

หัวข้อปริญญาโท ชุติการการทำงานมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในรูปแบบ
โรเตอร์เป็นแท่งทรงกระบอกยาว

หน่วยกิต 3 หน่วยกิต

โดย นาย ธนิต จงพลาผลกุล 5103200039
นาย รัฐศาสตร์ ศิริแสน 5103200055
น นาย วสันต์ กลิ่นเทียน 5103200057
นาย วิสูตร เกตุแวน 5103200049

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ จักรกฤษณ์ จันทร์เจียว

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

พุทธศักราช 2555

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้แนะนำเสนอการออกแบบและจัดสร้าง ชุติการการทำงาน มอเตอร์
เหนี่ยวนำเชิงเส้นในรูปแบบโรเตอร์เป็น แท่งทรงกระบอกยาว เพื่อให้ชุติการแสดงการทำงานใน
ระยะเลื้อน ที่มีความยาวจำกัด และเห็นการทำงานได้ชัดเจน หลักการและส่วนประกอบที่จำเป็น
ทั้งหมดถูกนำเสนอในรายละเอียด ก่อนที่เทคนิคการออกแบบวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่น
ๆ ภายในระบบจะถูกแสดงให้เห็น นอกจากนั้นหลักการ ออกแบบในทางโครงสร้าง การคัดเลือก
วัสดุอย่างเหมาะสม เทคนิคการควบคุมการขับเคลื่อน และ การทดสอบความสามารถในการทำงาน
ได้ถูกนำเสนอไว้ด้วยเช่นกันในปริญญาโทฉบับนี้

คำสำคัญ: มอเตอร์เชิงเส้น, วงจรแม่เหล็กไฟฟ้า, สนามแม่เหล็กเลื้อนไหล

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(อาจารย์ จักรกฤษณ์ จันทร์เจียว)

....

...../...../.....

Project Title	Demonstration Set of a Linear Induction Motor Using Rotor in the Form of Long Cylinder	
Project Credit	3 Units	
By	Mr. Tanit Jongparaphonkul	5103200039
	Mr. Rathasart Sirisan	5103200055
	Mr. Watsun Klintein	5103200057
	Mr. Wisut Ketwaen	5103200049
Project Advisor	Mr. Jrukkrit Chankiew	
Degree	Bachelor of Engineering	
Major	Electrical Engineering	
Faculty of	Engineering	
Year	2012	

Abstract

This thesis presents the design and construction of a demonstration set of a linear induction motor using rotor in the form of long cylinder. It is designed to enable the demonstration set to demonstrate its operation clearly within the limited moving distance. Operation principles and necessary components involved in the design are first presented in detail follows by the presentation of design techniques for electromagnetic circuits and other components inside the system. In addition, design principles for the demonstration set structure, proper selection of material, control technique for motor driving and its performance test are also presented in this thesis.

Keywords: Linear Motor, Electromagnetic Circuit, Travelling Magnetic Field

Project Advisor

(Mr. Jrukkrit Chankiew)

.....//

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาานิพนธ์ชุดสาริตการทำงานมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในรูปแบบ โรเตอร์ เป็นแห่งทรงกระบอกขาวนี้ แม้จะมีปัญหามากมายในหลาย ๆ ด้านก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นการศึกษา ข้อมูลที่เกี่ยวกับการออกแบบตัวสเตเตอร์ การออกแบบตัวโรเตอร์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบ แต่ปัญหาต่าง ๆ ก็สามารถบรรลุผลไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องมาจากคณะผู้จัดทำได้รับการเสนอแนะ และอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก อาจารย์ จักรกฤษณ์ จันทร์เจียว รวมทั้งคณาจารย์ประจำภาค วิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความสะดวกในการทำงาน พร้อมทั้งให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดี ซึ่งมีผลทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเป็นไปอย่างมีลำดับขั้นตอน ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ ทุกประการ

ดังนั้น คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น และคณาจารย์ท่าน อื่นที่มีได้เอ่ยนาม ที่ให้การอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ ต้องการไว้เป็นอย่างสูง

