

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร.....	4
1.3 วัตถุประสงค์.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย.....	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	7
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	8
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	8
2.1.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	8
2.1.2 แบบจำลองพลศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	12
2.1.3 หลักการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	16
2.2 ทฤษฎีฟิซซึ่ล่อจิก.....	20
2.2.1 ทฤษฎีฟิซซึ่เซต.....	20
2.2.2 ฟิซซึ่เซต.....	22
2.2.3 ซัพพอร์ตของฟิซซึ่เซต.....	22
2.2.4 ชิงเกิลตันฟิซซึ่เซต.....	23
2.3 การปฏิบัติการฟิซซึ่ล่อจิก.....	23
2.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	24

2.4.1	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ( $\Delta$ หรือ T-function)	24
2.4.2	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู	25
2.5	ตัวแปรทางภาษา	26
2.6	ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก	27
2.6.1	ฟัซซี่ฟิเคชัน	27
2.6.2	ฐานความรู้ฟัซซี่ลอจิก	28
2.6.3	กลไกอนุมาน	28
2.6.4	ดีฟัซซี่ฟิเคชัน	30
3.	โครงสร้างและการจำลองการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	34
3.1	โครงสร้างและการทำงานของเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	34
3.2	ส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	36
3.3	แบบจำลองของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	37
3.3.1	แบบจำลองมอเตอร์	38
3.3.2	แบบจำลองอินเวอร์เตอร์	41
3.4	การจำลองการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์	41
3.4.1	ผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ระยะทางต่างๆ กัน	44
3.4.2	ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์	46
4.	ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	49
4.1	ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	49
4.1.1	ส่วนอินพุต (input part)	49
4.1.2	ส่วนตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic controller)	56
4.1.3	ส่วนเอาต์พุต (output part)	61
4.2	การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก	64
4.2.1	การฟัซซี่ฟิเคชันของอินพุต	64
4.2.2	การกำหนดตัวแปรเอาต์พุตฟัซซี่	66
4.2.3	การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา (fuzzy linguistic) และการกำหนดค่าความเป็นสมาชิก (grade of membership function)	67

4.2.4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุม.....	68
4.2.5 การดีพีซซีพีเคชันของเอาท์พุทและการกำหนดวิธีการรวมผลของพีซซี.....	69
4.2.6 การเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทที่หาได้.....	70
5. ผลและการอภิปรายผลการทดลอง.....	72
5.1 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ในเครื่องปั๊มและตัดเหล็ก.....	72
5.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม.....	72
5.1.2 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม.....	76
โดยเพิ่มความละเอียดของตำแหน่ง	
5.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองการควบคุมและผลการทดลอง.....	79
การเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์	
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	83
6.1 บทสรุป.....	83
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
บรรณานุกรม.....	86
ภาคผนวก ก รายละเอียดของมอเตอร์.....	89
ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	98

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3-1 ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์.....	46
4-1 ค่าควอนไทล์ของ E ของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์.....	65
4-2 ค่าควอนไทล์ของ CE ของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์.....	66
4-3 ค่าจุดศูนย์กลางถ่วง (assigned value) ของเอาต์พุตพีซีซีของ ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์.....	66
4-4 กฎการควบคุมพีซีซี.....	69
4-5 ค่าเอาต์พุตทั้งหมดของทุกกรณีที่เกิดขึ้นในระบบควบคุม.....	70
4-6 ค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าความเร็วที่กำหนดให้กับมอเตอร์.....	70
5-1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม.....	73
5-2 ผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม..... โดยเพิ่มความละเอียดของตำแหน่ง	76
5-3 ผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบของระบบจำลองและระบบจริง.....	79

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 เครื่องปั๊มแผ่นเหล็ก.....	1
1-2 เครื่องตัดแผ่นเหล็ก.....	1
1-3 ชุดวัฏระยาะที่ประกอบอยู่กับเครื่องปั๊ม, เครื่องตัดแผ่นเหล็ก.....	2
2-1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก.....	9
2-2 การเกิดแรงที่ตัวนำรูปบันได เมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่.....	9
2-3 ลักษณะของตัวนำของโรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	10
2-4 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	11
2-5 แกน d เกิดจากสนามแม่เหล็กหลัก และแกน q เกิดจากสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์.....	12
2-6 การย้ายแกนของระบบไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่บนแกน d-q ในระบบแกนอ้างอิงคงที่.....	13
2-7 การแปลงแรงดันบนแกนอ้างอิงหยุดนิ่งไปอยู่บนแกนอ้างอิงที่หมุนด้วย.....	15
ความเร็วเชิงมุม $\omega_c$	
2-8 คุณลักษณะแรงบิดกับความเร็วสำหรับแรงดันขั้วต่างๆ กัน.....	18
2-9 คุณลักษณะของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ เมื่อความถี่เปลี่ยนไป.....	19
โดยแสดงความสัมพันธ์ของทอร์กของมอเตอร์ กระแส ความถี่และค่าสลิป	
2-10 แสดงความเป็นสมาชิกของเซตดั้งเดิม (a) กับ ฟัชซีเซต (b).....	21
2-11 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของซิงเกิลตันฟัชซีเซต.....	23
2-12 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม.....	24
2-13 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	25
2-14 ตัวแปรภาษากำหนดอุณหภูมิ.....	26
2-15 ระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมฟัชซี.....	27
2-16 การอนุมานโดยวิธีของแมมดานี.....	30
2-17 ผลจากการดีฟัชซีฟิเคชันแบบ MOM และ COA.....	32
3-1 ลักษณะของตัววัฏระยาะ.....	35
3-2 ส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ใน.....	36
เครื่องปั๊มและตัดเหล็ก	
3-3 ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์.....	37
3-4 วงจรสมมูลพลศาสตร์บนแกนที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโรนัส.....	38

3-5	ระบบจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink	42
3-6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของส่วนอินเวอร์เตอร์	42
3-7	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของส่วนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	43
3-8	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของส่วนตัวควบคุมพีชชีลลจิก	43
3-9	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 0.025 มิลลิเมตร	44
3-10	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 0.2 มิลลิเมตร	44
3-11	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 1.0 มิลลิเมตร	44
3-12	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 3.0 มิลลิเมตร	44
3-13	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 10.0 มิลลิเมตร	44
3-14	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 40.0 มิลลิเมตร	44
3-15	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 70.0 มิลลิเมตร	45
3-16	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 100.0 มิลลิเมตร	45
3-17	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 160.0 มิลลิเมตร	45
3-18	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 240.0 มิลลิเมตร	45
3-19	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 320.0 มิลลิเมตร	45
3-20	แสดงผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ 360.0 มิลลิเมตร	45
3-21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาเข้าสู่เป้าหมาย	47
3-22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าความผิดพลาด	48
4-1	ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก	49
4-2	อินคริเมนทอลโรตารีเอนโคเดอร์ (incremental rotary encoder)	50
4-3	แสดงพัลส์ที่ได้จากอินคริเมนทอลโรตารีเอนโคเดอร์	51
4-4	การตรวจนับขอบขาขึ้น และขอบขาลงของทั้ง 2 เฟส	51
4-5	การประกอบโรตารีเอนโคเดอร์เข้ากับวงจร	52
4-6	วิธีการตรวจนับทิศทางการหมุนของโรตารีเอนโคเดอร์ โดยอ่านค่าเข้ามาทางพอร์ตหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์	52
4-7	วงจรรับพัลส์จากเอนโคเดอร์ และโรตารีเอนโคเดอร์	52
4-8	โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าตำแหน่งของมอเตอร์จากเอนโคเดอร์	54
4-9	ลิมิตสวิตช์ ที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของตัววัฏระยะ	55
4-10	วงจรอินพุต (แสดงเพียง 1 ช่องสัญญาณ)	56

4-11	รูปบอร์ดควบคุมที่ใช้งาน .....	56
4-12	บล็อกไดอะแกรมของวงจรเสริมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ บนบอร์ดควบคุม .....	57
4-13	โพลีชาร์ตการเข้าหาตำแหน่งเริ่มต้น .....	59
4-14	โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ด้วย ระบบควบคุมพีซีซีลอจิก .....	60
4-15	บอร์ดวงจรเอาต์พุต .....	61
4-16	วงจรเอาต์พุต (แสดงเพียง 1 ช่องสัญญาณ) .....	62
4-17	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับมอเตอร์ .....	62
4-18	มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ และระบบขับเคลื่อน .....	64
4-19	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุต E .....	67
4-20	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุต CE .....	68
4-21	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตพีซีซี $f$ .....	68
5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาที่ใช้เข้าสู่ตำแหน่ง .....	74
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น .....	75
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาที่ใช้เข้าสู่ตำแหน่ง .....	78
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น .....	78
5-5	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบจริงและระบบจำลอง เมื่อพิจารณาค่าตำแหน่งและเวลาเข้าสู่ตำแหน่ง .....	81
5-6	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบจริงและระบบจำลอง เมื่อพิจารณาค่าตำแหน่งและค่าความผิดพลาด .....	81