การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

DESIGN AND DEAVELOP THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR ELECRTRIC VEHICLE CHARGING

โดย

นายภูมิสิทธิ์ สายโสภา
นายศิวกร ปามา
นายศุภกร เกตุแจ่ม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEAVELOP THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM

FOR ELECRTRIC VEHICLE CHARGING

POOMSIT SAISOPA

SIWAKORN PAMA

SUPAKORN KETJAEM

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า
DESIGN AND DEAVELOP THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR ELECRTRIC VEHICLE CHARGING

โดย

นาย ภูมิสิทธิ์ สายโสภา
นาย ศิวกร ปามา
นาย ศุภกร เกตุแจ่ม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย ภูมิสิทธิ์ สายโสภา
2. นาย ศิวกร ปามา
3. นาย ศุภกร เกตุแจ่ม

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

นาย ภูมิสิทธิ์	สายโสภา	
นาย ศิวกร	ปามา	
นาย ศุภกร	เกตุแจ่ม	
ศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ชัยทัต	มณีอินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีการนำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยระบบสามารถส่งกำลังไฟฟ้าผ่านขดลวดส่งกำลังแบบไร้สายซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟได้ 380 วัตต์ และ อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 1000 วัตต์ ประสิทธิภาพของการจ่ายกำลังฟ้าของระบบอยู่ที่ 50% (DC-DC) และประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่อยู่ที่ 43% (DC-DC) ระบบที่ได้ทำการออกแบบประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (85 กิโลเฮิร์ตซ์) วงจรชดเชยแรงดัน ขดลวดส่งกำลังแบบไร้สาย วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ความถี่สูง และ วงจรกรองสัญญาณ ในการออกแบบใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองระบบทั้งหมดเพื่อสังเกตพฤติกรรมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าแต่ละจุด และ ใช้ในการคำนวณค่าองค์ประกอบในวงจรชดเชยแรงดัน ส่วนการออกแบบขดลวดส่งกำลังแบบไร้สายจะใช้โปรแกรม Ansys Maxwell ในการจำลองค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ผลการจำลอง และ ผลการทดสอบเป็นไปตามวิธีการที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEAVELOP THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR ELECRTRIC VEHICLE CHARGING

Mr.Poomsit	Saisopa	
Mr.Siwakorn	Pama	
Mr.Supakorn	Ketjaem	
Prof.Dr.Surin	Khomfoi	Advisor
Asst.prof.Chaitouch	Maneein	Co-Advisor

ABSTRACT

This thesis presents the design and development of a wireless power transfer system for electric vehicle charging. The system utilizes wireless transmission coils to deliver power, enabling a lamp load of 380 W and battery charging of 1000 W for a 48 V battery. The load test efficiency is measured at 50% (DC-DC), while the battery charging efficiency is calculated to be 43% (DC-DC). The designed system encompasses key components such as a high-frequency converter circuit (operating at 85 kHz), a compensation network, coils, high-frequency full-wave bridge rectifiers, and C filter circuits. To ensure the system's effectiveness, MATLAB and Simulink programs were employed to simulate and observe the voltage and current behavior at various points, as well as to calculate the necessary components within the compensation network. Furthermore, the design of the wireless power transmission coil was optimized using the Ansys Maxwell program, enabling accurate simulation of the coil's inductance. Notably, the simulation results align closely with the experimental findings, confirming the efficacy of the proposed design methodology.

