

รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Solar Electric Vehicle

ศิริชัย แดงอม

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทร. 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 e-mail : d_sirichai@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าขนาด 1 ที่นั่ง โดยใช้แรงดันไฟตรงจากแบตเตอรี่หรือจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยก ระดับแรงดันให้สูงเพียงพอกับแรงดันในบัสของอินเวอร์เตอร์แบบควบคุม ด้วยเวกเตอร์ที่ต้องการ เพื่อจ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 5.5kW นำไปใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า และเมื่อพลังงานใกล้หมด จะสามารถประจุ แรงดันให้แก่แบตเตอรี่ได้ด้วยวิธีการชาร์จไฟบ้าน หรือจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รถไฟฟ้าที่สร้างขึ้น สามารถทำความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 25 km/hr ที่ความถี่ 25 Hz และเมื่อใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันเต็มที่ในการขับเคลื่อน จะสามารถวิ่งได้ ระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตร และวิ่งได้ประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วน อัตราเร่ง ของรถไฟฟ้าที่ 0 – 15 km/hr อยู่ที่ประมาณ 14 วินาที

คำสำคัญ: รถไฟฟ้า, อินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยเวกเตอร์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์,

Abstract

This research presents design and construction of a seat electric vehicle using dc voltage from battery or solar cell to step-up voltage level until dc bus of vector control inverter requirement for supplying 5.5kW 3 phase induction motor that driving electric vehicle. After use up of battery near below, it can charge battery by using ac charger or solar cell. The prototype of electric vehicle can run at maximum speed 25 km/hr with frequency 25 Hz, maximum distance 25 km in 2 hours per one fully charge and the acceleration time from 0-15 km/hr is 14 second.

Keywords: Electric vehicle, Vector control inverter, Solar cell

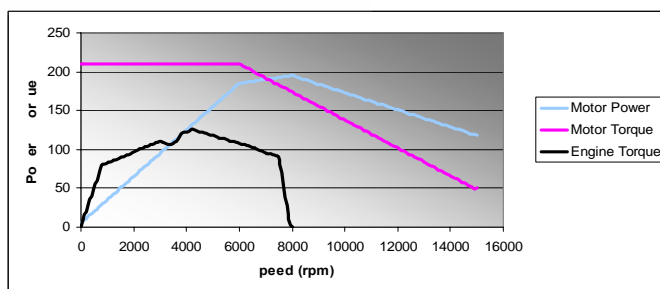
1. กล่าวนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาวิกฤตราคาน้ำมันในปี พ.ศ. 2551 ราคาน้ำมันดิบมีการถดถอยเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 147 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2551 และประกอบกับการทำนาयरถลดลงของปริมาณน้ำมันดิบที่ขุดขึ้นมาใช้กันนั้น หากไม่มีการสำรวจพบน้ำมันแห่งใหม่เพิ่มขึ้นกว่าที่มีอยู่ ก็คาดว่าจะใช้เวลาอีกประมาณ 70-80 ปี น้ำมันก็จะหมดไป ดังนั้น หลายประเทศ รวมถึงประเทศไทยก็ได้มีการรณรงค์รวมถึงพัฒนาและวิจัยการใช้พลังงานทางเลือกต่าง ๆ เพื่อทดแทน

การใช้น้ำมัน แสงงานวิจัยหนึ่งที่ได้ทำกันมานานหลาย ๆ ปีมาแล้ว ก็คือ รถไฟฟ้า เพราะสิ่งที่รถไฟฟ้าแตกต่างจากรถใช้น้ำมันนั้น ก็คือ เวลา รถไฟฟ้าหยุดวิ่งมอเตอร์สามารถหยุดหมุนได้ แต่ถ้าเป็นรถใช้น้ำมัน ก็จะต้องเดินเครื่องตลอดเวลา ดับเครื่องไม่ได้ จึงทำให้มีการสูญเสียที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

นอกจากนี้ ยังพบว่า ถ้าในสภาพการขับรถที่มีลักษณะเดิน ๆ หยุด ๆ หรือเฉี่ยวเร่ง เฉี่ยวลดความเร็ว บ่อย ๆ การใช้พลังงานในรถที่ใช้น้ำมันจะสูงกว่ารถไฟฟ้ามาก เพราะรถใช้น้ำมันจะมีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์อยู่ที่ประมาณ 30-40% แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ในรถไฟฟ้าแล้วส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพตั้งแต่ 70-90% จึงใช้พลังงานได้สูงกว่ามาก เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน แต่อย่างไรก็ตาม รถไฟฟ้าก็ยังมีข้อเสียในหลายด้าน แต่จะมีปัญหาเพียงอย่างเดียว ก็คือ ในเรื่องแหล่งจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ที่ยังต้องมีการวิจัยให้มีระยะเวลาในการประจุไฟที่สั้นลง หรือมีวิธีการเปลี่ยนแหล่งจ่ายได้รวดเร็วขึ้น ให้เทียบเท่ากับการเติมน้ำมันในปั้มน้ำมันที่ใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที

ในช่วงแรกของรถไฟฟ้า มักจะนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ให้แรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque) ที่สูงมาก แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของชิ้นส่วนคอมมิวเตเตอร์ (Commutator Part) ที่ทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างในมอเตอร์ชนิดนี้ นั่นคือ การมีประกายไฟที่แปร่งถ่าน อันจะนำไปสู่การบำรุงรักษาแปร่งถ่านและตัวซีคอมมิวเตเตอร์ เช่น เปลี่ยนแปร่งถ่าน ซักตัวซีคอมมิวเตเตอร์ให้เรียบ ไม่มีรอยหลุมจากสะเก็ดไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีผลจากลักษณะของโครงสร้างของซีคอมมิวเตเตอร์แต่ละซีที่วางห่างกันโดยมีฉนวนกั้นกลางไว้ จึงทำให้เกิดขีดจำกัดในการรับแรงดันสูง ๆ เพราะอาจจะเกิดปัญหาแรงดันกระโดดข้ามซีคอมมิวเตเตอร์ และนำไปสู่การลัดวงจรถึงกันได้



รูปที่ 1 กราฟคุณลักษณะของกำลังและแรงบิดของมอเตอร์และเครื่องยนต์

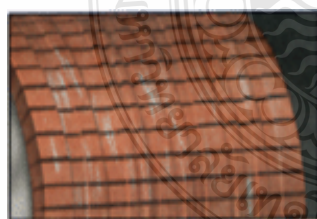
นอกจากนี้ ข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบอนุกรมในด้านอื่นคือ ราคาแพง เพราะต้องใช้ขดลวดและซี่คอมมิวเตเตอร์ที่ทำจากทองแดงผสม ซึ่งมีราคาสูงในปัจจุบัน รวมถึงการที่ถ่านถ่านระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ และยังมีผลเสียด้านอื่น ๆ ก็คือ ขดลวดของมอเตอร์ชนิดนี้ต้องทนกระแสได้สูง จึงทำให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่และหนักขึ้นด้วย

สำหรับการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าในรถไฟจากผู้ผลิตหลาย ๆ ค่ายในปัจจุบัน ได้เริ่มมีการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแทนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกันมากขึ้น เนื่องจากมอเตอร์มีความทนทานสูงกว่า บำรุงรักษาน้อย และมีราคาถูกกว่ามาก จึงเริ่มนิยมใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารถไฟฟ้ามกักันมากขึ้น โดยเฉพาะการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีผลผลิตหรือขายภายในประเทศ เพื่อให้ต้นทุนในการสร้างมีราคาถูก และมีอะไหล่สำหรับซ่อมหรือเปลี่ยน ได้ แต่ปัญหาคือ การใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีในท้องตลาดจะต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันให้บัลีสไฟตรง ซึ่งปกติจะเลือกใช้จากแบตเตอรี่ในการเป็นแหล่งจ่ายในการเก็บพลังงานนั่นเอง แต่เนื่องจากปกติ แบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 12V-24V เวลานำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์ก็ต้องต่อแบตเตอรี่จำนวนหลาย ๆ ลูก เพื่อให้ได้แรงดันจ่ายให้บัลีสไฟตรงที่มีขนาดสูงกว่าร้อยโวลต์ให้กับอินเวอร์เตอร์ และในขณะที่ต้องชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ ก็จะต้องออกแบบวงจรชาร์จให้สามารถชาร์จเข้าแบตเตอรี่ได้คราวละหลาย ๆ ลูก ส่วนอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ก็จะใช้เวลาประมาณ 2-5 ปี ก็จะเริ่มเสื่อมสภาพไป ข้อเสียอีกอย่างของการใช้แบตเตอรี่หลาย ๆ ลูก ก็คือ จะต้องมมีพื้นที่วางแบตเตอรี่จำนวนมากในรถไฟฟ้ามกั ที่มีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด

ดังนั้นหากสามารถใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันประมาณ 12V-24V แล้วใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟตรงจาก 12V-24V ให้เพิ่มเป็นระดับแรงดันในบัลีสไฟตรงมาตรฐานที่ใช้งานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่มีใช้ในประเทศไทย (ประมาณ 537V – 700V) ได้

