

รถเข็นไฟฟ้าที่มีการควบคุมความเร็วในวงรอบปิดและระบบเบรก ด้วยไฟฟ้าแบบไดนามิก

ELECTRIC WHEELCHAIR WITH CLOSED LOOP SPEED CONTROL AND ELECTRIC DYNAMIC BRAKING SYSTEM

สันติภาพ โคตทะเล*, อุดม เครือเทพ

Santipab Kotthale*, Udom Kruethep

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: santipab@yahoo.com

วันที่เข้าระบบ 5 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 3 สิงหาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 3 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถเข็นไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบขับเคลื่อนรถเข็นเพื่อให้มีความเร็วที่คงที่ทั้งในทางเรียบและทางลาดชัน พัฒนาระบบเบรกให้มีระยะที่สั้นลงและหยุดรถเข็นเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง ใช้การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ ควบคุมความเร็วมอเตอร์ในวงรอบปิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้ด้วยหลักการเดลต้า จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบช้อปเปอร์เฟดที่ทำงานในโหมดการขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ และใช้พลังงานสะสมจากตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์เพื่อหยุดรถในโหมดเบรก สร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับลิวเอ็มด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ทดสอบการเคลื่อนที่ของรถเข็นในทางเรียบและทางลาดชันกับผู้ป่วยจำลองที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดของความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.33 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเบรกที่สั้นกว่าการเบรกแบบทดผ่านเฟือง 46.36 เปอร์เซ็นต์ รัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร และรถเข็นจะหยุดเองเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร ระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ 78.16 เปอร์เซ็นต์ และใช้งานได้ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง

คำสำคัญ: รถเข็นไฟฟ้า, โครงข่ายประสาทเทียม, การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ, การเบรกด้วยระบบไฟฟ้าแบบไดนามิก

Abstract

This paper presents the design and construction of an electric wheelchair. The objective is to develop a wheelchair drive system to have a constant speed on both flat and steep slopes, developed a system to stop the wheelchair to have a shorter braking distance and stop the wheelchair when encountering obstacles. Use the speed estimation by the principle of back EMF. Control the motor speed in a closed loop with a delta-learning artificial neural networks. The motor is powered by a chopper-fed converter running in battery-powered mode. and uses the energy stored from the inductor of the motor to stop the vehicle in braking mode. Generate PWM control signals with a digital signal processor. Tested the movement of the wheelchair on flat and steep slopes with simulated patients with different weights. The test result showed that, a maximum average error of 2.33 percent of the moving speed, 46.36 percent shorter braking distance than geared braking, minimum turning radius 0.9 meters and the wheel chair will stop when encountering obstacles within 0.8 meters. The proposed system is 78.16 percent efficient and it can be used for 3.25 hours per charge.

Keywords: Electric wheelchair, Artificial neural networks, Back electromotive force speed estimate, Dynamic electric braking system

1. บทนำ

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาได้เกิดการอุบัติของโรคใหม่ขึ้น รวมทั้งประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว ทำให้ภาระงานของบุคลากรในหน่วยงานด้านสาธารณสุขมีมากขึ้น ซึ่งทางภาครัฐก็ได้ให้ความสำคัญ โดยการนำระบบที่ผู้ป่วยสามารถช่วยเหลือตัวเองเข้ามาใช้ เช่น การวัดความดัน การชั่งน้ำหนัก การยืนยันตัวตน เป็นต้น รวมทั้งนำระบบ Smart hospital มาใช้ในการส่งข้อมูลสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายระหว่างแพทย์ พยาบาล และเภสัชกร แต่อย่างไรก็ตามจำนวนผู้ปฏิบัติงานยังคงไม่เพียงพอต่อจำนวนของผู้ป่วยที่มีเพิ่มมากขึ้น

