

การพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

Development of traction control unit of electric motorcycle

พนัสชัย ศรีบำรุง¹, กริธา จิรัถฐิวิรุฒกุล^{1*}, วิโรจน์ เลิศธีระชาญชัย¹
Panuschai Sribumrung¹, Kreetha Jirattthivarutkul^{1*}, Wirote Lerttheerachanchai¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

¹Department of Next-Generation Automotive Technology, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author: Email: kreetha.j@mail.rmutk.ac.th

Received: 31-03-2025 Revised: 16-05-2025 Accepted: 30-06-2025

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC) เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ ระบบปั๊ม ระบบขับเคลื่อนในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบขับเคลื่อนในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า งานวิจัยนี้มีความประสงค์ในการพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ มอเตอร์ไฟฟ้าชนิด BLDC ขนาด 350W แรงดันไฟฟ้า 36-48 VDC ชุดขับเคลื่อนประกอบด้วย วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยใช้การควบคุมการสวิตช์แบบ ชิก สเต็ป คอมมิวเตชัน (Six Step Commutation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PI ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานจริง ชุดควบคุมติดตั้งในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า การทดสอบการขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบที่ความเร็ว 100 rpm-520 rpm ทำความเร็วได้ถึง 45 กม/ชม. ในทางเรียบ ระยะทางการทดสอบ 15 กม. ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานในชีวิตประจำวันและแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ : ชุดขับเคลื่อนจักรยานยนต์ไฟฟ้า, รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า, มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ABSTRACT

Brushless DC (BLDC) motors are widely used in various applications, including the automotive industry, pumping systems and industrial drive systems, especially in electric vehicle propulsion. This research aims to develop a drive control system for a small electric motorcycle using a 350W BLDC motor with an operating voltage of 36-48 VDC. The drive system consists of a control circuit utilizing a dsPIC microcontroller and a power electronics circuit. It employs Six-Step Commutation combined with PI control to ensure smooth and efficient motor operation. The control system is installed in an electric motorcycle, and performance tests were conducted at speeds ranging from 100 rpm to 520 rpm, reaching a maximum speed of 45 km/h on flat terrain. The test covered a distance of 15 km, demonstrating that the system is suitable for daily use and confirming the effectiveness of the developed control system.

Keywords: Traction control unit, Electric motorcycle, Brushless DC motor

1. บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงปัญหาฝุ่น PM 2.5 ที่เกิดขึ้นในเมืองใหญ่ ปัญหาเหล่านี้ส่วนหนึ่งเกิดจากการใช้รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน หลายประเทศจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศให้ข้อเสนอเพื่อจูงใจให้ประชาชนเปลี่ยนจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ลงทุนพัฒนายานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ด้วยปัจจัยเหล่านี้ทำให้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน รถจักรยานยนต์

เป็นพาหนะที่นิยมใช้มากในเมืองเนื่องจากมีความคล่องตัวในการเดินทาง ด้วยปริมาณการใช้ที่มากจึงสร้างปัญหามลภาวะได้มากเช่นกัน มีการส่งเสริมให้ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดปัญหามลภาวะและประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ จะมีข้อเสียในเรื่องฟังก์ชันการใช้งานที่ไม่ครอบคลุม เช่น ไม่สามารถขับเคลื่อนบนทางลาดเอียงมากๆ ได้ ระยะทางต่อการชาร์จที่ยังน้อย การชาร์จต่อครั้งใช้เวลานาน ทำให้ไม่ตอบโจทย์ต่อการใช้งานจริง อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่มีข้อจำกัดในเรื่องการซ่อมบำรุง

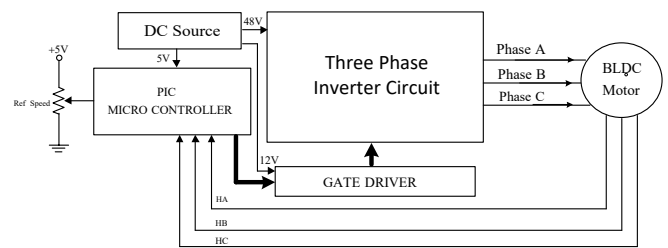
ดังนั้นคณะผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาและมีแนวคิดในการพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งชุดขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าโดยทั่วไป ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าและวงจรขับเคลื่อน หรือวงจรอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เหมาะสมให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ที่ได้ออกแบบไว้ มอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ามีหลายประเภทที่นิยมนำมาใช้ คือ DC Motor, Induction Motor (IM), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Permanent Magnet Brushless DC Motor (BLDC) และ Switched Reluctance Motor (SRM) ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน [1] ในส่วนของวงจรขับเคลื่อน (Traction Drives) ใช้อุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์โดยมีวิธีการควบคุมที่หลากหลาย [2] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้ามีการวิจัยและพัฒนาทั้งรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง [3] และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง [4] สำหรับในประเทศไทยมีการดัดแปลงรถตุ๊กตุ๊กที่ใช้เครื่องยนต์มาเป็นรถตุ๊กตุ๊กที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน [5] งานวิจัยรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ออกแบบและสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ โดยใช้ดีซีมอเตอร์ขนาด 36 โวลต์ เป็นตัวขับเคลื่อน โดยติดตั้งมอเตอร์ไว้ที่ล้อหลังและใช้โซ่เป็นตัวส่งกำลังจากเฟืองซึ่งติดกับมอเตอร์สามารถวิ่งด้วยความเร็วประมาณ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [6] ปัจจุบันมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน BLDC นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น ระบบปั้มน้ำ ระบบระบายอากาศ และยานยนต์สมัยใหม่เนื่องจากมีขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดระหว่างมอเตอร์แบบอื่น ให้ผลตอบสนองที่ดี และไม่มีการสึกหรอจากแปรงถ่านเหมือนกับมอเตอร์กระแสตรง แต่ก็มีข้อเสียคือการควบคุมที่ยากกว่ามอเตอร์กระแสตรงเนื่องจากจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของแกนโรเตอร์ของมอเตอร์อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ได้แรงบิดที่ดีที่สุดในแต่ละตำแหน่งที่เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ มีการวิจัยวิธีการควบคุมที่หลากหลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานมอเตอร์ชนิด BLDC ให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเช่นวิธีการควบคุมแบบไม่ใช้เซ็นเซอร์แต่ก็มีข้อเสียในการใช้งานที่ความเร็วต่ำ วิธีการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นและการควบคุมแบบเวกเตอร์ซึ่งแลกมาด้วยการประมวลผลที่ซับซ้อนและใช้ทรัพยากรด้านฮาร์ดแวร์ที่สูงขึ้น [7] มีการนำเสนอวิธีการควบคุมสมัยใหม่กับมอเตอร์ BLDC เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) นำมาใช้ในการควบคุมเพื่อเพิ่มผลตอบสนองทางพลวัตให้ดีขึ้น [8] ในงานวิจัยที่ใช้มอเตอร์ชนิด BLDC กับรถยนต์ไฟฟ้า [9-11] โดยงานวิจัยใช้เพียงการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้นและยังไม่ทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริง ในงานวิจัย [12] เป็นการศึกษาการขับเคลื่อนมอเตอร์ BLDC ขนาด 24 โวลต์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สร้างสัญญาณ PWM ควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับบทความนี้เป็นงานวิจัยพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่ใช้กับมอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 350W 36-48V การใช้

งานสภาวะทางเรียบ ศึกษาและพัฒนาขีดความสามารถให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนชุดควบคุมนำเข้าจากต่างประเทศในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบระบบควบคุมการขับเคลื่อน

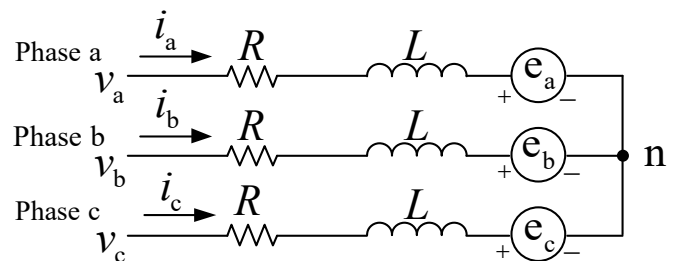
การพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า มอเตอร์ BLDC 350W 48V โดยอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ชนิด BLDC แสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 48 โวลต์ เลี้ยววงจรทั้งหมดในงานวิจัยนี้โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด Sealed Lead Acid 12V 12AH จำนวน 4 ลูก โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้สร้างแรงดันความเร็วเอกสารอ้างอิงให้วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC เพื่อส่งสัญญาณลำดับการทำงานแบบ 6 ลำดับไปให้วงจรขับเคลื่อนเพื่อไปขับวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทำการเปิดปิดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ตามตำแหน่งของฮอลล์เซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตำแหน่ง (HA, HB, HC) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ที่รับเข้ามา โดยมีตัวควบคุมแบบ PI เป็นตัวปรับค่าความผิดพลาดระหว่างความเร็วเอกสารอ้างอิงและความเร็วจริงทำให้มอเตอร์หมุนเคลื่อนที่ได้ตามความเร็วที่ต้องการ [13]



ภาพที่ 1 โดยอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ชนิด BLDC

2.2 สมการทางไฟฟ้าและสมการทางกลของ BLDC Motor

มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านชนิด 3 เฟส ประกอบด้วยส่วนของโรเตอร์และสเตเตอร์ สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 3 ขดต่อแบบสตาร์ มีรูปร่างของ back-EMF เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู วงจรเทียบเคียงแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรเทียบเคียงมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟฟ้าของ BLDC วิเคราะห์จากสมการแรงดัน ได้สมการดังนี้

$$v_a = Ri_a + L \frac{d}{dt} i_a + e_a \quad (1)$$

$$v_b = Ri_b + L \frac{d}{dt} i_b + e_b \quad (2)$$

$$v_c = Ri_c + L \frac{d}{dt} i_c + e_c \quad (3)$$

เมื่อ $R_a = R_b = R_c = R$ คือ ความต้านทานขดลวด
สเตเตอร์แต่ละเฟส

$L_a = L_b = L_c = L$ คือ ความเหนี่ยวนำขดลวด
สเตเตอร์แต่ละเฟส

V_a, V_b และ V_c คือ แรงดันสเตเตอร์แต่ละเฟส

i_a, i_b และ i_c คือ กระแสสเตเตอร์แต่ละเฟส

e_a, e_b และ e_c คือ ค่า back-EMF

$$e_a = k \cdot \omega_m f(\theta_e) \quad (4)$$

$$e_b = k \cdot \omega_m f(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) \quad (5)$$

$$e_c = k \cdot \omega_m f(\theta_e + \frac{2\pi}{3}) \quad (6)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ back-EMF

θ_e คือ มุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์

ω_m คือ ความเร็วทางกลของโรเตอร์

สมการแรงบิดรวมของมอเตอร์สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$T_e = \frac{(i_a e_a + i_b e_b + i_c e_c)}{\omega} \quad (7)$$

สมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้ดังสมการ (8)-(10)

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega \quad (8)$$

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (9)$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \quad (10)$$

เมื่อ J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรวม

T_e คือ แรงบิดของมอเตอร์

T_L คือ แรงบิดของโหลด

θ_m คือ มุมทางกลของโรเตอร์

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

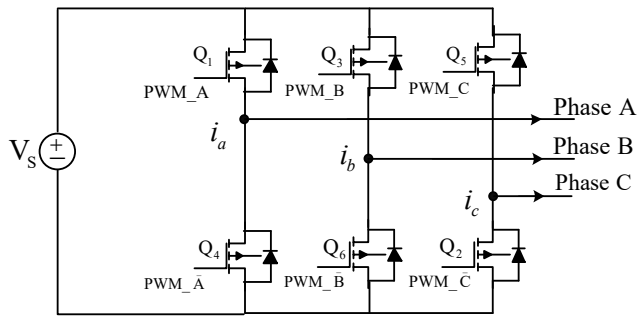
B คือ ค่าคงที่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานทางกล

2.3 การสั่งการและการควบคุม

หน่วยควบคุม (Control Unit) รับค่าคำสั่งของความเร็ว
รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจาก Potentiometer แปลงเป็นระดับแรงดัน
0 – 5 Vdc เพื่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC) เบอร์ 30f2010
แปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต [14]
สัญญาณจากเซ็นเซอร์ตำแหน่งของโรเตอร์ (Hall Sensor) ทั้ง 3
ตำแหน่ง คือ HA, HB, HC จะส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์
และส่งสัญญาณทั้ง 6 รูปแบบ สัญญาณ PWM จะส่งผ่านวงจรขับ
เกตเพื่อไปเปิดปิดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัว (Q1-Q6)
โดยใช้มอสเฟตเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส (Voltage Source
Inverter) [15] แสดงดังภาพที่ 3 โดยรูปแบบของสัญญาณในการ
สวิตช์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับการสวิตช์ทั้ง 6 รูปแบบ

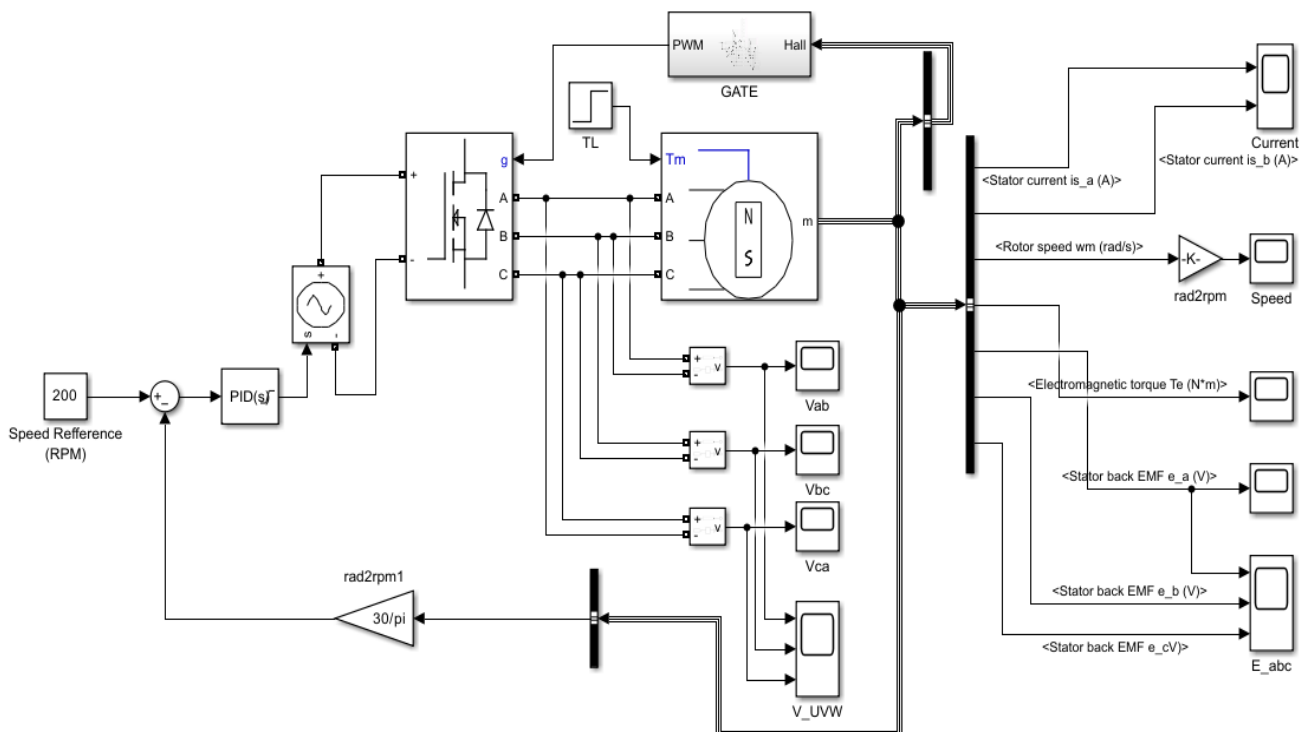
Sequence	Hall sensor A (HA)	Hall sensor B (HB)	Hall sensor C (HC)	Active Switches	Phase Current A	Phase Current B	Phase Current C
1	1	1	0	Q3,Q2	0	+1	-1
2	1	0	0	Q1,Q2	+1	0	-1
3	1	0	1	Q1,Q6	+1	-1	0
4	0	0	1	Q5,Q6	0	-1	+1
5	0	1	1	Q5,Q4	-1	0	+1
6	0	1	0	Q3,Q4	-1	+1	0



ภาพที่ 3 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

2.4 การจำลองผลการทำงาน

การทดสอบการทำงานและวิธีการขับเคลื่อนของมอเตอร์ชนิด BLDC ที่ได้ออกแบบ โดยใช้โปรแกรมจำลองผล ไดอะแกรมการจำลองผลของระบบมอเตอร์ BLDC แสดงดังภาพที่ 4 โดยในการจำลองทำการกำหนดความเร็วเอกสารอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับความเร็วจริงที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตำแหน่ง จากนั้นนำผลที่ได้เข้าตัวควบคุมแบบ PI เพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปสั่งการสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยใช้ MOSFETs 6 ตัว เพื่อส่งสัญญาณ UVW ไปมอเตอร์จากนั้นสังเกตผลตอบสนองของระบบ ได้แก่ ความเร็วแรงดัน V_{ab} V_{bc} V_{ca} และผลตอบสนองต่อแรงบิดขณะมีโหลด

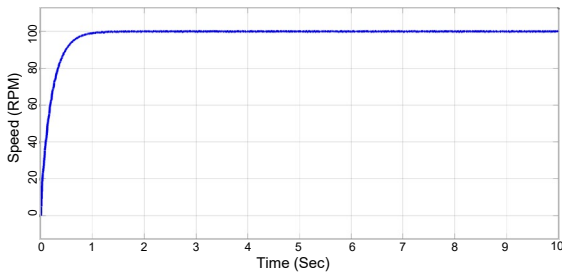


ภาพที่ 4 ไดอะแกรมการจำลองผลของระบบมอเตอร์ BLDC โดยโปรแกรมจำลองผล

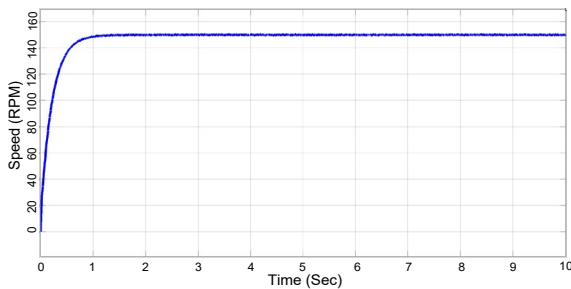
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการจำลองการทำงานของระบบ

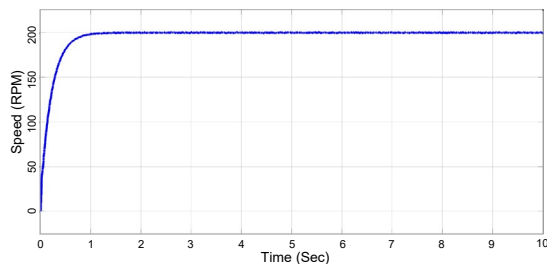
จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรมการจำลองผล ความเร็วในการควบคุมที่ 100 rpm 150 rpm และ 200 rpm แสดงดังภาพที่ 5-7



ภาพที่ 5 ผลตอบสนองต่อความเร็ว 100 rpm

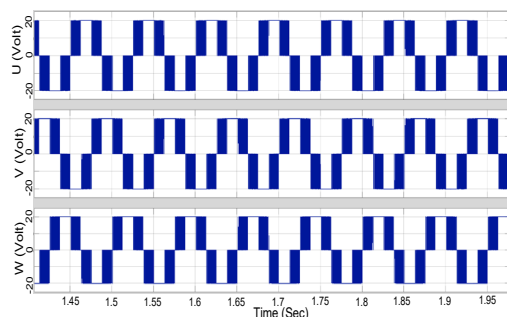


ภาพที่ 6 ผลตอบสนองต่อความเร็ว 150 rpm



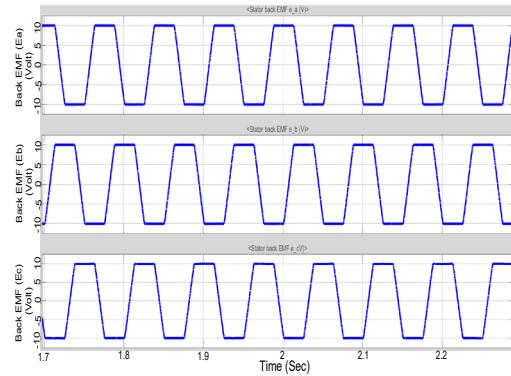
ภาพที่ 7 ผลตอบสนองต่อความเร็ว 200 rpm

สัญญาณ UVW ที่ส่งเข้ามอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm แสดงดังภาพที่ 8



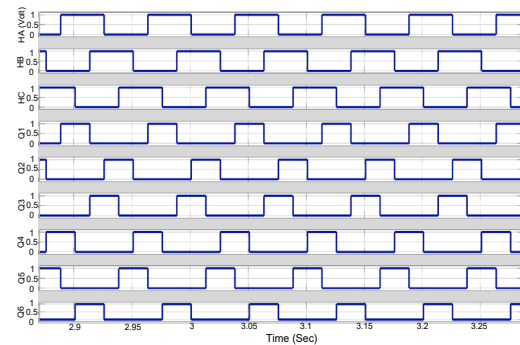
ภาพที่ 8 สัญญาณ UVW ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm

สัญญาณ Back EMF ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สัญญาณ Back EMF ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm

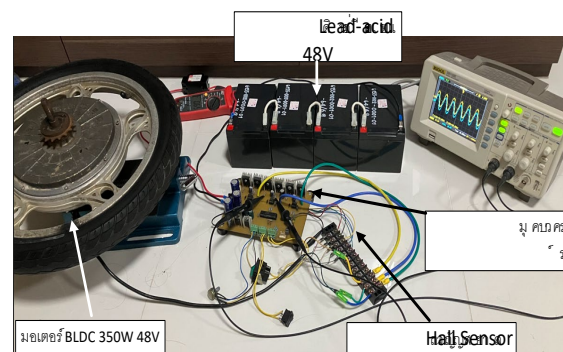
สัญญาณของ Hall sensor (Ha, Hb, Hc) และสัญญาณการสวิตช์ของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Q1-Q6) ตามตารางที่ 1 ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm แสดงดังภาพที่ 10



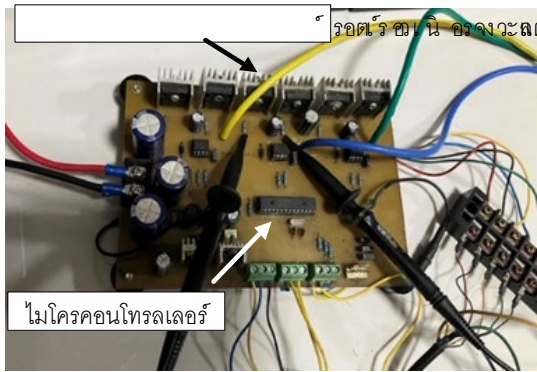
ภาพที่ 10 สัญญาณของ Hall sensor (Ha, Hb, Hc) ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm

3.2 ผลการทดลองการทำงานของระบบ

จากการทดสอบวงจรควบคุมที่ได้ออกแบบ โดยการทดลองทั้งระบบ ประกอบด้วย วงจรควบคุมภายในวงจรประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ในการรับสัญญาณเอกสารอ้างอิงจากคันเร่งและรับสัญญาณฮอลล์เซ็นเซอร์ 3 สัญญาณ เข้ามาประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมไปส่วนของวงจรขับเคลื่อนเพื่อไปขับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัว ส่งพลังงานไปที่มอเตอร์ BLDC 350W 48V โดยรับพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid จำนวน 4 ลูก อนุกรมกันเป็นแรงดัน 48 โวลต์ โดยแสดงดังภาพที่ 11 และ 12

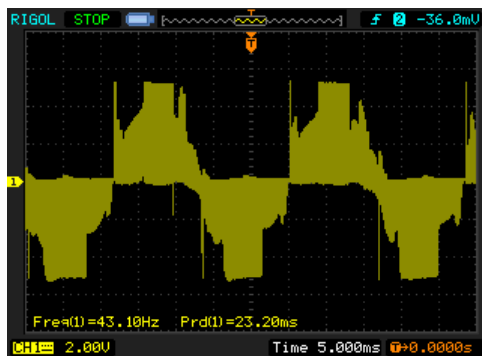


ภาพที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งระบบ



ภาพที่ 12 วงจรควบคุมและวงจรมอเตอร์

สัญญาณ UV ที่ขั้วมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 100 rpm, 150 rpm และ 200 rpm ดังแสดงในภาพที่ 13-15



ภาพที่ 13 สัญญาณ UV ที่ขั้วมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 100 rpm

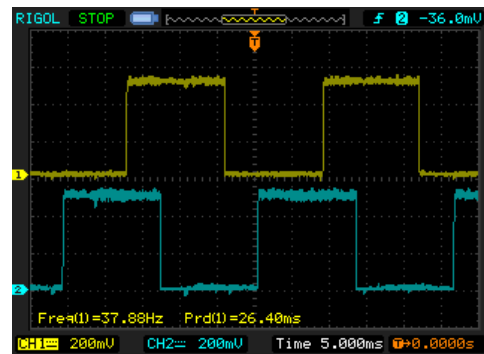


ภาพที่ 14 สัญญาณ UV ที่ขั้วมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 150 rpm

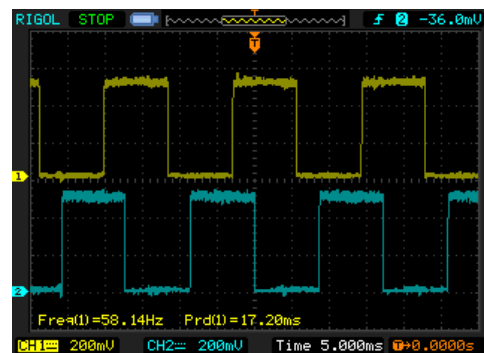


ภาพที่ 15 สัญญาณ UV ที่ขั้วมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm

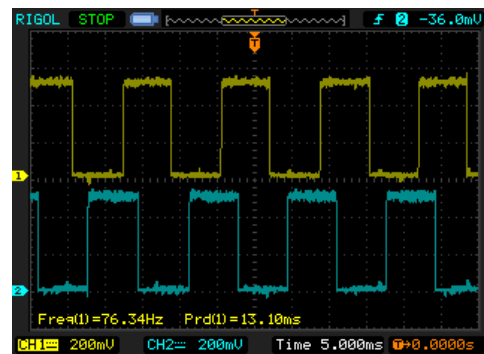
สัญญาณฮอลล์เซ็นเซอร์ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Ha และ Hb) ที่ความเร็ว 100 rpm, 150 rpm และ 200 rpm แสดงดังภาพที่ 16-18



ภาพที่ 16 สัญญาณฮอลล์เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Ha และ Hb) ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 100 rpm

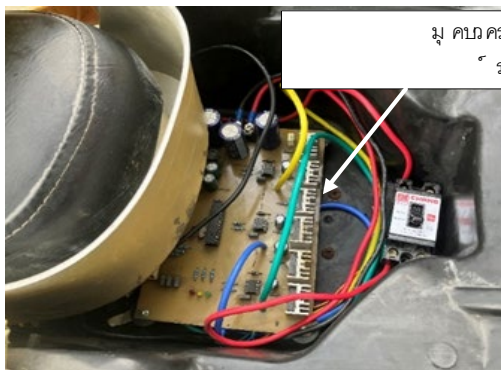


ภาพที่ 17 สัญญาณฮอลล์เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Ha และ Hb) ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 150 rpm



ภาพที่ 18 สัญญาณฮอลล์เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Ha และ Hb) ของมอเตอร์ BLDC ที่ความเร็ว 200 rpm

เมื่อทดสอบทั้งระบบทำงานตามที่ออกแบบไว้แล้ว นำลวด BLDC วงจรควบคุม วงจรมอเตอร์และแบตเตอรี่ 48 โวลต์ ติดตั้งในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 19 และ 20



ภาพที่ 19 วงจรควบคุมและวงจรอินเวอร์เตอร์
ติดตั้งในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 20 ติดตั้งล้อวงจรควบคุมและแบตเตอรี่ใน
รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

การทดสอบจากสภาพการขับขึ้นสภาพถนนเรียบ ต่อเนื่อง น้ำหนักผู้ขับขี่ 75 กก. เมื่อแบตเตอรี่ประจุเต็ม ผลการทดสอบการขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทดสอบที่ความเร็ว 100 rpm-520 rpm สามารถทำความเร็วได้ 45 กม./ชม. โดยทดสอบ 2 ครั้ง ความเร็วคงที่ 45 กม./ชม. การทดสอบได้ระยะทางดังตารางที่ 2 ระยะทางที่ได้สูงสุด 15 กม.

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะทาง

ครั้งที่	ระยะทางที่วิ่งได้ (กม.)
1	13.7
2	15

4. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาชุดควบคุมการขับเคลื่อนสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าโดยศึกษาออกแบบวงจรและโปรแกรมการสั่งการทำงานของชุดขับเคลื่อนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30f2010 ในการประมวลผลการสวิตช์แบบซิก สเต็ป คอมมิวเตชัน (Six Step Commutation) ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PI เพื่อส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมกำลัง โดยใช้ MOSFETs 6 ตัวเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 350W 48V การออกแบบโปรแกรมการควบคุมได้ทำการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองผลการทำงานที่ความเร็วรอบ 100 rpm, 150 rpm และ 200 rpm การจำลองผลการทำงานของโปรแกรมควบคุมสามารถควบคุมความเร็วที่กำหนดได้ถูกต้อง

เนื่องจากย่านในการควบคุมไม่กว้างซึ่งก็คือช่วงในการควบคุม 0 – 520 rpm จึงทำให้การควบคุมแบบ PI สามารถควบคุมความเร็วตามต้องการได้ แต่ถ้าย่านความเร็วในการควบคุมกว้างก็อาจต้องใช้วิธีการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Control) ในส่วนของวงจรควบคุมได้ออกแบบวงจรให้มีขนาดพอดีเข้ากับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้ การทดสอบวงจรควบคุมการขับเคลื่อนสามารถควบคุมได้ตามความเร็วที่ต้องการ (0 – 520 rpm) เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งระบบติดตั้งกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและขับขึ้นถนนเรียบระยะทางต่อเนื่อง ความเร็วคงที่ 45 กม./ชม. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนได้ตามที่กำหนดโดยระยะทางที่วิ่งได้สูงสุด 15 กม.ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง งานวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบจากการขับซึ่งจริง ดังนั้น เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากขึ้นควรทดสอบกับแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chang L. Comparison of AC drives for electric vehicles: a report on experts' opinion survey. IEEE Aerosp Electron Syst Mag. 1994 Aug;9(8):7–11.
- [2] Hayes JG, Goodarzi A. Electric powertrain energy system, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. Hoboken (NJ): Wiley; 2018.
- [3] Gordic M, Stamenkovic D, Popovic V, Muzdeka S, Micovic A. Electric vehicle conversion: optimisation of parameters in the design process. Tehnicki vjesnik. 2017;24(4):1213–1219.
- [4] Firmansyah AI, Supriatna NK, Gunawan Y. Performance testing of electric motorcycle conversion. Proceedings of the 7th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT); 2022 Sep 14–16; Bali, Indonesia. New York: IEEE; 2022.
- [5] Yiangkamolsing C, Laoonual Y, Channarong S, Katikawong W, Sasawat P, Yaotanee B. A development of electric tuk tuk conversion in Thailand. In: Proceedings of the IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific); 2019 Jan 8–10; Seogwipo-si, Korea. New York: IEEE; 2019.
- [6] นครินทร์ แจ่มนิล, สมบูรณ์ เอี่ยมอากาศ, ดำรงค์ ฝ่องศรี, นิमित บุญภิรมย์. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. ปรินิพนธ์. ภาควิชา

- วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรี
ปทุม; 2551.
- [7] Mohanraj D, Arul david R, Verma R, Sathiyasekar K, Barnawi AB, Chokkalingam B, Mihet-Popa L. A review of BLDC motor: state of the art, advanced control techniques, and applications. IEEE Access. 2022;10:54833–54869.
- [8] Beladjine DE, Boudana D, Moualdia A, Hallouz M, Wira P. A comparative study of BLDC motor speed control using PI and ANN regulator. In: Proceedings of the 18th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD'21); 2021 Mar; Monastir, Tunisia. New York: IEEE; 2021. p. 1291–1295.
- [9] Tashakori AA. Modeling of BLDC motor with ideal back-EMF for automotive applications. In: Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE); 2011 Jul; London, UK. London: WCE; 2011.
- [10] Alsayid B, Salah WA, Alawneh Y. Modelling of sensed speed control of BLDC motor using MATLAB/SIMULINK. Int J Electr Comput Eng. 2019;9(5):3333–3343.
- [11] Hong W, Lee W, Lee BK. Dynamic simulation of brushless DC motor drives considering phase commutation for automotive applications. In: Proceedings of the IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC); 2007 May; Antalya, Turkey. New York: IEEE; 2007. p. 1377–1383.
- [12] Sutar AR, Bhide GG, Mane JJ. Implementation and study of BLDC motor drive system. Int J Eng Sci Res Technol. 2016;5(5):57–64.
- [13] Kumar LA, Alexander SA, Maheswari YU. Design and simulation of electrical machines with MATLAB. New York: Nova Science Publishers; 2022.
- [14] นคร ภักดีชาติ, ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย, กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด; [ม.ป.ป.].
- [15] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. Power Electronics. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง; 2552.