นาย	ธนิต	จงพลาผลกุล
	นาย รัฐศาสตร์	ศิริแสน
น	าย วสันต์	กลั่นเทียน
	นาย วิสูตร	เกตุแวน

สารบัญ

	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การวิเคราะห์เบื้องต้นของสารแม่เหล็ก	3
2.1.1 คุณสมบัติของสนามแม่เหล็กในช่องอากาศ	3
2.1.2 พฤติกรรมเส้นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.1.3 ลูปฮิสเทอรีซิส	8
2.1.4 คุณสมบัติของสารเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	10
2.1.5 ความเหนี่ยวนำ	11
2.1.6 ผลตอบสนองเชิงความถี่	11
2.2 ความรู้พื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดหมุน	12
2.2.1 ความแตกต่างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเชิงเส้นกับแบบเชิงมุม	12
2.2.2 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น (Linear Induction Motor)	14
2.3.1 การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	15
2.3.2 การวิเคราะห์และแนวทางในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	16
2.3.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบความเร็วต่ำ	16
2.3.4 การวิเคราะห์แบบประมาณโดยใช้วงจรสมมูล	19
2.3.4.1 ความต้านทานของปฐมภูมิ	20
2.3.4.2 ความเหนี่ยวนำรั่วไหลของปฐมภูมิ	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4.3 ความต้านทานของทุติยภูมิ	20
2.3.4.4 กู้ดเนสซ์ แฟกเตอร์	21
2.3.4.5 แรงในแนวตั้งฉาก ใน Side Flat LIM	22
2.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	23
2.4.1 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมสลิป	23
2.4.1.1 การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์	24
2.4.1.2 การควบคุมความต้านทานของโรเตอร์	24
2.4.2 การควบคุมจำนวนขั้วของสเตเตอร์	24
2.4.3 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความถี่ไฟฟ้า	25
2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	28
2.5.1 อิมพีแดนซ์ในวงจรหม้อแปลง	29
2.5.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	30
2.5.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	32
2.5.4 เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation)	33
2.5.5 หม้อแปลงแบบปรับแรงดัน (Auto Transformer)	33
2.5.6 โครงสร้างของหม้อแปลง	34
2.5.6.1 ฉนวนของหม้อแปลง (Insulator)	34
2.5.6.2 แกนเหล็ก (Core)	34
2.5.6.3 ขั้วต่อสายไฟ (Terminal)	35
2.5.6.4 แผ่นป้าย (Name Plate)	35
2.5.7 ประเภทและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	35
บทที่ 3 การออกแบบ	38
3.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น	38
3.1.1 ความกว้างของช่องว่างอากาศ (Air Gap)	38
3.1.2 ระยะลงขดลวด (Pole Pitch)	38
3.1.3 จำนวนขั้วแม่เหล็ก	38
3.1.4 ค่าความต้านทานไฟฟ้าขดลวดทุติยภูมิ	38
3.1.5 ขดลวดปฐมภูมิ	39
3.1.6 จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.7 หน้าที่ของขดลวดปฐมภูมิ	40
3.1.8 แผ่นทุติยภูมิ	40
3.2 แบบงานการดำเนินการสร้าง	40
3.2.1 การจัดสร้างตัวสเตเตอร์	42
3.2.2 การจัดสร้างตัวโรเตอร์	42
3.2.3 วงจรไฟฟ้ากำลัง	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 การทดลองหาค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำของขดลวดสเตเตอร์	44
4.2 การทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดสเตเตอร์เมื่อเทียบกับความถี่ไฟฟ้า	44
4.3 การทดลองวัดกระแสไฟฟ้าต่อเฟสในแต่ละความถี่ไฟฟ้า	44
4.4 การทดลองวัดแรงขับเคลื่อนในแนวราบ	45
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทำโครงการ	46
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น	46
5.3 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ประวัติผู้จัดทำ	48
ภาคผนวก	50

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ	3
รูปที่ 2.2 การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	4
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และค่า H เมื่อมีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	4
รูปที่ 2.4 การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	5
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และค่า H เมื่อมีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	5
รูปที่ 2.6 หลักการของหม้อแปลงพื้นฐาน	6
รูปที่ 2.7 วงจรแม่เหล็กที่มีเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่าน	6
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และ H	7
รูปที่ 2.9 ลักษณะแกนเหล็กที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ	7
รูปที่ 2.10 ลักษณะแกนเหล็กที่เกิดการเหนี่ยวนำบางส่วน	7
รูปที่ 2.11 ลักษณะแกนเหล็กที่เกิดการเหนี่ยวนำจนอิ่มตัว	7
รูปที่ 2.12 ลูปฮิสเทอรีซิส	9
รูปที่ 2.13 การใช้ข้อมูลค่า AL เพื่อออกแบบตัวเหนี่ยวนำ	11
รูปที่ 2.14 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเชิงหมุนที่ถูกผ่าและคลี่ออกเป็นแบบเชิงเส้น	12
รูปที่ 2.15 ขดลวดปฐมภูมิแบบ 1 ข้าง (SLIM) และ แบบ 2 ข้าง (DSLIM)	14
รูปที่ 2.16 การวางขดลวดมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น	14
รูปที่ 2.17 การพัฒนาต่อจากมอเตอร์เชิงเส้นเป็นคูบลุ่มมอเตอร์	15
รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น	20
รูปที่ 2.19 กราฟแรงบิด-ความเร็วรอบเมื่อเปลี่ยน R_{Rotor} และ V_{Stator}	24
รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ แบบ 4/8 Pole	25
รูปที่ 2.21 เส้นกราฟแรงบิด-ความเร็ว และกระแส-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	26
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน แรงบิด กับความถี่ไฟฟ้าของมอเตอร์	27
รูปที่ 2.23 กราฟแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อควบคุมด้วยวิธี VVVF	27
รูปที่ 2.24 โครงสร้างของหม้อแปลง	28
รูปที่ 2.25 (ก) โหลด Z_p ได้รับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายผ่านหม้อแปลง	30
(ข) แหล่งจ่ายมองเห็นอิมพีแดนซ์กลายเป็น Z_p	30
รูปที่ 2.26 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	31
(ก) เมื่อแยกพารามิเตอร์ออก	31
(ข) เมื่อย้ายพารามิเตอร์ทางขดลวดทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ	31
(ค) เมื่อไม่คิดกระแสขณะไร้อะไร	31

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า	
รูปที่ 2.27	เวกเตอร์ของกระแสและแรงดันของหม้อแปลงชนิดไร้โหลด 32
รูปที่ 2.28	หม้อแปลงแบบปรับระดับแรงดันได้ 34
รูปที่ 2.29	การหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า 37
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมงานในโครงการ 41
รูปที่ 3.2	ส่วนประกอบต่าง ๆ ในโครงการ 41
รูปที่ 3.3	ชุดขดลวดสเตเตอร์และแกนเหล็กสเตเตอร์ 42
รูปที่ 3.4	ตัวโรเตอร์ของมอเตอร์เชิงเส้น 42
รูปที่ 3.5	วงจรไฟฟ้ากำลัง 43
รูปที่ 3.6	หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ 43
รูปที่ 3.7	เครื่องควบคุมการทำงาน 43

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	ระยะเวลาในการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 2.1	ชนิดของเนื้อสารต่อค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ทำให้สารแม่เหล็กอิ่มตัว	8
ตารางที่ 2.2	ค่าของความเข้มข้นแม่เหล็ก และสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน	9
ตารางที่ 2.3	การนำสารแม่เหล็กไปใช้งานต่าง ๆ กันตามชนิดของเนื้อสาร	10
ตารางที่ 4.1	ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสเตเตอร์	44
ตารางที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ไฟฟ้า (V/f)	44
ตารางที่ 4.3	กระแสไฟฟ้าต่อเฟสในแต่ละความถี่ไฟฟ้า	45