Overall, this thesis provides a comprehensive overview of the wireless power transfer system for electric vehicle charging, detailing the design process, simulation techniques, and experimental validation, thereby contributing to the advancement of wireless power transmission technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ศาสตร์ตราจารย์สุรินทร์ คำฝอย และ อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึง ผศ.ดร.วรพงษ์ ไพรินทร์ ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณนายณัฐพล สมบูรณ์ปัญญา พี่ปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบมาโดยตลอด รวมทั้งให้คำแนะนำในขั้นตอนทดสอบเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทดสอบแบตเตอร์รี่ ที่ช่วยแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด โดยเฉพาะ นางสาวกุลนิษฐ์ บุญเต็ม และ นายฐปนนท์ หนูจันทร์

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**6**
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	6
2.1.1 ภาพรวมการทำงานของระบบอัดประจุแบบไร้สายสำหรับยานยนต์	6
2.1.2 AC/DC Converter	7
2.1.3 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)	8
2.1.4 DC/High Frequency AC Converter	9
2.1.5 Compensation Network	10
2.1.6 Transmitter & receiver coil	11
2.1.7 Battery	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการทดสอบ	**16**
3.1 การออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจร DC to High Frequency AC Converter 17
3.1.2 การออกแบบ Transmitter Coil และ Receiver Coil 17
3.1.3 การออกแบบวงจร Compensation Network 19
3.1.4 การออกแบบวงจร High frequency AC to DC Converter 20
3.2 วิธีการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 20
3.2.1 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ DC to High Frequency AC Converter 20
3.2.2 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ Compensation Network 22
3.2.3 การทดสอบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 23
3.2.4 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ High Frequency AC to DC Converter 24
3.3 วิธีการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ 27
3.3.1 การทดสอบการจ่ายกำลังสูงสุดให้กับแบตเตอรี่ 27
3.3.2 การทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV 28
บทที่ 4 ผลการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 29
4.1 ผลการทดสอบระบบ DC to High Frequency AC Converter 29
4.1.1 ผลการทดสอบ Microcontroller 29
4.1.2 ผลการทดสอบ Gate Driver 29
4.1.3 ผลการทดสอบ DC to High frequency AC Converter 30
4.2 ผลการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 32
4.3 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network 32
4.4 ผลการทดสอบระบบ High Frequency AC to DC Converter 34
4.4.1 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier 34
4.4.2 ผลการทดสอบ C Filter 36
4.5 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ 38
4.6 ผลการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ 39
4.6.1 ผลการทดสอบการจ่ายกำลังสูงสุดให้กับแบตเตอรี่ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV 40

บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 42

5.1 สรุปผลการทดสอบ 42

5.2 อภิปรายผลการทดสอบ 42

5.3 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44

ภาคผนวก 45

ภาคผนวก ก 46

ภาคผนวก ข 54

ประวัติผู้เขียน 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมของระบบอัดประจุไร้สายสำหรับยานยนต์	6
2.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	7
2.3 Full Wave Bridge Rectifier วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)	7
2.4 Capacitor Filter	8
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันขาออกของวงจรกรองกระแส	8
2.6 Full bridge inverter	9
2.7 RLC Circuit power factor	10
2.8 วงจร Compensation เบื้องต้น	10
2.9 Transmitter & Receiver coil	11
2.10 Compensation Network of the WPT	12
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Input Voltage, Output power	12
2.12 High efficiency magnetic field maximum 90 kHz	13
3.1 การออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	16
3.2 ลักษณะการวางขดลวดของขดลวดฝั่งส่งกำลัง (ด้านล่าง)	18
3.3 การออกแบบรูปแบบการพันขดลวดในโปรแกรม Ansys Maxwell (ด้านซ้าย)	18
3.4 ตัวอย่างค่าอุปกรณ์ในวงจรชดเชยแรงดันจากการคำนวณใน MATLAB	19
3.5 วงจรของระบบที่สร้างขึ้นในโปรแกรม Simulink	20
3.6 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ DC to High Frequency AC Converter	22
3.7 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ Compensation Network	23
3.8 วิธีการวัดค่า Mutual Inductance	24
3.9 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ Bridge Rectifier	25
3.10 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ C Filter	26
3.11 ชุดทดสอบระบบ	27
3.12 การต่อชุดทดสอบในการทดสอบระบบ	27
4.1 ผลการทดสอบ Microcontroller กำหนดให้จ่ายลูกคลื่น Pulse 85 kHz	29
4.2 ผลการทดสอบ Gate Driver ลูกคลื่นความถี่ 85 kHz	29
4.3 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันขาออกจากวงจร	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ 31
4.5 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร 33
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ 34
4.7 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร 35
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ 36
4.9 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร 37
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ 38
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ 39
4.12 กระแสและแรงดันขาเข้าของแหล่งจ่าย 39
4.13 แรงดันขาออก (U_{dc}) และ กระแสขาออก (I_{dc}) 40
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ แรงดัน และ กระแส ขาเข้าระบบ 40
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ แรงดัน และ กระแส ขาออกที่จ่ายให้แบตเตอรี่ 41
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพแต่ละช่วงในวิธีการ CC และ CV 41
ก.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 48
ก.2 Full Wave Bridge Rectifier วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter) 48
ก.3 รูปคลื่น Capacitor Filter 48
ก.4 Full bridge inverter 49
ก.6 ผลการทดสอบ Microcontroller กำหนดให้จ่ายลูกคลื่น Pulse 85, 90 และ 95 kHz ตามลำดับ 49
ก.7 ผลการทดสอบ Gate Driver โดยการจ่ายลูกคลื่นความถี่ 85, 90 และ 95 kHz ตามลำดับ 50
ก.8 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันขาออกจากวงจร 50
ก.9 แรงดันและกระแสขาเข้ากับแรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Compensation Network ตามลำดับ 50
ก.10 วิธีการวัดค่า Mutual Inductance 50
ก.11 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Bridge Rectifier ตามลำดับ 51
ก.12 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร C Filter ตามลำดับ 51
ก.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ 51
ก.14 กระแสและแรงดันขาเข้าของแหล่งจ่าย และ แรงดันขาออก (U_{dc}) และ กระแสขาออก (I_{dc}) 51
ก.15 กราฟการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV 52
ข.1 ชุดการทดสอบของระบบ 55
ข.2 ชุดทดสอบ DC to High frequency AC Converter 55
ข.3 ชุดทดสอบ High frequency AC to DC Converter 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 Microcontroller 56

ข.5 วงจรขับขาเกท 57

ข.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงเป็นกระแสสลับความถี่สูง 57

ข.7 ขดลวดเหนี่ยวนำของวงจรชดเชยแรงดัน (L_f) 57

ข.8 ตัวเก็บประจุในวงจรชดเชยแรงดันฝั่งขดลวดส่งกำลังไร้สาย (C_{f1}, C_{r1}) 58

ข.9 ขดลวดส่งกำลังไร้สาย 58

ข.10 ตัวเก็บประจุในวงจรชดเชยแรงดันฝั่งขดลวดรับกำลังไร้สาย (C_{r2}) 58

ข.11 วงจรเรียงกระแส 59

ข.12 วงจรกรองสัญญาณ 59

ข.13 Battery Management System 59

ข.14 PCB ของวงจร Inverter 60

ข.15 PCB ของวงจร Compensation (L_{f1}) 60

ข.16 PCB ของวงจร Compensation (C_{f1} และ C_{r1}) 60

ข.17 PCB ของวงจร Compensation (C_{r2}) 60

ข.18 PCB ของวงจร Bridge rectifier 61

ข.19 PCB ของวงจร C Filter 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 การวางแผนการดำเนินงานการของการทำงาน 2

2.1 คุณสมบัติในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย 13

2.2 การใช้งานในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย 14

4.1 ผลการทดสอบวงจร DC to High frequency AC Converter 30

4.2 ผลการทดสอบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดส่งกำลังไร้สาย 32

4.3 การจำลองค่าความเหนี่ยวของขดลวดส่งกำลังไร้สายจาก Ansys Maxwell 32

4.4 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network 33

4.5 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier 35

4.6 ผลการทดสอบ C Filter 37

ก.1 ผลการทดสอบวงจร DC to High frequency AC Converter 50

ก.2 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network 50

ก.3 ผลการทดสอบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดส่งกำลังไร้สาย 50