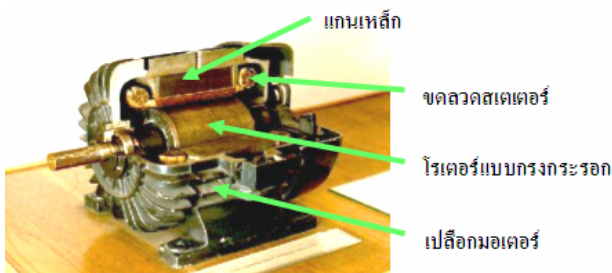


ก) ส่วนหมุน



ข) ความสึกหรอบนซี่คอมมิวเตเตอร์

รูปที่ 2 ส่วนคอมมิวเตเตอร์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบกรงกระรอก

ก็จะทำให้ลดจำนวนของแบตเตอรี่ลง สามารถใช้เครื่องชาร์จที่มีจำหน่ายในประเทศได้ง่าย (อาจจะต้องปรับปรุงบางอย่างบ้าง เช่น ปริมาณกระแสชาร์จ) ซึ่งจะทำให้ลดพื้นที่สำหรับติดตั้งลงได้ รวมทั้งวงจรการต่อเพื่อชาร์จก็ทำได้ง่าย และสามารถควบคุมพลังงานได้ง่ายกว่า จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการพัฒนาอุปกรณ์ เพื่อเป็นเครื่องมือในการพัฒนาด้านรถไฟฟ้ามกัต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

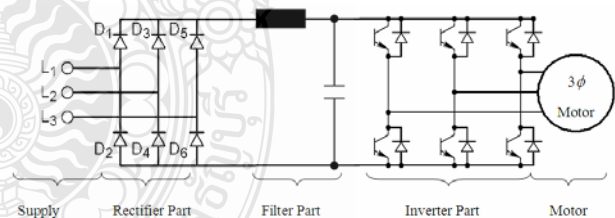
เป็นมอเตอร์ที่มีใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ คิดเป็นสัดส่วนถึง 60-70% ของมอเตอร์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมทั้งหมด เนื่องจากใช้งานง่าย ราคาไม่สูงมาก มีความทนทานสูง ความเร็วค่อนข้างคงที่ อีกทั้งไม่ต้องบำรุงรักษาทางกลมากนัก (ยกเว้นเบร้งที่ต้องอัดจารบีปีละ 1-2 ครั้ง) มีอายุการใช้งานนานมากเป็นสิบปี ส่วนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยสมการ

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (1)$$

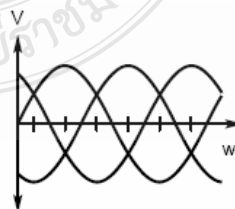
เมื่อ N_s คือความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน, f คือความถี่ และ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็กทั้งหมด

2.2 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

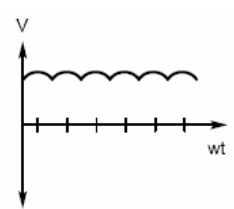
ทำหน้าที่สร้างความถี่และแรงดันไฟสลับที่เหมาะสม เพื่อจ่ายให้มอเตอร์สามเฟส โดยรูปที่ 4ก) แสดงโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยมีสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 4ข) ถึง 4จ)



ก) โครงสร้างทั่วไปของอินเวอร์เตอร์



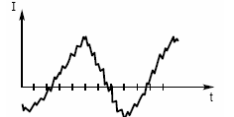
ข) แรงดันไฟสลับแหล่งจ่าย



ค) แรงดันไฟตรงที่บัลีสไฟตรง



ง) แรงดันไฟสลับจากอินเวอร์เตอร์



จ) กระแสที่ไหลในมอเตอร์

รูปที่ 4 โครงสร้างและสัญญาณต่าง ๆ ของอินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรม

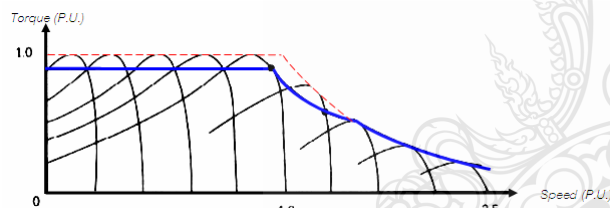
ในรูปที่ 5ก) แสดงผลการควบคุมความถี่ต่าง ๆ ทั้งความถี่ต่ำและสูงกว่าความถี่ปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วยเทคโนโลยีของอินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันนี้ จะสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ช้าลงแต่ยังคงความสามารถในการขับโหลดด้วยแรงบิดสูงสุดและคงที่ได้เหมือนกับความเร็วเต็มที่ ได้ ดังรูปที่ 5ข) ซึ่งนอกจากนี้ยังได้ข้อดีอีกอย่างคือมอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงตามความเร็วที่ลดลงด้วยเช่นกัน ทำให้ประหยัดพลังงานได้