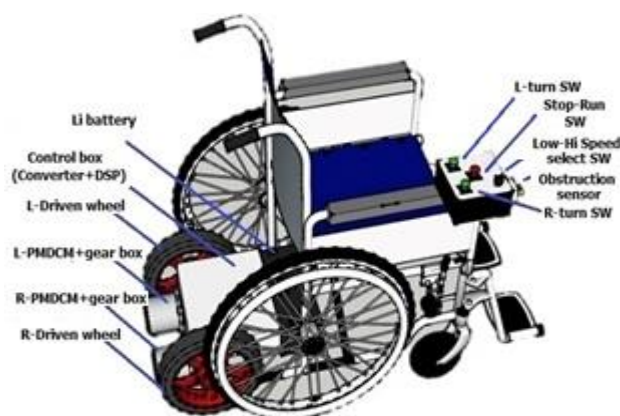
รถเข็นผู้ป่วยเป็นอุปกรณ์สำคัญหนึ่งสำหรับผู้ป่วย โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ รถเข็นที่ถูกใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบใช้แรงงานคนเข็น ส่วนในกลุ่มผู้ป่วยที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้บ้างอาจใช้รถเข็นไฟฟ้าซึ่งได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องในประเทศที่มีประชากรที่สูงอายุมากขึ้น ซึ่งประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในนั้นในเวลานี้ มีการวิจัยที่ช่วยแก้ปัญหาการใช้รถเข็นไฟฟ้าในพื้นที่สาธารณะที่มีสิ่งกีดขวางโดย Esranur *et al.* (2022) ได้นำเสนอการตรวจจับวัตถุหลายทิศทางเพื่อช่วยให้รถเข็นไฟฟ้าทำงานได้ปลอดภัยมากขึ้น สันติภาพ และคณะ (2021) ได้นำเสนอรถเข็นไฟฟ้าที่ช่วยลดแรงกระแทกสำหรับ

ผู้ป่วย โดยเริ่มเดินแบบนุ่มนวล ควบคุมความเร็วในวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งพบว่าถ้าต้องการผลตอบแทนที่รวดเร็วจะเกิดแรงกระชากจากโอเวอร์ชู้ตของระบบ และถ้าต้องการลดโอเวอร์ชู้ตลงก็จะส่งผลให้ระบบมีผลตอบแทนที่ช้าซึ่งมีผลต่ออัตราเร่งในทางลาดชัน รวมทั้งใช้ระบบบังคับเลี้ยวด้วยมือที่มีรัศมีวงเลี้ยวที่ค่อนข้างกว้าง

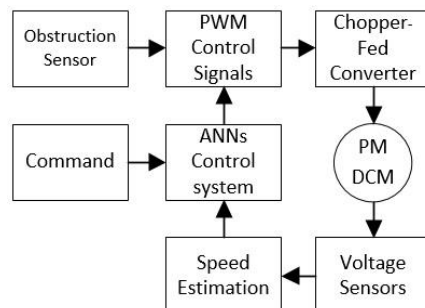
ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะทำการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าสำหรับผู้ป่วย โดยขับเคลื่อนแบบอิสระเพื่อให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงมากขึ้น ทำการเลี้ยวด้วยระบบไฟฟ้าเพื่อลดรัศมีวงเลี้ยวให้แคบลง มีการควบคุมความเร็วที่ใช้การประมาณค่าความเร็วแทนอุปกรณ์ตรวจจับความเร็ว มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมความเร็วด้วยโครงข่ายประสาทเทียม พัฒนาระบบเบรกทางไฟฟ้าแบบไดนามิกให้มีระยะเบรกที่สั้นลง ทำการทดสอบใช้งานจริง ทั้งในทางราบ และทางลาดชัน ตามมาตรฐานของรถเข็นผู้ป่วย เพื่อหาสมรรถนะต่าง ๆ ทั้งทางไฟฟ้าและทางกล มีความคาดหวังในด้านการพัฒนาสมรรถนะของรถเข็นไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ และมีความสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ป่วยมากขึ้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบโครงสร้างรถเข็นไฟฟ้า



(ก) โครงสร้างรถเข็นไฟฟ้า



(ข) แผนผังบล็อกของการทำงาน

ภาพที่ 1 รถเข็นไฟฟ้าที่นำเสนอ

รถเข็นไฟฟ้าจะถูกพัฒนาจากรถเข็นผู้ป่วยที่ใช้แรงคน โดยติดตั้งระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าที่ด้านท้าย และมีส่วนควบคุมอยู่ที่ด้านหน้าของรถ ดังในภาพที่ 1 (ก) รถเข็นไฟฟ้าจะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร ส่งกำลังผ่านเฟืองทด โดยขับเคลื่อนแบบแยกอิสระในด้านซ้ายและขวา ควบคุมการบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า ใช้การเบรกแบบไดนามิก เมื่อเจอสิ่งกีดขวาง



