

**การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
สำหรับรถไฟฟ้าที่ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์**
**A Design of a Power Electronics Circuit
for a Solar-Electric Car**

ปฎิภาณ เกิดลาภ¹, ชุตินันท์ อู่ยายโสสม¹, สุพิศ บุญรัตน์²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถไฟฟ้า ประกอบด้วยล้อทั้งหมด 3 ล้อ คือ ล้อหน้า 2 ล้อ ล้อหลัง 1 ล้อ โดยขับเคลื่อนที่ล้อหลัง ส่วนล้อหน้าใช้ในการบังคับเลี้ยว ใช้มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 2500 รอบต่อนาที แหล่งจ่ายที่ใช้คือแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 35 แอมแปร์-ชั่วโมง และใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันจากแบตเตอรี่ไปให้กับมอเตอร์ โดยสามารถปรับแรงดันจากแหล่งจ่าย 12 โวลต์ ให้เพิ่มขึ้นจนถึง 30 โวลต์ได้ เพื่อเพิ่มแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับมอเตอร์ของรถ ผลที่ได้คือ รถไฟฟ้าสามารถเร่งความเร็วสูงสุดได้ 51.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ รถไฟฟ้าที่ออกแบบสร้างสามารถขับได้ 1 ชั่วโมง 41 นาที หรือระยะทางประมาณ 32.5 กิโลเมตร ด้วยความเร็วเฉลี่ย 18.12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต่อการอัดประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

คำสำคัญ: รถไฟฟ้า, วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

Abstract

This research presents the design and construction of an electric car. The car has three wheels, two front drive wheels and one rear wheel for steering. The drive wheels utilize a 24V, 2500 rpm direct current motor. A voltage regulator with a rheostat converts the 12V, 35 Ah battery supply to 24V for the drive motor. Adjusting the rheostat increases/decreases speed. The car can reach a masimum speed of 51.6 kph and has a range of 1 hour 41 minutes, or 32.5 km at an average speed of 18.2 kph on a single charge.

Keywords: electric car high speed, boost converter

¹อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

²เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ความนำ

ปัจจุบันพลังงานทางเลือกมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งนับวันจะหายากและมีราคาแพงขึ้น น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติก็มีแนวโน้มว่าราคาได้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มนุษย์หันมาใช้ทรัพยากรอื่นๆ แทนน้ำมันเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับรถที่นิยมและกำลังได้รับความสนใจอย่างมากในประเทศไทย คือ ก๊าซธรรมชาติ แต่เมื่อผ่านการเผาไหม้แล้ว ก็ยังมีการปล่อยไอเสียออกมาด้วย ดังนั้นจึงมีการคิดค้นนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กับรถ ซึ่งไม่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ นั่นคือ รถไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าได้จากแผงโซลาร์เซลล์ที่รับพลังงานและอัดประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าให้กับรถไฟฟ้า(วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธารธีรเศรษฐ์, 2550)

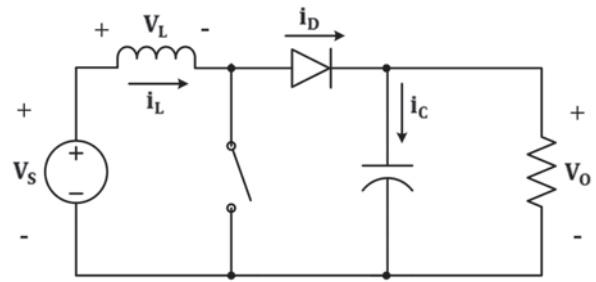
จากเหตุผลดังที่กล่าวมา ทำให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญจึงได้มีการศึกษาและออกแบบสร้างรถไฟฟ้าขึ้น โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นตัวส่งจ่ายพลังงาน นั่นคือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากมีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อนำมาใช้กับรถไฟฟ้า หลังจากที่ได้มีการทดลองใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ในแต่ละชนิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการส่งผ่านพลังงานในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วงจรทบทระดับแรงดัน (Boots Converter)