2.3 ชุดแปลงผันระดับแรงดันไฟตรงจาก 12V เป็น 537V

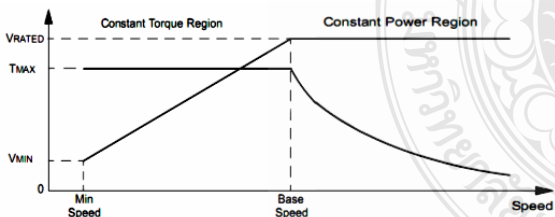
ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันในเบตเตอรี่จาก 12V ให้เพิ่มขึ้นเหมาะสมกับระดับของบัสไฟตรงที่อินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรมใช้ประมาณ 537V โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 6 ซึ่งใช้หลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟตรง 12V ให้เป็นไฟสลับ แล้วทำให้หม้อแปลงความถี่สูงเพื่อยกระดับแรงดันไฟสลับค่าสูง แล้วแปลงกลับเป็นไฟตรงที่มีค่าประมาณ 537V ด้วยวงจรเรียงกระแส

2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับช่วยเบตเตอรี่ ทั้งในการชาร์จประจุลงเบตเตอรี่ หรือช่วยเบตเตอรี่จ่ายแรงดันให้อินเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 7

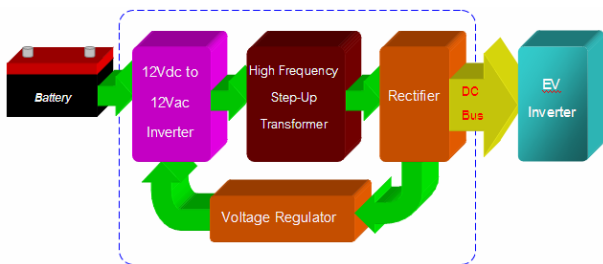


ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด



ข) ย่านความเร็วและแรงบิดในช่วงความเร็วต่างๆ

รูปที่ 5 ผลการควบคุมความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์
ทั้งในย่านความถี่ต่ำและสูงกว่าความถี่ที่ปกติ



รูปที่ 6 โครงสร้างของชุดแปลงผันระดับแรงดันไฟตรงจาก 12V เป็น 537V

2.5 พฤติกรรมของรถไฟฟ้า

จาก [1] พบว่า ในขณะที่รถไฟฟ้าวิ่งไปนั้นจะมีโหมดการทำงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 8 ไม่ว่าจะเร่งความเร็ว ลดความเร็ว หรือหยุดรถก็ตาม ชุดควบคุมมอเตอร์จะต้องรองรับการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ลดความเร็วหรือหยุดรถ ซึ่งการทำงานในช่วงนี้ของมอเตอร์จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชั่วขณะ สังเกตจากการไหลของกำลังไฟฟ้าและกระแสที่เป็นลบในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงดันไหลย้อนกลับจากมอเตอร์ มารวมกับแรงดันที่ตกคร่อมอยู่ในบัสไฟฟ้ากระแสตรงในชุดควบคุม ซึ่งถ้าหากไม่ออกแบบป้องกันไว้ ชุดควบคุมหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ข้างเคียง อาจจะมีผลเสียหายเนื่องจากแรงดันเกินได้

3. การออกแบบและสร้าง

3.1 โครงสร้างและไดอะแกรมการทำงาน

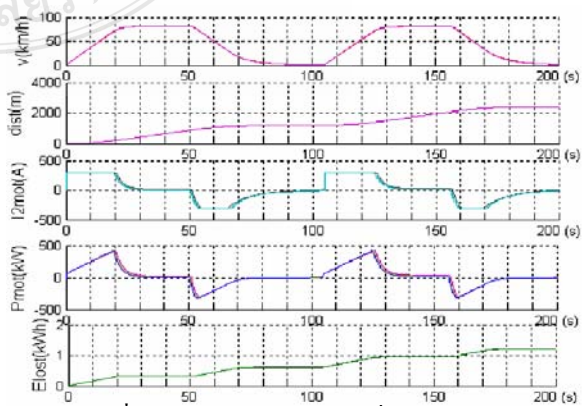
สำหรับลักษณะของรถไฟฟ้าที่สร้างนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 9 โดยมีข้อมูลต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 แสดงการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งมี PLC ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าภายในรถ เช่น แสงสว่าง ไฟเลี้ยว ไฟหน้า เป็นต้น และยังควบคุมการทำงานในส่วนของการชาร์จเบตเตอรี่ การทำงานของอินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรมให้ชุดควบคุมมอเตอร์ให้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้าไปในทิศทางตามที่ต้องการได้

ตารางที่ 1 ข้อมูลของรถไฟฟ้าที่จัดสร้าง

| | | | |
|-------------------|----------|-------------------------|--------------|
| ความกว้างของรถ | 1.2 เมตร | อัตราทดมอเตอร์:ล้อ | 2.125 : 1 |
| ความยาวของรถ | 2.5 เมตร | น้ำหนักของตัวรถ | 400 กิโลกรัม |
| ความสูงของรถ | 1.5 เมตร | น้ำหนักบรรทุก | 150 กิโลกรัม |
| เส้นผ่านศูนย์กลาง | 14 นิ้ว | รวมน้ำหนักทั้งหมดของล้อ | 550 กิโลกรัม |



