



การออกแบบและสร้างมอเตอร์สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
Design and Construction of In-Wheel Motor for Electric Vehicle

โดย

ประเสริฐ	หาชานนท์
พร้อมศักดิ์	อภิรติกุล
สรพงษ์	ภาสุปรีย์
ณัฐสิทธิ์	พัฒนะอิม
วันชัย	ทรัพย์สิงห์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

ชื่อ : ประเสริฐ หาชนนท์
 พร้อมศักดิ์ อภิตกุล
 สรพงษ์ ภาสุปรีย์
 ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอิม
 วันชัย ทรัพย์สิงห์

ชื่องานวิจัย : การออกแบบและสร้างชุดมอเตอร์สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
 หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ที่มีขนาด 350 วัตต์ ใช้แหล่งจ่ายพลังงานเป็นชุดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัวเชื่อมต่ออนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า ที่ใช้หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาขับที่ล้อรถยนต์โดยตรง ทำให้ลดการใช้ชิ้นส่วนทางกลและกลไกต่างๆที่ขับเคลื่อนล้อรถในแบบเดิมและลดการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางกลลงได้

ชุดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นชุดมอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส 380V, 50Hz ขนาดกำลังขับ 350W โดยการพัฒนามอเตอร์พัดลมต้นแบบ ให้เป็นชุดมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งทำการพันขดลวดใหม่ เพื่อให้ได้กำลังที่ต้องการในการขับเคลื่อนรถยนต์

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นถึงกำลังที่ได้ออกมาและประสิทธิภาพของชุดมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังที่ป้อนเข้า โดยมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคงที่ที่ 25.41 โวลต์ ลักษณะของกราฟที่แสดงออกมา พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของชุดมอเตอร์อยู่ที่แรงบิด 2.5 N-m ซึ่งได้ประสิทธิภาพ 82.56% ส่วนแรงบิดที่พิกัดค่าที่ป้อนเข้า 348.76 วัตต์ อยู่ที่ 6.25 N-m

คำสำคัญ: ชุดมอเตอร์ รถไฟฟ้า แม่เหล็กถาวร

Name : Prasert Hachanont
Promsak Apiratikul
Sorapong Pavasupree
Natthasit Patthanaim
Wanchai Thapsin

Research Title : Design and Construction of In-Wheel Motor for Electric Vehicle

หน่วยงาน : Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

This research aim to design and development of In-Wheel Motor for Electric Vehicle. In this research, the In-wheel Motor has been developed with power drive is 350 watts using power source from 2 batteries set with 12 voltages connected in series in order to improve the voltage power up to 24 voltages. Driving with In-Wheel Motor is used the basic of 3 phase induction to use motor directly drive at the vehicle wheels in order to reduce the mechanical components of drive train and energy loss. Moreover, also, It can reduce the maintenance cost.

The set of In-Wheel Motor is the set of electrical motor with 3 phase, 380V, 50Hz and 350W driving power. The development used normal electric fan as a prototype to developing the In-Wheel Motor by making a new coil in order to meet the requirement of the power to drive a vehicle.

The results from laboratory show that the output power and efficiency of In-Wheel Motor set with variation of input power by controlling the input voltage constantly at 25.41 voltages. The results can be shown by graphs. It found that the highest efficiency of In-Wheel Motor set is at the torque is 2.5 N-m with 82.56% of performance. At the input power maximum is 348.76 watts gives 6.25 N-m. in torque.

Keywords: In-Wheel Motor, Electric Vehicle, Permanent Magnet

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2555 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องทดสอบ และตรวจวัด ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำให้การตรวจวัดการทดลองเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประเสริฐ	หาชานนท์
พร้อมศักดิ์	อภิรติกุล
สรพงษ์	ภาสุปรีช
ณัฐสิทธิ์	พัฒนะอิม
วันชัย	ทรัพย์สิงห์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 คำนำ	4
2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.3 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC motor)	11
2.4 Electromagnetic Torque ในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.5 การทำงานกลับไปมาระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์	16
2.6 Power-flow Diagram	19
2.7 Self-governing Property ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและ Motor Starter	20
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้าเอาต์พุต แรงบิด (Torque) และ ความเร็ว	22
2.9 การพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	23
2.10 แหล่งพลังงานที่สามารถทดแทนน้ำมันได้ในการขนส่ง	23
2.11 รถไฮบริด (Hybrid Cars)	24
2.12 รถปลั๊กอินไฮบริด (Plug-In Hybrid Cars)	26
2.13 รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Cars)	27
2.14 ข้อได้เปรียบในเชิงประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้า	28
2.15 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	33
2.16 การคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่	37
บทที่ 3 การออกแบบ	38