รถเข็นในระยะ 80 ซม.รถเข็นจะหยุดการทำงาน สร้างสัญญาณควบคุมความเร็วด้วยตัวประมวลผล สัญญาณดิจิทัล แหล่งจ่ายพลังงานจะใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ด้านหน้าจะติดตั้งอุปกรณ์สั่งการ ใช้งาน มีแผนผังบล็อกแสดงการทำงาน ดังภาพที่ 1 (ข) โดยทำการตรวจจ็ค่าแรงดันเพื่อประมาณค่า ความเร็วของมอเตอร์เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง และใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำการควบคุมความเร็ว สร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM ให้กับคอนเวอร์เตอร์ ส่วนการออกแบบต้นกำลังขับเคลื่อนเพื่อหา พิกัดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1 โดยทำการออกแบบให้รองรับ น้ำหนักผู้ป่วยสูงสุด 100 กิโลกรัม ที่ค่าความเร็วสูงสุด 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหาพิกัดกำลังของต้นกำลังในการขับเคลื่อน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ปริมาณ	หน่วย
น้ำหนักคนรวมกับน้ำหนักรถ	m	134.2	kg
ความเร็วที่ออกแบบ	v	3	km/h
พื้นที่หน้าตัดของตัวรถ	A	0.64	m^2
รัศมีล้อ	r_w	0.18	m
มุมองศาการปีนไต่	θ	4.76	deg
สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	k_A	0.03	-
อัตราเร่ง	a	3	m/s^2
ความยาวของรถเข็นผู้ป่วย	l	1.16	m
ความสูงของรถเข็นผู้ป่วย	h	0.93	m
ความกว้างของรถเข็นผู้ป่วย	W	0.70	m

แรงต้านการเคลื่อนที่จะมี 3 ส่วน คือ แรงต้านจากการหมุนของล้อ (R_r) แรงต้านอากาศ (R_a) และแรงต้านจากการปีนไต่ (R_g) โดยสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 3 ซึ่งนำเสนอ โดย Yoon H., และคณะ, (2013) จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะได้ค่าแรงต้าน 6.2 N, 0.175 N และ 11.11 N ตามลำดับ โดยต้องใช้กำลังขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรงต้านทั้งหมดขนาด 17.485 N

$$R_r = K_r F \quad (1)$$

$$R_a = K_a A v^2 \quad (2)$$

$$R_g = W \sin \theta \quad (3)$$

เมื่อ K_r คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของล้อยาง โดย $K_r = 0.015 + 0.00016 v$

F คือ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวราบ โดย $F = mA$

$$P_m = \frac{T\omega_m}{\eta} \quad (4)$$

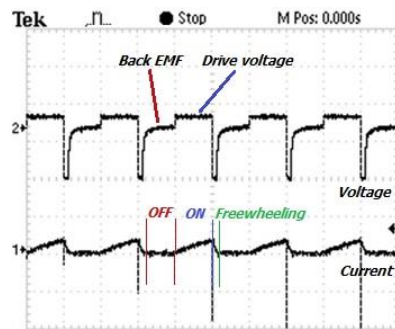
เมื่อ T คือ แรงบิดในการเอาชนะแรงต้าน โดย $T = F \times r$

ω_m คือ ความเร็วเชิงมุมทางกล โดย $\omega_m = \frac{2\pi N}{60}$

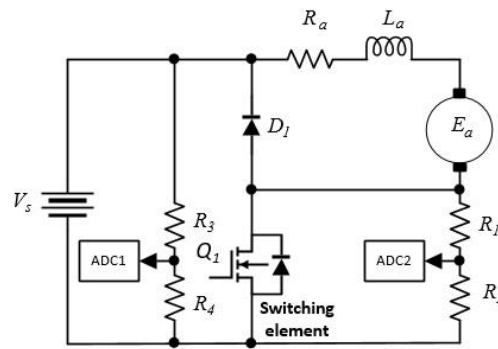
คำนวณได้ค่าแรงบิดที่ปลายเพลลา (Shaft torque) ขนาด 3.15 Nm ซึ่งที่ความเร็ว 3 km/h ความเร็วรอบของล้อจะมีค่า 44.23 rpm ที่ค่าอัตราทดเกียร์ขนาด 1:15 มอเตอร์จะมีความเร็ว 663.48 rpm หากำลังของมอเตอร์ (P_m) ตามสมการที่ 4 โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η) ที่ 0.9 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้า 243.05 W ดังนั้นมอเตอร์แต่ละตัวจะมีขนาดกำลัง 121.53 W ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 120 W 12 V จากข้อมูลผู้ผลิตจะมีความเร็วรอบที่ปลายเพลลาสูงสุด 200 rpm ที่แรงบิด 4.3 Nm และมีแรงบิดเริ่มต้นที่ 19.6 Nm