ก.4 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier 51

ก.5 ผลการทดสอบ C Filter 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากความต้องการหันมาใช้พลังงานสะอาดของสังคมโลกในปัจจุบันนั้น ทำให้ผู้คนหันมาใช้ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้ากันมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันก็สามารถอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ที่สถานี และที่บ้านได้เลย แต่การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เป็นที่นิยมในไทยนั้นเป็นการอัดประจุแบบใช้สาย และในปัจจุบันนั้นการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายก็มีปัญหาในหลาย ๆ จุด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของหัวอัดประจุของสถานีที่ต้องมีลักษณะตรงกับรุ่นของยานยนต์ไฟฟ้า ความปลอดภัยหรือระบบป้องกันของยานยนต์ไฟฟ้าที่ถึงจะมีความเสี่ยงน้อยแต่ก็ยังคงมีอยู่ เพราะผู้ใช้งานนั้นต้องเป็นคนที่ถอดและเสียบสายอัดประจุด้วยตนเอง นอกจากนี้จุดอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรุ่นนั้นก็มีตำแหน่งที่ต่างกัน จึงทำให้ต้องคำนึงถึงตอนจอดรถด้วยว่าตรงตำแหน่งที่สามารถอัดประจุได้หรือไม่

การแก้ไขปัญหาความไม่สะดวกสบายต่อการใช้งานของการอัดประจุแบบสาย และความปลอดภัยของผู้ใช้งานแก้ปัญหาได้โดยการมีระบบล็อคหัวอัดประจุเมื่อมีการจ่ายไฟจากตู้อัดประจุไปที่รถและถอดได้เมื่ออัดประจุเสร็จแล้วเท่านั้น แต่ในหลาย ๆ ประเทศก็เริ่มมีการหันมาใช้การอัดประจุแบบไร้สายเพื่อแก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นเช่น ปัญหาเรื่องความไม่สะดวกจากการจอดรถเพื่ออัดประจุไฟและ ระยะของสายที่มีข้อจำกัดรวมถึงปัญหาด้านความปลอดภัยที่ผู้ใช้ต้องลงจากรถมาเพื่ออัดประจุรถด้วยตนเอง ทั้งยังมีลักษณะของหัวอัดประจุที่ต้องตรงกับแบบของยานยนต์ไฟฟ้า

การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายนั้น เป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมา เพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกสบายของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและช่วยให้ขั้นตอนการอัดประจุรถนั้นง่ายขึ้นและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน นอกจากนี้การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายก็จะมีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือช่วยให้ทัศนียภาพดีขึ้นเพราะมีขนาดเล็กและไม่เทอะทะ ใช้งานง่าย ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสนับสนุนความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันและความสะดวกสบายต่อการใช้งาน

กลุ่มของผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อมุ่งเน้นให้ปัญหาที่เกิดจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบมีสายอัดประจุได้ถูกแก้ปัญหาออกไป โดยระบบที่ได้ออกแบบนี้มีความคาดหวังว่าระบบนี้จะสามารถส่งกำลังไฟฟ้าและสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปอัดประจุเพื่อสะสมในแบตเตอรี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบอัดประจุไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ได้

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายโอนพลังงานของระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

ออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าให้ระบบสามารถส่งกำลังด้วยขดลวดส่งกำลังแบบไร้สายได้ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดได้ และ สามารถจ่ายไฟเพื่ออัดประจุเข้ากับแบตเตอรี่ได้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

ศึกษารูปแบบการออกแบบวงจรภายในชิ้นงานนี้จากหนังสือ Wireless Power Transfer: Between Distance and Efficiency ทำการออกแบบและคำนวณค่าในวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink ออกแบบรูปแบบการพันขดลวดที่ใช้ส่งพลังงานแบบไร้สาย ด้วยโปรแกรม Ansys Maxell จึงเริ่มทำการสร้างชิ้นงานตามค่าที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินการสร้างระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้ได้มาซึ่งชิ้นงานที่สามารถใช้งานได้จริง มีการวางแผนการออกแบบ สร้างระบบไปทีละส่วน ในส่วนสุดท้ายจึงทำการทดสอบระบบ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้น และ จัดทำรูปเล่มนำเสนอต่อไป ดังตารางแผนการดำเนินงานด้านล่าง

