

การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ

DESIGN OF A SMALL ELECTRIC VEHICLE FOR THE ELDERLY



ธนต์ถ์ เจนสัณญายุทธ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัย

รณัตต์ เจนสัญญายุทธ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ
Design of a Small Electric Vehicle for the Elderly
ชื่อ - นามสกุล นายธนต์ เจนสัญญายุทธ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ประมุข อุณหเลขกะ, D.Eng.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แดงเอม, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนทล นาวงษ์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ
ชื่อ - นามสกุล	นายธนต์ต์ เจนสัญญายุทธ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยแนวคิดในการออกแบบจะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน รวมถึงระบบควบคุมทางไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ศึกษาถึงพฤติกรรมทางไฟฟ้าของระบบด้วยการกำหนดรูปแบบการจำลองจากพฤติกรรมการขับขี่ของผู้สูงอายุ และข้อจำกัดทางกฎจราจรของการขับขี่ในชุมชน รวมถึงการนำไปใช้หาประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ

จากการศึกษาลักษณะการขับขี่และข้อกำหนดของการจราจร จึงสามารถคำนวณหาขนาดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยการใช้หลักการพลศาสตร์ของยานยนต์ได้ที่ 1.5 kW/3 kWp ด้วยแบตเตอรี่ขนาด 48 V 30 Ah แล้วควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขั้วไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นทำการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB & Simulink โดยมีรูปแบบการทดสอบด้วยการขับเคลื่อนยานยนต์ในสถานะที่มีข้อจำกัดทางจราจรบนท้องถนน

จากผลจากการจำลองในการขับเคลื่อนต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า การขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ จะสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ที่ 39.3 km/h ที่กำลังไฟฟ้า 1.47 kW และสามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 28 km โดยคงค่าประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่อยู่ที่ร้อยละ 80 ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถขึ้นทางชันได้ถึงที่ระดับร้อยละ 4 หรือคิดเป็นมุม 2.29 องศา ด้วยกำลังไฟฟ้า 2.96 kW ที่ความเร็วคงที่ 30 km/h มีการเคลื่อนที่ขึ้นลูกกระดานที่มีมุมกระทำ 45 องศาที่ถนนด้วยการใช้กำลังไฟฟ้า 3 kW ที่แรงบิด 10.5 Nm และสามารถขับเคลื่อนด้านอากาศด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 1.6 km/h โดยที่มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้า 2.68 kW มีแรงบิดของมอเตอร์ 6.8 Nm ที่ความเร็วคงที่ 39.3 km/h จากผลการจำลองในระบบขับเคลื่อนและขนาดของแบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้ให้เหมาะสมต่อระยะทางการเคลื่อนที่ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างระบบขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้งานได้จริงต่อไป

คำสำคัญ : ยานยนต์ไฟฟ้า มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ผู้สูงอายุ

Thesis Title	Design of a Small Electric Vehicle for the Elderly
Name - Surname	Mr.Thanat Jensanyayut
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, D.Eng.
Academic Year	2020

ABSTRACT

This thesis presented the design of a small electric vehicle for the elderly. The design concept focused on the design of the brushless DC motor (BLDC) drive system and the electrical control system for an electric vehicle. The thesis aimed to study the electrical behavior of the system determined by the driving simulation of the elderly driving behavior model and the traffic regulation in urban areas. Moreover, it aimed to find out the efficiency of the small electric vehicle for the elderly.

Regarding the driving behavior and the traffic regulations, vehicle dynamics was considered for selecting the rated power of the BLDC motor. The rated power at 1.5 kW/3kWp with a 48 V, 30 Ah battery was selected. The BLDC motor speed was adjusted with the DC bus voltage of the inverter. The driving test simulator with traffic constraints was then simulated using MATLAB & Simulink software.

The simulators showed that the maximum speed of the electric vehicle with the motor output power of 1.74 kW on a horizontal road was at 39.3 km/h. The maximum distance was 28 km when the state of the battery was decreased to 80%. In addition, the electric vehicle could climb up a 4 percent slope – an angle of 2.29 degrees – with the motor output power of 2.96 kW at a constant speed of 30 km/h. When going over a 45-degree speed hump, the motor output power was at 3 kW and the torque was at 10.5 Nm. According to the aerodynamic test with the wind speed of 1.6 km/h, the motor output power of the vehicle was at 2.68 kW with the torque of 6.8 Nm at a constant speed of 39.3 km/h. The results indicated that the design of the drive system and the battery capability were appropriate for the range. Finally, it could be concluded that the design and the construction of the small electric vehicle drive system had the efficiency and the possibility for further implementation.

Keyword: electric vehicle, brushless DC motor, elderly

กิตติกรรมประกาศ

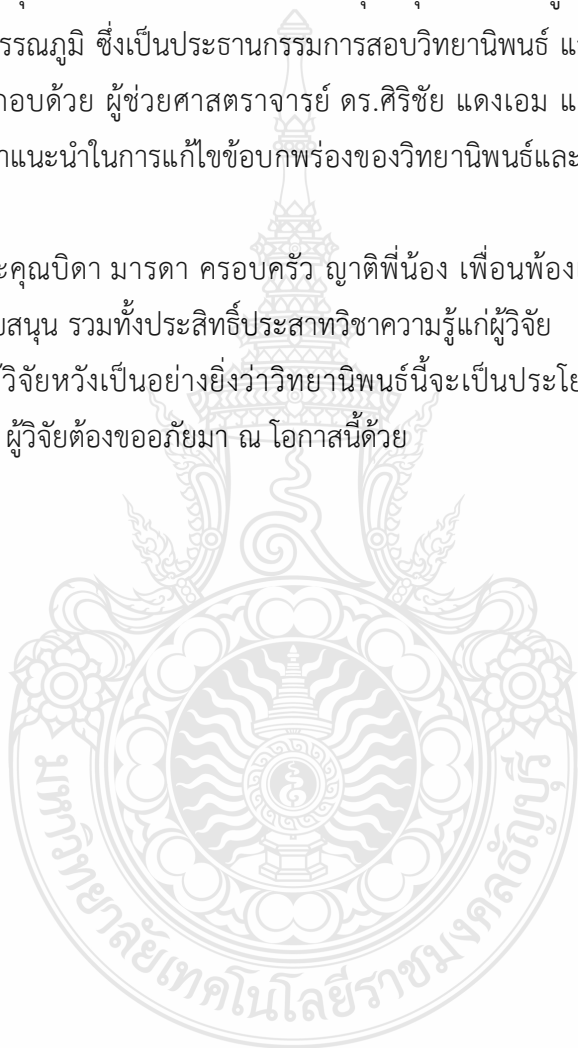
วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของรองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำและชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย แดงเอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล นาวงษ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์และเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้อง เพื่อนพ้องและคณะครู-อาจารย์ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน รวมทั้งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ธนต์ถ์ เจนส์ัญญายุทธ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	15
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	15
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	17
2.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	23
2.3 แรงต้านการเคลื่อนที่.....	26
2.4 กำลังและพลังงานของการขับเคลื่อน.....	31
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 การออกแบบและสร้างยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงอายุ.....	38
3.2 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์.....	39
3.3 การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่.....	41
3.4 การจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัยด้วยโปรแกรม MATLAB &..... Simulink.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	48
4.1 บทนำ.....	48
4.2 การจำลองพฤติกรรมรถขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กบนทางราบ.....	50
4.3 การจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กบนทางชัน.....	53
4.4 การจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กผ่านลูกระนาด.....	72
4.5 การจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กกับแรงต้าน.....	
อากาศ.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1 บทนำ.....	88
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	88
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	89
บรรณานุกรม.....	90
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	116

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสภาพผิวต่างๆ.....	28
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	39



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 (ก)โครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (ข)การต่อขดลวดแบบสตาร์... (ค)กำหนดเฟส (A) ให้อยู่ในทิศทางบวก.....	18
รูปที่ 2.2 (ก) ตำแหน่งของโรเตอร์เฟส A (ข) การกระจายตัวของฟลักซ์เฟส A.....	19
รูปที่ 2.3 ผลของโรเตอร์ชนิด salient pole ต่อวงจรแม่เหล็ก.....	20
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์เฟสระหว่าง $B(\theta)$ e_A และ $f_A(\theta)$	22
รูปที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์บริดจ์สามเฟส.....	23
รูปที่ 2.6 (ก) สัญญาณ Gating ของโหมตการนำไฟฟ้า 120° และ (ข) แรงดันไฟฟ้าแบบ.... line-to-line.สำหรับโหมตการนำไฟฟ้า 120°	24
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	25
รูปที่ 2.8 แผนผังการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	26
รูปที่ 2.9 การเกิดแรงต้านของน้ำหนัทยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อขึ้นทางชัน.....	27
รูปที่ 2.10 แรงต้านการหมุนลื้อ.....	28
รูปที่ 2.11 ลักษณะของรูปทรงที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ.....	29
รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของกำลังในระบบขับเคลื่อน.....	31
รูปที่ 2.13 ลักษณะของเกียร์ทด.....	33
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ.....	38
รูปที่ 3.2 วงจรการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink.....	42
รูปที่ 3.3 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้า.....	42
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมควบคุม (Control).....	43
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (Speed Controller).....	43
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมควบคุมแรงดัน (Voltage Controller).....	44
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมสร้างสัญญาณควบคุมสวิทช์ของวงจรระดับแรงดัน..... เข้าอินเวอร์เตอร์.....	44

สารบัญญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.8	บล็อกไดอะแกรมวงจรระดับแรงดันและวงจรอินเวอร์เตอร์.....	44
รูปที่ 3.9	บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและ..... บล็อกไดอะแกรมเกียร์.....	45
รูปที่ 3.10	บล็อกไดอะแกรมไดนามิกของยานยนต์ไฟฟ้า.....	45
รูปที่ 3.11	บล็อกไดอะแกรมจำลองแบตเตอรี่.....	46
รูปที่ 3.12	บล็อกไดอะแกรมการหาค่าเปอร์เซ็นต์การชาร์จและดิชาร์จแบตเตอรี่.....	46
รูปที่ 3.13	บล็อกไดอะแกรมการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า.....	47
รูปที่ 4.1	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	48
รูปที่ 4.2	ความเร็วรอบมอเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	49
รูปที่ 4.3	ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	49
รูปที่ 4.4	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	50
รูปที่ 4.5	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบขณะขับเคลื่อน... ด้วยความเร็วคงที่.....	50
รูปที่ 4.6	แรงดันไฟฟ้าต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	51
รูปที่ 4.7	กระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ	51
รูปที่ 4.8	แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	52
รูปที่ 4.9	กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ.....	52
รูปที่ 4.10	แรงบิดมอเตอร์ขนาด 1.5 kW ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ	53
รูปที่ 4.11	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	54
รูปที่ 4.12	ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	54
รูปที่ 4.13	ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	55
รูปที่ 4.14	แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านบนทางชันร้อยละ 4.....	55
รูปที่ 4.15	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	56
รูปที่ 4.16	แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	56
รูปที่ 4.17	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	57
รูปที่ 4.18	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	57
รูปที่ 4.19	กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.47	กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36.....	72
รูปที่ 4.48	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	73
รูปที่ 4.49	ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	73
รูปที่ 4.50	ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	74
รูปที่ 4.51	แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขณะผ่านลูกระนาด.....	74
รูปที่ 4.52	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	75
รูปที่ 4.53	แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	75
รูปที่ 4.54	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	76
รูปที่ 4.55	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	76
รูปที่ 4.56	กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด.....	77
รูปที่ 4.57	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	77
รูปที่ 4.58	ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	78
รูปที่ 4.59	ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	79
รูปที่ 4.60	แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ความเร็วลม 1.6 km/hr..	79
รูปที่ 4.61	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr....	80
รูปที่ 4.62	แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr....	80
รูปที่ 4.63	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	81
รูปที่ 4.64	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	81
รูปที่ 4.65	กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.6 km/hr.....	82
รูปที่ 4.66	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	82
รูปที่ 4.67	สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	83
รูปที่ 4.68	ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	83
รูปที่ 4.69	ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	84
รูปที่ 4.70	แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	84
รูปที่ 4.71	กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr..	85
รูปที่ 4.72	แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr..	85
รูปที่ 4.73	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	86

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.74 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	86
รูปที่ 4.75 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วลม 12.9 km/hr.....	87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการคาดการณ์จำนวนประชากรผู้สูงอายุขององค์การสหประชาชาติ (United Nations:UN) มีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ โดยการนิยามสังคมผู้สูงอายุในแต่ละประเทศนั้นไม่เหมือนกัน ซึ่งประเทศที่พัฒนาแล้วจัดผู้สูงอายุโดยนับจากอายุ 65 ปีขึ้นไป หรือเริ่มนับตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป ซึ่งองค์การสหประชาชาติได้แบ่งสังคมผู้สูงอายุ 3 ระดับคือ 1) ระดับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging society) หมายถึง จำนวนประชากรผู้สูงอายุร้อยละ 10 ของประชากรประเทศ 2) ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) หมายถึง จำนวนประชากรผู้สูงอายุมีมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรประเทศ 3) ระดับสังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ (Super-aged society) หมายถึง จำนวนประชากรผู้สูงอายุที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไปมีมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรประเทศ จากสถิติผู้สูงอายุในหลายๆประเทศนั้นได้เข้าสู่ระดับสังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่แล้วเช่น ญี่ปุ่น อิตาลี เยอรมัน และสวีเดน ซึ่งประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุอยู่ที่ร้อยละ 16.5 เมื่อปีพ.ศ. 2559 หมายถึงประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ซึ่งการมีมาตรการที่ส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับผู้สูงอายุเช่น ระบบคมนาคม การจัดสรรงานที่เหมาะสมกับวัย เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้สูงอายุ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษาการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ เพื่ออำนวยความสะดวกในการคมนาคมภายในชุมชน [1]

จากการสำรวจประชากรในกรุงเทพฯ ภายในระยะเวลา 1 ปี พบว่าผู้สูงอายุยังมีความจำเป็นในการออกจากบ้านทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ซื้อของใช้ประจำบ้าน พบประสังคม ดังนั้นการเดินทางจึงเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันเนื่องจากการใช้เวลาอยู่บนยานยนต์โดยเฉลี่ยมากกว่า 800 ชั่วโมงต่อปี การใช้ถนนภายในสภาพแวดล้อมที่ทุกพื้นที่มีแต่สิ่งก่อสร้าง ถนนภายในชุมชนมีขนาดเล็กการเดินทางมีความลำบาก สภาพการเจริญเติบโตของชุมชนเป็นแนวราบคือขยายออกด้านข้างทำให้การใช้ยานพาหนะมีความจำเป็นต่อชีวิตผู้สูงอายุ สังคมผู้สูงอายุยังเป็นสังคมที่ขาดการเข้าถึงหรือช่วยเหลือในอีกหลายๆด้าน การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อการใช้ชีวิตประจำวัน เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายในเมืองที่มีการสัญจรของยานยนต์เป็นไปด้วยความลำบาก ดังนั้นการมียานพาหนะที่สามารถช่วยเหลือการเดินทางของผู้สูงอายุให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สามารถเดินทางโดยไม่ต้องพึ่งพาสมาชิกภายในครอบครัว ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กและจำลองผลเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัย โดยการออกแบบขนาดของยานยนต์ โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับความเร็วที่ใช้ในการเดินทางของผู้สูงวัย ซึ่งคำนึงถึงประสิทธิภาพ ทางด้านการขับเคลื่อนของระบบไฟฟ้าภายในยานยนต์เป็นหลัก การใช้หลักพลศาสตร์ของยานยนต์เพื่อ การคำนวณแรงต้านที่กระทำต่อยานยนต์ ระบบส่งกำลัง ประสิทธิภาพการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่ง พารามิเตอร์ในการคำนวณทางพลศาสตร์เป็นตัวแปรสำคัญ ของการหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านให้เหมาะสมต่อขนาดของยานยนต์ การออกแบบทางด้านระบบควบคุม ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้านั้นใช้หลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งการคำนวณขนาดแบตเตอรี่ของยานยนต์โดยพิจารณาจากการ กำหนดระยะทางโดยการประมาณการความจำเป็นในการเดินทางแต่ละครั้ง และระยะของสถานที่ โดยรอบของเมือง จึงเป็นผลให้ได้ประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนยานยนต์ที่เหมาะสมต่อ สภาพแวดล้อมในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาบล็อกไดอะแกรมยานยนต์ไฟฟ้าของโปรแกรม MATLAB & Simulink
- 1.2.3 ออกแบบวงจรการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงวัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมรถขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า ขณะขับเคลื่อนบนถนนในรูปแบบต่างๆ โดยใช้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านในการขับเคลื่อน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 1.4.2 พิจารณาการใช้งานบล็อกไดอะแกรมยานยนต์ไฟฟ้าของโปรแกรม MATLAB & Simulink
- 1.4.3 ออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB & Simulink

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาการออกแบบของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 1.5.2 ออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัย

- 1.5.3 สร้างแบบจำลองยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงอายุ
- 1.5.4 เก็บและรวบรวมข้อมูลการขับขี่ตามมาตรฐาน
- 1.5.5 ปรับปรุงแบบจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ
- 1.5.6 สรุปและอภิปรายผลการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ
- 1.5.7 เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทำให้เกิดความรู้เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 1.6.2 ทำให้ทราบเกี่ยวกับพฤติกรรมการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า



บทที่ 2

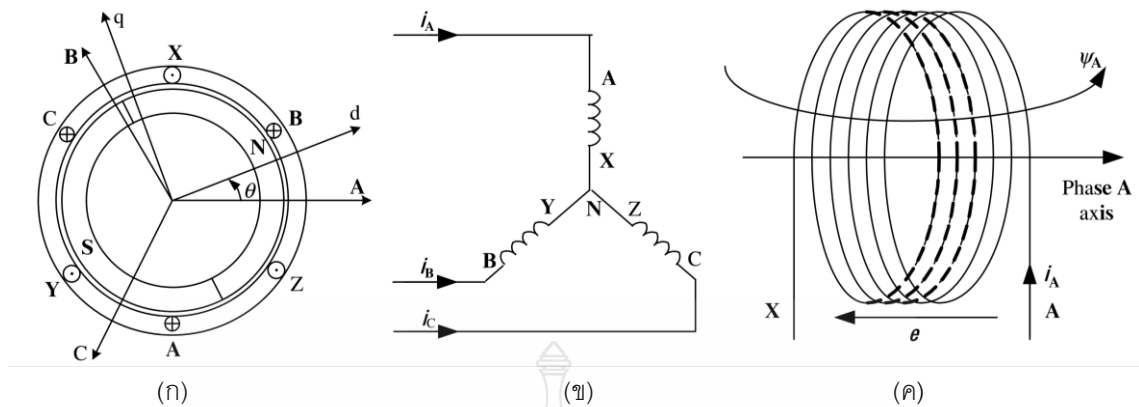
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเพื่อหาระบบการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงวัยให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องหาพารามิเตอร์แรงต้านที่กระทำต่อยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หลักการของพลศาสตร์ยานยนต์เช่น แรงต้านการเสียดทานของล้อ แรงต้านทางด้านอากาศ แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อยานยนต์ ประสิทธิภาพการถ่ายเทกำลัง การสูญเสียพลังงานทางกล และการสูญเสียพลังงานทางด้านไฟฟ้า พารามิเตอร์ดังกล่าวจึงมีความจำเป็นสำหรับการจำลองเพื่อหาระบบขับเคลื่อนที่จะทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงวัยขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

การสร้างแบบจำลองสมการอนุพันธ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยการกำหนดรูปแบบของการพิชิตขดลวดของสเตเตอร์แบบเต็มพิชิต ซึ่งมีการเชื่อมต่อแบบสตาร์ โรเตอร์เป็นชนิด nonsalient pole และการวาง Hall sensors เป็นแบบสมมาตรห่างกัน 120 องศา นอกจากนี้ยังมีการตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมเพื่อสร้างสมการเชิงอนุพันธ์[2] ดังนี้

- 1) ละเว้นความอิมิตัวของแกนเหล็ก เช่นเดียวกับการสูญเสียกระแสวนและการสูญเสียฮิสเทรีซิส
 - 2) ละเว้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอานเมเจอร์ และคิดว่าการกระจายของสนามแม่เหล็กของช่องว่างอากาศเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างด้านบนแบบแบนเป็นมุม 120 องศาทางไฟฟ้า
 - 3) ละเว้นผลของ cogging effect ซึ่งสมมติว่าตัวนำมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของอานเมเจอร์
 - 4) การกำหนด Power switches and flywheel diodes ของวงจรอินเวอร์เตอร์มีคุณสมบัติสวิตช์ที่เหมาะสมที่สุดขณะทำงาน
- ดังนั้น ไดอะแกรมแบบง่ายของมอเตอร์สามารถหาได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 (ก)โครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (ข)การต่อขดลวดแบบสตาร์ (ค)กำหนดเฟส (A) ให้อยู่ในทิศทางบวก[2]

ภายใต้ทิศทางบวกที่แสดงในรูปที่ 2.11 แรงดันเฟสของขดลวดแต่ละอันซึ่ง รวมถึงแรงดันตกคร่อมและ EMF ที่เหนี่ยวนำ สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$U_x = R_x i_x + e_{\psi x} \quad (2.1)$$

โดยที่ U_x คือ แรงดันเฟส โดยที่ x แทนเฟส A B และ C
 i_x คือ กระแสเฟส
 $e_{\psi x}$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
 R_x คือ ค่าต้านทานเฟส

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (EMF) ของขดลวดมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ เนื่องจากเป็นบวกทิศทางของ EMF ที่เหนี่ยวนำและการเชื่อมโยงฟลักซ์ที่กำหนดไว้ในรูปที่ 2.1 นั้น ตรงกันข้ามกับทิศทางของกฎ right-hand screw rule แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสามารถเขียนได้เป็น

$$e_{\psi x} = \frac{d\psi_x}{dt} \quad (2.2)$$

ดังนั้นสมการของเฟส A จึงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + \psi_{pm}(\theta) \quad (2.3)$$

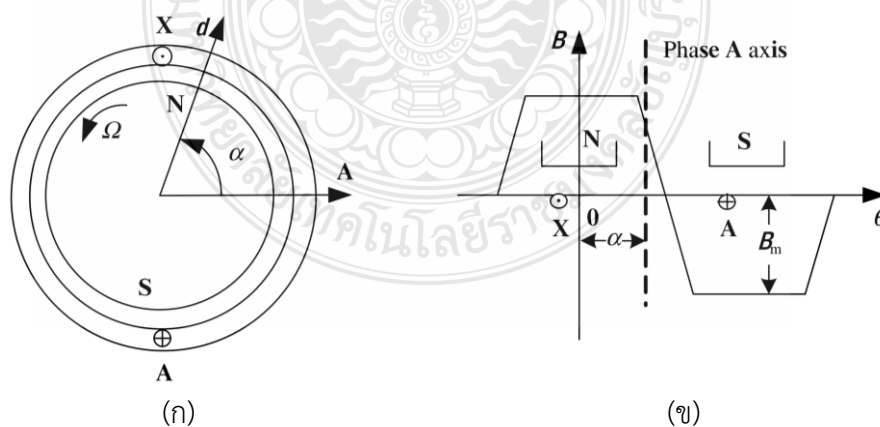
- โดยที่ $\psi_{pm}(\theta)$ คือ ฟลักซ์คล่องผ่านของเฟส A
 θ คือ ตำแหน่งมุมองศาของโรเตอร์ระหว่างแกน d กับ แกน A
 L_A คือ การเหนี่ยวนำในตัวเองของเฟส A
 M_{AB}, M_{AC} คือ ฟลักซ์เหนี่ยวนำระหว่างเฟส A กับเฟส B และเฟส C

ขนาดของ $\psi_{pm}(\theta)$ ขึ้นอยู่กับการกระจายสนามแม่เหล็กของ PM ในช่องว่างอากาศ องค์ประกอบรัศมีของสนามแม่เหล็กช่องว่างอากาศ PM กระจายเป็นรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูพร้อมพื้นผิวด้านในของสเตเตอร์แสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อโรเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา ขดลวด AX จะเคลื่อนที่ในทิศทางไปข้างหน้าตามแนวแกน y จากนั้นฟลักซ์ที่มีประสิทธิภาพของเฟส A จะเปลี่ยนไปตามค่าของตำแหน่งโรเตอร์ เมื่อตำแหน่งโรเตอร์เป็น α ดังนั้นฟลักซ์ PM ของเฟส A สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\psi_{pm}(\alpha) = N\phi_{pm}(\alpha) \quad (2.4)$$

$$\phi_{pm}(\alpha) = \int_{-\frac{\pi}{2} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} B(\theta) S d\theta \quad (2.5)$$

- โดยที่ $\phi_{pm}(\alpha)$ คือ ฟลักซ์ของเฟส A ที่ตำแหน่งมุม α ของโรเตอร์
 $B(\theta)$ คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ในช่องว่างอากาศ
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด
 S คือ ความยาวของรัศมีโรเตอร์



รูปที่ 2.2 (ก) ตำแหน่งของโรเตอร์เฟส A (ข) การกระจายตัวของฟลักซ์เฟส A [2]

ดังนั้นเมื่อแทนสมการที่ 2.2-2.5 ในสมการที่ 2.1 จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 U_A &= Ri_A + \frac{d}{dt}(L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + \psi_{pm}) \\
 &= Ri_A + \frac{d}{dt}(L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C) + \frac{d}{dt} \left[NS \int_{-\frac{\pi}{2}+\theta}^{\frac{\pi}{2}+\theta} B(x) dx \right] \quad (2.6) \\
 &= Ri_A + \frac{d}{dt}(L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C) + e_A
 \end{aligned}$$

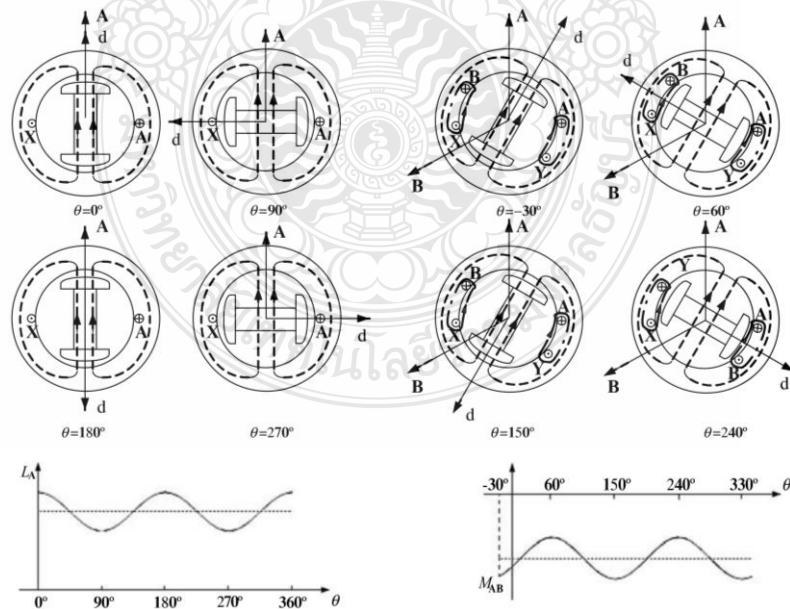
โดยที่ e_A แสดงถึง back-EMF ของเฟส A ดังสมการ 2.6 รวมถึงการดำเนินการอนุพันธ์ของการเหนี่ยวนำและกระแสโดยที่การเหนี่ยวนำตนเองและการเหนี่ยวนำร่วมกันของขดลวดเป็นสัดส่วนกับ N^2 และการซึมผ่านของวงจรแม่เหล็กที่สอดคล้องกัน จึงเขียนสมการได้ดังนี้[2]

$$L_A = N^2 \Lambda_A \quad (2.7)$$

$$M_{AB} = N^2 \Lambda_{AB} \quad (2.8)$$

โดยที่ Λ_A คือ การซึมผ่านของฟลักซ์การเหนี่ยวนำตนเองในเฟส A

Λ_{AB} คือ การซึมผ่านของฟลักซ์การเหนี่ยวนำร่วมกันระหว่างเฟส A และเฟส B



รูปที่ 2.3 ผลของโรเตอร์ชนิด salient pole ต่อวงจรแม่เหล็ก [2]

การซึ่มผ่านของโรเตอร์ชนิด salient pole แตกต่างกันในทิศทางของแกน d และแกน q ดังนั้นการเหนี่ยวนำตนเองและการเหนี่ยวนำร่วมกันของการเปลี่ยนแปลงของขดลวดด้วยตำแหน่ง-v'โรเตอร์ ดังนั้นความเหนี่ยวนำจึงเปลี่ยนไปตามตำแหน่งโรเตอร์ แต่สำหรับโรเตอร์ชนิด nonsalient pole ฟลักซ์เป็นแบบไอโซโทรปิกในทุกทิศทาง[2] ดังนั้นการซึ่มผ่านของวงจรแม่เหล็กจะไม่ได้รับผลกระทบจากตำแหน่งของโรเตอร์ ซึ่งการเหนี่ยวนำตนเองและซึ่งกันและกันความเหนี่ยวนำจะไม่แปรผันตามเวลา แสดงผลของความโดดเด่นของโรเตอร์ต่อการเหนี่ยวนำของขดลวดในรูปที่ 2.3

โดยทั่วไป โรเตอร์ Salient-pole ที่ติดตั้งบนพื้นผิวจะใช้สำหรับมอเตอร์ BLDC ในสภาวะนี้ความเหนี่ยวนำของขดลวดจะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา นอกจากนี้ในฐานะของสเตเตอร์สามเฟส ขดลวดที่มีความสมมาตร ตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากัน และเป็นตัวเหนี่ยวนำร่วมกัน นั่นคือ $L_A = L_B = L_C = L, M_{AB} = M_{BA} = M_{BC} = M_{CB} = M_{AC} = M_{CA} = M$ แทนที่พวกเขา ในสมการที่ (2.6)

$$U_A = Ri_A + L \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_C}{dt} + e_A \quad (2.9)$$

ซึ่งในสมการความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} e_A &= \frac{d}{dt} \left[NS \int_{\frac{\pi}{2} + \theta}^{\frac{\pi}{2} + \theta} B(x) dx \right] \\ &= NS \left[B\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) - B\left(-\frac{\pi}{2} + \theta\right) \right] \frac{d\theta}{dt} \\ &= NS\omega \left[B\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) - B\left(-\frac{\pi}{2} + \theta\right) \right] \end{aligned} \quad (2.10)$$

ตามการกระจายของความหนาแน่นแม่เหล็กในช่องว่างอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.2(ข) ร่วมกับ $B(\theta)$ มีคาบ 2π และ $B(\theta + \pi) = -B(\theta)$ จะได้

$$\begin{aligned} e_A &= NS\omega \left[B\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) - B\left(-\frac{\pi}{2} + \theta\right) \right] \\ &= NS\omega \left[B\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) - B\left(\frac{\pi}{2} + \theta + \pi - 2\pi\right) \right] \\ &= 2\pi S\omega B\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

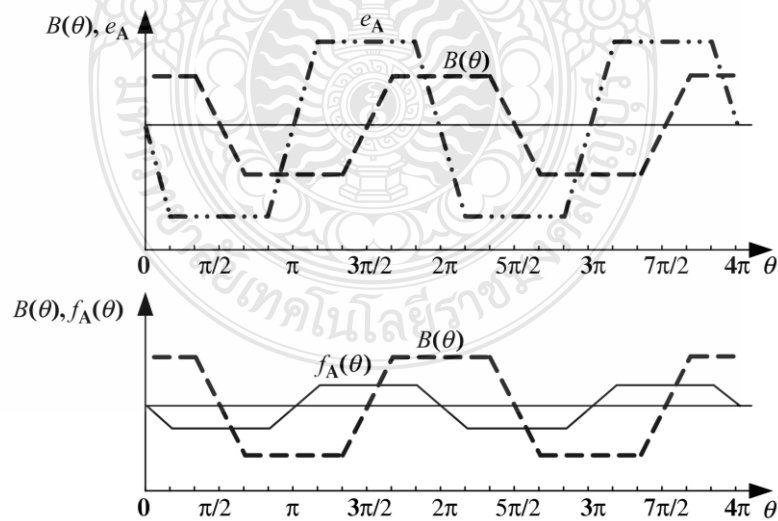
ดังนั้น back EMF ที่ย้อนกลับที่ขึ้นอยู่กับมุม θ ของเฟส A คือ $\pi/2$ ก่อนที่การกระจายของความหนาแน่นแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ และแรงเคลื่อน e_A ของมอเตอร์จะสามารถแสดงเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$e_A = 2NS\omega B_m f_A(\theta) = \omega\psi f_A(\theta) \quad (2.12)$$

โดยที่ B_m คือ ค่าสูงสุดของการกระจายความหนาแน่น PM ในช่องว่างอากาศ
 ψ_m คือ ค่าสูงสุดของการเชื่อมโยงฟลักซ์ PM ของแต่ละขดลวด, $\psi_m = 2NSB_m$
 $f_A(\theta)$ คือ ฟังก์ชันรูปคลื่นของ back EMF เฟส A

ดังนั้น $f_A(\theta)$ จึงมีการกระจายเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูกับตำแหน่งของโรเตอร์ และค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดตามลำดับคือ 1 และ -1 รูปคลื่นที่สอดคล้องกันและเฟสของมันมีความสัมพันธ์กับ $B(\theta)$ และ e_A ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 โดยที่ขดลวดสามเฟสมีความสมมาตรกัน โดย $f_B(\theta) = f_A(\theta - 2\pi/3)$ และ $f_C(\theta) = f_A(\theta + 2\pi/3)$ จากสมการ (2.10) จะเห็นได้ว่า e_A เป็น back EMF ที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงฟลักซ์ ตามที่กระแสสามเฟสของมอเตอร์ตอบสนอง[2]

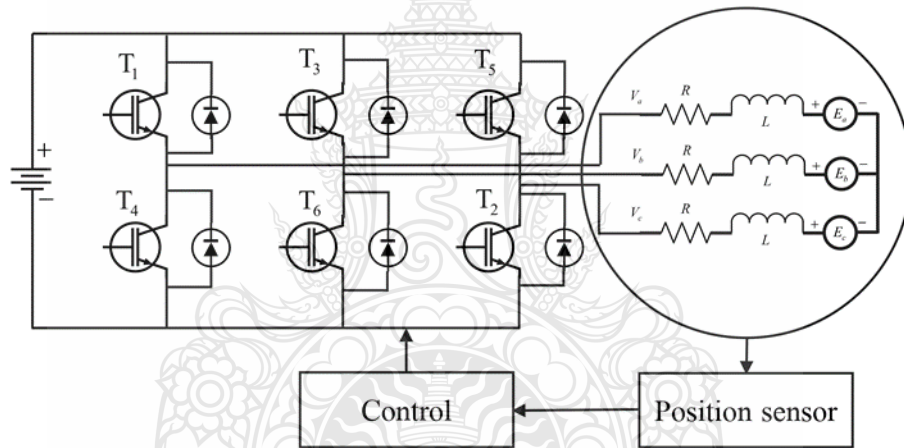
$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์เฟสระหว่าง $B(\theta)$ e_A และ $f_A(\theta)$ [2]

2.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

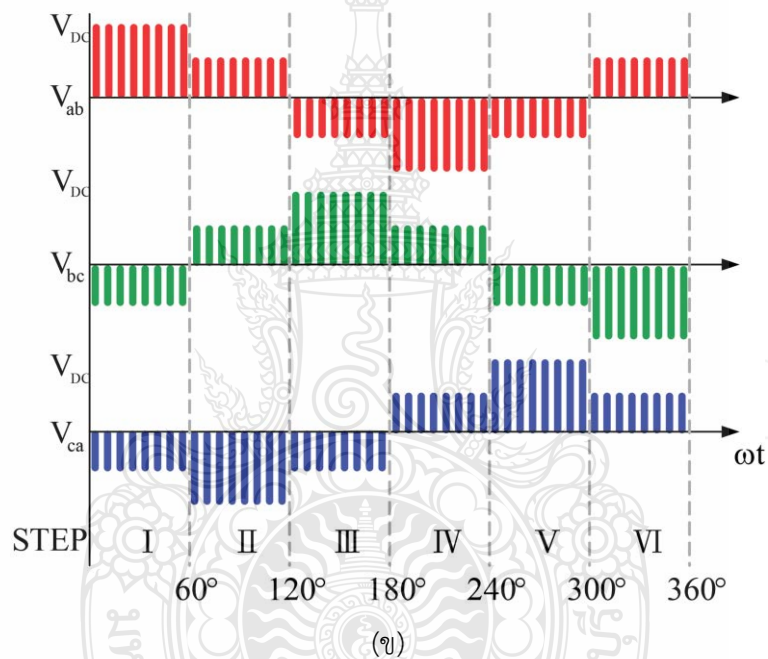
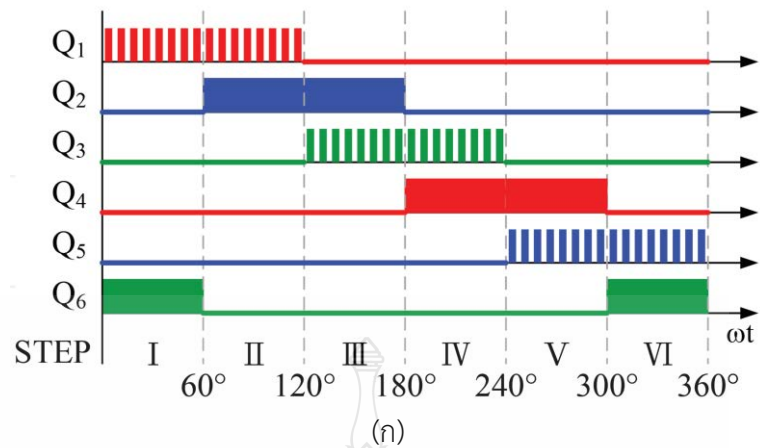
การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีบทบาทสำคัญในการควบคุมมอเตอร์สมัยใหม่ การควบคุมวิธีการโดยจะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักคือ แบบวงจรถูกเปิดและวงจรถูกปิด การควบคุมความเร็วแบบลูปปิดเป็นเรื่องปกติในระบบควบคุม คือการควบคุมกระแส หรือแรงบิดวงในของมอเตอร์ ขณะที่วงนอกคือความเร็วหรือแรงดันลูป เมื่อมอเตอร์ทำงานปกติโหมดหรือทำงานต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์จะเปลี่ยนผ่าน PWM หรือการแปลง DC เป็น AC เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นกลยุทธ์การปรับ ในขณะที่มอเตอร์ทำงานเหนือความเร็วที่กำหนด โดยการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อสร้างฟลักซ์เสถียรของมอเตอร์ ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการควบคุมความเร็วแบบการควบคุมความเร็วที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (ความต้านทาน ความเหนียว และโมเมนต์ความเฉื่อย) ในกฎหมายควบคุมความเร็วของมอเตอร์[3]



รูปที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์บริดจ์สามเฟส

2.2.1 โหมดการนำไฟฟ้า 120°

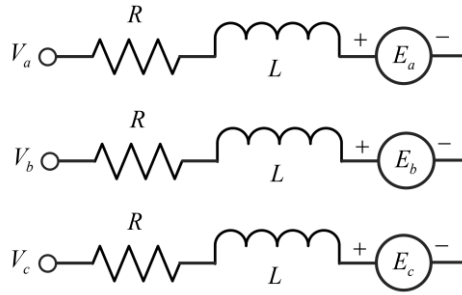
อุปกรณ์สวิตช์แต่ละตัวเปิดอยู่หนึ่งในสามของรอบ หรือ 120° จึงเหลือเพียงสองอุปกรณ์สวิตช์ที่สามารถดำเนินการพร้อมกันได้ตลอดเวลา เหมาะที่สุดสำหรับเดลด้าโหลดที่เชื่อมต่อเนื่องจากมีรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตหกขั้นตอน ในเฟสใดๆสัญญาณเกตติงของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งแต่ละตัวแสดงในรูปที่ 2.6(ก) และค่าที่สอดคล้องกันแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของอุดมคติ



รูปที่ 2.6 (ก) สัญญาณ Gating ของโหมตการนำไฟฟ้า 120° และ (ข) แรงดันไฟฟ้าแบบ line-to-line สำหรับโหมตการนำไฟฟ้า 120° [3]

2.2.2 โมเดลไดนามิกของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

เพื่อให้สามารถเข้าใจและอธิบายการขับเคลื่อนมอเตอร์ เช่น ความเร็วรอบ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และ แรงบิดที่สภาวะคงตัวและสภาวะชั่วขณะของมอเตอร์ จึงต้องมีความเข้าใจแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ก่อนเพื่อความเข้าใจในวงจร โดยวงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [2]

จากรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นวงจรสมมูลมอเตอร์ที่ขดลวดสเตเตอร์ถูกเชื่อมต่อแบบวาย จึงทำให้สามารถเขียนสมการแรงดันสเตเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{an} = RI_a + L \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (2.14)$$

$$V_{bn} = RI_b + L \frac{dI_b}{dt} + E_b \quad (2.15)$$

$$V_{cn} = RI_c + L \frac{dI_c}{dt} + E_c \quad (2.16)$$

โดยที่ V_{an}, V_{bn}, V_{cn} คือ แรงดันไฟฟ้าเทียบจุดต่อร่วมนิวทรัลในแต่ละเฟส (V)

E_a, E_b, E_c คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับในแต่ละเฟส (V)

R คือ ความต้านทานขดลวดมอเตอร์ (Ohm)

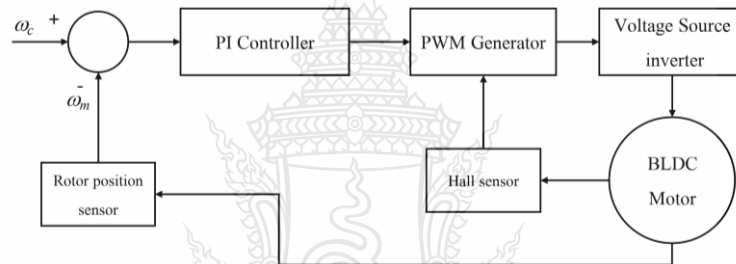
L คือ ความเหนี่ยวนำขดลวดมอเตอร์ (H)

2.2.3 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

การควบคุม PID แบบดั้งเดิมเป็นหนึ่งในกลยุทธ์ที่พัฒนามากที่สุดในการควบคุมเชิงเส้นระบบ ซึ่งตัวควบคุม PID มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเนื่องจากความเรียบง่าย ความทนทาน ความน่าเชื่อถือ และพารามิเตอร์การปรับแต่งที่ง่าย โดยโครงสร้างทั่วไปของการควบคุม PID มาตรฐานจะคำนวณค่าเบี่ยงเบน $e(t)$ ระหว่างค่าอ้างอิงและค่ามูลค่าที่แท้จริง จากนั้นจะถูกควบคุมโดยตัวแปร $u(t)$ ด้วยการรวมเชิงเส้นของเงื่อนไขเชิงสัดส่วน-อินทิกรัล-อนุพันธ์ ตามกฎการควบคุม PID ที่สอดคล้องกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการพื้นฐานได้ดังนี้ [3,4]

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.17)$$

ในระบบควบคุมที่ใช้งานได้จริง ตัวควบคุม PID บางตัวไม่ได้ประกอบด้วย PID ทั้งหมดได้แก่ สัดส่วน ปริพันธ์ และดิฟเฟอเรนเชียล ตัวควบคุม PID มีรูปแบบโครงสร้างต่างๆ เช่น ตัวควบคุมตามสัดส่วน ตัวควบคุมตามสัดส่วน-ตัวรวม และตัวควบคุมตามสัดส่วน-อนุพันธ์ และอื่นๆ ในหมู่พวกเขา ตัวควบคุมสัดส่วน-อินทิกรัลมักใช้มากที่สุด หนึ่งในระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนั้น ระยะเวลาดิฟเฟอเรนเชียลสามารถลดการเกิน overshoot และค่าเบี่ยงเบนไดนามิกสูงสุด ดังนั้นจึงนำการควบคุมแบบ PI มาประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ดังรูปที่ 2.8 ซึ่ง ω_c คือค่าความเร็วเชิงมุมที่กำหนด และ ω_m คือ ความเร็วเชิงมุมที่วัดจากโรเตอร์ของมอเตอร์



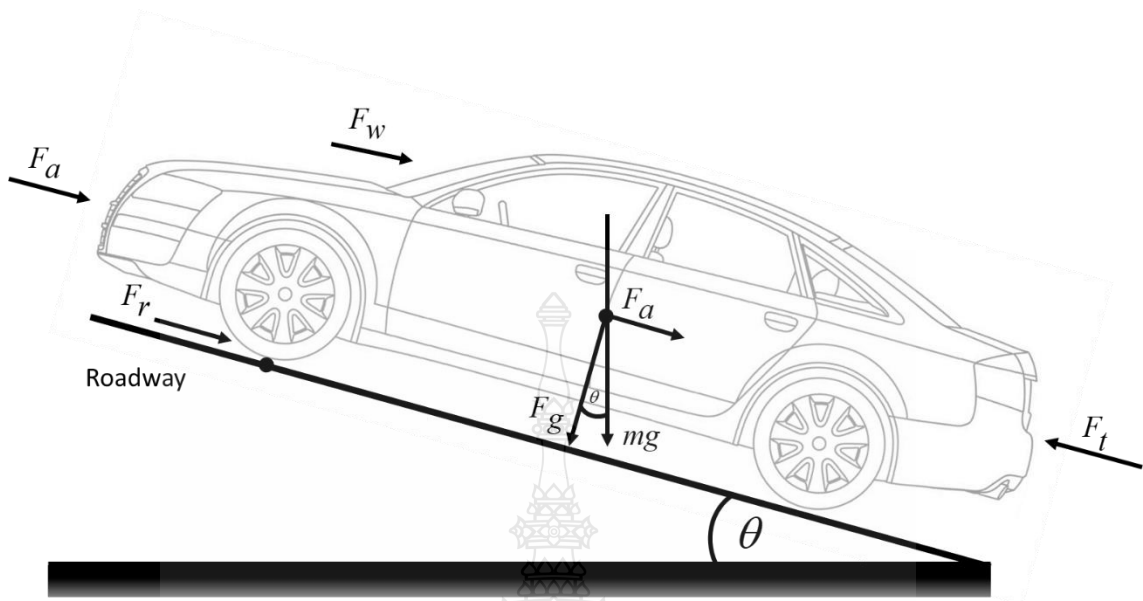
รูปที่ 2.8 แผนผังการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [2-4]

2.3 แรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการเคลื่อนที่เป็นแรงที่ออกแรงตรงข้ามกับแรงที่ส่งกำลังมาซึ่งกำลังจากมอเตอร์ที่นำมาขับเคลื่อนอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ทั้งหมด เนื่องจากเกิดการสูญเสียในการส่งกำลังและกำลังส่วนที่เหลือจะนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่รถไฟไฟฟ้าได้ แรงต้านการเคลื่อนที่สามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้ [5-8]

- 1) แรงต้านการหมุนของล้อ
- 2) แรงต้านอากาศ
- 3) แรงต้านจากทางชัน

โดยแรงต้านเหล่านี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของรถไฟไฟฟ้าซึ่งการเคลื่อนที่ของรถไฟไฟฟ้ามักมีการเคลื่อนที่ 3 แบบ คือ การเคลื่อนที่ในแนวราบการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันและการเคลื่อนที่ลงทางลาด

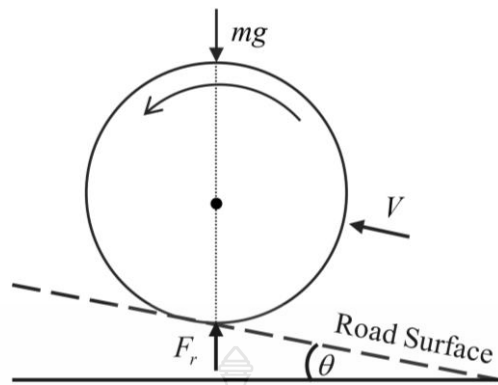


รูปที่ 2.9 การเกิดแรงต้านของน้ำหนัทยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อขึ้นทางชัน

2.3.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance Force)

แรงต้านการหมุนของล้อเป็นแรงที่มีความจำเป็นมากที่สุดซึ่งจำเป็นกับการส่งกำลังเนื่องจากทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้โดยอาศัยแรงเสียดทานที่ล้อกระทำกับพื้น เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อได้แก่

- 1) สภาพของยางล้อรถซึ่งหมายถึงวัสดุที่นำมาทำยางรูปทรงของยางความกว้างและขนาดของยางความดันของลมยางรวมถึงดอกยางอีกด้วยซึ่งยางที่มีขนาดวงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีแรงต้านการหมุนของล้อที่น้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก
- 2) สภาพของผิวที่ขรุขระซึ่งบริเวณผิวที่ขรุขระจะทำให้แรงต้านการหมุนของล้อมากและบริเวณที่มีผิวเรียบจะทำให้แรงต้านการหมุนมีค่าน้อย
- 3) น้ำหนักของรถไฟฟ้าและผู้ขับขี่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลมากในการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าซึ่งถ้ารถไฟฟ้าและผู้ขับขี่มีน้ำหนักมากจะส่งผลให้แรงต้านจากการหมุนมากตามไปด้วย
- 4) อัตราเร็วของรถไฟฟ้าแรงต้านการหมุนของรถจะมากที่สุดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่เนื่องจากจากจำเป็นต้องเอาชนะแรงต้านความเฉื่อยด้วยและจะมีแรงต้านการหมุนน้อยลงเมื่ออัตราเร็วของรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แรงต้านการหมุนล้อ

$$F_r = k_r mg \cos(\theta) \quad (2.18)$$

โดย

F_r คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ [N]

k_r คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

N คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อรถ [N]

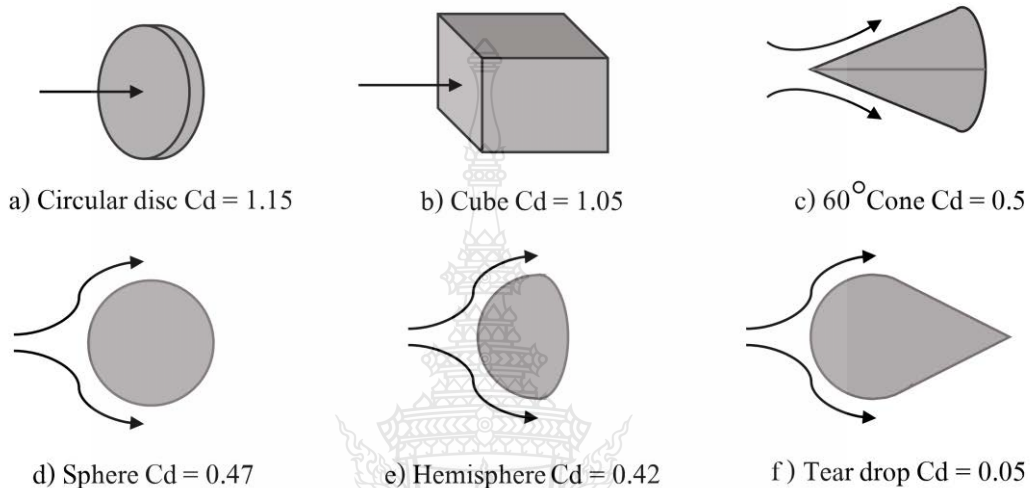
ซึ่งค่า k_r เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อที่ขึ้นอยู่กับสภาพของผิวดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสภาพผิวต่างๆ

ชนิดถนน	k_r (เฉลี่ย)
คอนกรีตแห้ง	0.01 - 0.02
คอนกรีตเปียก	0.02 - 0.03
แอสฟัลต์แห้ง	0.01 - 0.02
แอสฟัลต์เปียก	0.02 - 0.03
ปูหิน	0.02 - 0.03
น้ำแข็ง (0 ถึง -4 องศา)	0.01 - 0.03
ผิวกรวดไม่ลาดยาง	0.02 - 0.04
ดินลูกรัง	0.03 - 0.05
ทราย	0.03 - 0.05

2.3.2 แรงต้านอากาศ (Aerodynamic Drag Force)

แรงต้านอากาศเป็นแรงที่เกิดจากการที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอากาศด้วยความเร็ว ทำให้เมื่อเคลื่อนที่ไปจะมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ของอากาศมากระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้นซึ่งค่าแรงต้านอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและรูปทรงของพาหนะ



รูปที่ 2.11 ลักษณะของรูปทรงที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ[7]

ในปัจจุบันการออกแบบรูปทรงตามหลักอากาศพลศาสตร์จะส่งผลให้แรงต้านอากาศลดลงได้ซึ่งเป็นผลให้เกิดข้อดีหลายประการคือทำให้อัตราเร็วสูงสุดของพาหนะเพิ่มขึ้นและยังทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นอีกด้วยโดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านอากาศจำแนกได้ดังนี้[6-8]

ก) ความเร็วลมถ้าความเร็วลมมีทิศทางสวนทางกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงต้านและในทางกลับกันถ้าทิศทางของลมเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงเสริม

ข) ลักษณะรูปทรงของพาหนะแรงต้านที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงที่อากาศมากระทบแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่เกิดความดันระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของรถแตกต่างกันทำให้เกิดแรงกระทำจากบริเวณที่มีความดันที่สูงกว่าผลักดันการเคลื่อนที่ของรถเอาไว้

สำหรับการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้านั้นรูปทรงที่เกิดขึ้นไม่สามารถออกแบบได้และพื้นที่หน้าตัดก็ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมแต่เราสามารถคำนวณค่าแรงต้านทานจากอากาศได้โดยประมาณจากสมการ (2.19)

$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_w A (V_{car})^2 \quad (2.19)$$

โดยที่ F_w คือ แรงต้านอากาศ [N]
 ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ $\rho = 1.5 \text{ kg} / \text{m}^3$
 C_w คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient)
 V คือ ความเร็วของไฟฟ้า [m/s]
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของรถไฟฟ้า [m²]

โดยที่พื้นที่หน้าตัดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.20)

$$A = 0.7WH \quad (2.20)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดของรถไฟฟ้า [m²]
 W คือ ความกว้างของรถไฟฟ้า [m]
 H คือ ความสูงของรถไฟฟ้า [m]

2.3.3 แรงต้านจากทางชัน (Grading Force)

แรงต้านจากทางชันเกิดจากการที่รถเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชันแล้วทำให้มีความจำเป็นต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อเอาชนะแรงต้านซึ่งเกิดจากน้ำหนักของตัวรถไฟฟ้าและผู้ขับขี่เองเพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชันได้แต่ในกรณีที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ลงทางลาดนั้นจะเป็นกรณีตรงข้ามกันเนื่องจากการเคลื่อนที่ลงทางลาดจะทำให้เกิดแรงเสถียรเนื่องจากน้ำหนักของรถไฟฟ้าและผู้ขับขี่ที่ปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านที่เกิดจากทางชันได้แก่[6-7

- 1) น้ำหนักของรถไฟฟ้าและผู้ขับขี่
- 2) ความชันของพื้นผิวถนน

การคำนวณแรงต้านจากทางชันนั้นเกิดจากการแตกแรงออกเป็นสองแรงก็คือแรงที่ตั้งฉากกับผิวทางชันและแรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า แรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าสามารถนำมาคำนวณหาแรงต้านจากทางชันได้ดังสมการ (2.21)

$$F_g = mg \sin(\theta) \quad (2.21)$$

โดยที่ F_g คือ แรงต้านทางชัน [N]

- m คือ น้ำหนักรถยนต์ [kg]
- g คือ แรงดึงดูดของโลก [m/s^2]
- G คือ เปอร์เซ็นต์ความชัน [%]

จากแรงต้านทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถนำมาวิเคราะห์หาแรงต้านทั้งหมดได้ดังสมการ (2.22)

$$F_t = F_r + F_w + F_g \quad (2.22)$$

เมื่อ

F_t คือ แรงต้านทั้งหมด [N]

2.4 กำลังและพลังงานของการขับเคลื่อน

กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ไปจะต้องใช้กำลังจากมอเตอร์มาหมุนล้อ หมุนเพื่อให้เกิดกำลังขับเคลื่อน กำลังนี้จะต้องมากพอที่จะชนะกำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านทาน ต่าง ๆ รถจึงสามารถเคลื่อนไปได้ ซึ่งกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนหาได้จากสมการ(2.21)



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของกำลังในระบบขับเคลื่อน

$$\tau_M = \tau_L + J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.23)$$

$$P_M = P_L + J\omega \frac{d\omega}{dt} \quad (2.24)$$

การหากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ยานยนต์จากสมการแรงต้านทานรวมของยานยนต์ที่ 2.22 สามารถเขียนได้เป็น

$$P_e = \frac{100F_t V}{\eta_t} \quad (2.25)$$

โดยที่	P_e	คือ กำลังของมอเตอร์ [W]
	F_t	คือ แรงต้าน [N]
	V	คือ ความเร็วของรถยนต์ [m/s]
	η_t	คือ ประสิทธิภาพของเกียร์ทด

การหาแรงบิดของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับขนาดของยานยนต์และกำลังขับเคลื่อนนั้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$T_e = \frac{P_e}{2\pi N} \quad (2.26)$$

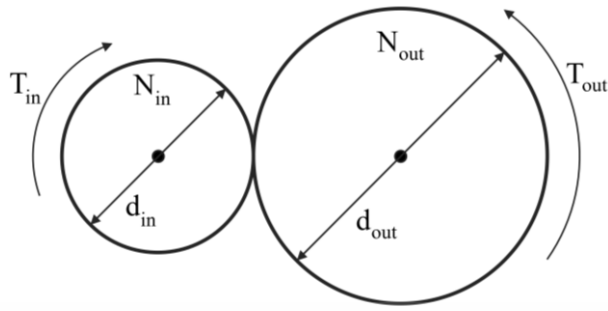
โดยที่	T_e	คือ แรงบิดของมอเตอร์ [N-m]
	P_e	คือ กำลังของมอเตอร์ [W]
	N	คือ อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ [rpm]

การหาความเร็วรอบที่ต้องการในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้านั้นอัตราเร็วของรถจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วรอบโดยขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟืองซึ่งสามารถวิเคราะห์หาอัตราเร็วของรถได้จากสมการ (2.27)

$$N = \frac{V \times 100}{2\pi r \times 60} \quad (2.27)$$

โดยที่	N	คือ ความเร็วเพลาเฟืองท้าย [rpm]
	V	คือ ความเร็วของรถ [km/hr]
	r	คือ รัศมีของล้อและยาง [m]

เฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่ในการหมุน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) ด้วยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี ซึ่งการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของเกียร์ทด[8]

นอกจากนี้ สำหรับเฟืองใดๆเส้นผ่านศูนย์กลางของพิทซ์จะเป็นสัดส่วนกับจำนวนฟัน (N) และการวิเคราะห์ความเร็วเชิงมุมยังแสดงให้เห็นว่าความเร็วของเฟืองมีความสัมพันธ์ผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อรวมสิ่งนี้เข้าด้วยกันจะนำไปสู่สิ่งที่เรียกกันทั่วไปว่ากฎของเกียร์[8]

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} = \frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} \quad (2.28)$$

$$N_e = Ni \quad (2.29)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saqib Jamshed Rind และคณะ[9] ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาภาวะโลกร้อนและการลดลงของทรัพยากรปิโตรเลียมได้เร่งความสนใจของนักวิจัยในการผลิตทางเลือกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมระบบขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้าของเทคโนโลยียานพาหนะสามารถยับยั้งสิ่งแวดล้อมได้ ปัญหาลดพิษด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงการพัฒนาและความก้าวหน้าในด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและขั้นสูงเทคนิคการควบคุม บทความนี้นำเสนอบทวิจารณ์ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการกำหนดค่าต่างๆ สถาปัตยกรรมของรถยนต์ไฟฟ้า (EV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด (HEVs) มอเตอร์ชุดสำหรับไฟฟ้าระบบขับเคลื่อนและการควบคุมความเร็วสูงแบบไร้เซ็นเซอร์ของมอเตอร์ชุด พื้นฐานสถาปัตยกรรมส่วนประกอบหลักของรถยนต์ไฮบริดและการกำหนดค่ารถไฟพลังงานที่แตกต่างกันการใช้งานและข้อ จำกัด จะกล่าวถึง ส่วนหนึ่งของระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแรงชุดคลาสมอเตอร์สำหรับลักษณะการทำงานและข้อ จำกัด ที่ต้องการสรุปได้จากมุมมองที่มีการปรับปรุงล่าสุด เทคนิคการควบคุมมอเตอร์ชุดประสิทธิภาพสูงคือพูดคุยเกี่ยวกับการใช้งานยานยนต์ สุดท้ายคือการวิจัยเทคนิคการควบคุมความเร็วแบบไร้เซ็นเซอร์แนวโน้มตลอดจนการทบทวนอย่างละเอียดเกี่ยวกับเทคนิคการประมาณความเร็วของมอเตอร์เพื่อความแข็งแกร่ง

และมีประสิทธิภาพเน้นการควบคุมไดรฟ์ฉุกเฉินแบบไม่เซ็นเซอร์ บทความนี้นำเสนอแนวโน้มสำคัญระดับโลกที่ทันสมัยและการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีต่างๆกับแนวโน้มในอนาคตและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการวิจัยสำคัญ: สถาปัตยกรรมรถยนต์ไฟฟ้า, การกำหนดค่าระบบส่งกำลังของรถยนต์, มอเตอร์ฉุกเฉิน, การควบคุมแรงดึง, การควบคุมมอเตอร์แบบไม่เซ็นเซอร์

Wilmar Martinez และคณะ [10] โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบส่งกำลังไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าสมรรถนะสูงที่สามารถวิ่งได้ระยะทางหนึ่งในสี่ไมล์ใน 10 วินาที ชั้นแรกจำเป็นต้องคำนวณพลังงาน แรงบิด และกำลังที่ต้องการ เพื่อที่จะได้ขนาดและเลือกที่เหมาะสมส่วนประกอบในการจัดเก็บและมอเตอร์ไฟฟ้า ประการที่สอง จำเป็นต้องมีการประเมินการจัดระบบส่งกำลังเพื่อเลือกสิ่งที่ดีที่สุดการกำหนดค่าภายในของรถและรับประกันประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ สุดท้าย การออกแบบขั้นตอนการแปลงกำลังโดยเฉพาะตัวแปลง DC-DC ที่เชื่อมต่อหน่วยเก็บข้อมูลกับมอเตอร์ไฟฟ้าก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นกัน กระดาษนี้แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการคำนวณพลังงานตามแบบจำลองไดนามิกตามยาวของยานพาหนะและวิธีการเลือกของการจัดเก็บส่วนประกอบและมอเตอร์ที่จำเป็นสำหรับแอปพลิเคชันนี้ ตลอดจนการออกแบบตัวแปลงบูสต์แบบอินเทอร์ลิฟ 100kW สองตัวพร้อมคู่ตัวเหนี่ยวนำ นอกจากนี้ยังมีการเสนอการดำเนินการใหม่ของตัวแปลงบูสต์แบบอินเทอร์ลิฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแปลงส่งผลให้คอนเวอร์เตอร์ที่ออกแบบได้รับความหนาแน่นพลังงาน 24,2kW/kg. โดยมีประสิทธิภาพ 98 % ซึ่งก็คือ ตรวจสอบโดยการทดสอบทดลองของต้นแบบพลังงานต่ำ

Ramachandran R และคณะ [11] การประมาณสถานะการชาร์จ (SoC) สำหรับลิเทียมไอออนแบตเตอรี่ (Li-ion) เป็นปัญหาสำคัญในระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS) ปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรมการใช้งานโดยเฉพาะในรถยนต์ไฟฟ้า (EV) การประมาณค่า SoC ใน BMS มีบทบาทสำคัญในการประกันความปลอดภัยความน่าเชื่อถือและอายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ดีขึ้นสำหรับ EV งานนี้อธิบายถึงดิจิทัล - ทวินแบบจำลองสำหรับการระบุพารามิเตอร์และตัวกรองคาลมานแบบขยาย(EKF) ใช้สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของก้อนแบตเตอรี่และ SoC รูปแบบพื้นที่สถานะของแบตเตอรี่ EV ได้รับการพัฒนาและมันใช้สำหรับการประมาณค่า EKF ด้วยสิ่งนี้ในปัจจุบันและก่อนหน้านี้มีการตรวจสอบเงื่อนไขของ SoC เป็นการจำลองโดยใช้แบตเตอรี่พารามิเตอร์ที่ได้รับจากชุดแบตเตอรี่ EV ทั่วไปผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแนวทางในการจัดหาประมาณการที่ถูกต้องของ SoCข้อกำหนดดัชนี - รุ่นแบตเตอรี่การประมาณ SoC พารามิเตอร์การระบุ, การประมาณสถานะ, ตัวกรองคาลมานแบบขยาย, EKF

Wei Wang และคณะ[12] การใช้พลังงานไฟฟ้าให้กับยานพาหนะภาคพื้นดินเป็นสิ่งที่มีความโน้มแนวโน้มแนวทางในการบรรเทาปัญหาด้านพลังงานและสภาพภูมิอากาศการนำรถยนต์ไฟฟ้า (EV) และไฮบริด EV (HEV) มาใช้ได้นำเสนอผลกระทบที่สำคัญในด้านต่างๆของยานพาหนะการออกแบบ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบแซสซี เมื่อยานพาหนะมีแนวโน้มที่จะเบากว่าฉลาดกว่าและเป็นอิสระอิเล็กทรอนิกส์ แทรคเตอร์มากขึ้นด้วยการควบคุมแบนด์วิดท์ที่กว้างและความสามารถในการฟื้นฟูพลังงานใช้แทนไฮดรอลิกแบบเดิมเพื่อปรับปรุงสมรรถนะแบบไดนามิกและพลังงานของยานพาหนะ ในบทความนี้, ภาพรวมของเทคโนโลยีการใช้พลังงานไฟฟ้าของแซสซีเกี่ยวกับการกำหนดค่าที่แตกต่างกันของระบบส่งกำลังไฟฟ้า / ไฮบริดที่ใช้งานอยู่ระบบกันสะเทือนและระบบบังคับเลี้ยวพร้อมทั้งแบบครบวงจรการทบทวนสาขาการวิจัยที่สำคัญเกี่ยวกับการออกแบบและการควบคุมมีการนำเสนอระบบที่กล่าวถึงสำหรับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องการอภิปรายเชิงเปรียบเทียบและการพิจารณาการออกแบบทำหน้าที่เป็นอ้างอิงสำหรับการวิจัยและพัฒนาในทางปฏิบัติ แม้ว่าโซลูชันไฟฟ้าในระบบย่อยต่าง ๆ แสดงศักยภาพที่ดีในการประโยชน์เพิ่มเติมจากฟังก์ชันแซสซีที่จำเป็นไฟฟ้าอย่างเต็มที่แซสซียังคงมีทางยาวในการพิจารณาทางเทคนิคการครบกำหนดและการแลกเปลี่ยนด้านต้นทุน - ประสิทธิภาพ บทความนี้ด้วยเน้นช่องว่างทางเทคนิคและจัดทาคำแนะนำในการใช้พลังงานไฟฟ้าของแซสซี

ZACHARY BOSIRE OMARIBA และคณะ [13] แบตเตอรี่กำลังได้รับความนิยมเข้ามาในบ้านและสำนักงานทุกแห่งเนื่องจากการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากของตัวแปรที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่เหล่านี้มักจะล้มเหลวเนื่องจากความไม่สมดุลของประจุในแบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนานซึ่งบางครั้งอาจเป็นภัยพิบัติและด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ได้รับการตรวจสอบอย่างเหมาะสมในลักษณะเรียลไทม์ มีแผนการปรับสมดุลแบตเตอรี่มากมายซึ่ง ได้แก่จัดกลุ่มอย่างกว้าง ๆ เป็นแบบแผนผังหรือใช้งานอยู่ โครงร่างทั้งหมดนี้มีข้อดีของตัวเองและข้อเสียและด้วยเหตุนี้จึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้ในการตัดสินใจว่ารูปแบบใดจะเหมาะสมกับพวกเขามากที่สุด อย่างไรก็ตามการวิจัยได้พิสูจน์แล้วว่าโครงร่างไฮบริดจะดีที่สุดเนื่องจากมันจับคู่ผลประโยชน์ของโครงร่างทั้งหมด นี่การศึกษาจะทบทวนวิธีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ต่างๆและประเมินความสัมพันธ์กับแบตเตอรี่ประสิทธิภาพ. ในปัจจุบันมีการศึกษาบางส่วนเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนเชิงกลของการปรับสมดุลแบตเตอรี่ประสิทธิภาพ. การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าควรประเมินประสิทธิภาพการปรับสมดุลแบตเตอรี่ในระยะยาวจากอุณหภูมิและความถี่การสั่นสะเทือนต่างๆ