รูปที่ 7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 8 กราฟสัญญาณต่างๆ ขณะรถไฟฟ้าทำงาน

3.2 แนวทางการหาขนาดมอเตอร์

มอเตอร์ขับเคลื่อนสามารถคำนวณได้จากสมการเหล่านี้

- **ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ (A)** เมื่อ W คือความกว้าง และ H คือ ความสูงของรถ

$$A = 0.8 \times H \quad (1)$$

- **แรงต้านการหมุนของล้อ (R)** กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (K_r) บนถนนเรียบ จะมีค่าประมาณ 0.02 ส่วน m คือ มวลของรถ และ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$r = r = r \cdot m \quad (2)$$

- **แรงต้านอากาศ (R_a)** กำหนดให้รถวิ่งด้วยความเร็ว (v) มีสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ (C_d) และความหนาแน่นของอากาศ (ρ)

$$a = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d \quad (3)$$

- **แรงต้านทางชัน (R_g)** ใช้ในกรณีที่รถขึ้นทางลาดชัน ได้สูงสุด

$$= \frac{G}{100} = \frac{m \cdot G}{100} \quad (4)$$

- **แรงต้านทั้งหมด (R_t)**

$$t = r + a + \quad (5)$$

- **กำลังของมอเตอร์ขับเคลื่อน** กำหนดให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทกำลัง η

$$e = \frac{100 \cdot v}{\eta_t} \quad (6)$$

จากการออกแบบที่ความเร็ว 15km/hr จะ ได้มอเตอร์ขนาด 5.5kW 12.9A, 380V, 50Hz, 6 Poles, 950 rpm ยี่ห้อ Mitsubishi ดังรูปที่ 11ก)

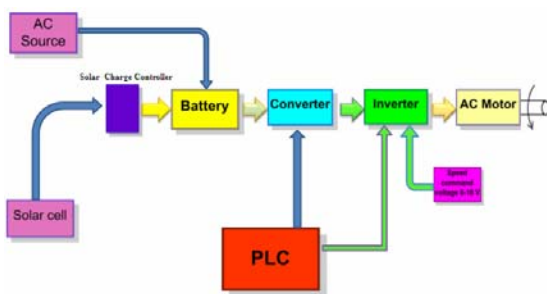


ก) ต้นแบบที่ออกแบบไว้



ข) ต้นแบบรถที่สร้างขึ้น

รูปที่ 9 ลักษณะของรถไฟฟ้า



รูปที่ 10 ไคอะแกรมการทำงานของระบบทั้งหมด

3.3 แนวทางการเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์

การเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์นั้น จะดูข้อมูลจากพิกัดของมอเตอร์ที่ออกแบบมา จากนั้นก็ดูว่า อินเวอร์เตอร์ที่มินั้น มีพิกัดเหมาะสมกันหรือไม่ ซึ่งดูได้จากกำลังขับของมอเตอร์ ย่านของระดับแรงดันขาออก ย่านความถี่ขาออก และกระแสขาออก (Output Current) โดยดูทั้งกระแสต่อเนื่อง และกระแสสูงสุด (อย่างน้อย 2 เท่า) เป็นต้น ส่วนการเลือกวิธีการควบคุมของอินเวอร์เตอร์นั้น แบบที่แพร่หลายและราคาถูกก็เป็นแบบ V/f แต่มีข้อเสียที่ให้ความเร็วต่ำ ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบ Vector Control ซึ่งให้แรงบิดสูงตลอดย่านความเร็วต่ำกว่าปกติ (หรือแบบอื่น เช่น Sensorless Vector Control, Torque Vector Control) ซึ่งข้อเสียคือ ราคาจะแพงกว่าอยู่บ้าง แต่จะช่วยให้ดีคอนลทหรือหยุดรถได้เร็วกว่า ซึ่งในงานนี้ได้เลือกอินเวอร์เตอร์แบบ Vector Control ยี่ห้อ "Schneider" รุ่น Altivar 71 ดังรูปที่ 11ข)

3.4 แนวทางการหาขนาดแบตเตอรี่

จากขนาดของมอเตอร์ 5.5 kW ซึ่งหากต้องการขับมอเตอร์ให้ได้ 1 ชั่วโมง ค่าประมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แบตเตอรี่จะจ่าย

$$P_{max} = \frac{P_{out_motor_max}}{\eta_{motor} \eta_{inverter} \eta_{converter}} \quad (7)$$