2.2 การประมาณค่าความเร็ว

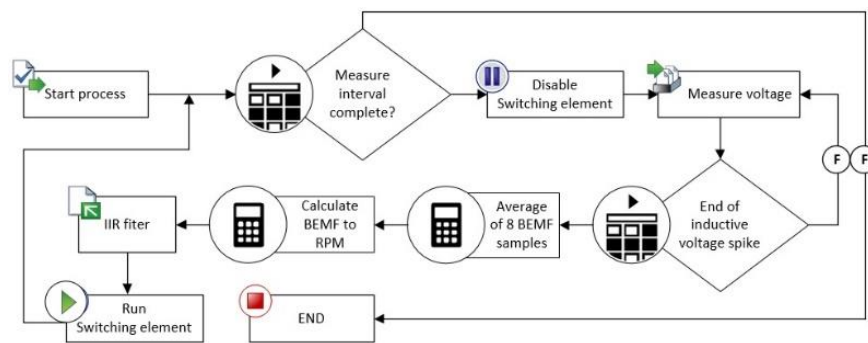
การหาความเร็วโดยไม่ใช้ส่วนตรวจจับความเร็ว (Speed sensorless) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back electromotive force; Back EMF) ดังสมการที่ 5 ซึ่งแรงดันต้านกลับนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาขณะที่มอเตอร์หมุนและจะถูกแยกออกมาเป็นค่าเชิงเดี่ยวเมื่อไม่มีการจ่ายพลังงานให้มอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) ทำการตรวจจับค่าแรงดันใน 2 ส่วนในขณะที่ไม่จ่ายแรงดันให้มอเตอร์ คือ แรงดันแหล่งจ่าย และแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ ดังวงจรในภาพที่ 2 (ข) ทำการประมวลผล ดังภาพที่ 2 (ค) โดยส่งอุปกรณ์สวิตช์หยุดการทำงานแล้วรับค่าแรงดัน 8 ตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ยและคำนวณค่าความเร็วมอเตอร์ตามสมการที่ 5 ทำการกรองความถี่แบบดิจิทัลด้วยการกรองแบบผ่านต่ำ (Digital low pass filter) เพื่อลดทอนค่าระลอก (Ripple) และทำการส่งให้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานอีกครั้ง และวนรอบการประมวลผล



(ก) แรงดันและกระแสในการขับเคลื่อน



(ข) วงจรการวัดค่าแรงดัน



(ค) ลำดับการประมวลผล

ภาพที่ 2 การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการ BEMF

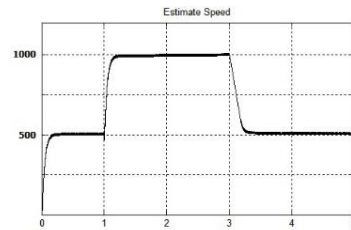
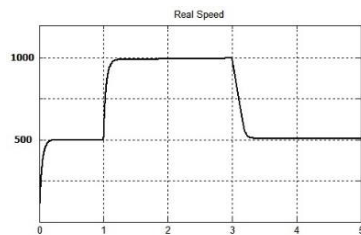
$$rpm = \left[\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) (v_{ADC1} - v_{ADC2}) \right] k_v \quad (5)$$

เมื่อ v_{ADC1} คือ แรงดันแหล่งจ่าย

v_{ADC2} คือ แรงดันส่วนต่าง

K_v คือ ค่าคงที่ ที่สัมพันธ์กันระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความเร็ว

ทำการพิสูจน์หลักการด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแปลงแรงดันเป็นข้อมูลแบบ CSV ป้อนเข้าในพื้นที่ทำงาน (Work space) ของโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แล้วทำการประมวลผลตามหลักการ BEMF มีผลการประมวลดังภาพที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าความเร็วที่ใช้หลักการ BEMF มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับด้วย Rotary encoder