ตารางที่ 1.1 การวางแผนการดำเนินงานการของการทำงาน

การดำเนินงาน	**ช่วงเวลาการดำเนินงาน**								
	สิงหาคม	**กันยายน**	**ตุลาคม**	**พฤศจิกายน**	**ธันวาคม**	**มกราคม**	**กุมภาพันธ์**	**มีนาคม**	**เมษายน**
กำหนดหัวข้อการทำโครงงาน (ปฏิบัติจริง)									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 การวางแผนการดำเนินงานการของการทำงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ช่วงเวลาการดำเนินงาน								
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ปฏิบัติจริง)	▬	▬							
ออกแบบและวางแผนการสร้างระบบ (วางแผน)		▬	▬						
จัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้เวลานาน (ปฏิบัติจริง)			▬						
สร้างและทดสอบระบบในส่วน DC to High frequency AC Converter (ปฏิบัติจริง)				▬					
สร้างและทดสอบระบบในส่วน Compensation Network และ Coil (ปฏิบัติจริง)					▬	▬			
สร้างและทดสอบระบบในส่วน High frequency AC to DC Converter (ปฏิบัติจริง)						▬	▬		
ทดสอบการใช้งานของระบบในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ (ปฏิบัติจริง)							▬	▬	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 การวางแผนการดำเนินงานการของการทำงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ช่วงเวลาการดำเนินงาน								
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบ (ปฏิบัติจริง)								■	■
ปรับปรุง แก้ไขชิ้นงาน และ ทำการทดสอบระบบ (ปฏิบัติจริง)									■
จัดทำรูปเล่มและตัวนำเสนอชิ้นงาน (ปฏิบัติจริง)									■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากการทำโครงงานวิจัยนี้ ประโยชน์ที่คาดว่านะได้รับจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ประโยชน์ในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ ประโยชน์ด้านการอำนวยความสะดวกต่อสังคม และการพัฒนาความสามารถของตนเอง

1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับด้านการพัฒนาเทคโนโลยี

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอหลักการออกแบบระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยการนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาใช้ในการพัฒนา ดังนั้นผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ

1.6.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับด้านการอำนวยความสะดวกต่อสังคม

งานวิจัยในครั้งนี้ทำให้การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้านั้นเป็นระบบไร้สาย ซึ่งทำให้การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้านั้นสะดวกต่อผู้ใช้งานมากขึ้นอย่างมาก นอกจากไม่ต้องลงจากรถแล้วยังเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานมากขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย และ เนื่องจากเมื่อตัวอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากลายเป็นแบบไร้สาย ก็จะทำให้ไม่เทอะทะ รกรุงรัง และทำให้ทัศนียภาพและความเป็นอยู่ดีขึ้น สังคมก็จะน่าอยู่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับด้านการพัฒนาความสามารถของตนเอง

ได้ฝึกและเรียนรู้ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB, Simulink, Ansys electronics, Proteus 8 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสำคัญต่อการทำงานวิศวกรรม และ ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงการออกแบบ และ พัฒนาระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย ที่จะสามารถพัฒนาตนเองไปสู่งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายได้ในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

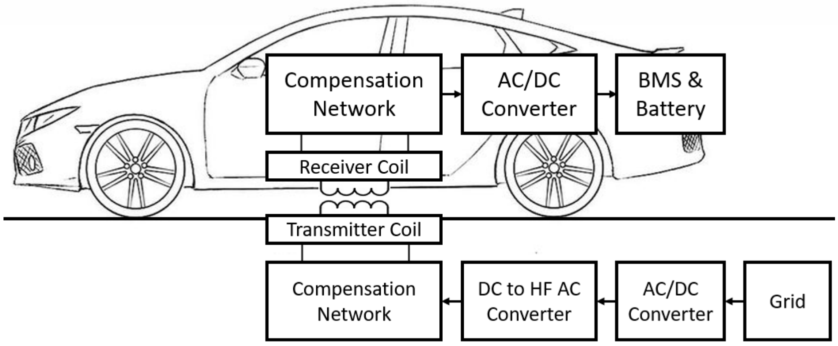
ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน สามารถแบ่งข้อมูลจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวข้อง และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีการนำทฤษฎีเข้ามาใช้ในการสนับสนุนแนวคิดการออกแบบระบบดังต่อไปนี้