แต่อย่างไรก็ตาม ขนาดของมอเตอร์ที่เลือกนั้นเป็นการเพิ่มกำลังเพิ่มในส่วนของการเร่ง หรือการไต่เส้นทางที่มีความชันในระดับหนึ่ง ดังนั้น ในกรณีที่รถวิ่งบนถนนทางเรียบธรรมดาด้วยความเร็วคงที่ มอเตอร์ก็จะกินกำลังไฟฟ้าไม่เต็มที่ ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้จึงเป็นค่าต่ำสุดที่ไม่คิดค่าแรงต้านความชันนั่นเอง ดังนั้น

$$P_{min} = \frac{P_{out_motor_min}}{\eta_{motor} \eta_{inverter} \eta_{converter}} \quad (8)$$

จากการคำนวณในสมการที่ (7) และ (8) เมื่อคิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง แล้วนำไปหารด้วยค่าแรงดันไฟตรงของแบตเตอรี่ขนาด 12V ก็จะได้ค่าแอมป์ต่อชั่วโมงของแบตเตอรี่นั่นเอง โดยจะได้ค่าของแบตเตอรี่ที่มีค่าแอมป์ต่อชั่วโมงสูงสุดประมาณ 706.667 A-hr และค่าแอมป์ต่อชั่วโมงต่ำสุดประมาณ 128.333 A-hr ซึ่งถ้าเลือกที่ค่าสูงสุดก็จะต้องใช้แบตเตอรี่เป็นจำนวนหลายลูก ซึ่งไม่จำเป็นนักและทำให้รถหนักขึ้นด้วย ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 100A-hr จำนวน 2 ลูก ก็เพียงพอแล้ว เพราะจะใช้ได้มากกว่า 1 ชั่วโมง



ก) มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส



ข) อินเวอร์เตอร์

รูปที่ 11 อุปกรณ์ขับเคลื่อนหลักที่ออกแบบ

3.5 แนวทางการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ได้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Silicon Crystalline ขนาด 12V, 80 W จำนวน 2 แผง มาติดตั้งบนหลังคาของตัวรถคันรูปที่ 12 โดยเหตุที่เลือกใช้แผงขนาดเท่านี้เป็นเพราะรถมีพื้นที่จำกัดในการติดตั้งแผง ซึ่งหากนำแผงจำนวนเท่านี้ใช้ซ้ำจะปล่อยให้แบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวก็จะใช้เวลาประมาณ 3 วัน แบตเตอรี่จึงจะเต็ม ดังนั้นประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงใช้เพียงเพื่อช่วยในการชาร์จประจุในเวลาที่ยอดและช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้รถในขณะที่วิ่งได้ด้วย ซึ่งแม้จะไม่เต็มที่ แต่ก็ช่วยลดการกระเพื่อมของแรงดันในแบตเตอรี่เวลาจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มอเตอร์ ซึ่งจะได้คงที่ดีกว่าการใช้แรงดันจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง จะต่อจ่ายแรงดันให้แบตเตอรี่ 1 ลูก โดยตรง

3.6 ระบบติดตั้งทั้งหมด

ในรูปที่ 13 แสดงการติดตั้งระบบควบคุมการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า โดยในรูปที่ 13 ก) จะมีพวงมาลัย คันเร่ง เบรก และแผงจอทัชสกรีน สำหรับใช้สั่งการเพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดภายในรถไฟฟ้า รวมถึงระบบแสงสว่างและไฟสัญญาณด้วย

ในรูปที่ 13 ข) จะเป็นส่วนขับเคลื่อนรถทั้งหมด ประกอบด้วย แบตเตอรี่ ชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ มอเตอร์ขับ และ ชุด PLC

4. การทดสอบ

4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง โดยการเก็บข้อมูลค่ากระแสที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์คันรูปที่ 14 นั้น จะไม่เท่ากันในแต่ละวัน มีหลายละเอียดดังนี้ วันที่ 1 ท้องฟ้าเปิดเมฆน้อย อากาศแจ่มใส วันที่ 2 มีเมฆเกือบทั้งวัน ฝนไม่ตก วันที่ 3 ช่วงเช้ามีเมฆมาก แต่ในช่วงบ่ายท้องฟ้าเปิดเมฆน้อย ฝนไม่ตก วันที่ 4 ช่วงเช้ามีเมฆมาก ในตอนเที่ยงมีแดดสักพัก แต่ในช่วงบ่ายมีเมฆมาก วันที่ 5 ท้องฟ้าเปิดเมฆน้อย อากาศแจ่มใส



รูปที่ 12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารถไฟฟ้า



ก) แผงคอนโซลควบคุมรถ



ข) ระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

รูปที่ 13 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า

4.2 การทดสอบรถขณะไม่มีโหลด

เป็นการทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าในขณะขับเคลื่อนลัดรอดแต่ยกล้อขึ้น เพื่อดูการทำงานทั่วไป โดยได้ทำการวัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ รวมถึงความเร็วของมอเตอร์และที่ลัดรอด แสดงดังตารางที่ 2 โดยนำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 15

