สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา	5
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**7**
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นและการควบคุม	7
2.2 อินเวอร์เตอร์และการสร้างสัญญาณพัลส์วิธมอดูเลชั่น (PWM)	17
2.3 หลักการควบคุมมอเตอร์เชิงเส้น	26
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	28
2.8 สรุปทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	**31**
3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	31
3.2 แบบจำลอง และการออกแบบระบบควบคุม	32
3.3 การออกแบบ และสร้างวงจรระบบควบคุม	42

หน้า

3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมระบบ 48

บทที่ 4 ผลการทดลอง **49**

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ 49

4.2 การทดสอบแบบจำลองการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น 51

4.3 การทดสอบชุดควบคุม 57

4.5 สรุปการทดลอง 63

บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ **64**

5.1 สรุปผลโครงการวิจัย 65

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก ก. โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นต้นแบบ 69

ภาคผนวก ข. แผ่นพิมพ์วงจรอินเวอร์เตอร์และระบบควบคุม 72

ประวัติคณะผู้วิจัย 74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ข้อกำหนดการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	5
2.1	เซกเตอร์การทำงานของสวิตช์ทั้ง 8 สถานะ	23
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	33
3.2	ข้อมูลสำหรับการเลือกใช้เซนเซอร์กระแส LTS 25-NP	45

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การประยุกต์ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	2
1.2	โครงสร้างของรถไฟฟ้าความเร็วต่ำขับเคลื่อนโดยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	3
1.3	โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไป และมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	4
1.4	ตัวอย่างการวางตำแหน่งขดลวดสนามแม่เหล็กด้านล่างของตัวรถไฟฟ้า	4
1.5	ตัวอย่างแกนเหล็กและการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก	5
2.1	ไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในแบบจำลองรถไฟฟ้า	7
2.2	โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่พัฒนามาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหมุน	8
2.3	การจำแนกชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	8
2.4	รัศมีของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหมุนเปรียบเทียบกับความยาวของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	10
2.5	แรงที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	11
2.6	วงจรสมมูลของ Asynchronous Machine ในสภาวะ Steady-State	15
2.7	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบแหล่งจ่ายแรงดัน	18
2.8	หลักการสร้างสัญญาณแบบ SPWM	18
2.9	การสร้างสัญญาณ SPWM 3 เฟส	19
2.10	เวกเตอร์ไดอะแกรมการแปลง 3 แกนเป็น 2 แกน	21
2.11	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	22
2.12	สถานะการทำงานของสวิตช์ทั้ง 8 สถานะ	22
2.13	เวกเตอร์ไดอะแกรมของแรงดันในแต่ละเซกเตอร์การทำงานของสวิตช์	23
2.14	เวกเตอร์ไดอะแกรมของ $\bar{V}_S$	25
2.15	รูปแบบสถานะของการสวิตช์ในแต่ละเซกเตอร์	26
2.16	ไดอะแกรมการควบคุมแบบ V/F ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน	28
3.1	ส่วนประกอบของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในโครงการ	31
3.2	แผนภาพไดอะแกรมแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	32
3.3	ส่วนประกอบของแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	33
3.4	แผนภาพไดอะแกรมของกระแสใน Stator Frame	34
3.5	แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{S\alpha}$	35

รูปที่		หน้า
3.6	แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{S\beta}$	35
3.7	แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{R\alpha}$	36
3.8	แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{R\beta}$	36
3.9	แผนภาพไดอะแกรม SIMULINK model ของแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	37
3.10	แผนภาพไดอะแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	38
3.11	แผนภาพลดลงเมื่อพิจารณาฟลักซ์คงที่	38
3.12	แผนภาพไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	38
3.13	แผนภาพไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นอย่างง่าย	39
3.14	แผนภาพไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ SVPWM	40
3.15	สัญญาณที่ได้จากการสร้างสัญญาณ SVPWM	42
3.16	โครงสร้างสถาปัตยกรรมของชิพเบอร์ dsPIC30F2010	42
3.17	วงจรการทำงานของ dsPIC30F2010 ในโครงการ	43
3.18	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	43
3.19	วงจรป้องกัน Inrush Current พร้อมวงจรกรองแรงดัน	44
3.20	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ	44
3.21	วงจรใช้ประกอบการสร้างวงจรการใช้งานเซนเซอร์ LTS 25-NP	45
3.22	วงจรการใช้งาน LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010	46
3.23	วงจรสำหรับวัดสัญญาณแรงดัน	46
3.24	สัญญาณที่ได้จากโมดูล Quadrature Encoder Interface	47
3.25	การเชื่อมต่อ Encoder เบอร์ AEDB-9140-A13 กับ dsPIC30F2010	47
3.26	โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบ	48
4.1	แบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	49
4.2	ชุดทดลองสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	50
4.3	ผลตอบสนองความเร็วที่ 1000 rpm และปรับเป็น 2000 rpm ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm	51
4.4	ผลตอบสนองของแรง (Force) และกระแสเฟส ในขณะที่บรรทุกโหลด 0.5 Nm	51
4.5	ผลตอบสนองความเร็วที่ 1000 rpm และปรับเป็น 500 rpm ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm	52

รูปที่		หน้า
4.6	ผลตอบสนองของแรง (Force) และกระแสเฟส ในขณะที่บรรทุกโหลด 0.5 Nm	52
4.7	ผลตอบสนองความเร็ว 1250 rpm ขณะไม่มีโหลด	53
4.8	ภาพขยายผลตอบสนองความเร็ว 1250 rpm ขณะไม่มีโหลด	53
4.9	ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสที่ความเร็ว 1250 rpm ขณะไม่มีโหลด	54
4.10	ผลตอบสนองความเร็วที่ 2500 rpm ขณะไม่มีโหลด	54
4.11	ภาพขยายผลตอบสนองความเร็วที่ 2500 rpm ขณะไม่มีโหลด	55
4.12	ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสขณะไม่มีโหลด	55
4.13	ผลตอบสนองความเร็วที่ 1500 rpm. ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm	56
4.14	ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสเฟส	56
4.15	สัญญาณที่ขา PWM1L-PWM1H-PWM2L-PWM2H ของ dsPIC30F2010	57
4.16	สัญญาณ PWM ที่ขา PWM2L-PWM2H-PWM3L-PWM3H ของ dsPIC30F2010	58
4.17	เวลาวิกฤต (Dead Time) ด้านหน้าขนาด 2.8 ไมโครวินาที	58
4.18	เวลาวิกฤต (Dead Time) ด้านหลังขนาด 2.8 ไมโครวินาที	59
4.19	สัญญาณ SVPWM เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่	59
4.20	สัญญาณแรงดัน SVPWM เฟสที่ 1 และ 2 จะต่างเฟสกัน 120 องศาไฟฟ้า	60
4.21	ความเร็วและกระแสเฟสเมื่อความเร็วอ้างอิง 1250 rpm ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด	60
4.22	ความเร็วและกระแสเฟส เมื่อความเร็วอ้างอิงที่ 2500 rpm ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด	61
4.23	ความเร็วและกระแสเฟส เมื่อความเร็วอ้างอิงที่ 1500 rpm ขณะมอเตอร์มีโหลด 0.5 Nm	61
4.24	ภาพขยายผลตอบสนองความเร็วและกระแสเฟสของรูปที่ 4.23	62
4.25	รูปคลื่นแรงดันสายไฟ (Line Voltage) และกระแสเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ความเร็ว 1500 rpm ขณะมีโหลด 0.5 Nm	62