3.1	แผนการดำเนินงาน	38
3.2	ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	39
3.3	การออกแบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	40
3.4	การออกแบบการพันคุมล้อยมอเตอร์ไฟฟ้า ของมอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สล็อต	44
3.5	การพันขดลวดของชุดคุมล้อยมอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส	45
3.6	สรุปการออกแบบชุดคุมล้อยมอเตอร์ไฟฟ้า	51
3.7	การพัฒนาและสร้างชุดคุมล้อยมอเตอร์ไฟฟ้า	55
บทที่ 4	ผลการทดลอง	60
4.1	การทดสอบชุดขับมอเตอร์	60
4.2	การทดสอบประสิทธิภาพของชุดคุมล้อยมอเตอร์ไฟฟ้า	68
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	71
5.1	บทนำ	71
5.2	สรุปผลการทดลอง	71
5.3	บทสรุป	72
5.4	ปัญหาและอุปสรรค	72
5.5	ข้อเสนอแนะ	73
	เอกสารอ้างอิง	74
	ภาคผนวก	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลำดับการควบคุมให้หมุนตามเข็มนาฬิกา	13
2.2	ลำดับการควบคุมให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา	13
3.1	แผนภูมิ Gantt chart แสดงระยะเวลาแผนการดำเนินงานโดยรวม	38
3.2	ข้อมูลจำเพาะของตัวมอเตอร์พัดลมที่นำมาประยุกต์และพัฒนาเป็นคูลล์มอเตอร์	40
3.3	การเลือกใช้ลวดตามมาตรฐานของอังกฤษ (SWG)	50
3.4	สรุปผลการออกแบบที่คำนวณได้และผลการทดลองพันขดลวด	51
3.5	เปรียบเทียบผลการออกแบบชุดคูลล์มอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟสกับมอเตอร์พัดลมที่นำมาใช้เป็นต้นแบบ	52
3.6	สรุปพิกัดของมอเตอร์	52
4.1	ผลการทดสอบประสิทธิภาพ	69

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก 3 เฟส 2 ขั้วแม่เหล็ก	5
2.2	Per phase representation	6
2.3	Phasor diagram ของแรงดันและกระแสของ Stator	10
2.4	โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน	11
2.5	ไดอะแกรมพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน	12
2.6	ไดอะแกรมเวลาของเซนเซอร์เมื่อเทียบกับวงจรถับ	13
2.7	Electromagnetic torque	14
2.8	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังชาร์จแบตเตอรี่	17
2.9	Power-flow diagram สำหรับมอเตอร์แบบ shunt หรือ compound ขนาด 10 hp 220V	20
2.10	วงจรมอเตอร์แบบขนานที่มี Starter อยู่ในวงจร	20
2.11	รถยนต์ไฮบริดและโครงสร้างหลัก	24
2.12	ส่วนประกอบหลักของรถยนต์ Hybrid ของรถ Toyota Prius รุ่นปี 2003	25
2.13	ส่วนประกอบหลักของรถยนต์ Hybrid ของรถ Honda Insight รุ่นปี 2006	26
2.14	รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้การขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	28
2.15	รถยนต์ไฟฟ้าของมิตซูบิชิ (IMiEV) ซึ่งใช้ลิเทียมไอออนแบตเตอรี่	28
2.16	ข้อได้เปรียบในเชิงประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้า	29
2.17	รถยนต์รุ่น Colt EV (In-wheel motor test vehicle) และมอเตอร์คู่มือใน Colt EV	30
2.18	เทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนด้วยคู่มือมอเตอร์ไฟฟ้า	30
2.19	ส่วนประกอบหลักของโครงสร้างคู่มือมอเตอร์	31
2.20	คู่มือมอเตอร์ไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้ามิตซูบิชิ	31
2.21	กราฟการเปรียบเทียบการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ สำหรับรถไฟฟ้า	32
2.22	แบตเตอรี่ฟิสิกส์ 14.8 V battery module comprising four 3.7V cells., 325 V battery pack made up of 22 modules arranged in series	33
2.23	ส่วนประกอบของระบบคู่มือมอเตอร์ไฟฟ้า	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	ภาพรวมของการออกแบบโครงสร้างคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้าที่วิเคราะห์ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระจายเส้นฟลักส์แม่เหล็ก ด้วยวิธีคำนวณแบบ Finite element	34
2.25	ภาพรวมของโครงสร้างและชุดควบคุมด้วย DSP ของคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	35
2.26	ต้นแบบคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้าของบริษัท FORD	35
2.27	ความสัมพันธ์ของแรงบิดและกำลังของคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	36
2.28	ภาพส่วนประกอบของคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	36
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	39
3.2	การพันขดลวดสเตเตอร์มอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สล็อต	46
3.3	ไดอะแกรมแสดงการพันขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สล็อต	46
3.4	ส่วนประกอบของคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม AutoCAD	54
3.5	ชุดคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า ด้านหน้ากับด้านหลัง	55
3.6	รูปโครงคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	56
3.7	สเตเตอร์ที่พันลวดเรียบร้อยแล้ว	56
3.8	รูปคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้ว	57
3.9	คুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า (In-Wheel Motor)	58
4.1	การต่อ MOSFETS แบบบริดจ์ 3 เฟส	59
4.2	ชุดคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	60
4.3	มิเตอร์วัดแรงบิด	61
4.4	แหล่งจ่ายไฟ	61
4.5	อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ	62
4.6	ชุดขับ MOSFET	62
4.7	อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า	63
4.8	การต่อวงจรวัดสัญญาณับมอเตอร์	64
4.9	สัญญาณแรงดันที่จับชุดคুমล่อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 533 rpm	65
4.10	สัญญาณแรงดันที่จับชุดคুমล่อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 453 rpm	66
4.11	สัญญาณแรงดันที่จับชุดคুমล่อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 305 rpm	67
4.12	การทดสอบประสิทธิภาพชุดคুমล่อมอเตอร์ไฟฟ้า	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	กราฟการทดสอบประสิทธิภาพ	70