2.1.1 ภาพรวมการทำงานของระบบอัดประจุแบบไร้สายสำหรับยานยนต์

จากวารสาร Design and Analysis of a Novel Magnetic Coupler of an In-Wheel Wireless Power transfer System for Electric Vehicles (2020) กล่าวถึงภาพรวมของการอธิบายโดยเริ่มต้นจากโครงข่ายไฟฟ้าที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยการใช้คอนเวอร์เตอร์กระแสสลับเป็นกระแสตรง จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะเข้าสู่คอนเวอร์เตอร์กระแสตรงเป็นกระแสสลับความถี่สูง เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ในระบบนี้ประกอบด้วย วงจรชดเชยแรงดัน ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้ากับแรงดันไฟฟ้าขาออก และ ค่าตัวประกอบกำลัง วงจรนี้ประกอบด้วยฝั่งขดลวดส่งกำลังไร้สาย และ ฝั่งขดลวดรับกำลังไร้สาย จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะเข้าสู่วงจรดังกล่าวในฝั่งขดลวดกำลังไร้สาย และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยัง ขดลวดส่งกำลังไร้สาย ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น และ สนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะไปเหนี่ยวนำ ขดลวดรับกำลังไร้สาย ให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะเข้าไปที่ วงจรชดเชยแรงดัน ฝั่งขดลวดรับกำลังไร้สาย และ ทำการแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับไปเป็นกระแสตรงโดยใช้ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เพื่อนำไฟฟ้าไปอัดประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.1 [5]

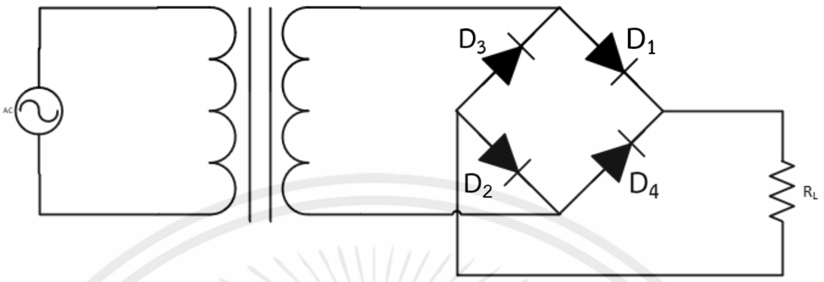


รูปที่ 2.1 ภาพรวมของระบบอัดประจุไร้สายสำหรับยานยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 AC/DC Converter

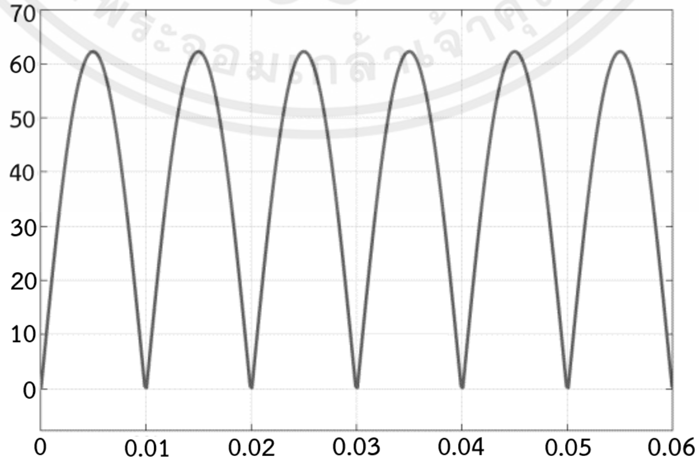
AC/DC Converter หรือ วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier) มีลักษณะเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งวงจรนี้ใช้ไดโอด 4 ตัว ดังรูปที่ 2.2 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ การทำงานของวงจรไดโอดจะผลัดนำกระแสครั้งละ 2 ตัว



รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_2 มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุต ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})

ในช่วงไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) จะทำให้ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_3 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_4 มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) ทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Full Wave Bridge Rectifier วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังคงมีระลอกคลื่นอยู่ในปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน จึงต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยการใช้ตัวเก็บประจุ และนำตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด RL แรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยคำนวณหาได้จากสูตร $V_{DC} = V_P = 1.414V_{AC}$ สามารถคำนวณหาตัวเก็บประจุได้จากสมการที่ 2.1

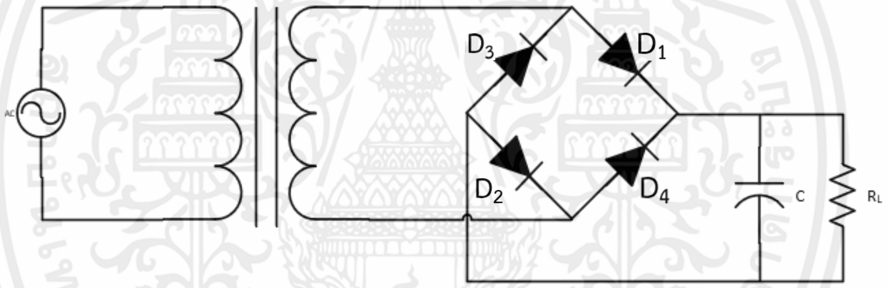
$$C = \frac{I_L \times T}{2V_{rip}} \tag{2.1}$$

โดยที่

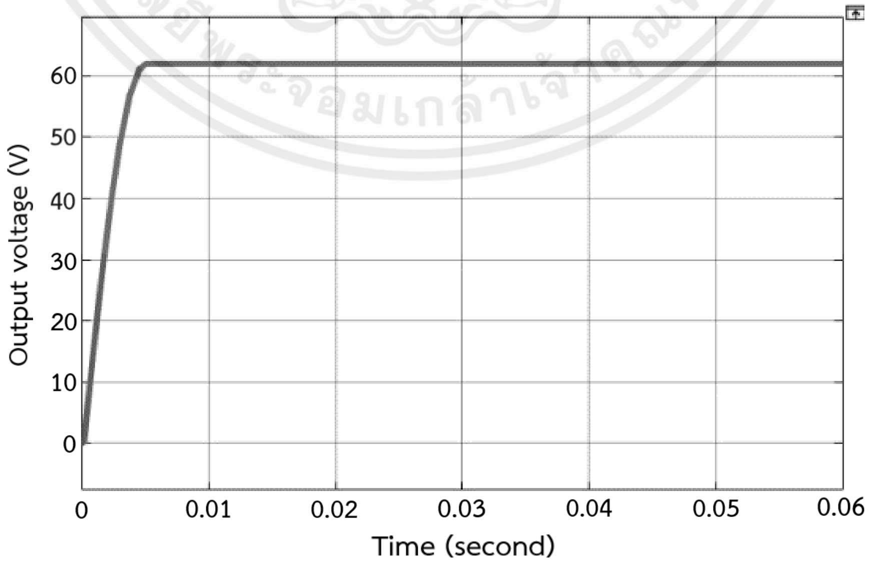
I_L คือ กระแสโหลด

T คือ 0.01 วินาที (full wave)