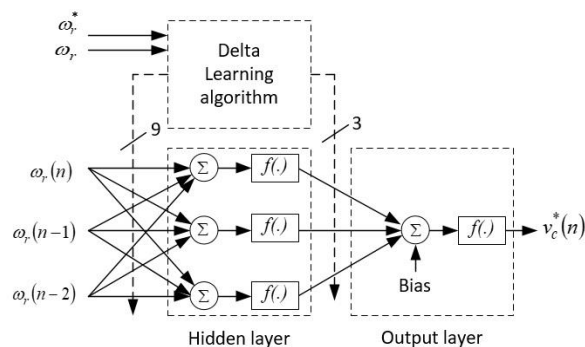


(ก) ค่าจากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับ

(ข) การประมาณค่าด้วยหลักการ BEMF

ภาพที่ 3 ความเร็วมอเตอร์จากการจำลองการทำงาน

2.3 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ในวงรอบปิด



ภาพที่ 4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมความเร็วมอเตอร์จะเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีข้อได้เปรียบการควบคุมแบบเกนคงที่ (Fixed gain) ทั่วไป ด้วยที่มีการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight update) ตลอดเวลา ที่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลักการเรียนรู้แบบเดลต้า (Delta learning) ดังภาพที่ 4 โดยมี 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ทำการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของอนุกรมอินพุตและเอาต์พุต เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก ใช้การประยุกต์ของค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุด (Least mean square, LMS) ในการลู่เข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันประเมิณผล หาค่าความผิดพลาดจากอนุกรมอินพุตและเอาต์พุตที่นำเสนอโดย Stamatiou V.K., (1996), แสดงได้ดังสมการที่ 6 ทำการหาค่าความผิดพลาดของเวกเตอร์เกรเดียนต์ (Error gradient vector) และทำการพัฒนาหาค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำการปรับปรุงดังสมการที่ 7 ใช้ค่าตัวประกอบการเรียนรู้ 0.3 และใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบ tan-sigmoid ในชั้นเอาต์พุต

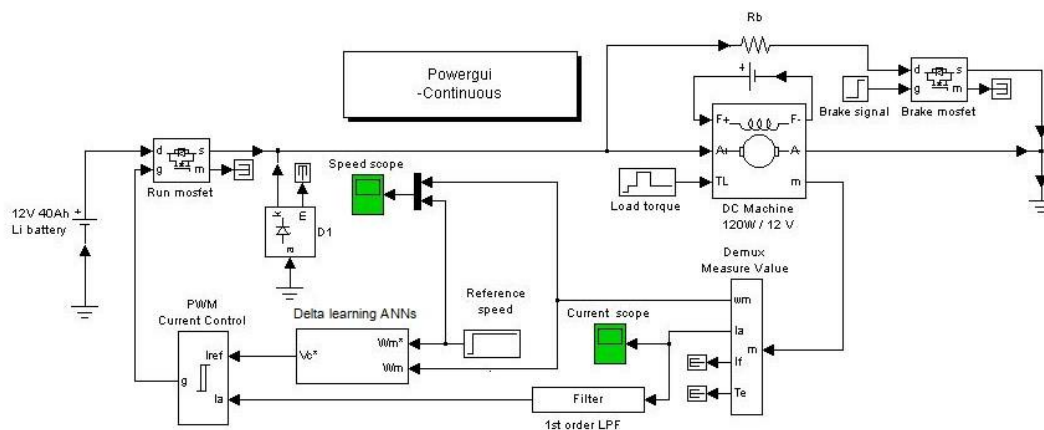
$$E = \frac{1}{2} [T_i - f(w_i x_i)]^2 \quad (6)$$

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \frac{\mu}{2} (T_i - O_i)(T_i - O_i^2)x_i \quad (7)$$

เมื่อ E คือค่าผิดพลาดรวม T คือค่าเป้าหมาย
 w คือค่าถ่วงน้ำหนัก x คืออินพุต
 O คือเอาต์พุต μ คือค่าตัวประกอบการเรียนรู้

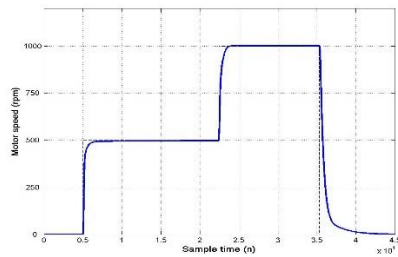
และ $f(w_i x_i) = \frac{1}{2} (T_i - O_i^2)$

2.4 การจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็ว

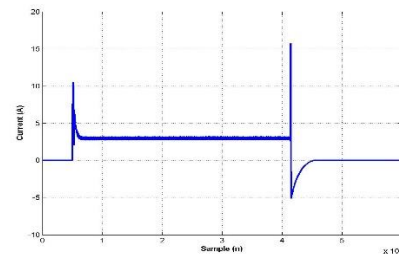


ภาพที่ 5 โมเดลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วที่นำเสนอ

จากโมเดลในภาพที่ 5 ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ทำการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบควบคุมความเร็ว และศึกษาพฤติกรรมของการเบรกแบบไดนามิก โดยมีผลการจำลองดังภาพที่ 6 (ก) ที่ความเร็ว 500 rpm ขณะเริ่มเดินจะไม่เกิดโอเวอร์ชู้ต และลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ 2500 ตัวอย่าง และเมื่อความเร็วเพิ่มเป็น 1000 rpm จะลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ 2000 ตัวอย่าง มีค่าความผิดพลาดในภาวะคงตัวเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนในภาพที่ 6 (ข) ที่ค่าความเร็ว 500 rpm พบว่ากระแสเริ่มเดินมีค่า 17 A กระแสในภาวะคงตัวมีค่า 6.5 A เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 1000 rpm กระแสจะมีค่า 10 A และเมื่อทำการเบรก กระแสมอเตอร์จะค่าลบสูงสุดประมาณ 10 A และลู่เข้าสู่ค่าศูนย์ใน 4000 ตัวอย่าง



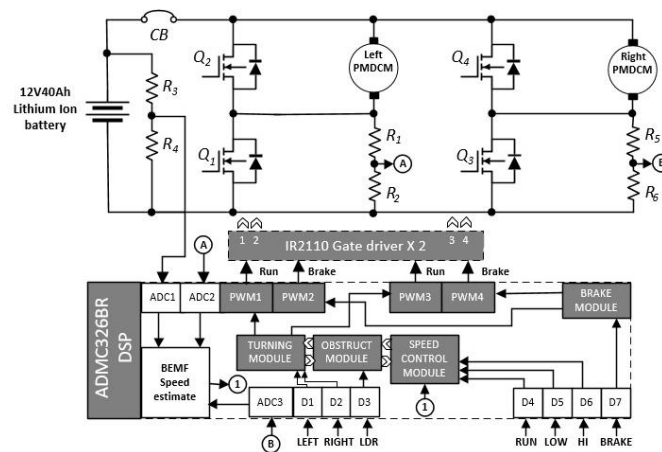
(ก) การรักษาระดับความเร็ว



(ข) กระแสของมอเตอร์

ภาพที่ 6 ผลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

2.5 โครงสร้างระบบควบคุมความเร็ว



ภาพที่ 7 โครงสร้างของระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบซ็อบเปอร์เฟด

ระบบควบคุมของรถเข็นไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 7 ควบคุมด้วย DSP เบอร์ ADMCF326BR ตรวจจับแรงดันผ่านพอร์ท ADC ประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการ BEMF ค่าอ้างอิงที่ถูกกำหนดด้วย สวิตช์เลือกค่าความเร็ว ทำการชดเชยระบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM ที่ความถี่ 5 kHz ให้กับคอนเวอร์เตอร์แบบซ็อบเปอร์เฟด ที่ใช้โมสเฟตเบอร์ IR2807 ผ่านวงจร ขั้วนำสัญญาณด้วยไอซีเบอร์ IR2110 การขับเคลื่อนล้อด้านซ้ายและขวา Q_1 และ Q_3 จะทำงาน ตามลำดับ สัญญาณขับจะถูกขัดจังหวะในทันทีเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร ในการเลี้ยว ระบบจะทำการสั่งให้มอเตอร์ด้านนั้นหยุดทำงานชั่วคราว ส่วนการหยุดรถเข็นสัญญาณขับจะถูกยกเลิก และส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์สวิตช์ Q_2 และ Q_4 พลังงานที่ถูกสะสมในตัวเหนี่ยวนำจะถูกส่งไปเผาที่ตัว ต้านทานของมอเตอร์ กระแสของมอเตอร์จะไหลกลับทิศทาง ทำให้แรงบิดต้านกับโมเมนต์แรงเฉื่อย

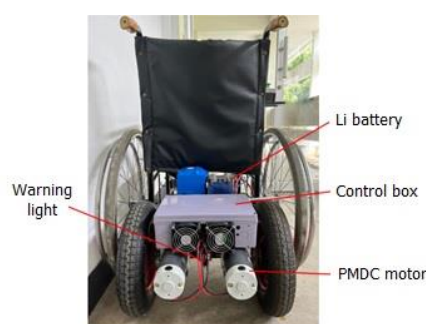
ของรถเข็น ทำให้รถหยุดอย่างนุ่มนวล และมีระยะเบรกที่สั้นลง ระบบป้องกันการลัดวงจรจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 60 แอมแปร์