ภาพ 1 วงจรทบทระดับแรงดัน (boost converter)

หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า โดยเมื่อสวิตช์นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านออกโดยทันที จากนั้นสามารถปรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าโดยการปรับค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่า ดิวตี้ ไซเคิล ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1

อัตราขยายแรงดันเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า ดิวตี้ ไซเคิล

Duty ratio	อัตราขยายแรงดัน	Duty ratio	อัตราขยายแรงดัน
0.0	1.00	0.6	2.50
0.1	1.10	0.7	3.33
0.2	1.25	0.8	5
0.3	1.43	0.9	10
0.4	1.67	1.0	infinity
0.5	2.00		

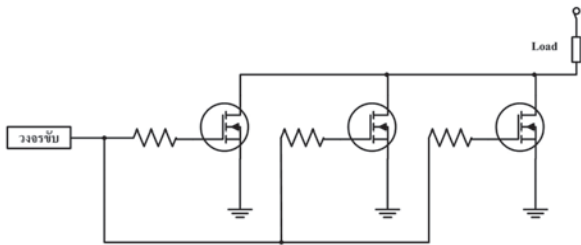
มอเตอร์และการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยพื้นฐานจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนด้วยกันได้แก่ ชุดขดลวดสนามซึ่งโดยทั่วไปจะพันอยู่บนโครงหรือสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และชุดขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งโดยทั่วไป จะพันอยู่บนโรเตอร์ โดยที่ขดลวดทั้งสองชุด

จะถูกป้อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงชุดขดลวดอาเมเจอร์จะ
ต่ออยู่กับ คอมมิวเตเตอร์ ซึ่งติดอยู่ที่ตัวโรเตอร์หน้าที่ตัว
คอมมิวเตเตอร์จะเหมือนกับวงจรเรียงกระแส เพื่อให้
กระแสอาเมเจอร์ไหลผ่านแปรงถ่าน (brush) เพียงทิศทาง
เดียวไม่ว่าตัวโรเตอร์จะหมุนที่ความเร็วเท่าใดก็ตาม

การขนานมอเตอร์

ค่าความต้านทาน $R_{DS(on)}$ จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ
ที่ตัวมันมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน
มอเตอร์ที่ต่อขนานกันจึงมีปริมาณใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ
เดียวกัน นั่นคือ ต้องติดตั้งไว้บนแผ่นระบายความร้อน
เดียวกัน



ภาพ 2 การขนานมอเตอร์

การออกแบบ

การออกแบบวงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter)

แหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่ $V_s = 12 \text{ V}$.

มอเตอร์กระแสตรง 24 V , 500 W

ต้องการแรงดันไฟฟ้าดันออก $V_o = 0 - 30 \text{ V}$.

กำหนดความถี่ในการสวิตชิง คือ 50 kHz

ค่าตัวต้านทานจากการวัดอิมพีแดนซ์ คือ 1.8Ω

การหาค่าความเหนี่ยวนำ L_{min} ที่ใช้ในวงจร

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (1)$$

$$L_{min} = 1.728 \mu\text{H}$$

จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด $2 \mu\text{H}$

การหาค่าตัวเก็บประจุ C_{main} ที่ใช้ในวงจร

$$C_{main} = \frac{D}{Rf \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (2)$$

$$C_{main} = 666.6 \mu\text{F}$$

จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด $4,700 \mu\text{F}$

การออกแบบมอเตอร์

จากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรถยนต์
แบบหุ้มอัตรบบนคอนกรีต

- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (μ_s) = 0.04

- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (μ_k) = 0.02

เงื่อนไขในการออกแบบ

1). น้ำหนักรถไฟความเร็วสูงรวมอุปกรณ์ติดตั้งแล้ว
มีดังนี้

- โครงรถ 23 กิโลกรัม

- มอเตอร์ 7 กิโลกรัม

- แบตเตอรี่ 35 Ah 20 กิโลกรัม

รวมน้ำหนักรถ 50 กิโลกรัม

2). น้ำหนักผู้ขับขี่ 50 กิโลกรัม

น้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม

- รัศมีล้อ 20 นิ้ว (0.580 m)

- รัศมีเฟือง 0.075 m

- วิ่งด้วยความเร็วสูงสุดที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พิจารณาทางราบ

W คือแรงเนื่องจากน้ำหนักรถมีหน่วยเป็น
นิวตัน (N)

m คือน้ำหนักรวมทั้งหมดมีหน่วยเป็นกิโลกรัม
(kg)

g คือค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก

$$W = mg \quad (3)$$

$$W = 981 \text{ N}$$

แรงเสียดทานสถิต (f_s) มีหน่วยเป็นนิวตัน

$$f_s = \mu_s \times W \quad (4)$$

$$f_s = 39.24 \text{ N}$$

แรงเสียดทานจลน์ (f_k) มีหน่วยเป็นนิวตัน

$$f_k = \mu_k \times W \quad (5)$$

$$f_k = 19.62 \text{ N}$$

กำหนดให้ ความเร็วต้น $U = 0$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วสุดท้าย $V = 50$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ΔT คือ ช่วงเวลาในการเร่งความเร็วมีหน่วยเป็นวินาที

a คือ ความเร่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (s)

s คือ ระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร (m/s)

F_{start} คือ แรงใช้เริ่มเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นนิวตัน

(N)

F_{run} คือ แรงใช้เคลื่อนที่แล้วมีหน่วยเป็นนิวตัน

(N)

เร่งความเร็วจาก 0-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลา 10 วินาที

ความเร่ง (a)

$$a = \frac{(V-U)}{\Delta T} \quad (6)$$

$$a = 1.389 \text{ m/s}^2$$

ได้ระยะทาง (s)

$$s = (U\Delta T) + \frac{1}{2}a(\Delta T)^2 \quad (7)$$

$$s = 69.45 \text{ m}$$

แรงใช้เริ่มเคลื่อนที่

$$F_{start} = ma + f_s \quad (8)$$

$$F_{start} = 178.14 \text{ N}$$

แรงใช้เริ่มเคลื่อนที่แล้ว

$$F_{run} = ma + f_k \quad (9)$$

$$F_{run} = 158.52 \text{ N}$$

R คือรัศมีของล้อมีหน่วยเป็นเมตร (m)

r คือรัศมีของเฟืองโซ่มีหน่วยเป็นเมตร (m)

พิจารณาที่แรงบิดที่ขบล้อกับยางถนน

$$T_{start} = F_{start} \times R \quad (10)$$

$$T_{start} = 103.321 \text{ N} \cdot m$$

$$T_{run} = F_{run} \times R \quad (11)$$

$$T_{run} = 91.941 \text{ N} \cdot m$$

ที่เฟืองโซ่

$$T_{start} = F_{start} \times r \quad (12)$$

$$T_{start} = 13.538 \text{ N} \cdot m$$

$$T_{run} = F_{run} \times r \quad (13)$$

$$T_{run} = 12.047 \text{ N} \cdot m$$

ต้องการได้ระยะทาง 100 เมตรในเวลา 10 วินาที

$$P = \frac{F_{start} \times S}{T} \quad (14)$$

$$P = 494.83 \text{ W}$$

ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดที่สูงกว่าและใกล้เคียงกับการออกแบบคือ 500 วัตต์ 24 โวลต์ดีซี 26.7 แอมแปร์ 2500 รอบต่อนาที

การออกแบบตัวรถและอุปกรณ์ต่างๆ ของรถ

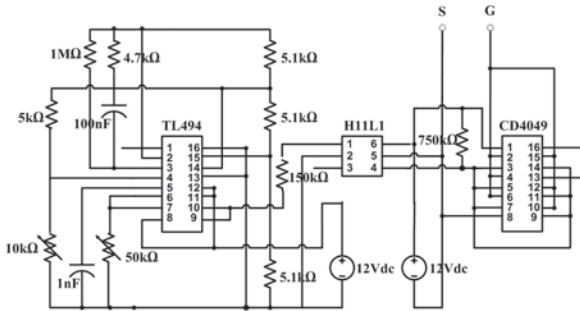
เนื่องจากรถไฟฟ้ามีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับรถ ที่ใช้ในการแข่งขัน Honda Econo Power ที่ได้มีการออกแบบให้ตัวรถนั้นลู่ลมที่สุด เพื่อช่วยลดแรงต้านในการวิ่ง ดังนั้นการออกแบบรถไฟฟ้า จึงมีลักษณะคล้ายกับรถดังกล่าว โดยจะประกอบด้วยล้อทั้งหมด 3 ล้อ โดยแบ่งเป็น ล้อหน้า 2 ล้อ และล้อหลัง 1 ล้อ การขับเคลื่อนและการเบรกจะอยู่ด้านล้อหลัง ส่วนล้อหน้าใช้สำหรับการบังคับเลี้ยว โดยวงล้อที่ใช้เป็นวงล้อขนาด 20 นิ้ว คันเร่งของรถไฟฟ้า จะใช้การบีบเพื่อดึงสายสลิงที่ต่ออยู่กับตัวด้านทานปรับค่าแบบสไลด์ใช้ในการปรับแรงดันด้านออก เพื่อเร่งหรือเบรค ความเร็วของรถ ระบบเบรกของ

รถไฟฟ้า จะใช้เบรกแบบก้ำมู เพราะสามารถนำมาใช้กับ วงล้อได้เลย โดยใช้เบรกล้อหลัง (สุพิศ บุญรัตน์, ศักดิ์ชัย ว่องไวการคำ และสุจิรัตน์ ปรีเปรม, 2549)

การทดลองวงจรและทดสอบสมรรถนะของรถ

การทดลองวงจรขับเคลื่อน (gate drive control)

การทดลองวงจรขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการปรับค่า Duty Cycle



ภาพ 4 วงจรขับเคลื่อน (Gate Drive Control)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แผงวงจร Gate Drive Control
2. แบตเตอรี่ 12 V., 1.3 Ah 2 ก้อน
3. FLUKE 43B

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อ FLUKE 43B เข้ากับขาเกต (G) เทียบกับ ขาชอส (S)
2. On Switch เริ่มปรับ Duty Cycle ที่ตัว ด้านทานปรับค่า โดยปรับได้ตั้งแต่ 0-100%
3. บันทึกผลการทดลอง

การทดลองวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การทดสอบวงจร DC-DC บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เป็นการทดสอบเพื่อดูพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีแหล่งจ่าย เป็นแบตเตอรี่ 12โวลต์ และมีโหลดเป็นมอเตอร์ต่อพ่วง กับล้อ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

2. วงจร Gate Drive Control

3. แบตเตอรี่ 12 V., 1.3 Ah 2 ก้อน, 12 V., 35 Ah 1 ก้อน

4. มอเตอร์กระแสตรง 24 V., 26.7 A, 500 W, 2500 RPM ต่อกับล้อ โดยใช้อัตราทดเฟืองเป็น 1:4

5. FLUKE 43B

ขั้นตอนการทดสอบ

1. On Switch วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ และ วงจรขับเคลื่อน
2. ปรับค่า Duty Cycle จาก 0-90%
3. ใช้เครื่องมือ FLUKE 43B วัดค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ

4. บันทึกผลการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบสัญญาณ V_{DS} ที่ใส่ สนับเบอร์และไม่ใส่สนับเบอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เช่นเดียวกับการทดสอบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. On Switch วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ และ วงจรขับเคลื่อน
2. ปรับค่า Duty Cycle จาก 0-90%
3. ใช้เครื่องมือ FLUKE 43B วัดค่าสัญญาณ
4. บันทึกผลการทดลอง

การทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าความเร็วสูง

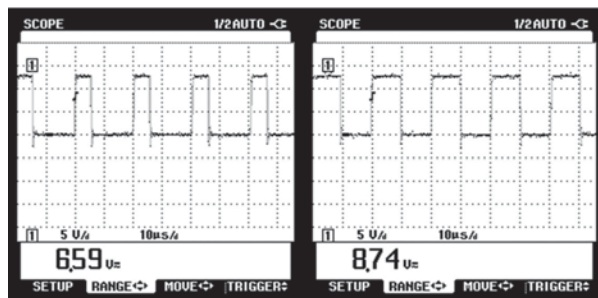
แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เป็นการทดสอบการขับขึ้น เพื่อหาความเร็ว สูงสุด โดยให้น้ำหนักรวมเป็น 100 กิโลกรัม ขับจนได้ ความเร็วถึง 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากนั้นจึงวัดความเร็ว และระยะทาง

2. เป็นการทดสอบการขับขึ้นจริง เพื่อหาระยะทาง และเวลาที่รถสามารถวิ่งได้ จนแบตเตอรี่หมด

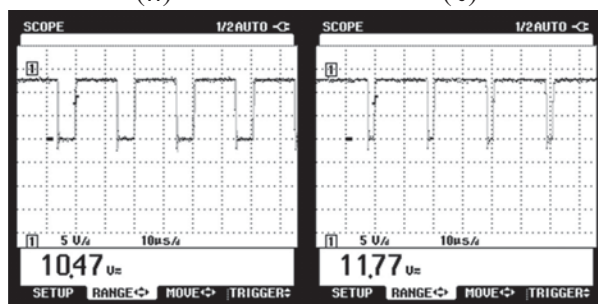
ผลการทดลองและทดสอบ

ผลการทดลองวงจรขับเกต (gate drive control)



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

ภาพ 5 สัญญาณของวงจรขับเกตที่ Duty cycle (ก) 30%, (ข) 50%, (ค) 70% และ (ง) 90%

ผลการทดลองวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

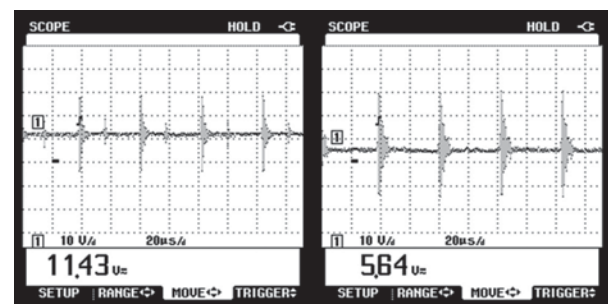
จากการทดสอบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ โดยการปรับค่า Duty Cycle ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตาราง 2

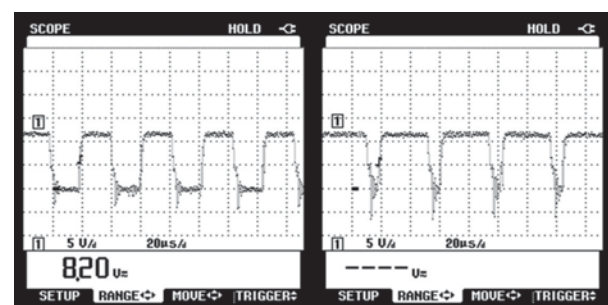
ผลการทดสอบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

Duty Cycle	V_i (V)	V_o (V)	I_i (A)	I_o (A)	P_i (W)	P_o (W)	% ζ
0%	12.5	12.1	0.9	1.2	41.1	25	60.7
10%	11.8	15.5	2.8	3.3	42.2	28.2	66.7
20%	11.8	19.0	3	3.8	45.3	32.4	71.4
30%	11.7	23.3	4.4	4.9	52.8	38.5	72.9
40%	11.6	25.6	4.6	5	58.5	43.6	74.5
50%	11.5	27.1	7	7.7	64.3	44	68.3
60%	11.5	32.5	12.6	13	67.2	52.6	78.2
70%	11.4	35.4	20.5	22.3	68.7	61.8	89.9
80%	11.6	38.4	21.3	23.5	72.8	65.3	86.1
90%	11.6	40.2	22.7	23.8	76.8	74	96.3

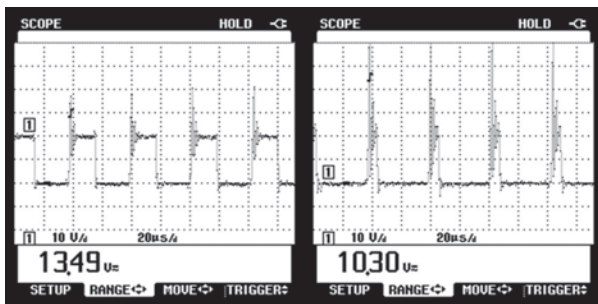
จากการทดสอบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ สามารถวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัด FLUKE 43B



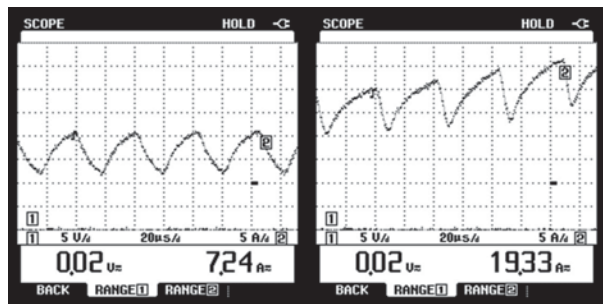
ภาพ 6 สัญญาณ V_{in} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



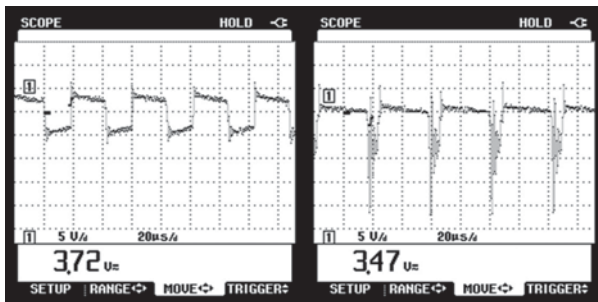
ภาพ 7 สัญญาณ V_{GS} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



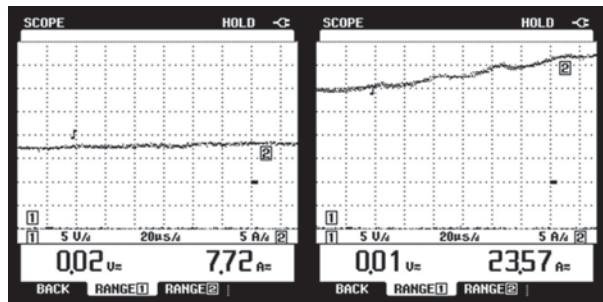
ภาพ 8 สัญญาณ V_{DS} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



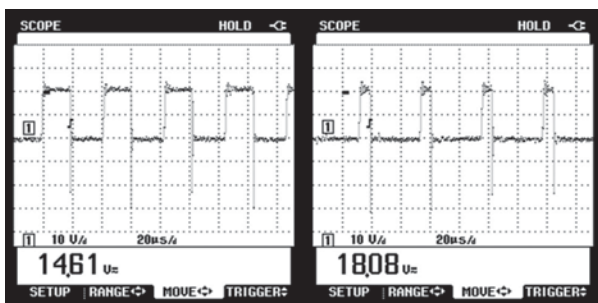
ภาพ 12 สัญญาณ I_{DS} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



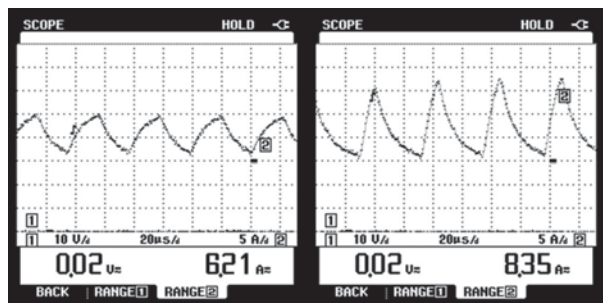
ภาพ 9 สัญญาณ V_L ที่ Duty cycle 50% และ 80%



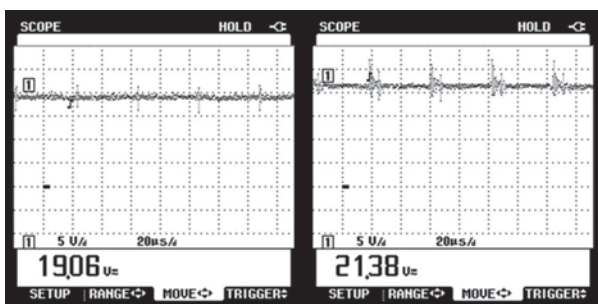
ภาพ 13 สัญญาณ I_L ที่ Duty cycle 50% และ 80%



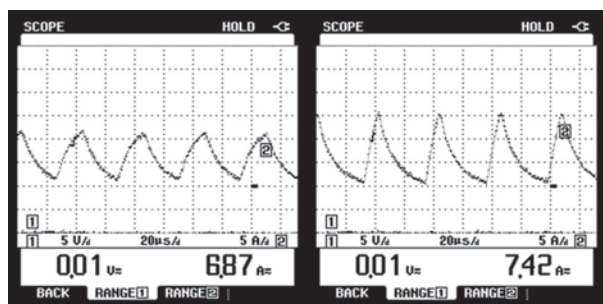
ภาพ 10 สัญญาณ V_{Diode} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



ภาพ 14 สัญญาณ I_{Diode} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



ภาพ 11 สัญญาณ V_{Cmain} , V_{out} ที่ Duty cycle 50% และ 80%



ภาพ 15 สัญญาณ I_{Cmain} ที่ Duty cycle 50% และ 80%

ผลการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า

1. การทดสอบการอัดประจุของแผงโซลาร์เซลล์ ในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ขนาดพิกัด 35 Ah ต้อง คำนึงถึงพิกัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้ ได้เลือกขนาดของแผงโซลาร์เซลล์แบบ Thin Film Photovoltaic Module ของ Du Pont Apollo รุ่น DA100-B1 มาใช้สำหรับการอัดประจุ โดยทำการเก็บ ผลการทดสอบทุก 30 นาที จากการทดสอบประสิทธิภาพ การอัดประจุของโซลาร์เซลล์ขนาดพิกัด 100 วัตต์ วัตต์แรงดันไฟฟ้าทางด้านแผงโซลาร์เซลล์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 75.30 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 0.53 แอมแปร์ และ ทำการวัดค่าทางด้านแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการอัดประจุผ่าน ชุดอัดประจุ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12.54 โวลต์ และกระแส เฉลี่ย 2.38 แอมแปร์

2. จากการทดสอบการขับขึ้น ปรากฏว่ารถไฟฟ้า ความเร็วสูง สามารถวิ่งได้ความเร็วสูงสุด 51.6 กิโลเมตร/ ชั่วโมง โดยใช้ระยะทางในการวิ่งประมาณ 600 เมตร

3. จากการทดสอบการขับขึ้นจริง (แบบไม่ขยาย แรงดันที่วงจรบูสต์) ที่แรงดันของแบตเตอรี่ 12.65 โวลต์ จนแบตเตอรี่หมดจนรถไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ที่ 10.8 โวลต์ โดยความเร็วสูงสุดในช่วงต้นของการวิ่งทดสอบคือ 36.4 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ยคือ 18.12 กิโลเมตร/ ชั่วโมง จึงสรุปได้ว่า รถไฟฟ้าที่ออกแบบ สามารถวิ่งได้ ระยะทาง 32.5 กิโลเมตร หรือ วิ่งได้ 1 ชั่วโมง 41 นาที ต่อการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม 1 ครั้ง และในการชาร์จ แบตเตอรี่ 1 ครั้ง จะใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง โดยใช้ พลังงาน 0.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ 0.6 หน่วย โดยถ้าคิดค่าไฟ หน่วยละ 3 บาท จะคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการอัดประจุ 1.8 บาท ต่อครั้ง นั่นหมายความว่า รถไฟฟ้าคันนี้ มีอัตราค่าใช้จ่าย ในการวิ่งอยู่ที่ (1.8/32.5) เท่ากับ 0.05 บาทต่อกิโลเมตร

สรุป

จากการออกแบบรถไฟฟ้า มีความเร็วสูงสุด ไม่น้อยกว่า 50 กิโลเมตร/ชั่วโมงที่น้ำหนักบรรทุกกับคนขับ เป็น 100 กิโลกรัม โดยใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็นตัว ควบคุมความเร็ว โดยความเร็วของรถไฟฟ้าปรับความเร็ว โดยการปรับค่า Duty Cycle ในวงจรขับเคลื่อน โดยรถไฟฟ้า สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด 51.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นไปเป้าหมายที่วางไว้

รถไฟฟ้า เมื่อนำมาทดสอบด้วยการขับขึ้นจริง กระแสไฟฟ้า ในวงจรเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้อุปกรณ์ในวงจรบูสต์-คอนเวอร์เตอร์ เกิดความร้อนและเสียหายในที่สุด ดังนั้น จึงต้องเทคนิคการแบ่งกระแสเข้ามาช่วยในวงจร โดย หลักการขนานมอสเฟตและไดโอด สามารถช่วยแบ่ง กระแสได้ดี (Theodore, Jeffrey, and Guillermo, 2003)

แรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆ สามารถสร้างความ เสียหายให้กับวงจรได้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเทคนิค Soft Switch เข้ามาใช้ โดยใช้วงจรสแน็เบอร์แบบ RCD เพื่อ ช่วยลด dv/dt ช่วง Turn off ปรากฏว่าสามารถช่วยลด dv/dt ได้ดี

ข้อเสนอแนะ

1. รถไฟฟ้าคันนี้ได้ถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบา แต่เนื่องจากอุปกรณ์หรือวัสดุที่ช่วยให้รถมีน้ำหนักเบา นั้น มีราคาที่สูงมากเกินไป จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือวัสดุ ที่มีตามท้องตลาดและราคาไม่สูงมากนัก ดังนั้นหากมีการ พัฒนาทางด้านน้ำหนักให้เบาได้ ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้ รถไฟฟ้าวิ่งได้เร็วขึ้นและไกลมากกว่าเดิม

2. รถไฟฟ้าคันนี้ออกแบบการขับเคลื่อนด้วย เฟืองชุดเดียว แต่ถ้าหากต้องการความเร็วช่วงการออกตัว และได้ความเร็วมากขึ้น แนวทางการพัฒนาคือการนำ ชุดเกียร์เข้ามาช่วยในการออกตัว ซึ่งสามารถทำได้ ความเร็วในระยะทางที่สั้นลงกว่าเดิม

เอกสารอ้างอิง

- วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. (2550). *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์*. (พิมพ์ครั้งที่ 7). สำนักพิมพ์ทางหุ่นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินต์ติ้ง: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุพิศ บุญรัตน์, ศักดิ์ชัย ว่องไวการค้า และสุจิรัตน์ ปรีเปรม. (2549). *รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า*. ปริญญาานิพนธ์, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- Theodore, F. B., Jeffrey, S. B. & Guillermo, R. (2003). *Electronic Devices And Circuits* (6th ed.). New York: Prentice Hall.