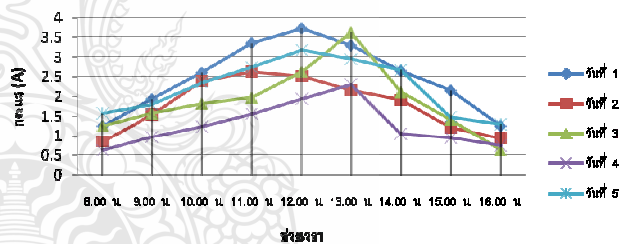
4.2 การทดสอบรถขณะขับรถ

เป็นการทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าในขณะขับเคลื่อนจริงไปตามถนน เพื่อดูการทำงานทั่วไป โดยได้ทำการวัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ขับเคลื่อน รวมถึงความเร็วของรถ แสดงดังตารางที่ 3 โดยนำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 16

รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าของรถ ในขณะที่ไม่มีโหลดและขณะขับรถ ซึ่งจะมีผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้า รวมถึงค่าตัวประกอบกำลังที่เปลี่ยนไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบรถไฟฟ้าในขณะไม่มีโหลด

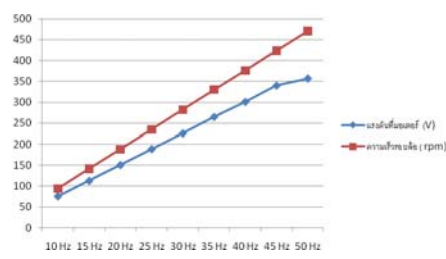
| ค่าแรงดัน (โวลต์) ๓ | 10 Hz | 15 Hz | 20 Hz | 25 Hz | 30 Hz | 35 Hz | 40 Hz | 45 Hz | 50 Hz |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| กระแสจากแบตเตอรี่ (A) ชุดที่ 1 | 11.55 | 13.24 | 14.75 | 15.28 | 17.12 | 18.38 | 20.67 | 21.68 | 19.33 |
| ชุดที่ 2 | 12.61 | 13.84 | 14.96 | 15.91 | 17.96 | 18.63 | 20.85 | 21.62 | 19.79 |
| กระแสเข้าอินเวอร์เตอร์ (A) | 0.62 | 0.75 | 0.88 | 0.91 | 0.95 | 0.99 | 1.06 | 1.27 | 1.15 |
| แรงดันที่มอเตอร์ (V) | 76 | 113 | 151 | 189 | 226 | 265 | 301 | 340 | 357 |
| กระแสที่มอเตอร์ (A) | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.4 | 5.4 |
| กำลังไฟฟ้า (W) | 2155 | 2560 | 2856 | 3180 | 3514 | 3870 | 3910 | 4020 | 3420 |
| ความเร็วรอบ (rpm) | 94 | 141.2 | 188 | 235 | 282 | 330 | 376 | 424 | 470 |
| ความเร็ว (km/hr) | 6.3 | 9.46 | 12.60 | 15.75 | 18.9 | 22.11 | 25.2 | 28.42 | 31.50 |



รูปที่ 14 กราฟการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ก) ค่ากระแสในส่วนต่าง ๆ



ข) แรงดัน ความเร็วรอบของล้อ และกำลังไฟฟ้า

รูปที่ 15 กราฟการทดสอบมอเตอร์ ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 18 และ 19 แสดงการทำงานของรถในขณะเร่งความเร็วตอนขึ้นเนิน และขณะขึ้นเนิน โดยในช่วงเร่งความเร็วจะเป็นการทดสอบในทางราบ จากหุคหนึ่งไปจนถึงความเร็วที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตอนออกตัว มอเตอร์จะกินกระแสไฟฟ้าถึง 30A แล้วลดลงเหลือประมาณ 20A และเมื่อมอเตอร์วิ่งได้รอบคงที่แล้ว กระแสจะลดลงจนมีค่าคงที่

ส่วนในช่วงขึ้นเนิน ก็จะเร่งความเร็วจากหุคหนึ่งคล้าย ๆ กัน แต่จะวิ่งขึ้นเนินแทน ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตอนออกตัว มอเตอร์จะกินกระแสไฟฟ้าถึง 30A คล้าย ๆ กัน แต่จะกินกระแสมากกว่าในช่วงเพิ่มความเร็ว

จากการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าที่สร้างได้ข้อมูลดังนี้