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม



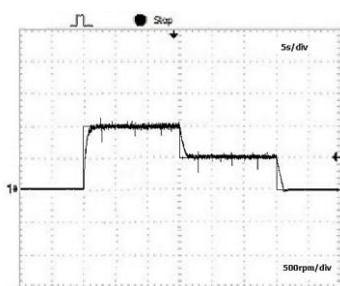
(ก) ด้านหน้ารถเข็น



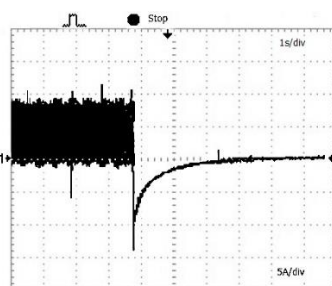
(ข) ด้านหลังรถเข็น

ภาพที่ 8 รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบ

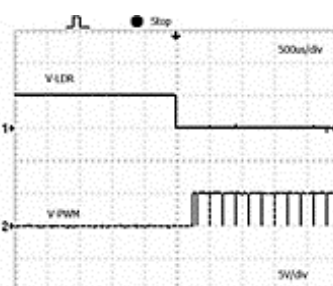
รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังภาพที่ 8 การทดสอบการควบคุมความเร็วแสดงได้ดังภาพที่ 9 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอ สามารถควบคุมความเร็วให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายได้ โดยในขณะเริ่มเดินจะไม่เกิดโอเวอร์ชู้ตขึ้น มีค่าเวลาในการลู่เข้าสู่เป้าหมายประมาณ 3 วินาที และมีค่าความผิดพลาดในภาวะคงตัวเข้าใกล้ศูนย์ และในส่วนของการเบรกแบบไดนามิกจะมีค่ากระแสเบรกประมาณ 8 A และลู่เข้าสู่ค่าศูนย์ในเวลาประมาณ 3 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข) และในภาพที่ 9 (ค) เมื่อมีสิ่งกีดขวาง LDR จะส่งสัญญาณ 1 (5V) สัญญาณควบคุมจะถูกตัด และเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง LDR จะส่งสัญญาณ 0 (0V) สัญญาณควบคุมจะทำงานอีกครั้ง



(ก) การควบคุมความเร็ว



(ข) กระแสมอเตอร์



(ค) การตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 9 การทดสอบสมรรถนะการควบคุมความเร็ว การเบรก และการหยุดรถของรถเข็นไฟฟ้า

3.2 การทดสอบการใช้งาน



(ก) การทดสอบสิ่งกีดขวาง (ข) การทดสอบบนทางลาดชัน (ค) การทดสอบหารัศมีวงเลี้ยว
ภาพที่ 10 การทดสอบการใช้งานของรถเข็นไฟฟ้า

รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบถูกทดสอบการใช้งาน การหยุดรถเข็นเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง การเคลื่อนที่ในทางลาดชัน และการหารัศมีวงเลี้ยว ดังแสดงในภาพที่ 10 (ก) ภาพที่ 10 (ข) และภาพที่ 10 (ค) ตามลำดับ โดยทำการทดสอบกับผู้ป่วยจำลองที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน โดยมีผลการทดสอบ การวิ่งบนทางราบ การขึ้นและทางลาดชันที่ค่ามุม 5.1 องศา ระยะการเบรกด้วยระบบเบรกแบบไฟฟ้า และการเบรกที่ไม่ใช้ระบบเบรกแบบไฟฟ้าช่วย รัศมีวงเลี้ยวแคบสุด และการหยุดรถโดยอัตโนมัติเมื่อพบสิ่งกีดขวาง โดยมีผลทดสอบดังตารางที่ 2 จากผลการทดสอบการใช้งานในการเคลื่อนที่ในทางราบ การขึ้นและลงทางลาดชัน มีความผิดพลาดเฉลี่ยของความเร็วที่ 2.33 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเบรกที่สั้นกว่าการเบรกแบบดั้งเดิม 46.36 เปอร์เซ็นต์ มีรัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร และในการหยุดรถเมื่อเจอสิ่งกีดขวางจะทำได้ในระยะ 0.8 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด ระบบควบคุมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพโดยรวม 78.16 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้งานได้ประมาณ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง โดยเป็นการทำงานแบบถ่วงเฉลี่ยทั้งทางราบและทางลาดชัน

ตารางที่ 2 การทดสอบการใช้งานรถเข็นไฟฟ้า

Test	Road speed 0° (km/h)		Upward speed +5.1° (km/h)		Downward speed -5.1° (km/h)		Brake distance (m)		Min. Turning Radius (m)	Obstruction < 0.8 m
	Low	High	Low	High	Low	High	dynamic	Without		
Weight										
57 kg	1.51	2.99	1.48	2.96	1.53	3.12	0.24	0.47	0.9	Stop
70 kg	1.50	2.99	1.47	2.95	1.53	3.15	0.28	0.51	0.9	Stop
98 kg	1.48	2.98	1.45	2.93	1.55	3.23	0.29	0.53	0.9	Stop

4. อภิปรายผล

รถเข็นไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานในระยะทางสั้น ๆ และมักถูกใช้งานในพื้นที่ ที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก จึงมีการเริ่มทำงานและหยุดทำงานบ่อยครั้ง ดังนั้นระบบควบคุมความเร็วจะต้องมีผลตอบสนองที่ดีและควรมีโอเวอร์ซัดที่ต่ำเพื่อลดแรงกระชาก ระบบการควบคุมที่มีการปรับปรุงตลอดเวลาจึงมีความเหมาะสม จากการทดสอบการใช้งานพบว่าขณะรถเข็นเริ่มเดินจะไม่เกิดการกระชาก รวมทั้งรถเข็นมีอัตราเร่งขณะขึ้นทางลาดชันที่ดี การบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้ามีรัศมีของวงเลี้ยวที่แคบ ส่วนระบบเบรกแบบไดนามิกจะช่วยให้รถเข็นหยุดได้เร็วขึ้นและมีความนุ่มนวล รวมทั้งมีการหยุดรถเมื่อเจอสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น ระบบขับเคลื่อนของรถเข็นไฟฟ้าที่น่าเสนอนี้อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาวิจัยเพื่อนำไปใช้งานจริง โดยอาจปรับปรุงให้รถเข็นสามารถเคลื่อนที่ถอยหลังได้ หรือปรับเป็นระบบขับเคลื่อนแบบเกาะพ่วงกับรถเข็นที่ใช้แรงคน

5. สรุปผลการวิจัย

รถเข็นไฟฟ้าสำหรับผู้ช่วยควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มีระบบควบคุมความเร็วในวงรอบปิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ประเมินค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ และเบรกด้วยระบบไฟฟ้า มีสมรรถนะในการคงค่าความเร็วโดยมีความผิดพลาด 2.33 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเบรกประมาณ 0.3 เมตร สั้นกว่าเมื่อไม่ใช้การเบรกแบบไฟฟ้า 46.36 เปอร์เซ็นต์ มีรัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร รถเข็นจะหยุดเองโดยอัตโนมัติเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร มีประสิทธิภาพโดยรวม 78.16 เปอร์เซ็นต์ และใช้งานได้นานประมาณ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อเพื่อใช้งานจริงในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานวิจัยพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องมือวัดต่าง ๆ ในการทำวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

สันติภาพ โคตทะเล และอุดม เครือเทพ. (2021). **รถเก้าอี้เข็นไฟฟ้าลดแรงกระแทกสำหรับคนพิการ**,
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยราช
ภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก.

Esratur, E., Dongyoung, L., & Soonkyum, K. (2022). **Simple User Assistance Driving
Algorithm for Cost-Effective Smart Electric Wheelchair**. IEEE International
Conference on Robot and Human Interactive Communication, Napoli, Italy. Doi:
10.1109/RO-MAN53752.2022.9900765.

Sharaf, A.M., Elbakush, E., Altas, I.H., & Okumus, H.I. (2007). **A Switched Mode
Simulation Model for a PMDC Motor Scheme Controlled by Predictive
Dynamic Controller**. IEEE International Electric Machines & Drives Conference,
Antalya, Türkiye. Doi: 10.1109/iemdc.2007.383688.

Stamatios, V.K. (1996). **Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic Basic
Concepts and Applications**. Wiley-IEEE Press. DOI: 10.1109/9780470546826.ch5.

Yoon, H., Eung-Pyo, H., & Mu-Seong, M. (2013). **Development of power add on drive
wheelchair and its evaluation**. 9th Asian Control Conference (ASCC), Istanbul,
Turkey. Doi: 10.1109/ASCC.2013.6606244.