Mahyar Khosravi และคณะ [14] เมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์เป็นโทโพโลยีตัวแปลงไฟ AC-AC โดยตรงที่รู้จักกันดีซึ่งสามารถใช้ได้กับการใช้งานที่จำเป็นต้องมีขนาดกะทัดรัดและน้ำหนักเบา เพื่อประสิทธิภาพที่ดีควรให้ความสนใจเป็นพิเศษรูปแบบการควบคุมที่ใช้สำหรับตัวแปลงเหล่านี้ กลยุทธ์การควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้าเป็นรูปแบบที่มีแนวโน้มตรงไปตรงมาและยืดหยุ่นทางเลือกสำหรับการควบคุมโทโพโลยีตัวแปลงเมทริกซ์ต่างๆ งานนี้ให้การศึกษาที่ครอบคลุมและรายละเอียดการจำแนกประเภทของวิธีการและเทคนิคการควบคุมเชิงคาดการณ์ต่างๆโดยกล่าวถึงความสามารถพิเศษที่พวกเขาแต่ละคนเพิ่มเข้ามารูปแบบการดำเนินการและการควบคุมสำหรับโทโพโลยีตัวแปลงเมทริกซ์ที่แตกต่าง

กัน การศึกษานี้ยังพิจารณาประเด็นเกี่ยวกับการใช้กลยุทธ์การควบคุมการทำนายแบบจำลองสำหรับตัวแปลงเมทริกซ์ การสำรวจและเปรียบเทียบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นไฟล์คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องของแต่ละโทโพโลยีและเพื่อเปิดใช้งานการประยุกต์ใช้รูปแบบการควบคุมนี้สำหรับเมทริกซ์ตัวแปลงในการใช้งานจริง

PETER AZER และคณะ [15] Switched reluctance motor (SRM) กำลังได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาเนื่องจากมีความเรียบง่ายและโครงสร้างที่แข็งแกร่ง SRM ถูกจัดประเภทเป็น SRM แบบเดิม (CSRMs) และ SRM ที่ควบคุมคู่กัน(MCSRMs) CSRMs ขึ้นอยู่กับการกระตุ้นแบบเฟสเดียวและแรงบิดถูกสร้างขึ้นโดยรูปแบบของการเหนี่ยวนำตัวเองด้วยตำแหน่งโรเตอร์ MCSRMs ขึ้นอยู่กับการกระตุ้นหลายเฟสและแรงบิดผลิตโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเหนี่ยวนำทั้งในตัวเองและร่วมกัน MCSRMs มีข้อดีของการใช้มาตรฐานอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันที่การทำงานของกระแสสมดุลเมื่อผลรวมของกระแสเฟสเป็นศูนย์ในขณะที่CSRMs ต้องใช้ตัวแปลงแบบอสมมาตร บทความนี้นำเสนอการทบทวน MCSRMs ที่ล้ำสมัยรวมถึงแนวคิดการดำเนินงานการรวมกันของขดลวดและข้อวิธีการควบคุมโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันรูปคลื่นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำหนดแนวทาง MCSRMs วิธีการสร้างแบบจำลองและการทำงานในอนาคตสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพ MCSRMs

K. Sreekanth Reddy และคณะ [16] เพื่อให้เกิดการปล่อยมลพิษเป็นศูนย์และใช้พลังงานต่ำการบริโภครถยนต์ไฟฟ้า (EV) ได้รับความสนใจจากอุตสาหกรรมรถยนต์และนักวิจัย ปัจจุบันใน EV อุตสาหกรรมความต้องการที่สำคัญสำหรับผู้บริโภคคือระยะทางความเร็วประสิทธิภาพประสิทธิภาพแบตเตอรี่จัดเก็บข้อมูลสูงสำหรับระยะทางที่สูงขึ้นและการป้องกันและที่สำคัญที่สุดคือค่าใช้จ่าย EV. พารามิเตอร์การออกแบบที่เหมาะสมจะช่วยให้เราทำความเข้าใจเศรษฐกิจของการใช้พลังงานและการปรับสมดุลระหว่างระยะทางและการประหยัดน้ำมัน ในกระดาษนี้มีรายละเอียดการวิเคราะห์การเลือกพารามิเตอร์การออกแบบและการคำนวณสำหรับ EV คือ นำเสนอเพื่อให้เกิดการปล่อยมลพิษเป็นศูนย์และใช้พลังงานต่ำการบริโภครถยนต์ไฟฟ้า (EV) ได้รับความสนใจจากอุตสาหกรรมรถยนต์และนักวิจัย ปัจจุบันใน EV อุตสาหกรรมที่ต้องการที่สำคัญสำหรับผู้บริโภคคือระยะทางความเร็วประสิทธิภาพประสิทธิภาพแบตเตอรี่จัดเก็บข้อมูลสูงสำหรับระยะทางที่สูงขึ้นและการป้องกันและที่สำคัญที่สุดคือค่าใช้จ่าย EV. พารามิเตอร์การออกแบบที่เหมาะสมจะช่วยให้เราทำความเข้าใจเศรษฐกิจของการใช้พลังงานและการปรับสมดุลระหว่างระยะทางและการประหยัดน้ำมัน ในกระดาษนี้มีรายละเอียดการวิเคราะห์การเลือกพารามิเตอร์การออกแบบและการคำนวณสำหรับ EV

Patrick Chi-Kwong Luk และคณะ [17] เครื่องแม่เหล็กถาวร (PM) ที่ใช้เฟอร์ไรต์ได้รับการพัฒนาสำหรับการใช้งานจำนวนมากเนื่องจากคุณลักษณะที่เป็นที่ต้องการอย่างมากเช่นต้นทุนต่ำและ

ห่วงโซ่อุปทานที่มั่นคง เมื่อเร็ว ๆ นี้ส่วนหนึ่งขับเคลื่อนโดยการเติบโตอย่างรวดเร็วของตลาดรถยนต์ไฟฟ้า (EV) และส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของห่วงโซ่อุปทานของโลหะหายากซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของมอเตอร์จุด EV นั้นมีอยู่มากมายความสนใจในการพัฒนาทางเลือกอื่น ๆ สำหรับมอเตอร์ PM ที่หายาก เนื่องจากเนื้อแท้ต่ำฟลักซ์แม่เหล็กและมีแนวโน้มที่จะล้างอำนาจแม่เหล็กมอเตอร์เฟอโรไรต์ PM ยังไม่ได้รับการพิจารณามาก่อนการใช้งาน EV ที่เข้มงวดมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับที่อยู่เพิ่มมากขึ้นความท้าทายเหล่านี้โดยการปรับใช้กลยุทธ์การออกแบบใหม่ที่มีสัดส่วนของวัสดุเฟอโรไรต์ที่แตกต่างกันและด้วยระดับความสำเร็จที่แตกต่างกัน จนถึงปัจจุบันยังขาดการทบทวนวรรณกรรมที่ครอบคลุมในชั้นเรียนนี้เครื่องจักรไฟฟ้าที่มีการพัฒนาและมีแนวโน้มสูงซึ่งจะเป็นทางเลือกที่ใช้งานได้และยั่งยืนให้กับการใช้งาน EV traction เอกสารนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเติมเต็มช่องว่างนี้และเพื่อให้ภาพรวมเฉพาะของสิ่งเหล่านี้เครื่องจักรที่สำคัญกับข้อมูลประจำตัวในฐานะ "traction motor of choice" ในตลาด EV ในอนาคต

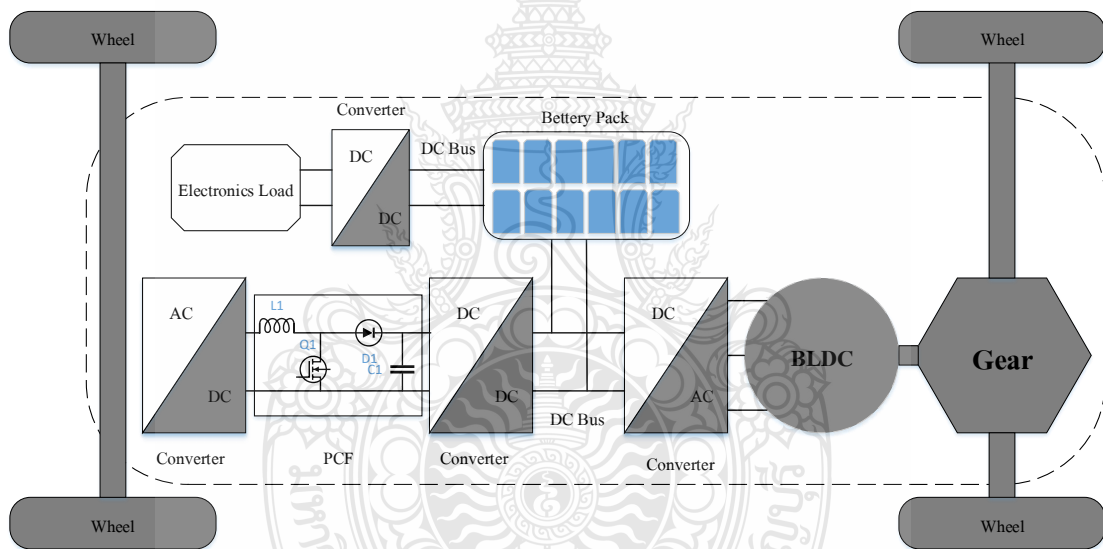


บทที่ 3

งานวิจัยนี้เป็นนำเสนอการงานวิจัยนี้เป็นนำเสนอการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ โดยการออกแบบและการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อตรวจสอบความต้องการและความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ

3.1 การออกแบบและสร้างยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงอายุ

ก่อนการออกแบบหรือสร้างยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับผู้สูงอายุ ก็จำเป็นต้องเข้าใจขั้นตอนการทำงานของระบบภายในยานยนต์ไฟฟ้าเสียก่อน ดังแสดงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ

ระบบการทำงานของยานยนต์ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ในการเปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานทางกลโดยมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์เพียงอย่างเดียว การทำงานของระบบคือ มีส่วนการชาร์จแบตเตอรี่ (AC on-board charger) มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อชาร์จให้แก่แบตเตอรี่ แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในยานยนต์ไฟฟ้าและมอเตอร์ ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ วงจรควบคุมมอเตอร์คือ

อินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดันสามเฟสเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางที่หมุนและความเร็วตามที่เราต้องการได้ โดยใช้สัญญาณแรงดันหรือสัญญาณกระแสจากภาคซอร์ฟแวร์ในกระบวนการคำนวณเพื่อควบคุมมอเตอร์ ในส่วนของมอเตอร์จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อส่งผ่านพลังงานไปให้ระบบส่งกำลังของล้อทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่

3.2 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบต้นกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

ข้อมูล	ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำหนักยานยนต์ไฟฟ้าและผู้ขับขี่	m	320	kg
อัตราเร็วที่ออกแบบ	V	40	Km/hr
พื้นที่หน้าตัดของการขับขี่	A	0.7	m ²
รัศมีล้อและยาง	r	0.278	m
สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	Cd	0.45	-
อัตราทดของเพลา	Gear Ratio	8	-
ประสิทธิภาพการส่งกำลังที่ออกแบบ	η_t	0.95	-
ความกว้างของรถ	w	1	m
ความสูงของรถ	H	1.7	m

3.3.1 การคำนวณแรงต้านที่กระทำต่อยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

1) แรงต้านจากการหมุน

หาค่าแรงต้านจากการหมุน (F_r) จากสมการ (2.18) เกิดจากการแรงเสียดทานระหว่างยางกับพื้นของถนนที่มีมวลของยานยนต์มากระทำ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านการหมุนของล้อคือ μ จากตาราง (2.1) ได้ค่า k_r มีค่าเท่ากับ 0.02 ซึ่งเลือกมาจากลักษณะของสภาพพื้นผิวของถนน สำหรับการออกแบบให้ยานยนต์ไฟฟ้าขับเคลื่อนในเส้นทางราบคือ $\alpha = 0$ การเคลื่อนที่ของยานยนต์ไม่ได้กระทำมุมกับพื้นของถนน

$$F_r = 62.78N$$

2) แรงต้านอากาศ

หาค่าแรงต้านอากาศ (F_w) จากสมการ (2.19) แรงต้านทานของอากาศนั้นเกิดจากพื้นที่หน้าตัดของยานยนต์กระทบกับอากาศขณะวิ่งโดยมีค่า ρ คือค่าความหนาแน่นของอากาศโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ประมาณ 1.2 kg/m^2 และเมื่อยานยนต์เคลื่อนที่จนเกิดความเร็วจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศที่กระทำต่อยานยนต์ คือ C_w โดยเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านนั้นจะอยู่ที่ 0.45

$$F_w = 23.33 \text{ N}$$

3) แรงต้านจากทางชัน

หาค่าแรงต้านจากทางชัน (F_g) จากสมการ (2.19) เมื่อยานยนต์เคลื่อนที่บนถนนที่มีความชันจะทำให้มอเตอร์นั้นจำเป็นต้องมีแรงในการขับเคลื่อนที่สูงขึ้นเพราะตัวยานยนต์ต้องหนีแรงโน้มถ่วงของโลก แต่เนื่องจากออกแบบต้นแบบยานยนต์สำหรับผู้สูงอายุนี้ใช้เคลื่อนที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ราบทำให้ค่า $\alpha = 0$ จึงทำให้แรงต้านจากทางชันนั้นเป็น 0 แรงต้านทั้งหมดรวมได้ดังสมการ (2.22)

$$F_t = 92 \text{ N}$$

3.3.2 การคำนวณหาค่ากำลังมอเตอร์

หาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ดังสมการ (2.25)

$$P_e = 1277.78 \text{ W}$$

จากการคำนวณเพื่อหาขนาดพิกัดกำลังของมอเตอร์นั้นจึงได้ค่ากำลังของมอเตอร์ค่าหนึ่ง แต่เนื่องจากการใช้งานจริงจึงควรเผื่อขนาดของพิกัดเพิ่มขึ้นอีก 25 เปอร์เซ็นต์

$$P_e = 1597.22 \text{ W}$$

เนื่องจากขนาดของมอเตอร์ที่มีผลิตขายในท้องตลาดนั้นไม่มีตามพิกัดที่คำนวณได้ จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาดมอเตอร์ที่ใกล้เคียงกับที่คำนวณได้คือพิกัด 1500 W

3.3.3 การหาความเร็วรอบที่ต้องการ

การหาความเร็วรอบของเฟืองท้ายได้ดังสมการ (2.23) หาความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ขับเฟลาเฟืองท้ายหาได้จากสมการ (2.29) เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 3000 rpm

$$N = 381.67rpm$$

$$N_m = 3053rpm$$

3.3 การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่

จากการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ได้ 1500 W เนื่องจากต้องการให้ยานยนต์มีระยะทางการวิ่งอยู่ที่ 20 km เพราะฉะนั้นยานยนต์ต้องวิ่งต่อเนื่องในทางราบได้ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง จึงใช้เวลาในการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ 1 ชั่วโมงครึ่ง

$$B_v = R_v \times \frac{(P_m + L_v)}{S_v} \quad (2.15)$$

$$B_v = 1500Wh$$

$$Ah = \frac{B_v}{V_B} \quad (2.16)$$

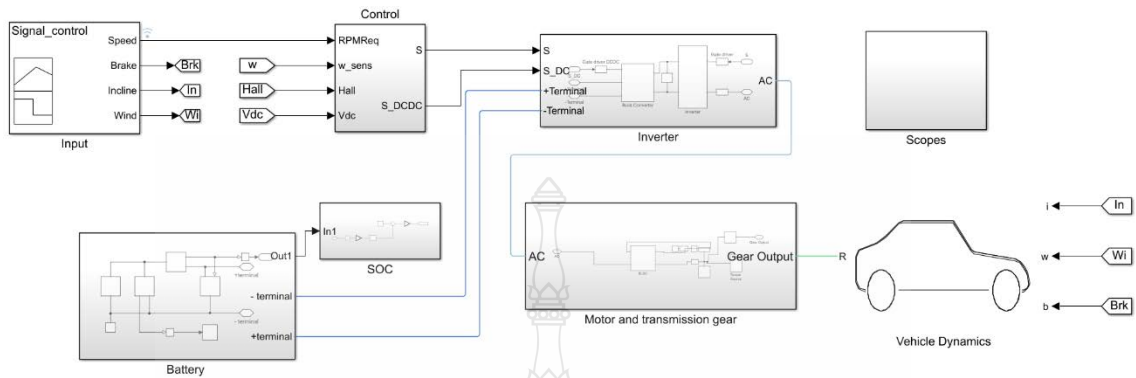
$$Ah = 31.25Ah$$

เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 3.2 V 30 Ah ต่อแบบผสมจำนวน 16 ก้อน จะได้ขานานแบตเตอรี่แรงดัน 51.2 V กระแส 30 Ah

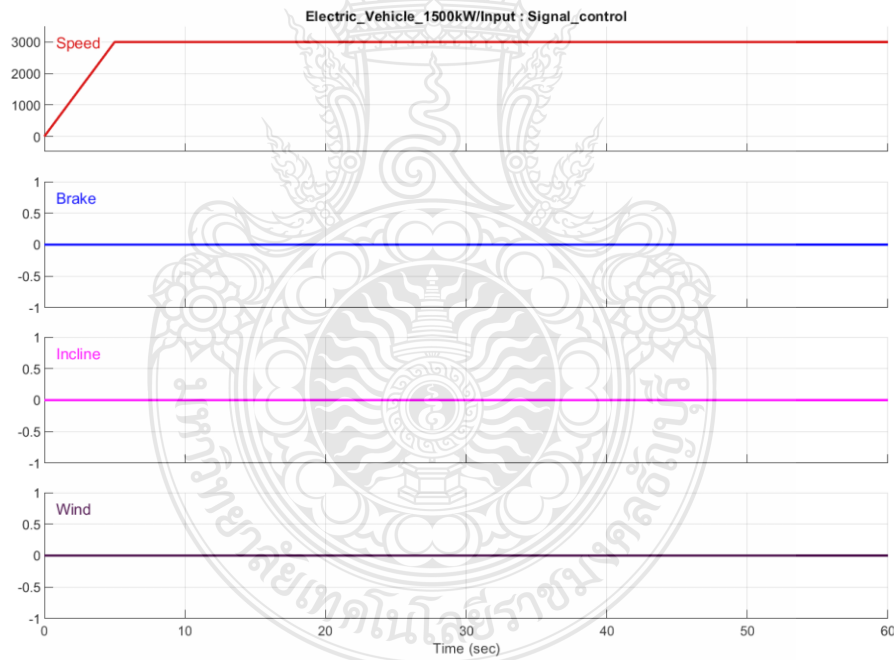
3.4 การจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัยด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink

จากกการศึกษาการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink ด้วยการออกแบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านด้วย การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการจำลองได้ออกแบบโดยการกำหนดสัญญาณความคุม ความเร็ว เบรก องศาของถนน และแรงต้านอากาศด้วยความเร็วลมเป็นบล็อก Signal Control ซึ่งการควบคุมจะแบ่งออกเป็นารควบคุมความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบ พี-ไอ (PI Controller)อยู่ในรูปของบล็อกไดอะแกรม Control ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมวงจรถะดับแรงดันของแบตเตอรี่ ที่จ่ายให้กลับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่อยู่ในบล็อก

Inverter ควบคุมมอเตอร์ โดยที่เพลของมอเตอร์ได้ต่อกับระบบเกียร์ทด ซึ่งขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าที่แทนด้วยบล็อกไดอะแกรม Vehicle Dynamics ดังรูปที่ 3.2

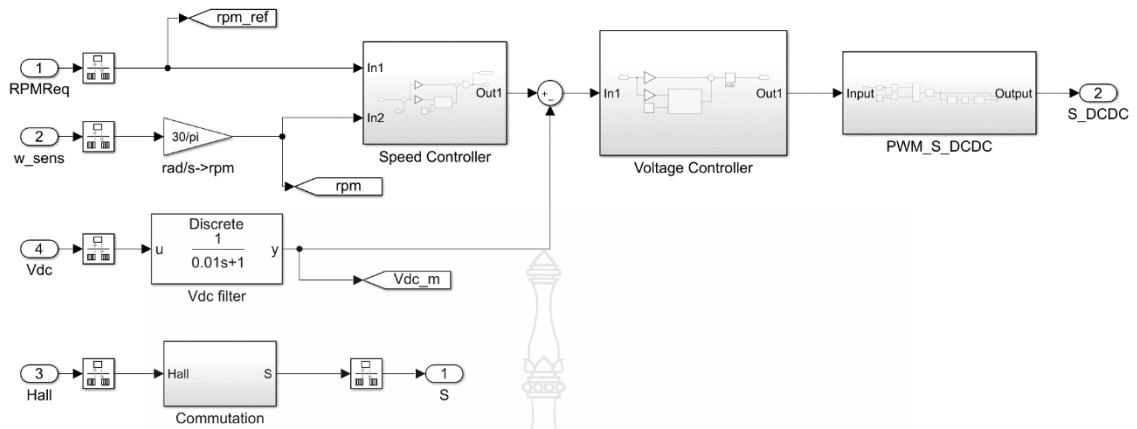


รูปที่ 3.2 วงจรการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink



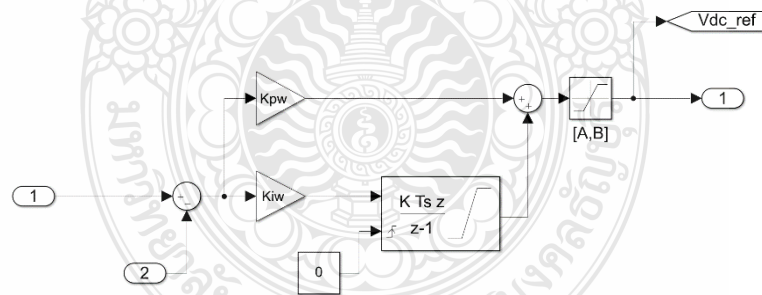
รูปที่ 3.3 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้า

การกำหนดสัญญาณควบคุมของยานยนต์ไฟฟ้าถูกแบ่งออกเป็น 4 สัญญาณ ซึ่งมีสัญญาณควบคุมความเร็ว ควบคุมการเบรก ควบคุมองศาของถนน ควบคุมความเร็วลม ซึ่งเป็นรูปแบบสัญญาณแบบขั้นบันได ดังรูปที่ 3.3



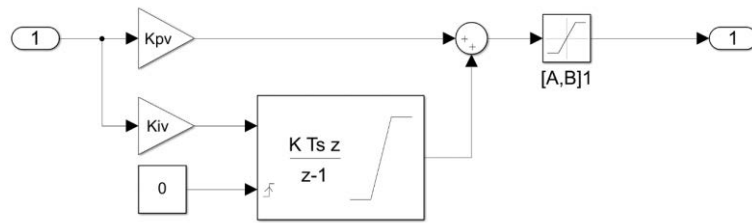
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมควบคุม (Control)

บล็อกไดอะแกรมควบคุมเป็นบล็อกที่นำสัญญาณความเร็วที่กำหนดจากบล็อกสัญญาณควบคุม สัญญาณความเร็วที่วัดจากโรเตอร์ของมอเตอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้า และสัญญาณควบคุมมอเตอร์มาคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมวงจรถดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และสร้างสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านดังรูปที่ 3.4



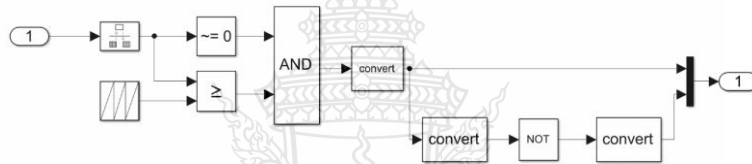
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (Speed Controller)

จากสัญญาณควบคุมความเร็วรอบและสัญญาณความเร็วรอบที่วัดได้จากมอเตอร์ผ่านการควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงทางด้านแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.5



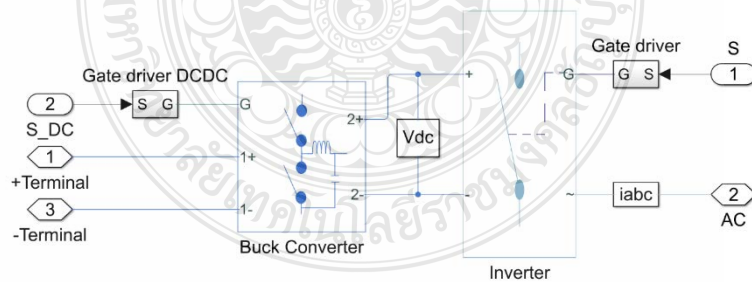
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมควบคุมแรงดัน (Voltage Controller)

จากสัญญาณอ้างอิงแรงดันที่ได้จากการควบคุมความเร็วรอบและค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านการควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล เพื่อเป็นสัญญาณควบคุมทางด้านแรงดันไฟฟ้า แบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.6



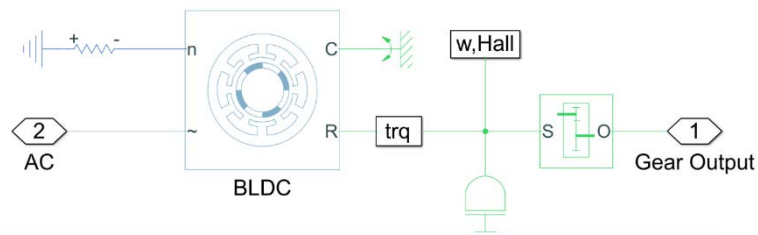
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ของวงจรระดับแรงดันเข้าอินเวอร์เตอร์

นำสัญญาณควบคุมแรงดันเพื่อสร้างสัญญาณสวิตช์ด้วยการมอดูเลตกับสัญญาณ Sawtooth เพื่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ดังรูปที่ 3.7



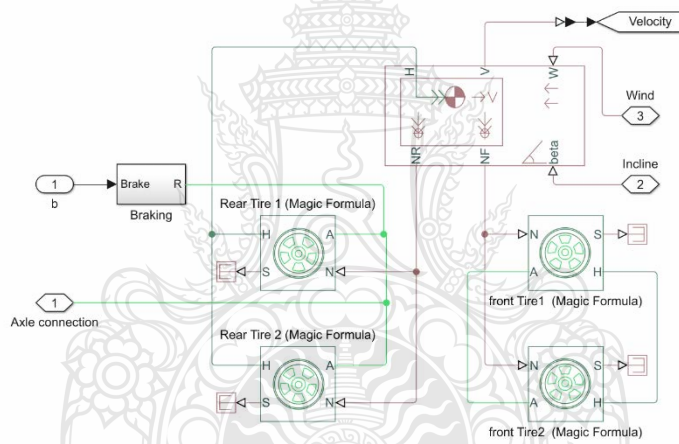
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมวงจรระดับแรงดันและวงจรอินเวอร์เตอร์

จากสัญญาณควบคุมแรงดันและสัญญาณควบคุมตำแหน่งสนามแม่เหล็กของมอเตอร์จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.4 นำมาเป็นสัญญาณการสวิตช์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังของวงจรระดับแรงดันและวงจรอินเวอร์เตอร์การควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 3.8



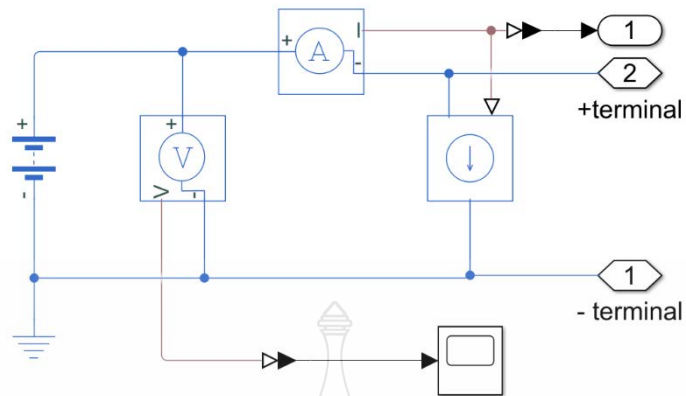
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและบล็อกไดอะแกรมเกียร์

จากการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อส่งผ่านระบบถ่ายทอกำลังให้กลับยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.9



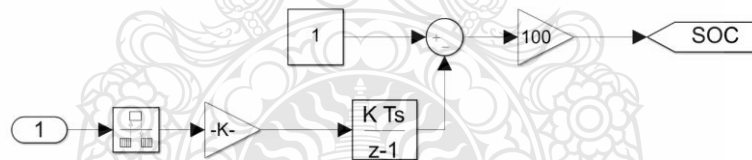
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมไดนามิกของยานยนต์ไฟฟ้า

บล็อกไดอะแกรมสำเร็จของโปรแกรม MATLAB & Simulink แบ่งออกเป็น ตัวโครงสร้างยานยนต์ ล้อ เพื่อสร้างรูปแบบของยานยนต์ไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน 2 ล้อหลังดังรูปที่ 3.10



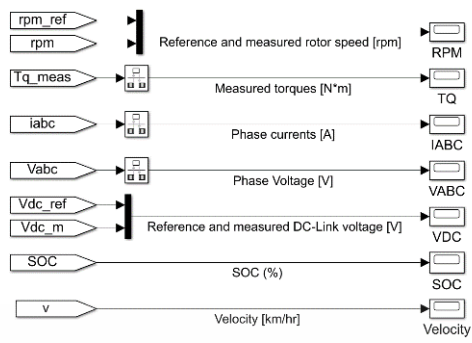
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมจำลองแบตเตอรี่

จากการคำนวณความต้องการการใช้พลังงานของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าคือขนาด 50 Ah 48 V เพื่อที่จะสามารถขับเคลื่อนได้ในระยะทาง 40 กิโลเมตรดังนั้นจึงกำหนดพารามิเตอร์ของบล็อกไดอะแกรมแบตเตอรี่ตามค่าที่คำนวณไว้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าเปอร์เซ็นต์การชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่

การคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ในการทดสอบการขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า



บทที่ 4

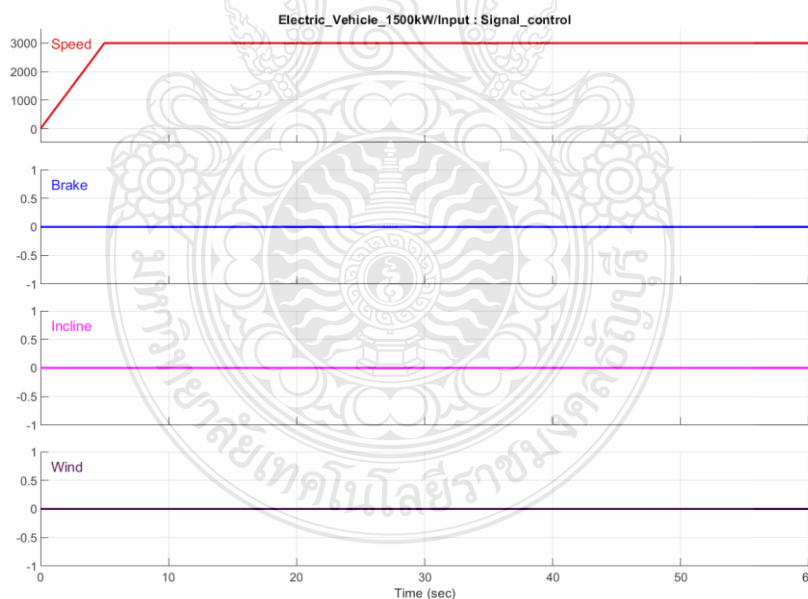
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

4.1 บทนำ

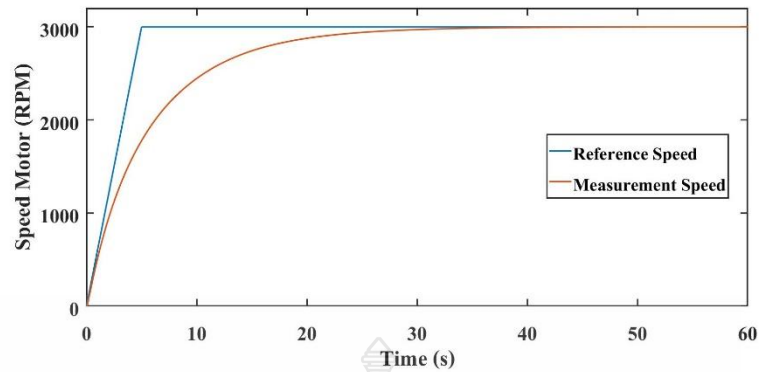
วิเคราะห์การออกแบบโดยทดสอบพฤติกรรมของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดไร้แปรงถ่านขนาด 1500 วัตต์ขณะปกติ 3000 วัตต์ขณะสูงสุด โดยการจำลองถูกแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะการจำลอง 1) การจำลองการออกตัวของยานยนต์บนทางราบ 2) การขับเคลื่อนขึ้นทางชัน 3) การขับเคลื่อนผ่านลูกระนาด 4) การขับเคลื่อนต้านทานแรงลม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 การจำลองพฤติกรรมการขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กบนทางราบ

การจำลองการขับเคลื่อนของยานยนต์ที่อยู่ในสภาวะหยุดนิ่งจนถึงความเร็วสูงสุดของยานยนต์ ซึ่งการจำลองได้ทำการกำหนดสัญญาณอินพุตเพื่อควบคุมความเร็วของยานยนต์ดังรูปที่ 4.1 โดยเพิ่มความเร็วมอเตอร์แบบเชิงเส้นจากความเร็ว 0 รอบถึงความเร็ว 3000 รอบที่ 5 วินาทีและคงความเร็วสูงสุดถึงวินาทีที่ 60

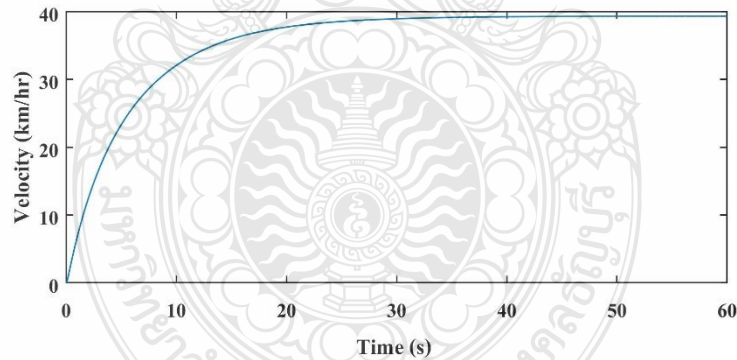


รูปที่ 4.1 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ



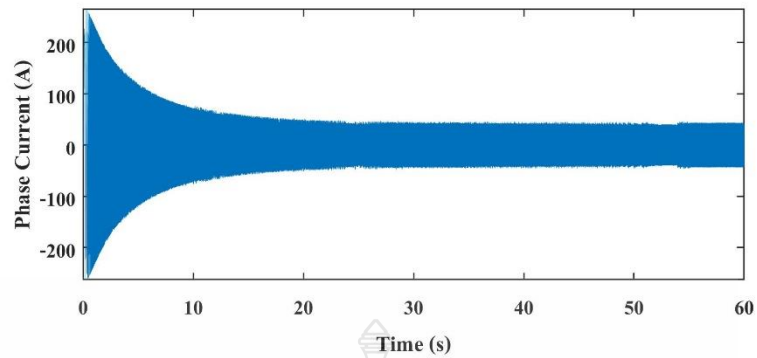
รูปที่ 4.2 ความเร็วรอบมอเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

จากการจำลองด้วยการกำหนดความเร็วของมอเตอร์ จากเส้นอ้างอิงความเร็วกับเส้นที่วัดความเร็วของโรเตอร์นั้นมีความแตกต่างกันดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเส้นความเร็วของมอเตอร์นั้นจะสามารถเข้าใกล้เส้นอ้างอิงที่เวลาประมาณ 35 วินาที เกิดจากโรเตอร์ของมอเตอร์ที่ต่ออยู่กับเกียร์ทดของยานยนต์ ซึ่งมอเตอร์ต้องมีแรงที่สามารถชนะแรงที่กระทำต่อยานยนต์เช่น น้ำหนักของยานยนต์ แรงต้านทานของล้อ แรงเฉื่อยของเกียร์



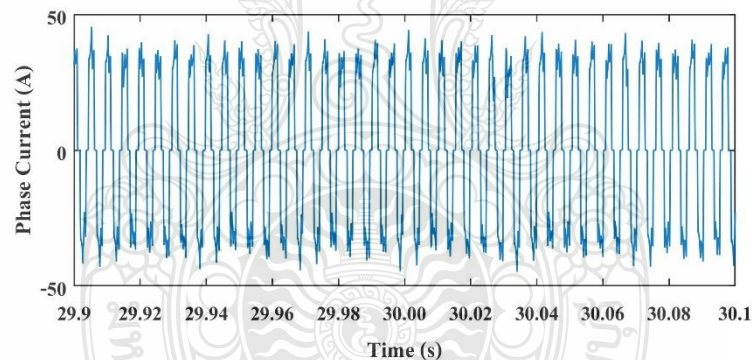
รูปที่ 4.3 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

จากรูปที่ 4.3 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าจะมีลักษณะตามความเร็วรอบของโรเตอร์ดังรูปที่ 4.2 โดยความเร็วสูงสุดยานยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1500 วัตต์ สามารถทำได้คือ 39.3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



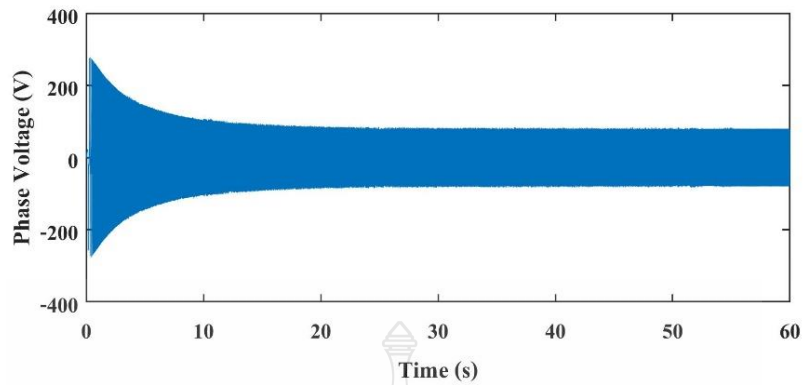
รูปที่ 4.4 กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

กระแสไฟฟ้าต้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าไร้แปรงถ่านโดยค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงมากตอนยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มเคลื่อนที่เนื่องจากมอเตอร์จำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อชนะแรงต้านที่กระทำต่อยานยนต์ในขณะนั้นซึ่งมีค่าสูงถึง 180 A ดังรูปที่ 4.4



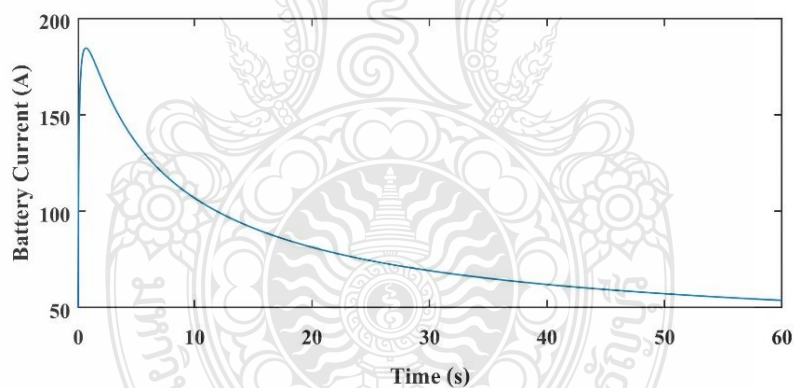
รูปที่ 4.5 กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบขณะขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่

กระแสไฟฟ้าขณะยานยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อยานยนต์เคลื่อนที่แล้วนั้นจะมีแรงเฉื่อยที่สามารถทำให้อานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่โดยไม่ต้องใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในการขับเคลื่อนจึงทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าน้อยลงอยู่ที่ ประมาณ 48 A ดังรูปที่ 4.5



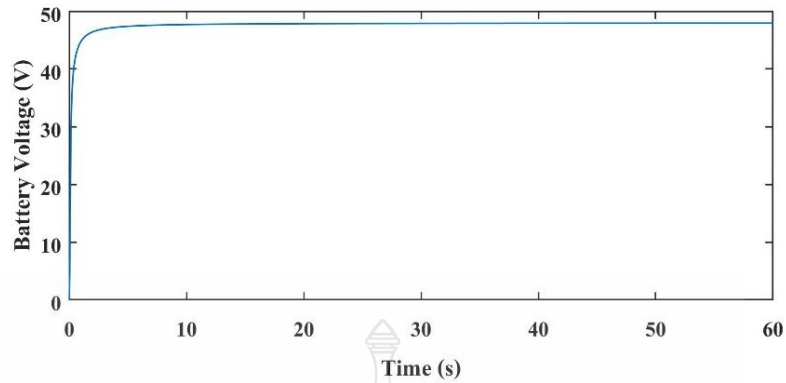
รูปที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

จากการจำลองการเคลื่อนที่ของยานยนต์เมื่อยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีค่าสูงดังรูปที่ 4.6 เนื่องจากความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มีค่าสูงเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่



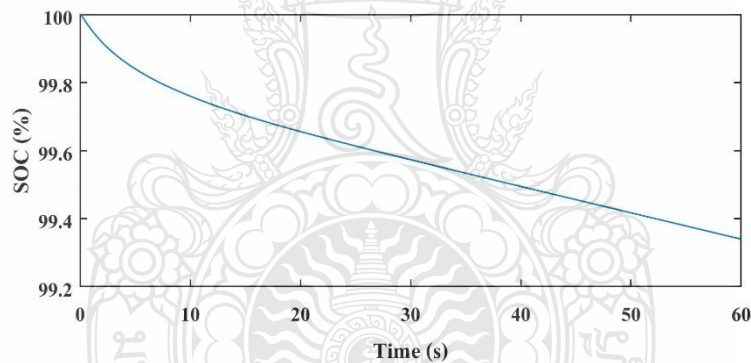
รูปที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

กระแสของแบตเตอรี่ตอนยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่จะมีค่าสูงอยู่ที่ 182.4 A ดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการเพื่อให้การใช้งานของยานยนต์นั้นมีประสิทธิภาพ



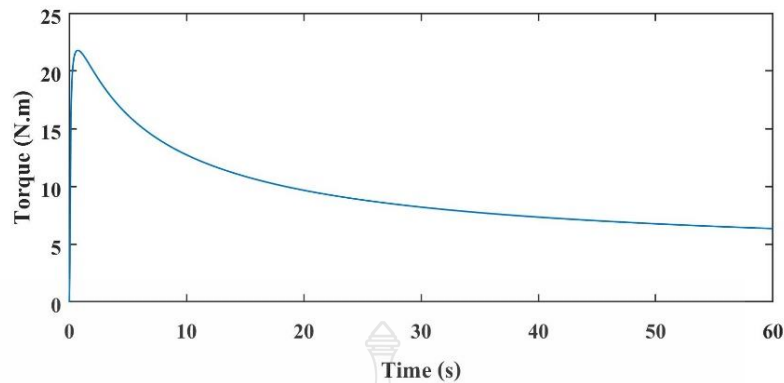
รูปที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ถูกกำหนดไว้ที่ 48 Vdc จะสังเกตเห็นว่าเมื่อยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่นั้น แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงชั่วขณะเนื่องจากต้องจ่ายกระแสสูงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 0.7 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.9



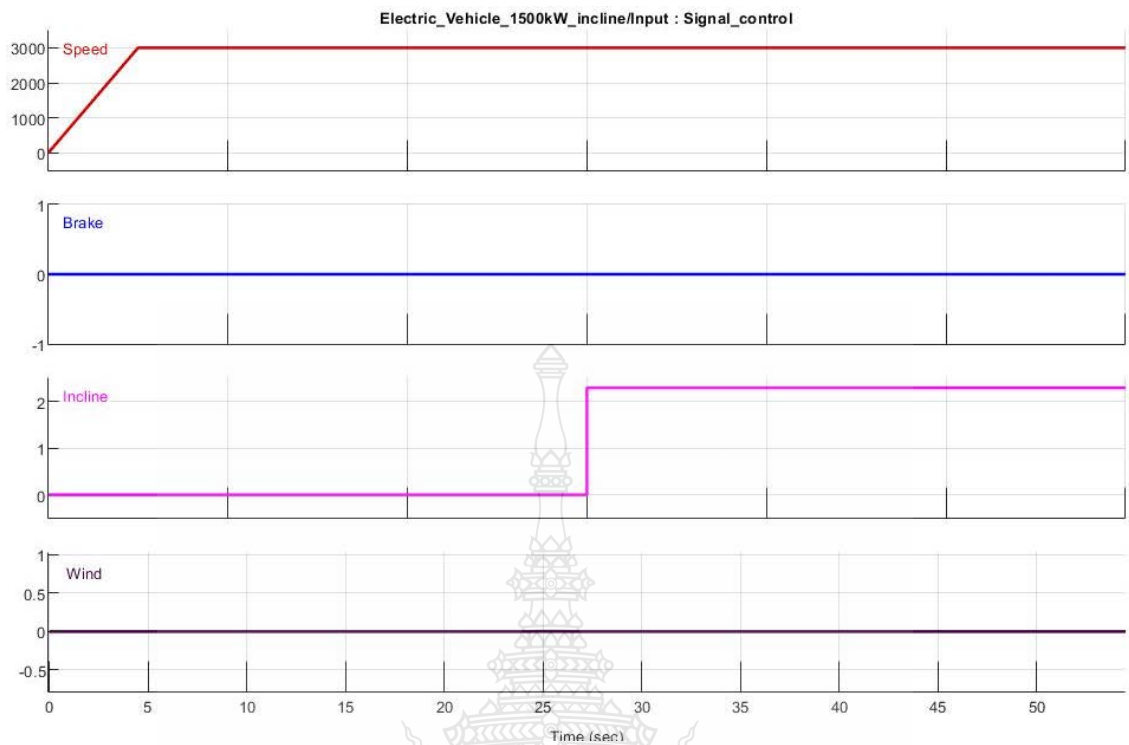
รูปที่ 4.10 แรงบิดมอเตอร์ขนาด 1.5 kW ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางราบ

แรงที่สามารถกระทำให้ยานยนต์เคลื่อนที่ได้นั้นมีค่าแรงบิดอยู่ 23.1 นิวตันเมตรดังรูปที่ 4.10 และลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะสามารถชนะแรงต้านของยานยนต์ได้ เมื่อยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่มอเตอร์ จะทำการเพิ่มลดแรงบิดเป็นระยะเพื่อรักษาความเร็วให้คงที่

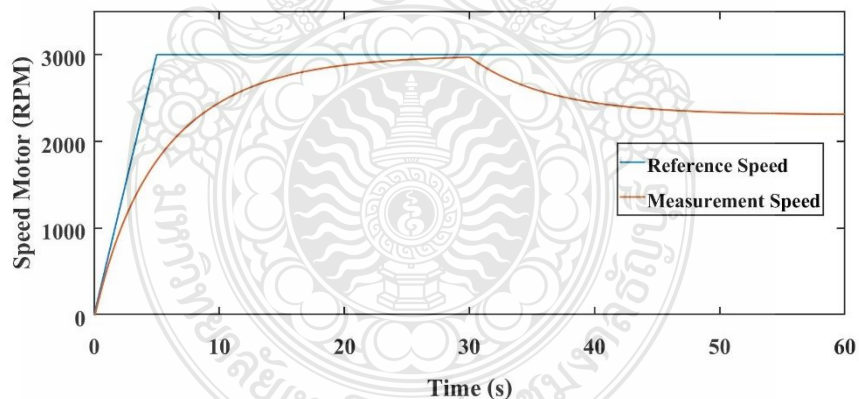
4.3 การจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กบนทางชัน

การจำลองยานยนต์ที่เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่งถึงค่าความเร็วสูงสุด จากนั้นเพิ่มโหลดทางชัน เพื่อทดสอบความสามารถของยานยนต์ในการขึ้นถนนที่มีความชันเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมาตรฐานของการ ออกแบบถนนกรมทางหลวงนั้นการออกแบบทางชันโดยปกติถนนจะมีระดับทางชันที่คิดเป็นร้อยละ 6 ของทางชัน และค่าทางชันคิดเป็นร้อยละ 12 ของทางชันในพื้นที่บนภูเขา ดังนั้นผลของการทดสอบจึง ถูกแบ่งออกเป็น 4 ข้อ คือการทดสอบตามมาตรฐานความชันของถนน ค่าสูงสุดที่ยานยนต์สามารถ เคลื่อนที่ได้ และความชันที่เหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์

4.3.1 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันที่มีระควมชันอยู่ที่ร้อยละ 4 (2.29 องศา) โดยการกำหนดความชันของถนนนั้นเริ่มต้นที่วินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งการกำหนดสัญญา นควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เริ่มต้นจาก 0 ถึง 3000 รอบภายใน 5 วินาทีและคงค่าความเร็วของ มอเตอร์สูงสุดถึงวินาทีที่ 60

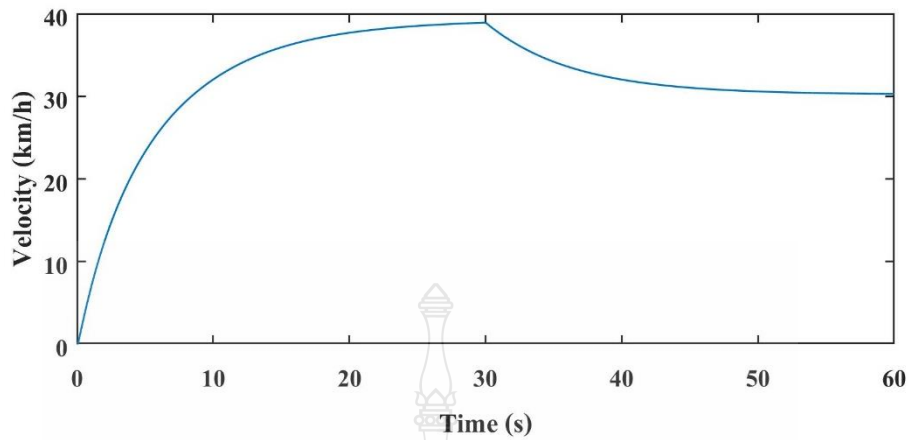


รูปที่ 4.11 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4



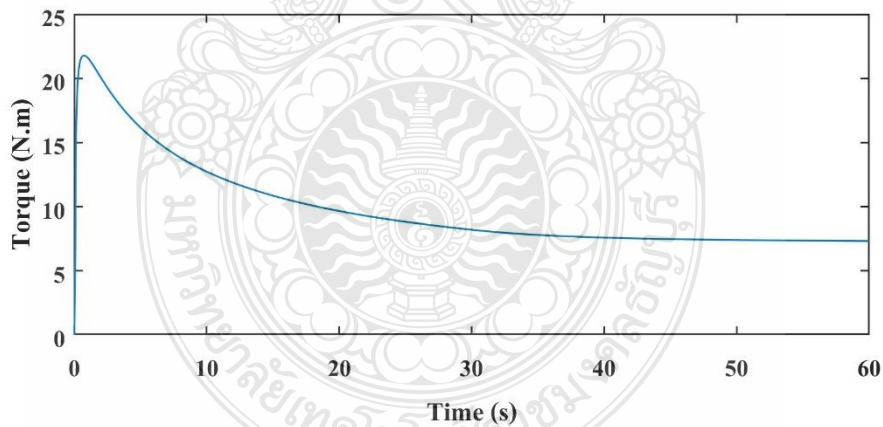
รูปที่ 4.12 ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

จากรูปที่ 4.12 เส้นสัญญาณควบคุมมอเตอร์และเส้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าความแตกต่างกันอยู่จุดคือ ลักษณะความเร็วขณะเริ่มเคลื่อนที่ และความเร็วเมื่อมีการเพิ่มระดับทางชันของถนนที่ร้อยละ 6 เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากมีความเร็วเนื่องจากแรงเฉื่อยที่ส่งผลต่อเริ่มขึ้นทางชันจากนั้นความเร็วรอบจะเริ่มมีค่าคงที่อยู่ที่ 2310 รอบต่อนาที



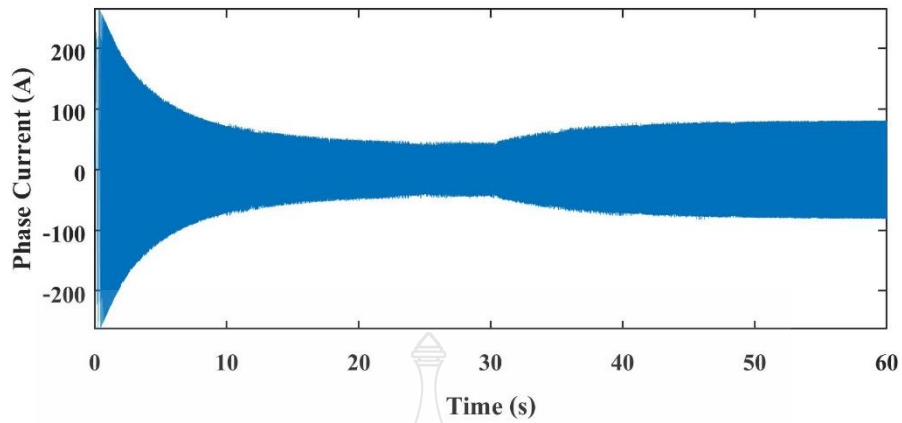
รูปที่ 4.13 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

จากรูปที่ 4.13 การเพิ่มความชันของถนนในวินาทีที่ 30 ความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเร็วของยานยนต์รวมกับแรงเฉื่อยของยานยนต์จึงสามารถขึ้นทางชันได้ในความเร็วที่ตกลงเพียงเล็กน้อยจากนั้นความเร็วของยานยนต์ค่อยๆลดลงและมีค่าความเร็วคงที่อยู่ที่ 30.29 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



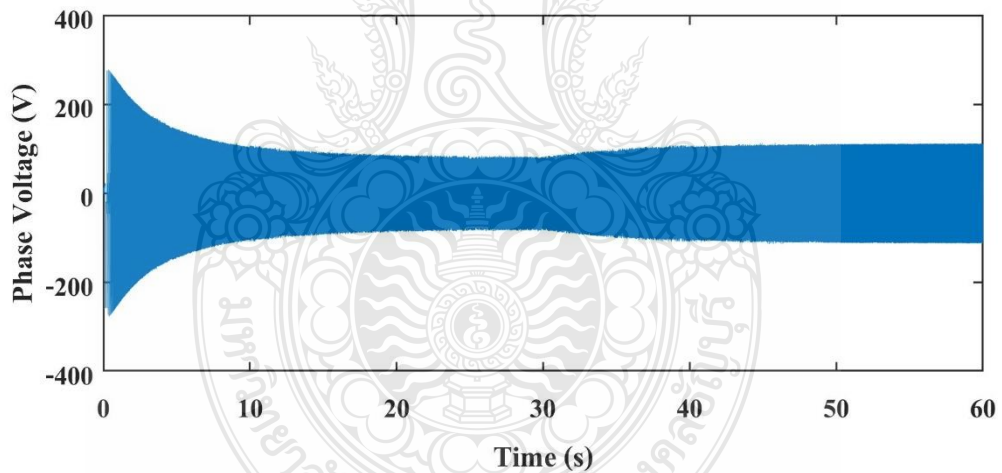
รูปที่ 4.14 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านบนทางชันร้อยละ 4

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มขึ้นทางชันที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นทางชันจึงทำให้ค่าแรงบิดมาค่าคงที่อยู่ที่ 7.32 นิวตันเมตร จึงสามารถขึ้นทางชันร้อยละ 4 ได้ดังรูปที่ 4.14



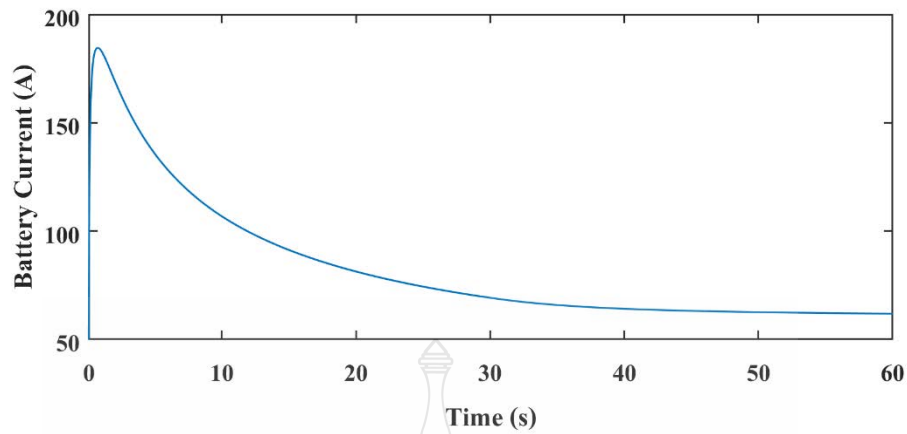
รูปที่ 4.15 กระแสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

จากรูปที่ 4.15 การจำลองกระแสไฟฟ้าที่เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าคงที่อยู่ที่ 86 A ขณะขึ้นทางชัน



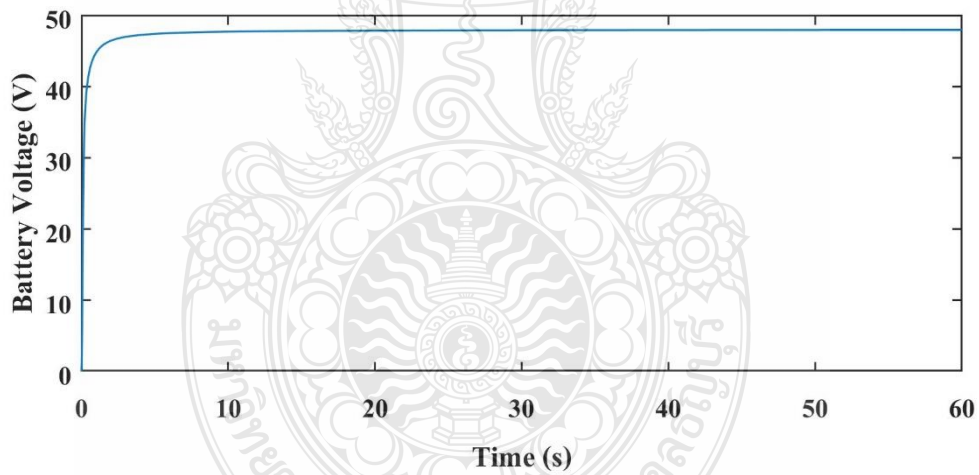
รูปที่ 4.16 แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อมอเตอร์ต้องการกำลังเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน จึงจำเป็นต้องใช้การแรงดันและกระแสที่มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.15 วินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60 และรูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์



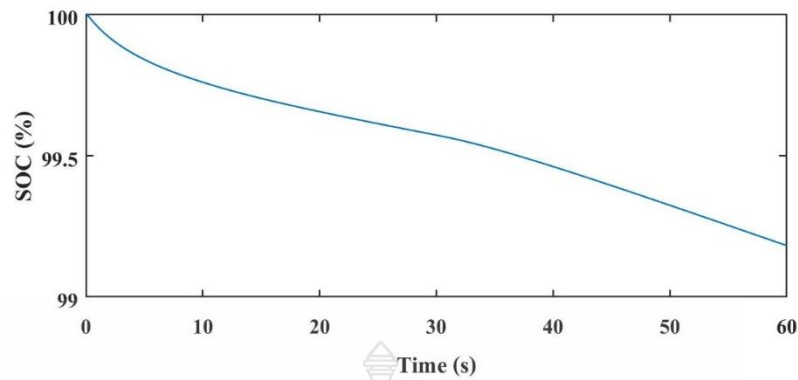
รูปที่ 4.17 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นทางชันช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 จะมีค่าคงที่อยู่ที่ 61.79 A ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.18 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

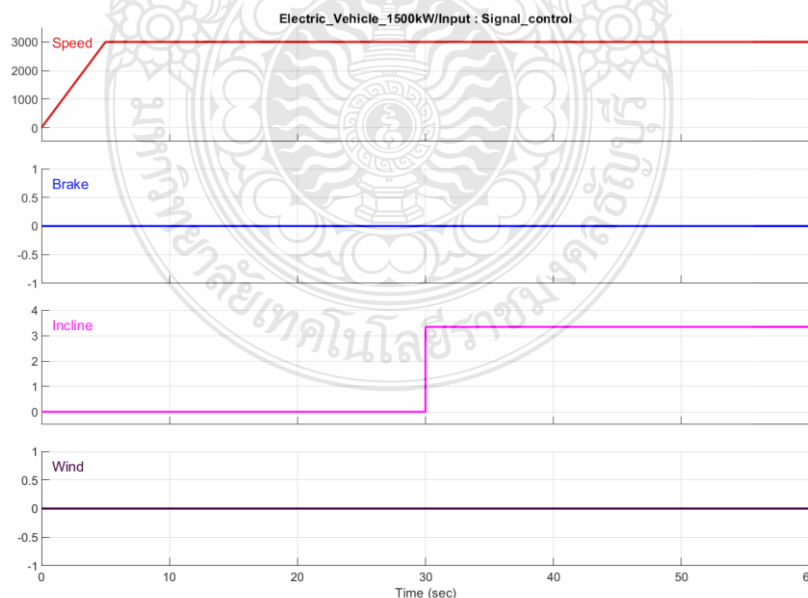
ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นทางชันจะมีค่าตกลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการจ่ายกระแสที่ยังไม่สูงมากนัก ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ 47.94 V ดังรูปที่ 4.18



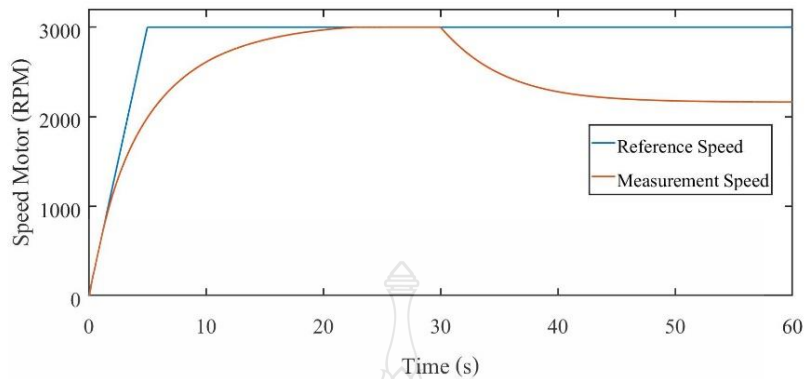
รูปที่ 4.19 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 4

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 0.82 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.19

4.3.2 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันที่มีระแวงชันอยู่ที่ร้อยละ 6 โดยการกำหนดความชันของถนนนั้นเริ่มต้นที่วินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งการกำหนดสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เริ่มต้นจาก 0 ถึง 3000 รอบภายใน 5 วินาทีและคงค่าความเร็วของมอเตอร์สูงสุดถึงวินาทีที่ 60

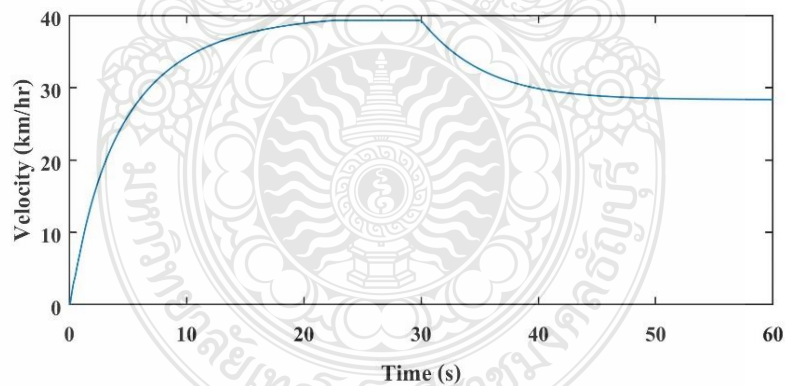


รูปที่ 4.20 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6



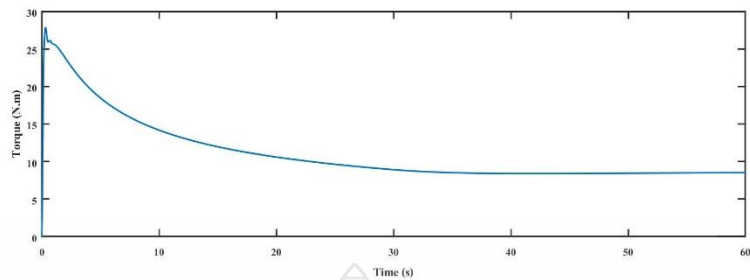
รูปที่ 4.21 ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

จากรูปที่ 4.21 เส้นสัญญาณควบคุมมอเตอร์และเส้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าความแตกต่างกันอยู่คือ ลักษณะความเร็วขณะเริ่มเคลื่อนที่ และความเร็วเมื่อมีการเพิ่มระดับทางชันของถนนที่ร้อยละ 6 เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากแรงเฉื่อยที่ส่งผลตอนเริ่มขึ้นทางชันจากนั้นความเร็วรอบจะเริ่มมีค่าคงที่อยู่ที่ 2200 รอบต่อนาที



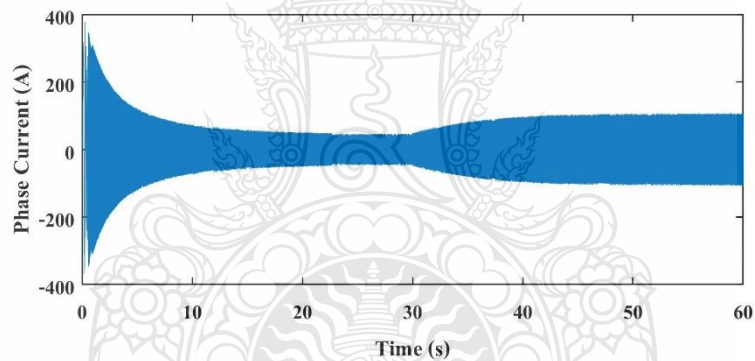
รูปที่ 4.22 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

จากการเพิ่มความชันของถนนในวินาทีที่ 30 ความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเร็วของยานยนต์รวมกับแรงเฉื่อยของยานยนต์จึงสามารถขึ้นทางชันได้ในความเร็วที่ตกลงเพียงเล็กน้อยจากนั้นความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงและมีค่าความเร็วคงที่อยู่ที่ 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมงดังรูปที่ 4.22



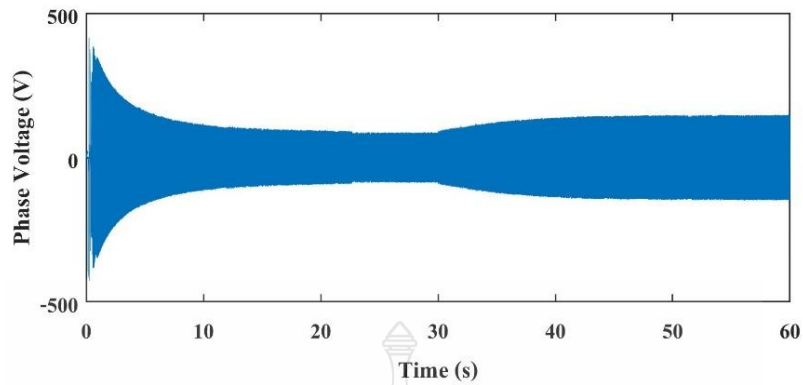
รูปที่ 4.23 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านบนทางชันร้อยละ 6

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มขึ้นทางชันที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นทางชันจึงทำให้ค่าแรงบิดมาค่าคงที่อยู่ที่ 8.5 นิวตันเมตร จึงสามารถขึ้นทางชันร้อยละ 6 ได้ดังรูปที่ 4.23



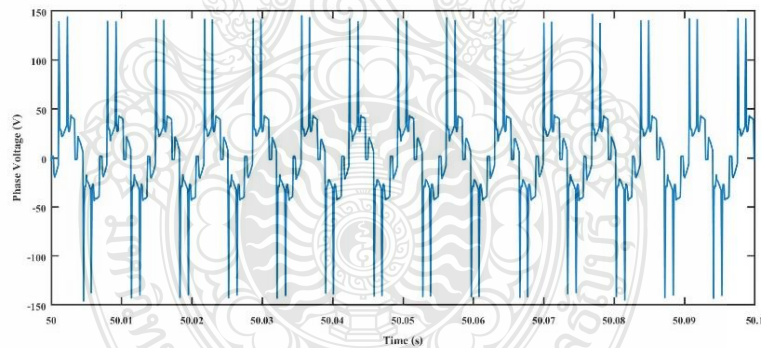
รูปที่ 4.24 กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

จากการจำลองกระแสไฟฟ้าที่เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าคงที่อยู่ที่ 86 A ขณะขึ้นทางชัน



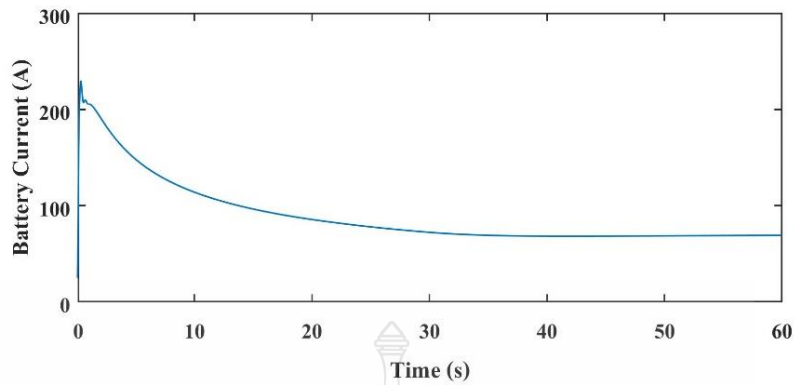
รูปที่ 4.25 แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชั้นร้อยละ 6

แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อมอเตอร์ต้องการกำลังเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน จึงจำเป็นต้องใช้การเร่งและกระแสที่มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.24 วินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60 และรูปที่ 4.25 แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์



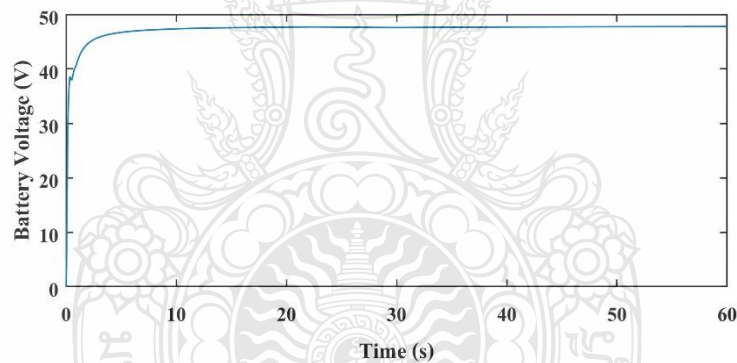
รูปที่ 4.26 ขยายแรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชั้นร้อยละ 6

จากการจำลองขึ้นทางชันช่วงเวลาของการสวิทช์ของแรงดันจะมีค่าแรงสูงชั่วขณะมีรูปทรงแหลมขึ้นเนื่องจากความต้องการของพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นดังรูปที่ 4.26



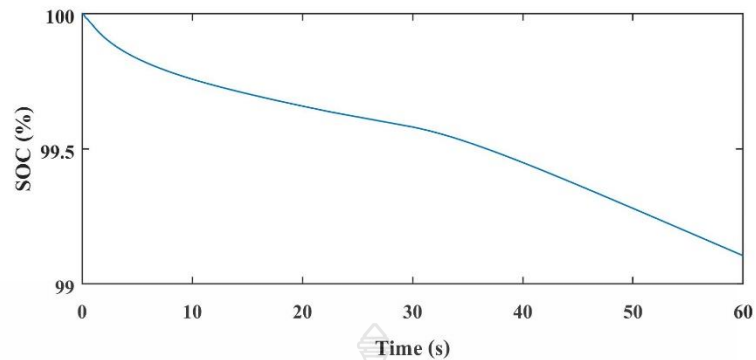
รูปที่ 4.27 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นทางชันช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 จะมีค่าคงที่อยู่ที่ 68.5 A ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

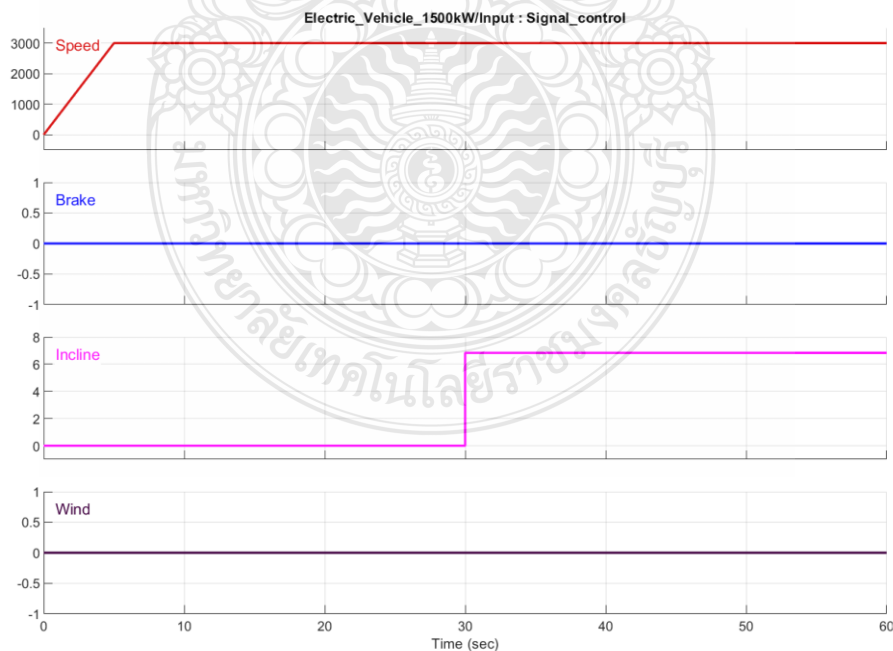
ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นทางชันจะมีค่าตกลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการจ่ายกระแสที่ยังไม่สูงมากนัก ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ 47.77 V ดังรูปที่ 4.28



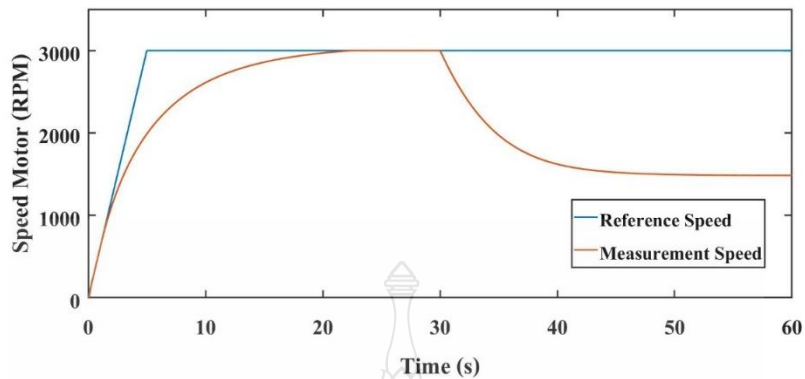
รูปที่ 4.29 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 6

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 0.9 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.29

4.3.3 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันที่มีระควมชันอยู่ที่ร้อยละ 12 โดยการกำหนดความชันของถนนนั้นเริ่มต้นที่วินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ดังรูปที่ 4.30 โดยการกำหนดมุมมองศาที่ 6.64 องศาและการกำหนดสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เริ่มต้นจาก 0 ถึง 3000 รอบภายใน 5 วินาทีและคงค่าความเร็วของมอเตอร์สูงสุดถึงวินาทีที่ 60

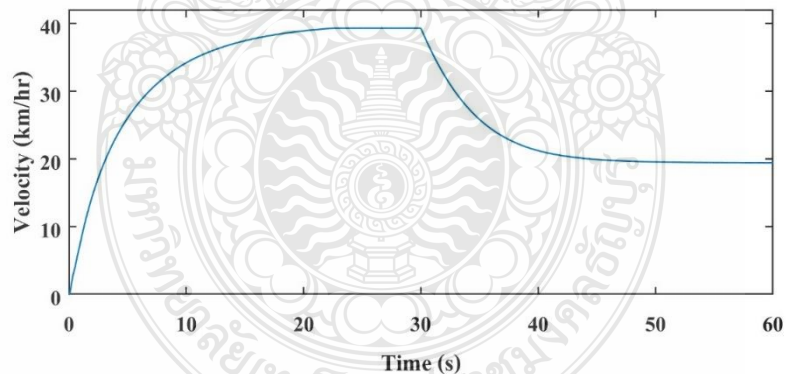


รูปที่ 4.30 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12



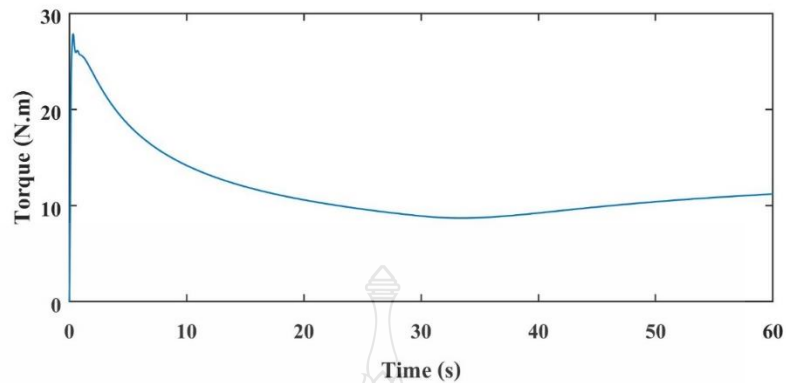
รูปที่ 4.31 ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

จากรูปที่ 4.31 เส้นสัญญาณควบคุมมอเตอร์และเส้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าความแตกต่างกันอยู่จุดคือ ลักษณะความเร็วขณะเริ่มเคลื่อนที่ และเมื่อมีการเพิ่มระดับทางชันของถนนที่ร้อยละ 12 เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากมีความเร็วจากแรงเฉื่อยที่ส่งผลตอนเริ่มขึ้นทางชันจากนั้นความเร็วรอบจะเริ่มมีค่าคงที่อยู่ที่ 1484 รอบต่อนาที



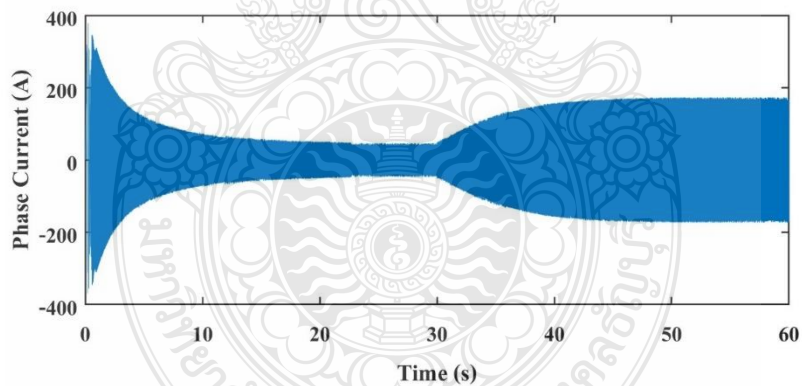
รูปที่ 4.32 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

จากการเพิ่มความชันของถนนในวินาทีที่ 30 ความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากความเร็วของยานยนต์รวมกับแรงเฉื่อยของยานยนต์จึงสามารถขึ้นทางชันได้ในความเร็วที่ตกลงเพียงเล็กน้อยจากนั้นความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆ ลดลงและมีค่าความเร็วคงที่อยู่ที่ 19.45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4.32



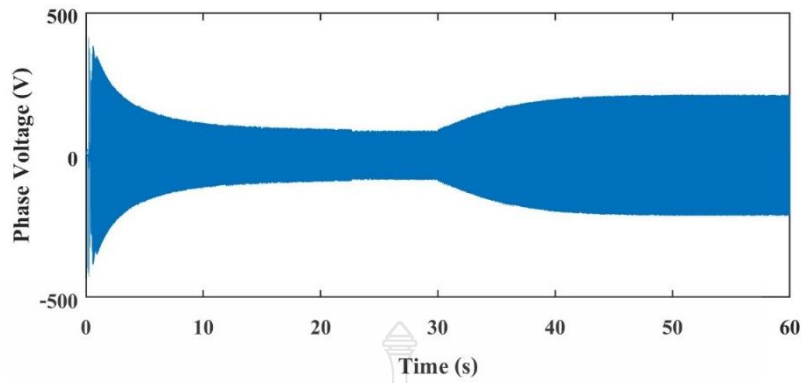
รูปที่ 4.33 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านบนทางชันร้อยละ 12

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มขึ้นทางชันที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นทางชันจึงทำให้ค่าแรงบิดมาค่าคงที่อยู่ที่ 11.2 นิวตันเมตร จึงสามารถขึ้นทางชันร้อยละ 12 ได้ดังรูปที่ 4.33



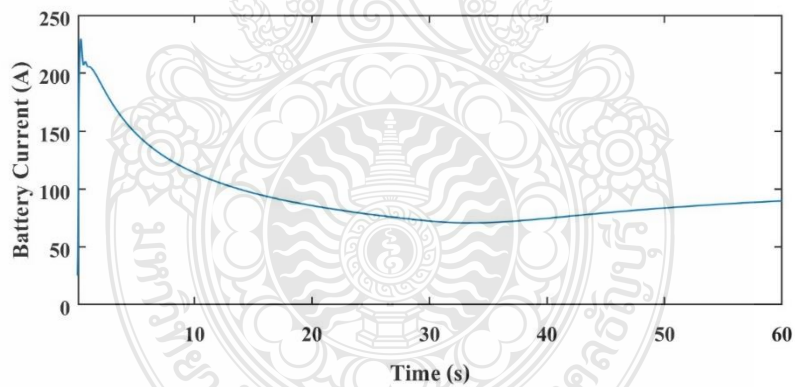
รูปที่ 4.34 กระแสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

จากการจำลองกระแสไฟฟ้าที่เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าคงที่อยู่ที่ 131 A ขณะขึ้นทางชันดังรูปที่ 4.34



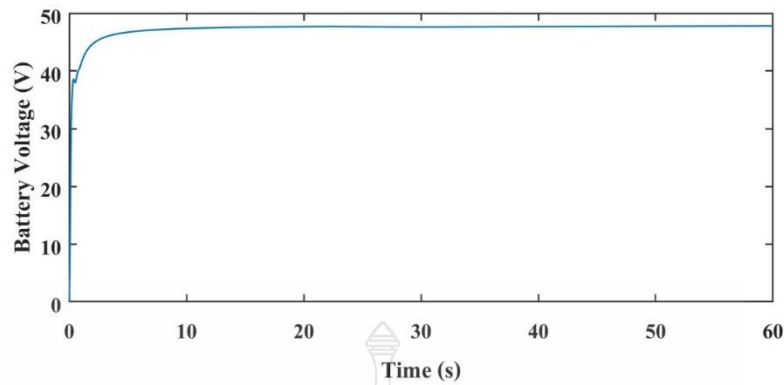
รูปที่ 4.35 แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อมอเตอร์ต้องการกำลังเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน จึงจำเป็นต้องใช้การเร่งและกระแสที่มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.35 วินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60



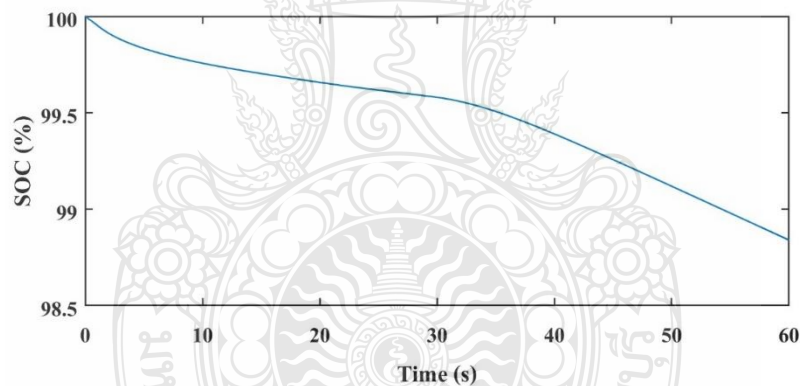
รูปที่ 4.36 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นทางชันช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 จะมีค่าคงที่อยู่ที่ 88.52 A ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.37 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

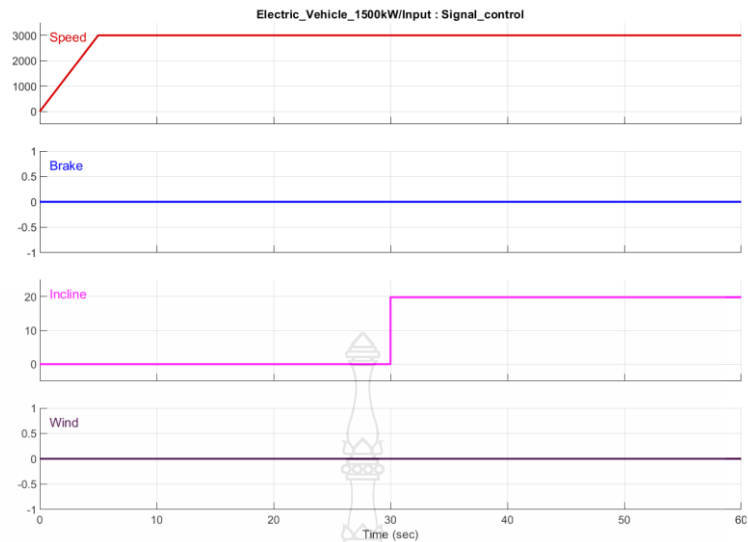
ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นทางชันจะมีค่าตกลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการจ่ายกระแสที่ยังไม่สูงมากนัก ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ 47.78 V ดังรูปที่ 4.37



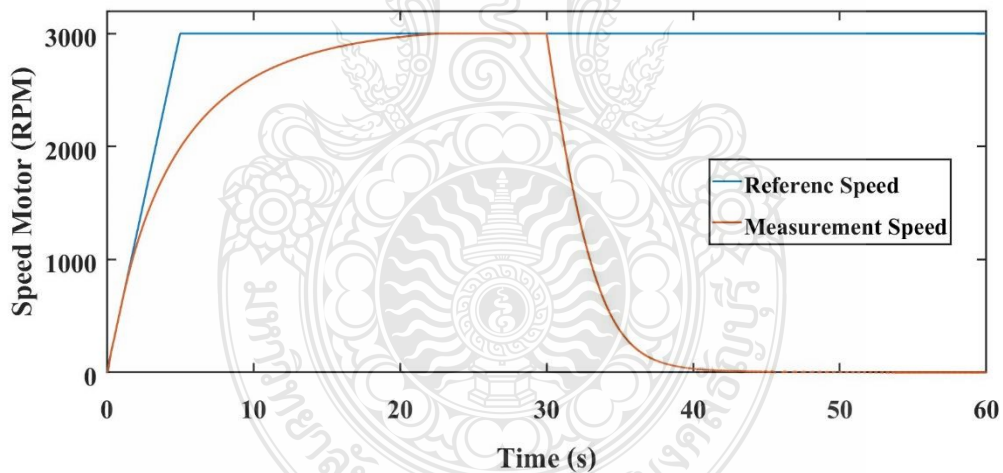
รูปที่ 4.38 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 12

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 1.2 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.38

4.3.2 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันที่มีระควมชันอยู่ที่ร้อยละ 36 โดยการกำหนดความชันของถนนนั้นเริ่มต้นที่วินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ดังรูปที่ 4.39 โดยการกำหนดมุมมองศาที่ 19.79 องศาและการกำหนดสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เริ่มต้นจาก 0 ถึง 3000 รอบภายใน 5 วินาทีและคงค่าความเร็วของมอเตอร์สูงสุดถึงวินาทีที่ 60

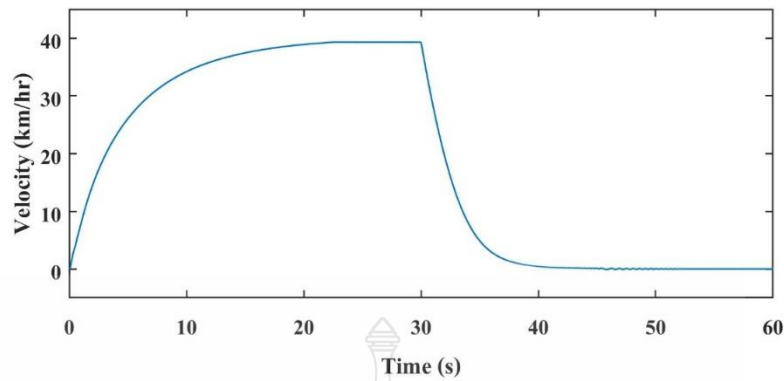


รูปที่ 4.39 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36



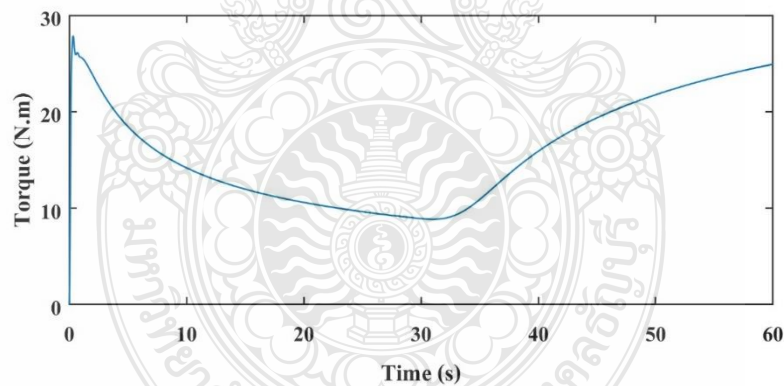
รูปที่ 4.40 ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

จากรูปที่ 4.40 เส้นสัญญาณควบคุมมอเตอร์และเส้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าความแตกต่างกันอยู่จุดคือ ลักษณะความเร็วขณะเริ่มเคลื่อนที่ และความเร็วเมื่อมีการเพิ่มระดับทางชันของถนนที่ร้อยละ 36 เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางชันความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากมีความเร็วเนื่องจากแรงเฉื่อยที่ส่งผลตอนเริ่มขึ้นทางชันจากนั้นความเร็วรอบจะเริ่มมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.124 รอบต่อนาที



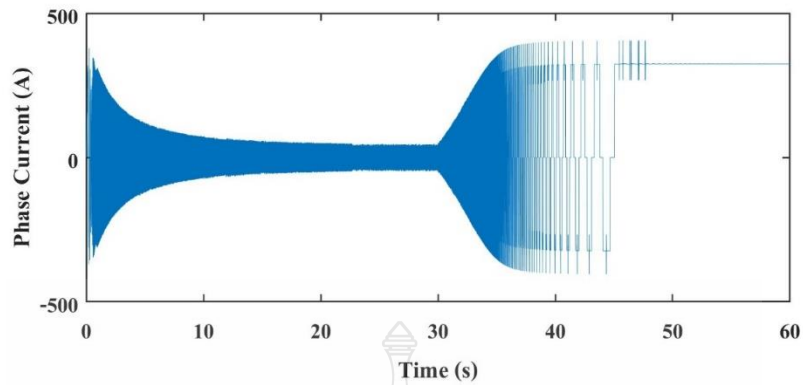
รูปที่ 4.41 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

จากการเพิ่มความชันของถนนในวินาทีที่ 30 ความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเร็วของยานยนต์รวมกับแรงเฉื่อยของยานยนต์จึงสามารถขึ้นทางชันได้ในความเร็วที่ตกลง จากนั้นความเร็วของยานยนต์ค่อยๆลดลงและมีค่าความเร็วคงที่อยู่ที่ 0.0016 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งไม่สามารถขึ้นทางชันได้ดังรูปที่ 4.41



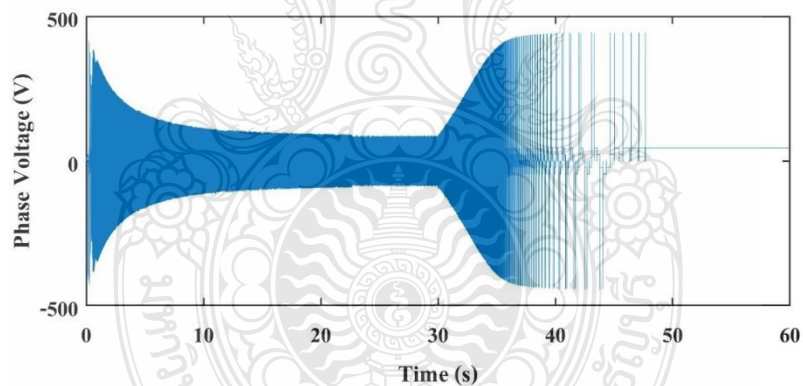
รูปที่ 4.42 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านบนทางชันร้อยละ 36

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มขึ้นทางชันที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นทางชันจึงทำให้ค่าแรงบิดมาค่าคงที่อยู่ที่ 24.9 นิวตันเมตร จึงสามารถขึ้นทางชันร้อยละ 36 ได้ดังรูปที่ 4.42



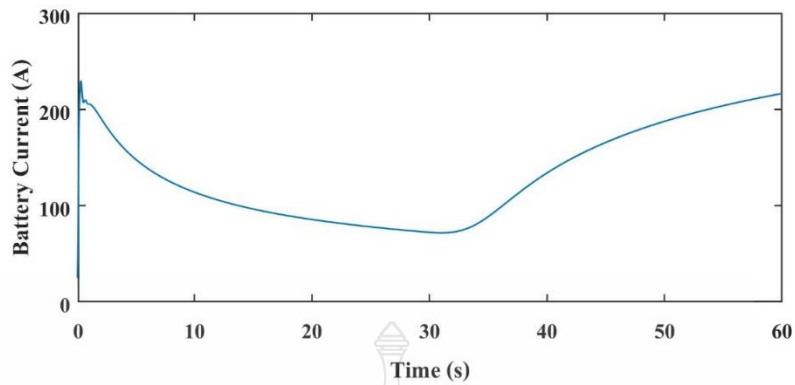
รูปที่ 4.43 กระแสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

จากการจำลองกระแสไฟฟ้าที่เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อถึงวินาทีที่ 45 ยานยนต์ไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ไปต่อได้เนื่องจากกำลังของมอเตอร์ไม่สามารถขับเคลื่อนยานยนต์ได้ดังรูปที่ 4.43



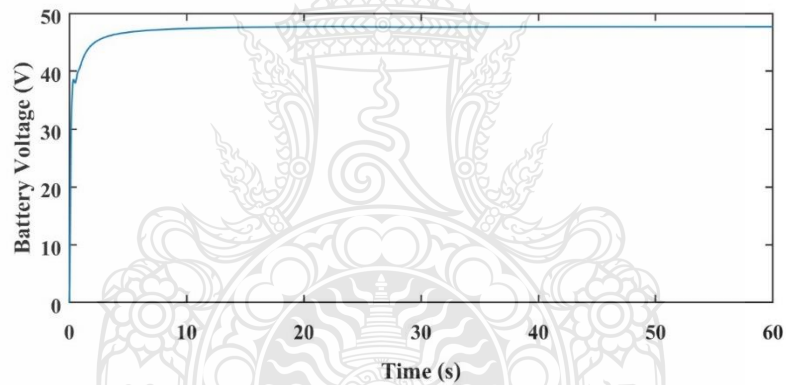
รูปที่ 4.44 แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

แรงดันด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อมอเตอร์ต้องการกำลังเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน จึงจำเป็นต้องใช้การแรงดันและกระแสที่มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.44 เมื่อถึงระยะทางหนึ่งยานยนต์ไม่สามารถขับเคลื่อนต่อได้เนื่องจากกำลังของมอเตอร์ไม่เพียงพอ



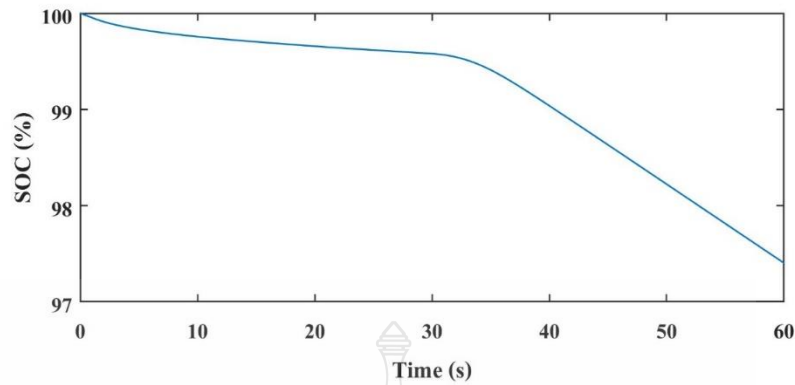
รูปที่ 4.45 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นทางชันช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ซึ่งมีค่ากระแสสูงสุดที่ 214 A ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.46 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นทางชันจะมีค่าตกลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการจ่ายกระแสที่ยังไม่สูงมากนัก ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ 47.68 V ดังรูปที่ 4.46

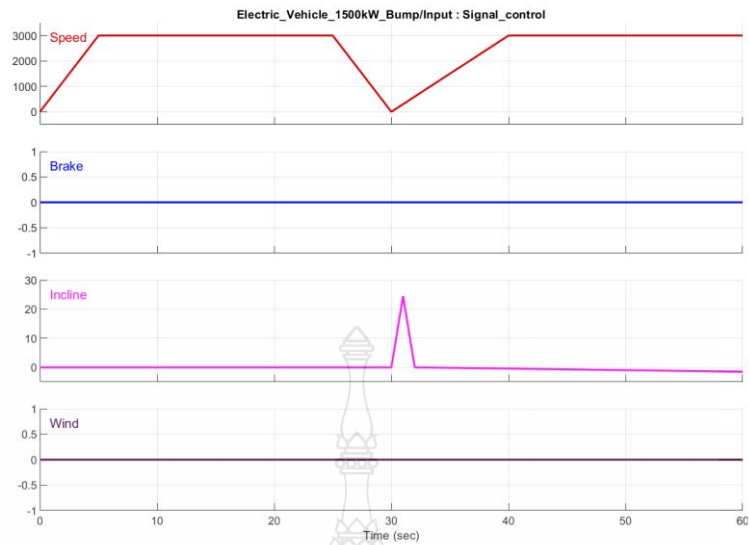


รูปที่ 4.47 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันร้อยละ 36

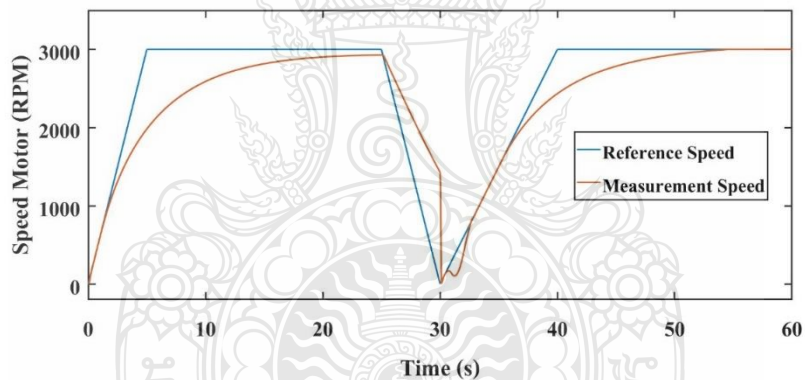
อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 2.6 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.47

4.4 การจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กผ่านลูกระนาด

การจำลองยานยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนผ่านลูกระนาด เนื่องจากความชันของลูกระนาดนั้นมีความชันค่อนข้างสูง บางกรณีมีความชันถึง 25 องศา การจำลองพฤติกรรมของยานยนต์เพื่อทดสอบความสามารถในการขับเคลื่อนของยานยนต์ ขณะผ่านลูกระนาดโดยการกำหนดความเร็วของมอเตอร์จาก 0 ถึง 3000 รอบภายในเวลา 5 วินาที และลดความเร็วลงในเวลาที่ 25 วินาที ถึง วินาทีที่ 30 ความเร็วรอบเป็น 0 อีกครั้ง ซึ่งวินาทีที่ 30 ได้ควบคุมสัญญาณของทางชันที่ 25 องศาเพื่อจำลองสถานการณ์การเคลื่อนที่ผ่านลูกระนาด โดยวินาทีที่ 30 เพิ่มความเร็วรอบอีกครั้ง เพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ให้ผ่านลูกระนาดได้ ดังรูปที่ 4.48

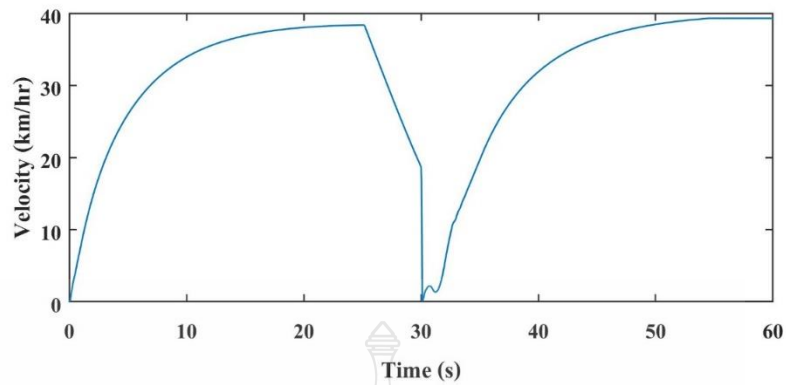


รูปที่ 4.48 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด



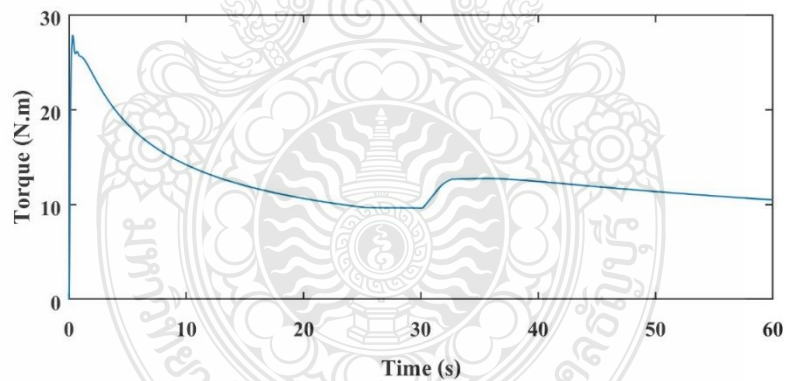
รูปที่ 4.49 พฤติกรรมความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะผ่านลูกระนาด

การจำลองการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้านั้นจะเห็นว่าการลดความเร็วลงที่เวลา 25 วินาที ถึงเวลา 30วินาทีนั้น ความเร็วของมอเตอร์ยังคงมีความเร็วที่สูงกว่าสัญญาณควบคุมเนื่องจากแรงเฉื่อยและเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเร่งของสัญญาณควบคุม แต่วินาทีที่ 31 ความเร็วของมอเตอร์ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากความชันของลูกระนาด แต่กำลังของมอเตอร์สามารถขับเคลื่อนผ่านลูกระนาดและเข้าสู่ความเร็วปกติได้ ดังรูปที่ 4.49



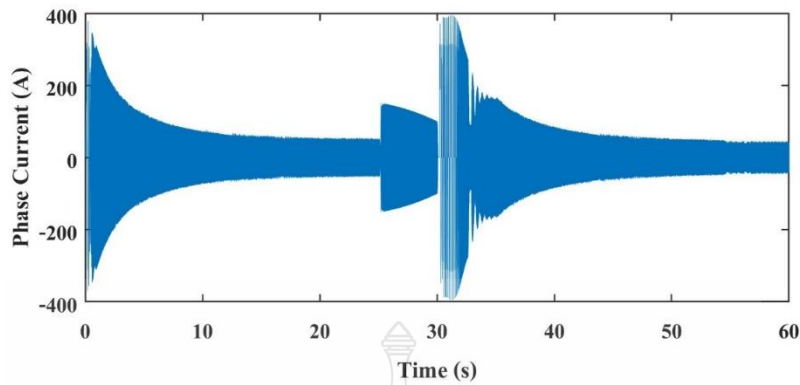
รูปที่ 4.50 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าขณะผ่านลูกระนาด

จากการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรม ความเร็วของยานยนต์นั้นจะแปรผันตรงกับความเร็วของมอเตอร์ แต่จะมีต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากแรงเฉื่อยทางกลของชุดส่งกำลัง ซึ่งจากการจำลองที่มีน้ำหนักของยานยนต์อยู่ 320 กิโลกรัมสามารถเคลื่อนที่ผ่านลูกระนาดได้ด้วยความเร็ว 6.3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4.50



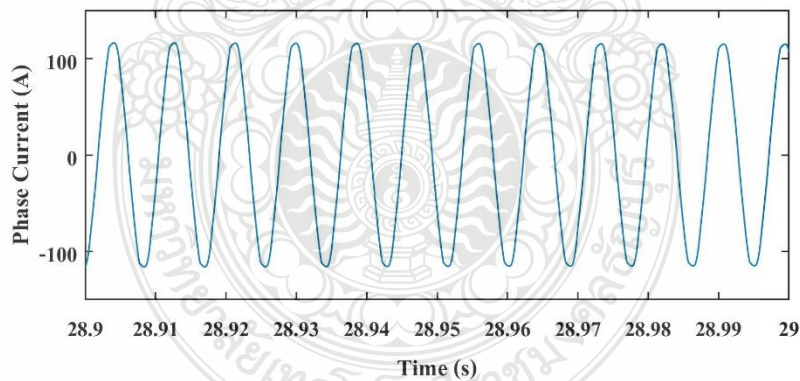
รูปที่ 4.51 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มขึ้นลูกระนาดที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นลูกระนาดจึงทำให้ค่าแรงบิดมีค่าสูงอยู่ที่ 11.29 นิวตันเมตร จึงสามารถขึ้นลูกระนาดได้ดังรูปที่ 4.51



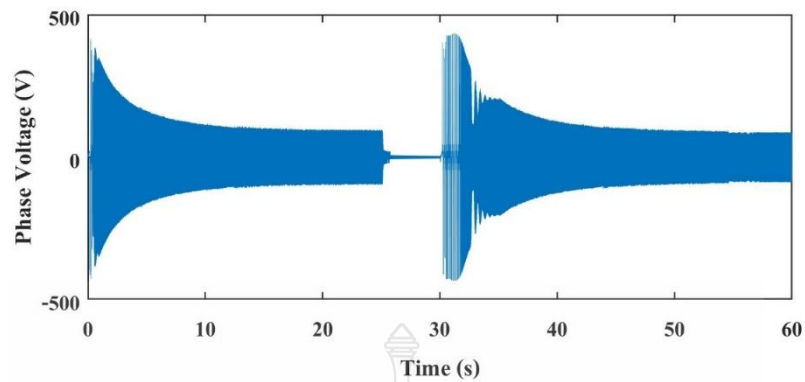
รูปที่ 4.52 กระแสเฟสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

กระแสเฟสของมอเตอร์การจำลองขับเคลื่อนผ่านลูกกระพอน ซึ่งลักษณะการทำงานของมอเตอร์มีข้อควรสังเกตุช่วงเวลาที่ลดความเร็วรอบของมอเตอร์วินาทีที่ 25 ถึงวินาทีที่ 30 ช่วงเวลานี้เป็นเวลาที่มอเตอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าย้อนกลับเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ และช่วงเวลาที่ 30 วินาทีถึงวินาทีที่ 32 เป็นช่วงที่มอเตอร์ต้องขับเคลื่อนผ่านลูกกระพอนดังนั้นจำเป็นต้องใช้แรงของมอเตอร์สูงมากเพราะแรงต้านที่กระทำต่อล้อยานยนต์มีสูงดังรูปที่ 4.52



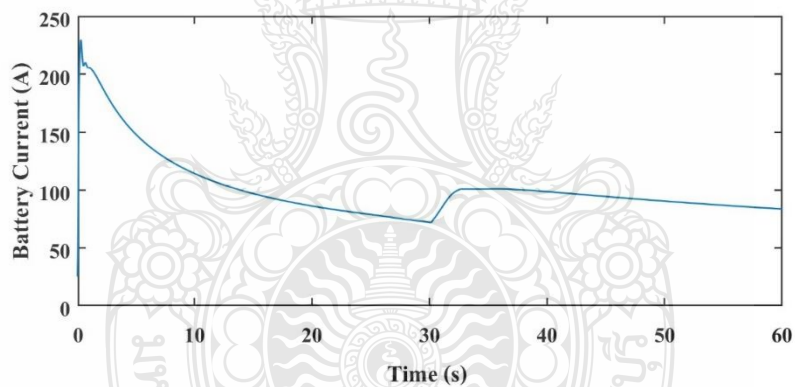
รูปที่ 4.53 กระแสเฟสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ขณะลดความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า

กระแสเฟสในช่วงเวลาที่ลดสัญญาณความเร็วรอบลงมอเตอร์จึงเข้าสู่สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีรูปคลื่นไซน์ ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าย้อนกลับเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.53



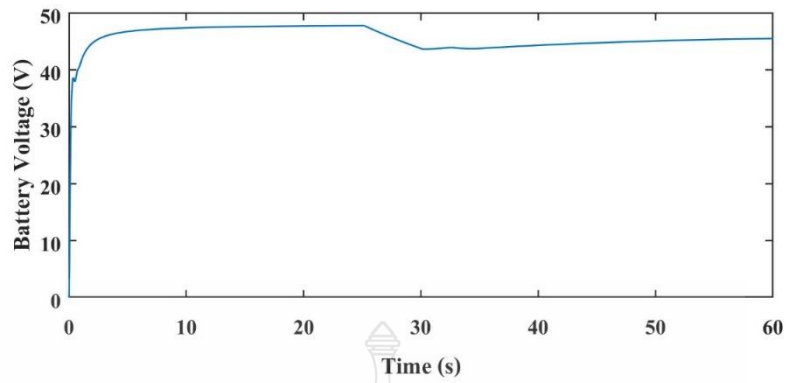
รูปที่ 4.54 แรงดันเฟสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะการจ่ายแรงดันเนื่องจากควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ลดลงช่วงเวลาที่ 25 วินาทีถึง 30 วินาที และเพิ่มขึ้นอย่างมากช่วงเวลาที่ผ่านลูกระนาดดังรูปที่ 4.54



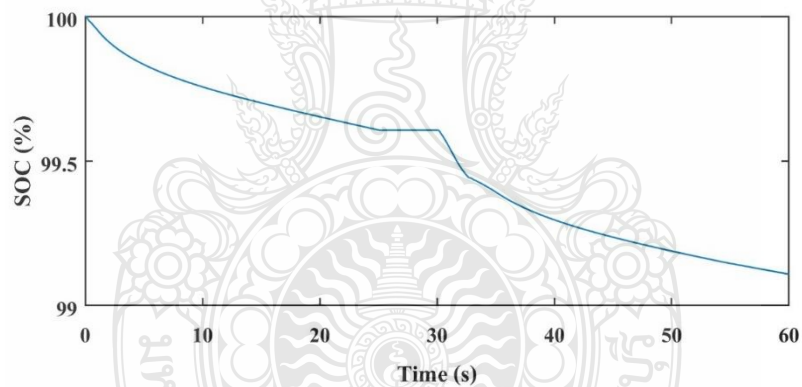
รูปที่ 4.55 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นลูกระนาดช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 ซึ่งมีค่ากระแสขณะขึ้นทางชันอยู่ที่ 100.6 A ดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.56 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นสู่สถานะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเร่งความเร็ว ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าขณะขึ้นสู่สถานะมีค่าอยู่ที่ 43.69 V ดังรูปที่ 4.56



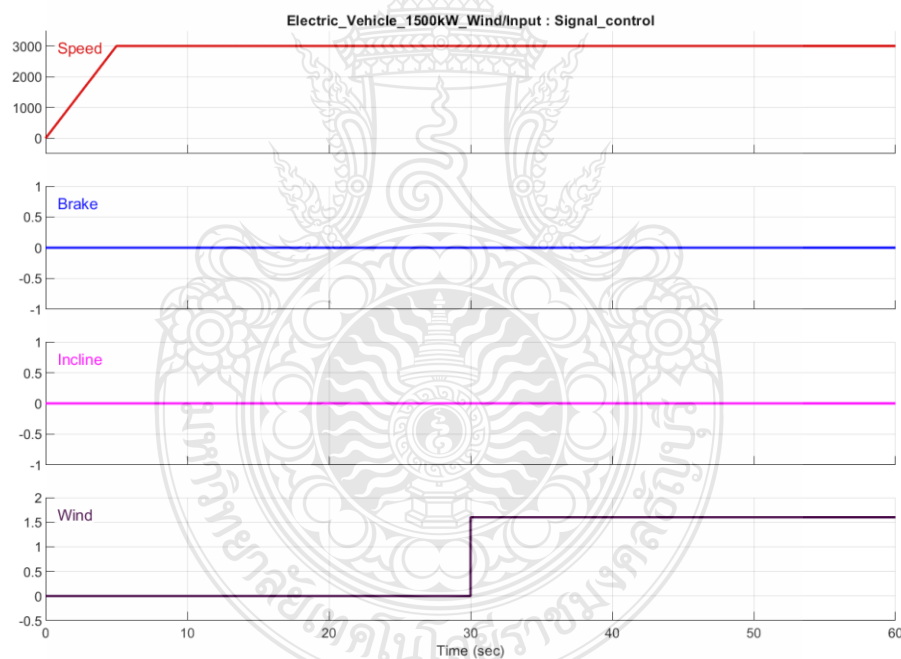
รูปที่ 4.57 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขณะขึ้นสู่สถานะ

จากการจำลองการขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นสู่สถานะที่มีความชันของลูกระนาดสูงจึงทำให้ อัตราการจ่ายกระแสขณะขึ้นสู่สถานะสูงมาก โดยคิดเป็น 0.2 เพอร์เซ็นต์ ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูป ที่ 4.57

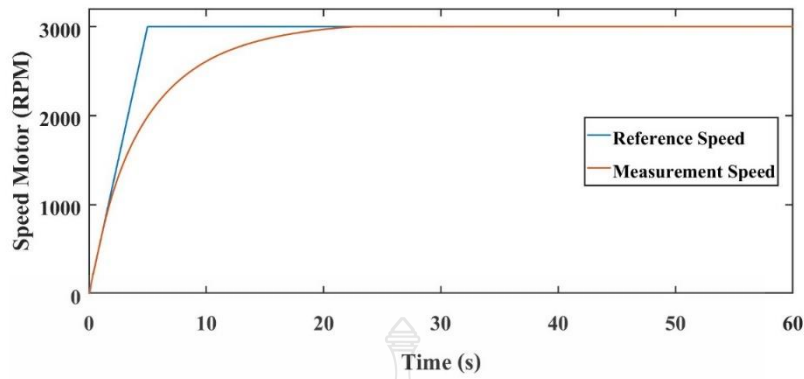
4.5 การจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กกับแรงต้านอากาศ

ยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อขับเคลื่อนจะมีแรงลมที่เกิดจากความเร็วของยานยนต์ส่วนหนึ่ง อีกส่วนคือแรงที่เกิดจากลมตามธรรมชาติ โดยมีทั้งแรงลมที่เสริมกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานยนต์และสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานยนต์ ซึ่งการออกแบบจำลองแบ่งออกเป็นทดสอบกับความเร็วมปกติคือ 1.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วลมสูงสุดที่ 12.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดสอบทั้งสองเป็นการทดสอบทิศทางลมที่สวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานยนต์

4.5.1 การทดสอบยานยนต์กับแรงต้านอากาศด้วยความเร็วลมที่ 1.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งการกำหนดสัญญาณความเร็วลมเริ่มที่เวลา 30 วินาทีถึง 60 วินาทีดังรูปที่ 4.58 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อความเร็วของยานยนต์เมื่อขับเคลื่อนแรงต้านอากาศ

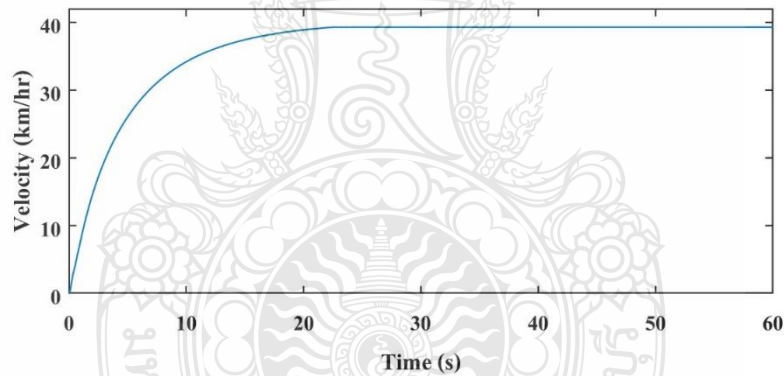


รูปที่ 4.58 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้ากับแรงต้านทานความเร็วลม 1.6 km/hr



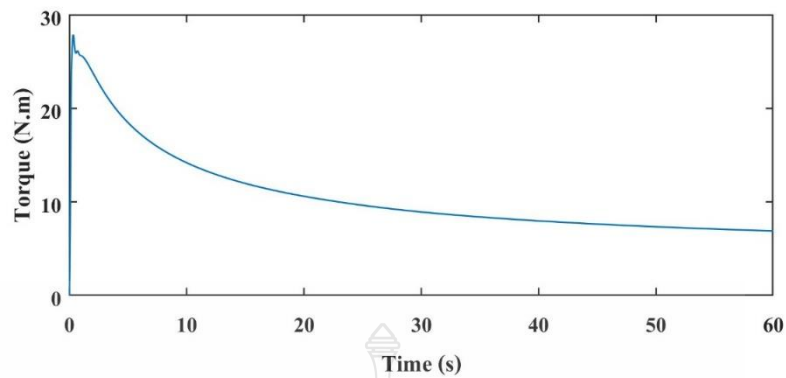
รูปที่ 4.59 พฤติกรรมความเร็วรอบของมอเตอร์กับแรงต้านทานความเร็วลม 1.6 km/hr

การจำลองการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้านั้นจะเห็นว่าการเพิ่มแรงต้านทานอากาศด้วยความเร็วลม 1.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไม่มีผลกระทบบต่อความเร็วรอบของมอเตอร์ความเร็วปกติได้ ดังรูปที่ 4.59



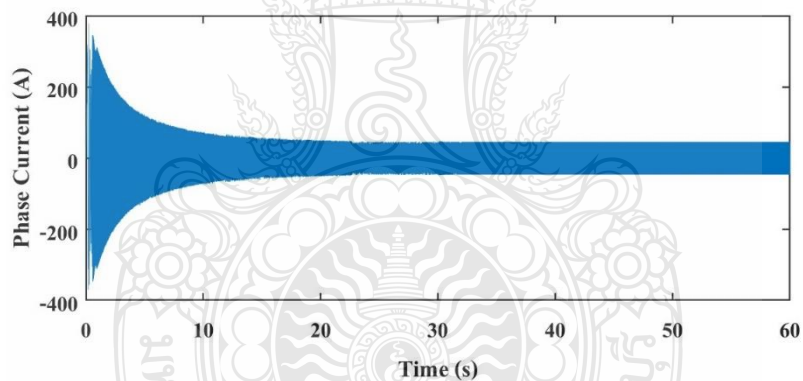
รูปที่ 4.60 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนกับแรงต้านทานความเร็วลม 1.6 km/hr

จากการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรม ความเร็วของยานยนต์นั้นไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มีกำลังมากกว่าแรงต้านทานทางของความเร็วม จึงสามารถขับเคลื่อนโดยที่ความเร็วของยานยนต์ไม่ลดลงดังรูปที่ 4.60



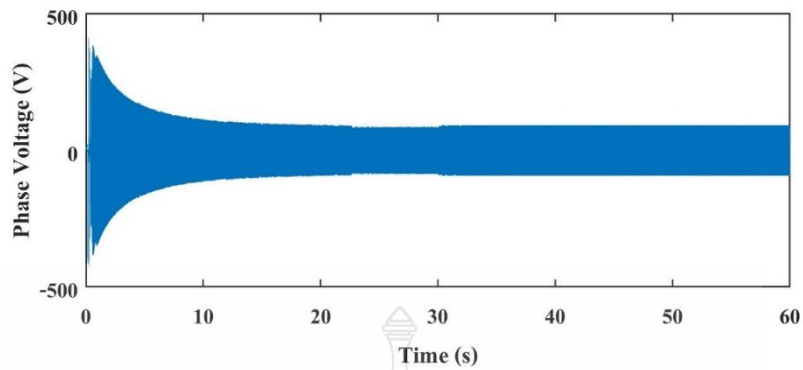
รูปที่ 4.61 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นปกติ เหมือนกับการขับเคลื่อนบนทางราบเนื่องจากแรงต้าน ด้วยความเร็วลมนั้นมีผลกระทบน้อยได้ดังรูปที่ 4.61



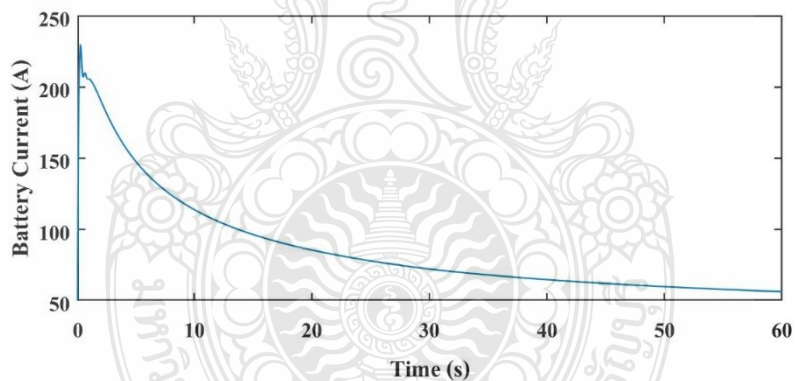
รูปที่ 4.62 กระแสเฟสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

กระแสเฟสของมอเตอร์การจำลองขับเคลื่อนต้านแรงลม ซึ่งลักษณะการทำงานของมอเตอร์นั้นมี ค่าคงที่สูงสุด 43.38 A ดังรูปที่ 4.62



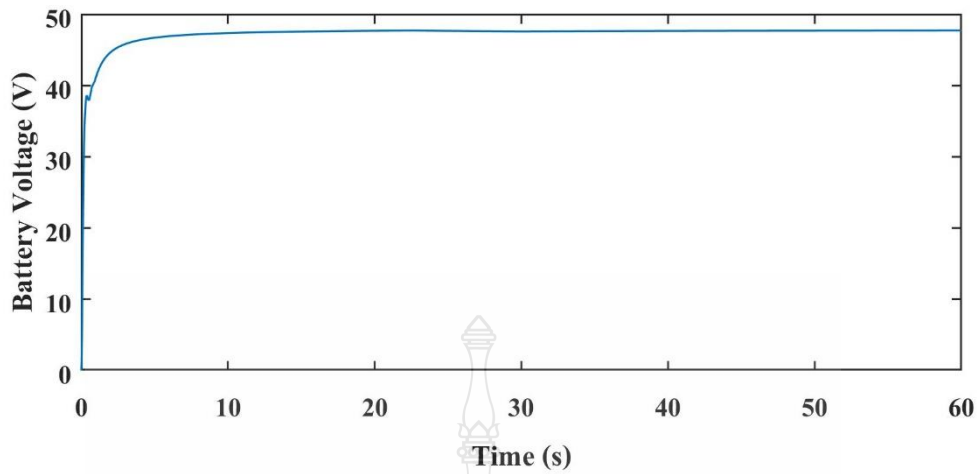
รูปที่ 4.63 แรงดันเฟสด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะการจ่ายแรงดันเนื่องจากควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่วินาทีที่ 30 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะขับเคลื่อนต้านแรงลมโดยมีค่าแรงดันขณะต้านแรงลมอยู่ที่ 45.65 ดังรูปที่ 4.63



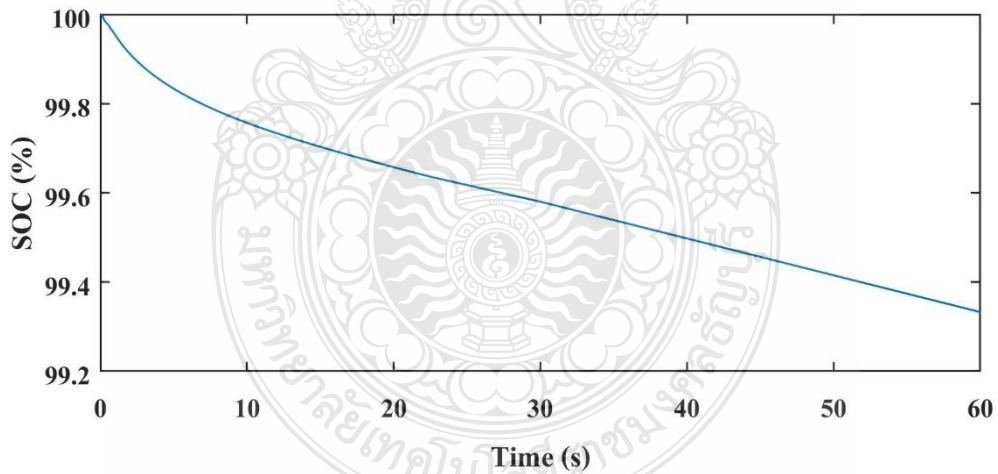
รูปที่ 4.64 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

กระแสของแบตเตอรี่ตอนยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่จะมีค่าสูงอยู่ที่ 237 A ดังรูปที่ 4.64 ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการเพื่อให้การใช้งานของยานยนต์นั้นมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.65 แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

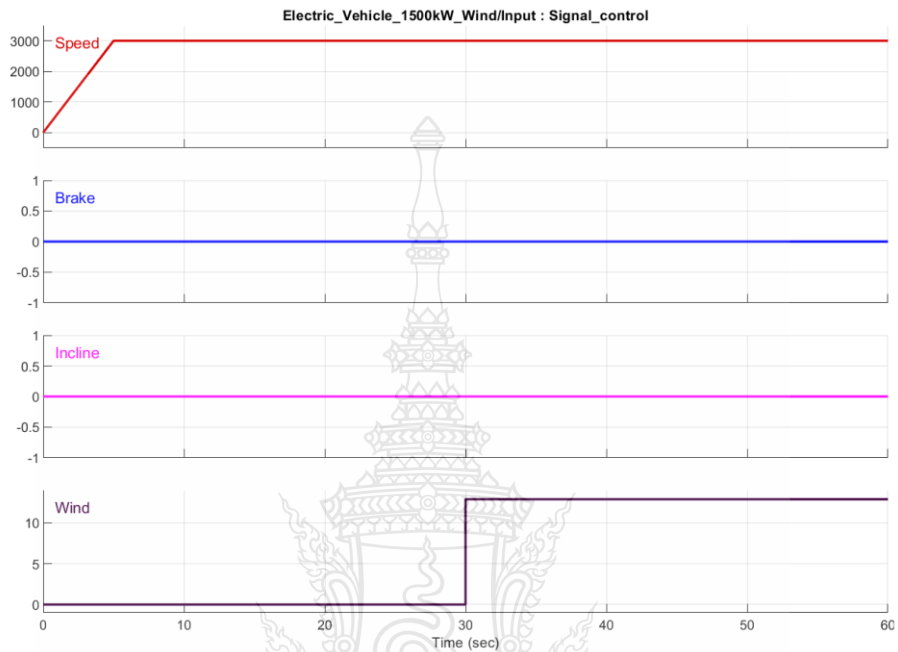
แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ถูกกำหนดไว้ที่ 48 Vdc จะสังเกตเห็นว่าเมื่อยานยนต์เริ่มเคลื่อนที่นั้น แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงชั่วคราวเนื่องจากต้องจ่ายกระแสสูงดังรูปที่ 4.65



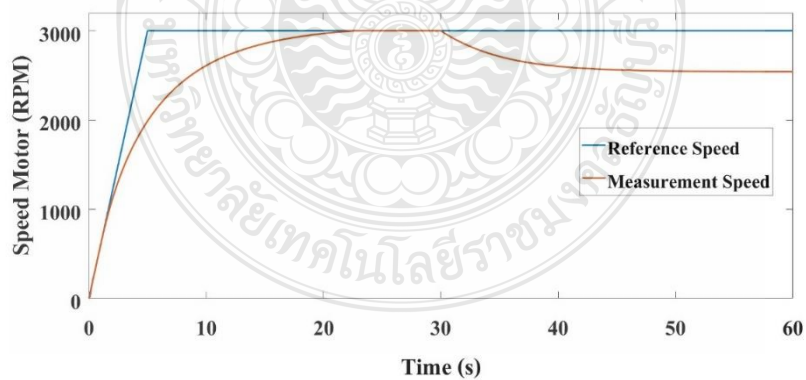
รูปที่ 4.66 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางรานั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 0.7 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.66

4.5.1 การทดสอบยานยนต์กับแรงต้านอากาศด้วยความเร็วลมที่ 12.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งการกำหนดสัญญาณความเร็วลมเริ่มที่เวลา 30 วินาทีถึง 60 วินาทีดังรูปที่ 4.67 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อความเร็วของยานยนต์เมื่อขับเคลื่อนแรงต้านอากาศ

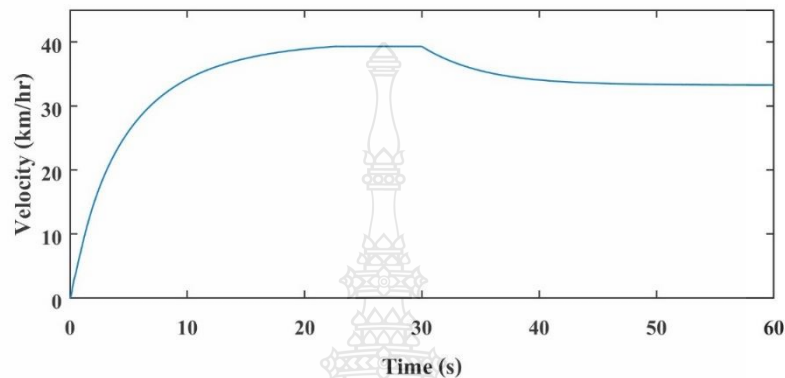


รูปที่ 4.67 สัญญาณควบคุมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้ากับแรงต้านทานความเร็วลม 12.9 km/hr



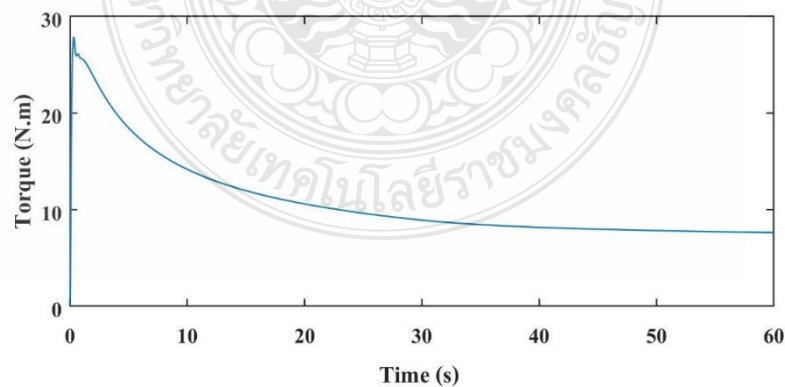
รูปที่ 4.68 ความเร็วของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.68 เส้นสัญญาณควบคุมมอเตอร์และเส้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าความแตกต่างกันอยู่คือ ลักษณะความเร็วขณะเริ่มเคลื่อนที่ และความเร็วเมื่อมีการเพิ่มความเร็วลมที่ 12.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อมีการเคลื่อนที่ต้านแรงลมความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากแรงต้านทานอากาศของลม ดังนั้นความเร็วรอบจะเริ่มมีค่าคงที่อยู่ที่ 2541 รอบต่อนาที



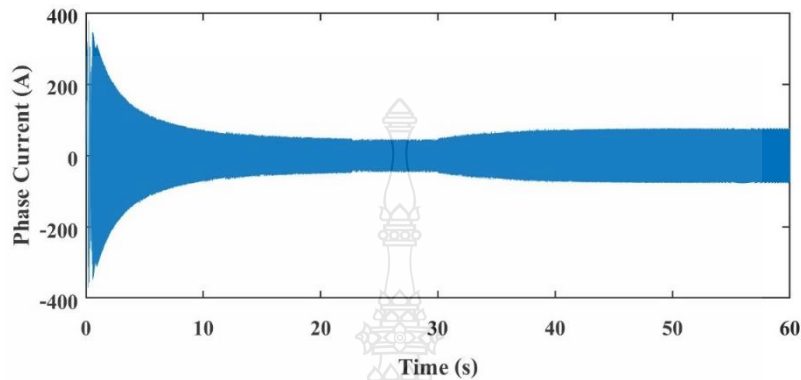
รูปที่ 4.69 ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าแรงต้านอากาศด้วยความเร็วลม 12.9 km/hr

จากการเพิ่มความเร็วลมในวินาทีที่ 30 ความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเร็วของยานยนต์รวมกับแรงเฉื่อยของยานยนต์ จึงสามารถขับเคลื่อนได้ในความเร็วที่ตกลงเพียงเล็กน้อยจากนั้นความเร็วของยานยนต์จะค่อยๆลดลงและมีค่าความเร็วคงที่อยู่ที่ 33.28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4.69



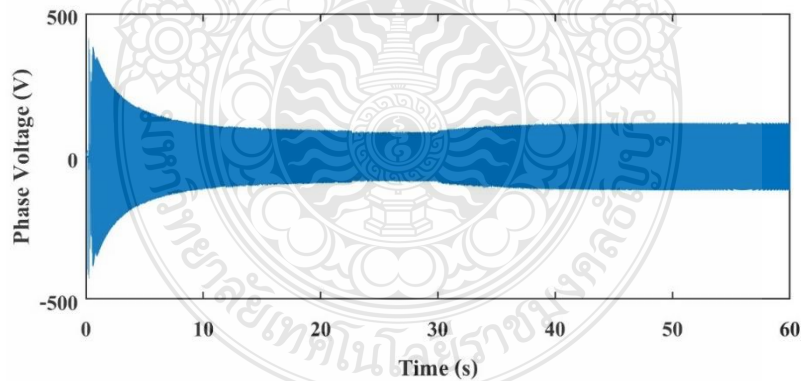
รูปที่ 4.70 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

แรงบิดของมอเตอร์เมื่อเริ่มต้านความเร็วลมที่วินาทีที่ 30 จะสังเกตเห็นว่าโดยปกติค่าแรงบิดควรจะลดลง แต่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนขึ้นทางชันจึงทำให้ค่าแรงบิดมาค่าคงที่อยู่ที่ 7.82 นิวตันเมตรดังรูปที่ 4.70



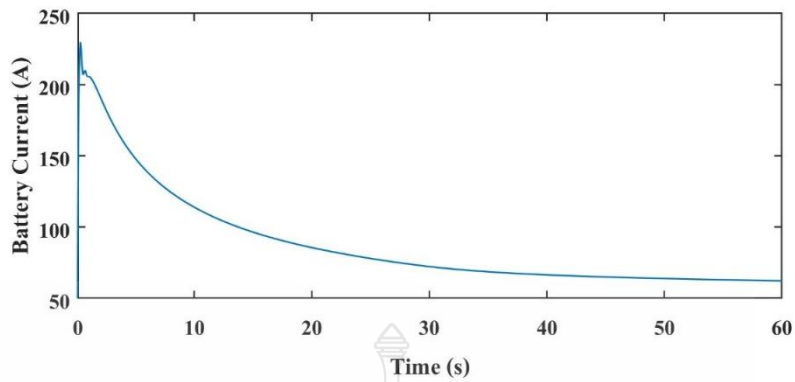
รูปที่ 4.71 กระแสต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

จากการจำลองกระแสไฟฟ้าที่เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าคงที่อยู่ที่ 58.41 A ขณะต้านอากาศด้วยความเร็วลม 12.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมงดังรูปที่ 4.71



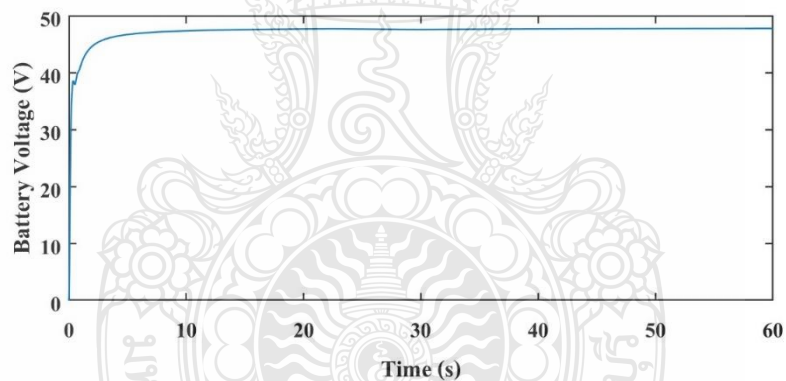
รูปที่ 4.72 แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

แรงดันต้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อมอเตอร์ต้องการกำลังเพื่อที่จะขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน จึงจำเป็นต้องใช้การแรงดันและกระแสที่มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.72 วินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60



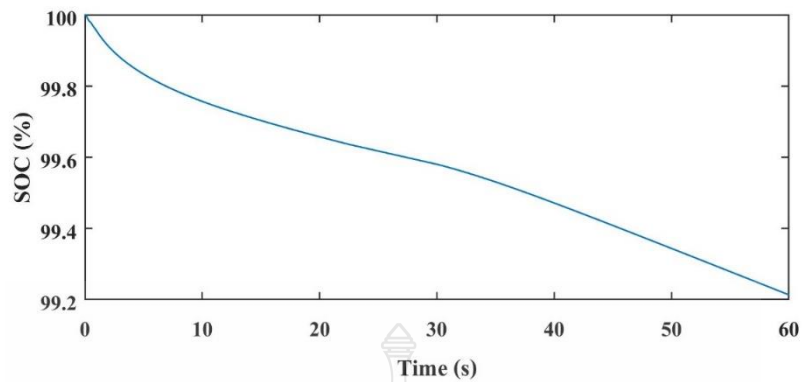
รูปที่ 4.73 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขณะขึ้นทางชันช่วงวินาทีที่ 30 ถึง วินาทีที่ 60 จะมีค่าคงที่อยู่ที่ 62.59 A ดังรูปที่ 4.73



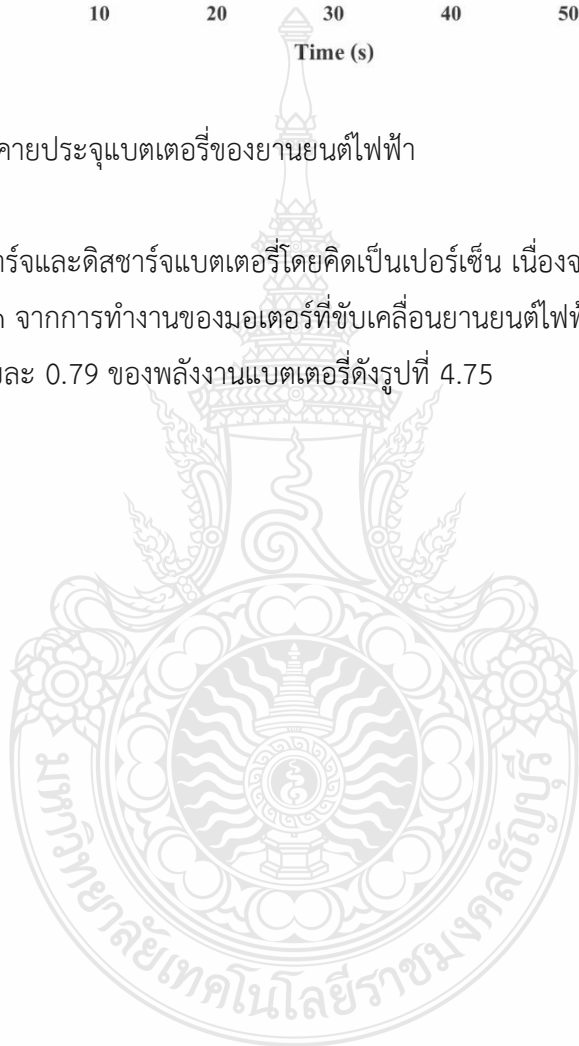
รูปที่ 4.74 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

ลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นเมื่อขึ้นทางชันจะมีค่าตกลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการจ่ายกระแสที่ยังไม่สูงมากนัก ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้ามียังคงอยู่ที่ 47.76 V ดังรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.75 กราฟการคายประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

อัตราการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกำหนดค่ากระแสของแบตเตอรี่ที่ 50 Ah จากการทำงานของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าบนทางชันนั้นทำให้ใช้ปริมาณพลังงานไปร้อยละ 0.79 ของพลังงานแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.75



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการศึกษาค้นคว้า ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัย เพื่อออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับใช้งานภายในชุมชน จึงได้ทำการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Matlab&Simulink ซึ่งการจำลองมุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมของการขับเคลื่อนยานยนต์ในลักษณะการเจออุปสรรคบนถนน ซึ่งมีรายละเอียดของผลการจำลองดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผลการวิจัย

การจำลองยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัยนั้นมุ่งเน้นเพื่อศึกษาออกแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยการกำหนด ค่าความเร็วสูงสุดของยานยนต์ตามกฎหมาย การขับเคลื่อนภายในแหล่งชุมชน ซึ่งมีค่ากำหนดความเร็วไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากข้อจำกัดทางความเร็วยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การออกแบบขนาดของยานยนต์ น้ำหนักของยานยนต์อยู่ที่ 300 กิโลกรัม และการกำหนดระยะทางในการขับเคลื่อนที่ 20 กิโลเมตร จึงสามารถคำนวณหา ค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองยานยนต์ไฟฟ้าได้ดังนี้ จากการคำนวณเพื่อหาแรงต้านทานรวมทั้งกระทำต่อยานยนต์ด้วยสมการที่ (3.17-3.19) ได้แรงต้านทานรวม 94 นิวตัน การหาขนาดของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านด้วยสมการที่ (3.21) จึงได้ขนาดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ 1277.78 วัตต์โดยคิดเพิ่มอีก 25 เปอร์เซ็นต์จึงได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ 1597 วัตต์ โดยเลือกขนาดมอเตอร์ 1500 วัตต์/3000 วัตต์สูงสุด ซึ่งต่อกับระบบขับเคลื่อนแบบ single speed ที่มีอัตราทด 1 ต่อ 8 โดยใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 3000 รอบต่อนาที จากการกำหนดระยะทางและการคำนวณกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์จึงหาค่าพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้ 48 V 50 Ah

จากการออกแบบการจำลองเพื่อหาพฤติกรรมการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าโดยการออกแบบแบ่งออกเป็น การขับเคลื่อนยานยนต์บนทางราบ การขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชัน การขับเคลื่อนยานยนต์ผ่านลูกระนาด การขับเคลื่อนยานยนต์ด้านทานอากาศ ซึ่งผลการจำลองของการขับเคลื่อนยานยนต์บนทางราบนั้นสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 39.3 km/hr ใช้พลังงานของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.7 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดของมอเตอร์ขณะความเร็วคงที่ 6.79 นิวตันเมตร แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะความเร็วคงที่มีค่า 47.43 V และ 55.67 A ตามลำดับ ผลการขับเคลื่อนยานยนต์ขึ้นทางชันแบ่งออกเป็น การทดสอบขึ้นทางชัน 4 ระดับ คือ ทางชัน 4 เปอร์เซ็นต์(2.29 องศา) ทางชัน 6 เปอร์เซ็นต์(3.43

องศา) ทางชั้น 12 เพอร์เซ็นต์(6.84องศา) และทางชั้น 36 เพอร์เซ็นต์(19.78องศา) ซึ่งจากการจำลอง ยานยนต์สามารถขึ้นทางชั้นได้ที่ทางชั้น 4 ทางชั้น 6 และ ทางชั้น 12 เพอร์เซ็นต์ แต่ในระดับทางชั้นที่ 36 ยานยนต์ไม่สามารถขึ้นได้เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไม่เพียงพอในการขับเคลื่อน ความเร็วในการขับเคลื่อนชั้นทางชั้น เพอร์เซ็นต์อยู่ที่ 30.29 km/hr ชั้นทางชั้น 6 เพอร์เซ็นต์อยู่ที่ 28 km/hr ทางชั้น 12 เพอร์เซ็นต์อยู่ที่ 19.45 km/hr โดยมีอัตราการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.82 0.9 1.2 และ 2.6 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการจำลองการเคลื่อนผ่านลูกระนาด โดยผลของพฤติกรรมจะมีช่วงของการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลงมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าสู่สถานะของเครื่องกำเนิดสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับได้ สูงสุด 128 A ในระยะเวลา 5 วินาที ขณะที่ยานยนต์เคลื่อนที่ขึ้นลูกระนาดนั้นมีค่ากระแสสูงมากอยู่ที่ 225 A เนื่องจากความชันของลูกระนาดที่กระทำต่อยานยนต์ ผลของแรงต้านทานอากาศด้วยความเร็วลมที่ความเร็ว 1.6 km/hr และ 12.9 km/hr ผลของแรงต้านทานทางอากาศด้วยความเร็วลม 1.6 km/hr มีผลกระทบต่อยานยนต์น้อยมากซึ่งไม่สามารถทำให้ความเร็วของยานยนต์นั้นลดลง แต่แรงต้านทานอากาศด้วยความเร็วลม 12.9 km/hr มีผลกระทบต่อยานยนต์คล้ายกับการขึ้นทางชั้น โดยผลกระทบทำให้ความเร็วของยานยนต์ลดลงอยู่ที่ 33.28 km/hr แรงบิดอยู่ที่ 7.82 นิวตันเมตร ค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ที่ 62.59 A และ 47.76 V ตามลำดับ จากผลการจำลองทั้งหมดของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถขับเคลื่อนบนถนนปกติที่มีอุปสรรคได้อย่างเช่นการขึ้นทางชั้นตามมาตรฐานของกรมทางหลวง การขับเคลื่อนผ่านลูกระนาด ดังนั้นการเลือกขนาดของมอเตอร์ที่ 1500วัตต์/3000วัตต์สูงสุด จึงเหมาะสมกับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีน้ำหนัก 300 kg สามารถขับเคลื่อนที่ความเร็ว 40 km/hr ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

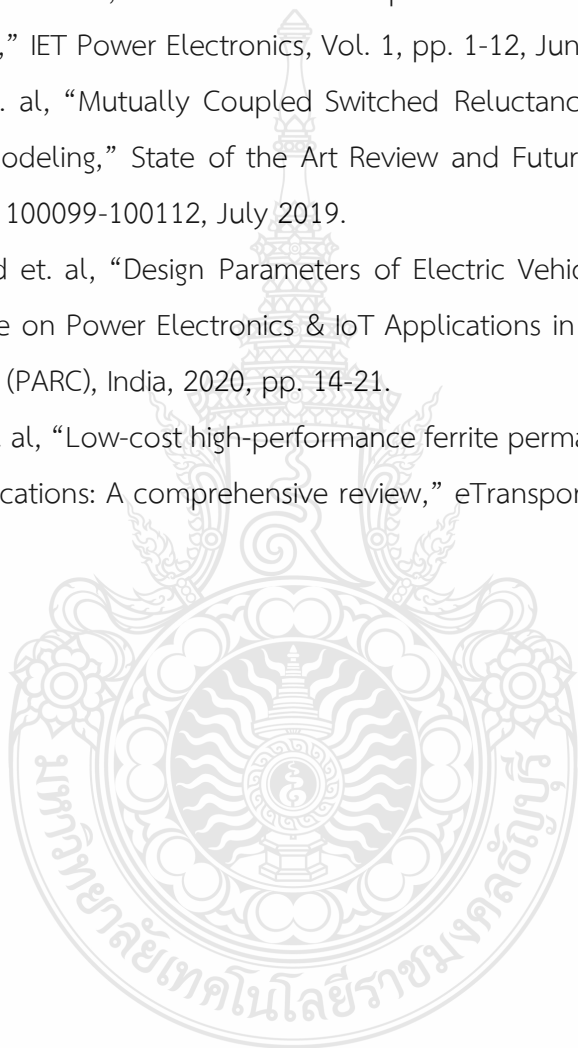
การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้สูงวัยนั้นถูกออกแบบด้วยสถานะการขับเคลื่อนบนทางราบ จากผลการทดสอบของยานยนต์พบว่าเมื่อเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคต่างบนถนน ประสิทธิภาพของมอเตอร์จึงลดลง ดังนั้นการคำนึงถึงอุปสรรคเช่น ความชันของถนน ขนาดของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว จึงมีส่วนในการออกแบบซึ่งจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้

บรรณานุกรม

- [1] พิมพ์พรรณ ศิลปสุวรรณ, “ผู้สูงอายุและความปลอดภัยในชีวิต: ความท้าทายของสังคมไทย,”วารสาร
สาธารณสุขศาสตร์, Vol. 3, pp.225-229, กันยายน-ธันวาคม 2558.
- [2] C.L. Xia, PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DC MOTOR DRIVES AND CONTROLS. First
ed. Singapore : John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [3] T.Y. Ho, “The Design of Motor Drive for Brushless DC Motor,” Electric Machines for
Smart Grids Applications, 2018, pp.73-85.
- [4] P.S. Vikhe, B. S. Shukla, C. B. Kadu, V. V. Mandhare, “Speed Control of BLDC Motor
using Open Loop, PID Controller and Neural Network,” International Journal of
Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 2019, pp.2210-2213-.
- [5] H. Heisler, Adanced Vehicle Technology. Second ed. Great Britain : Butterworth-
Heinemann. Inc., 2002.
- [6] R. Rajamani, Vehicle Dynamics and Contro. New York :Springer. Inc., 2006.
- [7] L. Nielsen, Automotive Control Systems. Second ed. Germany : Springer. Inc., 2005.
- [8] R. Stone, J.K. Ball, Automotive Engineering Fundamentals. United States of America :
SAE Permissions. Inc., 2004.
- [9] S.J. Rind, Y. Ren, Y. Hu, J. Wang, and L. Jiang, “Configurations and Control of Traction
Motors for Electric Vehicles: A Review,” Chinese Journal of Electrical Engineering,
Vol.3, No.3, December 2017
- [10] W. Martinez, C.A. Cortes, L.E. Munoz, and M. Yamamoto, “Design of a 200kW electric
powertrain for a high performance electric vehicle,” Ingenlería e Investlgación,
Vol.36, No.3, December 2016, pp. 66-73
- [11] R. Ramachandran , D. Ganeshaperumal, B.Subathra, “Parameter Estimation of Battery
Pack in EV using Extended Kalman Filters,” 2019 IEEE International Conference
on Clean Energy and Energy Efficient Electronics Circuit for Sustainable
Development (INCCES), Krishnankoil, India, August 2020
- [12] W. Wang, X. Chen and J. Wang, “Motor/Generator Applications in Electrified Vehicle
Chassis—A Survey,” IEEE TRANSACTIONS ON TRANSPORTATION
ELECTRIFICATION, VOL. 5, NO. 3, SEPTEMBER 2019, pp. 584-601


บรรณานุกรม(ต่อ)

- [13] Z.B. Omariba, L. Zhang, and D. Sun, "Review of Battery Cell Balancing Methodologies for Optimizing Battery Pack Performance in Electric Vehicles," IEEE Access, Vol. 7, pp. 129335-129352, September 2019.
- [14] M. Khosravi and et. al, "Review of model predictive control strategies for matrix converters," IET Power Electronics, Vol. 1, pp. 1-12, June 2019.
- [15] P. Azer and et. al, "Mutually Coupled Switched Reluctance Motor: Fundamentals, Control, Modeling," State of the Art Review and Future Trends," IEEE Access, Vol. 7, pp. 100099-100112, July 2019.
- [16] K.S. Reddy and et. al, "Design Parameters of Electric Vehicle," 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), India, 2020, pp. 14-21.
- [17] P.C. Luk and et. al, "Low-cost high-performance ferrite permanent magnet machines in EV applications: A comprehensive review," eTransportation, Vol. 6, 2020.



ภาคผนวก

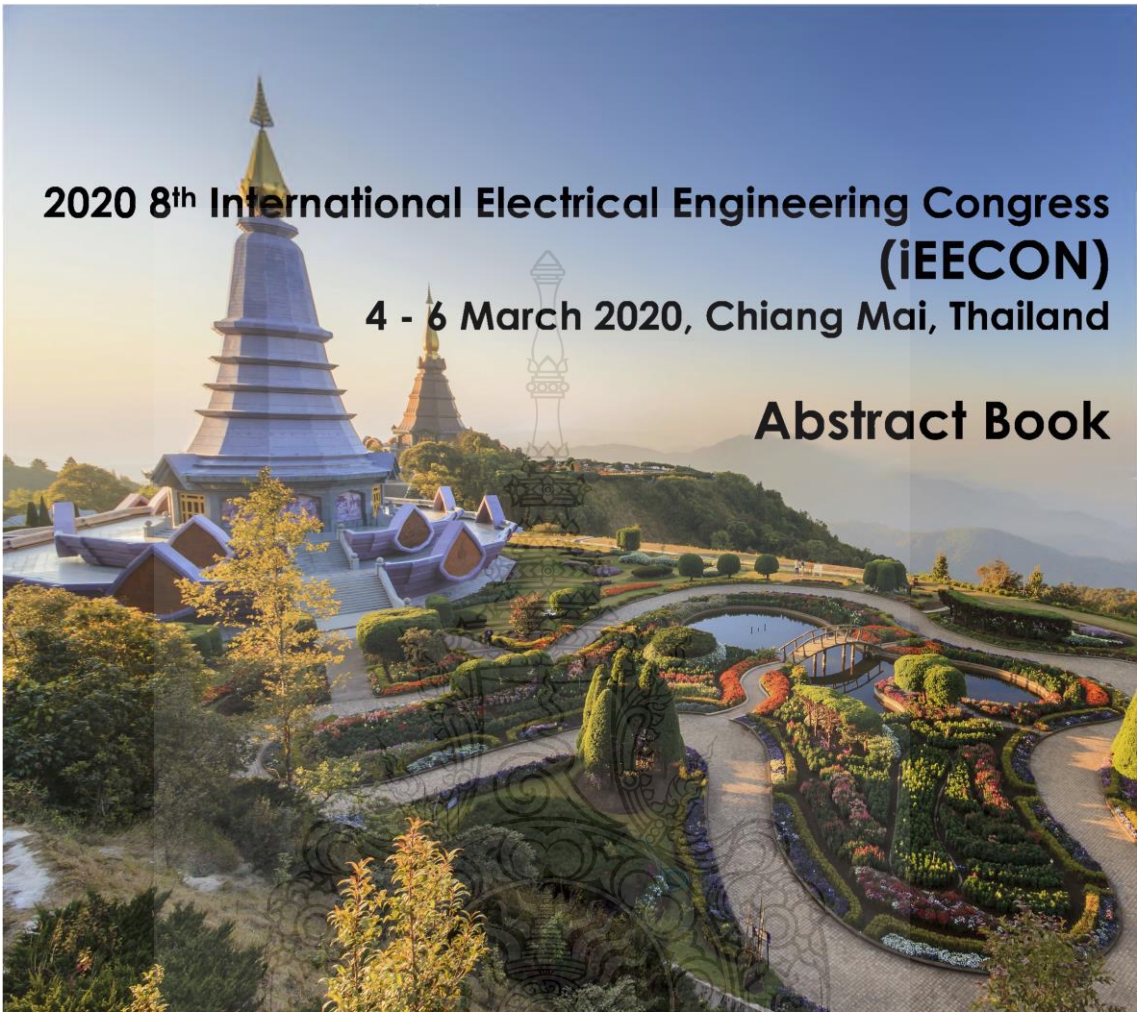




ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่

1. ธนัตถ์ เจนสัญญายุทธ และคณะ, Design of Solar-Powered Charging Station for Electric Vehicles in Power Distribution System
2. ธนัตถ์ เจนสัญญายุทธ และคณะ, การออกแบบพารามิเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก Design of Small Electric Vehicle Parameter



2020 8th International Electrical Engineering Congress (IEEECON)

4 - 6 March 2020, Chiang Mai, Thailand

Abstract Book

Organized & Technical
Co-sponsored by



Sponsored by





มหาวิทยาลัยนครพนม
NAKHON PHANOM UNIVERSITY

Call for Papers

The 2020 International Electrical Engineering Congress (iEECON2020) is a premier international academic conference organized by the Electrical Engineering Academic Association of Thailand (EEAAT). The iEECON2020 will provide a forum for researchers, engineers and industry experts to discuss recent developments, new ideas and breakthroughs in Electrical Engineering technologies. Topics of interest include power & energy, communications, electronics & control, digital signal processing, and computer & IT. Each manuscript will be peer-reviewed, and revised according to the reviewers' comments. All accepted and presented papers will be published in the abstract book of iEECON2020, and will be submitted for inclusion in the IEEE Xplore database. The iEECON2020 will be held in Chiang Mai, Thailand. Chiang Mai is the largest city in northern Thailand. Chiang Mai city sits astride the Ping River. Chiang Mai is a land surrounded by misty mountains. With many colorful hill tribes, it is a playground of seasoned travelers, a paradise of shoppers, and an exciting for adventurers. There are so many things to do in Chiang Mai, including visit Doi Suthep and Doi Inthanon National Park, shopping at Night Market, look and see many natural parks.

The list of topics of interest includes (but not limited to)

- **Power & Energy:** Smart Grid Technology, Planning, Management Operation and Control, Electrical Power Systems, Generation Transmission and Distribution, Electrical Machines, Energy Conversions, Renewable Energy Sources, Power Electronics, Energy Systems, Power Quality, High Voltage Engineering, Insulation and Materials, etc.
- **Communications:** Communication Theory, Antennas and Propagation, Optical Communications, Signal Processing for Communications, Channel Coding, Multimedia Communications, Remote Sensing and Applications, Metamaterials, etc.
- **Electronics & Control:** Analog Circuits, Filters and Data Conversion, Analog and Mixed Signal Processing, Embedded Computer System, Robotics, VLSI Design, Biomedical Electronics, Industrial Electronics and Automation, Adaptive Control, Electric Circuit Technology, Fault Tolerance and Detection, Semiconductor Materials, Magnetic Materials, etc.
- **Digital Signal Processing:** Image and Video Processing, Audio and Speech Processing, Pattern Recognition, Biomedical Signal Processing, Computer Machine Vision and Pattern Recognition, Adaptive Signal Processing, Machine Learning for Signal Processing, etc.
- **Computer & IT:** Computer Networks, Cloud Communication and Networking, Data Mining, Artificial Intelligence, Computational Theory, Information System, High Performance Computing, Computer Security, Software Engineering, Distributed and Parallel Computing, Web Services and Internet Computing, Multi-agent Systems, Human Computer Interactions, etc.

Paper Submission

Papers must be written in English. Authors are invited to submit full paper (PDF) through the iEECON submission system. The paper size must be A4 and its length is not to exceed 4 pages.

Important Dates

Paper Submission Deadline : October 20, 2019
Notification of Acceptance : December 20, 2019
Final Camera Ready : January 20, 2020
Early-Bird Registration: January 20, 2020

Honorary General Chair

Pattanapong Wanchantuek (NPU, Thailand)

General Chair

Sanun Srisuk (NPU, Thailand)

International Steering Committee

Andrea Bonfiglio (UNIGE, Italy)
Athikom Roeksbutr (MUT, Thailand)
Christof Humpert, (TH-KOELN, Germany)
Frank Jaffer, (SENKO, Australia)
Hiroshi Matsuno (Yamaguchi Univ., Japan)
Ian Grout, (UL, Ireland)
Koichi KUZUME (NIT, Japan)
Mithulan Nadarajah, (UQ, Australia)
Prayoot Akkaraekthalin (KMUTNB, Thailand)
Sri Niwas Singh, (IITK, India)
Tsaifu Wu, (NTHU, Taiwan)
Tim Mews (University of Alabama, USA)

Technical Program Chairs

Komkrit Chooruang (NPU, Thailand)
Pantree Kompittaya (NPU, Thailand)

Technical Program Committee

Apirat Sirtaratwat (KKU, Thailand)
Chaiwut Chat-uthai (KMUTL, Thailand)
Issa Batarseh, (UCF, USA)
Kosin Chamongthai (KMUTT, Thailand)
Mark Re (Seagate Technology, USA)
Ming Dong, (XJTU, China)
Nosrat Granpayeh, (KNTU, Iran)
Philip N. Ji, (NECLab, USA)
Sarah Thompson (University of York, UK)
Somchai Hiranvarodom (RMUTT, Thailand)
Thas A Nirmalathas, (UNIMELB, Australia)
Vichate Ungvichian (FAU, USA)
Vo Ngoc Dieu, (HCMUT, Vietnam)

Local Organizing Committee

Apiwut Kaewsong (NPU), Publicity
Damrongsak Arunyagool (NPU), Finance
Kitchanut Ruamboon (NPU), Publicity
Chanwit Suwannapong (NPU), Publication
Nutthaphong Sonard (NPU), Exhibition

Organized by Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University. Email : ieecon2020@gmail.com

Design of Solar-Powered Charging Station for Electric Vehicles in Power Distribution System

Thanat Jensanyayut¹, Tiphacha Phongtrakul¹, Kulsomsap Yenchanchalit¹, Yuttana Kongjeen²,
Krischonme Bhumkittipich^{1*}, and Mithulananthan Nadarajah³

¹Power and Energy System Research Center, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand.

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakornrachasima, Thailand.

³Power and Energy System group, School of ITEE, University of Queensland, Brisbane, Australia.

*e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th; ORCID: 0000-0003-3917-4828

Abstract—This paper presents an analysis of installation of solar powered charging station in power distribution system. The 9-bus primary distribution system was used to test the power flow using the Newton Raphson method, comparing the size and voltage angle with the DigSILENT program. The 3-bus test system is used to analyze the installation of the charging station for a solar electric vehicle in distribution system. The power flow was analyzed by determining the solar energy source and the electric vehicle load in time series. The model of solar charge stations and the size of electric vehicles are determined at 100 kWh. The results of the power flow test using the Newton Raphson method found that the test results were in error by comparing the size and voltage angle with the DigSILENT program that maximum value of at Bus no. 9 is 2.04% and -3.91%, respectively. While testing the analysis of solar powered charging station, it is found that the charging time will affect the power loss of the system and the maximum energy demand. The simulation, it is found that the suitable solar panel size must be greater than 7.39 kWp. Therefore, the electrical system design study using the PyPSA program to analyze of the solar powered charging station in distribution system shows the application in the design of the electrical system to support the load expansion from of electric vehicles and solar powered charging stations in the future.

Keywords— power system analysis, electric vehicle, solar powered charging station

I. INTRODUCTION

With increased popularity of electric vehicles (EVs) and increased awareness of renewable energy system (RES), smart charging of EVs would be crucial to enable EV owners or EV charging facilities to align effectively with available local RES generation, available charging times and at the same time maximize profits by taking into consideration the variance in grid prices[1]. The four main areas of research discussed in modern power system as shown in Fig.1 are: power system infrastructure arrangement, grid-connected PV charging systems, EV load demand in a workplace environment, and power management in RES integrated EV charging systems.

Essentially, the study of power management its RES integrated EV charging systems is to figure out the weak point or strong point of the electrical power network. For this reason, controlling for increased reliability in the power system was essential for the electrical power system. Many researchers interested in researching and discovering the new methodology and resources, such as free software to help with computing, can be defined as discussed in [1-4].

The free software used to solve the problem of electrical power and to increase the request to the degree that the

analytical results can be interpreted at an acceptable level as shown in [5-8]. Python-based Power System Analysis (PyPSA) is a popular free software that can be used to solve the electrical power system network. The advantage of the PyPSA toolbox is that it can be flexibly updated in modeling tools, loosely evaluated tools, dynamic response and the power system network can be easily designed. Therefore, this paper aims to solve the power system study by using the PyPSA toolbox that can be modeled in the 9-bus test system's radial distribution system. The simulation results will be compared with the DigSILENT program in voltage magnitude and voltage angle profiles [9].

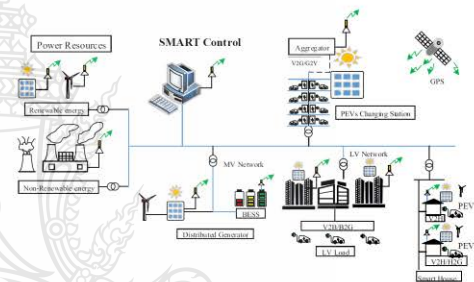


Fig.1. Modern power system for EV charging station allocation.

This paper is organized as follows. First, the solar-powered charging station concept is described. Then, the electrical system model based on PyPSA toolbox is proposed in section 3. Section 4 shows the simulation results. Finally, the conclusions and future work are presented in section 5.

II. SOLAR-POWERED CHARGING STATION CONCEPT

A solar-integrated charging station for electric vehicles was built. The charging system is fitted with a PV array, charging unit, battery pack, and bi-directional inverter for load response. The bi-directional inverter controls the power flow between the different units[10-15]. It has two DC ports connected to the PV panel and battery storage, and two AC ports connected to the utility grid and the EV charger, respectively. Solar PV electrical energy projection and EV charging demand projection are introduced into the energy management system to optimize the buffer battery state of charging (SOC), maximize the use of PV electricity for EV charging, and avoid EV charging during peak hour[16-18]. The charging station has been continuously operated and used for a year by several EV users. Every minute was registered

*Corresponding Author E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

the EV charging a load, PV power, grid power, and cell voltage of each cell. The research gathers data from both the battery management systems (BMS) and the real-time controller and evaluates the operation of the system and the performance of the battery. Fig. 2 shows an example of a solar-powered electric vehicle charging station [19].



Fig.2. The example of solar-powered charging station for electric vehicle.

The control strategy was developed with the goal of optimizing PV power for EV charging and increasing the exchange of electricity with market and system demand. When an EV is connected to the battery, if available, the PV energy is used to charge the EV. If more power is needed, the battery or / and utility grid will provide the remaining power. If no electric vehicle is plugged in, PV energy will be stored in the battery and excess PV power will be fed into the utility grid if the battery is fully charged. When the battery charge is low, grid power is used during off-peak hours to bring the battery state-of-charge (SOC) to an optimal level. Based on the estimation of PV electricity and the projections of EV charging demand, the optimal battery SOC is calculated [20].

III. ELECTRICAL SYSTEM BASED ON PYPSA TOOLBOX

Recently, the free software to solve the analysis of the power system is that and important to solve the electrical power system problem. PYPSA toolbox is one of Python's program-based free software [21]. To solve the power load flow, the PYPSA toolbox can be used to cover the analysis of the time variant. The parameters or data of the electrical component are modelled from the actual electrical component consisting of bus type, load model, line model, transformer model, in order to be solved in static or dynamic analysis.

The power load flow each bus for giving the input data as same as load data and power plant dispatch that are represented each bus i as shown in (1) [22].

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* = V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \quad (1)$$

where Y_{ij} is the matrix for the entry of the bus and V_i is the dynamic voltage. In the meantime, PV and PQ are the bus sets and the cloud as expressed in (2)-(3) is specified.

$$\text{Re} \left[V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \right] - P_i = 0 \quad \forall i \in PV \cup PQ \quad (2)$$

$$\text{Im} \left[V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \right] - Q_i = 0 \quad \forall i \in PQ \quad (3)$$

Therefore, it is necessary to find the special parameters $\theta_i \forall i \in PV \cup PQ$, and $|V_i| \forall i \in PQ$, respectively. By using the equation $f(x) = 0$, the Newton- Raphson method is chosen to represent in Jacobian method by using the equation as shown in (4).

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Generally, the initial condition values are defined $\theta_i = 0$ and $|V_i| = 1$ for determining the unknown quantities. Each electrical component model is described by the PyPSA toolbox from the actual electrical power system [1].

IV. SIMULATION RESULTS

The PyPSA toolbox in Python programming, considered using a 9-bus radial distribution system to compare commercial programming with DigSILENT[26], is under investigation condition. The 9-bus radial distribution system details are single line diagram power system circuits as shown in Fig.3. In this paper, the power system analysis method is selected for static analysis and assumed to be the same as all transmission line length and all test load as shown in Appendix. The PyPSA toolbox can generally represent the modeling of each electrical component connected to the power system. To show the proposed study and apply it to the actual electrical power system. To adapt the PyPSA toolbox to solve the power load flow, the test system is selected on uncomplicated and in condition. Basically, each proposed power system network can be modified in this study to solve the problem.

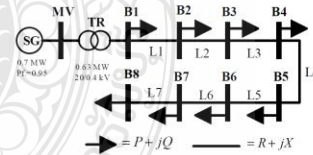


Fig. 3. Single line diagram of 9 bus test system.

The simulation method compares the study of the power flow between the PyPSA toolbox in Python and DigSILENT. For computing the charging station sizing and PV sizing, the voltage profiles of each bus are represented with different EV load models [27]. The case studies can be classified as follows in three cases:

Table 1: the voltage amplitude profiles of 9-bus test system from PyPSA and DIgSILENT simulation.

Details	Bus Number								
	MV	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
PyPSA(p.u.)	1.02	0.98	0.94	0.91	0.88	0.85	0.84	0.82	0.82
DIgSILENT(p.u.)	1.02	1.01	0.97	0.94	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86
Diff.(%)	0.000	2.77	3.17	3.62	3.94	4.26	4.57	4.75	4.78

Table 2: the voltage angle profiles of 9-bus test system from PyPSA and DIgSILENT simulation.

Details	Bus Number								
	MV	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
PyPSA (Degree)	0	-3.51	-4.82	-6.03	-7.12	-8.05	-8.78	-9.28	-9.54
DIgSILENT (Degree)	0	-1.84	-3.14	-4.33	-5.39	-6.28	-6.98	-7.45	-7.69
Diff.(%)	0.00	1.67	1.68	1.7	1.73	1.77	1.8	1.83	1.85

Case Study 1: Power flow analysis

This case study will analyze the analysis of power flow by using the PyPSA toolbox on the Python program compared to DIgSILENT simulation results. To demonstrate the voltage profiles and voltage angle of each bus, the 9-bus radial test model was chosen. The voltage profiles in per unit (p.u.) are displayed from Table 1, and the percentage error value of the voltage profile also expresses between two programs. Up to 4.79 percent of error occurred on bus No. 8, compared to PyPSA and DIgSILENT in percentage, the voltage angles of each bus were shown in Table 2. The total error in bus no. 8 is 1.85 degree.

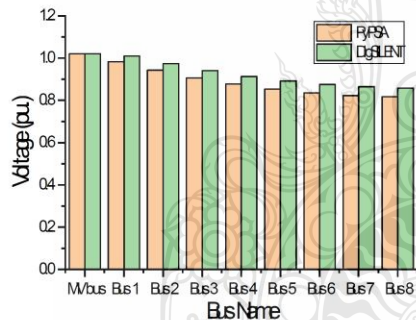


Fig. 4. The comparison of voltage amplitude profiles of 9-bus test system.

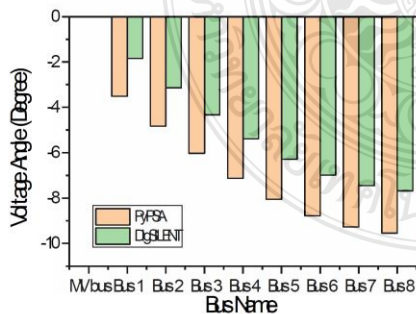


Fig. 5. The comparison of voltage angle profiles of 9-bus test system.

Fig. 4 shows the 9-bus test system voltage profile comparing PyPSA to DIgSILENT programs. As a result, the simulation results found that PyPSA voltage profile value is less than DIgSILENT voltage profile in the same direction. The voltage angles of the 9-bus test system were also shown in Fig.5. The PyPSA's voltage angle values are higher than DIgSILENT's performance.

Case study 2: Electric vehicle model

This case study proposed that the electric vehicle use PyPSA to calculate the size of the charging station and PV sizing. The condition of the parameter was specified as follows: The efficiency of the charging station is 95%, the size of the electric vehicle is 0.2 kWh/km, the driving distance of the electric vehicle is 200 km throughout the day (24 hours), and the solar-powered charging station was designed as a PV rooftop installation in this study. The analysis of the simulation will be divided into 3 categories, the first case being the charging time is 3 hours and the charging power is 6.67 kW / hr. The second case is 2 hours charging time and 610 kW / hr charging energy. The final case is 1 hr charging time and 20 kW / h charging capacity. Table 3 shows the size of PV and the power loss of three case studies which case study 1 has the minimum size of PV and the minimum power loss.

Fig. 6 shows the results of the simulation in case study 1 which is about 3 hours in the morning and in the evening. The maximum energy demand is about 6 kW and the maximum energy in the operation of the AC-DC converter is 1 kW. Fig. 8 shows a simulation of 5 kW charging capacity. If the battery energy is considered in this study, the maximum charge at the household is 35 kW.

Fig. 7 shows the simulation results in case study 2 which charging time is about 2 hrs on morning and evening time. The maximum energy demand is about 10 kW and the maximum energy of AC-DC converter operation is 1 kW. Fig. 8 shows the case study 2 simulation which charging power is 10 kW. If this study considers the battery energy, the maximum charging is 40 kW at household. Fig. 9 shows the simulation results in case study 3 which charging time is about 3 hrs on morning and evening time. The maximum energy demand is about 20 kW and the maximum energy of AC-DC converter operation is 1 kW.

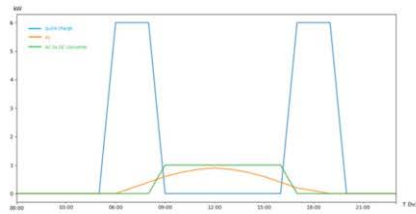


Fig.6. Sizing of charging station and PV in case study 1.

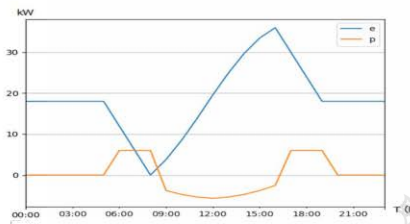


Fig.7. The charging power (p) and battery energy in case study 1.

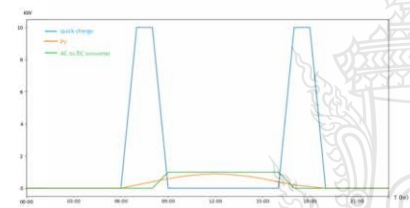


Fig. 8. Sizing of quick charging station and PV in chase study 2.

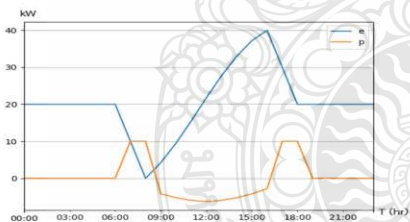


Fig. 9. The charging power (p) and battery energy in case study 2.

V. CONCLUSION

This paper proposed the analysis of solar-powered charging station in power distribution system for computing the sizing of charging station and PV panel. The power flow analysis was studied by using PyPSA and DigSILENT on 9-bus test system. The voltage and angle profiles on case study 1 have the error about 2.04% and 3.91%, respectively. The model of solar charge stations and the size of electric vehicles are determined at 100 kWh. The results of the power flow test using the Newton Raphson method found that the test results

were in error by comparing the size and voltage angle with the DigSILENT program that maximum value of at Bus no. 9 is 2.04% and -3.91%, respectively. While testing the analysis of solar powered charging station, it is found that the charging time will affect the power loss of the system and the maximum energy demand. The simulation, it is found that the suitable solar panel size must be greater than 7.39 kWp. Therefore, the electrical system design study using the PyPSA program to analyze of the solar powered charging station in distribution system shows the application in the design of the electrical system to support the load expansion from of electric vehicles and solar powered charging stations in the future.

REFERENCES

- [1] Bilgin and A. Emadi. "Electric Motors in Electrified Transportation: A step toward achieving a sustainable and highly efficient transportation system," *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 10-17, 2019.
- [2] Anna Kijewska and Anna Bluszcz. "Analysis of greenhouse gas emissions in the European Union member states with the use of an agglomeration algorithm," *Journal of Sustainable Mining*, vol. 15, no. 4, pp. 133-142, 2016.
- [3] International Energy Agency. "Oil Medium-Term Market report 2016." 2016.
- [4] Chen Aoxia and P. K. Sen. "Advancement in battery technology: A state-of-the-art review," in *2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, pp. 1-10, 2016.
- [5] Heide Budde-Meiwes et al. "A review of current automotive battery technology and future prospects," in *The Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, vol. 227, pp. 761-776, 2016.
- [6] Marek Palinski, "A Comparison of Electric Vehicles and Conventional Automobiles: Costs and Quality Perspective," Bachelor, Bachelor thesis in Business Administration, NOVIA, 2016.
- [7] T. E. Norbeck, "Incentives and infrastructure — Crucial elements in the build-up of Norway's EV fleet," in *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, pp. 1-4, 2013.
- [8] F. Carranza, O. Paturet, and S. Salera. "Norway, the most successful market for electric vehicles," in *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, pp. 1-6, 2013.
- [9] Kang Miao Tan, Vigna K. Ramachandaramurthy, and Jia Ying Yong. "Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 720-732, 2016.
- [10] O. Erdinc, N. G. Paterakis, T. D. P. Mendes, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalão. "Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 3, pp. 1281-1291, 2015.
- [11] N. Rahbari-Asr, M. Chow, J. Chen, and R. Deng. "Distributed Real-Time Pricing Control for Large-Scale Unidirectional V2G With Multiple Energy Suppliers," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 5, pp. 1953-1962, 2016.
- [12] M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto. "Effective Utilization of Available PEV Battery Capacity for Mitigation of Solar PV Impact and Grid Support With Integrated V2G Functionality," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1562-1571, 2016.
- [13] R. Tatro, S. Vadhva, P. Kaur, N. Shahpatel, J. Dixon, and K. Alzanon. "Building to Grid (B2G) at the California Smart Grid Center," in *2010 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration*, pp. 382-387, 2010.
- [14] M. A. Hamman, M. M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob. "Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 771-789, 2017.
- [15] Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich. "Impact of Plug-in Electric Vehicles Integrated into Power Distribution System Based on Voltage-Dependent Power Flow Analysis," *Energies*, vol. 11, no. 6, 2018.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 13 เล่ม 2

12-14 พฤษภาคม พ.ศ.2564 (ONLINE)

สถาบันวิจัยและพัฒนา - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



EENET 2021

The 13th Electrical Engineering Network 2021
of Rajamangala University of Technology

Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง
- อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- ระบบควบคุมและการวัด
- การประเมินผลสัญญาณดิจิทัล
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า
- หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า



คณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ เกิดชื่น	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุดมলেখกะ	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำนำน	รองประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพานโต	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประหยัด กองสุข	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุคเจือจิ้น	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี ศรีสงคราม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิชัย สว่างาม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัทธิชัย บุญปิยทัศน์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกวิทย์ หายักวงษ์	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ	กรรมการและเลขานุการ



คณะกรรมการ IEEE PES Thailand Chapter

รศ.ดร.นพ ลีปรีชานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	Vice Chairman ด้าน Meeting & Conference, IEEE PES
นายสมชาย หอมกลิ่นแก้ว	รองผู้อำนวยการ การไฟฟ้านครหลวง	Vice Chairman ด้าน Technical Seminar, IEEE PES
ศศ.ดร.ดุสิตพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Vice Chair ด้าน Students & Membership Activities, IEEE PES
รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	Committee, IEEE PES
รศ.ดร.ชนพงษ์ สุวรรณศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	Committee, IEEE PES
รศ.ดร.สมพร สิริสำราญกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	Committee, IEEE PES
ศศ.ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Committee, IEEE PES
ดร.ประดิษฐพงษ์ สุขศิริถาวรกุล	Hitachi ABB Power Grids (Thailand)	เลขานุการ IEEE PES



คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

ดร.กิจจา ไชยหนู	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
ดร.อนุสรณ์ ยอดใจเพชร	หัวหน้าสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	ประธานกรรมการ
อาจารย์เพลิน จันสุขะ	หัวหน้าหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า	รองประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศรีกรณ์ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค ให้อ่องคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประมวล ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิ ไกร จันทรชามเรียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี	กรรมการ
ดร.วีระ ชันยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
ดร.สุวัฒน์ กิจเจริญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
ดร.ไพพรรณ เกิดตรวจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ
ดร.กัญญา ชัยอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ
นายปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ
นางสาววรภรณ์ ลือใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
นายกรณย์ ศิริจันทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
รองศาสตราจารย์ ดร.คนุพล คำปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สาครรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภาก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.วัจนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประหยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต จันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณเกียรติ์ เสวตเมธิกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย แคนแอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนา คูสิคการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ สุดคนึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎาพร สदानทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นฤกุลเจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไกรฤกษ์ เชยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัญชา เหลือแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสพโชค โห้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรจักร เมืองใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพดี หัดดลสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ยาอุทมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพพร พัชรประภคิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ เมตไตรพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ปงลังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาสิต ศรีทะแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภัสร์ขจรณ์ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพล จันทร์หอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย คล้ายคลึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรพิน ชานูนำสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครองกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพรรณ แซ่เล้า	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ รมพุมตาล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐทิ ถึงสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ รักผกาวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริภพ ตู้ประกาย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตินันท์ ราชบุรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อองอาจ แสคใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายอดิศักดิ์ แข็งสารกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.สิทธิบูรณ์ ศิริพร อักษรชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ทีเก้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิตินันท์ สมไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤติเดช บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ เผื่อนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันธุ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรวัฒน์ บุตรบุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกวิทย์ หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณิศร์ มาตรา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พกิง สุวัคคี่	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์	มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สรร รัตนสัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ ดร.กวีวัชร ทัดวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.วิเชียร อุปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ปรัชญา มงคลไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

อาจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.จักรกฤษ ใหม่แสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.สมนึก สุระธง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.กัంగాญจน์ ปวนสุรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
อาจารย์ ดร.อนุสรณ์ ยอดใจเพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
อาจารย์ ดร.มาลีษา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.พุทธณา คงจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.มงคล คำนำรุ่งตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.ไพวรรณ เกิดตรวจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.กัญญา ชัยขอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ ดร.วีระ รัตนภักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ ดร.สุธาสนี คุปตะบุตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
อาจารย์เมธา ทิศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ธิติพร ประมวน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์นารี รุจิคามพ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์สุทธิพันธ์ อักษรเนียม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์ชำนาญ ปัญญาใส	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)



สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณา

ไฟฟ้ากำลัง (PW)	23	บทความ
อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร (EC)	18	บทความ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)	20	บทความ
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)	21	บทความ
ระบบควบคุมและการวัด (CT)	17	บทความ
พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)	36	บทความ
นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)	64	บทความ
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)	37	บทความ
หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า (SS)	1	บทความ
รวมทั้งสิ้น	237	บทความ



สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณาแยกตามหน่วยงาน

โรงเรียนนายเรือ	2	บทความ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (วิทยาเขตระยอง)	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	5	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี	4	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	20	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	4	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	6	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	9	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	12	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	4	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา	8	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	16	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	15	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	2	บทความ
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	2	บทความ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น	3	บทความ
มหาวิทยาลัยทักษิณ	1	บทความ
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	2	บทความ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	2	บทความ
มหาวิทยาลัยนเรศวร	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนครพนม	9	บทความ
มหาวิทยาลัยบูรพา	4	บทความ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	4	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ	2	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด	4	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี	1	บทความ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	9	บทความ
มหาวิทยาลัยศิลปากร	3	บทความ
มหาวิทยาลัยสยาม	3	บทความ
วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร	1	บทความ
วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี	1	บทความ
วิทยาลัยเทคนิคสุโขทัย	1	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	10	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	3	บทความ
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่	14	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงราย	43	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก	5	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง	5	บทความ
รวมจำนวนสถาบันที่ร่วมนำเสนอบทความ	49	สถาบัน

ร่างกำหนดการประชุมวิชาการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 แบบ Online

(The 13th Electrical Engineering Network 2021)

ระหว่างวันที่ 12-14 พฤษภาคม 2564

Wednesday 12th May 2021	
09.00 - 09.30	พิธีเปิด โดยนายสว่าง ภูพัฒน์วิบูลย์ ประธานกรรมการคณะบุคคลปฏิบัติหน้าที่แทนสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
09.30 - 10.00	Opening Ceremony & Presentation of EENET Association
10.00 - 10.30	บรรยายพิเศษ ดร.ถุณณพงค์ กิรติกร
10.30 - 11.00	บรรยายพิเศษ ประธานบริษัท SNC
11.00 - 12.00	เสวนาหัวข้อ “การสร้าง 9 RMUT platform เพื่อการปฏิรูปและพลิกโฉมประเทศ”
12.00 - 13.00	Lunch
13.00 - 13.30	Keynote Speaker 1 ศ.ดร. อรรถกร เก่งพล
13.30 - 13.40	Break
13.40 - 14.10	Keynote Speaker 2 รศ.ดร. สมพร สิริสำราญนุกูล
14.10 - 14.20	Break
14.20 - 14.50	Keynote Speaker 3 รศ.ดร. ยุทธนา จำสุวรรณ์
14.50 - 15.00	Break
15.00 - 15.30	Keynote Speaker 4 รศ.ดร. ศราวุธ ชัยมูล
15.30 - 15.40	Break
15.40 - 16.10	Keynote Speaker 5 อ.พัศพันธ์ สุวรรณทัต

A12

12-14 พฤษภาคม พ.ศ.2564 (ONLINE)

สถาบันวิจัยและพัฒนา - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



การออกแบบพารามิเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

Design of Small Electric Vehicle Parameter

ธนัตต์ เจนสัญญาบุตร¹, ศิริชัย บดงอเม² และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภคพิชญ์³

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อัญมณีบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 0-2549-3420

¹E-mail: thanatj@en.mutt.ac.th, ²E-mail: sirichai.d@en.mutt.ac.th, ³E-mail: krischonme.b@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ

สังคมปัจจุบันของหลายประเทศได้มีการเปลี่ยนการใช้งานจากยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในมาเป็นยานยนต์ไฟฟ้าด้วยปัจจัยหลายด้าน ทั้งอนุรักษ์พลังงาน ลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม บทความนี้จึงกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบพารามิเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับใช้ภายในหมู่บ้านหรือชุมชน จำนวน 1 ที่นั่ง โดยมีน้ำหนักของยานยนต์ 320 กิโลกรัม ระยะทางการขับขี่อยู่ที่ 20 กิโลเมตร และพิคคความเร็วยูที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าใช้หลักการทางพลศาสตร์ เพื่อหาค่าแรงต้านทานรวมทั้งกระทำต่อยานยนต์ การหาแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และการหาขนาดแบตเตอรี่ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB & Simulink เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของระบบไฟฟ้าภายในยานยนต์ จากการศึกษาพบว่ายานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์/ 3 กิโลวัตต์สูงสุด ซึ่งมีการจำลองด้วยการทดสอบการเคลื่อนที่ 2 วิธีคือการทดสอบทางราบ และทางชัน โดยวิธีทดสอบทางราบ สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ที่ 39 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และวิธีทดสอบด้วยทางชัน ซึ่งมีความชันร้อยละ 6 โดยความเร็วสูงสุดได้ 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และรักษาความเร็วคงที่ของยานยนต์ได้

คำสำคัญ: ยานยนต์ไฟฟ้า, มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน, แบตเตอรี่

Abstract

Today's society in many countries has changed from internal combustion engine vehicles to electric vehicles (EV) due to various factors such as conservative energy and reduced environmental pollution. This article discusses the parameter design of one-seat small electric vehicle for use in a village or community with a total vehicle weight of 320 kg, a driving distance of 20 km and a speed rating at 40 kilometers per hour. With the design of electric vehicles based on the principles of dynamics, the total resistance forces are determined. The electromechanical torque, speed control and battery sizing are

calculated and simulated with MATLAB & Simulink program to study the behaviors of the internal electrical system of EV. The study found that small electric vehicles using the maximum 1.5 kW / 3 kWp electric motor can simulate from the driving simulation by 2 methods, horizontal and slope, which the horizontal test method motor EV can reach a maximum speed of 39 kilometers per hour. The test EV on slope at 6 percent of slope can driving with a maximum and constant speed of 31 kilometers per hour.

Keywords: EV, BLDC Motor, Battery

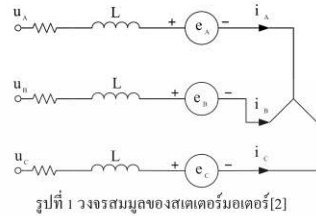
1 การหาพารามิเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การหาพารามิเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กมีหลายปัจจัย ที่ควรคำนึงถึงเช่น ระยะทางการขับขี่ กำลังไฟของมอเตอร์ ขนาดแบตเตอรี่ แรงต้านทานของยานยนต์ โดยปัจจัยทั้งหลายที่มีส่วนในการออกแบบ ซึ่งจะทำให้ยานยนต์ขับเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพได้ดังนี้ [1]

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor (BLDC Motor)) ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์คล้ายกับมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งมีขดลวดทองแดงฝังอยู่ที่แกนเหล็กสเตเตอร์ โดยการต่อของขดลวดส่วนใหญ่จะต่อแบบสตาร์ ดังรูปที่ 1 วงจรสมมูลของสเตเตอร์มอเตอร์[2]การพันขดลวดของสเตเตอร์ เป็นการพันแบบเต็มร่องหรือ Full Pitch ซึ่งจะทำให้สร้างสนามแม่เหล็กแบบเข็มขึ้น โรเตอร์ของมอเตอร์ จะประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรความเข้มสูง ติดอยู่ที่ผิวของโรเตอร์ โดยวัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็กถาวรจะเป็นวัสดุเป็นการผสมกันระหว่าง นีโอไดเมียม(Neodymium), ไอเอิร์น(iron), โบรอน(Boron) มีอีกนัยคือ NdFeb ข้อดีของวัสดุจะทำให้แม่เหล็กถาวรนั้นบางลงแต่ค่าสนามแม่เหล็กมีค่าสูง

SS-901



จากวงจรสมมูลของสเตเตอร์มอเตอร์ u_A คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อวัดเทียบกับจุดต่อสาย โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกับ e_A รวมกับแรงเคลื่อนที่เหนี่ยวนำ และแรงดันตกคร่อมค่าความต้านทาน ดังสมการที่ (1)-(3) [3]

$$u_A = Ri_A + L \frac{di_A}{dt} + e_A \tag{1}$$

$$u_B = Ri_B + L \frac{di_B}{dt} + e_B \tag{2}$$

$$u_C = Ri_C + L \frac{di_C}{dt} + e_C \tag{3}$$

1.2 พลศาสตร์ของยานยนต์ไฟฟ้า

การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle (EV)) สิ่งสำคัญที่ช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของประสิทธิภาพยานยนต์ ในด้านการใช้พลังงานต่อระยะทาง คือ พลศาสตร์

แรงที่ขับเคลื่อนยานยนต์จากจุดหยุดนิ่งเคลื่อนที่ได้ นั้น เมื่อแรงขับเคลื่อนเท่ากับแรงต้านทั้งหมดที่กระทำต่อยานยนต์ F_t โดยที่แรงทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น แรงอัตราเร็ว แรงความเสียดทานของล้อ แรงดึงดูดของโลก แรงลม ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนที่ของยานยนต์

$$F_t = F_a + F_r + F_g + F_w \tag{4}$$

$$F_a = m \frac{dv(t)}{dt} \tag{5}$$

$$F_r = \mu mg \cos(\alpha) \tag{6}$$

$$F_g = mg \sin(\alpha) \tag{7}$$

$$F_w = 0.5C_w \rho A (v)^2 \tag{8}$$

แรงจากอัตราเร่ง F_a [2-3] เมื่อมวล m คูณกับความเร่งจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งด้วยความเร็วที่ต่างจากจุดเดิม ทำให้ยานยนต์ต้องมีแรงที่สามารถเคลื่อนที่ตามความเร็วที่กำหนดได้

แรงต้านทานของล้อ F_r [1-3] เมื่ออย่างของยานยนต์รับน้ำหนัก m ของยานยนต์คูณแรงดึงดูดของโลก g คูณมุมองศา $\cos(\alpha)$ ในแนวแกน x เมื่ออย่างของล้อกระทำกับพื้นถนนเกิดแรงสัมประสิทธิ์เสียดทาน μ แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก F_g [2-4] น้ำหนัก m ของยานยนต์คูณกับแรงดึงดูดของโลก โดยที่มุมองศา α ที่เกิดจากพื้นถนนที่ไม่ได้อยู่ในแนวระนาบ

แรงต้านอากาศ F_w [2-4] เมื่อความเร็วของอากาศ v สัมพันธ์กับความเร็วยานยนต์ ถ้ายานยนต์เคลื่อนที่ทวนลมค่าความเร็วเท่ากับความเร็วของลมบวกกับความเร็วยานยนต์แต่เมื่อใดที่ยานยนต์เคลื่อนที่ตามแรงลมเท่ากับผลต่างของความเร็วทั้งสอง ดังนั้นความเร็วของลมไหลผ่านยานยนต์จึงเกิดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ C_w ที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของยานยนต์ A และความหนาแน่นของอากาศ ρ มีค่า 1.225 kg/m^3

1.3 แรงบิดและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้า

แรงบิด T_w ในการขับเคลื่อนยานยนต์ที่ความเร็วคงที่ใดๆ จะมีค่าเท่ากับแรงต้านทานทั้งหมด F_t ที่กระทำต่อรัศมีของล้อยานยนต์ r ในช่วงเวลานั้นๆ ดังสมการที่ (9) [3-5] เพื่อให้ความเร็วยานยนต์ยังคงความเร็วในเวลานั้นๆ ได้

$$T_w = F_t r \tag{9}$$

$$T_e = \frac{100T_w}{\eta_e i_0} \tag{10}$$

$$P_e = 2\pi N T_e \tag{11}$$

แรงบิดของมอเตอร์ T_e นั้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงบิดทางกลของยานยนต์โดยแรงบิดของยานยนต์ที่ถ่ายทอดทางชุดเกียร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของเกียร์ η_e และอัตราทดของเกียร์ i_0 ดังสมการที่(10) [3-4]

กำลังของมอเตอร์ P_e ที่ใช้ขับเคลื่อนยานยนต์หาจากความสัมพันธ์ของกำลังมอเตอร์กับแรงบิดของมอเตอร์จากสมการที่ (11) [3-4]ค่านี้ถึงความเร็วของรอบมอเตอร์ N โดยปกติรอบของมอเตอร์จะบอกในหน่วย rpm ซึ่งเป็นรอบต่อวินาที

1.4 การคำนวณแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

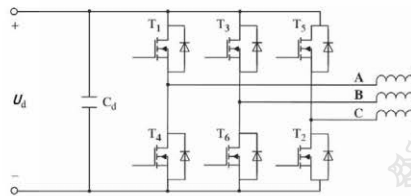
การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ยานยนต์ B_v ดังสมการที่ (12) [5-6] นั้นมีหลายปัจจัยที่พิจารณาค่านี้ถึง โดยขอบเขตหลักที่ต้องพิจารณา คือ ระยะทางที่ขับขี่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์ P_m และโหลดอื่นๆ ภายในยานยนต์ L_v โดยขอบเขตของยานยนต์ที่ออกแบบมีระยะทางในการขับขี่ R_v อยู่ที่ 20 km ความเร็วสูงสุดยานยนต์ S_v ไม่นเกิน 40km/hr

$$B_v = R_v \frac{(P_m + L_v)}{S_v} \tag{12}$$

106-SS

1.5 การทำงานของอินเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ แบบ Full-Bridge สามเฟส โดยการต่อขดลวดของมอเตอร์แบบสตาร์ดังรูปที่ 2 โดยจะมีสวิตซ์ติดต่อการทำงานของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้คือ 6 ตัว ซึ่งการทำงานของสวิตซ์จะถูกกำหนด โดย Hall Sensor ที่ตรวจวัดสนามแม่เหล็กอยู่ ณ บริเวณสเตเตอร์ของมอเตอร์[7]



รูปที่ 2 วงจรขับเคลื่อนชนิด Full-Bridge

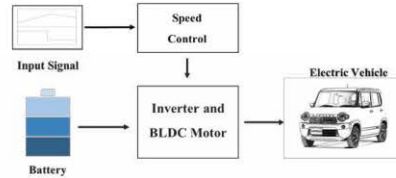
2. การจำลองการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้า

จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีการกำหนดขอบเขตเพื่อการศึกษา โดยการกำหนดระยะทางวิ่งของยานยนต์ไว้ที่ 20 km ความเร็วสูงสุด 40 km/hr เพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของยานยนต์ จึงได้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

พารามิเตอร์	ขนาด
น้ำหนักยานยนต์ (kg)	320
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานล้อ	0.02
พื้นที่หน้าตัดยานยนต์ (m ²)	0.7
ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m ³)	1.225
สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	0.45
รัศมียาง (mm)	278
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์(kW)	1.5/3
แรงไฟฟ้าของมอเตอร์ (V)	48
ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	3000

การออกแบบการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB & Simulink เพื่อการจำลองผล ด้วยวิธีการควบคุมแบบ Speed Control โดยการป้อนอินพุต ความเร็ว ความถี่ ความชันของถนน และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของยานยนต์ลงในโปรแกรม ดังรูปที่ 3 เพื่อจำลองพฤติกรรมของยานยนต์ โดยการจำลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การจำลองพฤติกรรมการวิ่งของยานยนต์ในสภาพพื้นถนนราบ หรือ ไม่มีมุมทางชัน 2) การจำลองการวิ่งของยานยนต์ในพื้นที่ทางชัน ซึ่งมีการกำหนดความชันของถนนอยู่ที่ร้อยละ 6 หมายถึงระยะทางในแนวระนาบมีความยาว 100 เมตร โดยที่จุดเริ่มต้นสูง 0 เมตร และ จุดสิ้นสุดมีความสูง 6 เมตร

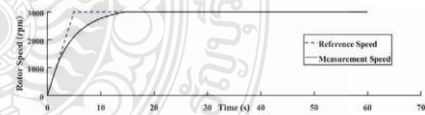


รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการจำลองยานยนต์ไฟฟ้า

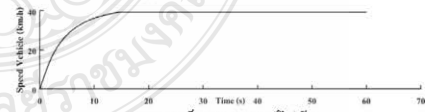
3. ผลการจำลองยานยนต์ไฟฟ้า

การจำลองยานยนต์ในรูปแบบการจำลองที่ 1 โดยการจำลองการวิ่งของยานยนต์ในพื้นที่ถนนราบ จากผลการจำลองการวิ่งของยานยนต์ภายใน 60 วินาที พบว่าการเคลื่อนที่ของยานยนต์จากจุดหยุดนิ่งถึงความเร็วสูงสุดของยานยนต์ใช้เวลาโดยประมาณ 15 วินาทีดังรูปที่ 4(ข) โดยใช้แรงบิดของมอเตอร์สูงถึง 28 นิวตันเมตรขณะออกตัวดังรูปที่ 4(ค) เมื่อถึงจุดที่กัลังของมอเตอร์สามารถชนะแรงต้านทานของค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์จะค่อยๆลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการจ่ายกระแส แรงดัน ของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4(ง) และ รูปที่ 4(จ)

การจำลองแบบที่ 2 การทดสอบการวิ่งด้วยการเพิ่มความชันของถนนที่ร้อยละ 6 โดยการเพิ่มความชันวินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60 โดยการเริ่มเคลื่อนที่ของยานยนต์นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการจำลองในแบบที่ 1 เมื่อถึงวินาทีที่ 30 เริ่มเพิ่มความชันของถนนจะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์นั้นลดลงอยู่ที่ประมาณ 2,500 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 5(ก) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วยานยนต์ที่ลดลงอยู่ที่ 31 km/hr ดังรูปที่ 5(ข) ในขณะที่เพิ่มความชันของถนน แรงบิดของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่งดังรูปที่ 5(ค) ค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ที่วินาทีที่ 30 ค่ากระแสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าแรงดันมีระดับคงที่ที่ 48 V ดังรูปที่ 5(ง) และ รูปที่ 5(จ)ตามลำดับ

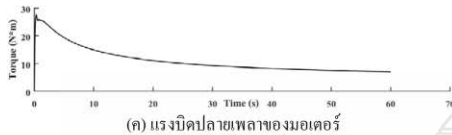


(ก) ความเร็วรอบของโรเตอร์

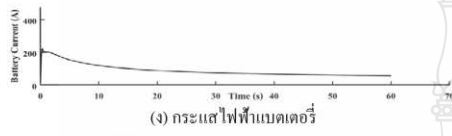


(ข) ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า

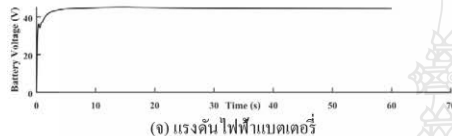
100-SS



(ก) แรงบิดปลายเพลของมอเตอร์

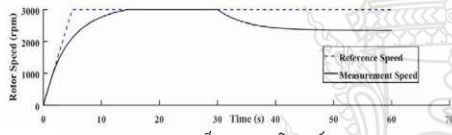


(ข) กระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่

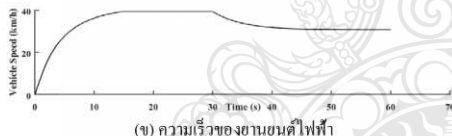


(จ) แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่

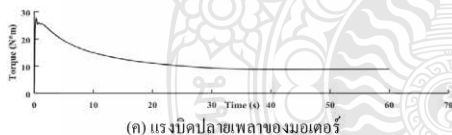
รูปที่ 4 รูปคลื่นสัญญาณต่างๆของการทดสอบแบบทางรับ



(ก) ความเร็วรอบของโรเตอร์



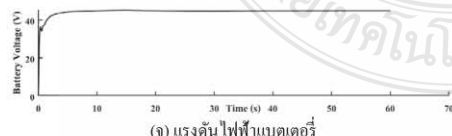
(ข) ความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า



(ค) แรงบิดปลายเพลของมอเตอร์



(ง) กระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่



(จ) แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่

รูปที่ 5 รูปคลื่นสัญญาณต่างๆของการทดสอบแบบทางขึ้น 6 %

4. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการจำลองการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กคือโปรแกรม MATLAB & Simulink โดยการศึกษาจากการจำลองการขับเคลื่อนยานยนต์ในสภาวะของถนนทั้งสองรูปแบบ การจำลองรูปแบบที่ 1 ในการขับเคลื่อนยานยนต์จะสามารถทำความเร็วสูงสุด 39 km/hr ซึ่งไม่มีมุมทางชัน โดยใช้กำลังอัดที่จุดเคลื่อนอยู่ที่ 2 kW การจำลองรูปแบบที่ 2 การจำลองโดยการเพิ่มความชันของถนนที่ร้อยละ 6 ความชันซึ่งเพิ่มความชันที่วินาที 30 ถึงวินาที 60 พบว่ายานยนต์สามารถเคลื่อนที่ขึ้นทางชันได้แต่ความเร็วจะลดลงเป็น 30 km/hr คงที่ซึ่งใช้กำลังพิเศษขึ้นทางชันเท่ากับ 2.5 kW ซึ่งจากการออกแบบพารามิเตอร์ยานยนต์ โดยใช้ขนาดมอเตอร์ที่ 1.5kW/3 kW สามารถใช้ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้ในระดับพื้นถนนทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระยุทธ สุวรรณประทีป, "วิศวกรรมยานยนต์ Automot Engineering," ฉบับพิมพ์ที่ 1., พิมพ์ครั้งที่ 6., กรุงเทพฯ: บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด, 2549
- [2] C. L. Xia, "Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Control," Tianjin University, John Wiley & Sons Singapore Pte.Ltd, 2012
- [3] W. Martinez and et.al., "Design of a 200kW electric powertrain for a high performance electric vehicle," Ingenieria E Investigacion, vol. 36 N December-2016, pp. 66-73.
- [4] T. porselvi, Sriharharan. M. K., Ashok. J and Ajith K. S., " Selection Power Rating of an Electric Motor for Electric Vehicle," Intematic Journal of Engineering Science and Computing, April 2017, pp. 6469-64
- [5] A. A. Grunditz, "Design and Assessment of Battery Electric Vehicle Powertrain, with Respect to Performance, Energy Consumption and Electric Motor Thermal Capability," Chalmers University of Technology, Sweden, 2016
- [6] A. Doyle and T. Muncer, "Traction energy and battery performance modelling," Electric Vehicle: Prospects and challenges, 2017, pp. 94-12
- [7] K. S. Reddy and S. B. Veeranna, "Design Parameters of Electric Vehicle," 2020 International Conference on Power Electronics & Applications in Renewable Energy and its (PARC), India , 2020, 14-21.

ISSN

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายธนต์ เจนสัญญายุทธ
วัน เดือน ปีเกิด	7 ตุลาคม 2535
ที่อยู่	261/661 หมู่ 4 ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	วิศวกรไฟฟ้า บริษัท ยูนิคก้าร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด
เบอร์โทรศัพท์	098-391-6155
อีเมล	Thanat.j@en.rmutt.ac.th