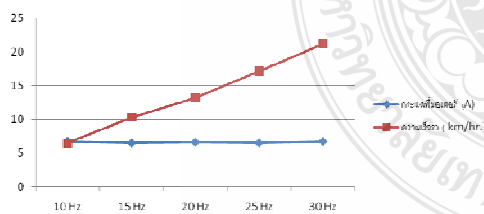
- ความเร็วสูงสุดขณะขับรถอยู่ที่ 25 km/hr เมื่อใช้ความถี่ที่ 25 Hz
- เมื่อใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันเต็มในการขับเคลื่อน จะสามารถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตร และวิ่งได้ประมาณ 2 ชั่วโมง
- น้ำหนักคนนั่งได้สูงสุดประมาณ 150 กิโลกรัม
- น้ำหนักรถรวมทั้งหมคประมาณ 400 กิโลกรัม
- อัตราเร่งของรถไฟฟ้าที่ 0 – 15 km/hr อยู่ที่ประมาณ 14 วินาที

5. สรุปผลการทดสอบ

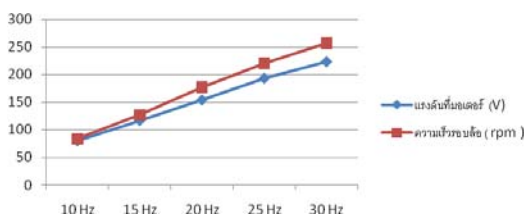
จากการทดสอบรถไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่ออกแบบไว้อย่างเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังมีปัญหาอยู่บ้างในเรื่องของระบบขับเคลื่อนที่ใช้โซ่ที่เสียงดัง หรือมีโอกาสหลุดในบางครั้ง และชุดแปลงต้นกำลังไฟฟ้าที่มีพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอแก่มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์ทำงานได้ไม่เต็มที่ โดยเฉพาะในช่วงเร่ง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบรถไฟฟ้าในขณะมีโหลด

| ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ | ความถี่ | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 Hz | 15 Hz | 20 Hz | 25 Hz | 30 Hz |
| กระแสที่มอเตอร์ (A) | 6.7 | 6.5 | 6.6 | 6.5 | 6.7 |
| แรงดันที่มอเตอร์ (V) | 80 | 117 | 154 | 193 | 223 |
| กำลังไฟฟ้า (W) | 921 | 1267 | 1336 | 1531 | 1719 |
| ความเร็วรถ (Km/hr.) | 5.6 | 8.5 | 11.9 | 14.8 | 17.2 |
| ความเร็วรอบล้อ (rpm) | 83.54 | 126.8 | 177.5 | 220.7 | 256.6 |



ก) ค่ากระแสที่มอเตอร์และความเร็วรถ

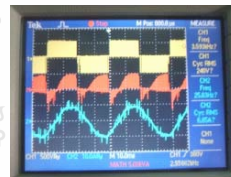


ข) ค่าแรงดันที่มอเตอร์และความเร็วรอบล้อ

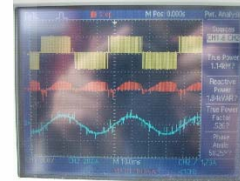
รูปที่ 16 กราฟการทดสอบมอเตอร์ ขณะขับรถ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริชัย แดงแอม, “เอกสารประกอบการสอน เครื่องจักรกลไฟฟ้า 2,” 2548.
- [2] พรหมมา สุปูน, เอกชัย พินิจกาญจน์ และ ภาณุ พึ่งชื่น. 2553 “การพัฒนารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.” ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] I. Szenasy, “Improvement the Energy Storage with Ultracapacitor in Metro Railcar by Modeling and Simulation,” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Harbin, China September 3-5, 2008.



ก) ขณะไม่มีโหลด



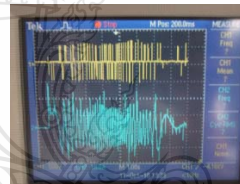
ข) ขณะมีโหลด

รูปที่ 17 สัญญาณที่วัดได้จากด้านออกจากอินเวอร์เตอร์

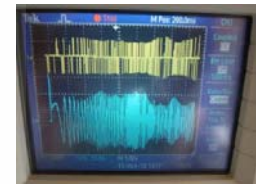
CH 1 : วัดแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์

CH 2 : วัดกระแสไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์

CH M : วัดกำลังไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์



ก) ขณะเร่งตอนขึ้นเนิน



ข) ขณะขึ้นเนิน

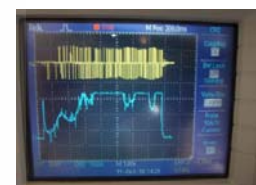
รูปที่ 18 สัญญาณที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

CH 1 : วัดแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์

CH 2 : วัดกระแสไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์



ก) ขณะเร่งตอนขึ้นเนิน



ข) ขณะขึ้นเนิน

รูปที่ 19 สัญญาณที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

CH 1 : วัดแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกจากอินเวอร์เตอร์

CH 2 : กระแสไฟฟ้าด้านขาออกจากแบตเตอรี่

ประวัติผู้แต่ง



ศิริชัย แดงแอม ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความสนใจในงานวิจัยทางการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าและด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง