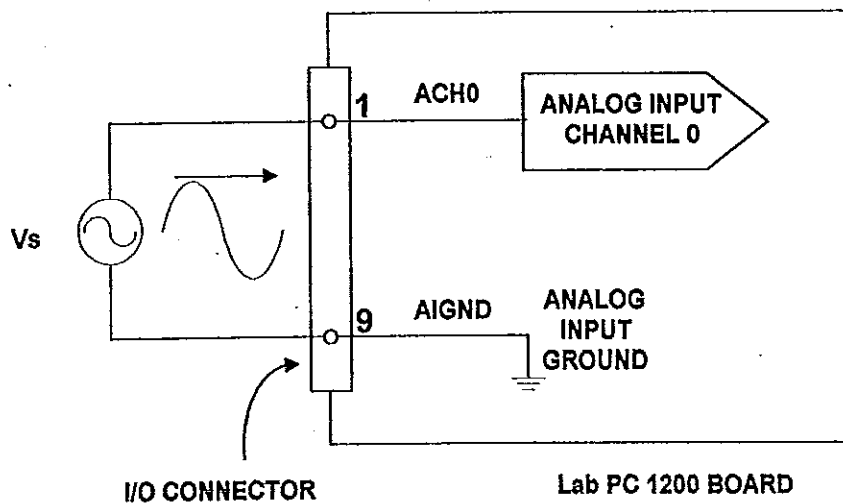
ในส่วนของการรับสัญญาณอินพุตของทั้งระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง และระบบควบคุมแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ รับมาจากไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเจนเนอเรเตอร์ แล้วทำการลดแรงดันผ่านหม้อแปลงจาก 220 โวลต์ เป็น 3 โวลต์ (ดังนั้นเมื่อค่าแรงดันทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ 220 โวลต์ ค่าแรงดันสูงสุดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะมีค่า $3 \times \sqrt{2} = 4.25$ โวลต์) เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลสามารถรับค่าแรงดันสูงสุดอยู่ในช่วง ± 5 โวลต์ ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.4



ภาพประกอบ 5.4 แสดงส่วนการรับสัญญาณอินพุตโดยผ่านหม้อแปลง

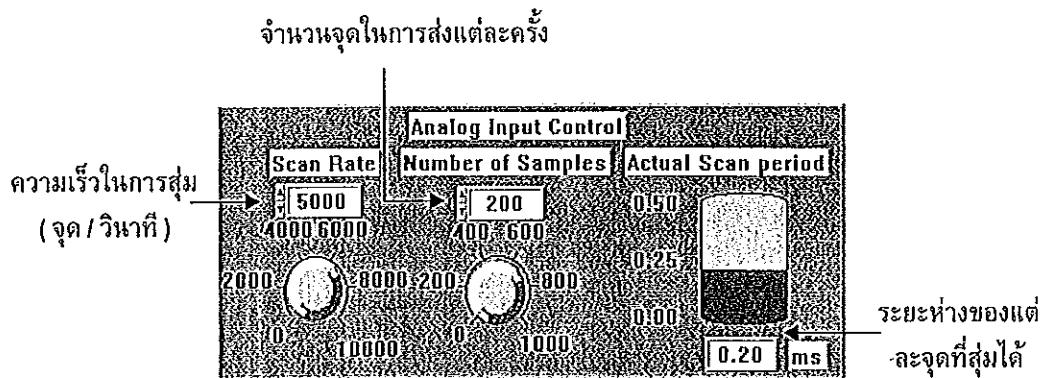
5.2 ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Converter , Analog to Digital Converter)

หลังจากที่ได้สัญญาณอินพุตแล้ว ก็เป็นส่วนในการแปลงสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยส่งสัญญาณอินพุตไปยังการ์ด Lab PC 1200 (ที่ ACH 0) ซึ่งเป็นการ์ดที่สนับสนุนการทำงานของโปรแกรม Labview โดยมีจำนวนบิตของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 12 บิต ความละเอียดของการแบ่งระดับสัญญาณเท่ากับ 4096 ระดับ โดยสัญญาณที่การ์ดสามารถรับได้อยู่ในช่วง ± 5 โวลต์ ดังแสดงดังภาพประกอบ 5.5



ภาพประกอบ 5.5 แสดงการรับสัญญาณอินพุตไปยังการ์ด Lab PC 1200

โดยในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล สามารถมีการกำหนดความเร็วในการสุ่ม (Scan Rate) ได้ถึง 100,000 จุด/วินาที และสามารถกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้งได้ ดังแสดงดังภาพประกอบ 5.6



ภาพประกอบ 5.6 แสดงความเร็วในการสุ่มและจำนวนจุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้ง

โดยใช้โปรแกรม Labview

จากภาพประกอบ 5.6 จะเห็นได้ว่าความเร็วของการสุ่มเท่ากับ 5000 จุด/วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบค่าระยะห่างของแต่ละจุดที่สุ่มได้ = $1/5000$ วินาที

$$= 0.0002 \text{ วินาที}$$

$$= 0.2 \text{ มิลลิวินาที}$$

และจากจำนวนจุดที่สุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 200 จุด ดังนั้น ช่วงเวลาในการสุ่มแต่ละครั้งสามารถคำนวณได้

$$= 0.0002 * 200 \text{ วินาที}$$

$$= 0.04 \text{ วินาที}$$

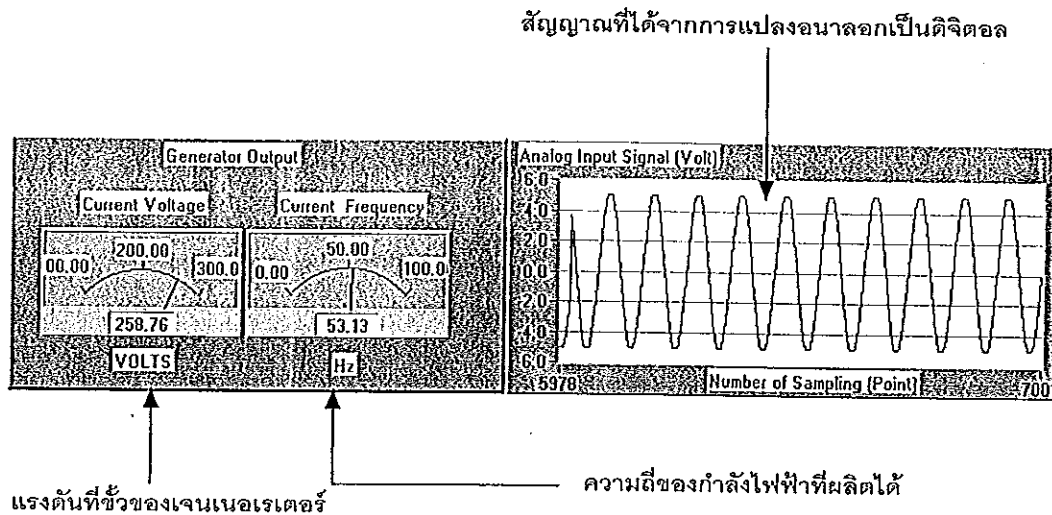
$$= 40 \text{ มิลลิวินาที}$$

เนื่องจากการทดลอง ทำการรบกวนระบบโดยการเพิ่มและลดภาระทางไฟฟ้าสูงสุดอย่างทันทีทันใด ดังนั้นในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในงานวิจัยนี้จึงกำหนดความเร็วในการสุ่ม (Scan Rate) 5,000 จุด/วินาที เพราะในการทดลองสามารถรับค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้รวดเร็วและไม่ทำให้การทำงานของระบบช้าเกินไป นอกจากนี้ในการกำหนดจำนวนจุด 200 จุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้ง (เมื่อความเร็วในการสุ่มเท่ากับ 5,000 จุด/วินาที ทำให้ช่วงเวลาในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 40 มิลลิวินาทีซึ่งเป็น 2 เท่าของคาบของไฟฟ้าที่ผลิตได้) เนื่องจากต้องการเฉลี่ยค่าความถี่และแรงดันที่คำนวณจากโปรแกรม เพื่อลดค่าความผิดพลาดในการหาค่าความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตได้

5.3 ส่วนตัวควบคุมระบบแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller)

เมื่อผ่านขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแล้ว ก็จะทำการหาค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการหาฟัซซี่อินพุต ได้แก่ความถี่เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง และ

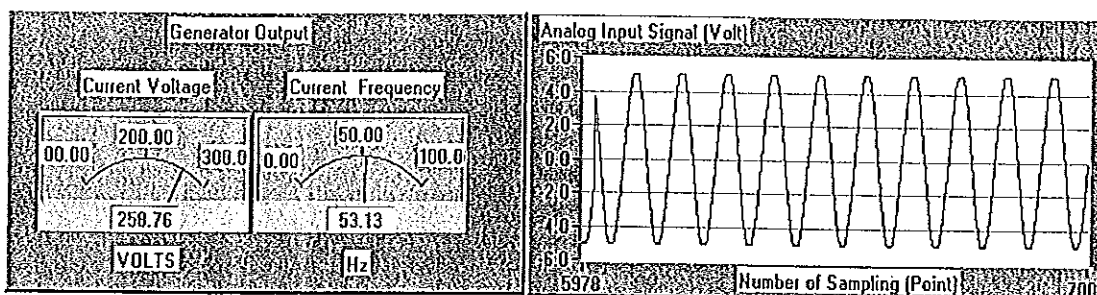
แรงดันเพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ โดยในการคำนวณหาทั้งความถี่และแรงดันสามารถหาจากสัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล แล้วนำมาคำนวณโดยใช้โปรแกรม Labview โดยแสดงดังภาพประกอบ 5.7



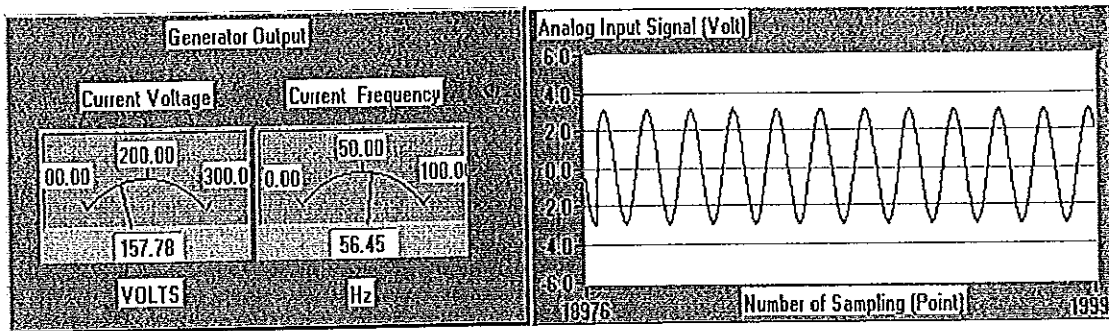
ภาพประกอบ 5.7 แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่เจนเนอเรเตอร์ผลิตได้ โดยคำนวณจากสัญญาณที่ได้จากการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

จากภาพประกอบ 5.7 เราสามารถคำนวณหาแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์ได้จากการหาค่าแรงดันสูงสุดที่ได้จากการสุ่มแต่ละครั้งแล้วนำมาคูณกับค่าสัดส่วนแรงดันของหม้อแปลง ส่วนในการหาค่าความถี่ของไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นสามารถคำนวณได้จากการที่เราทราบระยะห่างของแต่ละจุด และทำการหาช่วงของการเปลี่ยนเครื่องหมายบวกและลบ ทำให้ทราบค่าของคาบ เมื่อทราบคาบก็สามารถหาความถี่ได้

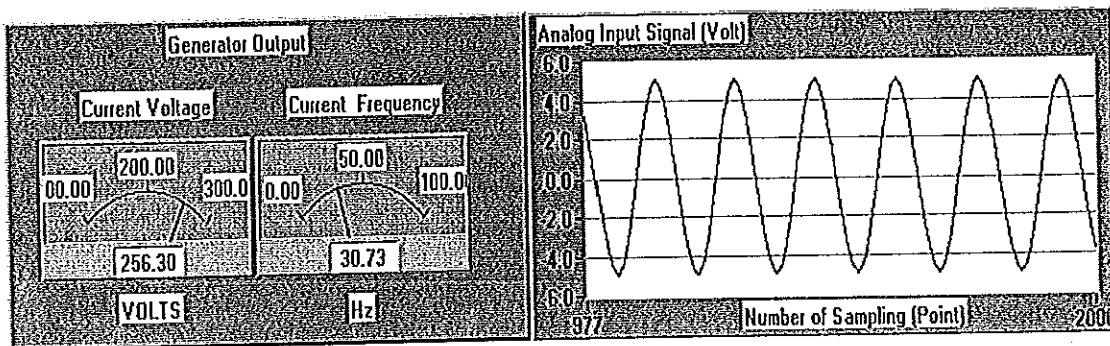
โดยจากภาพประกอบ 5.8 ถึง 5.12 แสดงการค่าแรงดันและความถี่ที่ได้แตกต่างกัน เมื่อสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่จากเจนเนอเรเตอร์



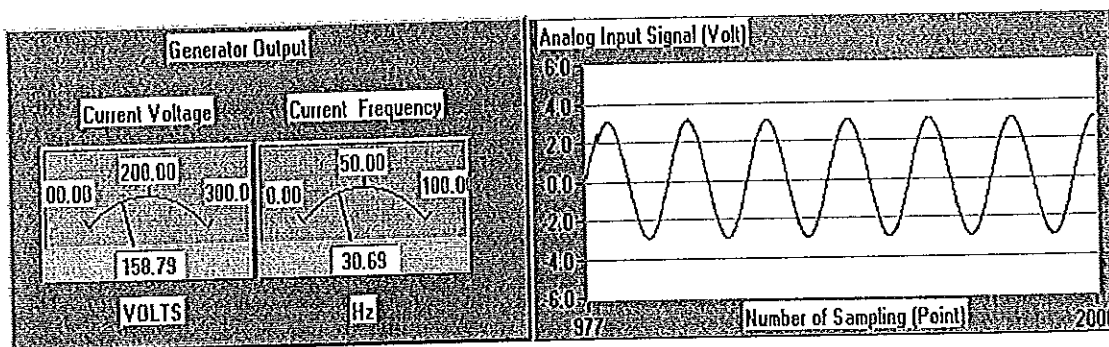
ภาพประกอบ 5.8 แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่สูงกว่าค่าอ้างอิง (220 โวลต์, 50 เฮิรตซ์)



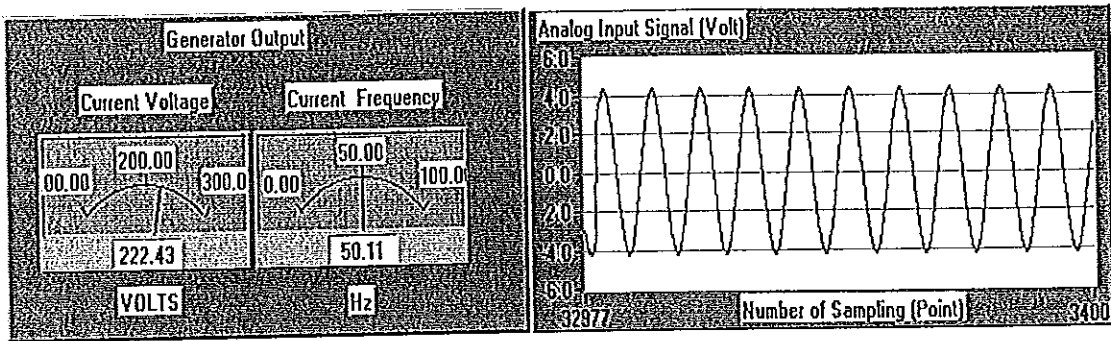
ภาพประกอบ 5.9 แสดงค่าแรงดันต่ำกว่าค่าอ้างอิงแต่ความถี่ที่สูงกว่าค่าอ้างอิง



ภาพประกอบ 5.10 แสดงค่าแรงดันสูงกว่าค่าอ้างอิงแต่ความถี่ที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิง

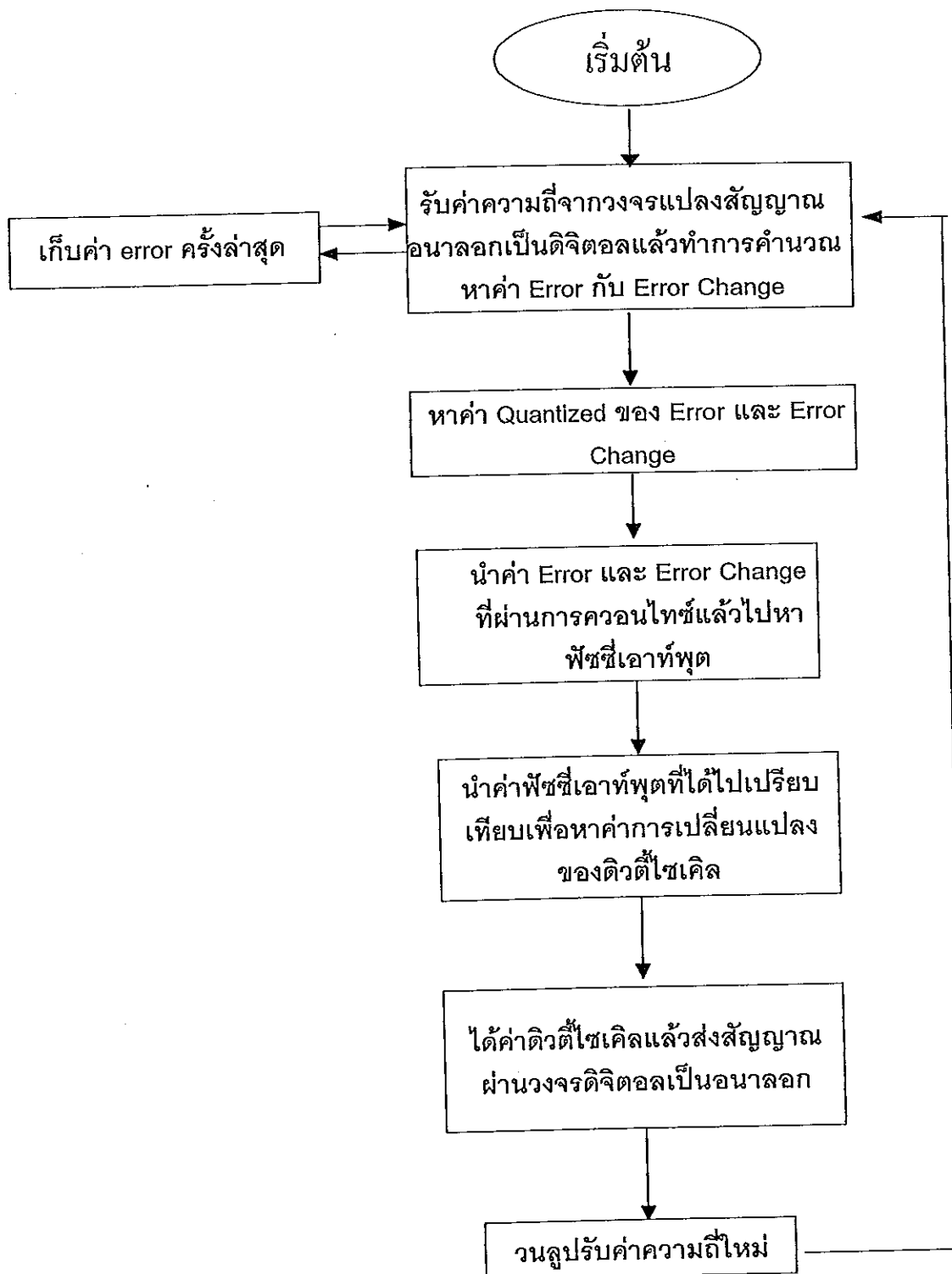


ภาพประกอบ 5.11 แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิง

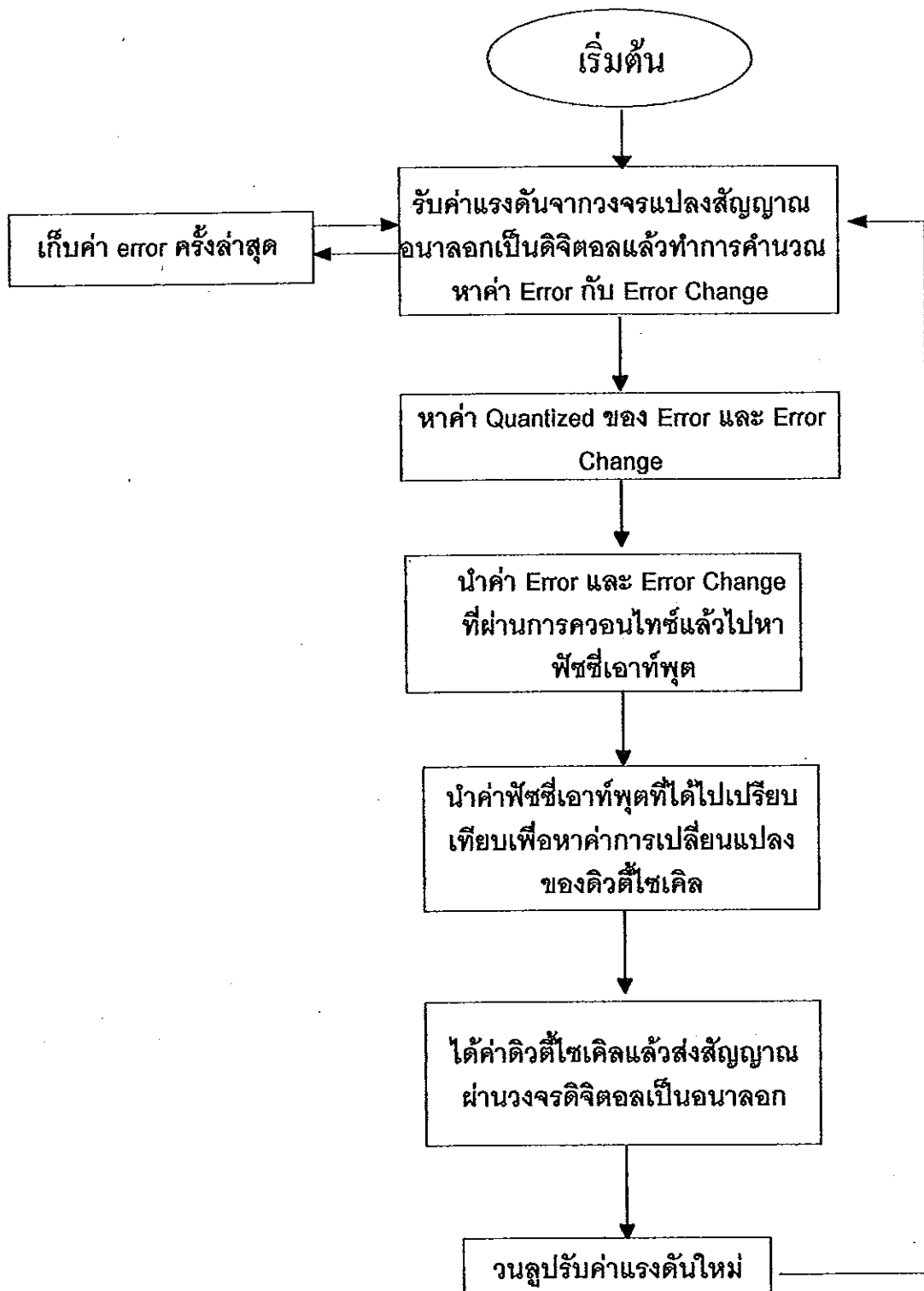


ภาพประกอบ 5.12 แสดงค่าแรงดันและความถี่ที่ใกล้เคียงค่าอ้างอิง

เมื่อได้ค่าอินพุตของฟิซซี่ทั้ง 2 ตัวแล้ว ก็จะคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวต์ไซเคิลของทั้ง 2 ระบบ ส่งผ่านวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กและแรงดันที่ตกคร่อม Exciter Field Winding ของเจนเนอเรเตอร์ เพื่อให้ค่าความถี่และแรงดันที่ได้มีค่าเข้าใกล้ค่าอ้างอิง (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4) ซึ่งแสดงขั้นตอนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง และขั้นตอนการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์ ดังภาพประกอบ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ



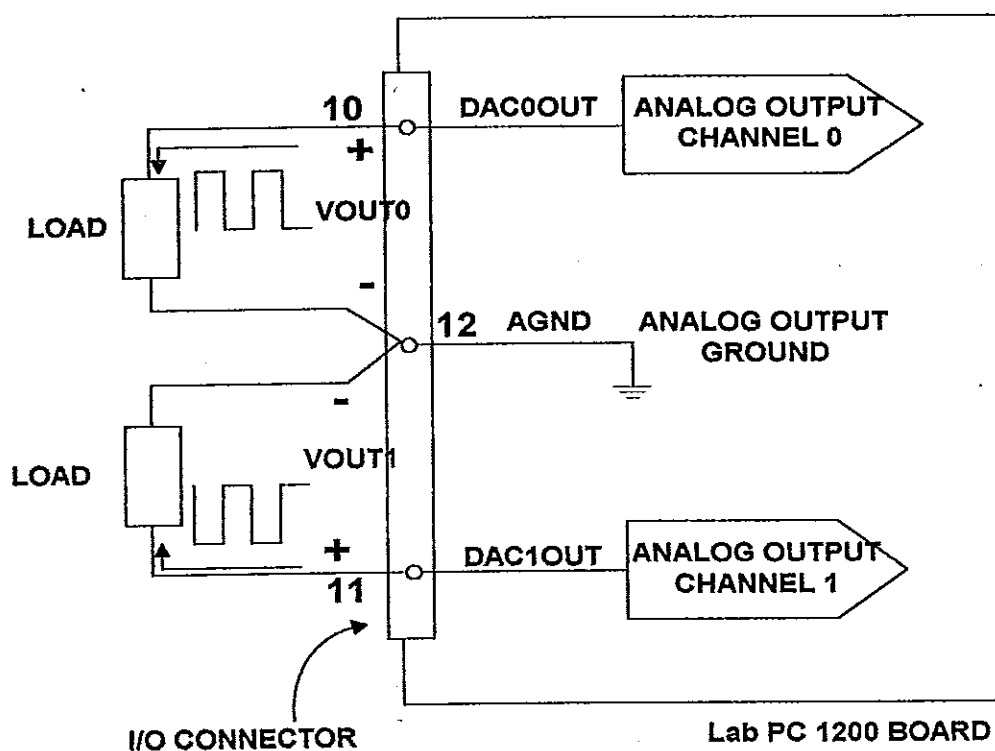
ภาพประกอบ 5.13 แสดงขั้นตอนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง



ภาพประกอบ 5.14 แสดงขั้นตอนการควบคุมแรงดันของเครื่องเจนเนอเรเตอร์

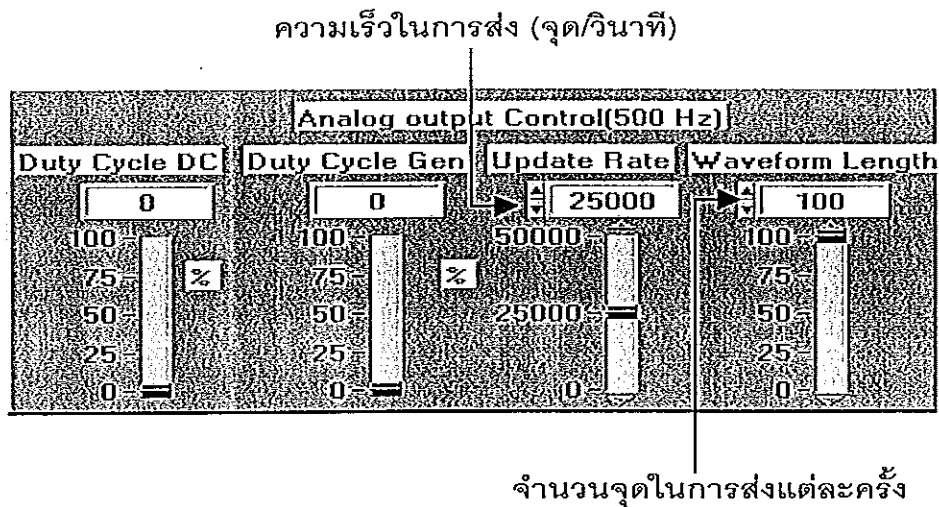
5.4 ส่วนการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (Digital to Analog: D/A Converter)

หลังจากที่ได้สัญญาณค่าการเปลี่ยนแปลงควิตซ์ไซเคิลของระบบทั้งสองจากส่วนตัวควบคุมแบบพีซีที่ถอยจิกอินพุตแล้ว ก็เป็นส่วนการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก โดยส่งสัญญาณแรงดัน + 5 โวลต์ (ซึ่งสามารถกำหนดค่าควิตซ์ไซเคิลตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์) ออกจากการ์ด Lab PC 1200 โดยสัญญาณควบคุมความเร็วมอเตอร์ส่งออกที่ขา 10 ของการ์ด Lab PC 1200 และสัญญาณควบคุมแรงดันแกนเนอเรียเตอร์ส่งออกที่ขา 11 ของการ์ด Lab PC 1200 โดยมีจำนวนบิตของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 12 บิต ความละเอียดของการแบ่งระดับสัญญาณเท่ากับ 4096 ระดับ ดังแสดงผังภาพประกอบ 5.15



ภาพประกอบ 5.15 แสดงการส่งสัญญาณออกจากขา 10 และ 11 ของการ์ด Lab PC 1200

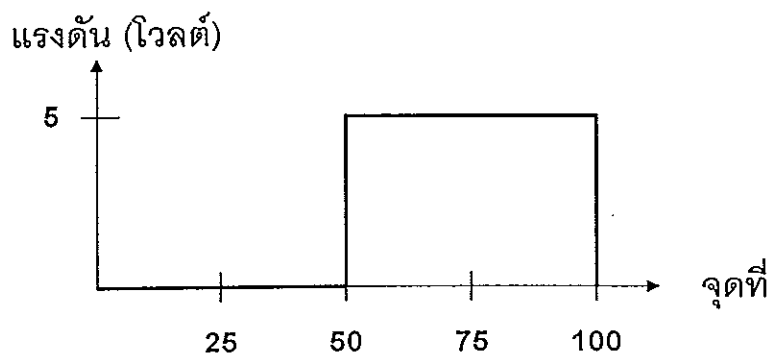
โดยในส่วนของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก สามารถมีการกำหนดความเร็วในการส่ง (Update Rate) และสามารถกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้งได้ ดังแสดงผังภาพประกอบ 5.16



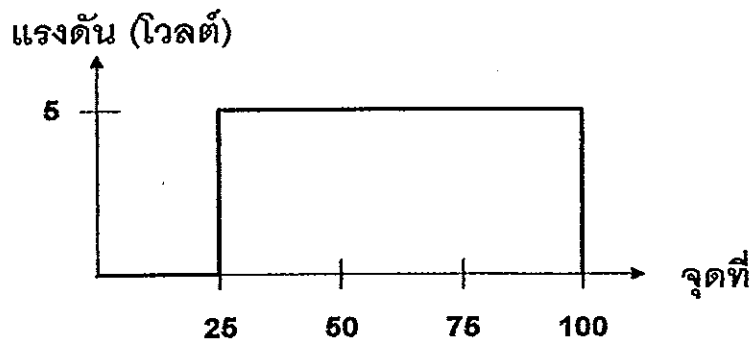
ภาพประกอบ 5.16 แสดงความเร็วในการส่งและจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้ง
โดยใช้โปรแกรม Labview

จากภาพประกอบ 5.16 จะเห็นได้ว่าความเร็วของการส่งเท่ากับ 25000 จุด/วินาที และมีจำนวนจุดในการส่งแต่ละครั้งเท่ากับ 100 จุด แสดงว่าทุกๆ 100/25000 วินาทีจะมีการส่งสัญญาณออกไป ซึ่งเราสามารถหาค่าคาบได้เท่ากับ $1/250$ วินาที ดังนั้นความถี่ในการส่งสัญญาณเท่ากับ $250(250/1)$ เฮิรตซ์

จากจำนวนจุดที่ส่งแต่ละครั้งเท่ากับ 100 จุด เราสามารถกำหนดค่าดีวีทีไอเซลได้จากการกำหนดค่าแรงดันของแต่ละจุด โดยให้ค่าแรงดันที่กำหนดเป็น 0 หรือ 5 โวลต์ เช่น ถ้ากำหนดค่าแรงดันของจุดที่ 1 ถึง 50 เป็น 0 โวลต์ และค่าของจุดที่ 51 ถึง 100 เป็น 5 โวลต์ ดังนั้น ค่าดีวีทีไอเซลเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ ถ้ากำหนดค่าแรงดันของจุดที่ 1 ถึง 25 เป็น 0 โวลต์ และค่าของจุดที่ 26 ถึง 100 เป็น 5 โวลต์ ดังนั้น ค่าดีวีทีไอเซลเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงดังภาพประกอบ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ



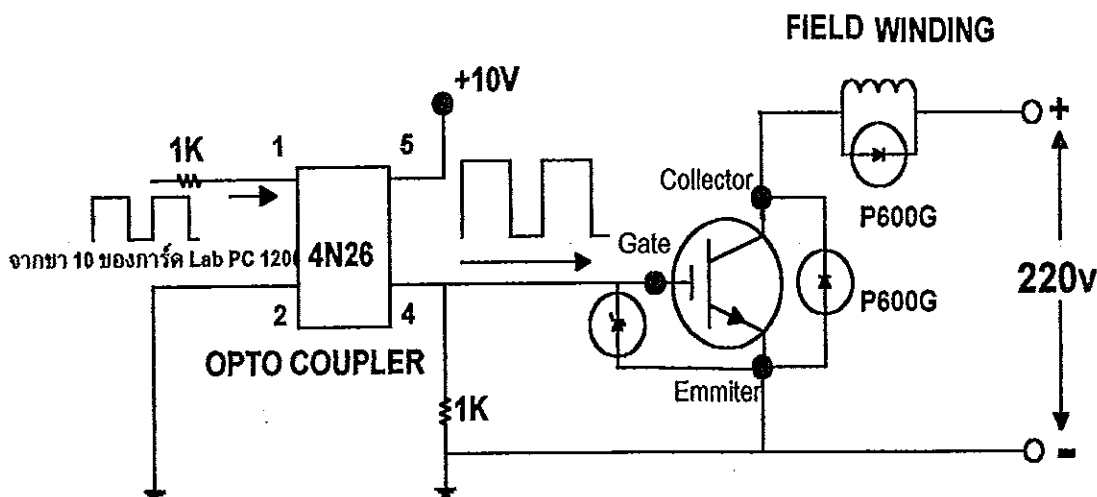
ภาพประกอบ 5.17 แสดงการส่งสัญญาณที่มีค่าดีวีทีไอเซล 50 เปอร์เซ็นต์



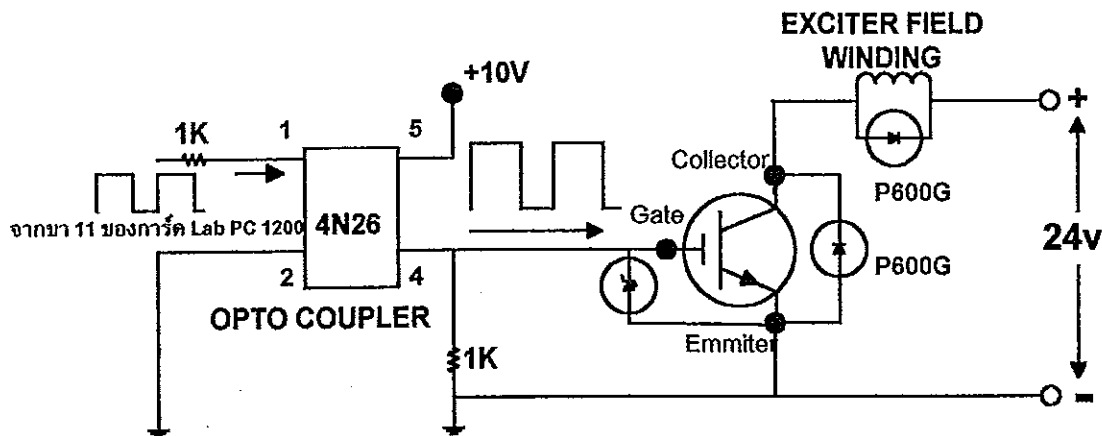
ภาพประกอบ 5.18 แสดงการส่งสัญญาณที่มีค่าตัวชี้วัด 75 เปอร์เซ็นต์

5.5 ส่วนการส่งสัญญาณเอาต์พุต(Output Sensor)

หลังจากได้สัญญาณที่ออกจากขา 10 และ 11 ของการ์ด Lab PC 1200 ซึ่งสามารถกำหนดค่าตัวชี้วัดที่เกิดจากส่วนควบคุมแบบพีซี (โดยใช้โปรแกรม Labview) แล้วสัญญาณที่ส่งออกจากขา 10 เป็นสัญญาณควบคุมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Winding) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง และสัญญาณอนาล็อกที่ส่งออกจากขา 11 เป็นสัญญาณควบคุมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่ตกคร่อม Exciter Field Winding ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.19 และ 5.20 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5.19 แสดงส่วนการส่งสัญญาณไปควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

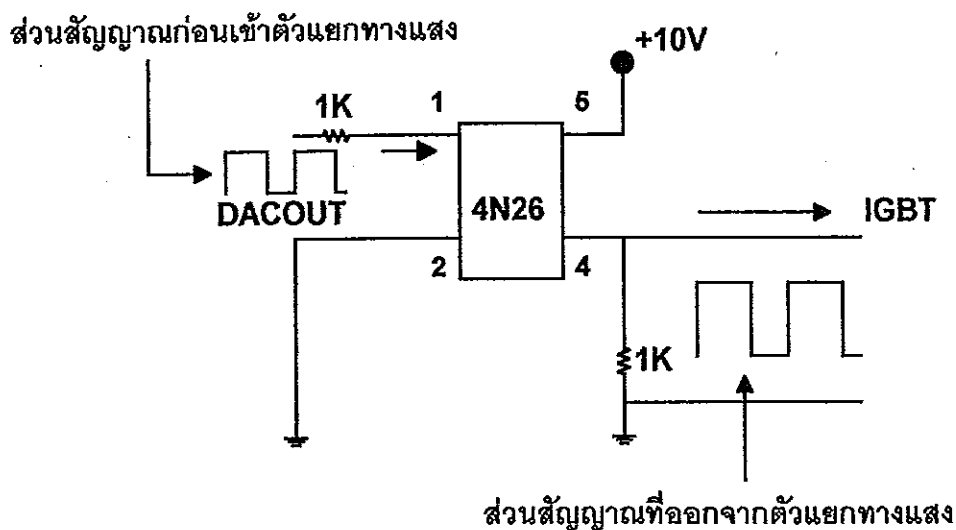


ภาพประกอบ 5.20 แสดงส่วนการส่งสัญญาณไปควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์

จากภาพประกอบ 5.19 และ 5.20 จะเห็นว่าได้มีการแยกกราวด์ระหว่างของวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง โดยใช้ตัวแยกทางแสง(opto-isolator) หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวเชื่อมต่อทางแสง(opto-coupler) ในที่นี้ใช้ตัวแยกทางแสงเบอร์ 4N26 (รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ซึ่งในส่วนการส่งสัญญาณเอาต์พุตจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ (ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.21)

5.5.1 ส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสง

5.5.2 ส่วนสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสง

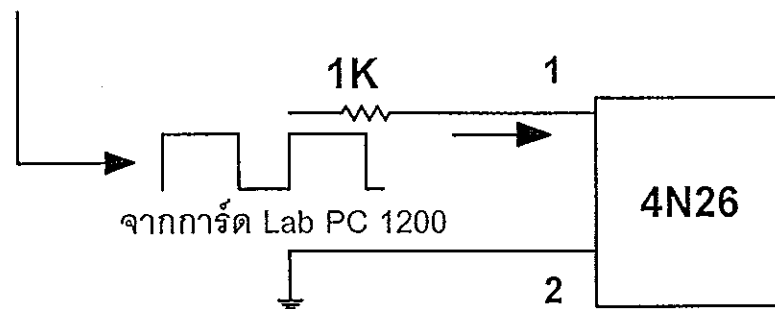


ภาพประกอบ 5.21 แสดงสัญญาณที่เข้าและออกจากตัวแยกทางแสง

5.5.1 ส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสง

เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากการ์ด Lab PC 1200 ดังแสดงในภาพประกอบ 5.22

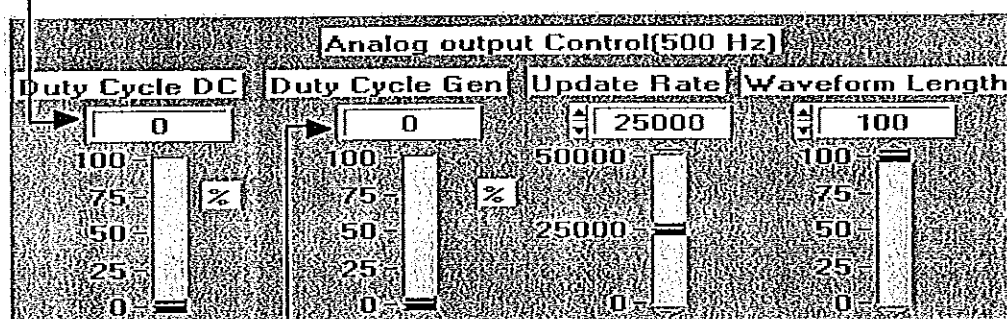
ส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสง



ภาพประกอบ 5.22 แสดงส่วนสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่รับมาจากการ์ด Lab PC 1200

โดยสัญญาณจากขา 10 ของการ์ด Lab PC 1200 เป็นสัญญาณควบคุมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก(Field Winding) ทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง และโดยสัญญาณจากขา 11 ของการ์ด Lab PC 1200 เป็นสัญญาณควบคุมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่ตกคร่อม Exciter Field Winding ทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบโดยสัญญาณที่ได้สามารถกำหนดค่าตัวพีซีเคิลได้ในส่วนของตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก (โดยใช้โปรแกรม Labview , ดังแสดงในภาพประกอบ 5.23)

แสดงค่าตัวพีซีเคิลของสัญญาณที่ส่งจากขา 10 ของการ์ด Lab PC 1200

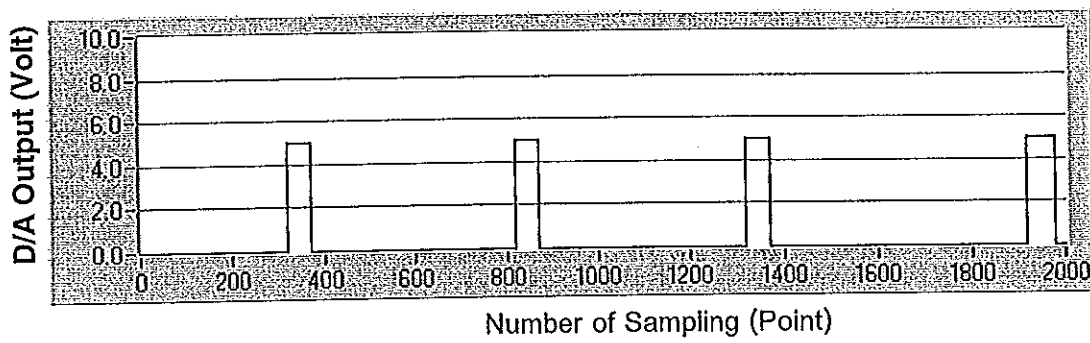


แสดงค่าตัวพีซีเคิลของสัญญาณที่ส่งจากขา 11 ของการ์ด Lab PC 1200

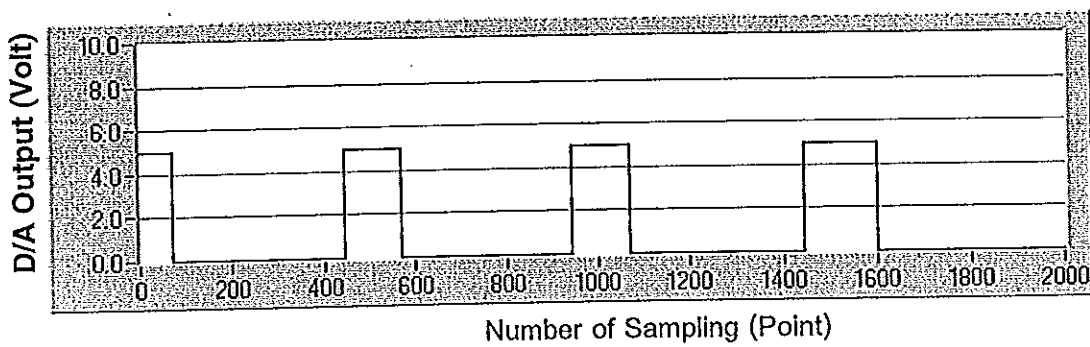
ภาพประกอบ 5.23 แสดงค่าตัวพีซีเคิลของสัญญาณที่ส่งออกจากการ์ด Lab PC 1200

คังแสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไจเกิดต่างกันตามภาพประกอบ 5.24

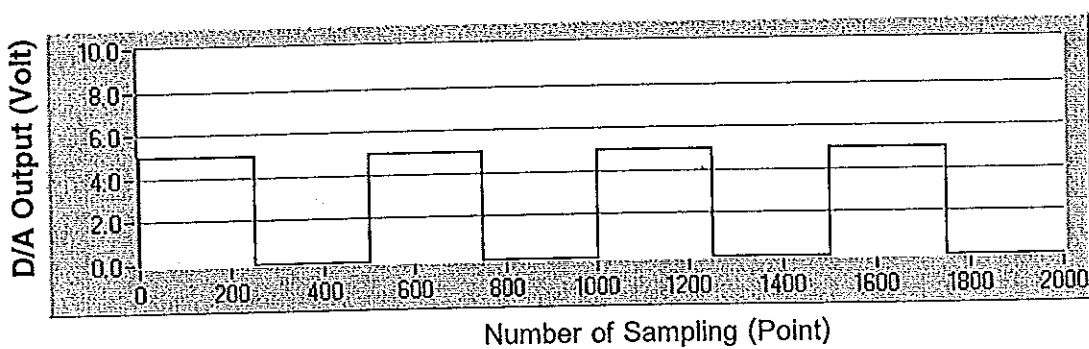
ถึง 5.28



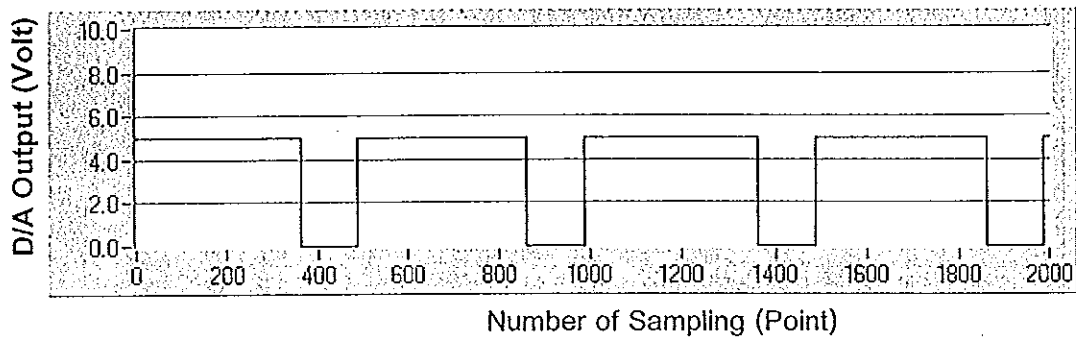
ภาพประกอบ 5.24 แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไจเกิด 10 %



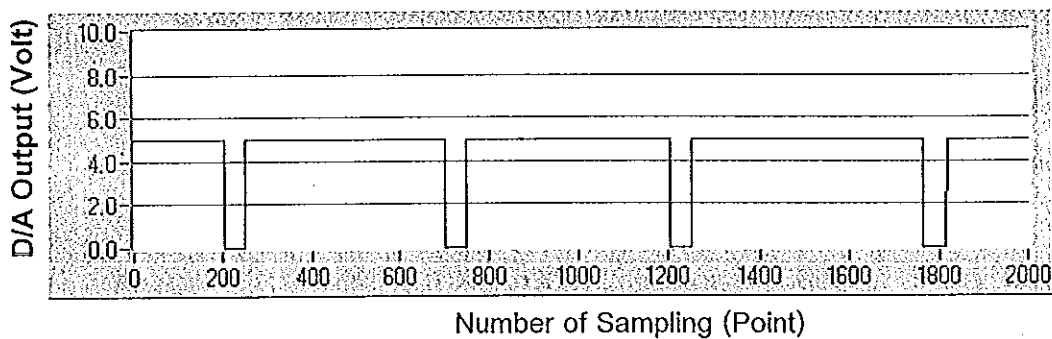
ภาพประกอบ 5.25 แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไจเกิด 25 %



ภาพประกอบ 5.26 แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าควิตี้ไจเกิด 50 %



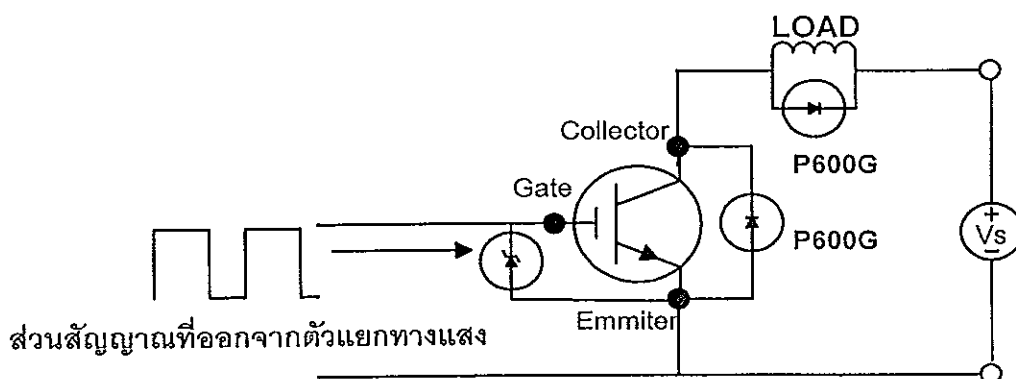
ภาพประกอบ 5.27 แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าคิวตี้ไซเคิล 75 %



ภาพประกอบ 5.28 แสดงภาพสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงที่มีค่าคิวตี้ไซเคิล 90 %

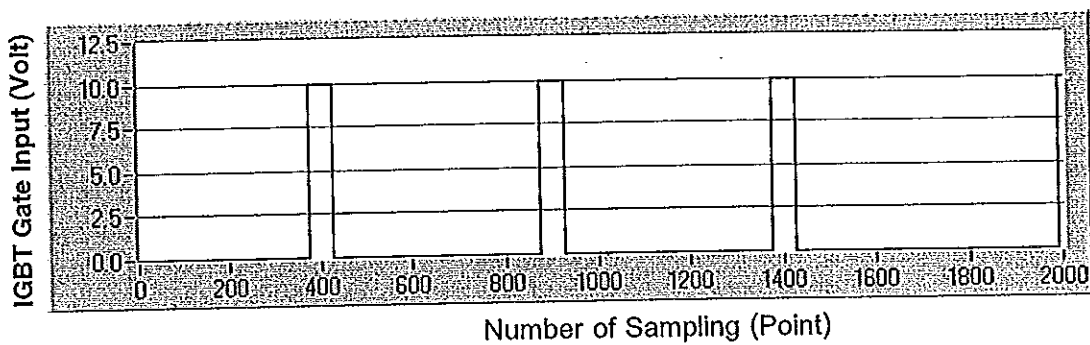
5.5.2 ส่วนสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสง

เป็นส่วนสัญญาณที่เข้าขาเกตของไอจีบีที (รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ก) ซึ่งไอจีบีทีทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งถ้าสัญญาณที่เข้าขาเกตมีแรงดัน 10 โวลต์ ก็จะมีการนำกระแสของไอจีบีที ทำให้มีแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (V_s) ตกคร่อมภาระ (Load) แต่ถ้าสัญญาณที่เข้าขาเกตมีแรงดัน 0 โวลต์ ทำให้ไอจีบีทีหยุดนำกระแส ทำให้ไม่มีแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงตกคร่อมภาระ ซึ่งเรียกวางจรแบบนี้ว่าวงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit) ดังแสดงในภาพประกอบ 5.29

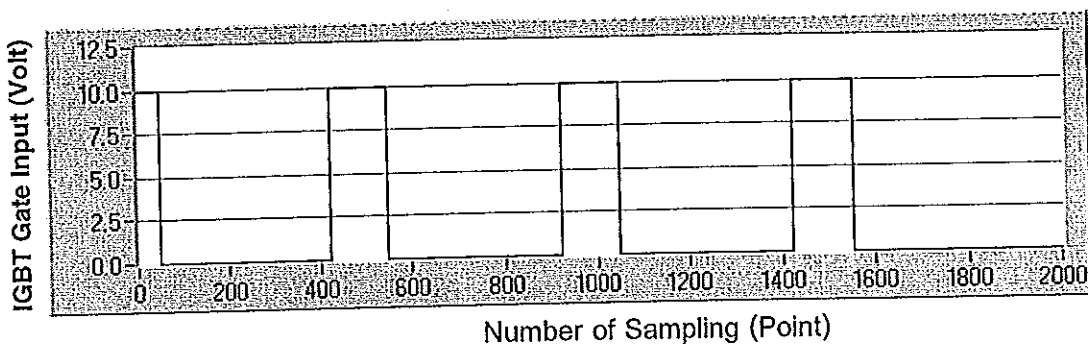


ภาพประกอบ 5.29 แสดงส่วนการทำงานของวงจรชอปเปอร์โดยใช้ไอจีบีที

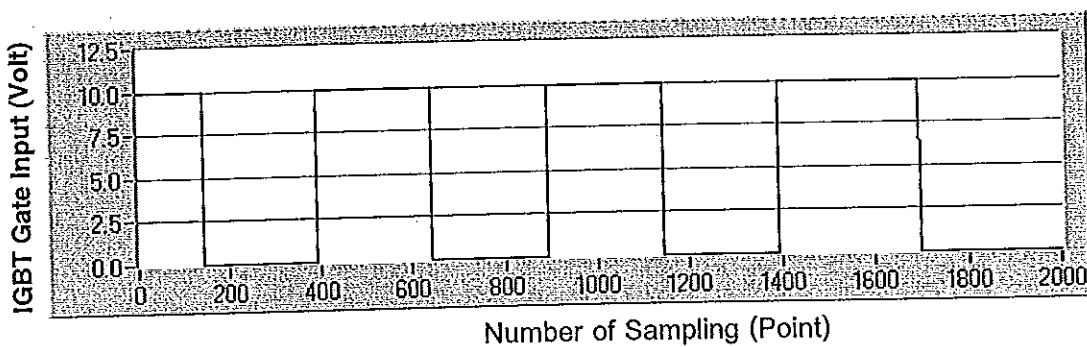
จากหลักการของวงจรชอปเปอร์ที่ได้กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าหากส่วนสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่เข้ามายังขาเกตของไอจีบีทีมีค่าดีวีไอซ์เกิลต่ำ ก็ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมภาระก็ต่ำด้วย และเช่นเดียวกัน หากสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่เข้ามายังขาเกตของไอจีบีทีมีค่าดีวีไอซ์เกิลสูง ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมภาระก็สูงด้วย ดังแสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีวีไอซ์เกิลต่างกันตามภาพประกอบ 5.30 ถึง 5.34



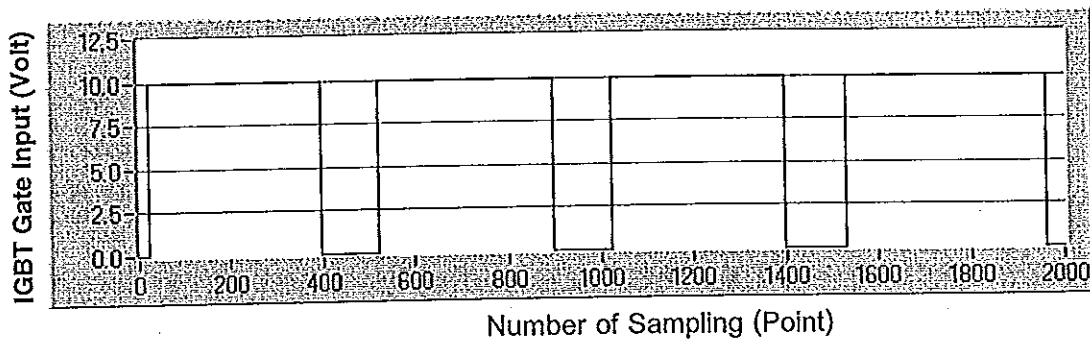
ภาพประกอบ 5.30 แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีวีไอซ์เกิล 10 %



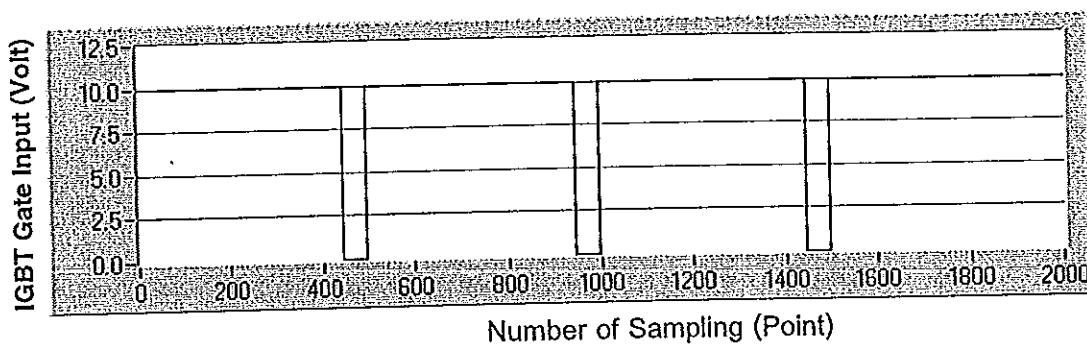
ภาพประกอบ 5.31 แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีวีไอซ์เกิล 25 %



ภาพประกอบ 5.32 แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีวีไอซ์เกิล 50 %



ภาพประกอบ 5.33 แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีไวส์เกิด 75 %



ภาพประกอบ 5.34 แสดงภาพสัญญาณที่ออกจากตัวแยกทางแสงที่มีค่าดีไวส์เกิด 90 %

ตัวอย่างในการควบคุมระบบด้วยตัวควบคุมพีซีลจิก

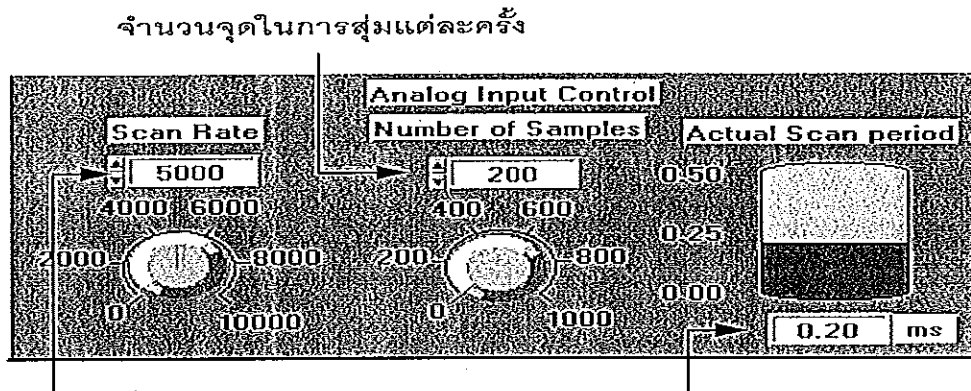
ในที่นี้จะยกตัวอย่างการควบคุมแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ เช่น เมื่ออยู่ในสภาวะไร้ภาระทางไฟฟ้าค่าแรงดันที่ผลิต 220 โวลต์ โดยค่าดีไวส์เกิดเท่ากับ 58 % เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า ค่าดีไวส์เกิดก็คงที่ที่ 58 % แต่เมื่อมีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าแรงดันที่ผลิตลดลงเหลือ 200 โวลต์ ทำให้ระบบการควบคุมแบบพีซีลจิกจะทำงาน เพื่อที่จะรักษาระดับแรงดันอ้างอิงคือ 220 โวลต์ให้ได้แบบทันที (Real-time) โดยมีการทำงานตาม 5 ขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วคือ

1. ส่วนการรับสัญญาณอินพุต (Input Voltage Sensor)

เมื่อมีภาระทางไฟฟ้า ทำให้แรงดันที่ผลิตลดลงเหลือ 200 โวลต์ ทำให้แรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงลดลงด้วย

2. ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter , Analog to Digital Converter)

ทำการสุ่มสัญญาณแรงดันทางด้านทุติยภูมิ โดยสามารถกำหนดค่าความเร็วในการสุ่ม 5000 จุด/วินาที และค่าจำนวนจุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้ง 200 จุด (ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.35) ซึ่งทำให้ทราบช่วงเวลาในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 40 มิลลิวินาที

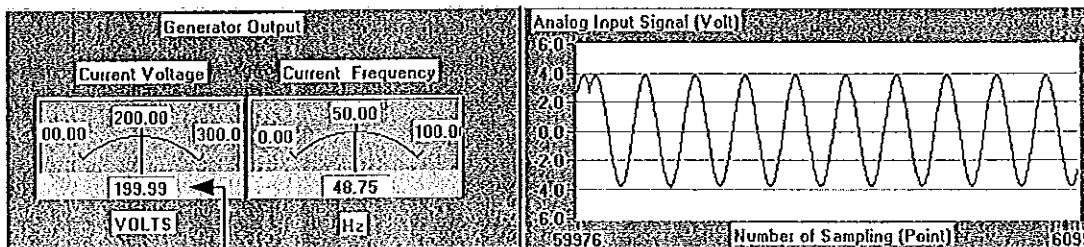


ความเร็วในการสุ่ม (จุด/วินาที) ระยะห่างของแต่ละจุดที่สุ่มได้

ภาพประกอบ 5.35 แสดงความเร็วในการสุ่มและจำนวนจุดที่ใช้ในการสุ่มแต่ละครั้ง
โดยใช้โปรแกรม Labview

3. ส่วนตัวควบคุมระบบแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller)

ทำการรับสัญญาณดิจิตอลแล้วคำนวณหาค่าแรงดันสูงสุดทางด้านทุติยภูมิ เมื่อได้ค่าแล้วก็สามารถหาค่าแรงดันทางด้านปฐมภูมิ(แรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์)ได้ ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.36



ค่าแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์

ภาพประกอบ 5.36 แสดงค่าแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์

เมื่อทราบค่าแรงดันที่ขั้วของเจนเนอเรเตอร์แล้ว ก็จะเป็นขั้นตอนการหาค่าการเปลี่ยนแปลงคิวดัชนีเซลล์ (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจากบทที่ 4) ซึ่งต้องมีการหาค่าอินพุตของฟัซซี่ ในที่นี้ได้แก่

$$\text{ค่าความผิดพลาด(Error,E)} = 200 - 220 = -20$$

$$\text{ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด(Error Change,Ech)} = -20 - 0 = -20$$

จากตารางกำหนดค่าคอนโทรลในตาราง 4.6 (บทที่ 4) จะได้

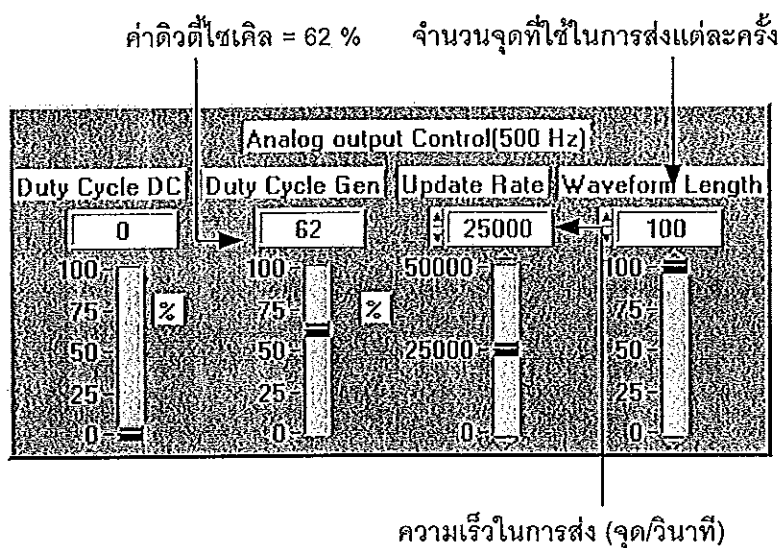
$$\text{ค่าคอนโทรลของ E} = -5$$

ค่าคอนโทรลของ Ech = -5

เมื่อได้ค่าของอินพุตครบทั้ง 2 ตัว แล้วก็สามารถหาค่าของเอาต์พุตได้จากตาราง 4.9 ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ 0.20 เมื่อนำค่าเอาต์พุตนี้ไปหาค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวตี้ไซเคิลจากตาราง 4.10 จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวตี้ไซเคิล = 4 ดังนั้นค่าคิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ $58 + 4 = 62\%$

4. ส่วนการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (D/A Converter , Digital to Analog Converter)

ทำการส่งสัญญาณออกที่ขา 11 ของการ์ด Lab PC 1200 โดยกำหนดค่าความเร็วในการส่ง 25000 จุด/วินาทีและค่าจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้ง 100 จุด(ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.37) ซึ่งทำให้ทราบความถี่ในการส่งเท่ากับ 250 เฮิร์ตซ์

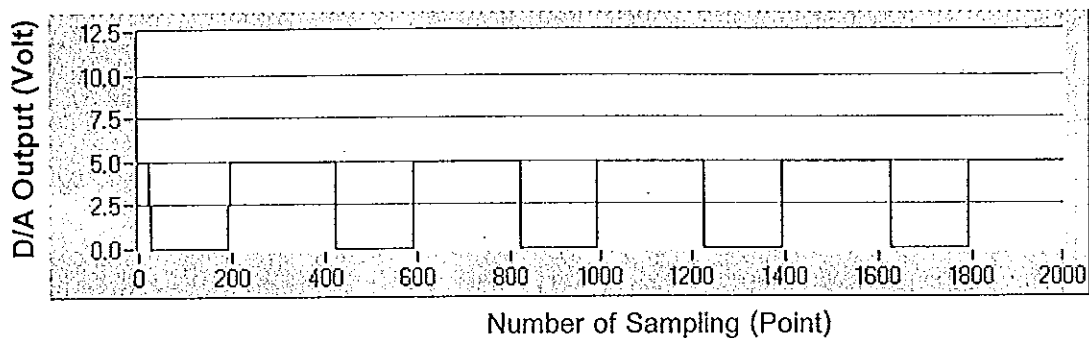


ภาพประกอบ 5.37 แสดงความเร็วในการส่งและจำนวนจุดที่ใช้ในการส่งแต่ละครั้ง ซึ่งมีความถี่ในการส่ง 250 เฮิร์ตซ์

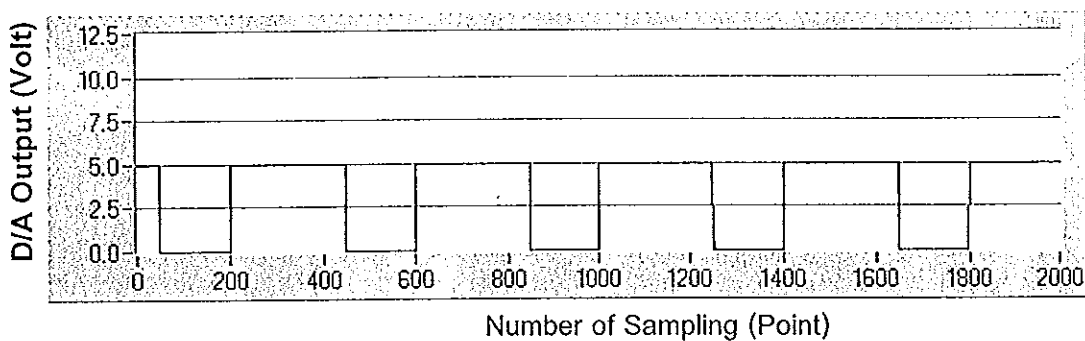
5. ส่วนการส่งสัญญาณเอาต์พุต(Output Sensor)

สัญญาณที่ส่งออกมาเข้าตัวแยกทางแสงเปลี่ยนจากค่าคิวตี้ไซเคิล 58% เป็น 62% ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.38 และ 5.39 ตามลำดับ

ดังนั้นค่าดีวีไอที่เกิดก็จะมีค่าเท่ากับ $58 + 4 = 62\%$ ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding มีค่ามากขึ้น แล้วทำให้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับมีค่าเข้าใกล้ค่าแรงดันอ้างอิง(220 โวลต์)

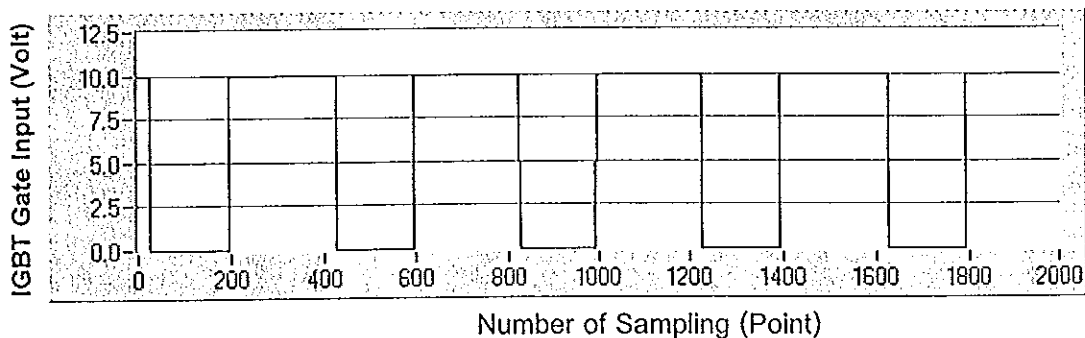


ภาพประกอบ 5.38 แสดงสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงขณะไร้ภาระ ซึ่งมีค่าดีวีไอเกิด 58 %

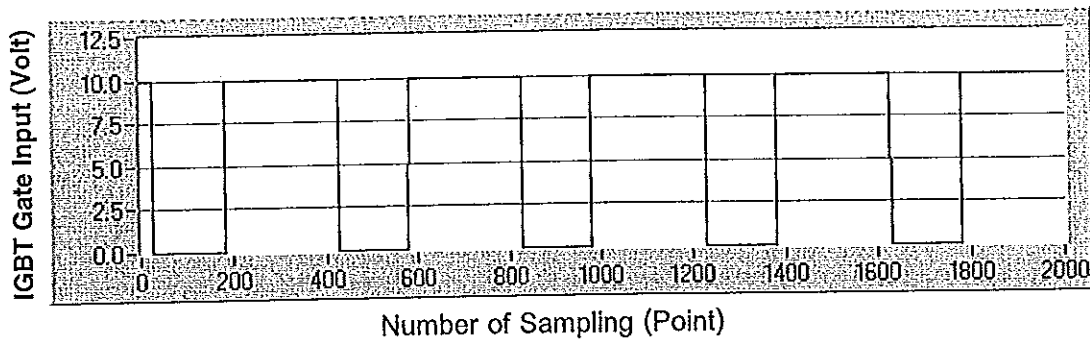


ภาพประกอบ 5.39 แสดงสัญญาณก่อนเข้าตัวแยกทางแสงขณะมีภาระ ซึ่งมีค่าดีวีไอเกิดเพิ่มขึ้นเป็น 62 %

สัญญาณที่ส่งออกจากตัวแยกทางแสงมายังขาเกตของ ไอจีบีทีก็เปลี่ยนจากค่าดีวีไอเกิด 58% เป็น 62% เช่นกัน ดังแสดงตามภาพประกอบ 5.40 และ 5.41 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5.40 แสดงสัญญาณเข้าขาเกตขณะไร้ภาระ ซึ่งมีค่าดีวีไอเกิด 58 %



ภาพประกอบ 5.41 แสดงสัญญาณเข้าขาเกตขณะมีภาระ ซึ่งมีค่าดีวีไอเคิลเพิ่มขึ้นเป็น 62 %

จากการที่ค่าดีวีไอเคิลเพิ่มขึ้นจาก 58 % เป็น 62 % ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ไปตกคร่อม Exciter Field Winding มีค่ามากขึ้น แล้วทำให้แรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับมีค่าเข้าใกล้ค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์) นี่ก็ 1 รอบของการทำงาน หลังจากนั้นก็จะมีการทำงานเหมือนเดิมอีก ค่าดีวีไอเคิลจะมีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าค่าแรงดันที่ขั้วของเครื่องเจนเนอเรเตอร์จะมีค่าประมาณค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์)

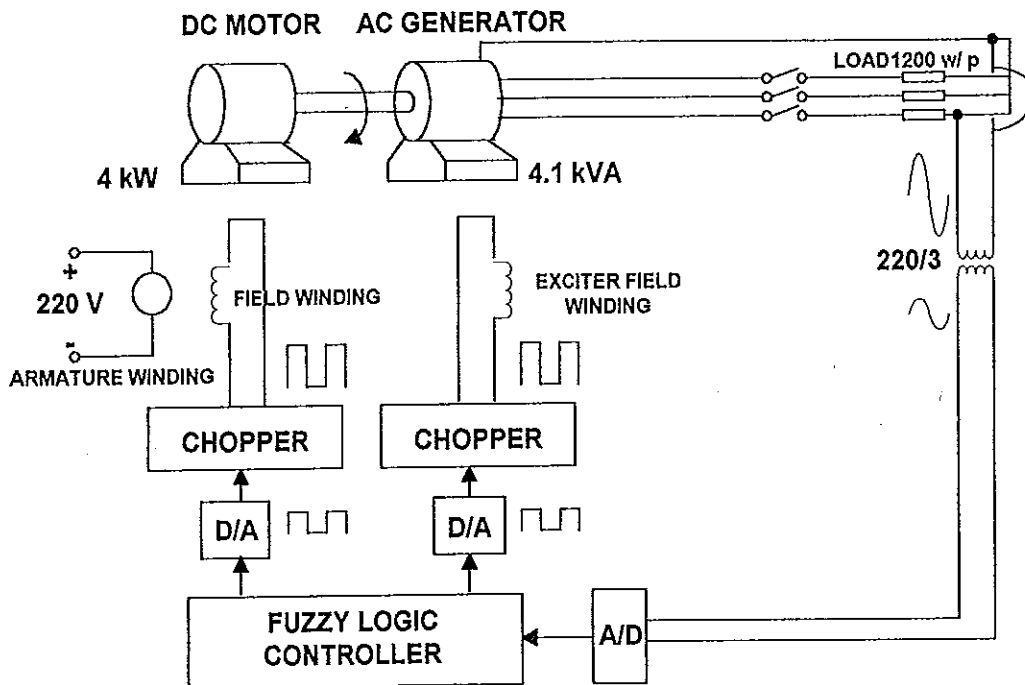
ส่วนระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงก็มีขั้นตอนคล้ายกับระบบควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ โดยมีข้อแตกต่าง 2 ประการคือ

1. ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมเป็นค่าความถี่
2. กฎการควบคุมแบบฟัซซี่แตกต่างกัน

บทที่ 6

ผลและการอภิปรายการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นระบบการควบคุมการผลิตไฟฟ้าโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ระบบควบคุมทั้งหมดเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ โดยระบบทำการควบคุมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับ(Prime mover)และควบคุมเครื่องจักรซิงโครนัส ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ (AC Generator) โดยจะต้องควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ได้ความเร็วที่ซิงโครนัส ที่ 1500 รอบ/นาที เพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ ในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมขนาดของกระแสกระตุ้นของเครื่องเจนเนอเรเตอร์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีขนาดเท่ากับ 220 โวลต์ดังแสดงในภาพประกอบ 6.1



ภาพประกอบ 6.1 แสดงระบบการควบคุมการผลิตไฟฟ้า

โดยทำการทดลอง โดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกแยกกันควบคุมแรงดันและความถี่ที่ผลิตได้ โดยการควบคุมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน กล่าวคือ

1. ส่วนของระบบในการเข้าสู่ค่าอ้างอิง (220 โวลต์ , 50 เฮิร์ตซ์)

เริ่มโดยการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง จากนั้นก็มีการควบคุมทั้งมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องเจนเนอเรเตอร์ในเวลาเดียวกัน

2. ส่วนของการรบกวนระบบ

ทำการรบกวนระบบโดยการสับภาระสูงสุด(เป็นเงื่อนไขที่เลวร้ายที่สุด)ให้แก่ชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 1200 W/phase โดยครั้งแรกทำการเพิ่มภาระ และครั้งที่ 2 ทำการลดภาระ

ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 7 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมีการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแตกต่างกัน ซึ่งให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันดังนี้

6.1 การทดลองครั้งที่ 1

ส่วนที่ 1. ทำการออกแบบระบบควบคุมความเร็ว ซึ่งมีกฎการควบคุมระบบและค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุม ดังแสดงตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ

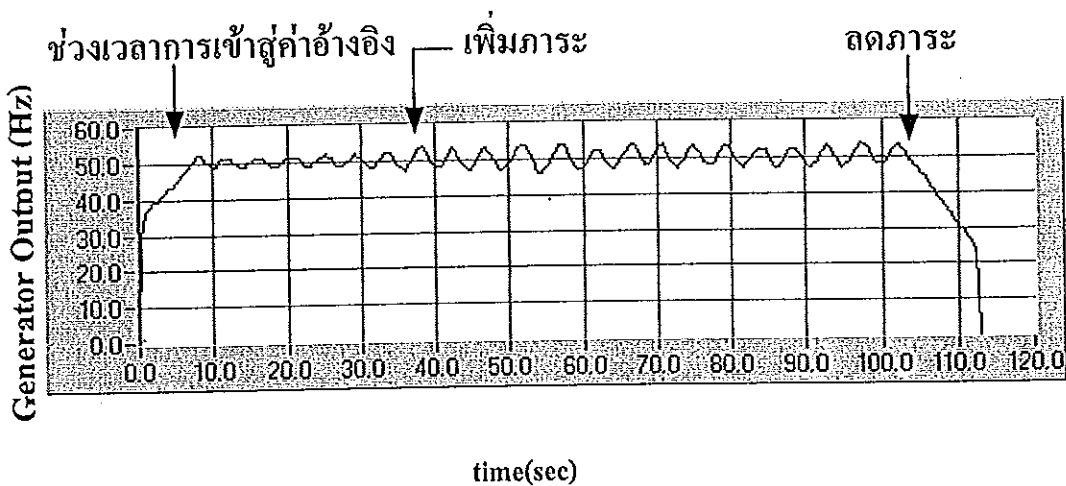
ตารางที่ 6.1 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ของการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 1

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	LN	LN
SN	LN	SN	SN	SN	SN
ZE	SN	ZE	ZE	ZE	SP
SP	SP	SP	SP	SP	LP
LP	LP	LP	LP	LP	LP

ตาราง 6.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดีไซเคิลของระบบ
ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 1

เอาต์พุต	ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดีไซเคิล
[0.16,0.20]	4
[0.11,0.15]	3
[0.06,0.10]	2
[0.01,0.05]	1
0	0
[-0.05,-0.01]	-1
[-0.10,-0.06]	-2
[-0.15,-0.11]	-3
[-0.20,-0.16]	-4

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.2



ภาพประกอบ 6.2 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 1

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.2 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง (50 เฮิรตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 1 เฮิรตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบจะเกิดการแกว่ง โดยจะแกว่งอยู่ในช่วง ± 3 เฮิรตซ์ ซึ่งน่าจะมีผลมาจากการออกแบบกฎการควบคุมระบบและค่าความถี่ขั้นพื้นฐานของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวรีเลย์ของระบบควบคุม

ส่วนที่ 2. ทำการออกแบบระบบควบคุมแรงดัน ซึ่งมีกฎการควบคุมระบบและค่าความถี่ขั้นพื้นฐานของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวรีเลย์ของระบบควบคุม ดังแสดงตามตาราง 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ

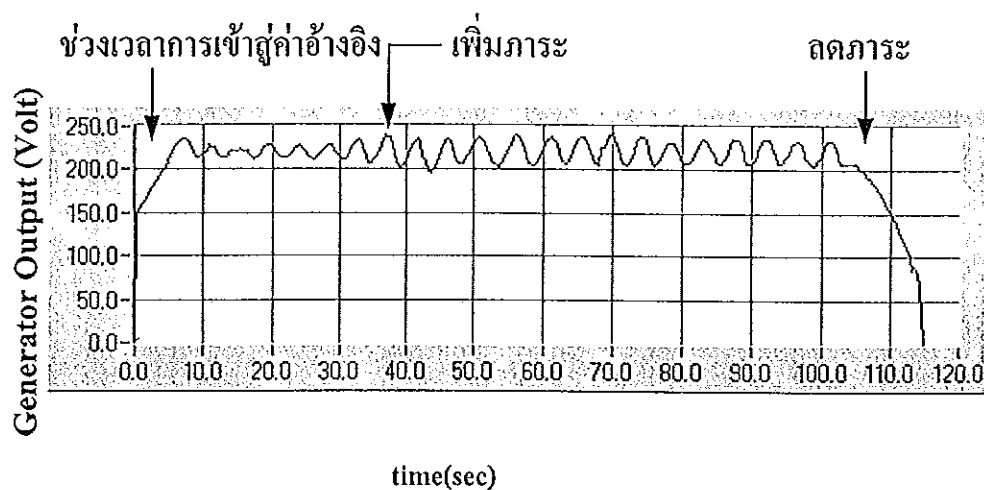
ตาราง 6.3 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตที่ใช้ของการควบคุมแรงดันเงินเนอเรเตอร์ ในการทดลองครั้งที่ 1

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LP	LP	LP	LP	LP
SN	LP	SP	SP	SP	ZE
ZE	SP	ZE	ZE	ZE	SN
SP	SN	SN	SN	SN	LN
LP	LN	LN	LN	LN	LN

ตาราง 6.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัไฮเกิล
ของระบบควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ในการทดลองครั้งที่ 1

เอาต์พุต	ค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดัไฮเกิล
[0.16,0.20]	4
[0.11,0.15]	3
[0.06,0.10]	2
[0.01,0.05]	1
0	0
[-0.05,-0.01]	-1
[-0.10,-0.06]	-2
[-0.15,-0.11]	-3
[-0.20,-0.16]	-4

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.3



ภาพประกอบ 6.3 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 1

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.3 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 5 โวลต์

2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบเกิดการแกว่ง โดยจะแกว่งอยู่ในช่วง ± 20 โวลต์ โดยมีผลมาจากค่าความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากภาพประกอบ 6.2 เนื่องจากค่าแรงดันที่ผลิตได้มีค่าแปรผันตรงกับค่าความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง นั่นก็คือค่าความถี่ที่ผลิตได้นั้นเอง โดยไม่อาจสรุปได้ว่าการออกแบบกฎการควบคุมระบบและค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุมดีหรือไม่

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1 พบว่าต้องมีการแก้ไขการออกแบบกฎการควบคุมระบบและค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุมความเร็ว

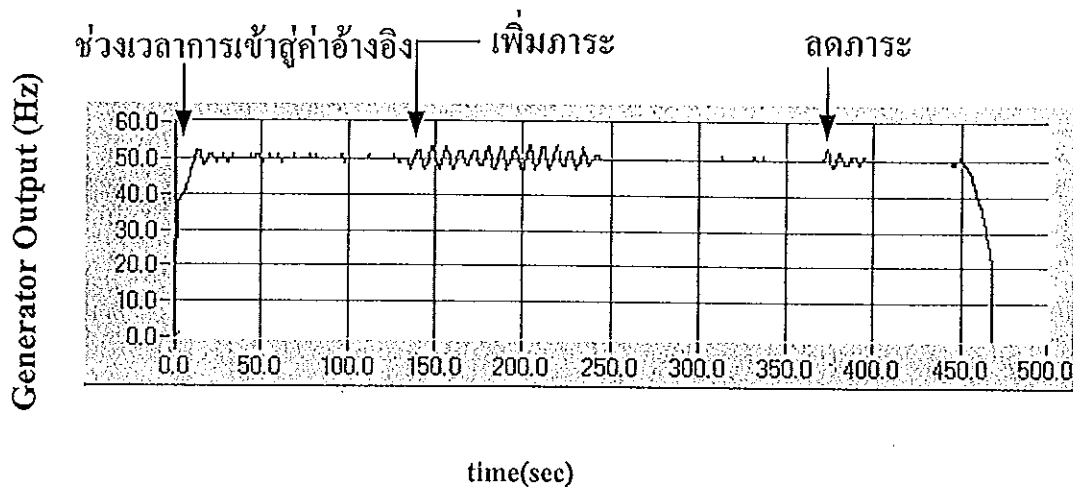
6.2 การทดลองครั้งที่ 2

ส่วนที่ 1. กฎในการควบคุมความเร็วให้เหมือนการทดลองครั้งที่ 1 (ตามตาราง 6.1) แต่แก้ไขค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุม ดังแสดงตามตาราง 6.5

ตาราง 6.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุต กับ ค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 2

เอาต์พุต	ค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิล
[0.16,0.20]	2
[0.11,0.15]	1.5
[0.06,0.10]	1
[0.01,0.05]	0.5
0	0
[-0.05,-0.01]	-0.5
[-0.10,-0.06]	-1
[-0.15,-0.11]	-1.5
[-0.20,-0.16]	-2

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว (ความถี่) ตามภาพประกอบ 6.4



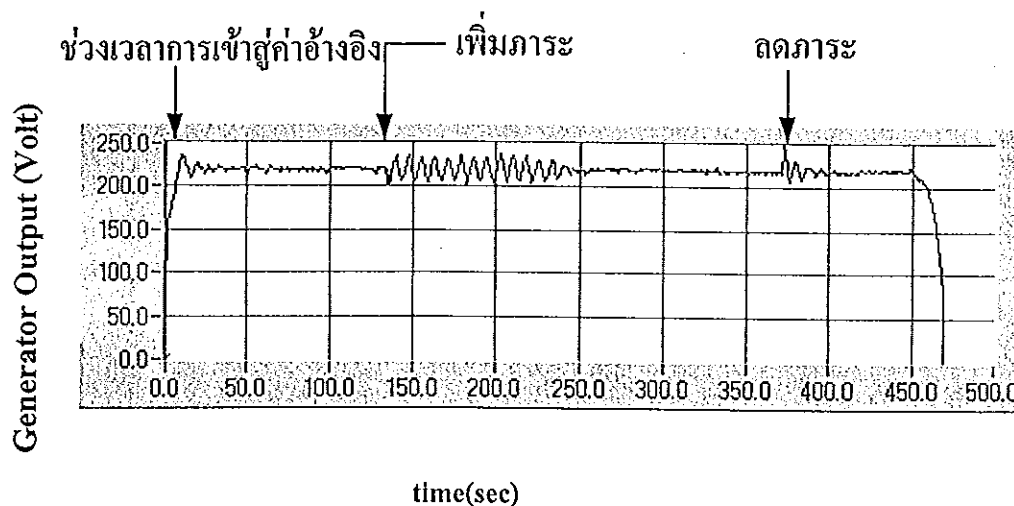
ภาพประกอบ 6.4 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 2

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.4 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิรตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบ ยังคงเกิดการแกว่งในช่วงการเพิ่มภาระ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 100 วินาทีในการแกว่งโดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.5 เฮิรตซ์ ซึ่งน่าจะมีผลมาจากการออกแบบกฎการควบคุมระบบ

ส่วนที่ 2. คงกฎการควบคุมแรงดันและค่าความสัมพันธ์ของเอตต์พุดกับค่าการเปลี่ยนแปลงของคิตไชเคิลของระบบควบคุม (ตามตาราง 6.3 และ 6.4 ดังแสดงในการทดลองครั้งที่ 1)

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.5



ภาพประกอบ 6.5 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 2

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.5 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง(220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.5 โวลต์

2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบยังคงเกิดการแกว่ง โดยเฉพาะการเพิ่มภาระให้แก่ระบบ โดยเวลาที่แกว่งประมาณ 100 วินาที มีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 12 โวลต์ ซึ่งน่าจะมีผลมาจากค่าความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากภาพประกอบ 6.4 เนื่องจากค่าแรงดันที่ผลิตได้มีค่าแปรผันตรงกับค่าความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง นั่นก็คือค่าความถี่ที่ผลิตได้นั่นเอง โดยไม่อาจสรุปได้ว่าการออกแบบกฎการควบคุมระบบและค่าความถี่ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุม ดีหรือไม่

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ผลการทดลองดีกว่าการทดลองครั้งที่ 1 เนื่องจากได้แก้ไขค่าความถี่ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของควิตีไซเคิลของระบบควบคุมความเร็ว แต่ยังคงพบว่าการแกว่งของระบบในการเพิ่มภาระให้แก่ระบบ เนื่องมาจากกฎในการควบคุมความเร็วที่ผิดพลาด จึงต้องมีการแก้ไขกฎในการควบคุมความเร็ว

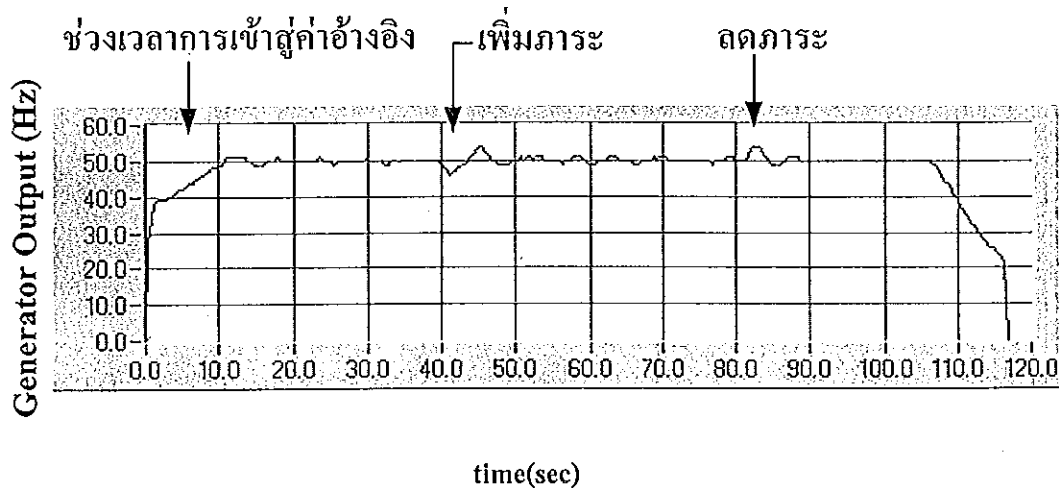
6.3 การทดลองครั้งที่ 3

ส่วนที่ 1. เนื่องจากความผิดพลาดของกฎในการควบคุมความเร็วในการทดลองครั้งที่ 2 จึงได้แก้ไขกฎในการควบคุมความเร็วดังแสดงตามตาราง 6.6

ตาราง 6.6 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชซีของการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 3

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	LN	LN
SN	LN	SN	SN	ZE	ZE
ZE	SN	ZE	ZE	ZE	SP
SP	ZE	ZE	SP	SP	LP
LP	LP	LP	LP	LP	LP

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.6



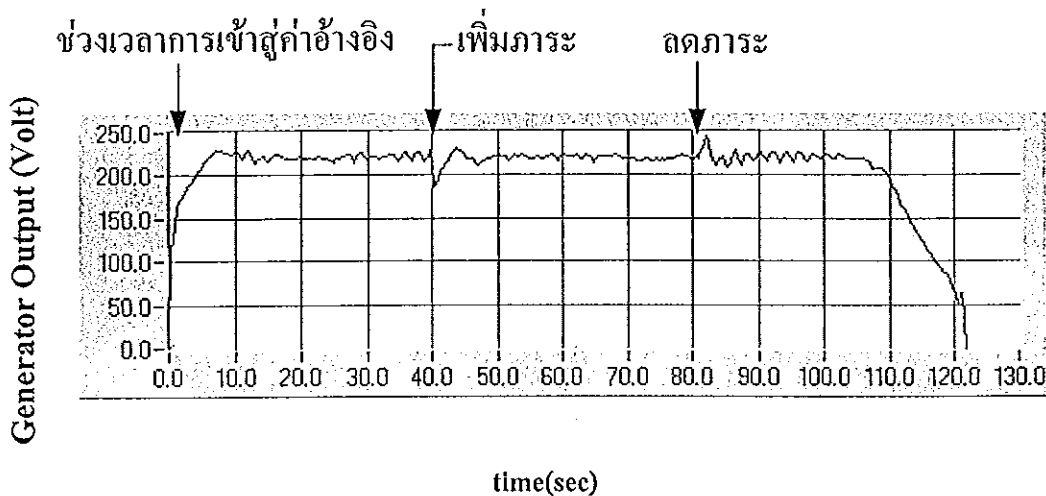
ภาพประกอบ 6.6 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 3

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.6 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิรตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่เมื่อมีการเพิ่มหรือลดภาระให้แก่ระบบ ระบบใช้ระยะเวลาดำเนินการในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง โดยเวลาในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิงเมื่อมีการเพิ่มภาระให้แก่ระบบใช้เวลาประมาณ 10 วินาทีและเมื่อมีการลดภาระให้แก่ระบบ ใช้เวลาประมาณ 8 วินาทีในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง ซึ่งค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์

ส่วนที่ 2. กองกฎการควบคุมแรงดันและค่าความสัณพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงของคิวดีไอเกิดของระบบควบคุม (ตามตาราง 6.3 และ 6.4 ดังแสดงในการทดลองครั้งที่1)

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.7



ภาพประกอบ 6.7 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 3

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.7 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง(220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.5 โวลต์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังคงเกิดการแกว่งเล็กน้อยในการลดภาระให้แก่วงจร ซึ่ง มีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 5 โวลต์ ส่วนในการเพิ่มภาระให้แก่วงจรให้ผลเป็นที่น่าพอใจคือมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.5 โวลต์

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3 พบว่าได้ผลการทดลองดีกว่าการทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ผลการควบคุมความเร็วเป็นที่น่าพอใจทั้งในส่วนการเข้าสู่ค่าอ้างอิงและการรบกวนระบบ แต่ต้องมีการแก้ไขกฎอีกเล็กน้อยเนื่องจากระยะเวลาในการเข้าสู่ค่าอ้างอิงค่อนข้างนาน ส่วนในการควบคุมแรงดันให้ผล เป็นที่น่าพอใจแต่ยังคงเกิดการแกว่งเล็กน้อยขณะลดภาระแก่วงจร ซึ่งต้องมีการแก้ไขกฎในการควบคุมแรงดันต่อไป

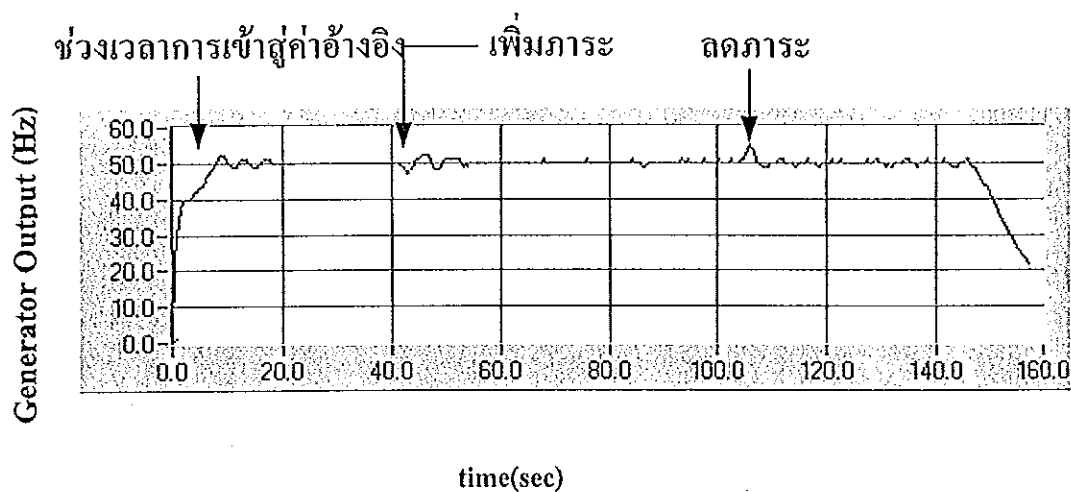
6.4 การทดลองครั้งที่ 4

ส่วนที่ 1. เนื่องจากผลในการทดลองครั้งที่ 3.จึงต้องมีการแก้ไขกฎในการควบคุมความเร็ว จึงได้แก้ไขกฎในการควบคุมความเร็วดังแสดงตามตาราง 6.7

ตาราง 6.7 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตไฟซึ่งของการควบคุมความเร็วมอเตอร์
กระแสดงตรงในการทดลองครั้งที่ 4

E \	Ech	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	LN	LN	SN
SN	LN	SN	SN	ZE	ZE	ZE
ZE	SN	ZE	ZE	ZE	ZE	SP
SP	ZE	ZE	SP	SP	SP	LP
LP	SP	LP	LP	LP	LP	LP

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.8



ภาพประกอบ 6.8 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 4

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.8 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิรตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่เมื่อมีการเพิ่มภาระให้แก่ระบบ ระบบใช้ระยะเวลาก่อนข้างนานในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง โดยใช้เวลา

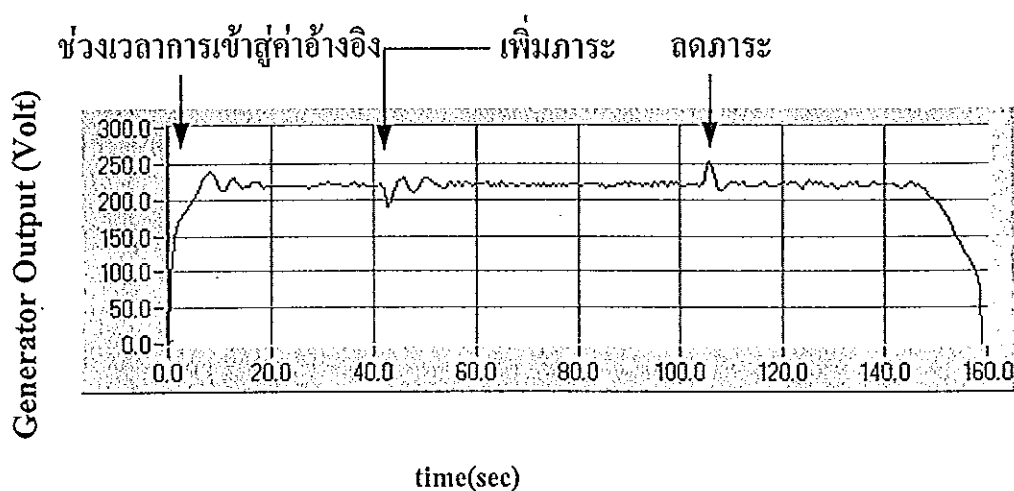
ประมาณ 10 วินาที และเมื่อมีการลดภาระให้แก่วินาที ระบบใช้เวลาประมาณ 6 วินาทีในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิร์ตซ์เช่นกัน

ส่วนที่ 2. เนื่องจากผลในการทดลองครั้งที่ 3 จึงต้องมีการแก้ไขกฎในการควบคุมแรงดันจึงได้แก้ไขกฎในการควบคุมแรงดันดังแสดงตามตาราง 6.8

ตาราง 6.8 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ของการควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ในการทดลองครั้งที่ 4

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LP	LP	LP	SP	SP
SN	LP	SP	SP	ZE	ZE
ZE	SP	ZE	ZE	ZE	SN
SP	ZE	ZE	SN	SN	LN
LP	SN	SN	LN	LN	LN

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.9



ภาพประกอบ 6.9 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 4

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.8 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.0 โวลต์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แก้ปัญหาที่เกิดจากการทดลองครั้งที่ 3 คือสามารถลดการแกว่งเมื่อมีการเพิ่มหรือลดภาระให้แก่ระบบ โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิงเพียง ± 2.5 โวลต์

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 4 พบว่าได้ผลการทดลองดีกว่าการทดลองครั้งที่ 3 โดยให้ผลการควบคุมแรงดันเป็นที่น่าสนใจทั้งในส่วนการเข้าสู่ค่าอ้างอิงและการรบกวนระบบ แต่ในการควบคุมความเร็ว ยังคงใช้เวลาค่อนข้างนานในการเข้าสู่ค่าอ้างอิงเมื่อมีการรบกวนระบบ ซึ่งน่าจะมาจากกฎการควบคุมความเร็ว ซึ่งต้องมีการแก้ไขกฎต่อไป

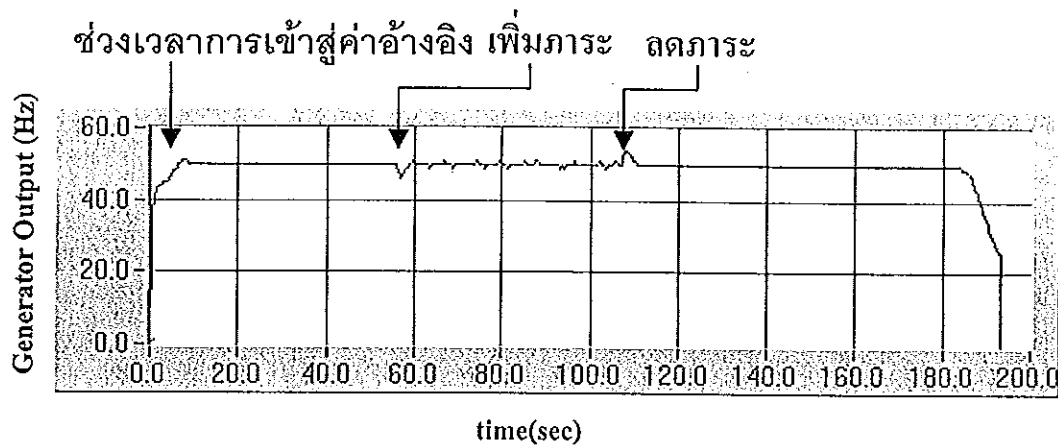
6.5 การทดลองครั้งที่ 5

ส่วนที่ 1 เนื่องจากผลในการทดลองครั้งที่ 3 และ 4 ยังคงใช้เวลาค่อนข้างนานในการเข้าสู่ค่าอ้างอิงเมื่อมีการรบกวนระบบ จึงได้มีการแก้ไขกฎที่ใช้ในการควบคุมความเร็วดังแสดงตามตาราง 6.9

ตาราง 6.9 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตพีชชีของการควบคุมความเร็ว
มอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 5

Ech \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	SN	SN
SN	LN	SN	SN	ZE	ZE
ZE	SN	ZE	ZE	ZE	SP
SP	ZE	ZE	SP	SP	LP
LP	SP	SP	LP	LP	LP

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.10



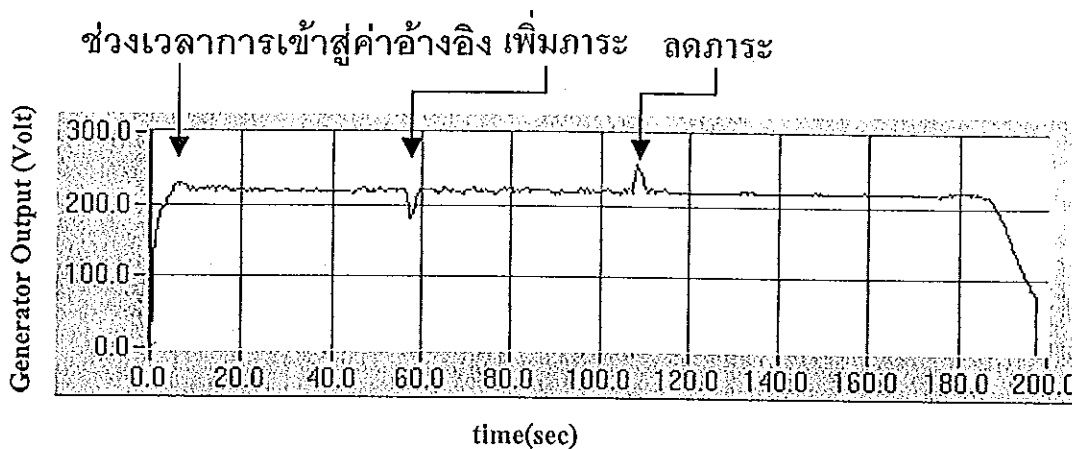
ภาพประกอบ 6.10 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 5

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.10 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิร์ตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิร์ตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ลดเวลาในการเข้าสู่ค่าอ้างอิงเมื่อมีการรบกวนระบบ โดยทั้งการเพิ่มและลดภาระให้แก่ระบบ ระบบใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิร์ตซ์

ส่วนที่ 2. เนื่องจากผลในการทดลองครั้งที่ 4 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจจึงคงกฎในการควบคุมแรงดันตามตาราง 6.8(ในการทดลองครั้งที่ 4)

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.11



ภาพประกอบ 6.11 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 5

จากการทดลองตามภาพประกอบ 6.11 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง (220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.0 โวลต์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยทั้งการเพิ่มและลดภาระให้แก่ระบบ ใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.0 โวลต์

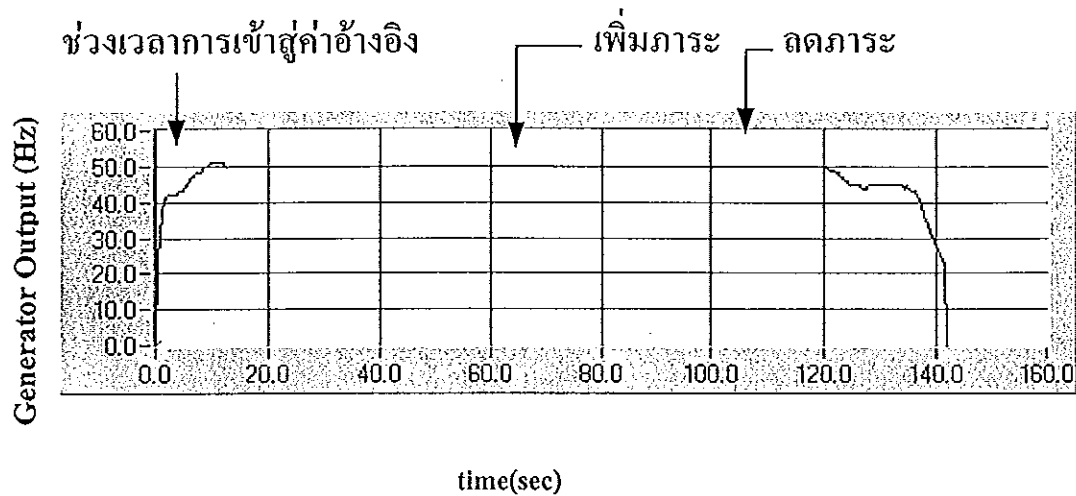
สรุปผลการทดลองครั้งที่ 5 พบว่าได้ผลการทดลองดีกว่าการทดลองครั้งที่ 4 โดยทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้ดี ให้ผลการควบคุมความเร็วและแรงดันเป็นที่น่าพอใจทั้งในส่วนการเข้าสู่ค่าอ้างอิงและการรบกวนระบบ

6.6 การทดลองครั้งที่ 6

เมื่อได้ผลการควบคุมที่น่าพอใจยิ่งจากผลการทดลองครั้งที่ 5 จึงได้มีการนำตัวควบคุมความเร็วและแรงดันแบบฟัซซี่ลอจิกไปควบคุมภาระอีกประเภท ที่ใช้ในงานจริงมากคือมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งใช้งานมากในชีวิตประจำวัน เช่น มอเตอร์ในระบบทำความเย็น มอเตอร์พัดลม เป็นต้น โดยมีมอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำมาทดลองมีคุณสมบัติดังนี้

3 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ 1.8 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 4.6 แอมแปร์ (ต่อแบบสตาร์)

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.12

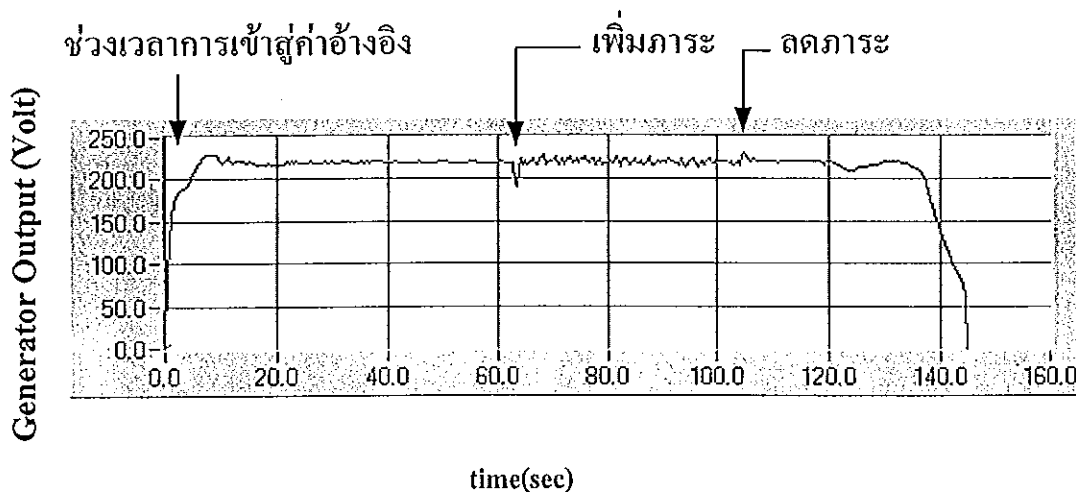


ภาพประกอบ 6.12 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 6

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.12 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิร์ตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีช่วงเวลาในการแกว่งประมาณ 2 วินาที ซึ่งน้อยมากโดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิร์ตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ไม่มีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.13



ภาพประกอบ 6.13 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 6

จากการทดลองตามภาพประกอบ 6.12 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง(220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิงเพียง ± 2.0 โวลต์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมากโดยเมื่อมีการเพิ่มภาระให้แก่ระบบ มีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 3.0 โวลต์ และเมื่อมีการลดภาระให้แก่ระบบ มีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิงเพียง ± 2.0 โวลต์

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 6 ซึ่งทดลองกับมอเตอร์ พบว่าได้ผลการทดลองที่น่าพอใจเช่นเดียวกับการทดลองครั้งที่ 5 โดยทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้ดี ให้ผลการควบคุมความเร็วและแรงดันเป็นที่น่าพอใจทั้งในส่วนการเข้าสู่ค่าอ้างอิงและการรบกวนระบบ

6.7 การทดลองครั้งที่ 7

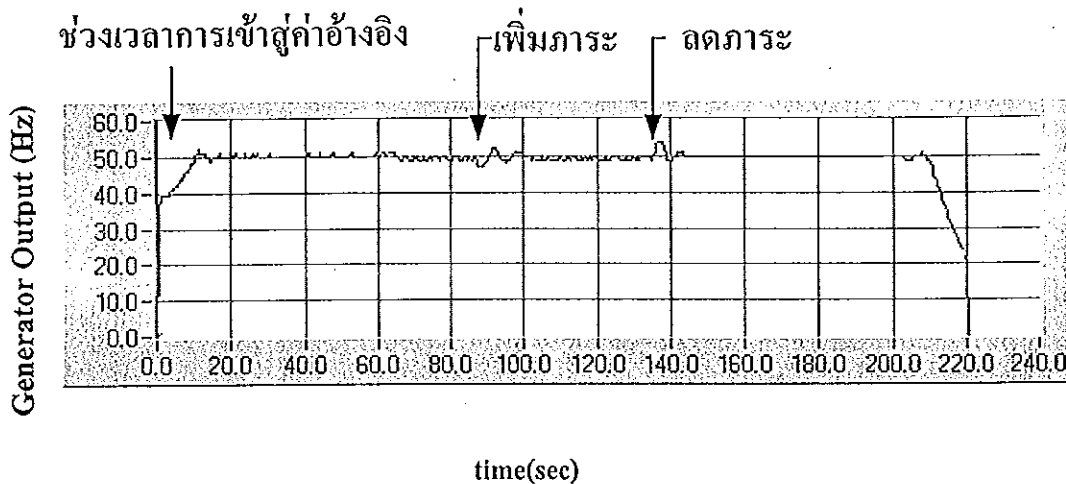
ทำการทดลองเหมือนการทดลองครั้งที่ 5 ทุกประการ เพียงแต่ใช้ค่าฟัซซี่อินพุตเพียง 1 ตัว คือใช้ค่าความผิดพลาด(Error Value) เพียงค่าเดียว

ส่วนที่ 1. เนื่องจากมีฟัซซี่อินพุตเพียงค่าเดียวจึงมีกฎในการควบคุมความเร็วดังแสดงตามตาราง 6.10

ตาราง 6.10 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ของการควบคุมความเร็ว
มอเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 7

Error Frequency	LN	SN	ZE	SP	LP
Fuzzy Output	LN	SN	ZE	SP	LP

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็ว(ความถี่)ตามภาพประกอบ 6.14



ภาพประกอบ 6.14 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 7

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 6.14 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง(50 เฮิรตซ์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมความถี่ในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิงค่อนข้างนาน โดยใช้เวลาประมาณ 15 วินาทีเมื่อเพิ่มภาระให้ระบบ และเมื่อมีการลดภาระให้แก่ระบบ ใช้เวลาประมาณ 8 วินาทีในการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิง ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของความถี่เมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 0.5 เฮิรตซ์
3. เมื่อเปรียบเทียบกับผลการควบคุมความถี่ในการทดลองครั้งที่ 5 ที่มีฟัซซี่อินพุต 2 ตัว พบว่าเมื่อมีฟัซซี่อินพุตมากกว่า จะให้ผลการตอบสนองความถี่ที่ดีกว่า

ส่วนที่ 2. เนื่องจากมีฟัซซี่อินพุตเพียงค่าเดียวจึงมีกฎในการควบคุมแรงดันดังแสดงตาม

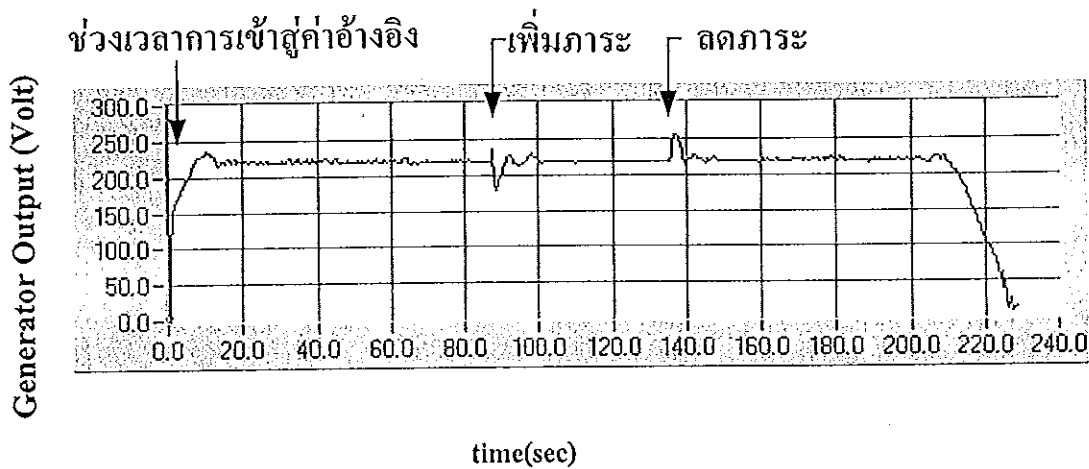
ตาราง 6.11

ตาราง 6.11 แสดงเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซี่ของการควบคุมแรงดัน

เจนเนอเรเตอร์กระแสตรงในการทดลองครั้งที่ 7

Error Voltage	LN	SN	ZE	SP	LP
Fuzzy Output	LP	SP	ZE	SN	LN

ซึ่งได้ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันตามภาพประกอบ 6.15



ภาพประกอบ 6.15 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 7

จากการทดลองตามภาพประกอบ 6.15 สามารถประเมินผลข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิง(220 โวลต์) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิง ± 2.0 โวลต์
2. ผลตอบสนองต่อการควบคุมแรงดันในการรบกวนระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าความผิดพลาดของแรงดันเมื่อเข้าสู่ค่าอ้างอิงเพียง ± 2.0 โวลต์
3. เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมแรงดันในการทดลองครั้งที่ 5 ที่มีฟิซซีอินพุต 2 ตัว พบว่าถึงแม้เวลาในการเข้าสู่ค่าแรงดันอ้างอิงของการทดลองครั้งที่ 7 นานกว่าของครั้งที่ 5 แต่สาเหตุที่ใช้เวลานานกว่าเนื่องมาจากเวลาของการเข้าสู่ค่าความถี่อ้างอิงในการทดลองครั้งที่ 7 นานกว่าของครั้งที่ 5 (แรงดันแปรผันตรงกับความถี่ที่ผลิตได้) จึงไม่อาจสรุปได้ว่าเมื่อมีฟิซซีอินพุตมากกว่า จะให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่า

บทที่ 7

บทวิจารณ์และสรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบควบคุมฟิชชีทั้ง 2 ระบบคือระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและระบบควบคุมแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับให้ผลที่น่าพอใจสำหรับผลตอบสนองต่อค่าอ้างอิง โดยที่ค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง ± 0.5 เฮิรตซ์ และ ± 2.0 โวลต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ผลตอบสนองที่ได้ขึ้นอยู่กับตัวควบคุมแบบฟิชชีลอจิก ไม่ว่าจะเป็นกฎในการสร้างเงื่อนไขหรือจำนวนอินพุตที่ใช้ในการควบคุม จึงทำให้ได้มาซึ่งระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์สะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสามารถเชื่อมโยงกับผู้ใช้ได้ง่าย เหนือสิ่งอื่นใดยังสามารถทำงานได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน เช่น การรับสัญญาณเพื่อหาค่าความถี่และแรงดันของไฟฟ้าที่ผลิตได้ การประมวลผลแบบฟิชชีลอจิกในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ และการส่งสัญญาณไปควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเครื่องเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับเพื่อให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าความถี่และแรงดันตามค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ ซึ่งการทำงานต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นกระบวนการทำงานในเวลาจริง

จะเห็นว่าการควบคุมด้วยฟิชชีลอจิกเป็นวิธีควบคุมอีกวิธีหนึ่งที่อาศัยรูปแบบการแก้ปัญหาโดยใช้เหตุผลของมนุษย์เป็นแนวทางวิเคราะห์เพื่อทำการควบคุมระบบโดยอาศัยการดำเนินการเชิงตรรกแบบฟิชชีลอจิกเป็นเครื่องมือ ซึ่งลักษณะตัวควบคุมแบบฟิชชีลอจิกนี้จะเป็นตัวประมาณค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมโดยไม่ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ จึงทำให้สามารถใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น หรือระบบที่ยากแก่การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังสามารถใช้ได้กับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งแนวทางของทฤษฎีระบบควบคุมแบบฟิชชีลอจิกนี้ สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมอื่นได้ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิในเครื่องทำน้ำอุ่น ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร ระบบเตือนภัยหรือควบคุมสภาวะอากาศของบ้านหรือสำนักงาน ระบบพยากรณ์อากาศโดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความดันอากาศ ระบบควบคุมการไหลของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต เป็นต้น และเนื่องจากไม่ต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการคำนวณจึงทำให้สามารถพัฒนาระบบให้ทำงานแบบทันทีได้โดยไม่ต้องยากนัก และไม่จำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการควบคุมที่ลึกซึ้ง

ทั้งนี้การเติบโตของฟิชชีลอจิกยังคงมีต่อไป ดังที่ได้ปรากฏในปัจจุบันว่ากำลังมีการวิจัยเกี่ยวกับระบบ Neuro-Fuzzy ที่มีลักษณะผสมของฟิชชีลอจิกกับเครือข่ายประสาท(Neural Network) จากทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ จึงเหมาะแก่ผู้ที่สนใจสามารถนำทฤษฎีฟิชชีลอจิกไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นได้

ข้อเสนอแนะ

จากประสบการณ์ในการทดลองใช้ระบบควบคุมแบบฟิชชีลอจิกนี้ พบว่าความเร็วของคอมพิวเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเวลาที่จะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะปกติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นถ้าใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะปกติได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

ัชชวาล โชติวารินทร์. 2542. " ออปโตคัปเปเตอร์ตัวเชื่อมโยงทางแสง ", สอบบี้อิเล็กทรอนิกส์. 88 (พฤษภาคม 2542), 29-35.

พิชิต ลำยอง. 2540. เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภากร ศันสนียวานิช, สุวรรณ อรุณวิวัฒน์, เสริมศักดิ์ เลิศมนโรจน์ และพิศิษฐ์ โกถารัตน์กุล. 2539 . " การควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ฟิชชีลอจิกที่เรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง ", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 19. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, CT26-31.

มานะ ลัทธนิพนธ์. 2540. " ไอจีบีที ", สอบบี้อิเล็กทรอนิกส์. 64(มกราคม 2540), 64-70.

มานะ ลัทธนิพนธ์. 2540. " ฟิชชีลอจิกเทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่อความรู้ลึกของมนุษย์ ", สอบบี้อิเล็กทรอนิกส์. 71(พฤษภาคม 2540), 63-67.

มานะ ลัทธนิพนธ์. 2540. " ฟิชชีลอจิกเทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่อความรู้ลึกของมนุษย์ ", สอบบี้อิเล็กทรอนิกส์. 72(มิถุนายน 2540), 52-55.

วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา, ไพโรสิทธิ์ ศรีวัฒนานุกุลกิจ และกิตติ ไพโรชญ์วัฒนกิจ. 2537. " การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟิชชีลอจิกในเครื่องทำน้ำอุ่น ", วิศวกรรมสาร. 10 (ตุลาคม 2537), 69-73 .

สุเชียร เกียรติสุนทร. 2537. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 1, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

อรรณณ รุจิราลัย. 2540. " เครื่องควบคุมแบบฟิชชีลอจิกสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ", ปริญญา-นิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Fitzgerald, A. E. ; Kingsley, C. and Umans, S. D. 1992. Electric Machinery. 5th ed. UK :
Mc.Graw Hill Book Company.

Kristjansson, E. ; Barak, D. and Plummer, K. 1995. " Use of Fuzzy Logic Control in Electrical
Power Generation ", In Fuzzy Logic Control : Software and Hardware Applications.
pp 329-335. University of New Mexico.

National Instruments Corporation. 1996. Getting Started With LabView. July 1996 Edition.

National Instruments Corporation. 1996. LabView for Windows User Manual. July 1996
Edition.

National Instruments Corporation. 1996. LabView for Windows Interface Reference Manual.
July 1996 Edition.

National Instruments Corporation. 1996. LabView for Windows Advanced Analysis Library
Reference Manual. July 1996 Edition.

National Instruments Corporation. 1996. Lab-PC-1200/User Manual. June 1996 Edition.

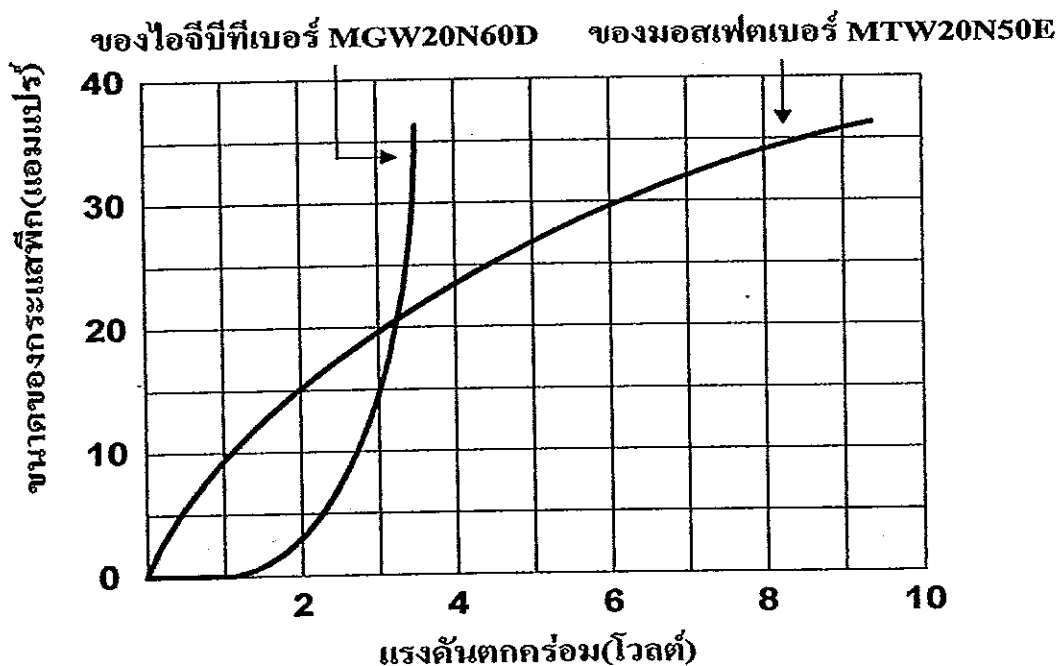
Okata, K. 1990. Modern Control Engineering. 2nd ed. New Jersey : Prentice-Hall international
Editions.

ภาคผนวก

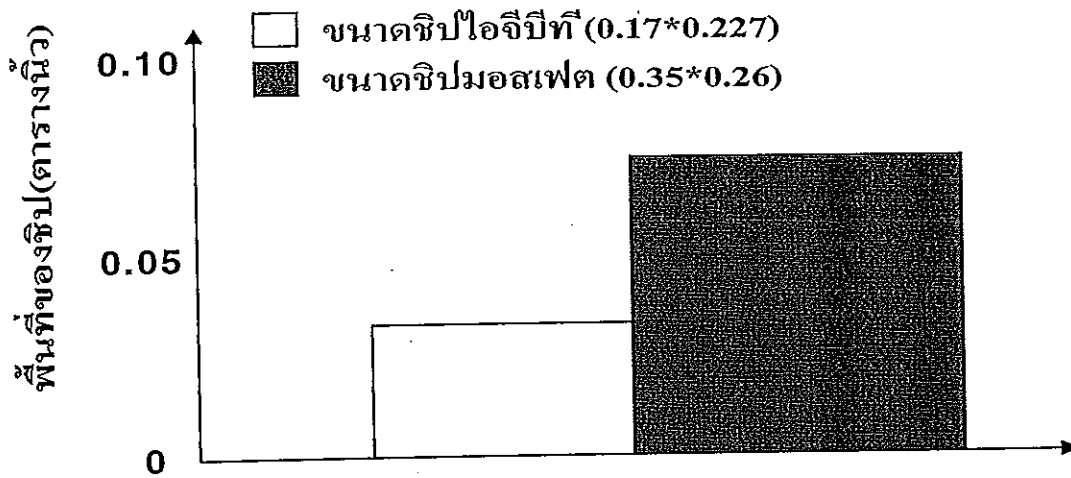
ภาคผนวก ก คุณสมบัติและรายละเอียดของไอจีบีที

ไอจีบีทีเป็นสวิทช์สารกึ่งตัวนำ ที่เกิดจากการเอาข้อดีของมอสเฟต(Mosfet), จีทีโอ (Gate Turn- Off SCR) และทรานซิสเตอร์(Transister) ไว้ในตัวเดียวกัน(มานะ ลัทธวินิชพันธ์ , 2540ก) โดยคุณสมบัติที่ดีของมอสเฟตคือ เกตมีค่าอิมพีแดนซ์สูง , คุณสมบัติที่ดีของจีทีโอคือสามารถปิดกันแรงดันได้ทั้ง 2 ด้าน ควบคุมได้ง่าย ทนพิกัดแรงดันได้สูง มีความถี่ในการสวิทช์สูงและคุณสมบัติที่ดีของทรานซิสเตอร์คือมีแรงดันตกคร่อมต่ำขณะนำกระแส

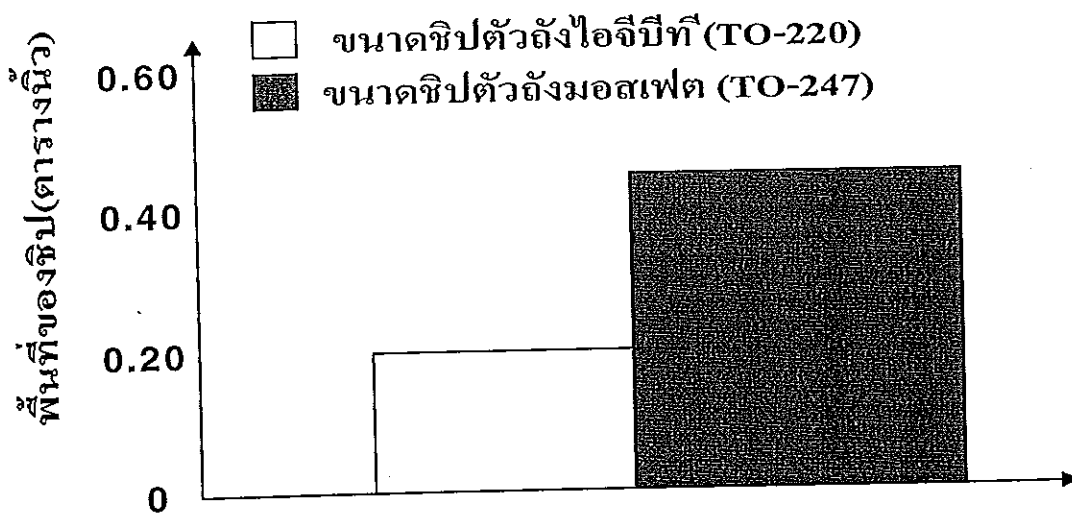
โดยข้อดีของไอจีบีทีที่มีต่อมอสเฟตคือแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของไอจีบีทีต่ำกว่าของมอสเฟต ซึ่งทำให้ค่าการสูญเสียขณะนำกระแสต่ำกว่ามอสเฟต ดังภาพประกอบ ก1



ภาพประกอบ ก1 แสดงแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของไอจีบีทีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอสเฟตในพิกัดเดียวกัน



ภาพประกอบ ก2 ขนาดพื้นที่ชิปซิลิคอนของไอจีบีทีที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอสเฟต
ในพิกัดเดียวกัน



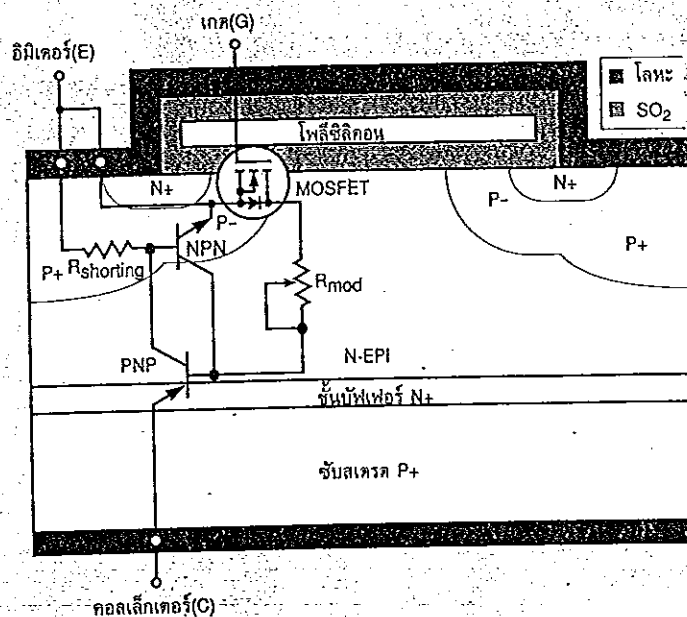
ภาพประกอบ ก3 ขนาดพื้นที่ของตัวถังไอจีบีทีที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอสเฟต
ในพิกัดเดียวกัน

โดยข้อดีของไอจีบีทีที่มีต่อทรานซิสเตอร์คือขับได้ง่ายกว่าและความเร็วในการสวิตช์สูงกว่า เนื่องจากการที่ขาเกตแยกออกมาทำให้ขับได้ง่ายกว่า การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ซึ่งต้องการกระแสเบสที่เพียงพอต่อการทำงานขับให้ถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) ปกติกระแสเบสจำเป็นต้องมีค่าต่ำกว่ากระแสคอลเล็กเตอร์อย่างน้อย 10 เท่า วงจรขับทรานซิสเตอร์จึงต้องมีการตอบสนอง

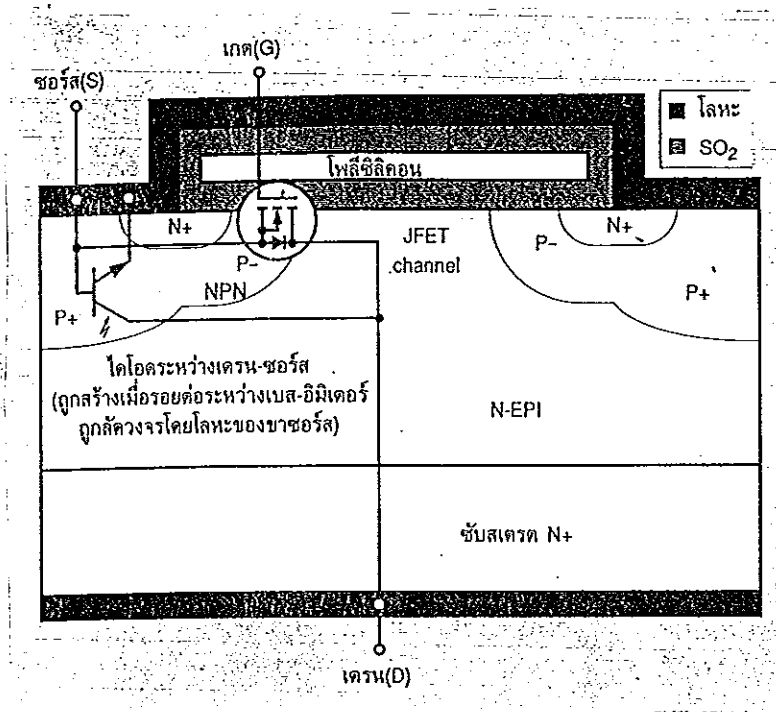
โดยข้อดีของไอจีบีทีที่มีต่อทรานซิสเตอร์คือขับได้ง่ายกว่าและความเร็วในการสวิตช์สูงกว่า เนื่องจากกรณีที่ขาเกตแยกออกมาทำให้ขับได้ง่ายกว่า การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ซึ่งต้องการกระแสเบสที่เพียงพอต่อการทำงานขับให้ถึงจุดอิ่มตัว(Saturation) ปกติกระแสเบสจำเป็นต้องมีค่าต่ำกว่ากระแสคอลเล็กเตอร์อย่างน้อย 10 เท่า วงจรขับทรานซิสเตอร์จึงต้องมีการตอบสนองต่อสถานะการดึงกระแสของโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หรืออีกนัยหนึ่งคือกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ต้องรักษาดัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์ไว้ มิเช่นนั้นทรานซิสเตอร์จะไม่อยู่ในสถานะอิ่มตัวเมื่อใช้กับโหลดที่กินกระแสสูง ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำกระแสโดยพาหะรองหรือพาหะประจุส่วนน้อย ผลของการสะสมประจุและการรวมตัวของประจุจะทำให้เป็นสาเหตุที่ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ช้า

โดยข้อดีของไอจีบีทีที่มีต่อจีทีโอคือมีความสามารถในการหยุดนำกระแสเกต(Gate Turn Off) ที่ดีกว่า ซึ่งการหยุดนำกระแสที่ขาเกตของจีทีโอต้องการกระแสเกตกลับทางจำนวนมากเพื่อทำให้มันหยุดนำกระแส ส่วนการหยุดนำกระแสของไอจีบีทีที่ต้องการเพียงแค่การดิสชาร์จค่าความจุของขาเกตเท่านั้น

โครงสร้างของไอจีบีทีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับมอสเฟตแบบคิมอส(Double Diffusion Mos:DMOS) ข้อแตกต่างระหว่างมอสเฟต(ดังภาพประกอบ ก4) กับไอจีบีที(ดังภาพประกอบ ก5) คือชั้นสเตรต(Substrate) ของวัสดุเริ่มต้นใช้วัสดุและขั้นตอนในการผลิตต่างกัน ไอจีบีทีที่อาจจะถูกสร้างมาจากมาสก์(Mask) หรือหน้ากากของการผลิตเพาเวอร์มอสเฟต ชุดมาสก์ของโมโตโรล่าได้ถูกออกแบบโดยเฉพาะสำหรับใช้กับไอจีบีทีที่ชั้นสเตรตของมอสเฟตจะเป็นสาร P^+

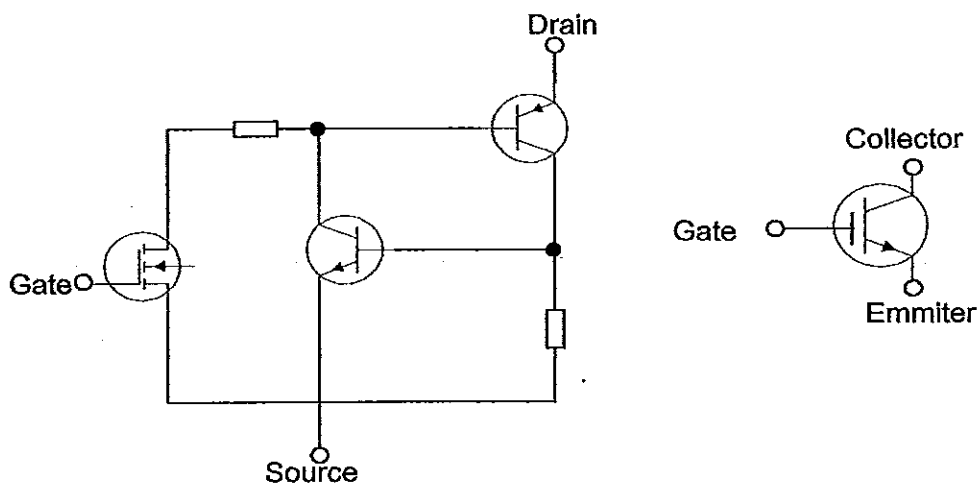


ภาพประกอบ ก4 ภาพตัดขวางและวงจรไฟฟ้าภายในของมอสเฟต 1 เซลล์



ภาพประกอบ ก5 ภาพตัดขวางและวงจรไฟฟ้าภายในของไอจีบีที 1 เซลล์

โดยวงจรสมมูลและสัญลักษณ์มาตรฐานของไอจีบีทีที่แสดงดังภาพประกอบ ก6



ภาพประกอบ ก6 แสดงวงจรสมมูลและสัญลักษณ์มาตรฐานของไอจีบีที

ไอจีบีทีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เมอร์ IRGPH40MD2 ของ International Rectifier ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

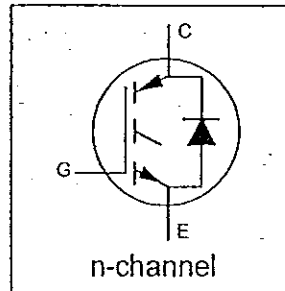
International Rectifier

Preliminary Data Sheet PD - 9.1118

IRGPH40MD2

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR
WITH ULTRAFAST SOFT RECOVERY
DIODE
Features

- Short circuit rated -10 μ s @125°C, $V_{GE} = 15V$
- Switching-loss rating includes all "tail" losses
- HEXFRED™ soft ultrafast diodes
- Optimized for medium operating frequency (1 to 10kHz)



Short Circuit Rated
Fast CoPack IGBT

$$V_{CES} = 1200V$$

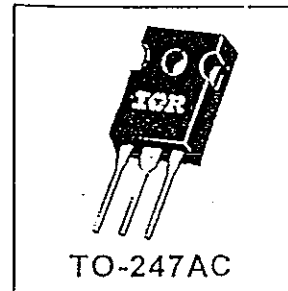
$$V_{CE(sat)} \leq 3.4V$$

$$@V_{GE} = 15V, I_C = 18A$$

Description

Co-packaged IGBTs are a natural extension of International Rectifier's well known IGBT line. They provide the convenience of an IGBT and an ultrafast recovery diode in one package, resulting in substantial benefits to a host of high-voltage, high-current, applications.

These new short circuit rated devices are especially suited for motor control and other applications requiring short circuit withstand capability.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	1200	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	31	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	18	
I_{CM}	Pulsed Collector Current $\oplus$	62	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current $\oplus$	62	
$I_F @ T_C = 100^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	8.0	A
I_{FM}	Diode Maximum Forward Current	62	
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	μs
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	160	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	65	
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 Screw.	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - IGBT	—	—	0.77	$^\circ C/W$
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - Diode	—	—	1.7	
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, flat, greased surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	—	40	
Wt	Weight	—	6 (0.21)	—	g (oz)

IRGPH40MD2

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage ①	1200	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temp. Coeff. of Breakdown Voltage	—	1.1	—	V/ $^\circ\text{C}$	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.3	3.4	V	$I_C = 18A, V_{GE} = 15V$
		—	3.0	—		$I_C = 31A$
		—	2.8	—		$I_C = 18A, T_J = 150^\circ\text{C}$
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.5		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Temp. Coeff. of Threshold Voltage	—	-14	—	mV/ $^\circ\text{C}$	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
g_{fe}	Forward Transconductance ②	4.0	10	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 18A$
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V$
		—	—	3500		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V, T_J = 150^\circ\text{C}$
V_{FM}	Diode Forward Voltage Drop	—	2.6	3.3	V	$I_C = 8A$
		—	2.3	3.0		$I_C = 8A, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	—	50	75	nC	$I_C = 18A$ $V_{CC} = 400V$	
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	11	21			
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	15	30			
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	67	—	ns	$T_J = 25^\circ C$ $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_r	Rise Time	—	89	—			
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	340	930			
t_f	Fall Time	—	510	930			
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	2.1	—	mJ		
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	5.9	—			
E_{ts}	Total Switching Loss	—	8.0	13			
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	—	—	μs	$V_{CC} = 720V, T_J = 125^\circ C$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega, V_{CPK} < 1000V$	
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	64	—	ns	$T_J = 150^\circ C$, $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_r	Rise Time	—	74	—			
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	550	—			
t_f	Fall Time	—	1200	—			
E_{ts}	Total Switching Loss	—	16	—	mJ		
L_E	Internal Emitter Inductance	—	13	—	nH	Measured 5mm from package	
C_{ies}	Input Capacitance	—	1400	—	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ $f = 1.0MHz$	
C_{oes}	Output Capacitance	—	100	—			
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	15	—			
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ C$	$I_F = 8A$ $V_R = 200V$ $di/dt = 200A/\mu s$
		—	106	160		$T_J = 125^\circ C$	
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current	—	4.5	8.0	A	$T_J = 25^\circ C$	
		—	6.2	11		$T_J = 125^\circ C$	
Q_{rr}	Diode Reverse Recovery Charge	—	140	380	nC	$T_J = 25^\circ C$	
		—	335	880		$T_J = 125^\circ C$	
$di_{(rec)}/dt$	Diode Peak Rate of Fall of Recovery During t_b	—	133	—	A/ μs	$T_J = 25^\circ C$	
		—	85	—		$T_J = 125^\circ C$	

Notes: ① Repetitive rating; $V_{GE}=20V$, pulse width limited by max. junction temperature.

② $V_{CC}=80\%(V_{CES})$, $V_{GE}=20V$, $L=10\mu H$, $R_G=10\Omega$

③ Pulse width 5.0 μs , single shot.

④ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.

Refer to Section D - page D-13 for Package Outline 3 - JEDEC Outline TO-247AC

ภาคผนวก ข คุณสมบัติและรายละเอียดของตัวแยกทางแสง

การเชื่อมโยงวงจรดิจิทัลเข้ากับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ หรือแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง จะพบว่าเป็นเรื่องยุ่งยาก แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้ อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง ซึ่งถือว่าเป็นวิธีเหมาะสมที่สุดและมีความเชื่อถือได้สูง เนื่องจากแยก ระบบไฟฟ้าออกจากกัน ซึ่งเหมาะสมกับวงจรทางด้านดิจิทัลขนาดเล็ก(ชิพवाल โซติวารินทร์ ,2542)

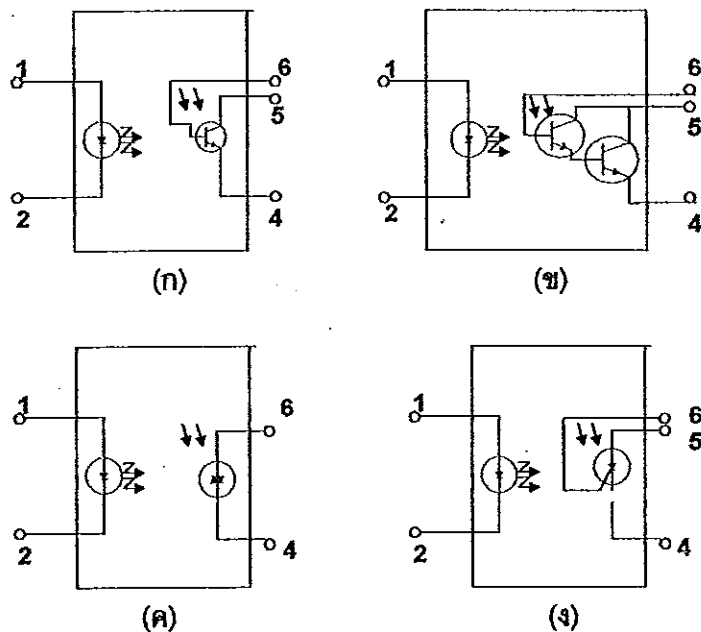
ตัวแยกทางแสง (opto-isolator) ใช้ในงานที่ต้องการแยกระบบไฟฟ้าของทั้งสองวงจรออกจากกัน เช่น ใช้เอาต์พุตที่เป็นแรงดันต่ำของวงจรทางดิจิทัลไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟ สลับ เนื่องจากวงจรทางด้านดิจิทัลไม่สามารถส่งเอาต์พุตออกเป็นแรงดันไฟกระแสสลับได้ นอกจากนี้กระแสไฟสลับที่เหนี่ยวนำขึ้นในวงจรทางด้านดิจิทัลทำให้เกิดข้อยุ่งยากต่างๆ ได้ ดังนั้นมอเตอร์และวงจรทางด้านดิจิทัลจึงต้องแยกจากกันทางไฟฟ้า โดยใช้ตัวแยกทางแสง

ตัวแยกทางแสงอาจนำไปใช้ในงานเมื่อเอาต์พุตมีแรงดันสูงของอุปกรณ์ตรวจจับ โดย เอาต์พุตถูกป้อนเข้าวงจรที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานเริ่มต้นและสิ้นสุดแบบ อัตโนมัติ เช่น ในสายการผลิตที่ใช้หุ่นยนต์

ภาคผนวก ข1 พื้นฐานตัวแยกทางแสง

ตัวแยกทางแสงอาจเรียกว่าตัวเชื่อมโยงทางแสง (Opto-coupler) เป็นอุปกรณ์เดี่ยว ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสง ทั้งสองชิ้นส่วนนี้แยกจากกันโดยมีฉนวนโปร่งใสกั้นกลางและชิ้นส่วนทั้งหมดถูกบรรจุอยู่ในตัวถังหีบแสง

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับเชื่อมโยงทางแสง ส่วนมากจะใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared Emitting Diode) ทำจากสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide ; GaAs) ส่วนตัว ตรวจจับหรืออุปกรณ์ภาคเอาต์พุตนั้นอาจเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ , โฟโตคาร์ดิ้งตัน , ทรานซิสตอร์ ทิศทางหรือไดโอดจะทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้น และ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงดังภาพประกอบ ข1 แสดงลักษณะตัวแยกทางแสงประเภทต่างๆ ที่กล่าวมา ถึงแม้ว่าจะมีหลายชนิดมากกว่านี้แต่ที่ ประเภทนี้จะพบเห็นและใช้กันมาก



ภาพประกอบ ข1 แสดงตัวแยกทางแสงที่ใช้กันมาก

ก. เอาต์พุตเป็นโฟโตรีสซิสเตอร์

ข. เอาต์พุตเป็นโฟโตรีลิติน

ค. เอาต์พุตเป็นสวิตช์สองทิศทางหรือ ไดโอด

ง. เอาต์พุตเป็น SCR

สัญญาณจะถูกส่งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง โดยอยู่ในรูปของสัญญาณแสงชิ้นส่วนทั้งสองนี้ไม่สามารถสลับหน้าที่กันได้และไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างกัน สัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมีเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น

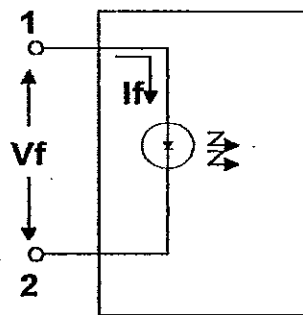
ภาคผนวก ข2 คุณสมบัติต่างๆ ที่น่าสนใจ

การออกแบบโดยใช้ตัวแยกทางแสง ก่อนอื่นควรทำความเข้าใจกับตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญ โดยเฉพาะใช้ในวงจรความถี่ต่ำ จะกล่าวเพียงเฉพาะตัวแปรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์เหล่านี้เท่านั้น แบ่งเป็นตัวแปรด้านอินพุต ค่านเอาต์พุต และอัตราส่วนการส่งผ่านกระแส (CTR, Current Transfer Ratio)

อัตราส่วนการส่งผ่านกระแสหรือ CTR เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสอินพุตต่อกระแสเอาต์พุตของตัวแยกทางแสง หรือเรียกกันว่า การไบแอส ส่วนใหญ่จะแทนด้วยตัวอักษรกรีก คือ

อีคำ (η) ซึ่งคำนี้นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด และช่องว่างระหว่างชั้น ส่วนทางอินพุตกับเอาต์พุต โดยพื้นที่, ความไว และอัตราขยายของของตัวตรวจรับก็มีผลเช่นกัน

ตัวแปรอินพุตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นตัวกำหนดตัวแปรทางไฟฟ้าของไดโอด เปล่งแสงอินฟราเรด ได้แก่ กระแสของไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง (I_F) , แรงดันตกคร่อมไดโอด เมื่อได้รับไบแอสตรง (V_F) และแรงดันสูงสุดที่ทนได้เมื่อได้รับไบแอสกลับ (V_R) ดังแสดงในภาพ ประกอบ ข2



ภาพประกอบ ข2 แสดงตัวแปรอินพุตของตัวแยกทางแสงซึ่งส่วนใหญ่เป็นไดโอด เปล่งแสงอินฟราเรดทำมาจากสารแกลเลียมอาร์เซไนต์

ส่วนตัวแปรเอาต์พุตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงและตัวแปรส่งถ่าย (Transfer Parameter) จะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนตัวตรวจรับที่ใช้ในตัวแยกทางแสง

ตัวแยกทางแสงที่ใช้โฟโอดีทรานซิสเตอร์หรือโฟโอดีคาร์ลิงตัน มีหลักการทำงานเหมือนกัน รอยต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับขาเบสถูกทำให้กว้างขึ้น แสงที่ตกกระทบรอยต่อทำให้เกิดคู่ของ อิเล็กตรอนและโฮลขึ้นมา เกิดการนำกระแสได้ตัวแปรสำหรับตัวแยกทางแสงชนิดโฟโอดีคาร์ลิงตัน และ โฟโอดีทรานซิสเตอร์ที่สำคัญมีดังนี้

- I_C : เป็นกระแสสูงสุดที่ไหลต่อเนื่องทางเอาต์พุตผ่านขาคอลเล็กเตอร์
- $V_{(BR)CBO}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาคอลเล็กเตอร์ไปยังขาเบส
- $V_{(BR)CEO}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุด จากขาคอลเล็กเตอร์ไปยังขาอีมิเตอร์
- $V_{(BR)ECO}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุด จากขาอีมิเตอร์ไปยังขาคอลเล็กเตอร์

ตัวแยกทางแสงที่ภาคเอาต์พุต ใช้ตัววัดสองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้น ถูกออกแบบมาสำหรับงานซึ่งต้องการแยกการทริกหรือกระตุ้นตัวใดตัวหนึ่งเพื่อแยกการวัดทิศทางด้าน ไฟกระแสกลับที่มีขนาดกระแสต่ำ และการแยกกันทางไฟฟ้ากระแสสูง สำหรับอุปกรณ์ อาต์พุตชนิดนี้มีตัวแปรที่สำคัญดังนี้คือ

- $I_{T(RMS)}$: เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด ขณะอยู่ในสถานะหยุดทำงาน

- V_{TM} : เป็นแรงดันขอดสูงสุด ขณะอยู่ในสถานะทำงาน

ตัวแยกทางแสงที่ใช้เอาต์พุตเป็น SCR ทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในงานที่ต้องการการแยกกันทางไฟฟ้าที่ค่าสูง ระหว่างวงจรด้านแรงดันต่ำซึ่งใช้ไอซีกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ตัวแปรที่สำคัญดังนี้คือ

- $I_{T(RMS)}$: เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด ขณะอยู่ในสถานะทำงาน

- V_{DRM} : เป็นค่าแรงดันซ้ำๆ ระหว่างขั้วเอาต์พุต ขณะอยู่ในสถานะหยุดทำงาน

- V_{RM} : เป็นค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุด

ส่วนตัวแปรการส่งผ่านของตัวแยกทางแสง เป็นการวัดอัตราส่วนการส่งกระแสระหว่างชิ้นส่วนอินพุตต่อเอาต์พุต สำหรับตัวแยกทางแสงที่ใช้โฟโตรีสซิสเตอร์หรือโฟโตรีลิ่งตัน มีค่าตัวแปรที่สำคัญคือ

- CTR_{η} : อัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ต่ำสุด ระหว่างกระแสเอาต์พุตของคอลเล็กเตอร์สูงสุดต่อกระแสไบโอดที่ค่า V_{CE} และ IF ที่กำหนดมา

- $V_{CE(sat)}$: เป็นแรงดันอิ่มตัวระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขาอีมิเตอร์สำหรับตัวแยกทางแสงที่ใช้สวิตช์สองทิศทางหรือแบบที่ใช้ SCR นั้น มีตัวแปรการส่งผ่านที่สำคัญดังนี้

- I_{FT} : เป็นค่ากระแสกระตุ้นไบโอดเปล่งแสงอินฟราเรดสูงสุด ซึ่งต้องการใช้เพื่อคงสถานะให้อาต์พุตค้างไว้

- I_H : เป็นค่ากระแสโฮลดิ้งทางเอาต์พุต เพื่อที่จะยังคงสถานะค้างไว้

ตัวแยกทางแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เบอร์ 4N26 ของ Motorola ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตาราง ข1. คุณสมบัติของตัวแยกทางแสง เบอร์ 4N26

		ค่าต่ำสุด	ค่าปกติ	ค่าสูงสุด	หน่วย
อินพุต	I_F			60	mA
	$V_F (I_F=10 \text{ mA})$		1.15	1.5	V
	V_R			3	V
เอาต์พุต	I_C				mA
	$V_{(BR)CBO}$	70	100	150	V
	$V_{(BR)CEO}$	30	45		V
	$V_{(BR)ECO}$	7	7.8		V
ตัวแปร	CTR ($I_F=10 \text{ mA}$, $V_{CE}=10 \text{ V}$)	20		0.15	%
เชื่อมโยง	$V_{CE(sat)} (I_F=50 \text{ mA}$, $I_C=2 \text{ mA})$				V

ภาคผนวก ก คุณสมบัติและรายละเอียดของการ์ด Lab-PC-1200

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก สำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและการควบคุมแรงดันเจนเนอเรเตอร์ จะรวมอยู่บนการ์ด Lab-PC-1200 ของบริษัท National Instrument ซึ่งสามารถเสียบบนสล็อตของไมโครคอมพิวเตอร์ ขั้วต่อของการ์ด Lab-PC-1200 แสดงอยู่ในภาพประกอบ ก1

ACH0	1	2	ACH1
ACH2	3	4	ACH3
ACH4	5	6	ACH5
ACH6	7	8	ACH7
AISENSE/AIGND	9	10	DAC0OUT
ANALOG GROUND	11	12	DAC1OUT
DIGITALGROUND	13	14	PA0
PA1	15	16	PA2
PA3	17	18	PA4
PA5	19	20	PA6
PA7	21	22	PB0
PB1	23	24	PB2
PB3	25	26	PB4
PB5	27	28	PB6
PB7	29	30	PC0
PC1	31	32	PC2
PC3	33	34	PC4
PC5	35	36	PC6
PC7	37	38	EXTTRIG
EXTUPDATE*	39	40	EXTCONV*
OUTB0	41	42	GATB0
OUTB1	43	44	GATB1
CLKB1	45	46	OUTB2
GATB2	47	48	CLKB2
+5V	49	50	DIGITAL GROUND

ภาพประกอบ ก1 แสดงตำแหน่งของขั้วต่อบนการ์ด Lab-PC-1200

ในงานวิจัยนี้ใช้สล็อตต่อบนการ์ด Lab-PC-1200 ทั้งหมด 5 สล็อต ดังนี้

- สล็อตหมายเลข 1 และ 9 ใช้ในการรับสัญญาณอนาลอกอินพุต เพื่อหาค่าแรงดันและ

ความเร็ว

- สล็อตหมายเลข 10, 11 และ 12 ใช้ในการส่งสัญญาณอนาล็อกออกไปยังตัวแยกทางแสง
เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงและแรงดันเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับ

Lab-PC-1200 จะมีคุณลักษณะทางเทคนิคดังนี้ (National Instruments Corporation, 1996)

1. การรับสัญญาณอนาล็อกอินพุต

1.1 Input Characteristics

จำนวนของช่องสัญญาณ	Eight single-ended, eight pseudodifferential or four differential, software selectable
ชนิดของ A/D Converter	Successive approximation
Resolution	12 bits, 1 in 4,096
อัตรา Sampling สูงสุด	100 kS/s single channel
ช่วงของสัญญาณอินพุต	

Board Gain (Software-Selectable)	Board Range (Software-Selectable)	
	± 5 V	0 to 10 V
1	± 5 V	0 to 10 V
2	± 2.5 V	0 to 5 V
5	± 1 V	0 to 2 V
10	± 500 mV	0 to 1 V
20	± 250 mV	0 to 500 mV
50	± 100 mV	0 to 200 mV
100	± 50 mV	0 to 100 mV

Input coupling

DC

Voltage สูงสุดที่ใช้งาน

(signal + common mode)

ถ้าเป็น Negative Input ใช้ ± 5 V (Bipolar input range) หรือ -5 ถึง +2 V (Unipolar input range)

	ของ AGND ถ้าเป็น Positive Input ใช้ -5 ถึง +10 V
	ของ AGND
Overvoltage protection	± 35 V powered on, ± 25 V powered off
Inputs protected	Analog channel 0 through 7 signals
การถ่ายข้อมูล	DMA, interrupts, programmed I/O

1.2 Transfer Characteristics

DNL	± 1 LSB max
No missing codes	12 bits, guaranteed
Offset error	
Pregain error after calibration	10 μ V max
Pregain error before calibration	± 20 mV max
Postgain error after calibration	1 mV max
Postgain error before calibration	± 200 mV max
Gain error (relative to calibration reference)	
After calibration	0.02% of reading max
Before calibration	$\pm 2\%$ of reading max

1.3 Amplifier Characteristics

Input impedance	
Normal powered on	100 G Ω in parallel with 50 pF
Powered off	4.7 k Ω min
Overload	4.7 k Ω min
Input bias current	± 100 pA
Input offset current	± 100 pA

1.4 Dynamic Characteristics

Bandwidth

Small signal (-3 dB)

Gain	Bandwidth
1-10	250 kHz
20	150 kHz
50	60 kHz
100	30 kHz

Settling time for full-scale step

Gain	Settling Time (Accuracy $\pm 0.024\%$ (± 1 LSB))
1	10 μ s typ, 14 μ s max
2-10	13 μ s typ, 16 μ s max
20	15 μ s typ, 19 μ s max
50	27 μ s typ, 34 μ s max
100	60 μ s typ, 80 μ s max

1.5 Stability

Recommended warm-up time	15 min
Offset temperature coefficient	
Pregain	$\pm 15 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Postgain	$\pm 100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

1.6 Bus Interface

Type	Slave
------	-------

1.7 Power Requirement

Power consumption	
Lab-PC-1200AI	150 mA at ± 5 VDC ($\pm 5\%$)
Power available at I/O connector	+4.65 to +5.25 V fused at 1 A

1.8 Physical

Dimensions	17.45 by 10.56 cm (6.87 by 4.16 in.)
I/O connector	50-pin male

1.9 Environment

Operating temperature	0° to 50° C
Storage temperature	-55° to 150° C
Relative humidity	5% to 90% noncondensing

2. การส่งสัญญาณนอกเอาต์พุต

2.1 Output characteristics

Number of channels	Two voltage
Resolution	12 bits, 1 in 4,096
Typical update rate	1 kS/s, system dependent
Type of D/A Converter	Double buffered
Data transfers	Interrupts, programmed I/O

2.2 Transfer characteristics

Relative accuracy (INL)	± 0.25 LSB typ, ± 0.50 LSB max
DNL	± 0.25 LSB typ, ± 0.75 LSB max
Monotonicity	12 bits, guaranteed
Offset error	
After calibration	± 0.2 mV max
Before calibration	± 50 mV max
Gain error (relative to internal reference)	
After calibration	0.004% of reading max
Before calibration	$\pm 1\%$ of reading max

2.3 Voltage output

Ranges	0 to 10 V, ± 5 V, software selectable
Output coupling	DC
Output impedance	$0.2\ \Omega$ typ
Current drive	± 2 mA
Protection	Short circuit to ground
Power-on state	0 V

2.4. Dynamic characteristics

Settling time to full-scale range (FSR)	5 μ s
--	-----------

2.5. Stability

Offset temperature coefficient	$\pm 50\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Gain temperature coefficient	$\pm 30\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายวัชรพงศ์ ราชพงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 13 มีนาคม 2518

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ไฟฟ้า) (เกียรตินิยม)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2540

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาบัณฑิตศึกษาประเภทผลการเรียนดีเด่นของมหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์