

การออกแบบการควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสดตรงด้วย
การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

EV Charger Controller Design Based on Hamiltonian Control Law
with State Observer



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-027-236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EV Charger Controller Design Based on Hamiltonian Control Law
with State Observer

Nattapon Somboonpanya



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL AND COMPUTER
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024

KMITL-2024-EN-M-027-236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบ กระแสตรงด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการ ประมาณค่าตัว
นักศึกษา	นาย ณัฐพล สมบูรณ์ปัญญา
รหัสประจำตัว	65016033
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไฟฟ้า ซึ่งถูกติดตั้งภายในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับ เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร เพื่อใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุ แบตเตอรี่ ลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่บนรถยนต์ไฟฟ้าโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ แบบแรกการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ แบบที่สองการอัดประจุแบบ กระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับและแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยลักษณะการอัดประจุที่จะถูกใช้จะขึ้นอยู่กับ ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและรุ่นของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งการอัดประจุแบบ ที่สองคำสั่งกระแสที่จะถูกใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงระหว่างการกระบวนการอัดประจุ ซึ่งการลดกระแสในการอัดประจุนี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกทั้งยังทำให้เวลาในการอัด ประจุลดลง จากการลดขนาดกระแสในการอัดประจุจะทำให้เกิดไดนามิกของคำสั่งที่จะถูกป้อนให้กับ ตัวควบคุม อีกทั้งยังทำให้จุดการทำงานกว้างขึ้น ดังนั้นระบบการควบคุมจะต้องมีความสามารถในการ ตอบสนองที่ดี มีความเสถียรสูง และมีความสามารถในการทำงานที่หลายจุดการทำงาน อีกทั้ง เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 1kW ถูกสร้างขึ้นใน ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการพิจารณาความเป็นไปได้ของเทคนิคการควบคุมที่ถูกลงเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	EV Charger Controller Design Based on Hamiltonian Control Law with State Observer
Student	Mr. Nattapon Somboonpanya
Student ID.	65016033
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Prof. Dr. Surin Khomfoi

ABSTRACT

This thesis introduces an EV charger controller design based on Hamiltonian control law with a state observer for a bidirectional buck-boost converter used in an EV offboard charger for controlling charging voltage and current during charging operation. Charging schemes for electric vehicles can be categorized into 2 types, consisting of constant current-constant voltage (CC-CV) charging schemes and multi-step constant current (MCC), charging schemes that are utilized, depending on the rating power of the EV charger and the types of electric vehicles. In the MCC scheme, the charging current command is decreased in multiple steps during the charging operation, and a decrease in the charging current command also helps to extend the lifetime of the battery in electric vehicles and reduces the charging time. This reduction in charging current command during the charging process generates dynamic to the control system and it expands the operating point of the EV charger. Therefore, fast response during transient, high stability, wide ranges of operating points, and the ability to charge in constant voltage mode are important factors in designing the controller. Additionally, the 1 kW prototype of the EV charger is developed to demonstrate the feasibility of the proposed controlled scheme through an experiment setup in the laboratory.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ ศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย และ ผศ.ดร. ชีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์ และ ผศ. ชัยทัต มณีอินทร์ ที่คอยให้ คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (REAL LAB) ที่เป็นทั้งที่อยู่ทำงาน วิจัย อีกทั้งยังช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณทุกคนในห้องปฏิบัติการ ทั้งพี่เหน่ง ที่คอยให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนเเนะและน้องเตี้ยที่คอยช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์และอยู่ ช่วยเหลือกันตลอดทั้ง 1 ปีที่ผ่านมา และขอขอบคุณประสบการณ์ที่ดีที่เกิดขึ้นภายใน REAL LAB

สุดท้ายนี้ผมขอกราบขอขอบคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ คอย อยู่เคียงข้างเสมอมาจนถึงทุกวันนี้ ขอขอบคุณน้องชายที่คอยเป็นกำลังใจในทุกๆเรื่องและคอยสร้าง ความสนุกสนานเวลาที่ผมได้พักผ่อนที่บ้าน ท้ายนี้ขอบคุณครอบครัวทั้งญาติผู้ใหญ่และลูกพี่ลูกน้องที่ เป็นครอบครัวที่อบอุ่นเสมอมา

ณัฐพล สมบูรณ์ปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	6
1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	7
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	8
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย	8
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำงานวิจัย	9
บทที่ 2 เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง และการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	10
2.1 บทนำ.....	10
2.2 เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง	10
2.3 วงจรเรียงกระแส.....	12
2.3.1 วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว.....	12
2.3.2 วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง	14
2.4 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า.....	14
2.4.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	15
2.4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.5 เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่	17
2.6 บทสรุป.....	19
บทที่ 3 ตัวควบคุมแบบแฮมิลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 การควบคุมแบบแฮมิลตัน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3	แบบจำลองของแฮมิลตัน	21
3.4	หลักการทํางานของการควบคุมแบบแฮมิลตัน	21
3.5	การวิเคราะห์ความเสถียรของการควบคุมแบบแฮมิลตัน	22
3.6	เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร	23
3.7	โครงสร้างของระบบเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ	24
3.8	หลักการทํางานของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร	24
3.9	การวิเคราะห์ความเสถียรของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ	25
3.10	แบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	26
3.11	แบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบจำลองของแฮมิลตัน	28
3.11.1	แบบจำลองที่ไม่รวมความสูญเสียของระบบ	28
3.11.2	แบบจำลองที่รวมความสูญเสียของระบบ	31
3.11.3	แบบจำลองสำหรับการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าที่คงที่	33
3.12	การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร	34
3.13	บทสรุป	36
บทที่ 4	การจำลองการทํางานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	37
4.1	บทนำ	37
4.2	การออกแบบการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink	37
4.2.1	ไม่รวมความสูญเสียของระบบ	38
4.2.2	แบบรวมความสูญเสียของระบบ	41
4.2.3	การอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่	43
4.3	ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink	47
4.3.1	การควบคุมแบบแฮมิลตัน	48
4.3.2	การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร	50
4.3.3	การควบคุมการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่	53
4.4	บทสรุป	54
บทที่ 5	การออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง	55
5.1	บทนำ	55
5.2	การออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง	55
5.2.1	การออกแบบวงจรเรียงกระแส	56
5.2.2	การออกแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่แยกกันทางไฟฟ้า	56
5.2.3	การออกแบบวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	57
5.2.4	วงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ (Gate Drive Signal Generator)	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง.....	61
5.3 บทสรุป.....	62
บทที่ 6 ผลการทดสอบ.....	63
6.1 บทนำ.....	63
6.2 ผลการทดสอบ.....	64
6.2.1 ประสิทธิภาพในการทำงานของควบคุมแบบแอมิลตันร่วมกับเทคนิคการ ประมาณค่าตัวแปร.....	64
6.2.2 การตอบสนองของการควบคุมแบบแอมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัว แปร.....	68
6.2.3 การอัดประจุแบบเตอรีตามโปรไฟล์การอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS.....	70
6.3 บทสรุป.....	72
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	74
7.1 สรุปผลงานวิจัย.....	74
7.2 แนวทางการพัฒนา.....	75
7.3 ข้อควรระวังในการทดสอบ.....	75
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก ก รายละเอียดของแบตเตอรี่.....	78
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท.....	81
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	8
ตาราง 4.1 พารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1	การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์สันดาปภายใน 1
รูปที่ 1.2	โครงสร้างเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 3
รูปที่ 1.3	แผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า 4
รูปที่ 2.1	ระบบอัดประจุสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 11
รูปที่ 2.2	วงจรเรียงกระแสสามเฟส 12
รูปที่ 2.3	วงจรเรียงกระแสเวียนนา 13
รูปที่ 2.4	วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง 14
รูปที่ 2.5	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 16
รูปที่ 2.6	การอัดประจุด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ [6] 18
รูปที่ 2.7	การอัดประจุกระแสคงที่แบบหลายระดับ [6] 19
รูปที่ 3.1	แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 26
รูปที่ 3.2	แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบรวมความสูญเสียของระบบ 28
รูปที่ 4.1	แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 38
รูปที่ 4.2	สรุปการควบคุมแบบแอมิลิตัน 40
รูปที่ 4.3	สรุปการควบคุมแบบแอมิลิตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ 43
รูปที่ 4.4	สรุปการควบคุมแบบแอมิลิตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ 45
รูปที่ 4.5	สัญญาณ Duty เปรียบเทียบ Triangle wave และ สัญญาณ PWM 46
รูปที่ 4.6	สัญญาณ PWM สำหรับสวิตช์ S1 และ S2 47
รูปที่ 4.7	ผลการจำลองการควบคุมด้วยการควบคุมแบบแอมิลิตัน 49
รูปที่ 4.8	ผลการจำลองการถูกควบคุมด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร 52
รูปที่ 4.9	ผลการจำลองการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ 54
รูปที่ 5.1	วงจรเรียงกระแส 56
รูปที่ 5.2	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 57
รูปที่ 5.3	โครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 58
รูปที่ 5.4	วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริง 58
รูปที่ 5.5	โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ที่ใช้งานจริง 59
รูปที่ 5.6	วงจรถูกกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ที่ใช้งานจริง 59
รูปที่ 5.7	สัญญาณ PWM สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 60
รูปที่ 5.8	เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง 61
รูปที่ 6.1	การเชื่อมต่ออุปกรณ์การทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 ผลการจำลองการตรวจสอบความสามารถของเทคนิคประมาณค่าตัวแปร(ขาหลัง).....	65
รูปที่ 6.3 ผลการจำลองการตรวจสอบความสามารถของเทคนิคประมาณค่าตัวแปร(ขาขึ้น)	67
รูปที่ 6.4 ผลการจำลองการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร(ขาหลัง).....	68
รูปที่ 6.5 ผลการจำลองการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร(ขาขึ้น).....	69
รูปที่ 6.6 ผลการทดสอบการอัดประจุตามแผนการชาร์จขนาด 25kW	71
รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบการอัดประจุตามแผนการชาร์จขนาด 50kW	72



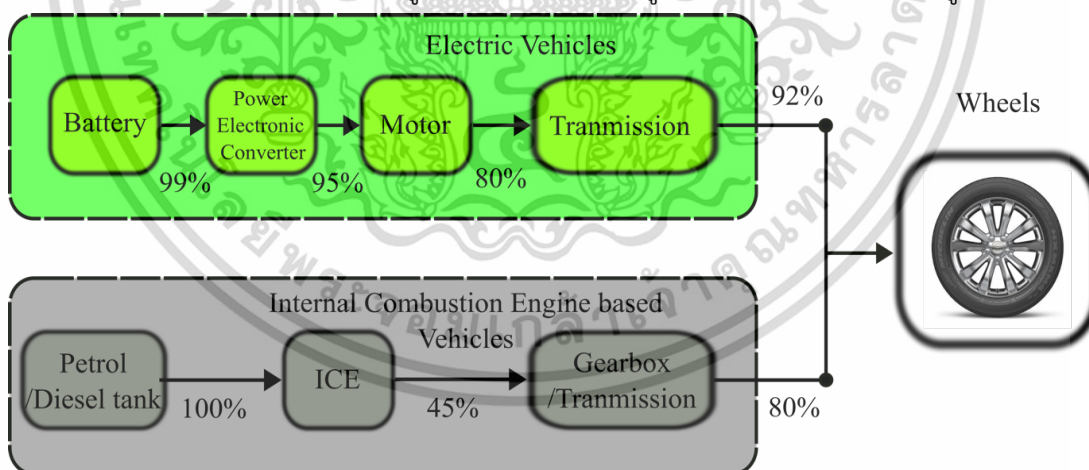
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันรถยนต์ที่เป็นชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น ยังคงมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยรถยนต์ชนิดนี้ได้ทำการปลดปล่อยแก๊สซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรง อีกทั้งยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ ซึ่งในปัจจุบันผู้คนได้มีการตระหนักรู้ถึงผลกระทบจากภาวะโลกร้อนจึงได้มีการจัดหาวิธีที่จะช่วยลดสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยหนึ่งวิธีที่มีความสำคัญในการช่วยลดผลกระทบนี้คือการลดการใช้พลังงานที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมสำหรับระบบขนส่ง ดังนั้นการที่ระบบขนส่งที่มีการใช้พลังงานจากพลังงานไฟฟ้าจะสามารถลดการใช้งานปิโตรเลียมได้ เพื่อที่จะลดผลกระทบดังกล่าวที่เกิดจากรถยนต์ชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน การใช้รถยนต์ไฟฟ้าจึงถูกใช้เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวเนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าจะไม่ผลิตแก๊สที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน อีกทั้งรถยนต์ไฟฟ้ายังมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีสมรรถนะที่สูงกว่า และใช้พลังงานต่อหน่วยในการขับเคลื่อนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ชนิดสันดาปภายใน [1] โดยรูปที่ 1.1 แสดงถึงการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ชนิดสันดาปภายใน ซึ่งจะเห็นได้ว่ารถยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าในการขับเคลื่อน ด้วยความที่รถยนต์ไฟฟ้านั้น มีความสามารถในการลดต้นเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและมีราคาที่ถูกกลง จึงทำให้จำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนที่สูงมากขึ้น



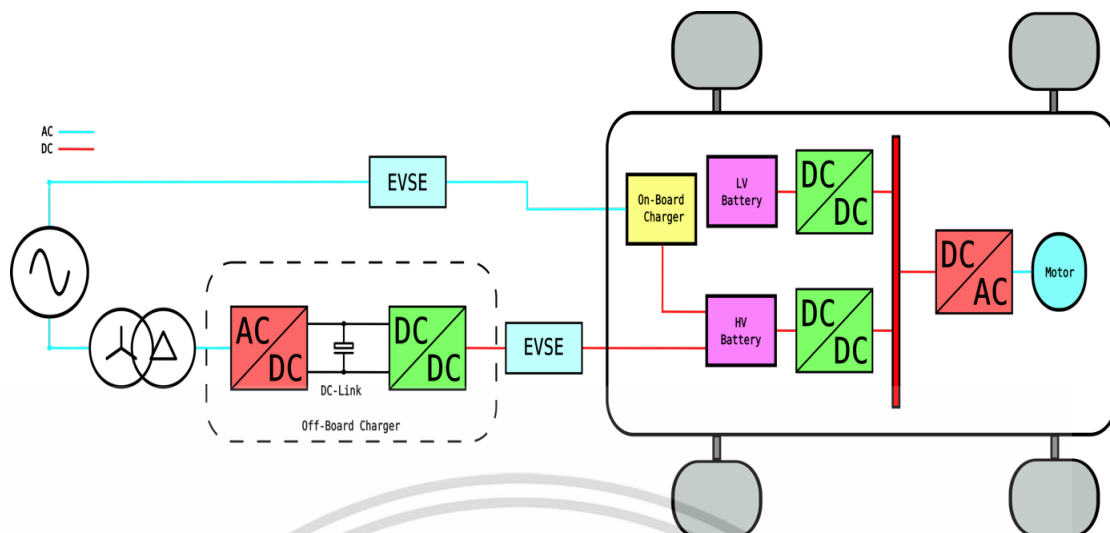
รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์สันดาปภายใน

อย่างไรก็ตามรถยนต์ไฟฟ้ามีข้อจำกัดที่สำคัญอยู่ข้อหนึ่ง คือข้อจำกัดในเรื่องระยะทางในการขับขี่ที่มีระยะในการขับขี่ที่ค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นในการเพิ่มระยะในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าสามารถปรับปรุงได้ด้วยการเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งทำให้รถยนต์ไฟฟ้ามีระยะทางในการขับขี่ที่สูงมากขึ้น จนกระทั่งระยะที่ได้สามารถเทียบเท่ากับระยะในการขับขี่ของรถยนต์สันดาปภายใน อย่างไรก็ตามในการเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ก็มีข้อจำกัด เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อติดตั้งแบตเตอรี่ในปริมาณที่สูงมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักของรถยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแบตเตอรี่ยังมีราคาที่สูง ด้วยความที่แบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้ามีความจุที่สูงมากขึ้นเพื่อเพิ่มระยะในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า จึงทำให้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งมีระยะเวลาที่นานมากขึ้น [2] เพื่อลดระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วเพื่อลดเวลาในการอัดประจุ [3, 4] แต่ในปัจจุบันความไม่พร้อมของโครงสร้างพื้นฐานที่จะช่วยรองรับผู้ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถสังเกตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมพลังงานให้กับรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระยะในการขับขี่เมื่อเดินทางไกล ดังนั้นจึงความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถติดตั้งขนานกับสถานีน้ำมันที่มีอยู่แล้วได้ [5]

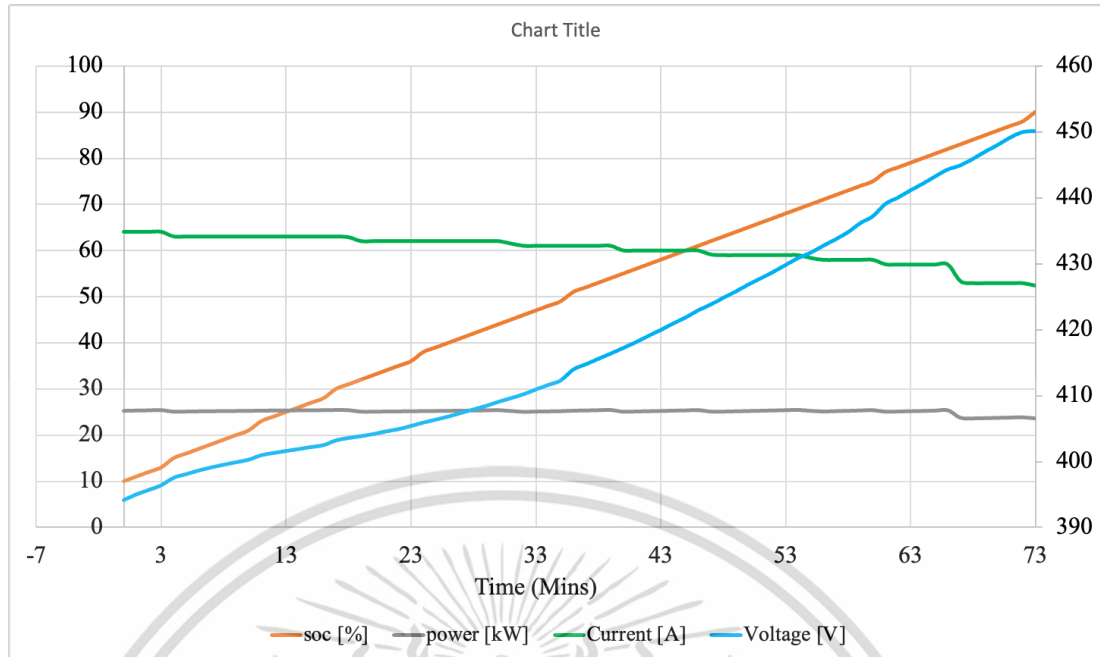
เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ตามถนนหรือที่จอดรถ โดยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับแบตเตอรี่โดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบอินเวอร์ตเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งอยู่ในตัวรถยนต์ไฟฟ้า ในการออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะต้องทำการออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูง พิกัดกำลังไฟฟ้าสูง มีความน่าเชื่อถือสูง ราคาต่ำ และมีขนาดเล็ก [4] นอกจากนี้เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะต้องมีความสามารถในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าในช่วงกว้างเพื่อรองรับขนาดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นมีค่าที่ไม่เท่ากัน โดยโครงสร้างของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกแสดงดังรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง [5] ในส่วนแรกจะเป็นวงจรเรียงกระแสซึ่งทำหน้าที่จัดหาพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอเพื่อรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง อีกทั้งยังช่วยทำการปรับปรุค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ในระหว่างทำการอัดประจุแบตเตอรี่เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะทำการผลิตฮาร์มอนิกที่เป็นผลเสียต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้นในส่วนของวงจรเรียงกระแสจะต้องทำหน้าที่ลดทอนฮาร์มอนิกที่เกิดจากการอัดประจุแบตเตอรี่ ในส่วนที่สองจะเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งแผนการอัดประจุแบตเตอรี่ของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นตัวควบคุมแผนการอัดประจุที่ได้รับคำสั่งจากตัวรถยนต์ไฟฟ้า [4]



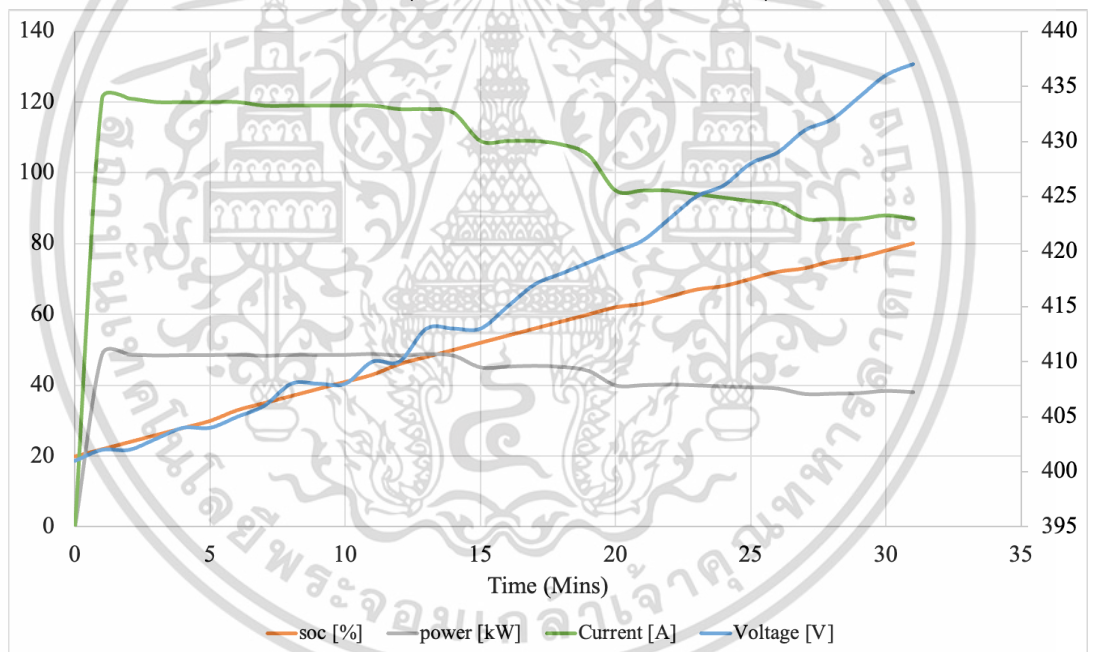
รูปที่ 1.2 โครงสร้างเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แผนการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุขนาด 25kW และ 50kW ถูกแสดงดังรูปที่ 1.3 จากรูปที่ 1.3 (ก) จะเป็นแผนการอัดประจุเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าดังกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง 25kW จะเห็นได้ว่ารถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุด้วยโหมด กระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยในตอนเริ่มต้นแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าจะถูกอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าแรงดันไฟฟ้าถึงจุดที่กำหนด จากนั้นทำการอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยในโหมดนี้กระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ จากรูปที่ 1.3 (ข) จะเห็นได้ว่าแผนการอัดประจุเมื่อรถยนต์ไฟฟารุ่นดังกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง 50kW มีความแตกต่างจากแผนการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง 25kW โดยแผนการอัดประจุนี้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะมีการลดขนาดกระแสในการอัดประจุลง ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายระดับ ส่งผลให้ใช้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นลดลงอย่างมาก [1] ด้วยความที่แผนการอัดประจุนี้นี้จะมีการเปลี่ยนค่าสิ่งของกระแสในการอัดประจุ ดังนั้นในการออกแบบตัวควบคุม ตัวควบคุมจะต้องมีความรวดเร็วที่สามารถตอบสนองต่อคำสั่งที่เปลี่ยนไปได้ ระบบควบคุมต้องมีความเสถียรสูง ทำงานในช่วงคำสั่งกว้างได้ อีกทั้งยังต้องสามารถควบคุมกระแสในการอัดประจุเมื่อเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยโหมด แรงดันไฟฟ้าคงที่ได้อีกด้วย

เนื่องจากตัวควบคุมของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องมีความสามารถในการทำงานในช่วงคำสั่งกว้าง มีความรวดเร็วในการตอบสนองต่อคำสั่งที่เปลี่ยนแปลงได้ดี และต้องมีความเสถียรสูงในทุกๆคำสั่ง การใช้ตัวควบคุม PI controller ไม่สามารถได้รับประสิทธิภาพการทำงานที่ดีได้เมื่อจุดในการทำงานไม่ใช่จุดเดียวกัน [6, 7] ใน [6] Model Predictive Control ถูกใช้เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนอีกทั้งใช้ยังถูกใช้เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ ใน [7] Sliding Mode Control ถูกใช้เพื่อควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเครื่องอัดประจุขนาด 25 kW



(ข) แผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเครื่องอัดประจุขนาด 50 kW

รูปที่ 1.3 แผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

กระแสตรงที่อยู่ภายในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบและสามารถควบคุมระบบได้เมื่อคำสั่งมีค่าแตกต่าง ใน [8] State Feedback Control ร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะถูกใช้เพื่อควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ ใน [9] Model Free Control ถูกใช้เพื่อควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ เพื่อยืนยันความเสถียรของระบบเมื่อควบคุมระบบที่มีสัญญาณรบกวนหรือความไม่แน่นอนของระบบซึ่งระบบดังกล่าวจะไม่สามารถทราบข้อมูลของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกกันทางไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าจะต้องใช้ระบบการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อที่จะทำให้ตัวควบคุมสามารถทำงานได้ในจุดการทำงานที่กว้าง ระบบมีความเสถียร และมีการตอบสนองที่ดีเมื่อมีการเปลี่ยนจุดการทำงาน [10]

การควบคุมแบบแฮมิลตันเป็นตัวควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งการควบคุมแบบแฮมิลตันนี้มีพื้นฐานมาจากการควบคุมพลังงาน ซึ่งการควบคุมแบบแฮมิลตันนั้นให้ประสิทธิภาพที่ได้ในการควบคุมและให้การตอบสนองที่ดีเมื่อมีการเปลี่ยนจุดการทำงาน [11] โดยในงานวิจัยนี้เสนอการควบคุมแบบแฮมิลตันสำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้าเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุแบตเตอรี่ อีกทั้งยังเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสภาวะร่วมกับเทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม เนื่องจากการควบคุมแบบแฮมิลตันจำเป็นที่จะต้องอาศัยข้อมูลที่มีความแม่นยำ เมื่อควบคุมระบบที่มีข้อมูลไม่มากพออาจทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพลดลง [12]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วเพื่อใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าระหว่างกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยข้อมูลโครงสร้างของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วถูกแสดงไว้ในบทที่ 2 บทที่ 3 แสดงถึงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร การจำลองการทำงานและผลการจำลองการควบคุมเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วด้วยเทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรถูกแสดงไว้ในบทที่ 4 การออกแบบเครื่องต้นแบบและผลการทดสอบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วเมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรถูกแสดงไว้ในบทที่ 5 และบทที่ 6 ตามลำดับ สุดท้ายการสรุปผลของงานวิจัยถูกแสดงในบทที่ 7

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง หลักการทำงาน และการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบแฮมิลตันเพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเพื่อใช้ในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าขนาด 1 kW เพื่อใช้พิจารณาความเป็นไปได้ของเทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะสำหรับควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ 48V
2. เทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะจะต้องสามารถควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ตามลักษณะการอัดประจุของรถยนต์ยี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าดังกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 25kW และ 50kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ ระเบียบวิธีวิจัย แผนการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง รวมถึงโปรไฟล์ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบแฮมิลตัน เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะที่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า

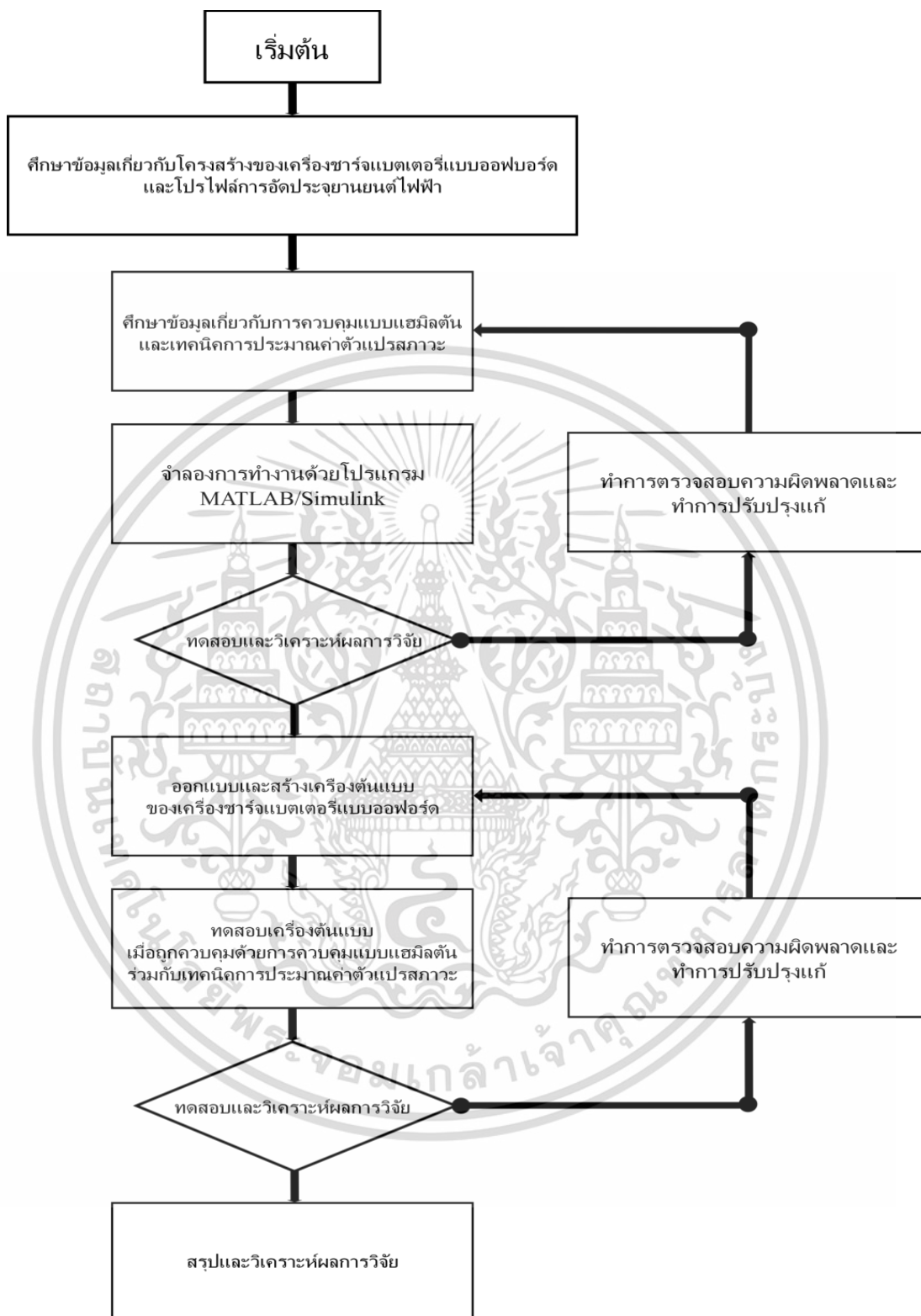
บทที่ 4 จะกล่าวถึงการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ รวมถึงวิธีการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 5 จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ซึ่งจะแสดงถึงองค์ประกอบที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบขนาด 1 kW

บทที่ 6 จะกล่าวถึงผลการทดสอบเมื่อประยุกต์ใช้การควบคุมแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคประมาณค่าตัวแปรกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมการอัดประจุ

บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยในขั้นต่อไป

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำงานวิจัย

1.การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะสามารถควบคุม วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง เพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ได้

2.เกิดความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างหรือควบคุมคอนเวอเตอร์ชนิดอื่นๆได้

3.เกิดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมแบบแฮมิลตัน และเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมคอนเวอเตอร์ชนิดอื่นๆได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง

และการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง (Offboard EV charger) โดยมุ่งเน้นไปที่เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงซึ่งใช้วิธีการจัดการการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าผ่านการใช้งานหม้อแปลงความถี่ต่ำทางด้านอินพุตของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงประกอบไปด้วย หม้อแปลงความถี่ต่ำสำหรับเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า วงจรเรียงกระแส (AC/DC Converter) และ วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC/DC Converter) อีกทั้งยังกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

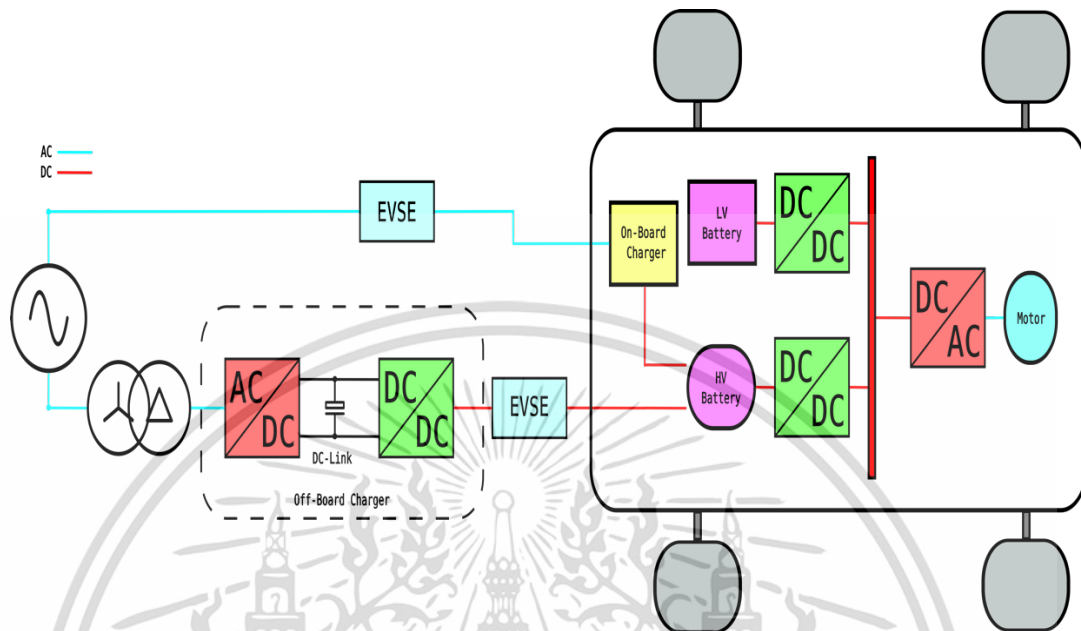
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำทางด้านอินพุตของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงร่วมกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

2.2 เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง

เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง (Offboard EV Charger) เป็นส่วนหนึ่งระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยปกติแล้ว เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณเขตชุมชนที่อยู่อาศัย, ลานจอดรถตามห้างสรรพสินค้า รวมถึงมีอยู่ตลอดแนวถนน [4, 13]. เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกจัดให้อยู่ในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าระดับสาม คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง มีค่าอยู่ระหว่าง 50 kW ถึง 300 kW และค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตมีค่าประมาณ 300V หรือสามารถสูงขึ้นจนมีค่าถึง 800V ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งอยู่บนรถยนต์ไฟฟ้า เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (DC Fast Charger) ซึ่งเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดรวมถึงน้ำหนักของรถยนต์ไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยปกติเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงมีค่าสูง ซึ่งทำให้ขนาดของเครื่องอัดประจุชนิดนี้มีขนาดใหญ่ จึงต้องติดตั้งอยู่ภายนอกรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของรถยนต์ไฟฟ้า [1] โดยเครื่องอัดประจุยานยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งจะไม่ผ่านเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบออนบอร์ด (Onboard EV Charger) [5] แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบอัดประจุสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกแบ่งวงจรออกเป็น 2 วงจร เมื่อแบ่งตามชนิดการแปลงสัญญาณของแรงดันไฟฟ้า ขั้นตอนแรกจะมีการใช้วงจรเรียงกระแส (AC/DC Converter) และ/หรือ ทำงานร่วมกับวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction) ซึ่งวงจรเรียงกระแสนี้ จะถูกใช้เพื่อแปลงผันสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขั้นตอนที่สองจะมีการใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC/DC Converter) ซึ่งวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกใช้เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสในการอัดประจุของแบตเตอรี่ [4] ตัวอย่างเช่นการอัดประจุด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current-Constant Voltage) โดยทั่วไปการพัฒนาหรือการออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะมุ่งเน้นไปที่การอัดประจุแบบใช้สาย [4]

นอกจากนี้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะต้องทำหน้าที่แยกส่วนการทำงานของระบบไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าและรถยนต์ไฟฟ้า [1, 2] ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62955:2018 และ IEC 61851-1:2017 [1] ซึ่งวิธีการสำหรับการแยกกันทางไฟฟ้าของระบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่จะเกิดการแยกกันทางไฟฟ้า โดยวิธีแรกจะเป็นการติดตั้งหม้อแปลงกำลังความถี่ต่ำทางด้านอินพุตของวงจรเรียงกระแส ซึ่งหม้อแปลงความถี่ต่ำนี้จะทำให้ระบบไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งอยู่บนรถยนต์ไฟฟ้ามีการแยกกันทางไฟฟ้า ในขณะที่วิธีที่สอง หม้อแปลงความถี่สูงจะถูกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

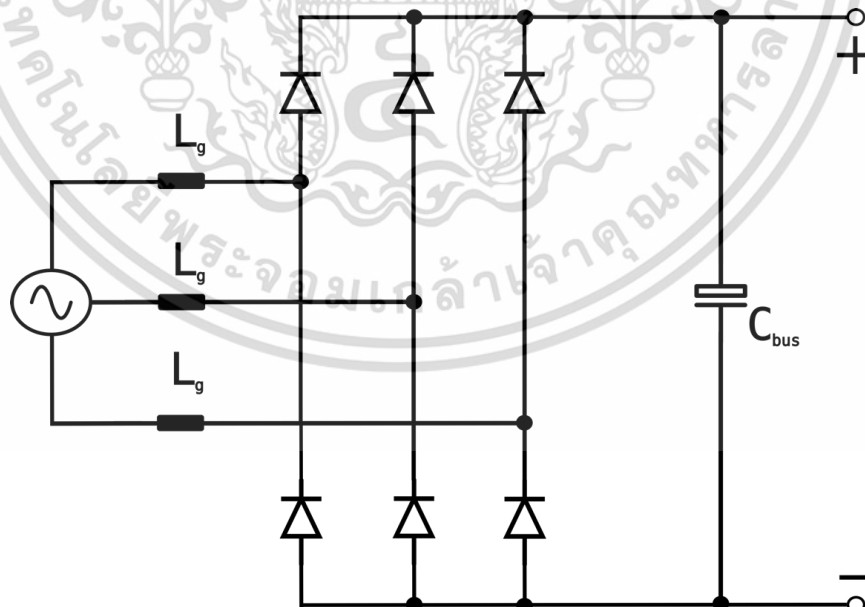
เพื่อให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งอยู่บนรถยนต์ไฟฟ้าเกิดการแยกกันทางไฟฟ้า โดยที่หม้อแปลงความสูงนี้จะถูกติดตั้งอยู่บนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกันทางไฟฟ้า [5]

2.3 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส (AC/DC Converter) ถูกใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าและบัสกระแสตรง (DC Bus) ของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงซึ่งวงจรเรียงกระแสถูกใช้เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรงและจำกัดกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเพียงพอรหว่างการอัดประจุแบตเตอรี่ อีกทั้งยังถูกใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยวงจรเรียงกระแสสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว (Unidirectional Power Flow) และ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง (Bidirectional Power Flow) [5]

2.3.1 วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว

วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียวมีอยู่ด้วยกันหลายวงจรทั้งแบบควบคุมไม่ได้และความคุมได้ ซึ่งในส่วนนี้จะเสนองจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียวแบบควบคุมไม่ได้ ซึ่งได้รับความนิยมในการใช้งานที่พิกัดกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงซึ่งวงจรนี้ถูกเรียกว่า “วงจรเรียงกระแสสามเฟส” ซึ่งถูกแสดงดังรูปที่ 2.2

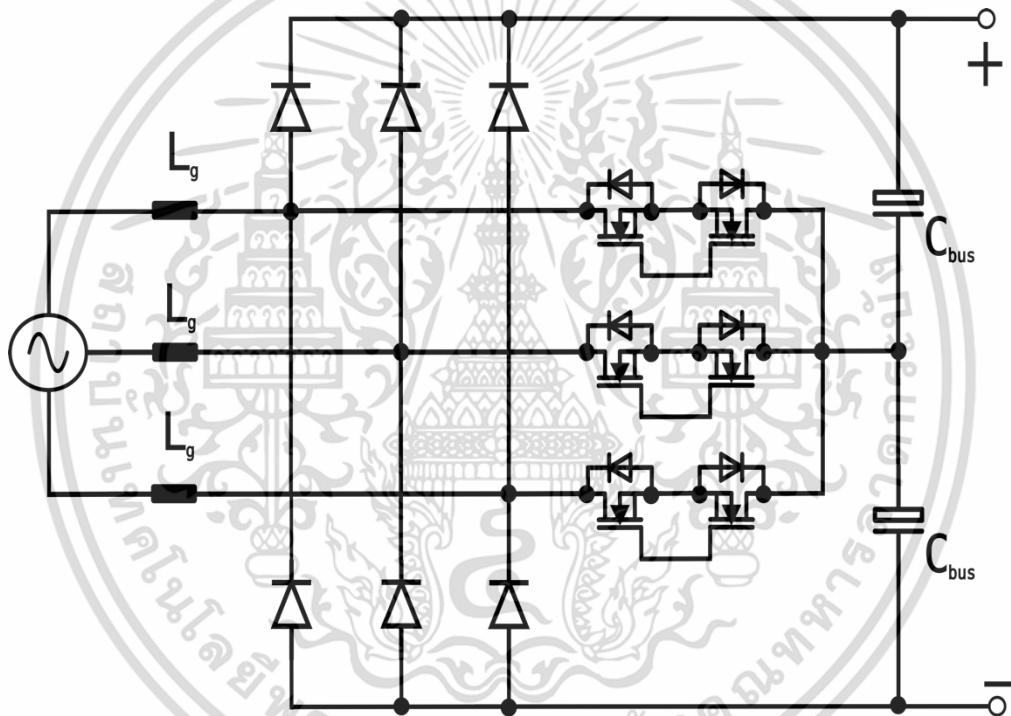


รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรียงกระแสสามเฟส คือ วงจรที่ถูกใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามเฟส เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโหลดหรือในตัวแปลงไฟอื่น วงจรเรียงกระแสแบบสามเฟส เป็นที่ต้องการในการใช้งานที่มีกำลังไฟฟ้าสูง เนื่องจากความเครียดทางไฟฟ้าของสวิตช์ และการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าต่ำ อีกทั้งค่าตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสแบบสามเฟสนั้นมีค่าสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียว [2] อย่างไรก็ตามวงจรเรียงกระแสสามเฟสนี้จะไม่สามารถควบคุมหรือทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรงได้ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบวงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียวแบบควบคุมได้ขึ้น

ในส่วนของวงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทิศทางเดียวแบบควบคุมได้ที่ได้รับ ความนิยมในการใช้งานที่พิกัดกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงซึ่งวงจรมีชื่อเรียกว่า “วงจรเรียงกระแสเวียนนา” ซึ่ง ถูกแสดงดังรูปที่ 2.3



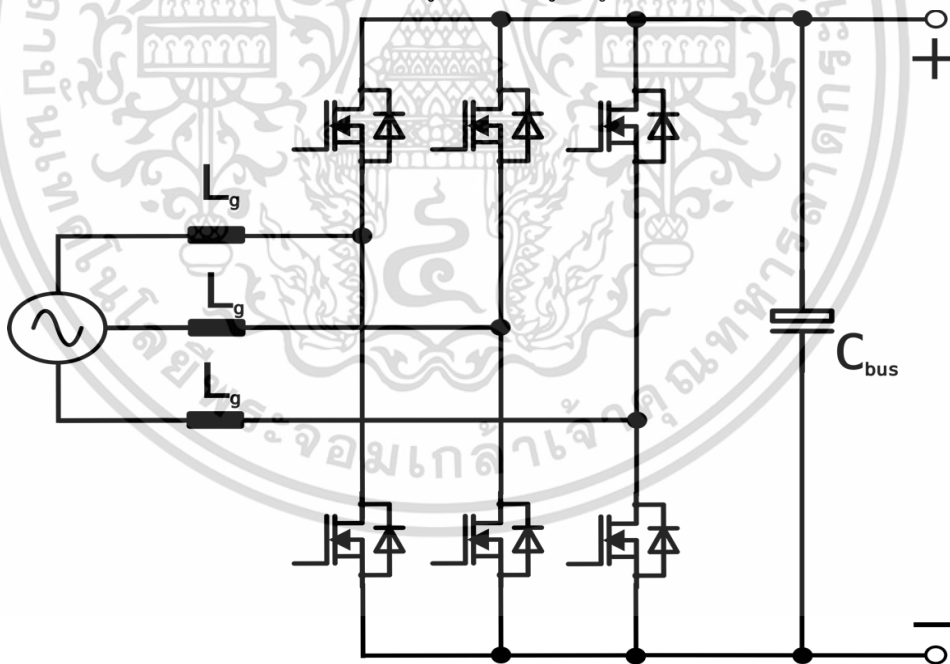
รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแสเวียนนา

วงจรเรียงกระแสเวียนนา คือ วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าแบบสามระดับชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกใช้ งานอย่างแพร่หลายในระบบที่ต้องการพิกัดกำลังไฟฟ้าสูง ด้วยความที่โครงสร้างของวงจรและวิธีใน การควบคุมง่าย รวมถึงมีประสิทธิภาพสูง และฮาร์มอนิกมีค่าต่ำ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุุงค่าตัว ประกอบกำลังให้มีค่าเข้าใกล้ “1” ได้อีกด้วยโดยข้อดีของวงจรเรียงกระแสเวียนนาคือความค่าเครียด ทางไฟฟ้าที่ตรงคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีค่าเพียงครึ่งเดียวของค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง และใน ระหว่างการทำงานของวงจรเรียงกระแสเวียนนาไม่จำเป็นต้องใช้เดดไทม์ (Deadtime) [4] ถึงแม้ว่า ข้อดีของวงจรเรียงกระแสแบบเวียนนาจะมีข้อดีอยู่ด้วยกันหลายข้อ แต่วงจรเรียงกระแสแบบเวียนนา ต้องอาศัยค่าตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการปรับสมดุลค่าแรงดันไฟฟ้า ด้วยความที่วงจรเรียง

กระแสเวียนนาเป็นวงจรแปลงระดับไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ ทิศทางเดียวจึงไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนคินส์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ [5]

2.3.2 วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง

วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางถูกใช้สำหรับการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรนี้มีความสามารถในการขยายระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าสูงกว่าค่าแอมพลิจูดของแรงดันโวลต์โวลต์ อีกทั้งวงจรนี้เป็นวงจรที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกของกระแสที่ด้านขาเข้าต่ำ และยังสามารถปรับค่าตัวประกอบกำลัง โดยวงจรนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งทั้งหมดหกตัว [5] และตัวเหนี่ยวนำสามชุด ซึ่งถูกเชื่อมต่อแบบอนุกรมกับแหล่งจ่ายสามเฟส โดยตัวเหนี่ยวนำนี้ถูกใช้เพื่อขยายแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกในขณะที่ตัวเหนี่ยวนำนี้ยังมีความสามารถในการลดฮาร์มอนิกกระแสทางด้านขาเข้า ซึ่งวงจรแปลงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้เหมาะสำหรับการออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ด้วยความง่ายในการออกแบบวงจร กระแสทางด้านขาเข้ามีความต่อเนื่อง ระบบการควบคุมมีความง่ายในการออกแบบ และข้อสำคัญอีกข้อหนึ่งคือวงจรนี้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางจึงมีความสามารถในการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนคินส์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ [4] โดยโครงสร้างของวงจรถูกแสดงดังรูปที่รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง

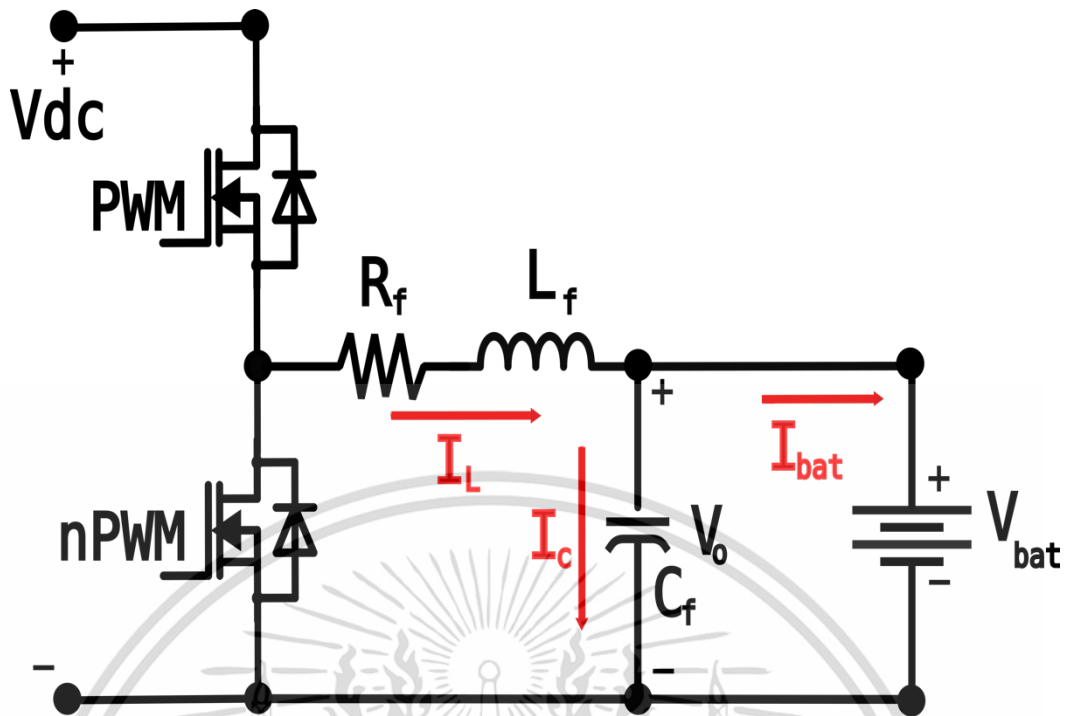
2.4 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้าเหมาะสำหรับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง เมื่อทางด้านอินพุตของวงจรแปลงผันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มีการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำเชื่อมต่ออยู่สำหรับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่บนรถยนต์ไฟฟ้า โดยปกติแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นวงจรคอนเวอเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางสามารถใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าได้ [4, 5, 13, 14] โดยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบหนึ่งเฟส (Single-Phase Bidirectional Buck-Boost Converter)

2.4.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส เกิดจากการรวมกันของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสองวงจร ประกอบไปด้วยวงจรลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Buck Converter) และวงจรขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Boost Converter) ซึ่งอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งจะเชื่อมต่อกันแบบฮาวบริดจ์แสดงดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งสองตัว โดยสวิตซ์ด้านบนจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในขณะที่ทำงานแบบวงจรลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่สวิตซ์ด้านล่างจะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์หลักเมื่อทำงานแบบวงจรขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่วงจรมีการทำงานแบบวงจรขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้า ในทางกลับกันเมื่อวงจรมีการทำงานแบบวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ตัวเหนี่ยวนำนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter) โดยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างบัลลิสต์และแบตเตอรี่



รูปที่ 2.5 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อต้องการเก็บพลังงานให้กับแบตเตอรี่ วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสจะทำงานในโหมดคงจรลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมการกักเก็บพลังงานสู่แบตเตอรี่ [14] ด้วยความที่วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนรวมถึงการออกแบบการควบคุมมีความง่ายในการออก จึงถูกใช้เป็นวงจรที่เชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่ที่ถูกติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้าและบัลลิสต์ของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง [5] แต่วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสนั้นคือมีค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่จำกัดเนื่องจากกระแสจะไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพียงตัวเดียว [4] อีกทั้งเมื่อต้องการการกระเพื่อมของกระแสต่ำ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดใหญ่เพื่อลดการกระเพื่อมของกระแส [5] ดังนั้นการใช้งานวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายเฟสจึงถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมานี้

2.4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่ในการควบคุมให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำงานอยู่ในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง (Continuous Current Mode) เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านตัวนำในวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตรงสามารถมีค่าติดลบได้ ซึ่งหมายความว่ากระแสสามารถไหลย้อนกลับได้ ดังนั้นการออกแบบค่าของตัวเหนี่ยวนำและค่าความจุของตัวเก็บ

ประจุเพื่อให้อำนาจแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทำงานอยู่ในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น [15]

การคำนวณค่าของตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สามารถคำนวณค่าของตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานอยู่ในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ดังสมการที่ (2-1)

$$L = \frac{V_o \cdot (V_{in} - V_o)}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot V_{in}} \quad (2-1)$$

โดยที่ L คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุด
 V_{in} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าของวงจร
 V_o คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจร
 f_s คือ ค่าความถี่ในการสวิตซ์ซิ่ง
 ΔI_L คือ ค่าความกระเพื่อมของกระแสทางด้านขาออกของวงจร

การคำนวณค่าของตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สามารถคำนวณค่าของตัวเก็บประจุที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าตามค่าที่กำหนด สมการในการคำนวณค่าของตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ต่ำถูกแสดงดังสมการที่ (2-2)

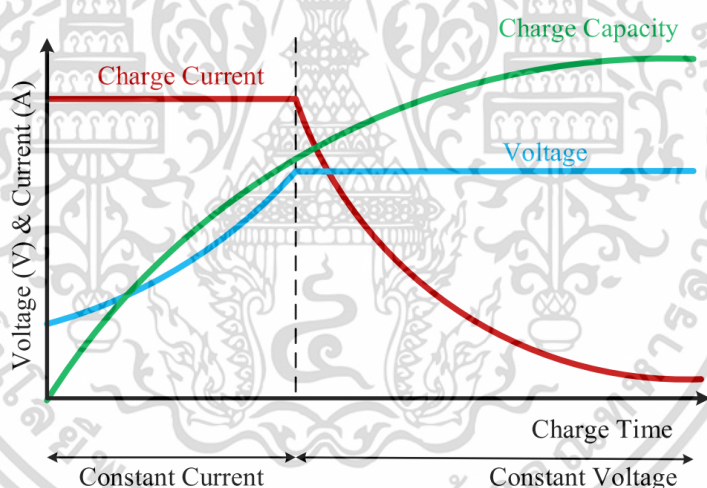
$$C_{o(\min)} = \frac{\Delta I_L}{\Delta V_o \cdot f_s \cdot 8} \quad (2-2)$$

โดยที่ $C_{o(\min)}$ คือ ค่าตัวเก็บประจุที่น้อยที่สุด
 ΔV_o คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจร

2.5 เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่

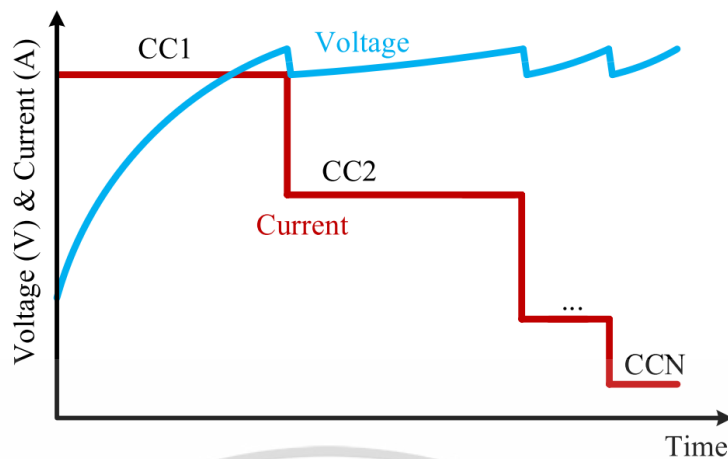
เมื่อพลังงานที่กักเก็บอยู่ภายในแบตเตอรี่มีค่าต่ำ หรือ สถานะการอัดประจุ (SOC) ของแบตเตอรี่มีค่าลดลงถึง 20% หรือประจุไฟฟ้าภายในของแบตเตอรี่มีค่าน้อย จนทำให้กระบวนการคายประจุของแบตเตอรี่นั้นหยุดลง ดังนั้นเพื่อกักเก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ จึงจำเป็นต้องทำการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยในการอัดประจุของแบตเตอรี่ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสม ดังเช่น การอัดประจุแบตเตอรี่ที่กำลังไฟสูงมากเกินไป ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม จะเป็นการเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ [6]

การอัดประจุแบตเตอรี่มีอยู่หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการอัดประจุด้วยวิธีกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current - Constant Voltage, CC-CV) เป็นวิธีการอัดประจุที่ได้รับความนิยม และสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ ในการอัดประจุแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีกระแสคงที่และแรงดันคงที่ จะมีกระบวนการในการทำงานโดยการเริ่มการอัดประจุแบบกระแสคงที่ก่อนเพื่อลดระยะเวลาการอัดประจุ โดยการจ่ายกระแสในการอัดประจุที่ทำให้สามารถอัดประจุได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมเพื่อระบุสถานะของการอัดประจุอย่างแม่นยำ และเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้วหรือแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าถึงระดับที่กำหนด ให้หยุดกระบวนการอัดประจุแบบกระแสคงที่ หากไม่หยุดอัดประจุจะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ลดลง หลังจากนั้นจะทำการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าคงที่ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ จะทำการจ่ายกระแสที่จำเป็นเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ที่ระดับนั้น ความแม่นยำในการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้านี้เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงมากเกินไป อาจทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าลดลงได้ ในขณะที่การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำอาจทำให้การอัดประจุไม่สมบูรณ์ [6]



รูปที่ 2.6 การอัดประจุด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ [6]

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดกระแสคงที่แบบหลายระดับ (Multi-Step Constant Current Charging, MCC) เป็นรูปแบบการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ทำให้สามารถอัดประจุได้เร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ดีเช่นกัน หลักการทำงานของวิธีการอัดประจุกระแสคงที่แบบหลายระดับ คือทำการอัดประจุกระแสคงที่ที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าถึงระดับที่กำหนด จะทำการลดค่ากระแสคงที่ลง 1 ระดับซึ่งจะทำให้แรงดันลดลงและเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่กำหนดอีกครั้ง จะทำการลดค่ากระแสคงที่ลงอีก 1 ระดับ [6] ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การอัดประจุกระแสคงที่แบบหลายระดับ [6]

2.6 บทสรุป

ตามเนื้อหาที่ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ซึ่งประกอบไปโครงสร้างของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ชนิดของวงจรเรียงกระแส ชนิดของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขั้วดี และขั้วจำกัดของวงจรต่างๆ รวมถึงหลักการในการออกแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นกระแสตรง และวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ และข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคการประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันกระแสตรงเพื่ออัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในบทที่ 4 และถูกประยุกต์ใช้งานจริงในบทที่ 6

บทที่ 3

ตัวควบคุมแบบแฮมิลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบแฮมิลตัน (Hamiltonian Control Law) ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีพื้นฐานของระบบควบคุม หลักการทำงาน และการออกแบบระบบควบคุม การจัดแบบจำลองให้อยู่ในแบบจำลองของแฮมิลตัน อีกทั้งทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร (State Observer) ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร หลักการทำงานและการออกแบบการประมาณค่าตัวแปรถูกแสดงไว้ในบทนี้ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสำหรับการออกแบบระบบการควบคุมวงจรมอเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC/DC Converter) เพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

3.2 การควบคุมแบบแฮมิลตัน

การควบคุมแบบแฮมิลตัน (Hamiltonian Control law) คือการควบคุมชนิดไม่เป็นเชิงเส้นที่มีพื้นฐานเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างการควบคุมแบบการควบคุมพาสซีฟ (Passivity-based Control) และการควบคุมชนิดไม่เป็นเชิงเส้นแบบการกำหนดค่าความลดการสั่นของการเชื่อมต่อ (Interconnection and damping assignment) [16] เพื่อให้ผลลัพธ์ในการควบคุมเป็นไปตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ระบบที่ถูกควบคุมจะถูกนิยามให้เป็นระบบแบบพาสซีฟ โดยระบบสำหรับการควบคุมจะทำงานตามฟังก์ชันการกักเก็บพลังงานที่ต้องการและการหน่วงการทำงานหรือการสูญเสียพลังงานของระบบ ซึ่งระบบที่ถูกควบคุมสามารถจัดทำได้โดยใช้โครงสร้างทางกายภาพของระบบ ซึ่งจะถูกเรียกว่าแบบจำลองของแฮมิลตัน (Port-Hamiltonian Model) ซึ่งแบบจำลองของแฮมิลตันจะแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพตามธรรมชาติที่เหมาะสมของระบบ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่มุ่งเน้นถึงความสำคัญของฟังก์ชันการกักเก็บพลังงาน การเชื่อมต่อขององค์ประกอบของระบบ รวมถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบ[17] โดยการนิยามระบบให้เป็นระบบแบบโครงข่ายของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันในจุดที่แต่ละอุปกรณ์เชื่อมต่อกันและมีการส่งถ่ายพลังงานระหว่างกัน โดยการใช้โครงข่ายของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันในจุดๆนั้น จะถูกจัดให้อยู่ในแบบโครงสร้างของระบบแฮมิลตันและ ฟังก์ชันสำหรับการกักเก็บพลังงานของระบบ ซึ่งถูกรู้จักในชื่อ ฟังก์ชันของแฮมิลตัน (Hamiltonian Function) โดยที่ฟังก์ชันของแฮมิลตัน จะใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่สามารถกักเก็บพลังงานได้ ณ จุดที่อุปกรณ์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมถึงกันในการออกแบบฟังก์ชัน [18] การควบคุมแบบพาสซีฟที่มีอยู่ในการควบคุมแบบแฮมิลตันมีข้อดีที่เหนือกว่าการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นชนิดอื่นคือการควบคุมชนิดนี้จะใช้คุณสมบัติเชิงโครงสร้างของสร้างของระบบทางกายภาพ ซึ่งทำให้การออกแบบการควบคุมระบบนั้นมีความง่ายในการออกแบบ

3.3 แบบจำลองของแฮมิลตัน

จากมุมมองที่จุดศูนย์รวมพลังงานของระบบ แบบจำลองของระบบโครงข่ายของอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานในระบบ สามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบโครงสร้างของแฮมิลตันได้ ซึ่งถูกแสดงดังสมการที่ (3-1)

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= [\mathbf{J}-\mathbf{R}] \cdot \frac{\partial H(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{g}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{u} + \boldsymbol{\xi} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{g}^T(\mathbf{x}) \frac{\partial H(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}\end{aligned}\tag{3-1}$$

โดยที่	\mathbf{x}	แสดงถึง ตัวแปรสถานะของระบบ (state variables) $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$
	\mathbf{u}	แสดงถึง ตัวแปรอินพุตที่ใช้ในการควบคุมระบบ $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^m$
	H	แสดงถึง ฟังก์ชันของแฮมิลตัน (ฟังก์ชันการเก็บพลังงานทั้งหมดในโครงข่าย)
	\mathbf{J}	แสดงถึง เมทริกซ์ธรรมชาติที่เชื่อมโยงกันในโครงข่ายของระบบ และ $\mathbf{J} = -\mathbf{J}^T$
	\mathbf{R}	แสดงถึง เมทริกซ์ตามธรรมชาติของการหน่วงของระบบ และ $\mathbf{R} = \mathbf{R}^T \geq 0$
	\mathbf{g}	แสดงถึง เมทริกซ์ที่เชื่อมโยงกับตัวแปรอินพุตของระบบ
	$\boldsymbol{\xi}$	แสดงถึง ตัวแปรอินพุตภายนอกของระบบหรือสัญญาณรบกวนของระบบ
	\mathbf{y}	แสดงถึง ตัวแปรเอาต์พุตของระบบ

3.4 หลักการทำงานของระบบการควบคุมแบบแฮมิลตัน

ระบบการควบคุมแบบแฮมิลตันเป็นระบบการควบคุมแบบวงรอบปิด โดยการใช้โครงสร้างแบบแฮมิลตัน ซึ่งเป็นรูปแบบของระบบควบคุมที่สามารถทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเสถียรที่จุดสมดุล (Equilibrium point) โดยในการออกแบบการควบคุมแบบแฮมิลตัน จำเป็นที่จะต้องทำการจัดหาฟังก์ชันผลต่างระหว่างค่าความต้องการของพลังงานในระบบและพลังงานในปัจจุบันของระบบ ซึ่งถูกแสดงในสมการที่ (3-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{x} = [J_d - R_d] \frac{\partial H_d(x)}{\partial x} \quad (3-2)$$

โดยที่ J_d แสดงถึงเมทริกซ์การควบคุมการเชื่อมต่อของระบบโครงข่าย และ $J_d = -J_d^T$

R_d แสดงถึงเมทริกซ์การหน่วงของระบบที่ถูกออกแบบ และ $R_d = R_d^T \geq 0$

H_d คือฟังก์ชันของแฮมิลตันที่ถูกออกแบบโดยใช้ค่าความต้องการของตัวแปรสถานะ (ฟังก์ชันผลต่างระหว่างค่าความต้องการของพลังงานในระบบและพลังงานในปัจจุบันของระบบ) ซึ่งสามารถหาได้จาก $H_d = (x - x_d)^T Q (x - x_d)$ โดยที่ Q คือองค์ประกอบที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานของระบบ

เมื่อนำสมการที่ (3-2) แทนลงในสมการที่ (3-1) สมการกฎการควบคุมของแฮมิลตันจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-3)

$$[J_d - R_d] \frac{\partial H_d(x)}{\partial x} = [J - R] \cdot \frac{\partial H(x)}{\partial x} + g(x) \cdot u + \xi \quad (3-3)$$

โดยจุดมุ่งหมายในการทำงานของระบบควบคุมแบบแฮมิลตัน คือการคำนวณหรือประมาณค่าของตัวแปรอินพุต (u) จากการมองระบบที่ถูกควบคุมให้เป็นระบบแบบพาสซีฟ [19] ซึ่งจะถูกนำไปใช้กับระบบเพื่อทำให้ตัวแปรสถานะของระบบทำงานตามจุดการดำเนินงานของระบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยการปรับแก้เมทริกซ์ที่แสดงถึงการเชื่อมโยงกันของโครงข่ายในระบบและเมทริกซ์การสูญเสียพลังงานของระบบ (จึงถูกเรียกว่าการปรับเปลี่ยนรูปร่างของพลังงาน) [18] เมื่อทำการแก้สมการที่ (3-3) ตัวแปรอินพุตของระบบสามารถจัดหาได้ดังสมการที่ (3-4)

$$u = \left([J_d - R_d] \frac{\partial H_d(x)}{\partial x} - [J - R] \cdot \frac{\partial H(x)}{\partial x} \right) \cdot g^{-1}(x) \quad (3-4)$$

3.5 การวิเคราะห์ความเสถียรของการควบคุมแบบแฮมิลตัน

ในการวิเคราะห์ความเสถียรที่ระบบถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตัน กำหนดสมการแบบการควบคุมวงรอบปิดด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันเป็นตัวแทนสำหรับการวิเคราะห์ความเสถียรภาพของระบบด้วยฟังก์ชันของเลียปูนอฟ

$$V = H_d(x) = (x - x_d)^T Q (x - x_d) \geq 0 \quad (3-5)$$

จากนั้นทำการหาอนุพันธ์ของสมการการควบคุมแบบวงรอบปิดด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตัน ซึ่งอนุพันธ์ของสมการการควบคุมแบบวงรอบปิดด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{V} = \left[\frac{\partial H_d(x)}{\partial x} \right]^T \cdot \dot{x} < 0 \quad (3-6)$$

เมื่อแทนที่สมการที่ (3-2) ลงในสมการที่ (3-6) จะได้ผลลัพธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V} = - \left[\frac{\partial H_d(x)}{\partial x} \right]^T \cdot R_d \cdot \left[\frac{\partial H_d(x)}{\partial x} \right] < 0 \quad (3-7)$$

จะเห็นได้ว่า $H_d(x)$ เป็นฟังก์ชันที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลา จากทฤษฎีความเสถียรภาพของเลียปูนอฟเมื่อ $V \geq 0$ และ $\dot{V} < 0$ ดังนั้นการควบคุมแบบวงรอบปิดด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันที่จุดสมดุลสามารถยืนยันความเสถียรภาพของระบบได้

3.6 เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร ถูกใช้สำหรับการประมาณค่าในคลาสิกของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยวัตถุประสงค์ในการทำงานคือ ค่าที่ประมาณที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรจะใกล้เคียงค่าจริง โดยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร จะทำการกำหนดค่าความไม่แน่นอนและสัญญาณรบกวนของระบบ ให้เป็นตัวแปรสถานะตัวใหม่ในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากตัวแปรสถานะตัวใหม่นี้ สามารถเชื่อมโยงไปยังตัวแปรสถานะของแบบจำลองที่ต้องการออกแบบได้ ดังนั้นการประมาณค่าความไม่แน่นอนและสัญญาณรบกวนของระบบ สามารถทำงานได้ ในส่วนของการประมาณค่าระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ระบบพลวัต (Dynamic system) สามารถแบ่งได้ออกเป็นสองระบบ โดยระบบแรกจะเป็นระบบพลวัตที่รวดเร็ว (Fast dynamic system) กล่าวคือเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าตัวแปรสถานะที่วัดได้จากระบบ และระบบที่สองคือ ระบบพลวัตที่ช้ากว่า (Slower dynamic system) กล่าวคือเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าตัวแปรสถานะสำหรับ ค่าความไม่แน่นอนและสัญญาณรบกวนของระบบ ค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากการประมาณในระบบพลวัตที่เร็วมีค่าใกล้เคียงและเข้าใกล้ค่าจริงที่วัดได้ ค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากการประมาณในระบบพลวัตที่ช้ากว่าก็จะเข้าใกล้ค่าจริงเช่นกัน

เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรเป็นเทคนิคในการประมาณค่าของตัวแปรของระบบหรือสัญญาณรบกวนที่ระบบได้รับ ซึ่งถูกใช้ร่วมกับระบบควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่จำเป็นจะต้องอาศัยความรู้ที่แม่นยำเกี่ยวกับระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น อีกทั้งในระบบที่มีการต่อวงจรกันแบบขนาน เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรยังช่วยให้ระบบสามารถจัดการการส่งจ่ายพลังงานได้ ตัวอย่างเช่นการแบ่งค่ากระแสในโครงสร้างของวงจรที่มีการต่อแบบขนาน ซึ่งตัววิทยานิพนธ์ฉบับนี้เทคนิคควบคุมตามแบบจำลอง (Model-based control techniques) โดยการใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลอง เพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพของเทคนิคการควบคุม [12] อีกทั้งเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร ถูกใช้เป็นตัวชี้วัด ตัวอย่างเช่นสุขภาพของแบตเตอรี่ (State of Health) หรือตัวตรวจสอบความบกพร่องของระบบ (Fault Detection) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวินิจฉัยปัญหาได้อย่างดีเยี่ยม [12, 20]

โดยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ ถูกออกแบบให้ความถี่ในการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับความถี่ในการสวิตซ์ซึ่งของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรนี้มีพื้นฐานมาจากเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งประยุกต์ใช้กับแบบจำลองชนิดแบบจำลองค่าเฉลี่ย [12]

3.7 โครงสร้างของระบบเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร ถูกใช้ในการประมาณค่าตัวแปรของคลาสย่อยในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังระบบในสมการที่ (3-8)

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\mathbf{p}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \boldsymbol{\beta}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \cdot \mathbf{p} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{x}$$

โดยที่ $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n+m}$ คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะที่จะถูกประมาณ

$\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^n$ คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะที่วัดค่าได้จากระบบจริง

$\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะที่จะต้องถูกวัดผ่านอุปกรณ์ภายนอก

$\mathbf{p} \in \mathbb{R}^m$ คือเวกเตอร์ของความไม่แน่นอนหรือสัญญาณรบกวนของระบบที่จะถูกทำการประมาณค่า

\mathbf{f} และ $\boldsymbol{\beta}$ คือฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นของ \mathbf{x} และ \mathbf{u}

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ \mathbf{p} จะต้องถูกเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆเมื่อเทียบกับตัวแปรสถานะ

3.8 หลักการทำงานของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่ถูกประยุกต์ใช้ ถูกจัดให้อยู่ในคลาสย่อยของฟังก์ชันของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นในสมการที่ (3-8) เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร สามารถนิยามและถูกแสดงดังสมการที่ (3-9)

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\mathbf{x}}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \boldsymbol{\beta}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \cdot \hat{\mathbf{p}} - \mathbf{S} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_x \\ \dot{\hat{\mathbf{p}}} &= \mathbf{K}_p \cdot \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_x + \mathbf{K}_i \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_x - \boldsymbol{\beta}^T(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_x \end{aligned} \quad (3-9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ϵ_x คือความต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าประมาณของตัวแปรสถานะ.
($\hat{x} - x$)

ϵ_p คือความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณของค่าความไม่แน่นอนหรือสัญญาณรบกวนระบบ ($\hat{p} - p$)

จากสมการข้างต้น การใช้ $-\beta^T(x, u) \cdot \epsilon_x$ เพียงอย่างเดียวนั้น เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรนี้ มีความสามารถสูงมากพอในการประมาณค่าความไม่แน่นอนและสัญญาณรบกวนของระบบ ในขณะที่ $K_p \cdot \dot{\epsilon}_x$ และ $K_i \cdot \epsilon_x$ ถูกใช้เพื่อทำให้ระบบของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรเข้าสู่ภาวะเสถียรแบบชี้กำลัง (Exponential Stability)

โดยที่ S และ P เป็น เมทริกซ์สมมาตรที่มีค่าเป็นบวก

$$K_p \cdot \beta(x, u) = -P$$

$$K_i = K_p \cdot S$$

เมื่อเงื่อนไขในการตั้งค่าอัตราขยายของระบบเป็นไปตามสมการข้างต้น จะทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าที่ถูกประมาณจากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะการประมาณลู่เข้าจนใกล้ค่าศูนย์

3.9 การวิเคราะห์ความเสถียรของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

ในการตรวจสอบความสามารถในการลู่เข้าและความเป็นไปได้ของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรได้ถูกตรวจสอบ [12] สมการเชิงอนุพันธ์ของความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร ϵ_x และ ϵ_p สามารถแสดงดังสมการที่ (3-10) และ (3-11) ตามลำดับ

$$\dot{\epsilon}_x = \beta(x, u) \cdot \epsilon_p - S \cdot \epsilon_x \quad (3-10)$$

$$\dot{\epsilon}_p = K_p \cdot \beta(x, u) \cdot \epsilon_p - K_p \cdot S \cdot \epsilon_x + K_i \cdot \epsilon_x - \beta^T(x, u) \cdot \epsilon_x \quad (3-11)$$

ในการตรวจสอบความเสถียรแบบเลขชี้กำลังของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสามารถแสดงได้โดยการใช้ฟังก์ชันของเลียปูนอฟ (Lyapunov Function) โดยตัวแทนของฟังก์ชันของเลียปูนอฟถูกแสดงดังสมการที่ (3-12)

$$V = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \epsilon_x & \epsilon_p \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_p \end{pmatrix} \geq 0 \quad (3-12)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ของตัวแทนของฟังก์ชันของเลียปูนอฟ V ถูกแสดงดังสมการที่ (3-13)

$$\dot{V} = \epsilon_x^T \cdot \dot{\epsilon}_x + \epsilon_p^T \cdot \dot{\epsilon}_p \quad (3-13)$$

จากสมการที่ (3-10) และ (3-11) สมการที่ (3-13) สามารถถูกแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

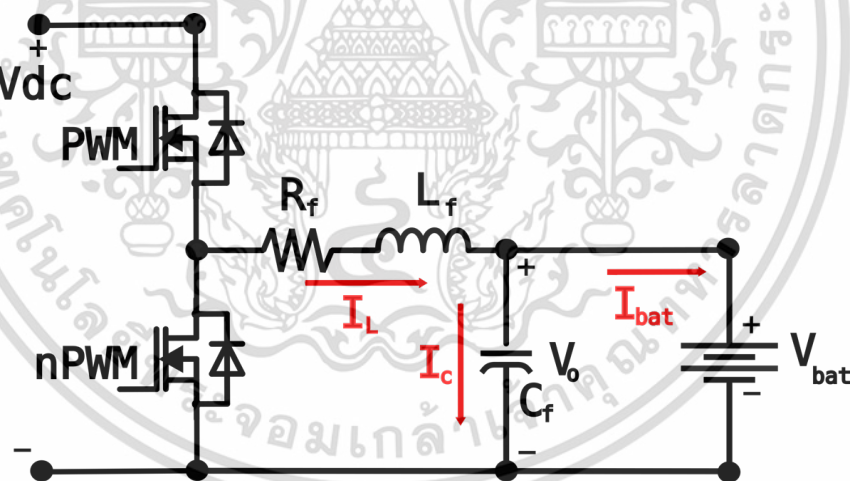
$$\begin{aligned} \dot{V} = & \varepsilon_x^T \cdot \beta(x, u) \cdot \varepsilon_p - \varepsilon_x^T \cdot S \cdot \varepsilon_x + \varepsilon_p^T \cdot K_p \cdot \beta(x, u) \cdot \varepsilon_p \\ & - \varepsilon_p^T \cdot K_p \cdot S \cdot \varepsilon_x + \varepsilon_p^T \cdot K_i \cdot \varepsilon_x - \varepsilon_p^T \cdot \beta^T(x, u) \cdot \varepsilon_x \end{aligned} \quad (3-14)$$

จากนั้นเมื่อกำหนดให้ $K_i = K_p \cdot S$ และ $K_p \cdot \beta(x, u) = -P$ สมการที่ (3-14) สามารถถูกแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V} = (\varepsilon_x \quad \varepsilon_p) \cdot \begin{pmatrix} -S & 0 \\ 0 & -P \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_p \end{pmatrix} \quad (3-15)$$

จากสมการที่ (3-13) และสมการที่ (3-15) ความเสถียรแบบซีกำลังของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสามารถรับประกันได้เมื่อ S และ P เป็นเมทริกซ์ที่มีค่าเป็นบวก จากหลักการของเทคนิคประมาณค่าตัวแปร ไดนามิกซ์ของความต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าประมาณของตัวแปรสถานะจะต้องมีความไวมากกว่าไดนามิกซ์ของความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณของค่าความไม่แน่นอนหรือสัญญาณรบกวนระบบ ดังนั้นหลักการในการปรับค่าของเมทริกซ์ S และ P คือ S จะต้องมีความสูงกว่า

3.10 แบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.1 แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากทฤษฎีการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบหนึ่งเฟส ในการอัดประจุแบตเตอรี่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรงจะมีค่าของแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ นั้นแสดงว่าวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโหมดดวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-16) และสมการที่ (3-17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L_f} (dV_{dc} - R_f I_L - V_o) \quad (3-16)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{1}{C_f} (I_L - I_{bat}) \quad (3-17)$$

โดยที่ V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง

R_f คือ ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่กับตัวเหนี่ยวนำ

L_f คือค่าของตัวเหนี่ยวนำ

C_f คือค่าของตัวเก็บประจุ

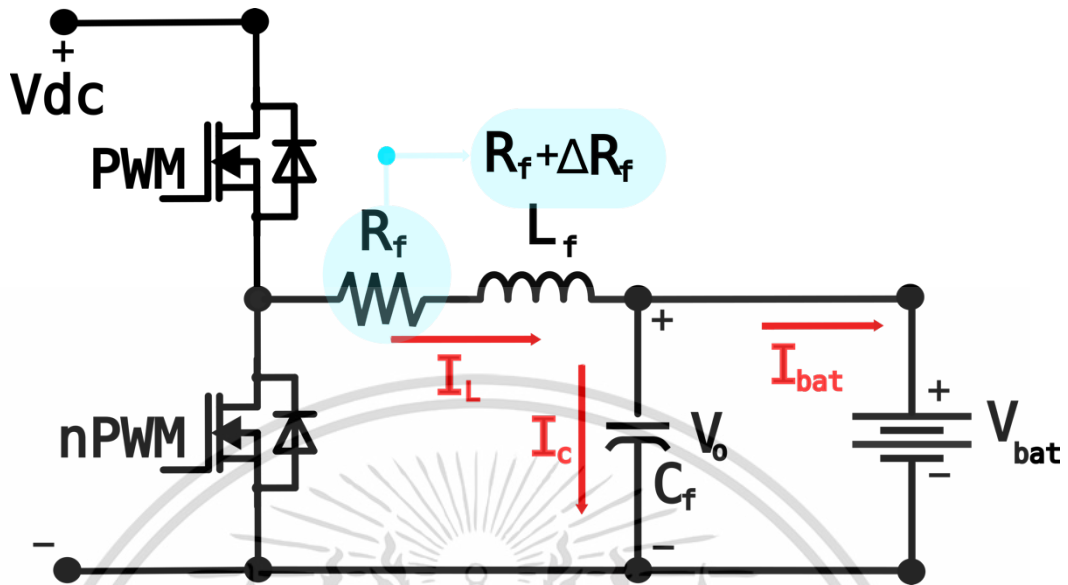
I_{bat} คือกระแสของแบตเตอรี่

I_L คือค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

V_o คือค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาออก

d คือค่าอัตราส่วนระหว่างระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรและระยะเวลาในการทำงานทั้งหมด

แต่ในเชิงปฏิบัติค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความไม่แน่นอนและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของวงจร จากสมการที่ (3-16) และสมการที่ (3-17) จึงได้เพิ่ม V_T ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบ (ความสูญเสียจากการสวิตซ์ซิ่ง, ความสูญเสียจากความต้านทานของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง และความสูญเสียเนื่องจากความไม่แน่นอนของค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมร่วมกับตัวเหนี่ยวนำ) ซึ่งแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รวมความสูญเสียของระบบถูกแสดงดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รวมความสูญเสียของระบบ สามารถถูกแสดงได้ดังสมการที่ (3-18) และสมการที่ (3-19)



รูปที่ 3.2 แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบรวมความสูญเสียของระบบ

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L_f} (dV_{dc} - R_f I_L - V_o - V_T) \tag{3-18}$$

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{1}{C_f} (I_L - I_{bat}) \tag{3-19}$$

3.11 แบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบจำลองของแฮมิลตัน

สมการแบบจำลองของแฮมิลตันได้ถูกอธิบายไว้ในบทที่ 3 ดังสมการที่ (3-20) ในการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันนั้นจำเป็นที่จะต้องจัดรูปสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบควบคุมให้อยู่ในรูปแบบสมการแบบจำลองของแฮมิลตัน

$$\dot{x} = [J-R] \cdot \frac{\partial H(x)}{\partial x} + g(x) \cdot u + \xi \tag{3-20}$$

3.11.1 แบบจำลองที่ไม่รวมความสูญเสียของระบบ

ในการจัดสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบให้อยู่ในรูปแบบจำลองของแฮมิลตันจำเป็นที่จะต้องทำการกำหนดตัวแปรสถานะ จากสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางมีตัวแปรสถานะทั้งหมด 2 ตัว คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจร (V_o) อีกทั้งตัวแปรอินพุตของระบบคือค่าอัตราส่วนระหว่างระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรและระยะเวลาในการ

ทำงานทั้งหมด (d) ดังนั้นตัวแปรภาวะของและตัวแปรอินพุตของระบบสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-21)

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_L \\ V_o \end{bmatrix} \quad (3-21)$$

$$u = d$$

ในการจัดสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบให้อยู่ในแบบจำลองของแฮมิลตัน มีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดสมการฟังก์ชันของแฮมิลตันโดยการใช้อุปกรณ์ที่กักเก็บพลังงานได้ในระบบ ซึ่งวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางมีอุปกรณ์แบบพาสซีฟทั้งหมด 2 ตัว คือตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุทางด้านขาออก ดังนั้นสมการฟังก์ชันของแฮมิลตัน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-22)

$$H(x) = \frac{1}{2} (L_f x_1^2 + C_f x_2^2) \quad (3-22)$$

จากสมการที่ (3-22) สมการความชันของฟังก์ชันของแฮมิลตันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-23)

$$\frac{\partial H(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} L_f x_1 \\ C_f x_2 \end{bmatrix} \quad (3-23)$$

จากสมการที่ (3-16), (3-17), (3-21) และ (3-23) $[J-R]$, $g(x)$ และ ξ ในสมการแบบจำลองของแฮมิลตันสามารถจัดได้ดังสมการที่ (3-24)

$$[J-R] = \begin{bmatrix} -R_f & -1 \\ \frac{1}{L_f} & L_f C_f \end{bmatrix} \quad (3-24)$$

$$g(x) = \begin{bmatrix} V_{dc} \\ L_f \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix}$$

ในการควบคุมระบบด้วยตัวควบคุมแบบแฮมิลตัน จำเป็นที่จะต้องทำการจัดหาฟังก์ชันของแฮมิลตันที่มีจุดการทำงานของแต่ละตัวแปรสถานะเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการตั้งจุดการทำงานของตัวแปรสถานะแต่ละตัวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากตัวแปรสถานะของวงจรแปลงผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีตัวแปรสถานะทั้งหมด 2 ตัว ดังนั้นจุดการทำงานของตัวแปรสถานะจะมี 2 ค่าเช่นกัน ดังสมการที่. (3-25)

$$\begin{bmatrix} x_{1d} \\ x_{2d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{dL} \\ V_{do} \end{bmatrix} \quad (3-25)$$

โดยที่ I_{dL} คือค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ต้องการ

V_{do} คือค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกที่ต้องการ

ฟังก์ชันความต่างของค่าตัวแปรสถานะและจุดการทำงานของตัวแปรสถานะถูกใช้เพื่อให้ผลต่างมีค่าเข้าสู่ค่าศูนย์ ฟังก์ชันของค่าผลต่างและฟังก์ชันความต้องการของแอมิลตันถูกแสดงดังสมการที่ (3-26) และ (3-27) ตามลำดับ

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_{1d}-x_1) \\ (x_{2d}-x_2) \end{bmatrix} \quad (3-26)$$

$$H_d(x) = \frac{1}{2} [L_f (x_{1d}-x_1)^2 + C_f (x_{2d}-x_2)^2] \quad (3-27)$$

จากสมการที่ (3-27) สมการความชันของฟังก์ชันความต้องการของแอมิลตันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-28)

$$\frac{\partial H_d(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} L_f(x_1-x_{1d}) \\ C_f(x_2-x_{2d}) \end{bmatrix} \quad (3-28)$$

ดังนั้น J_d และ R_d สำหรับแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบไม่รวมความสูญเสีย สามารถกำหนดได้ดังนี้สมการที่ (3-29) และ (3-30)

$$J_d = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1+K_j)}{L_f C_f} \\ \frac{1+K_j}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \quad (3-29)$$

$$R_d = \begin{bmatrix} \frac{R_f+K_r}{L_f^2} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3-30)$$

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ในการจัดตั้งเมทริกซ์ J_d และ R_d จะต้องจัดตั้งให้ตรงตามเงื่อนไข

$$J = -J^T \text{ และ } R = R^T \geq 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K_j คืออัตราขยายของการควบคุมแบบวงรอบปิดซึ่ง K_j จะถูกคำนวณทุกครั้ง โดยคาบเวลาในการคำนวณแต่ละครั้ง จะมีค่าเท่ากับคาบเวลาของการสวิตซ์ซึ่ง

K_r คืออัตราขยายของการควบคุมที่จะถูกปรับแก้ไข

จากเนื้อหาในบทที่ 2 สมการกฎการควบคุมแบบแฮมิลตันสำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสแบบไม่รวมความสูญเสียของระบบ สามารถ จัดหาได้โดยใช้สมการ (3-23), (3-24), (3-28), (3-29) และ (3-30) ซึ่งถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (3-31)

$$\begin{bmatrix} -\frac{R_f+K_r}{L_f^2} & -\frac{(1+K_j)}{L_f C_f} \\ \frac{1+K_j}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f(x_1-x_{1d}) \\ C_f(x_2-x_{2d}) \end{bmatrix} = \quad (3-31)$$

$$\begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f^2} & -\frac{1}{L_f C_f} \\ \frac{1}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f x_1 \\ C_f x_2 \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} V_{dc} \\ L_f \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix}$$

d (ค่าอัตราส่วนระหว่างระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรและระยะเวลาในการทำงาน ทั้งหมด) และ K_j สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-31) และถูกแสดงดังสมการที่ (3-32) และ (3-33) ตามลำดับ

$$K_j = -\frac{(I_{bat}-x_{1d})}{(x_1-x_{1d})} \quad (3-32)$$

$$d = \frac{(x_{2d}-K_j x_2 + K_j x_{2d} - K_r x_1 + K_r x_{1d} + R_f x_{1d})}{V_{dc}} \quad (3-33)$$

3.11.2 แบบจำลองที่รวมความสูญเสียของระบบ

สำหรับสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รวมความสูญเสียของระบบ สามารถใช้สมการ (3-18), (3-19), (3-21) และ (3-23) ดังนั้น $[J-R]$, $g(x)$ และ ζ ในสมการแบบจำลองของแฮมิลตันสามารถจัดได้ดังสมการที่ (3-34)

$$[J-R] = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f^2} & -\frac{1}{L_f C_f} \\ \frac{1}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \quad (3-34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(x) = \begin{bmatrix} V_{dc} \\ L_f \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi = \begin{bmatrix} -\frac{V_T}{L_f} \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix}$$

ดังนั้น J_d และ R_d สำหรับแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบรวมความสูญเสีย สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ (3-35) และ (3-36)

$$J_d = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-(1+K_j)}{L_f C_f} \\ \frac{1+K_j}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \quad (3-35)$$

$$R_d = \begin{bmatrix} \frac{R_f+K_r}{L_f^2} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3-36)$$

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ในการจัดตั้งเมทริกซ์ J_d และ R_d จะต้องจัดตั้งให้ตรงตามเงื่อนไข $J = -J^T$ และ $R = R^T \geq 0$

โดยที่ K_j คืออัตราขยายของการควบคุมแบบวงรอบปิดซึ่ง K_j จะถูกคำนวณทุกครั้งโดยคาบเวลาในการคำนวณแต่ละครั้ง จะมีค่าเท่ากับคาบเวลาของการสวิตซ์ซิ่ง

K_r คืออัตราขยายของการควบคุมที่จะถูกปรับแก้ไข

จากเนื้อหาในบทที่ 3 สมการกฎการควบคุมแบบแอมิลตันสำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสแบบรวมความสูญเสียของระบบ สามารถจัดหาได้โดยการใช้สมการ (3-23), (3-28), (3-34), (3-35) และ (3-36) ถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (3-37)

$$\begin{bmatrix} -\frac{R_f+K_r}{L_f^2} & -\frac{(1+K_j)}{L_f C_f} \\ \frac{1+K_j}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f(x_1-x_{1d}) \\ C_f(x_2-x_{2d}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f^2} & -\frac{1}{L_f C_f} \\ \frac{1}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f x_1 \\ C_f x_2 \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} \frac{V_{dc}}{L_f} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{V_T}{L_f} \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix} \quad (3-37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d (ค่าอัตราส่วนระหว่างระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรและระยะเวลาในการทำงานทั้งหมด) และ K_j สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-37) และถูกแสดงดังสมการที่ (3-38) และ (3-39) ตามลำดับ

$$K_j = -\frac{(I_{bat}-x_{1d})}{(x_1-x_{1d})} \quad (3-38)$$

$$d = \frac{(V_T+x_{2d}-K_Jx_2+K_Jx_{2d}-K_r x_1+K_r x_{1d}+R_f x_{1d})}{V_{dc}} \quad (3-39)$$

3.11.3 แบบจำลองสำหรับการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าที่คงที่

ในการจัดสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบให้อยู่ในแบบจำลองของแฮมิลตันเพื่อใช้ในการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ สามารถใช้สมการ (3-34) ได้ โดย J_d และ R_d สำหรับแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบรวมความสูญเสียเพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่สามารถกำหนดได้สมการที่ (3-40) และ (3-41)

$$J_d = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \frac{1}{L_f C_f} \quad (3-40)$$

$$R_d = \begin{bmatrix} R_f+K_{r1} & 0 \\ L_f^2 & 0 \\ 0 & K_{r2} \\ & C_f^2 \end{bmatrix} \quad (3-41)$$

K_{r1} , K_{r2} คืออัตราขยายของการควบคุมที่จะถูกปรับแก้ไข

โดย K_{r1} จะถูกใช้ในการควบคุมกระแสในการอัดประจุ ในขณะที่ K_{r2} ถูกใช้เพื่อหาขนาดกระแสที่จำเป็นสำหรับการอัดประจุจากเนื้อหาในบทที่ 2 สมการกฎการควบคุมแบบแฮมิลตันสำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสแบบรวมความสูญเสียของระบบสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ สามารถจัดทำได้โดยการใส่สมการ (3-23), (3-28), (3-34), (3-40) และ (3-41) ซึ่งถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (3-42)

$$\begin{bmatrix} -\frac{R_f+K_{r1}}{L_f^2} & -\frac{1}{L_f C_f} \\ \frac{1}{L_f C_f} & \frac{K_{r2}}{C_f^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f(x_1-x_{1d}) \\ C_f(x_2-x_{2d}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_f}{L_f^2} & \frac{-1}{L_f C_f} \\ \frac{1}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f x_1 \\ C_f x_2 \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} \frac{V_{dc}}{L_f} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{V_T}{L_f} \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix} \quad (3-42)$$

d (ค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการปิดวงจรและระยะเวลาในการทำงานทั้งหมด) และ x_{1d} (กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ต้องการ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-42) และถูกแสดงดังสมการที่ (3-43) และ (3-44) ตามลำดับ

$$x_{1d} = I_{bat} + K_{r2}(x_{2d}-x_2) \quad (3-43)$$

$$d = \frac{(V_T+x_{2d}-K_{r1}x_1+K_{r1}x_{1d}+R_f x_{1d})}{V_{dc}} \quad (3-44)$$

3.12 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

การควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยการควบคุมแบบแอมัลต์ลเป็นการควบคุมที่มีพื้นฐานจากแบบจำลองของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลอง ในการควบคุมระบบที่มีความไม่แน่นอนจะทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมไม่เป็นไปตามที่ตั้งไว้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น การได้รับข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนของระบบจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคประมาณค่าตัวแปรกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง ซึ่งเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรนี้ถูกใช้เพื่อประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการสูญเสียของระบบ อีกทั้งกระแสของแบตเตอรี่ยังถูกประมาณค่าด้วยเทคนิคประมาณค่าตัวแปร

จากทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่ได้ถูกกล่าวถึงไว้ในบทนี้ มีความจำเป็นที่จะต้องจัดรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางให้อยู่ในรูปแบบของสมการเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ โดยสมการเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะถูกแสดงดังสมการที่ (3-45)

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= f(x, u) + \beta(x, u) \cdot \hat{p} - S \cdot \varepsilon_x \\ \dot{\hat{p}} &= K_p \cdot \dot{\varepsilon}_x + K_i \cdot \varepsilon_x - \beta^T(x, u) \cdot \varepsilon_x \end{aligned} \quad (3-45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเชิงอนุพันธ์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางที่ทำงานอยู่ในโหมดวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (3-18) และ (3-19) จะเห็นได้ว่าสมการเชิงอนุพันธ์ข้างต้นมีตัวแปรสถานะทั้งหมด 2 ตัว คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และแรงดันทางด้านขาออก (V_o) ซึ่งตัวแปรสถานะทั้ง 2 ตัวนี้จะถูกวัดด้วยเซ็นเซอร์ นอกจากนี้ V_T ที่ปรากฏอยู่ในสมการเชิงอนุพันธ์เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้ V_T จะถูกประมาณค่าด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร อีกทั้งกระแสแบตเตอรี่ (I_{bat}) จะถูกประมาณค่าเช่นกัน เพื่อลดจำนวนของเซ็นเซอร์ที่ต้องการ โดยเมทริกซ์ของตัวแปรสถานะ และเมทริกซ์ของตัวแปรที่จะถูกประมาณค่าด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ ถูกแสดงดังสมการที่ (3-46) และ (3-47)

$$\hat{x} = [\hat{x}_1 \hat{x}_2] = [\hat{I}_L \hat{V}_o] \quad (3-46)$$

$$\hat{p} = [\hat{p}_1 \hat{p}_2] = [\hat{V}_T \hat{I}_{bat}] \quad (3-47)$$

จากสมการที่ (3-18), (3-19), (3-46) และ (3-47) จะเห็นได้ว่า $\beta(x, u)$ สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ (3-48)

$$g(x, u) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_f} \end{bmatrix} \quad (3-48)$$

จากทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะที่ถูกกล่าวถึงในบทที่ 3 จำเป็นที่จะต้องกำหนดค่า K_p และ K_i โดยที่ $K_p \beta(x, u) = -P$ และ $K_i = K_p \cdot S$ จะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าของเมทริกซ์ S และ เมทริกซ์ P เนื่องจากในการประมาณค่าตัวแปรสถานะและตัวแปรที่ไม่รู้ค่า ค่าผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณของตัวแปรสถานะจะต้องมีค่าเข้าสู่ศูนย์รวดเร็วกว่าค่าผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณของตัวแปรที่ไม่รู้ค่า ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าของเมทริกซ์ S ให้มีค่ามากกว่าเมทริกซ์ P เพื่อยืนยันว่าเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรจะสามารถทำงานได้ตามที่ควร โดยเมทริกซ์ S และ P สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-49) และ (3-50)

$$S = \begin{bmatrix} 5000 & 0 \\ 0 & 5000 \end{bmatrix} \quad (3-49)$$

$$P = \begin{bmatrix} 500 & 0 \\ 0 & 500 \end{bmatrix} \quad (3-50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3-18), (3-19) และ (3-46)-(3-50) สมการเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ (3-45) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-51)

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_1 \\ \dot{\hat{x}}_2 \\ \dot{\hat{p}}_1 \\ \dot{\hat{p}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S(x_1 - \hat{x}_1) - \frac{p_1}{L_f} + \left(\frac{uV_{dc} - R_f x_1 - x_2}{L_f} \right) \\ S(x_2 - \hat{x}_2) - \frac{p_2}{C_f} + \frac{x_1}{C_f} \\ K_p \dot{\varepsilon}_{x1} + K_i \varepsilon_{x1} + \frac{\varepsilon_{x1}}{L_f} \\ K_p \dot{\varepsilon}_{x2} + K_i \varepsilon_{x2} + \frac{\varepsilon_{x2}}{C_f} \end{bmatrix} \quad (3-51)$$

3.13 บทสรุป

ในบทนี้ได้เสนอแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางที่มีการเพิ่มข้อมูลของแบบจำลอง อีกทั้งได้มีการจัดหาข้อมูลดังเช่นทฤษฎีและหลักการการทำงานของ การควบคุมแบบแอมัลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร รวมถึงวิธีประยุกต์ใช้งานการควบคุมดังกล่าวกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

บทที่ 4

การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 บทนำ

การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นขั้นตอนที่สำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากในขั้นตอนนี้เราจะสามารถศึกษาผลการทำงานของวงจรผ่านการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อยืนยันหลักการการทำงานของวงจรว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ ดังนั้นการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่จำเป็นก่อนที่จะสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ อีกทั้งการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมของการทำงาน และทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหา เพื่อให้วงจรจำลอง เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุดก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต้นแบบ

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างบัลลัสและแบริสเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง โดยเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันกระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางได้ถูกกล่าวถึงในบทที่ 2

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร เพื่อใช้ในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink เนื้อหาในบทนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง การออกแบบการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางด้วยตัวควบคุมแบบแอมัลตัน การใช้เทคนิคประมาณค่าตัวแปรกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง การออกแบบการทำงานของวงจรผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink การจำลองการทำงานของการควบคุมแบบแอมัลตันซึ่งทำงานร่วมกับเทคนิคประมาณค่าตัวแปรซึ่งถูกประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง ผลการจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink

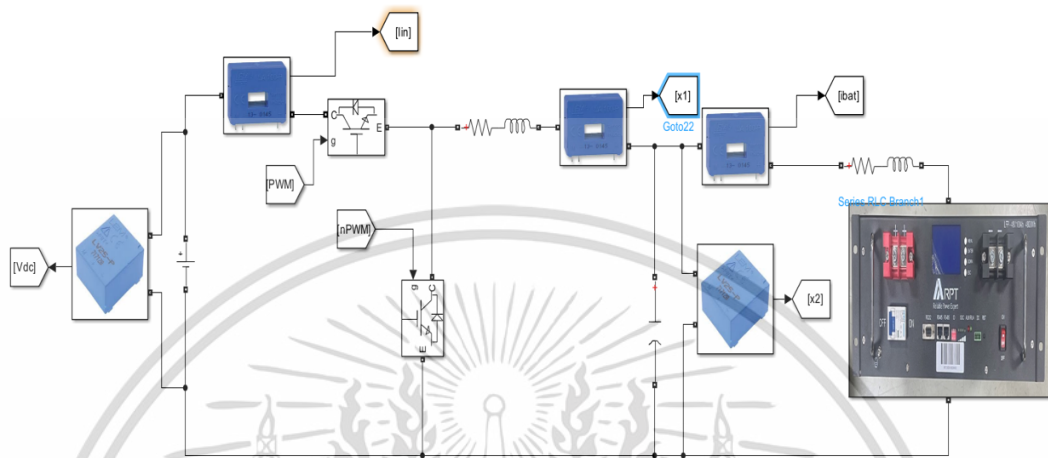
4.2 การออกแบบการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

การออกแบบการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ประกอบไปด้วย การออกแบบการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางด้วยการควบคุมแบบแอมัลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ และการออกแบบการควบคุมเพื่อจัดหาสัญญาณในการขับสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ไม่รวมความสูญเสียของระบบ

โดยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จะถูกจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ถูกแสดงดังรูปที่ 4.1 และค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถูกแสดงดังตารางที่ 4.1

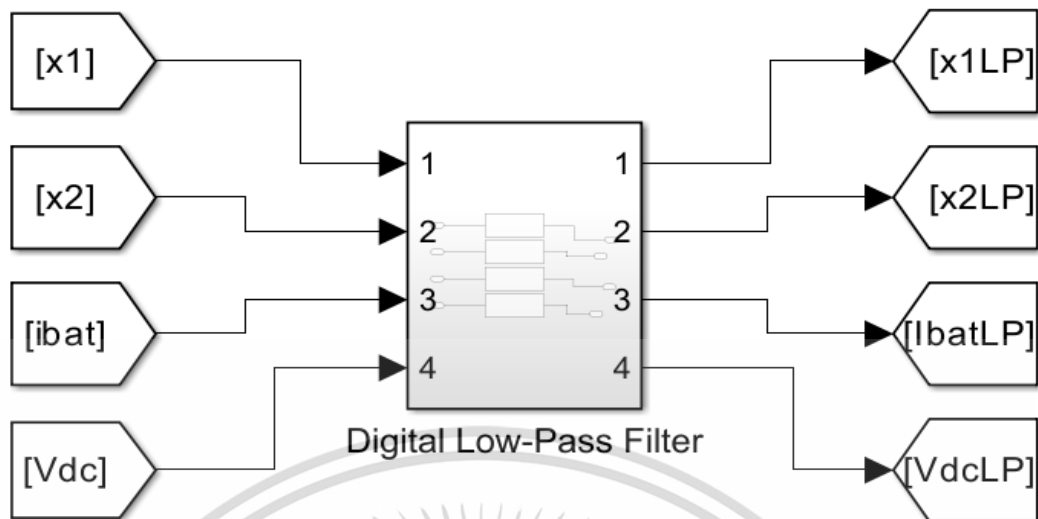


รูปที่ 4.1 แบบจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
ตาราง 4.1 พารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

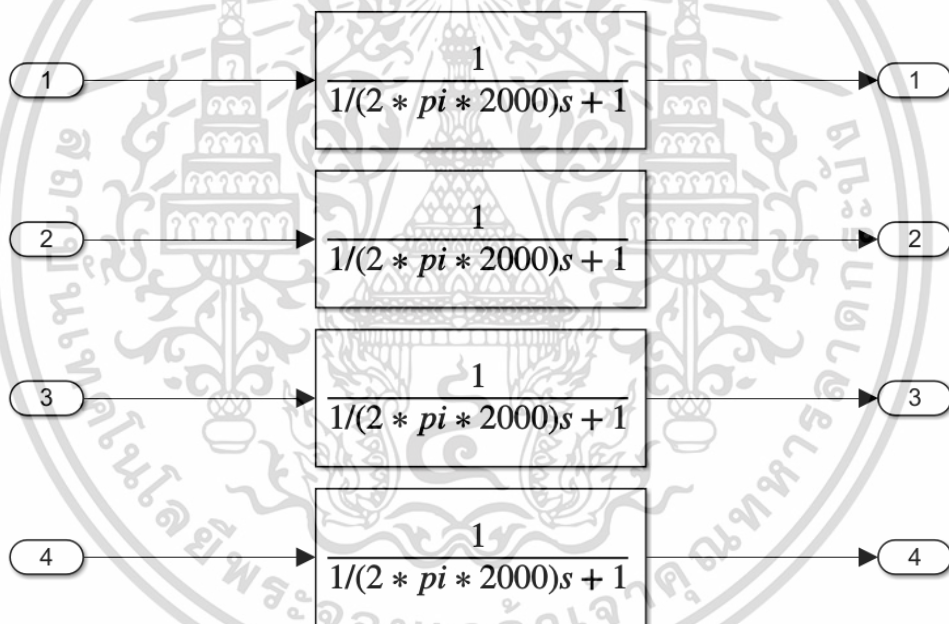
พารามิเตอร์	ค่า
V_{dc}	96 V
V_{bat}	48 V
L_f	2.5 mF
C_f	220 uF
R_f	50 mΩ

การสร้างสัญญาณการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat}) และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ (V_{bat}) จากนั้นค่าที่วัดได้จะถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นค่าที่ถูกรวบรวมเซ็นเซอร์หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำจะถูกนำเข้าสู่บล็อก MATLAB Function ซึ่งภายในบล็อก MATLAB Function ค่าต่างๆจะถูกใช้ในการคำนวณสำหรับสมการที่ (3-34) และ (3-35) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการข้างต้น เราจำเป็นที่จะต้องทำการปรับจูนค่า K_r ซึ่งในการจำลองผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นี้ K_r จะถูกตั้งให้มีค่าเท่ากับ 25 และ K_j ที่ได้จากการคำนวณจะถูกจำกัด $-5 \leq K_j \leq 5$ โดยขั้นตอนในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้หนึ่งเฟสสามารถสรุปและแสดงดัง

รูปที่ 4.2
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

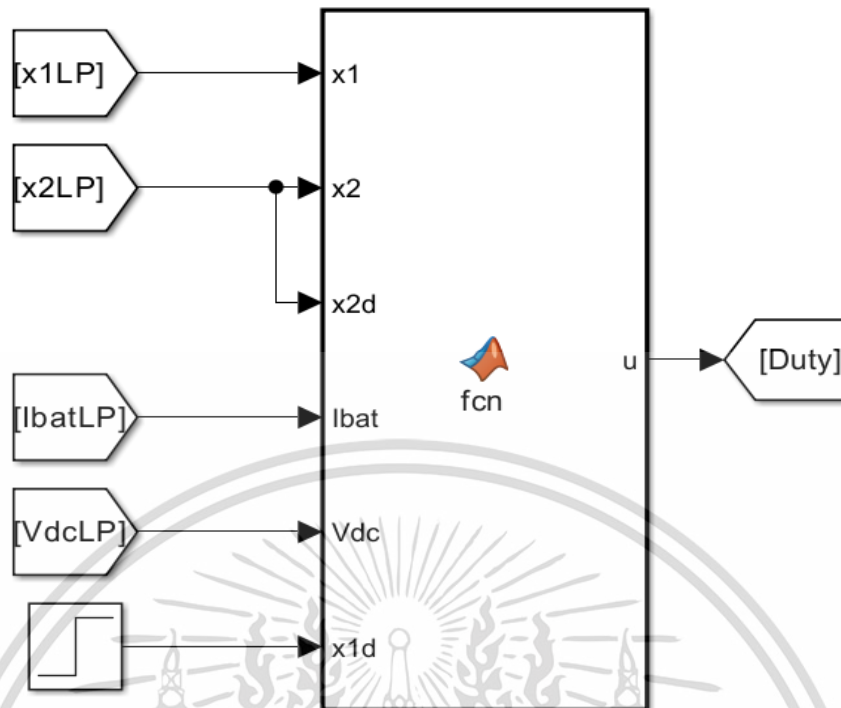


ก) บล็อกวงจรกรองความถี่



ข) ภายในบล็อกวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hamiltonian Control Law

ค)บล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตัน

```
function u = fcn(x1,x2,x2d,Ibat,Vdc,x1d)
Rf = 0.05;
Cf = 220-6;
Lf = 2.5e-3;
Kr = 25;
Kj = -(Ibat-x1d)/(x1-x1d);
if Kj >= 5
    Kj = 5;
elseif Kj <= -5
    Kj = -5;
end
Tempu = (x2d+Rf*x1+Kr*(x1d-x1)+Kj*(x2d-x2))/Vdc;

if Tempu >= 1
    Tempu = 1;
elseif Tempu <= 0
    Tempu = 0;
end
u = Tempu;
```

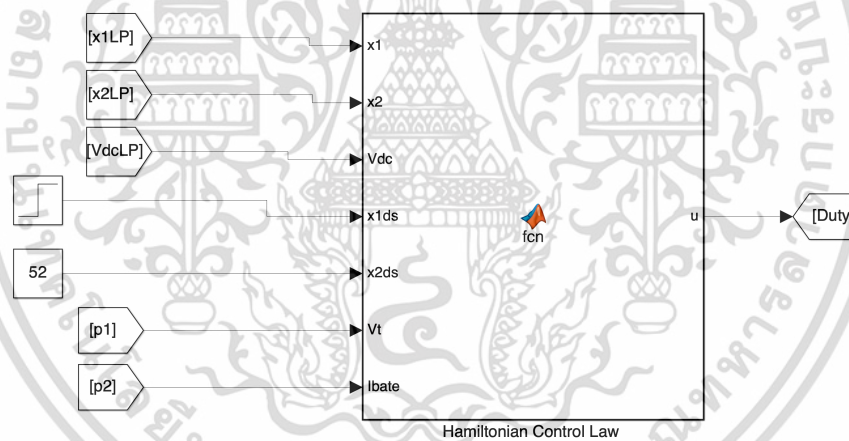
ง)ภายในบล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตัน

รูปที่ 4.2 สรุปรูปการควบคุมแบบแฮมิลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 แบบรวมความสูญเสียของระบบ

การสร้างสัญญาณการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบรวมความสูญเสียของระบบ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ (V_{bat}) จากนั้นค่าที่วัดได้จะถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นค่าที่ถูกรวบรวมผ่านเซ็นเซอร์หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำจะถูกนำเข้าสู่บล็อก MATLAB Function ซึ่งภายในบล็อก MATLAB Function ค่าต่างๆจะถูกใช้ในการคำนวณสำหรับสมการที่ (3-38) และ (3-39) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวแปรอินพุต อีกทั้งภายในบล็อก MATLAB Function ยังมีการใช้สมการที่ (3-49)-(3-51) เพื่อใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสถานะและตัวแปรไม่ทราบค่าทั้ง V_T และ I_{bat} ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการข้างต้น เราจำเป็นที่จะต้องทำการปรับจูนค่า K_r ซึ่งในการจำลองผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นี้ K_r จะถูกตั้งให้มีค่าเท่ากับ 2 และ K_j ที่ได้จากการคำนวณจะถูกจำกัด $-5 \leq K_j \leq 5$ โดยขั้นตอนในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้หนึ่งเฟสสามารถสรุป และถูกแสดงดังรูปที่ 4.3



ก)บล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตัน

```

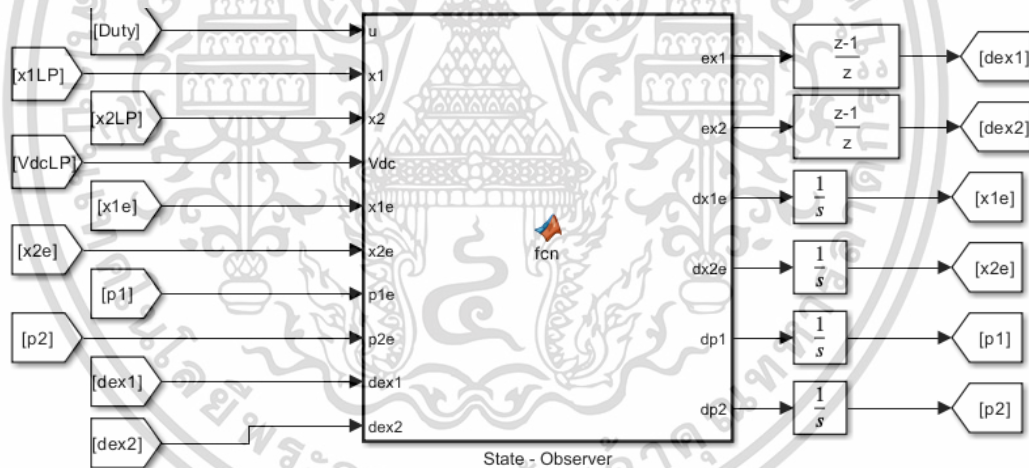
function u = fcn(x1,x2,x2d,Ibat,Vdc,x1d,Vt)
Rf = 0.05;
Cf = 220-6;
Lf = 2.5e-3;
Kr = 2.5;
Kj = -(Ibat-x1d)/(x1-x1d);
if Kj >= 5
    Kj = 5;
elseif Kj <= -5
    Kj = -5;
end

Tempu = (Vt+x2d+Rf*x1+Kr*(x1d-x1)+Kj*(x2d-x2))/Vdc;

if Tempu >= 1
    Tempu = 1;
elseif Tempu <= 0
    Tempu = 0;
end
u = Tempu;

```

ข) ภายในบล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตัน



ค) บล็อกเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function [ex1,ex2,dx1e,dx2e,dp1,dp2] = fcn(u,x1,x2,Vdc,x1e,x2e,p1e,p2e,dex1,dex2)
Rf = 0.05;
Cf = 220e-6;
Lf = 2.5e-3;
S=5000;
P=500;

Kp1=P*Lf;
Ki1=Kp1*S;
Kp2=P*Cf;
Ki2=Kp2*S;

ex1=x1e-x1;
ex2=x2e-x2;

dx1e = S*(x1 - x1e) - p1e/Lf - x2/Lf + (Vdc*u)/Lf - (Rf*x1)/Lf;
dx2e = S*(x2 - x2e) - p2e/Cf + x1/Cf;
dp1 = Kp1*dex1+Ki1*ex1-(x1 - x1e)/Lf;
dp2 = Kp2*dex2+Ki2*ex2-(x2 - x2e)/Cf;

```

ง)ภายในบล็อกเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

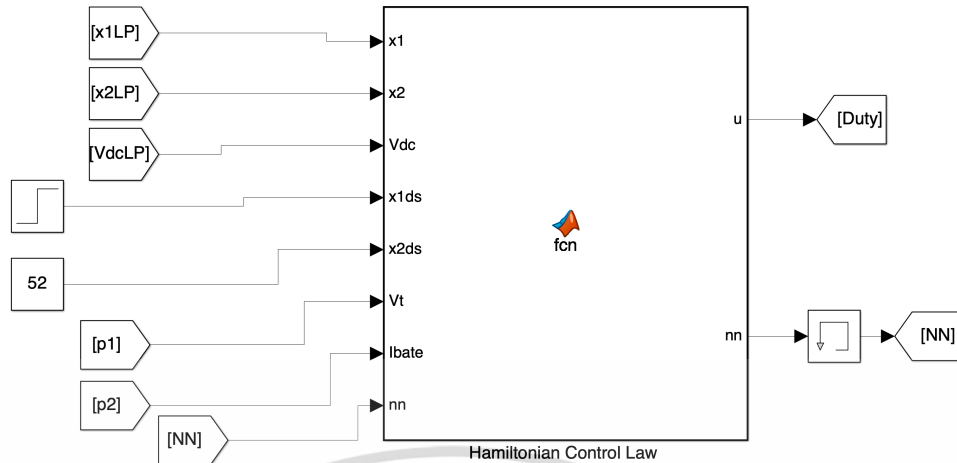
รูปที่ 4.3 สรุปการควบคุมแบบแอมัลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

4.2.3 การอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

โดยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส ที่จะถูกจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ถูกแสดงดังรูปที่ 4.1 และค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถูกแสดงดังตารางที่ 4.1

การสร้างสัญญาณการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบรวมความสูญเสียของระบบ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ (V_{bat}) จากนั้นค่าที่วัดได้จะถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นค่าที่ได้หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำจะถูกนำเข้าสู่บล็อก MATLAB Function ซึ่งภายในบล็อก MATLAB Function ค่าต่างๆจะถูกใช้ในการคำนวณสำหรับสมการที่ (3-43) และ (3-44) เพื่อใช้ในการคำนวณหาตัวแปรอินพุตและคำสั่งของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ อีกทั้งภายในบล็อก MATLAB Function อีกทั้งภายในบล็อก MATLAB Function ยังมีการใช้สมการที่ (3-49)-(3-51) เพื่อใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสถานะและตัวแปรไม่ทราบค่าทั้ง V_T และ I_{bat} ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการข้างต้น เราจำเป็นที่จะต้องทำการปรับจูนค่า K_{r1} และ K_{r2} และ ซึ่งในการจำลองผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นี้ $K_{r1} = 2$ และ $K_{r2} = 0.5$ โดยขั้นตอนในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถสรุปและถูกแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



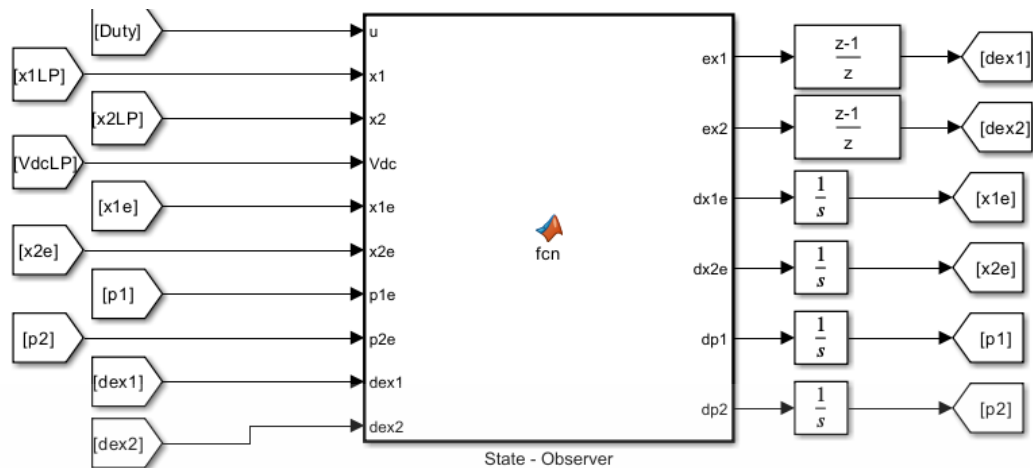
ก)บล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตันสำหรับวงจร

```
function [u,nn] = fcn(x1,x2,Vdc,x1ds,x2ds,Vt,Ibate,nn)

Rf = 0.05;
Cf = 220e-6;
Lf = 2.5e-3;
Kr = 2.5;
Kr2= 0.5;
if nn >= 1000
    x1d=Ibate - Kr2*x2 + Kr2*x2ds;
    x2d=x2ds;
else
    x1d=x1ds;
    x2d=x2;
end
if x2>=x2ds
    if x1ds >= 1
        nn=nn+1;
    else
        nn=0;
    end
    if nn>=1000
        nn=1000;
    end
end
if x1d>=x1ds
    x1d=x1ds;
end
Tempu = (Vt+x2d+Rf*x1+Kr*(x1d-x1))/Vdc;
if Tempu >= 1
    Tempu = 1;
elseif Tempu <= 0
    Tempu = 0;
end
u = Tempu;
```

ข)ภายในบล็อกการควบคุมแบบแฮมิลตันสำหรับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค)บล็อกเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะสำหรับวงจรถูก

```
function [ex1,ex2,dx1e,dx2e,dp1,dp2] = fcn(u,x1,x2,Vdc,x1e,x2e,p1e,p2e,dex1,dex2)
Rf = 0.05;
Cf = 220e-6;
Lf = 2.5e-3;
S=5000;
P=500;

Kp1=P*Lf;
Ki1=Kp1*S;
Kp2=P*Cf;
Ki2=Kp2*S;

ex1=x1e-x1;
ex2=x2e-x2;

dx1e = S*(x1 - x1e) - p1e/Lf - x2/Lf + (Vdc*u)/Lf - (Rf*x1)/Lf;
dx2e = S*(x2 - x2e) - p2e/Cf + x1/Cf;
dp1 = Kp1*dex1+Ki1*ex1-(x1 - x1e)/Lf;
dp2 = Kp2*dex2+Ki2*ex2-(x2 - x2e)/Cf;
```

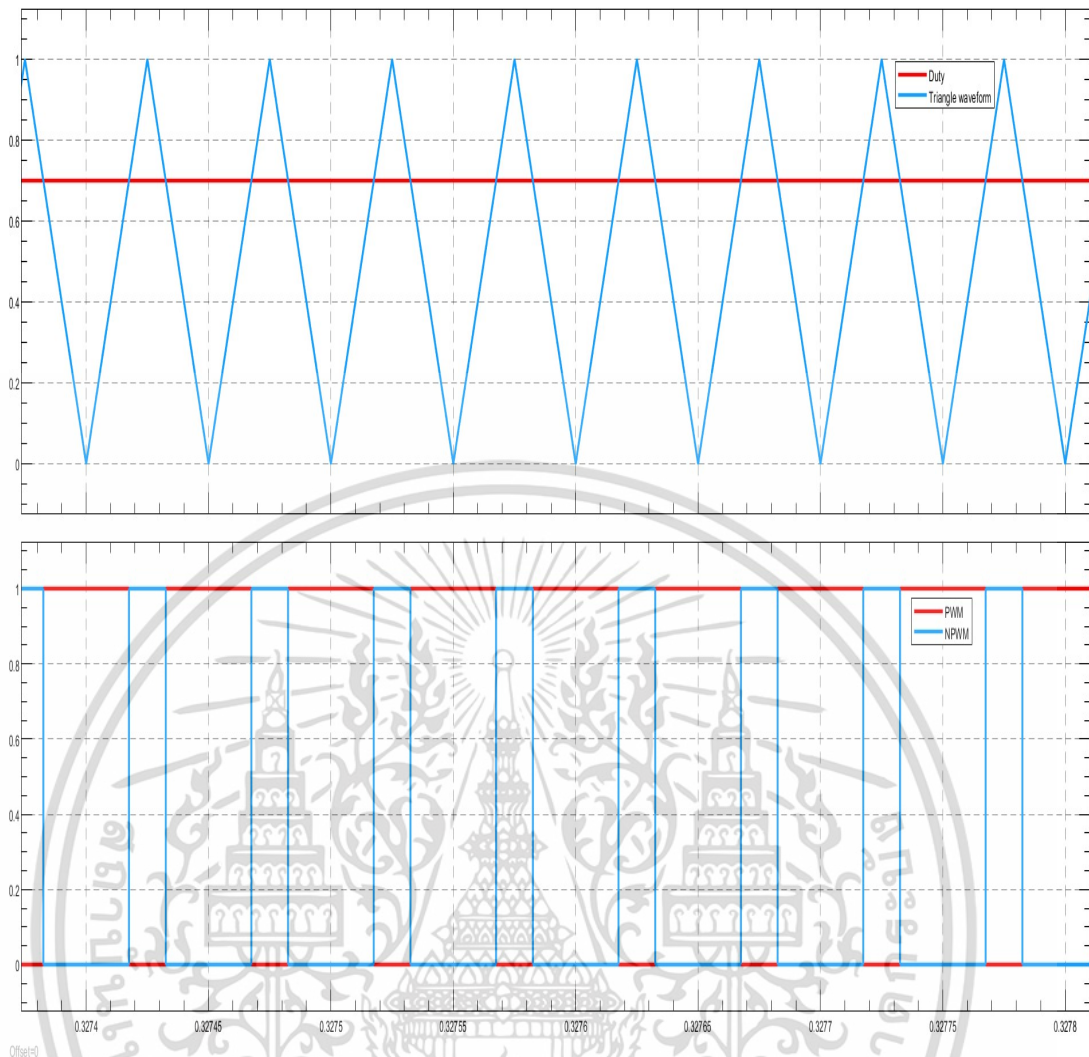
ง)ภายในบล็อกเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะสำหรับวงจรถูก

รูปที่ 4.4 สรุปลการควบคุมแบบแฮมิลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ

การสร้างสัญญาณขับ MOSFET สำหรับวงจรถูกแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

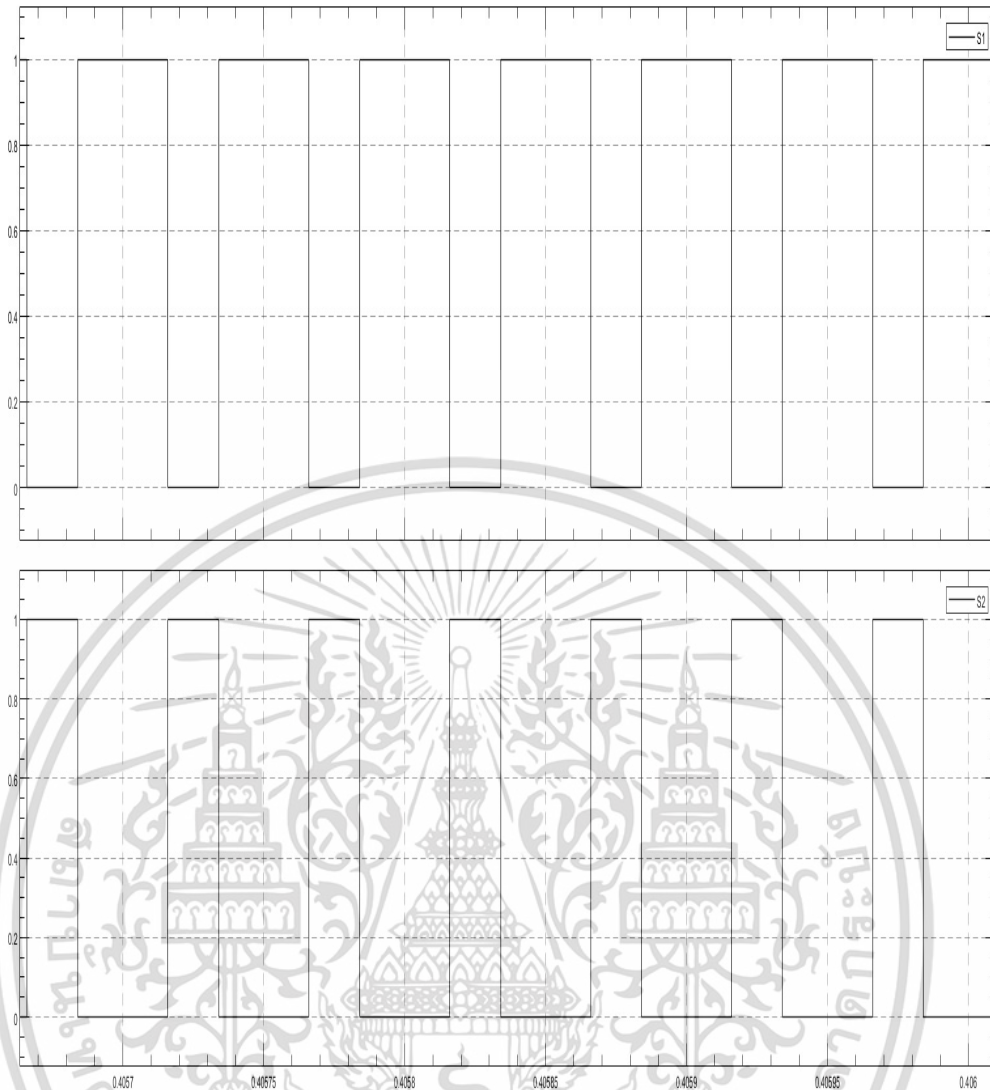
การสร้างสัญญาณ PWM สำหรับใช้ในการขับ MOSFET โดยใช้ค่า Duty ที่ได้จากการคำนวณจากกฎการควบคุมแบบแฮมิลตัน โดยค่าที่คำนวณได้จะถูกใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีค่าแอมพลิจูดอยู่ระหว่าง 0 - 1 เมื่อค่าสัญญาณ Duty มีค่ามากกว่าสัญญาณสามเหลี่ยม สัญญาณ PWM จะมีค่าเท่ากับ 1 ในขณะที่ เมื่อสัญญาณ Duty มีค่าน้อยกว่าสัญญาณสามเหลี่ยม สัญญาณ PWM จะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากสัญญาณสามเหลี่ยมมีความถี่เท่ากับ 20 kHz จึงส่งผลให้สัญญาณ PWM มีความถี่เท่ากับ 20 kHz เช่นกัน โดยสัญญาณ PWM ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณ Duty เปรียบเทียบ Triangle wave และ สัญญาณ PWM

เนื่องจากวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบหนึ่งเฟส ประกอบไปด้วย MOSFET จำนวน 2 ตัว ซึ่ง MOSFET 2 ตัวนี้จะทำงานไม่พร้อมกัน โดยสัญญาณ PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณ Duty กับสัญญาณสามเหลี่ยม จะถูกใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมสวิตช์ S1 ในขณะที่ สวิตช์ S2 จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ PWM ที่ได้มีการผ่าน NOT Gate เพื่อให้สวิตช์ S1 และ สวิตช์ S2 ทำงานไม่พร้อมกัน สัญญาณ PWM ที่ใช้ในการควบคุม MOSFET แต่ละตัวจะถูกแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สัญญาณ PWM สำหรับสวิตช์ S1 และ S2

4.3 ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

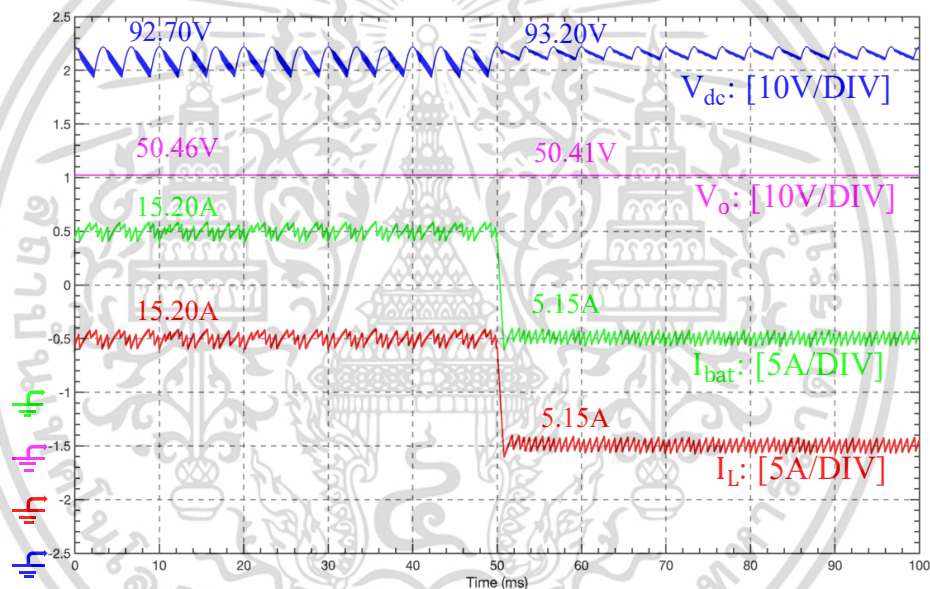
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางเมื่อวงจรดังกล่าวถูกใช้สำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยการจำลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน การควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตัน การควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางด้วยตัวควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร และสุดท้าย การควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบหลายเฟสด้วยตัวควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจรจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่า 96 V แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่อยู่ที่ 48V และ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยคำสั่งกระแส 15A จากนั้นจะทำการปรับค่าคำสั่งเป็น 5 A

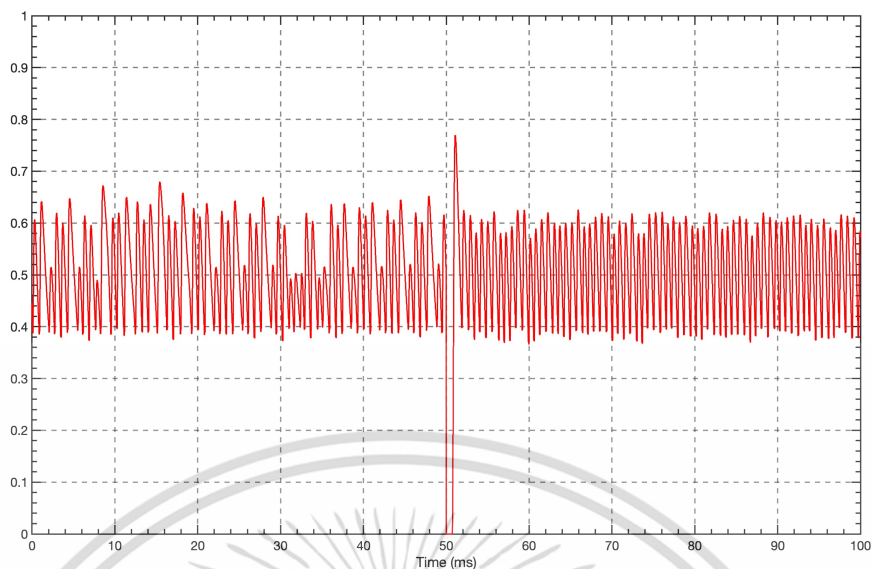
4.3.1 การควบคุมแบบแฮมิลตัน

การจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสเมื่อถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันถูกใช้เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหนึ่งเฟสเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ได้ โดยพารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส การออกแบบการควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตัน ถูกแสดงไว้ยังบทที่ 3 โดยผลการจำลองจะประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (V_o) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat}) และ สัญญาณ Duty



ก) ผลการจำลอง: แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต
กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



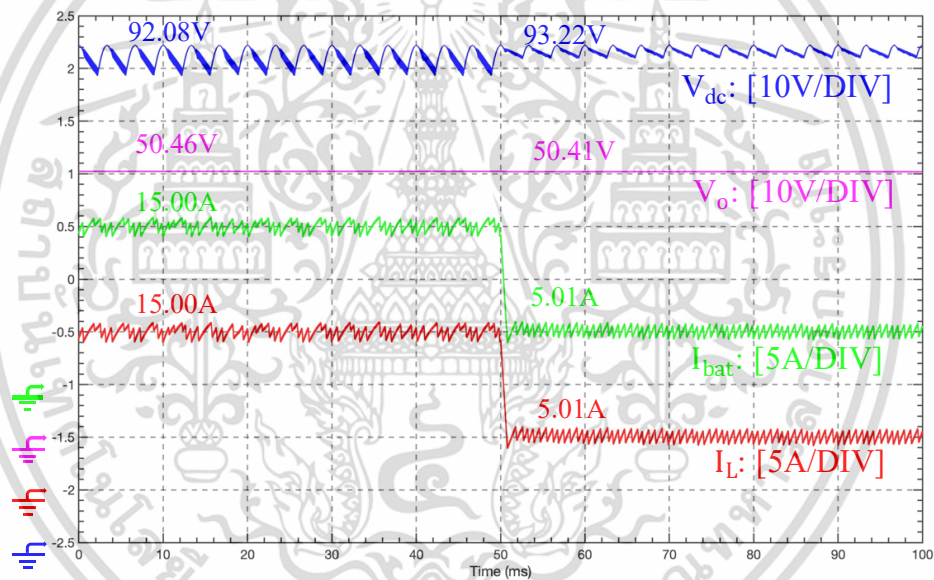
ข) ผลการจำลอง: สัญญาณ Duty เมื่อมีการเปลี่ยนคำสั่งกระแสในการอัดประจุจาก 15A เป็น 5A

รูปที่ 4.7 ผลการจำลองการควบคุมด้วยการควบคุมแบบแอมพลิตูดัน

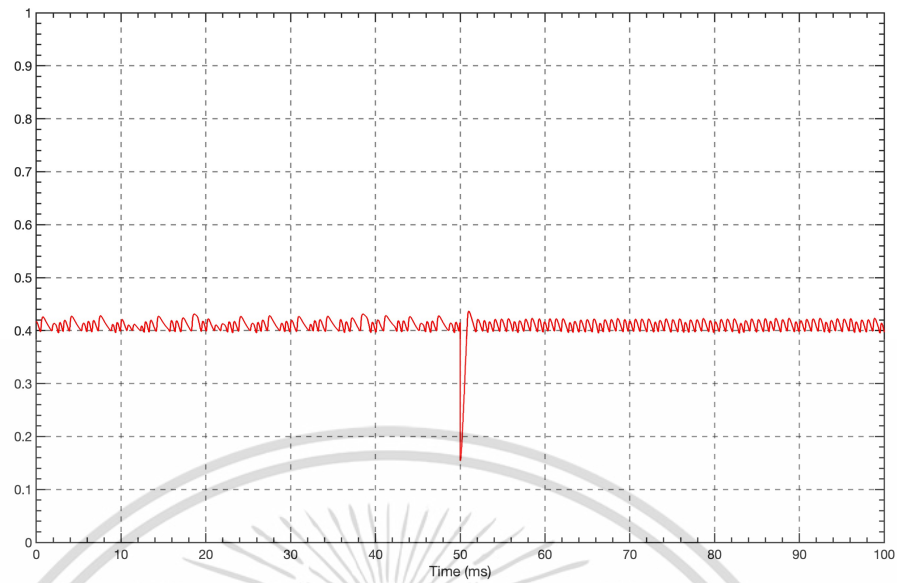
ในตอนเริ่มต้นแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยคำสั่งกระแสที่มีค่าเท่ากับ 15A จนกระทั่งเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที คำสั่งกระแสที่ใช้การอัดประจุแบตเตอรี่จะถูกเปลี่ยนเป็น 5 A ในรูปที่ รูปที่ 4.7 แสดงผลการจำลองเมื่อวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแอมพลิตูดัน จากรูปที่ 4.7 (ก) ที่เวลาน้อยกว่า 50 มิลลิวินาที ค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (V_o) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 92.70V, 50.46V, 15.20A และ 15.20A ตามลำดับ. จากนั้นเมื่อเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที คำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 5A จะเห็นได้ว่าเมื่อคำสั่งใหม่ถูกป้อนให้กับตัวควบคุมแบบแอมพลิตูดัน กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat}) มีค่าลดลงเท่ากับ 5.15A และ 5.15A ตามลำดับ อีกทั้งค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าอยู่ที่ 93.20V ในขณะที่แรงดันทางด้านขาออกของวงจรมีค่าลดลงและมีค่าเท่ากับ 50.41V โดยเวลาที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเข้าสู่จุดคงตัวเมื่อได้รับคำสั่งของกระแสในการอัดประจุจาก 15A เป็น 5A ค่าเท่ากับ 1.8ms.

4.3.2 การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

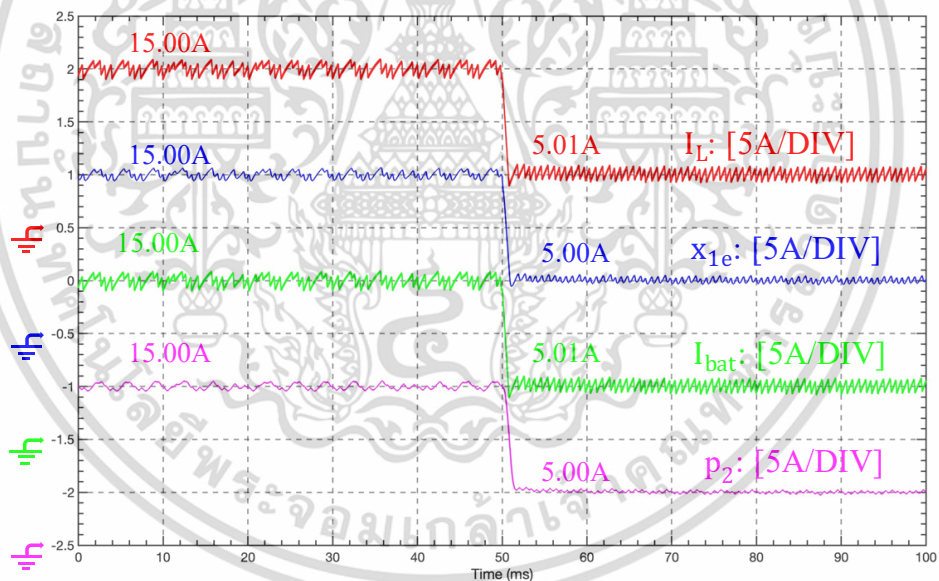
การจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟสเมื่อถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรถูกใช้เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหนึ่งเฟสเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ได้ โดยพารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส การออกแบบการควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ ถูกแสดงไว้ยังบทที่ 3 โดยผลการจำลองจะประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (V_o) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat}) และสัญญาณ Duty อีกทั้งค่าที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรซึ่งประกอบไปด้วย ค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}) ค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (x_{2e}) กระแสของแบตเตอรี่ (p_2) และแรงดันไฟฟ้า (V_T)



ก) ผลการจำลอง: แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต
กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแบตเตอรี่

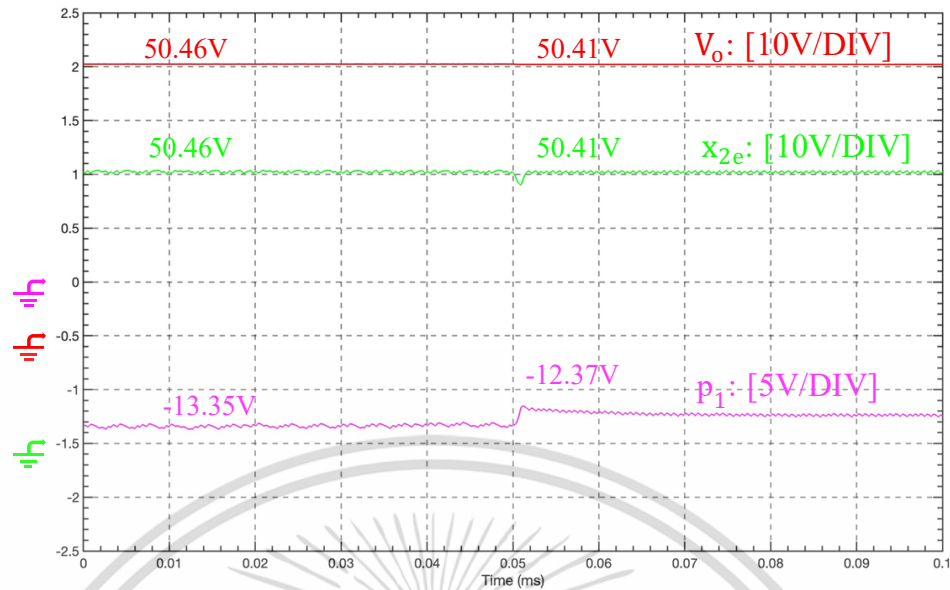


ข) ผลการจำลอง: สัญญาณ Duty เมื่อมีการเปลี่ยนคำสั่งกระแสในการอัดประจุจาก 15A เป็น 5A



ค) ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และค่าจริงและค่าประมาณของกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง)ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก และแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียในระบบ

รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการถูกควบคุมด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

ในตอนเริ่มต้นเบตเตอร์จะถูกอัดประจุด้วยคำสั่งกระแสที่มีค่าเท่ากับ 15A จนกระทั่งเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที คำสั่งกระแสที่ใช้การอัดประจุเบตเตอร์จะถูกเปลี่ยนเป็น 5 A ในรูปที่ 4.8 การจำลองเมื่อวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร จากรูปที่ รูปที่ 4.8(ก) ที่เวลาน้อยกว่า 50 มิลลิวินาที ค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (V_o) กระแสของเบตเตอร์ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 92.08V, 50.46V, 15.00A และ 15.00A ตามลำดับ. จากนั้นเมื่อเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที คำสั่งในการอัดประจุเบตเตอร์มีค่าเท่ากับ 5A จะเห็นได้ว่าเมื่อคำสั่งใหม่ถูกป้อนให้กับตัวควบคุมแบบแฮมิลตัน กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) กระแสของเบตเตอร์ (I_{bat}) มีค่าลดลงจนมีค่าเท่ากับ 5.01A และ 5.01A ตามลำดับ อีกทั้งค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจร (V_{dc}) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าอยู่ที่ 93.22V ในขณะที่แรงดันทางด้านขาออกของวงจรมีค่าลดลงและมีเท่ากับ 50.41V โดยเวลาที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเข้าสู่จุดคงตัวเมื่อได้รับคำสั่งของกระแสในการอัดประจุจาก 15A เป็น 5A ค่าเท่ากับ 2ms.

จากรูปที่ รูปที่ 4.8 (ค) แสดงถึงค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลเข้าสู่เบตเตอร์ จะเห็นได้ว่าทั้งค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลเข้าสู่เบตเตอร์มีค่าเข้าใกล้ค่าจริงและมีค่าเท่ากับ 15.00A และ 15.00A ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อคำสั่งกระแสในการชาร์จเบตเตอร์เปลี่ยนจาก

15A เป็น 5A ค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลเข้าสู่เบตเตอร์มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

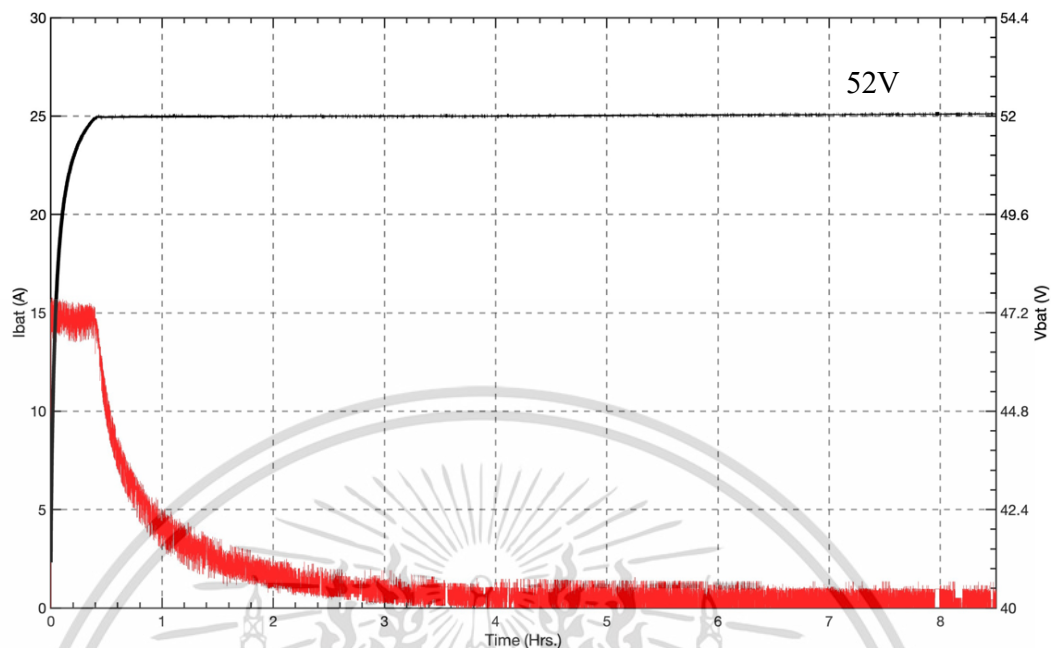
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 5.00A และ 5.00A ตามลำดับ โดยเวลาที่เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรใช้เมื่อคำสั่งของการอัดประจุเปลี่ยนค่าจาก 15A เป็น 5 A กระประมาณค่ากระแสใช้เวลา 4.1ms

สุดท้ายจากรูปที่ รูปที่ 4.8 (ง) แสดงถึงค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านขาออกด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัว อีกทั้งยังแสดงถึงค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียในระบบ จะเห็นได้ว่าค่าจริงของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านขาออกมีค่าเท่ากับ 50.46V ก่อนเวลา 50 มิลลิวินาที และมีค่าเท่ากับ 50.41V หลังจากเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ในขณะที่ค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านขาออกก่อนเวลา 50 มิลลิวินาทีที่มีค่าเท่ากับ 50.46V และมีค่าเท่ากับ 50.41V หลังจากเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ในขณะที่ แรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ -13.35V ก่อนเวลา 50 มิลลิวินาที และมีค่าเท่ากับ -12.37V หลังจากเวลาที่มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที

4.3.3 การควบคุมการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

การจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรถูกใช้เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหนึ่งเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ได้ด้วยวิธีกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยพารามิเตอร์สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การออกแบบการควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ ถูกอธิบายไว้ยังบทที่ 3 โดยผลการจำลองจะประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_{bat}) กระแสของแบตเตอรี่ (I_{bat})



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

ในตอนเริ่มต้นแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยคำสั่งกระแสที่มีค่าเท่ากับ 15A จนกระทั่งค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 52V แบตเตอรี่จะถูกชาร์จด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าคงที่ จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่จะถูกชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าขนาด 15A จนกระทั่ง แรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 52V หลังจากนั้นเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 52V ค่ากระแสจะมีค่าลดลงในขณะที่แรงดันไฟฟ้ายังคงที่ที่ 52V และกระแสมีค่าลดลงจนเข้าใกล้ค่า 0

4.4 บทสรุป

ในบทนี้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วที่มีการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมิลตัน เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่บวกรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง ถูกจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของวิธีการควบคุมที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 3 ก่อนที่จะทำการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ พารามิเตอร์ต่างๆของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และค่าต่างๆที่ใช้สำหรับปรับจูนวิธีการควบคุมที่เสนอได้ถูกแสดงไว้ในบทนี้ ผลการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบแอมิลตันและเทคนิคประมาณค่าตัว แสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ อีกทั้งเมื่อระบบได้มีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งของกระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ การควบคุมดังกล่าวให้ผลตอบสนองที่ดีและเมื่อตัวแปรสถานะเข้าสู่จุดสมดุล ระบบมีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

แบบกระแสตรง

5.1 บทนำ

เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบไม่แยกกันทางไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งภายในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงสำหรับการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่บนยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

ในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ในการออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรเรียงกระแส การออกแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบไม่แยกกันทางไฟฟ้า การออกแบบวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ และการออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมผ่านตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล โดยผลการทดสอบของการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรที่วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางถูกกล่าวถึงในบทที่ 6

5.2 การออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง

เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงประกอบไปด้วย วงจรเรียงกระแส ซึ่งถูกใช้เพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และจัดหากำลังไฟฟ้าที่เพียงพอระหว่างกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่ วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางแบบไม่แยกกันทางไฟฟ้า ซึ่งถูกใช้เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นวงจรชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้า จึงมีการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำทางด้านอินพุตของวงจรเรียงกระแสเพื่อจัดการแยกกันทางไฟฟ้าให้กับเครื่องต้นแบบ

นอกจากนี้ ได้มีการออกแบบวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาออกของวงจรรีจิสเตอร์อีกทั้งตัวควบคุมแบบแฮมิลตันและเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรจะถูกโปรแกรมบนตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Microcontrollers, MCUs) รุ่น TMS320F28069

5.2.1 การออกแบบวงจรรีจิสเตอร์

วงจรรีจิสเตอร์ที่ถูกใช้สำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นวงจรรีจิสเตอร์แบบสามเฟส ซึ่งวงจรรีจิสเตอร์นี้ประกอบไปด้วย ไดโอดทั้งหมด 6 ตัว เพื่อทำการเรียงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ด้านขาออกของวงจรรีจิสเตอร์จะมีการใช้ตัวเก็บประจุเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง โดย Diode ที่ใช้สำหรับวงจรรีจิสเตอร์เป็น Diode เบอร์ MUR6060 อีกทั้งทางด้านอินพุตของวงจรรีจิสเตอร์ได้ทำการต่อเข้ากับ หม้อแปลงความถี่ต่ำ โดยวงจรรีจิสเตอร์สำหรับเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกแสดงดังรูปที่ 5.1

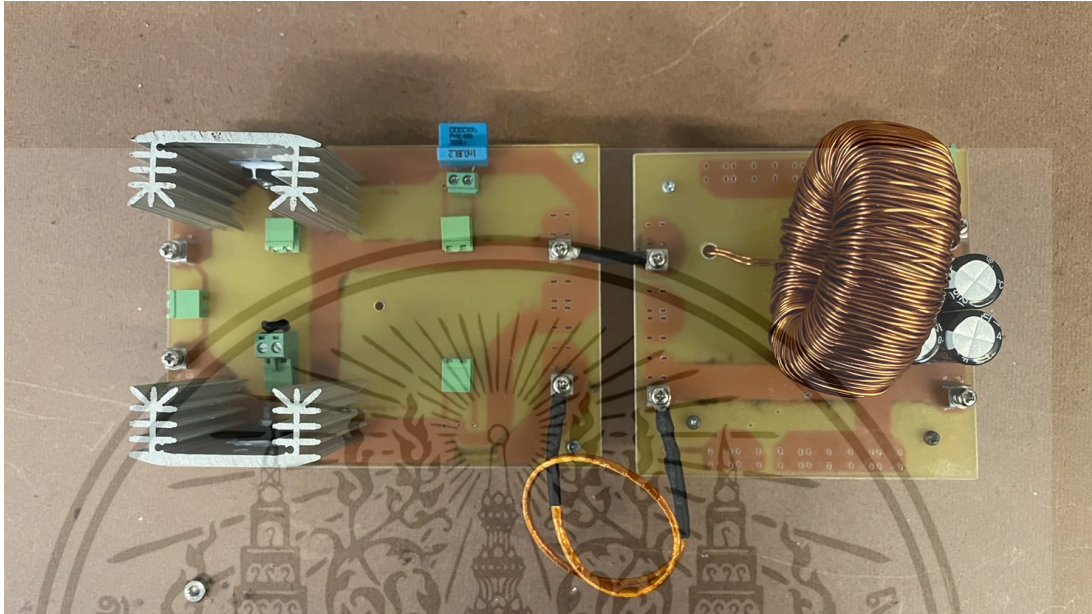


รูปที่ 5.1 วงจรรีจิสเตอร์

5.2.2 การออกแบบวงจรรีจิสเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่แยกกันทางไฟฟ้า

วงจรรีจิสเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกใช้สำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นวงจรรีจิสเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่แยกกันทางไฟฟ้า โดยวงจรรีจิสเตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้ประกอบไปด้วย MOSFET 2 ตัว ต่อกับวงจรรีจิสเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่ง MOSFET นี้จะถูกสวิตช์ด้วยความถี่สวิตช์ซึ่งมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

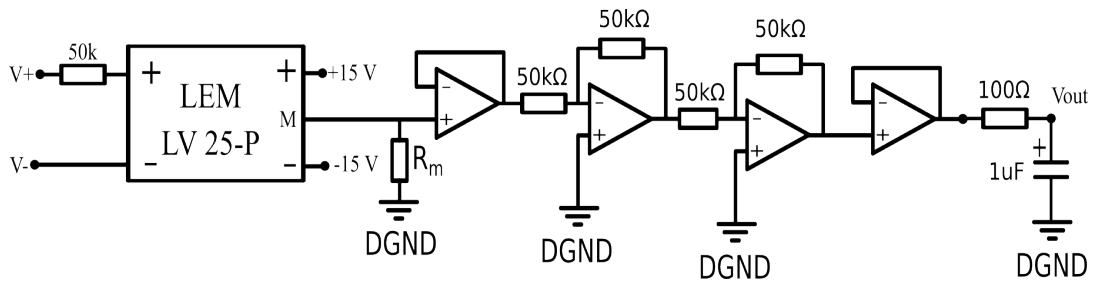
เท่ากับ 20 kHz โดย MOSFET ที่ใช้สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น MOSFET เบอร์ IRFP460 ซึ่งพิกัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ 500V และพิกัดกระแสต่อเนื่องที่ 20A โดยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกแสดงดังรูปที่ 5.2



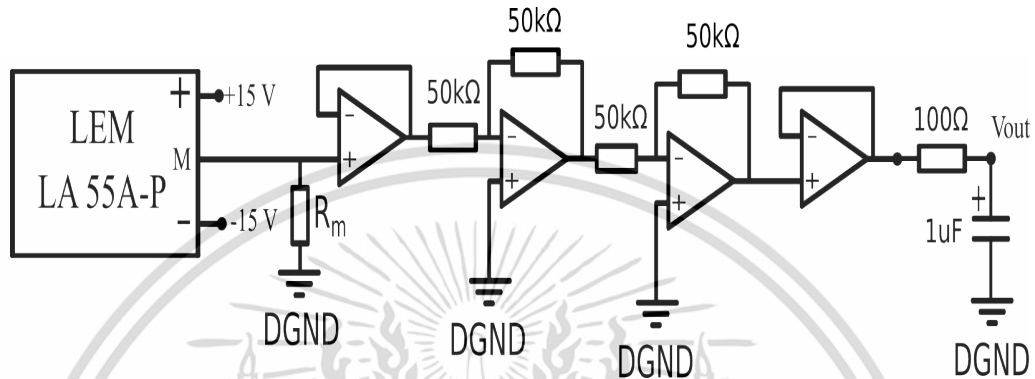
รูปที่ 5.2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.3 การออกแบบวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ถูกใช้เพื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่บัสกระแสตรง กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกป้อนให้กับตัวประมวลผลดิจิทัลเพื่อใช้ในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะใช้ LEM LV-25 ในขณะที่วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะใช้ LEM LA-55 โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก LEM จะถูกป้อนให้ วงจรขยายสัญญาณและยกระดับสัญญาณ ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่ในการขยายหรือยกระดับสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณ ก่อนที่จะป้อนสัญญาณนี้ให้กับตัวควบคุมแบบดิจิทัล โดยโครงสร้างวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะถูกแสดงดังรูปที่ 5.3 และ วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงถูกแสดงดังรูปที่ 5.4

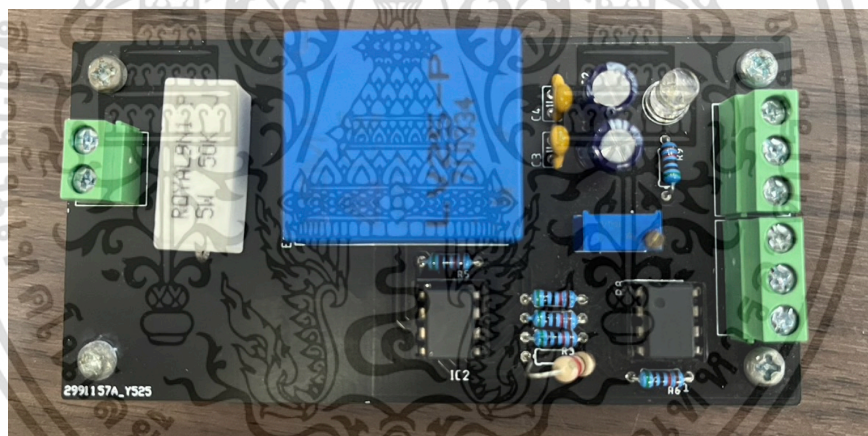


ก) โครงสร้างวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

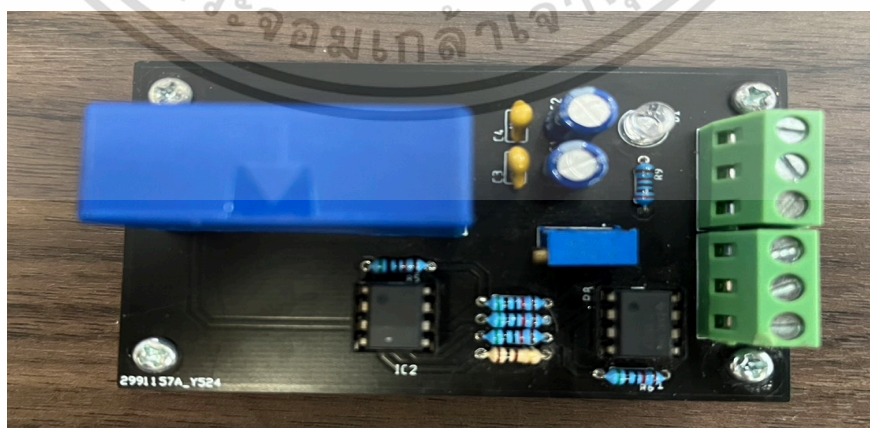


ข) โครงสร้างวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 5.3 โครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



ก) วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า



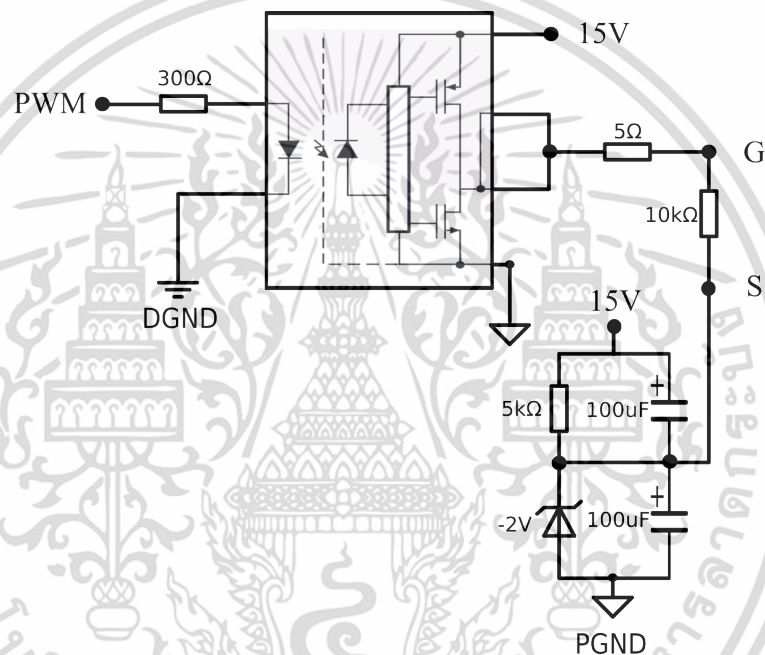
ข) วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 5.4 วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

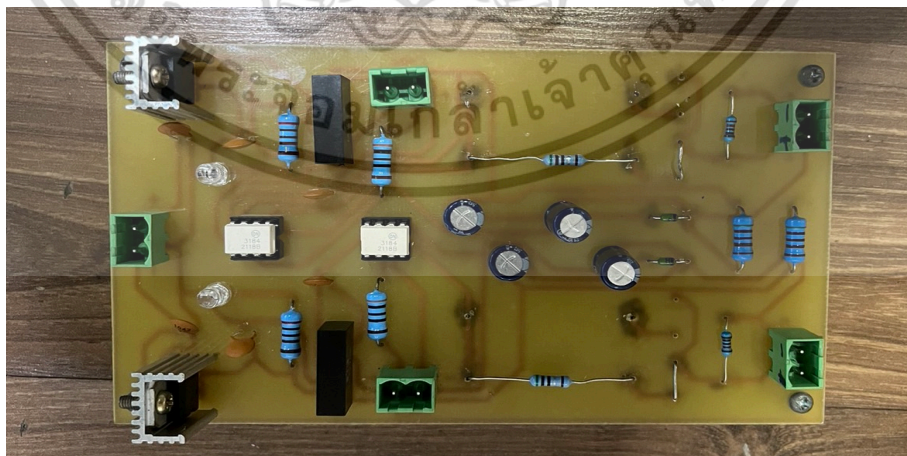
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ (Gate Drive Signal Generator)

เนื่องจากสัญญาณ PWM ที่ได้รับมาจากตัวควบคุมแบบดิจิทัล สัญญาณดังกล่าวมีขนาดแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 0-3.3 V ซึ่งขนาดแรงดันไฟฟ้าง่ายดังกล่าวมีค่าสูงไม่มากเพียงพอให้ MOSFET ทำงานได้ เพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้กับสัญญาณ PWM และจัดการการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างตัวควบคุมแบบดิจิทัล และวงจรกำลังไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้ไอซีสำหรับการทำวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์เบอร์ FOD3814 โดยออกแบบให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงมากเพียงพอที่จะทำให้วงจร MOSFET ทำงานได้ และมีระดับแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ -2 V ถึง 13 V โดยโครงสร้างของวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ และวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ที่ใช้งานจริงแสดงดังรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ที่ใช้งานจริง

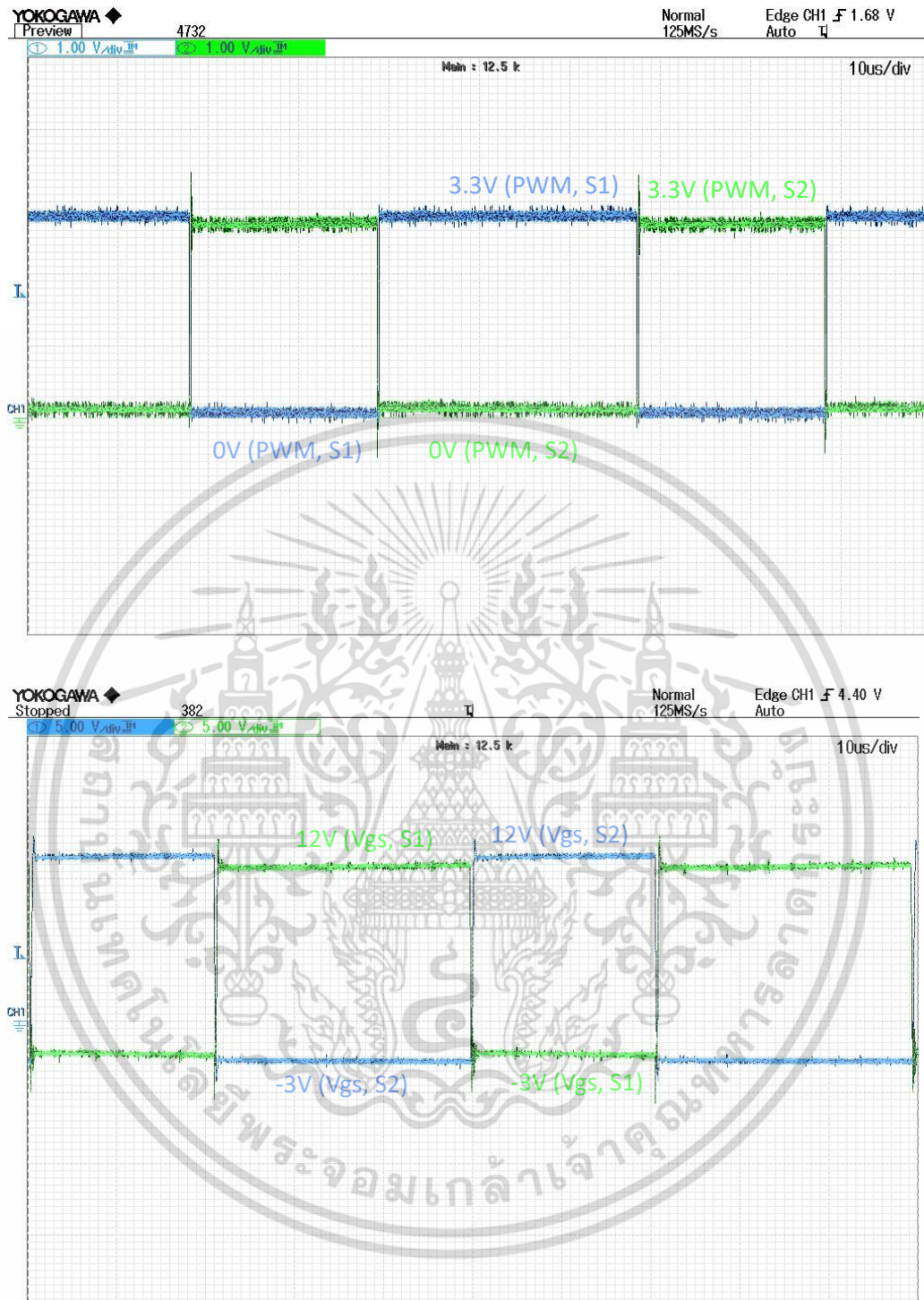


รูปที่ 5.6 วงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ที่ใช้งานจริง

โดยรูปสัญญาณ PWM ที่ได้จากตัวควบคุมแบบดิจิทัล และสัญญาณ PWM ขาออกจาก

วงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ ถูกแสดงดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

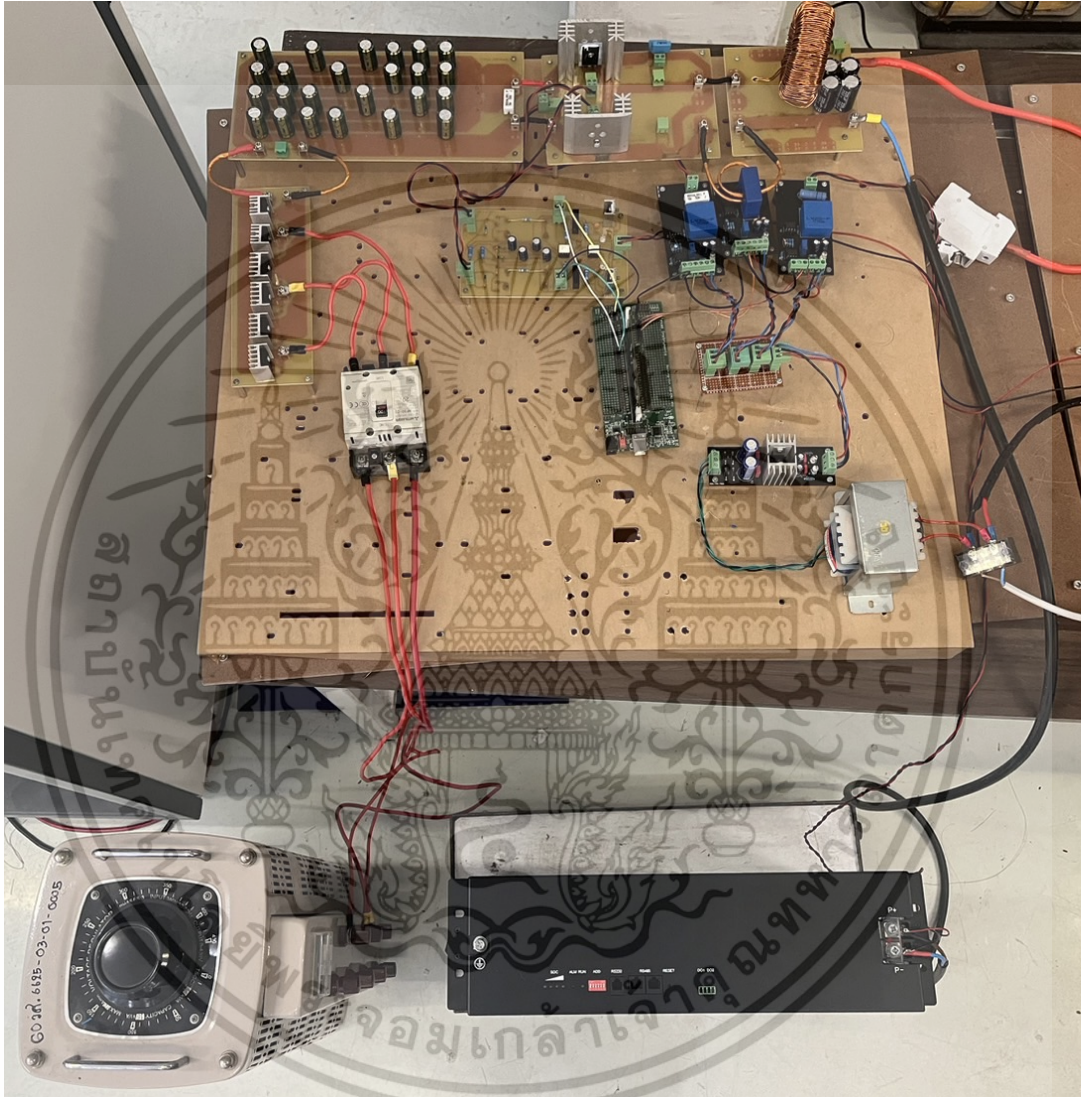


รูปที่ 5.7 สัญญาณ PWM สำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง

รูปที่ 5.8 แสดงถึงเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงซึ่งประกอบไปด้วย หม้อแปลงความถี่ต่ำ วงจรเรียงกระแส วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า วงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ และตัวควบคุมแบบดิจิทัล รุ่น TMS320F28069



รูปที่ 5.8 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้เสนอการออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 1kW และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 20 A โดยเครื่องต้นแบบดังกล่าวอาศัยหม้อแปลงที่ด้านขาเข้าของวงจรเรียงกระแสในการจัดการการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายและแบตเตอรี่ รายละเอียดของอุปกรณ์และโครงสร้างของวงจรภายในเครื่องต้นแบบซึ่งประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถูกเสนอไว้ในบทนี้อีกทั้งโครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับวัดสัญญาณต่างๆ ภายในอุปกรณ์ได้ถูกเสนอไว้ในบทนี้ สุดท้ายยังวงจรถูกกำเนิดสัญญาณขับสวิทช์ที่ถูกใช้เพื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิทช์ได้ถูกเสนอในบทนี้เช่นกัน



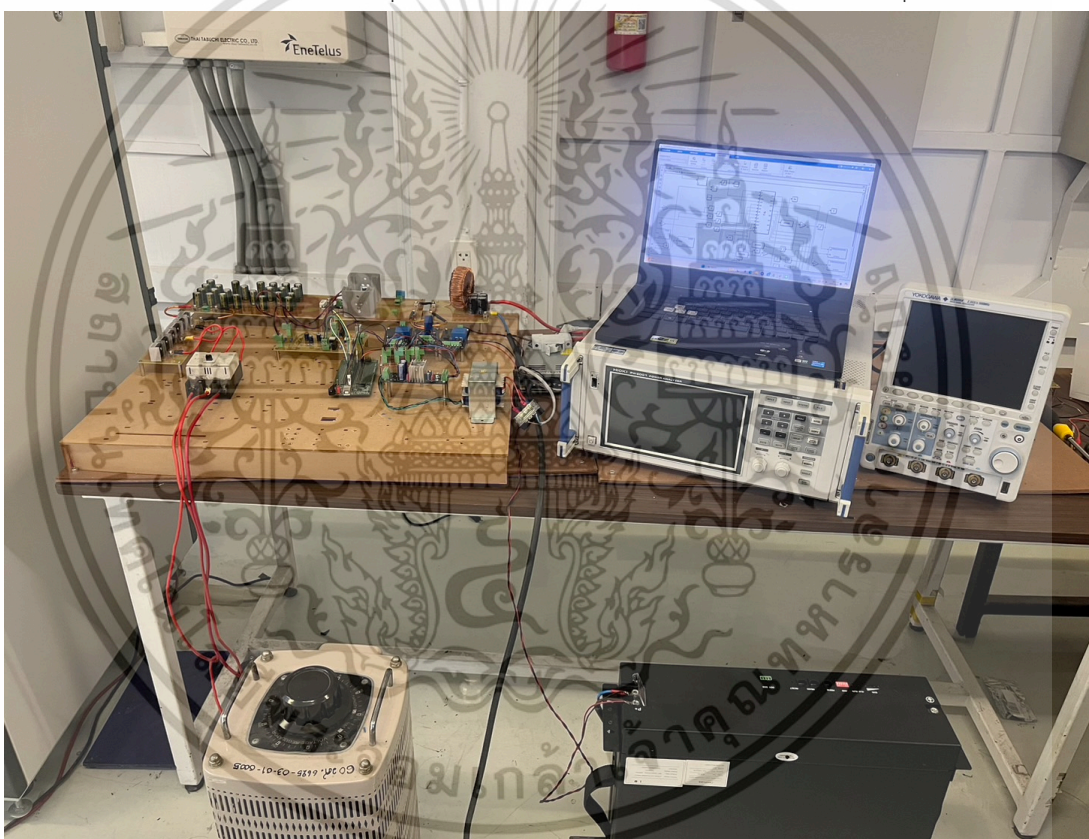
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดสอบ

6.1 บทนำ

เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงชนิดขนาด 1kW ถูกสร้างขึ้น โดยรายละเอียดของเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงถูกอธิบายไว้ใน บทที่ 5 โดยเครื่องต้นแบบดังกล่าวถูกใช้เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้าในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 6.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 6.1 แสดงถึงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ ในการทดสอบความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมดังกล่าวจะแบ่งออกได้เป็น 3 การทดลอง โดยในแต่ละการทดสอบเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของเทคนิคการควบคุมที่ได้นำเสนอ Kr1 จะถูกตั้งค่าให้มีค่าเท่ากับ 2.5 ในขณะที่ Kr2 จะถูกตั้งค่าให้มีค่าเท่ากับ 0.5

1. การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของการควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรในการควบคุมกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

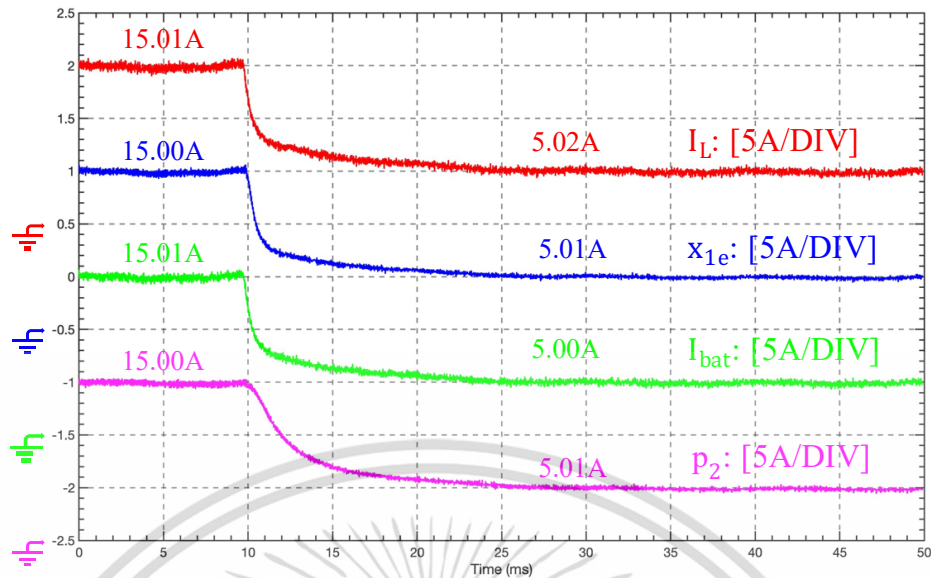
2. การทดสอบผลการตอบสนองของการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรเมื่อคำสั่งกระแสในการอัดประจุที่ถูกป้อนให้มีการเปลี่ยนแปลง

3. การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ตามโปรไฟล์การอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นดังกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 25kW และ 50kW

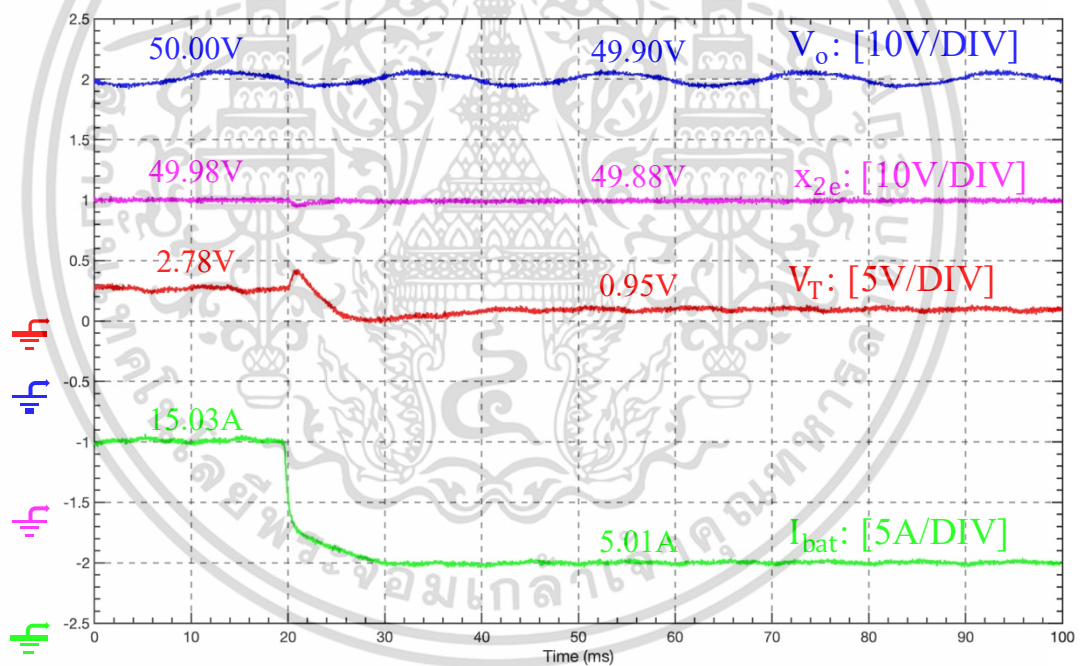
6.2 ผลการทดสอบ

6.2.1 ประสิทธิภาพในการทำงานของควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงานของการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะที่บ่งชี้การแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยผลการทดสอบจะประกอบไปด้วย กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L), ค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}), กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ (I_{bat}), ค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ (p_2) แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), ค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (x_{2e}), และแรงดันไฟฟ้าที่สื่อถึงความสูญเสียของระบบ (V_T), ในการทดสอบได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 15A จากนั้นให้กับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเปลี่ยนจาก 15A เป็น 5A สำหรับการทดสอบผลการตอบสนองขาลง และในการทดสอบได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 5A จากนั้นให้กับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเปลี่ยนจาก 5A เป็น 15A ขาขึ้น



ก) ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่

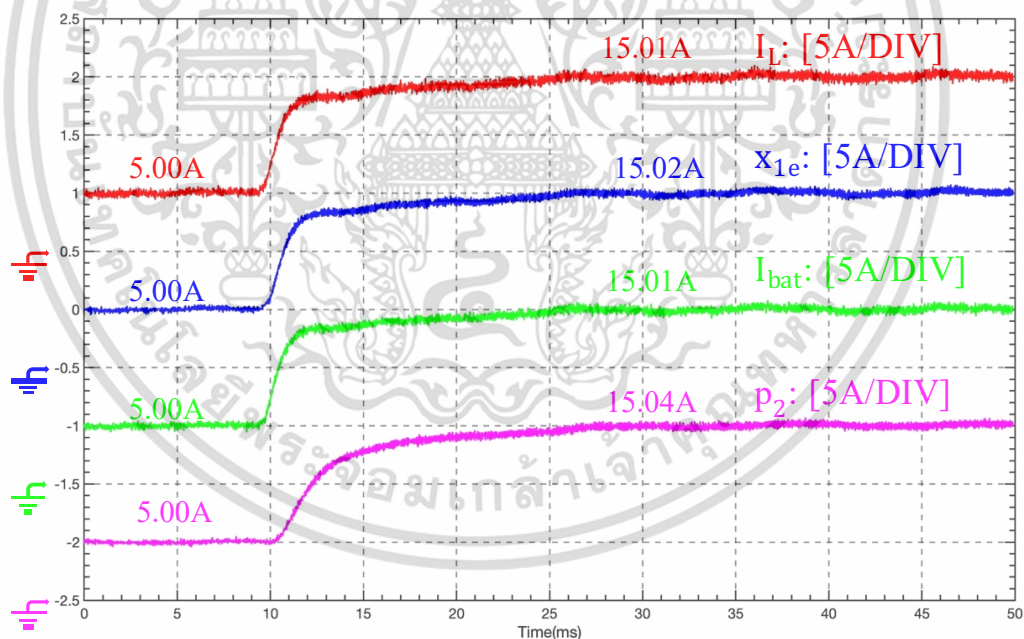


ข) ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก และแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบ

รูปที่ 6.2 ผลการจำลองการตรวจสอบความสามารถของเทคนิคประมาณค่าตัวแปร(خالง)

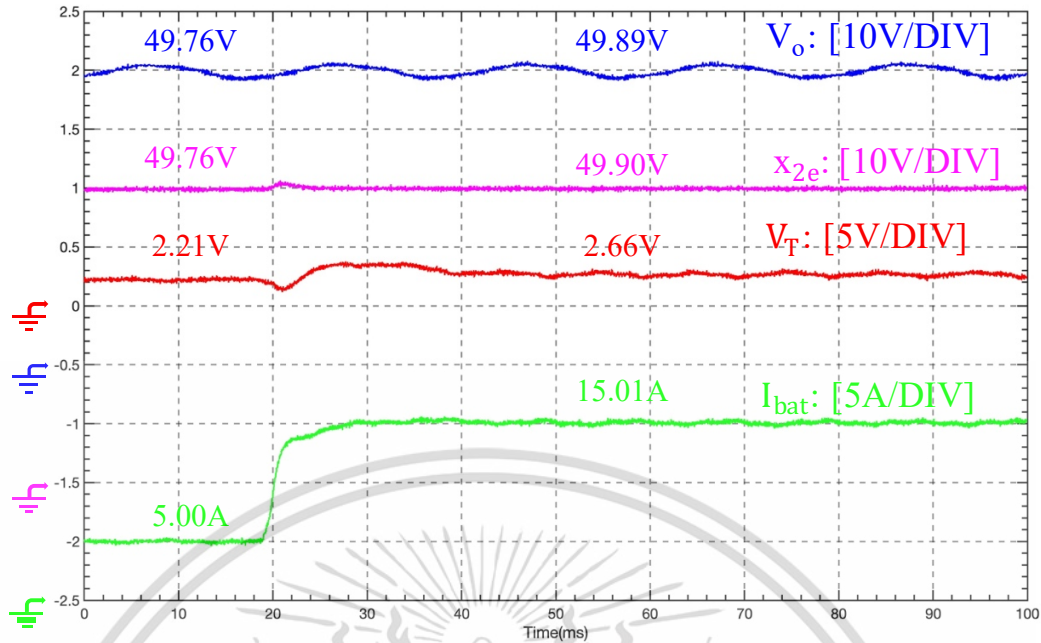
จากรูปที่ 6.2 แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในตอนเริ่มต้นได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสในการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 15A ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 15.01A และ 15.01A ตามลำดับ อีกทั้งค่าประมาณค่าจากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะซึ่งประกอบไปด้วย ค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}), และค่าประมาณของกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (p_2), มีค่าเท่ากับ 15.00A และ 15.00A ตามลำดับ ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 50.00V และ 49.98V ตามลำดับ อีกทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 2.78V จะเห็นได้ว่าค่าประมาณที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่วัดได้ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่จากขนาดกระแสไฟฟ้า 15A เป็น 5A เพื่อตรวจสอบการทำงานของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ หลังจากที่มีการเปลี่ยนค่าคำสั่งของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 5.02A และ 5.00A ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}), และค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (p_2) มีค่าเท่ากับ 5.01A และ 5.01A ตามลำดับ ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 49.90V และ 49.88V ตามลำดับ อีกทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 0.95V จะเห็นได้ว่าค่าประมาณที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะจะมีค่าค่อยๆ เข้าใกล้ค่าจริง



ก) ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) ผลการจำลอง: ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก และแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบ

รูปที่ 6.3 ผลการจำลองการตรวจสอบความสามารถของเทคนิคประมาณค่าตัวแปร(ขาขึ้น)

จากรูปที่ 6.3(ก) แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในตอนเริ่มต้นได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสในการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 5A ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 5.00A และ 5.00A ตามลำดับ หลังจากคำสั่งกระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่เปลี่ยนค่าจาก 5A และ 15A จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ (I_{bat}) มีค่าเท่ากับ 15.01A และ 15.01A ตามลำดับ .ในส่วนของค่าประมาณที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะซึ่งประกอบไปด้วยค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}), และค่าประมาณของกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (p_2), มีค่าเท่ากับ 5.00A และ 5.00A ตามลำดับ หลังจากคำสั่งกระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่เปลี่ยนค่าจาก 5A และ 15A จะเห็นได้ว่าค่าประมาณของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (x_{1e}), และค่าประมาณของกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (p_2), มีค่าเท่ากับ 15.02A และ 15.04A ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.3(ข) แสดงถึงผลการทดสอบของการประมาณค่าด้วยเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร จะเห็นได้ว่าค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 49.76V และ 49.76V ตามลำดับ อีกทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 2.21V จะเห็นได้ว่าค่าประมาณที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่วัดได้ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่จากขนาดกระแสไฟฟ้า 5A เป็น 15A หลังจากมีการเปลี่ยนค่าคำสั่งของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ ค่าจริงและค่าประมาณของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ

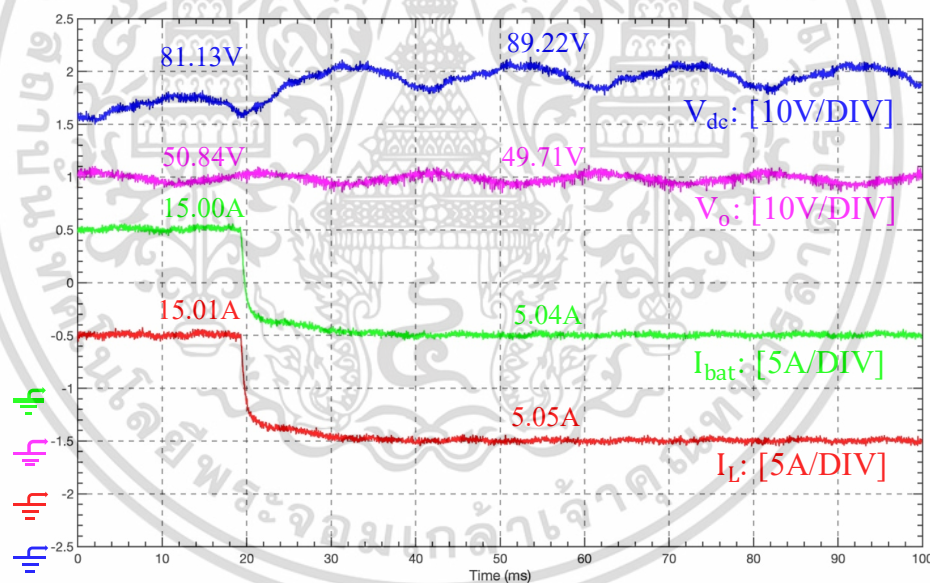
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49.89V และ 49.90V ตามลำดับ อีกทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงความสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 2.66V

6.2.2 การตอบสนองของการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร

เพื่อตรวจสอบผลการตอบสนองของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเมื่อวงจรดังกล่าวถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะโดยผลการทดสอบจะประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}), กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L), แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_{bat}), กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ (I_{bat}) ในการทดสอบได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 15A จากนั้นให้กับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเปลี่ยนจาก 15A เป็น 5A สำหรับการทดสอบผลการตอบสนองของวงจร และในการทดสอบได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 5A จากนั้นให้กับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกเปลี่ยนจาก 5A เป็น 15A ขาขึ้น

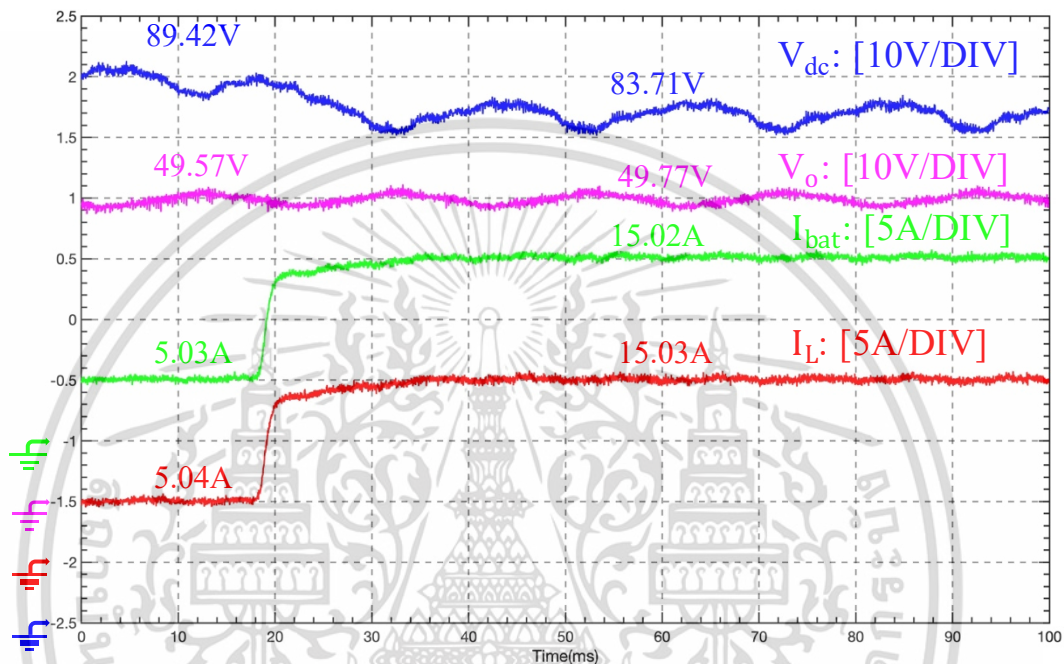


รูปที่ 6.4 ผลการจำลองการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร(ขาสูง)

จากรูปที่ 6.4 แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในตอนเริ่มต้นได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสในการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 15A ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) มีค่าเท่ากับและ 81.13V และ 15.01A ตามลำดับ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (I_{bat}), และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), มีค่าเท่ากับ 15.00A และ 50.84V ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่จากขนาดกระแสไฟฟ้า 15A เป็น 5A ซึ่งเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) มีค่าเท่ากับและ 89.22V และ 5.05A ตามลำดับ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (I_{bat}), และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), มีค่าเท่ากับ 5.04A และ 49.71V ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5A เพื่อตรวจสอบการผลการตอบสนองของการควบคุมแบบแอมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ หลังจากมีการเปลี่ยนค่าคำสั่งของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) มีค่าเท่ากับ 89.22V และ 5.05A ตามลำดับ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (I_{bat}), และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), มีค่าเท่ากับ 49.71V และ 5.04A ตามลำดับ นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการปรับจากระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 15A เป็น 5A มีค่าเท่ากับ 17ms



รูปที่ 6.5 ผลการจำลองการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าตัวแปร(ขาขึ้น)

จากรูปที่ 6.5 แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อใช้การควบคุมแบบแอมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในตอนเริ่มต้นได้ทำการป้อนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสในการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 5A ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) มีค่าเท่ากับและ 89.42V และ 15.04A ตามลำดับ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (I_{bat}), และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), มีค่าเท่ากับ 5.03A และ 49.57V ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนคำสั่งในการอัดประจุแบตเตอรี่จากระแสไฟฟ้า 5A เป็น 15A เพื่อตรวจสอบการผลการตอบสนองของการควบคุมแบบแอมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ หลังจากมีการเปลี่ยนค่าคำสั่งของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (V_{in}) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) มีค่าเท่ากับ 83.85V และ 15.03A ตามลำดับ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ (I_{bat}), และแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (V_o), มีค่าเท่ากับ 49.79V และ 15.02A ตามลำดับ นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการปรับจากระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 5A เป็น 15A มีค่าเท่ากับ 17ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

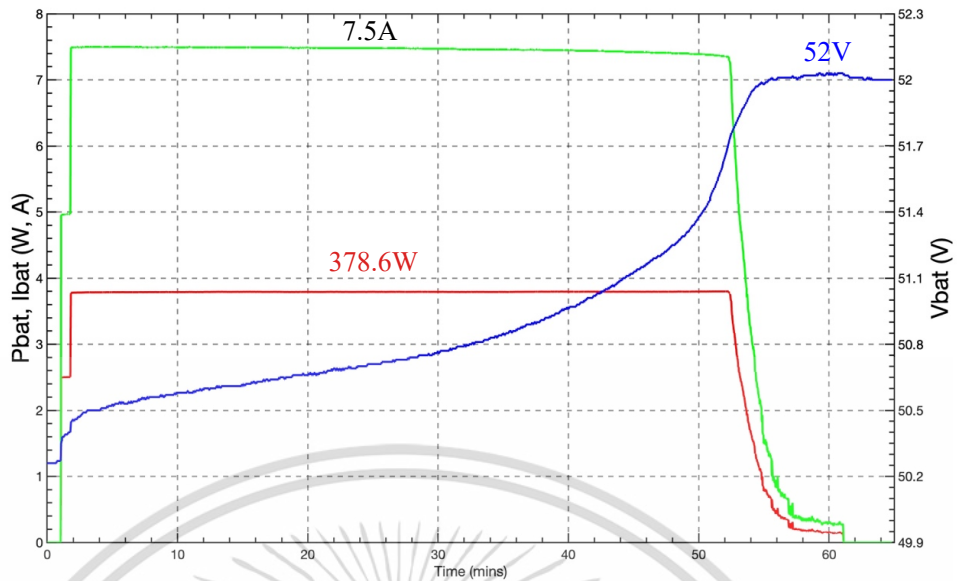
6.2.3 การอัดประจุแบตเตอรี่ตามโปรไฟล์การอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ

MG รุ่น ZS

เพื่อตรวจสอบผลการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง โดยแผนการควบคุมนี้จะถูกกำหนดลักษณะการอัดประจุให้มีความคล้ายคลึงกับแผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าดังกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 25kW และ 50kW

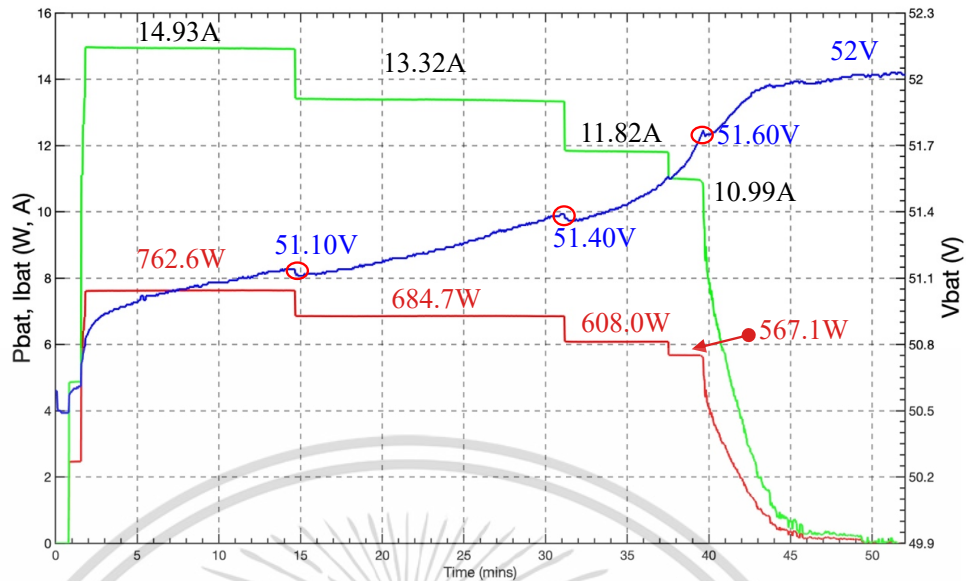
การทดลองแรกเริ่มต้นเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกควบคุมลักษณะการอัดประจุตามเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 25kW ซึ่งในระหว่างการอัดประจุ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยโหมดกระแสคงที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 375 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 52V จากนั้นแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 52 V

การทดลองที่สองเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะถูกควบคุมลักษณะการอัดประจุตามเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 50kW ซึ่งในระหว่างการอัดประจุ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยโหมดกระแสคงที่ และในระหว่างการอัดประจุค่ากำลังไฟฟ้าในการอัดประจุจะเริ่มต้นที่ 750 W จากนั้นจะเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุเป็น 675 W เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 51.10V จากนั้นจะเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุเป็น 600 W เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 51.40V จากนั้นจะเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุเป็น 560 W เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 51.60V จากนั้นทำการอัดประจุด้วยพิกัดกำลังไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 560 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 52V จากนั้นแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 52 V ผลการทดสอบจะประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_{bat}), กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ (I_{bat})



รูปที่ 6.6 ผลการทดสอบการอัดประจุตามแผนการชาร์จขนาด 25kW

จากรูปที่ 6.6 แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบนวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่เมื่อเครื่องต้นแบบถูกกำหนดลักษณะการอัดประจุให้มีความคล้ายคลึงกับแผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อรถยนต์ไฟฟ้างดกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 25kW จากรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าในตอนเริ่มต้นแบตเตอรี่ถูกอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้างดที่ขนาด 378.6 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 52 V กำลังไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่มีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ที่ 52 V และทำการยุติการอัดประจุ



รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบการอัดประจุตามแผนการชาร์จขนาด 50kW

จากรูปที่ 6.7 แสดงถึงผลการทดสอบเมื่อประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรบวกรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่แยกกันทางไฟฟ้าในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่เมื่อเครื่องต้นแบบถูกกำหนดลักษณะการอัดประจุให้มีความคล้ายคลึงกับแผนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ MG รุ่น ZS เมื่อรถยนต์ไฟฟ้างกล่าวถูกอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงขนาด 50 kW จากรูปที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าในตอนเริ่มต้นแบตเตอรี่ถูกอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 762.6 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 51.10 V กำลังไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่จะลดลงจนมีค่าเท่ากับ 684.7 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 51.40 V กำลังไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่จะลดลงจนมีค่าเท่ากับ 608.0 W และจะถูกอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้าขนาด 567.1 W จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 52 V กำลังไฟฟ้าที่อัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่จะมีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์และทำการยุติการอัดประจุ

6.3 บทสรุป

ตามที่ได้เสนอการทดสอบเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเมื่อเครื่องอัดประจุดังกล่าวถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปร จะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบดังกล่าวสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า รวมถึงแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ได้ อีกทั้งเมื่อคำสั่งในการควบคุมการอัดประจุมีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมที่เสนอ สามารถตอบสนองต่อคำสั่งที่เปลี่ยนแปลงได้ และในส่วนของเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ เทคนิคดังกล่าวยังสามารถประมาณค่าของตัวแปรรวมถึงค่าสัญญาณรบกวน ความไม่แน่นอนของแบบจำลองได้ อีกทั้งเมื่อประยุกต์ใช้การควบคุมที่เสนอในการอัดประจุตามโปรไฟล์การอัดประจุเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง ซึ่งการอัดประจุดังกล่าวประกอบไปด้วย กระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ รวมถึง กระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับและแรงดันไฟฟ้าคงที่ แผนการควบคุมที่เสนอยังสามารถควบคุมลักษณะ การอัดประจุให้เป็นตามความจริงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและขอเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องอัดประจุแบบเร็วเพื่อใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าระหว่างกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากระหว่างกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่ จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสิ่งในการชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งจะส่งผลให้เกิดไดนามิกของค่าสิ่งที่จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม อีกทั้งยังทำให้จุดการทำงานกว้างขึ้น ดังนั้นระบบการควบคุมจะต้องมีความสามารถในการตอบสนองที่ดี มีความเสถียรสูง และมีความสามารถในการทำงานที่หลายจุดการทำงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่อง ตัวควบคุมแบบแอมัลตัน พบว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเครื่องอัดประจุแบบเร็วได้ ซึ่งตัวควบคุมดังกล่าวสามารถใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุได้ อย่างไรก็ตามด้วยความที่ตัวควบคุมแบบแอมัลตันนี้เป็นตัวควบคุมที่จะต้องอาศัยความแม่นยำของแบบจำลองในการควบคุมการทำงานของระบบ จึงทำให้ตัวควบคุมแบบแอมัลตันเพียงอย่างเดียวมีความสามารถไม่มากพอในการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่อง เทคนิคการประมาณค่าตัวแปรสถานะ พบว่าเทคนิคดังกล่าวจะสามารถประมาณค่าต่างๆ เช่น ค่าของตัวแปรสถานะ สัญญาณรบกวนภายนอก ค่าความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ รวมถึงยังช่วยลดจำนวนเครื่องวัดสัญญาณได้ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองของระบบเป็นพื้นฐานในการประมาณค่าต่างๆ ซึ่งเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมตัวควบคุมชนิดที่มีพื้นฐานจากแบบจำลองได้อย่างดีเยี่ยม

จากผลการทดสอบกระประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแอมัลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเครื่องอัดประจุแบบเร็ว จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ได้ อีกทั้งเมื่อค่าสิ่งในการควบคุมกระแสไฟฟ้าหรือ กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงตัวควบคุมดังกล่าวสามารถตอบสนองได้ ความเสถียรสูงและ สามารถทำงานในช่วงค่าสิ่งที่ยาวได้ อีกทั้งเมื่อประยุกต์ใช้ตัวควบคุมดังกล่าวในการอัดประจุตามโปรไฟล์การอัดประจุจริงทั้ง แบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ และแผนการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับและแรงดันไฟฟ้าคงที่ แผนการควบคุมที่เสนอยังสามารถควบคุมลักษณะการอัดประจุให้เป็นตามความจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแฮมิลตันร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าตัวแปรในการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องอัดประจุแบบเร็ว ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

เนื่องจากวงจรถูกกล่าวเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหนึ่งเฟส ซึ่งส่งผลให้พิกัดกำลังไฟฟ้ามักจะไม่สูงมากนัก ดังนั้นการเพิ่มพิกัดกำลังในการอัดประจุแบตเตอรี่ จึงได้เสนอการประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายเฟสเพื่อเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แบบ สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องต้นแบบให้มีพิกัดกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุที่สูงมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางสามารถทำงานในรูปแบบของวงจรลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในการออกแบบสัญญาณขับสวิตช์นั้น เมื่อเราสามารถกำหนดโหมดการทำงานของวงจรถูกกล่าวได้ เมื่อคำนึงถึงค่าความสูญเสียจากการสวิตช์ซิงของตัวอุปกรณ์เทียบกับความสูญเสียในการเหนี่ยวนำ การส่งสัญญาณขับสวิตช์ที่ไม่ใช่สวิตช์ตัวหลักในแต่ละโหมดการทำงาน ทำการเปิดวงจรตลอดเวลา เทียบกับการส่งสัญญาณขับสวิตช์ที่ไม่ใช่สวิตช์ตัวหลักในแต่ละโหมดการทำงาน ทำการเปิด-ปิดวงจร ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากทั้งสองวิธีนี้ มีข้อแตกต่างกันอย่างไร ควรศึกษาเพิ่มเติมที่จุดนี้

7.3 ข้อควรระวังในการทดสอบ

1. เนื่องจากในการทดสอบนั้นจะต้องมีการปรับจูนค่าต่างๆของตัวควบคุมที่เสนอ จะต้องทำการปรับจูนค่าที่เหมาะสมเพื่อให้เทคนิคการควบคุมดังกล่าวทำได้ตามที่ควรจะเป็น และระวังในการปรับจูนค่าเมื่อต้องการความรวดเร็วที่มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการปรับจูนค่าที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมระบบได้

2. เนื่องจากในการทดสอบเป็นการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการลัดวงจรของวงจรต้นแบบและ หลีกเลี่ยงการที่แบตเตอรี่จะดิสชาร์จกระแสในระหว่างเกิดการลัดวงจร จึงควรจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันจำพวก ฟิวส์กระแสตรง หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์กระแสตรงเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ

บรรณานุกรม

- [1] M. R. Khalid, I. A. Khan, S. Hameed, M. S. J. Asghar, and J.-S. Ro, "A comprehensive review on structural topologies, power levels, energy storage systems, and standards for electric vehicle charging stations and their impacts on grid," *IEEE access*, vol. 9, pp. 128069-128094, 2021.
- [2] V. M. Iyer, S. Gulur, G. Gohil, and S. Bhattacharya, "Extreme fast charging station architecture for electric vehicles with partial power processing," in *2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2018: IEEE, pp. 659-665.
- [3] C. Suarez and W. Martinez, "Fast and ultra-fast charging for battery electric vehicles—a review," in *2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2019: IEEE, pp. 569-575.
- [4] M. Safayatullah, M. T. Elrais, S. Ghosh, R. Rezaii, and I. Batarseh, "A comprehensive review of power converter topologies and control methods for electric vehicle fast charging applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 40753-40793, 2022.
- [5] H. Tu, H. Feng, S. Srdic, and S. Lukic, "Extreme fast charging of electric vehicles: A technology overview," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 5, no. 4, pp. 861-878, 2019.
- [6] T. He, M. Wu, D. D.-C. Lu, R. P. Aguilera, J. Zhang, and J. Zhu, "Designed dynamic reference with model predictive control for bidirectional EV chargers," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129362-129375, 2019.
- [7] Q. Su, B. Duan, D. Yang, H. Bai, C. Fu, and C. Zhang, "Nonsingular fast terminal sliding mode control of LLC resonant converter for EV charger," in *2020 4th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI)*, 2020: IEEE, pp. 7-12.
- [8] A. Rachid, H. El Fadil, and F. Giri, "Dual stage CC-CV charge method for controlling DC-DC power converter in BEV charger," in *2018 19th IEEE mediterranean electrotechnical conference (MELECON)*, 2018: IEEE, pp. 74-79.
- [9] H. Al Attar, M. Hamida, M. Ghanes, and M. Taleb, "Model Free Control design of DC-DC LLC converter with phase shift modulation in V2X mode for EV charger application," in *2022 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, 2022: IEEE, pp. 734-739.
- [10] A. Safaeinasab, H. S. Gohari, and K. Abbaszadeh, "Hamiltonian Energy-Based Sliding Mode Control Approach for a Multi-port Bidirectional EV Charger via Zero Dynamic," in *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, 2021: IEEE, pp. 1-6.
- [11] P. Thounthong *et al.*, "Robust hamiltonian energy control based on lyapunov function for four-phase parallel fuel cell boost converter for DC microgrid applications," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 12, no. 3, pp. 1500-1511, 2021.
- [12] H. Renaudineau, J.-P. Martin, B. Nahid-Mobarakeh, and S. Pierfederici, "DC–DC converters dynamic modeling with state observer-based parameter estimation," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 6, pp. 3356-3363, 2014.

- [13] M. A. H. Rafi and J. Bauman, "A comprehensive review of DC fast-charging stations with energy storage: Architectures, power converters, and analysis," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 7, no. 2, pp. 345-368, 2020.
- [14] J. Zhang, J.-S. Lai, R.-Y. Kim, and W. Yu, "High-power density design of a soft-switching high-power bidirectional dc-dc converter," *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 22, no. 4, pp. 1145-1153, 2007.
- [15] C. Deekshitha and K. L. Shenoy, "Design and simulation of synchronous buck converter for LED application," in *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 2017: IEEE, pp. 142-146.
- [16] P. Mungporn *et al.*, "Modeling and control of multiphase interleaved fuel-cell boost converter based on Hamiltonian control theory for transportation applications," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 6, no. 2, pp. 519-529, 2020.
- [17] R. Ortega, A. Van Der Schaft, F. Castanos, and A. Astolfi, "Control by interconnection and standard passivity-based control of port-Hamiltonian systems," *IEEE Transactions on Automatic control*, vol. 53, no. 11, pp. 2527-2542, 2008.
- [18] J. Zeng, Z. Zhang, and W. Qiao, "An interconnection and damping assignment passivity-based controller for a DC-DC boost converter with a constant power load," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, no. 4, pp. 2314-2322, 2013.
- [19] S. Pang *et al.*, "Interconnection and damping assignment passivity-based control applied to on-board DC-DC power converter system supplying constant power load," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 6, pp. 6476-6485, 2019.
- [20] B. Fu, Q. Wang, and W. He, "Nonlinear disturbance observer-based control for a class of port-controlled Hamiltonian disturbed systems," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 50299-50305, 2018.



ภาคผนวก ก
รายละเอียดของแบบเตอรื

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Model: TBL48100

Ordinary Series

Introduction

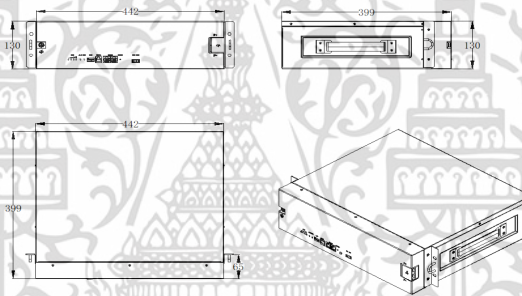
T3 Technology TBL 48V series LiFePO4 batteries with its integrated design and standard cabinet installation, provides stable and reliable power output for communication base station power, energy storage, and off-grid systems. In addition, the product can be used in parallel to match more powerful products or extend the backup time.



Features

- Larger power density
- 3U height design
- Integrated BMS to protect the battery system and increase the battery life
- Gyro anti-theft and communication anti-theft (optional)
- Compatible with 16S (optional)

Dimensions-mm



Data Sheet

Item	Specification
Nominal Voltage	48V
Nominal Capacity	100Ah@0.5C
Max. Charging Current	100A (1C)
End Charging Voltage	55V
Nominal Discharging Current	50A (0.5C)
Max. Discharging Current	100A (1C)
End Discharging Voltage	40.5V
Operating Environment Temperature	-10~55°C
Storage Temperature	-20~45°C (in 1 month) 15~35°C (in 6 months)
Design Life	≥10 years
Communication	RS485, RS232
Cycle Life	4000 cycle@0.5C 25°C 80%DOD
Dimension (W*D*H)	442mm*400mm*130mm excluding mounting ears
Weight	41kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

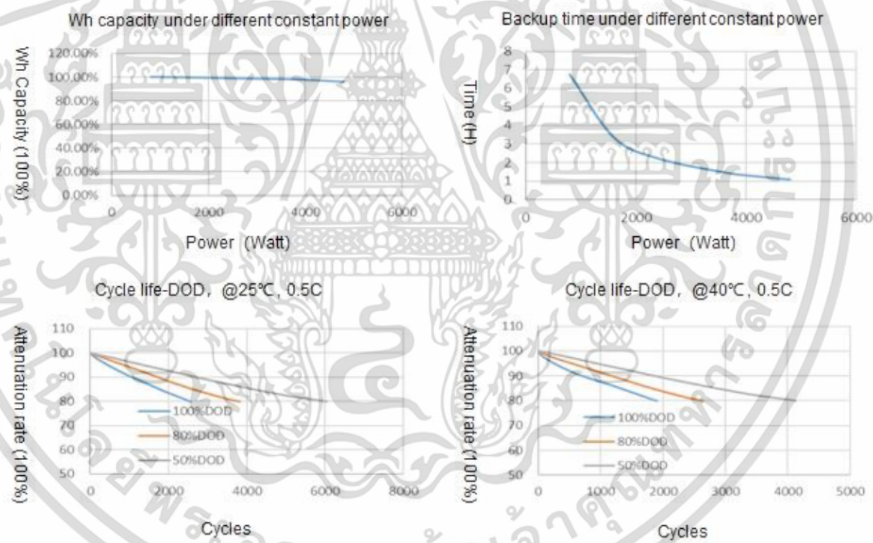


Model: TBL48100

BMS PARAMETERS

Voltage (Charge)	Cell v voltage protection: 3.70V protection (Recover at 3.38V) Charging current limiting function: Limit current to 10A Total v oltage protection: 54.75V protection (Recover at 50.6V)
Voltage (Discharge)	Cell v oltage protection: 2.5V protection (Recover at 2.9V)Total v oltage protection: 40.5V protection (Recover at 45V)
Current (Charge)	Normal $\leq 100A$ Charging current limiting function: 102A-110A (Limit the current to 10A , limit current for 3minutes)
Current (Discharge)	Normal $\leq 100A$ Over current protection 1: $> 110A$ and $< 150A$ Over current protection 2: $> 150A$ and $< 200A$ Short circuit protection: $\geq 300A$ (Delay 1ms)
Temp (Cell Temp 1)	Low temp protection: Charging $< 0^{\circ}C$, Discharging $< -20^{\circ}C$ (Delay 1-2s)
Temp (Cell Temp 2)	High temp protection: Charging $\geq 60^{\circ}C$, Discharging $\geq 65^{\circ}C$ (Delay 1-2s)
Temp (PCB)	Range $\geq 70^{\circ}C$ (Recovery at $65^{\circ}C$)
Cell Balance (Balance)	Make all cells be balance during charging process. (Current: 80mA) $V_{Max} \geq 3.40V$ and $V_{Max} - V_{Min} \geq 30mV$, Start balance (All cell v oltages $\leq 3.4V$ and $V_{Max} - V_{Min} \leq 30mV$, Stop balance)

Performance curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>แคลมป์มิเตอร์แบบดิจิทัล (AC/DC CLAMP METER CM4375) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า</p>
	<p>เครื่องวิเคราะห์ไฟฟ้า (Power analyzer Hioki PW6001) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า</p>
	<p>ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope YOKOGAWA DLM2054) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>โพรบวัดสัญญาณกระแส (Current Probe IWATSU SS-250) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดสัญญาณ กระแสไฟฟ้า</p>
	<p>มัลติมิเตอร์ (True RMS Multimeter Fluke 179) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดพารามิเตอร์ของ อุปกรณ์</p>
	<p>เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับได้ (Regulated DC Power Supply Kikusui PAT650-12.3T) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรง</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 26th International Annual Symposium
on Computational Science and Engineering

PROCEEDING

ANS²⁶CS^E

Modern Computational Approaches Towards Sustainable
and Decarbonized Society



20-22 JULY 2023

At A-One The Royal Cruise Hotel Pattaya,
Chonburi, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<https://anscse26.wordpress.com>

ANSCSE

anscse26@gmail.com

Non-isolated onboard EV Charger controller design based on Adaptive Hamiltonian control law

N. Somboonpanya¹, S. Khomfoi¹, and T. Phophongviwat¹

¹Department of Electrical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding address (E-mail: 65016033@kmitl.ac.th, +66-90 724 9776)

Abstract

The growth of the electric vehicles (EVs) market and the inadequacy of EV infrastructure, especially EV charging stations, leads to an increase in charging EVs at home or the workplace. Onboard EV chargers (OBCs) have been installed on electric vehicles to charge batteries which consists of active front-end rectifier (AFE) and bidirectional buck-boost converter (BDC). The trend of increasing power ratings OBCs, the improvement in stability and performance has been interesting. This paper demonstrates non-isolated EV onboard chargers with controller design based on adaptive Hamiltonian control law to approach a robust control system. Finally, the feasibility of the proposed controlled scheme is validated by MATLAB/Simulink with an 11kW non-isolated onboard EV charger. In addition, the performance of the proposed controlled scheme is compared with conventional PI control.

Keywords: Non-isolated onboard EV charger (OBCs), active front-end rectifier (AFE), Hamiltonian control law, The bidirectional buck-boost converter (BDC), Conventional PI control.

1. Introduction

Awareness of climate change and competitive prices of electric vehicles (EVs) leads to growth in the electric car market. In 2022, the electric vehicle population increased by approximately 75% from 2021, was contributed by sustained policies and lower costs in the production process. The electric vehicle benefits can be suggested, such as a reduction in gas emissions and high efficiency when compared with internal combustion engines (ICE). With highly extreme demand for clean energy vehicles and a lack of infrastructure. Especially inadequate public EV charging stations leads to higher charging at home or workspaces [1].

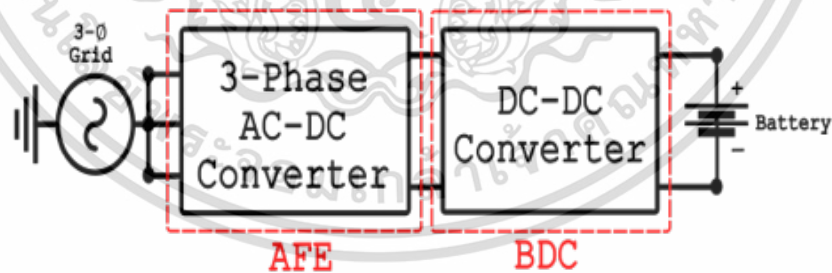


Fig. 1 Diagram of non-isolated EV onboard charger (OBCs)

On-board EV chargers (OBCs) were installed on EVs for charging the battery on electric vehicles. OBCs include the AC/DC and DC/DC stages shown in Fig 1. Active front-end rectifier (AFE) is mainly used for maintaining dc bus voltage and alleviating harmonic current drawbacks. In addition, AFE is applied for power factor correction in AC/DC stage. The bidirectional buck-boost converter (BDC) is integrated with OBCs to regulate charging battery current and voltage during charging operation. With demand in extending driving range, a large pack of batteries is stored, resulting in the development of

high-power rating OBCs for a decrease in charging time. Also, OBCs must operate in wide power range deal to power rating of charging stations [2]. Pulse charge technique is suggested to retain battery lifetime and reduce charging duration [3], since charging current discontinuity leads to high dynamic operation. Therefore, wide operating point, fast response and high performance have become significant factors to design the controller. Currently, OBCs have been design based on convention PI control law which is linear controller, it cannot operate in wide input range since it depend on linearized controlled plant. Therefore, nonlinear control such as energy-based control, model predictive control have been applied to deal with wide operating point [4].

This paper proposes a adaptive Hamiltonian control law which is energy-based control to non-isolated OBCs. The proposed controlled scheme can effectively handle high dynamics and give acceptable performance [5]. The Hamiltonian control law is applied on BDC to regulate charging current and voltage during charging operation.

This paper consists of five sections. Port-Hamiltonian formulation of nonlinear system has been expressed in section II, and section III presents Adaptive Hamiltonian control law formulation on BDC and cascaded PI control on AFE. Section IV details the simulation results between the proposed controlled scheme and conventional PI control law. Finally, the conclusion is illustrated in section V.

2. Port-Hamiltonian Formulation of Nonlinear system

2.1. Port-Hamiltonian Formulation of Nonlinear system

Nonlinear differential equation of controlled plant can be formed based on Port-Hamiltonian as [5].

$$\dot{x} = [J-R] \frac{\partial H(x)}{\partial x} + g(x) \cdot u + \xi \quad (1)$$

Where $J = -J^T$ is the interconnection symmetric matrix ($n \times n$), $R = R^T$ is the damping matrix ($n \times n$), $H(x)$ is the Hamiltonian function (energy storage function) of the plant, $g(x)$ is the input matrix ($n \times m$), u is the input control variable ($u \in R^n$), ξ is the disturbance of system. Estimation the control input u is the main objective to eliminate errors between x and x_d (the desired set point). Therefore, the close-loop control can be defined as following equation.

$$\dot{x} = [J_d - R_d] \frac{\partial H_d(x)}{\partial x_d} + \frac{dx_d}{dt} \quad (2)$$

Where $J_d = -J_d^T$ is the control interconnection symmetric matrix ($n \times n$), $R_d = R_d^T$ is the necessary damping matrix ($n \times n$), $H_d(x)$ is the Hamiltonian function with desired set points. After substitution (1) into (2), the Hamiltonian control law can be obtained as (3). Control input u can be estimated by solving equation (3).

$$[J_d - R_d] \frac{\partial H_d(x)}{\partial x} + \frac{dx_d}{dt} = [J-R] \frac{\partial H(x)}{\partial x} + g(x) \cdot u + \xi \quad (3)$$

3. Modelling and Controller design

In this section, the bidirectional buck-boost converter which be integrated on non-isolated OBCs and active-front end rectifier are suggested. Moreover, OBCs is formulated by using adaptive Hamiltonian control law to achieve zero steady-state errors and ability to response during dynamic operations.

3.1. The bidirectional buck-boost converter modelling

Fig 2. displays the schematic of the BDC for non-isolated onboard EV chargers. According to [6]. In Charging mode, BDC operates as buck converter. Hence, the differential equations of BDC in buck converter mode can be expressed as follow.

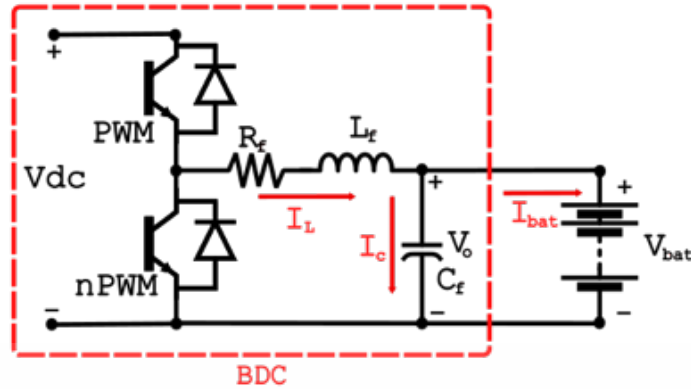


Fig. 2 Bidirectional DC/DC converter (BDC)

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L_f} (dV_{dc} - R_f I_L - V_o) \quad (4)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{1}{C_f} (I_L - I_{bat}) \quad (5)$$

Where V_{dc} , R_f , L_f , C_f , I_L , V_o , I_{bat} and d are the dc bus voltage, resistor, inductor, capacitor, inductor current, output voltage and battery current and duty ratio, consequently. Then, defines the state variables $x = [x_1 \ x_2]^T = [I_L \ V_o]^T$, the desired set values $x_d = [x_{1d} \ x_{2d}]^T = [I_{Lref} \ V_{oref}]^T$ and the control inputs $u = d$. After using storage component in (4) and (5), Hamiltonian energy storage function can be assigned as:

$$H(x) = \frac{1}{2}(L_f x_1^2 + C_f x_2^2) \quad (6)$$

Therefore, the gradient field of the $H(x)$ can be obtained as:

$$\frac{\partial H(x)}{\partial x} = [L_f x_1 \ C_f x_2]^T \quad (7)$$

From (1), (4), (5) and (7), the matrix of $[J-R]$, g and ξ can be obtained as following:

$$[J-R] = \begin{bmatrix} -R_f & 1 \\ L_f^2 & L_f C_f \\ -1 & \\ L_f C_f & 0 \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} V_{dc} \\ L_f \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \xi = \begin{bmatrix} 0 \\ -I_{bat} \\ C_f \end{bmatrix} \quad (8)$$

To satisfy Hamiltonian control law, the error variables between state variable and desired equilibrium point are assigned as following:

$$e = [x_{1d} - x_1 \ x_{2d} - x_2]^T \quad (9)$$

According to (9) The Hamiltonian function of error can be obtained as:

$$H_d(x) = \frac{1}{2} (L_f (x_{1d} - x_1)^2 + C_f (x_{2d} - x_2)^2) \quad (10)$$

Then, the gradient field of the $H_d(x)$ can be obtained as (11):

$$\frac{\partial H_d(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} L_f (x_1 - x_{1d}) \\ C_f (x_2 - x_{2d}) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Then, the control interconnection symmetric matrix J_d and damping matrix R_d are demonstrated as follow:

$$J_d = \begin{bmatrix} 0 & \frac{(1+K_J)}{L_f C_f} \\ -\frac{(1+K_J)}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix}, R_d = \begin{bmatrix} \frac{(R_f+K_r)}{L_s^2} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Where $J_d = -J_d^T$, $R_d = R_d^T \geq 0$ and K_R is the tuning controller for damping transient oscillation. K_J is the periodical adaptive gain. The Hamiltonian control law (3) can be formulated as (13):

$$\begin{bmatrix} -\frac{(R_f+K_r)}{L_s^2} & \frac{(1+K_J)}{L_f C_f} \\ -\frac{(1+K_J)}{L_f C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_f(x_1-x_{1d}) \\ C_f(x_2-x_{2d}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f} & \frac{1}{L_f C_f} \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_s(x_1) \\ C_f(x_2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{dc} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{I_{bat}}{C_f} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Finally, by solving the equation (13), K_J and the control input can be obtained as (14), (15).

$$K_J = -\frac{(I_{bat}-x_{1d})}{(x_1-x_{1d})} \quad (14)$$

$$d = \frac{(x_{2d}-K_J x_2 + K_J x_{2d} - K_R x_1 + K_R x_{1d} + R_f x_{1d})}{V_{dc}} \quad (15)$$

3.2. Active front-end power factor correction with cascaded PI control

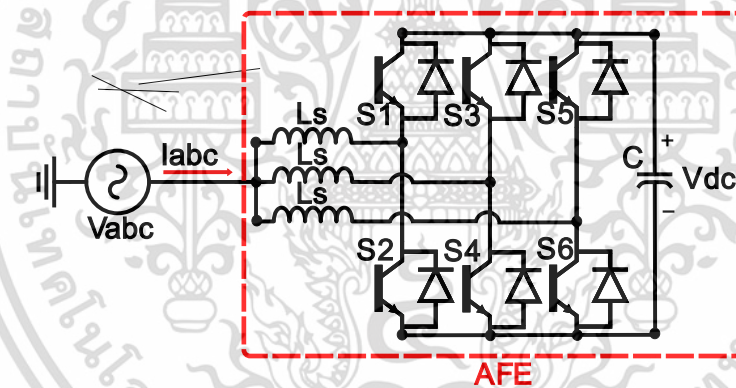


Fig. 3 Active front-end Rectifier (AFE)

Fig 3. illustrates the circuit of three-phase AFE for a non-isolated onboard EV charger. According to [7], the differential equations of AFE are given in DQ-frame as:

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{1}{L_s} (V_d - M_d V_{dc} - R_s I_d + \omega_e L_s I_q) \quad (16)$$

$$\frac{dI_q}{dt} = \frac{1}{L_s} (V_q - M_q V_{dc} - R_s I_q - \omega_e L_s I_d) \quad (17)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} \left(\frac{3}{2} (M_d I_d + M_q I_q) \right) + I_{dc} \quad (18)$$

Where V_d and V_q are the grid voltage in the DQ-frame, I_d and I_q are the line current in the DQ-frame, ω_e is the rotational speed of the DQ-frame, L_s is line inductance, R_s is the line series resistance,

M_d and M_q are the duty ratio in the DQ-frame , V_{dc} and I_{dc} is the dc bus voltage and dc bus current respectively. From (16), (17) when imposes $\frac{dI_d}{dt}$ and $\frac{dI_q}{dt} = 0$, the M_d and M_q can be expressed as (19), (20)

$$M_d = \frac{1}{V_{dc}} (V_d - R_s I_d + \omega_e L_s I_q) \tag{19}$$

$$M_q = \frac{1}{V_{dc}} (V_q - R_s I_q - \omega_e L_s I_d) \tag{20}$$

However, the aforementioned equation cannot ensure zero steady state errors. To eliminate these errors, PI controller is implemented. To maintain dc bus voltage, the sufficient I_d is calculated by following equation.

$$I_{dref} = K_p(V_{dcref} - V_{dc}) + K_I \int (V_{dcref} - V_{dc}) dt \tag{21}$$

Where K_p , K_I , V_{dcref} , I_{dref} and I_{qref} is proportional gain, integral gain, desired dc bus voltage, desired current in DQ-frame respectively. Additionally, I_{qref} is set to be 0.

3.3. Onboard-EV charger controller Conclusion

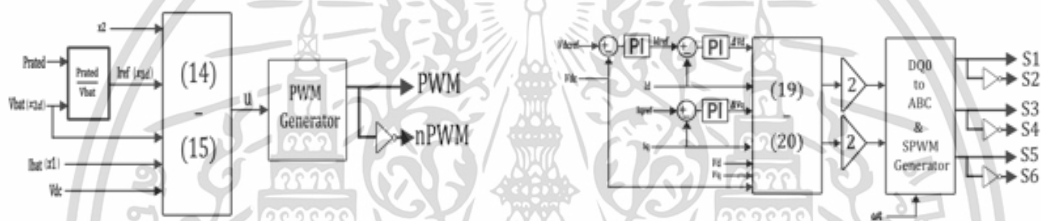


Fig. 4. (a) proposed control scheme; (b) diagram of AFE controller

Fig 4(a). shows the proposed adaptive Hamiltonian control on BDC. Equation (14) is used to calculate the adaptive gain (K_j), and then equation (15) calculates control input (u) to control charging current and voltage by using desired and actual state variable and K_j . Fig 4(b). demonstrates diagram of AFE controller based on cascaded PI controller, The outer PI loop provides sufficient direct-axis reference current, inner PI loop eliminates errors between actual current and reference current in DQ-frame and (20), (21) calculates Duty cycle ratio in DQ-frame.

4. Performance Validation

Table 1. An Active front-end rectifier parameters

symbol	Description	Value
Vabc	Nominal grid voltage	380 Vrms
Vdc	Nominal dc-link voltage	600 V
Ls	Line inductance	2 mH
Rs	Line resistance	1 mΩ
C	DC-link capacitance	1500 uF
fs	Switching frequency	20 kHz

Table 2. A Bidirectional buck-boost converter parameters

symbol	Description	value
Vdc	Nominal dc-link voltage	600 V
Vbat	Nominal battery voltage	400 V
Lf	Filter inductance	5 mH
Rf	Series filter resistance	1 mΩ
Cf	Output filters capacitance	500 uF
fs	Switching frequency	20 kHz

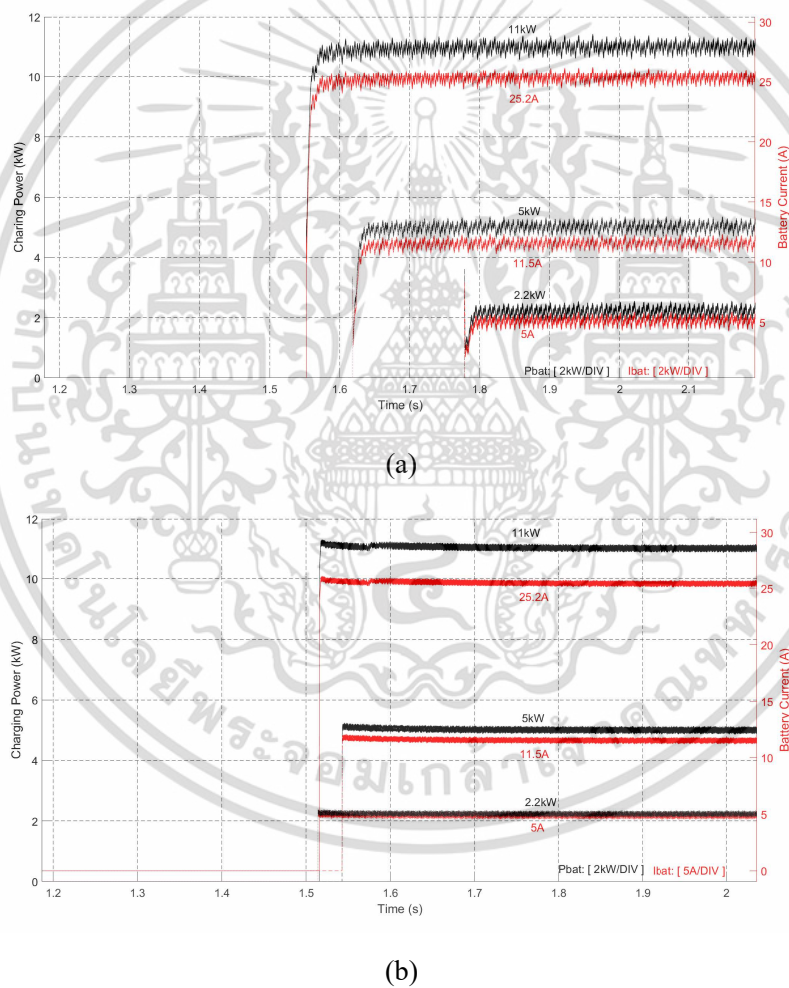


Fig. 5 Simulation results: (a) proposed control scheme; (b) Conventional PI control law

In this section, MATLAB/Simulink was implemented to simulate non-isolated onboard-EV charger. AFE is designed with cascaded PI control law, while BDC is designed with adaptive Hamiltonian control

law. Additionally, the results of the replacing adaptive Hamiltonian control law in BDC with Conventional PI controller which is designed for 11kW operating point have been demonstrated. Table 1 and Table 2 show the parameters of AFE and BDC respectively. K_P and K_I of AFE controller are 5 and 15 respectively, while K_R is set to 15 and adaptive gain is limited ($-5 \leq K_J \leq 5$). The results include battery charging power (P_{bat}), battery charging current (I_{bat}). There are 3 scenarios, battery was received command at 1.5s and charged with 2.2kW, 5kW and 11 kW respectively.

Fig 5(a) demonstrates the results of adaptive Hamiltonian control law to BDC. As can be seen that P_{bat} was 2.2kW, 5kW and 11kW respectively. Regarding battery current, I_{bat} was 5A, 11.5A and 25.2A respectively. It is clear that the settling time was 20ms, 45ms and 15ms when operating point was 11kW, 5kW and 2.2kW respectively.

Fig 5(b) depicts the results of conventional PI controller to BDC. As can be observed that P_{bat} was 2.2kW, 5kW and 11kW respectively. Charging current was regulated at 5A, 11.5A and 25.2A respectively. The settling time was 84ms, 145ms and 200ms when operating point was 11kW, 5kW and 2.2kW respectively.

5. Conclusion

In this paper, the model of active front-end rectifier (AFE) and bidirectional buck-boost converter (BDC) for a non-isolated onboard EV charger are presented. The adaptive Hamiltonian control law was applied to BDC. Its performance was compared with conventional PI controller. The results of the study indicate that adaptive Hamiltonian control law effectively controls charging voltage and current. Also, it demonstrates the ability to operate in wide operating ranges. While conventional PI controller when operate in lower power, a increase in operating delay can be obviously observed. Non-isolated onboard EV charger was simulated through MATLAB/Simulink for validation the proposed control scheme.

Reference

- [1] International Energy Agency, "Global electric vehicle outlook 2022," 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>
- [2] A. Khaligh and M. D'Antonio, "Global Trends in High-Power On-Board Chargers for Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 4, pp. 3306-3324, April 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2897050.
- [3] P. Jampeethong and S. Khomfoi, "An EV quick charging station using a pulse frequency current control technique," 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin, Thailand, 2015, pp. 1-5.
- [4] A. Safaeinasab, H. Soltani Gohari and K. Abbaszadeh, "Hamiltonian Energy-Based Sliding Mode Control Approach for a Multi-port Bidirectional EV Charger via Zero Dynamic," 2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC), Tabriz, Iran, 2021, pp. 1-6.
- [5] P. Thounthong, "Port-Hamiltonian Formulation of Adaptive Hamiltonian PID controller to Solve Constant Power Load Stability Issue in DC Microgrid: Control of a Fuel Cell Converter," 2021 IEEE 12th Energy Conversion Congress & Exposition - Asia (ECCE-Asia), Singapore, Singapore, 2021, pp. 1864-1869.
- [6] S. Nayak, S. Mohanty and H. J. Saikia, "An Improved Control Method for the DC-DC Converter in Vehicle to Grid Charging System," 2017 14th IEEE India Council International Conference (INDICON), Roorkee, India, 2017, pp. 1-6.
- [7] C. -C. Hou, P. -T. Cheng, S. Bhattacharya and J. Lin, "Modeling and Control of Three-Phase Active front-end Converters," *IECON 2007 - 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Taipei, Taiwan, 2007, pp. 1449-1454.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ณัฐพล สมบูรณ์ปัญญา
 วัน เดือน ปีเกิด 18 มกราคม 2542
 ที่อยู่ 236/1 หมู่ 4 ตำบล บ้านสร้าง อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี
 ประวัติการศึกษา:

2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 1)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2567 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย:

- [1] N. Somboonpanya, S. Khomfoi and T. Phopongviwat, "Non-isolated Onboard EV Charger Controller Design Based on Adaptive Hamiltonian Control Law," The 26th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering, Pattaya, Thailand, 2023, pp. 151-157,
- [2] N. Somboonpanya, S. Khomfoi and T. Phopongviwat, "Non-isolated Onboard EV Charger Controller Design Based on Port-Hamiltonian Approach," 2023 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Chiang Mai, Thailand, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITECAsia-Pacific59272.2023.10372304.