V_{rip} คือ แรงดันจุดที่ไฟกระเพื่อมของแรงดันเอาท์พุต ไม่ควรเกิน 10% ของอินพุต



รูปที่ 2.4 Capacitor Filter



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันขาออกของวงจรกรองกระแส

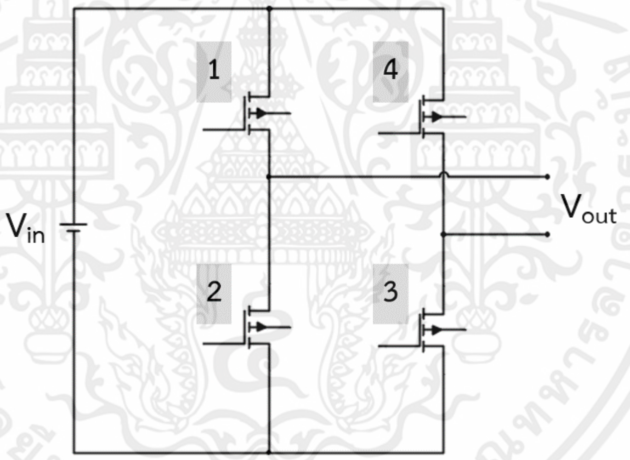
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 DC/High Frequency AC Converter

วงจรการแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับความถี่สูง มีองค์ประกอบอยู่ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ วงจร Full bridge inverter (MOSFET), วงจรขับขาเกทและแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Microcontroller)

Full bridge inverter (MOSFET)

Full bridge inverter จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยการใช้ มอสเฟต ในการจัดเรียงทิศทางของกระแส โดยทำงานคล้ายคลึงกับสวิตซ์ ซึ่งการควบคุม มอสเฟต นั้นจะมีการใช้คลื่นพัลส์มากระตุ้นขาเกทของ มอสเฟต แต่ละตัว ทำให้ มอสเฟต ทำงานที่เวลาที่แตกต่างกันตามสัญญาณที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดย มอสเฟต ตัวที่ 1 จะทำงานคู่กับ มอสเฟต ตัวที่ 3 และ มอสเฟต ตัวที่ 2 จะทำงานคู่กับ มอสเฟต ตัวที่ 4 ตามตำแหน่งดังรูปที่ 2.6 เช่น Microcontroller และ ขยายแรงดันให้เกินระดับแรงดันเริ่มต้น ด้วยวงจรขับขาเกท



รูปที่ 2.6 Full bridge inverter

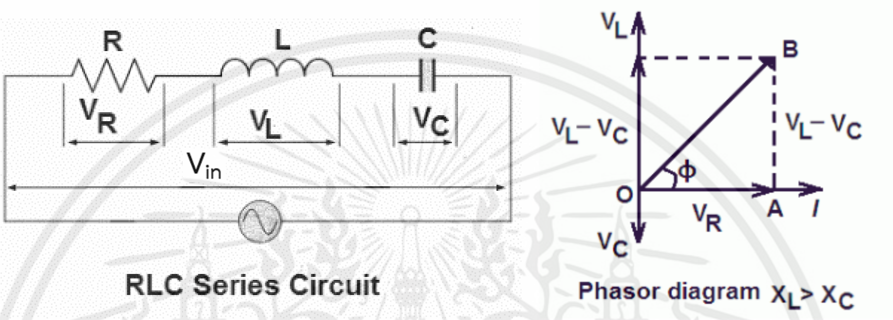
วงจรขับขาเกท

สัญญาณพัลส์ที่ใช้กระตุ้น มอสเฟต ให้ทำงาน ระดับแรงดันที่ใช้กระตุ้นจะต้องมีค่ามากกว่าระดับแรงดันเริ่มต้น ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการสร้างสัญญาณโดย Microcontroller มีระดับที่น้อยเกินกว่าระดับแรงดันเริ่มต้น ไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้ มอสเฟต ทำงานได้ตามช่วงความถี่ที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีวงจรที่ช่วยขยายแรงดันให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น ให้เพียงพอที่จะกระตุ้นขาเกทให้ มอสเฟต ทำงานได้ ซึ่งเป็นหน้าที่ของวงจรขับขาเกทที่ต้องขยายสัญญาณพัลส์ก่อนสัญญาณจะถูกส่งให้ขาเกทของ มอสเฟต ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

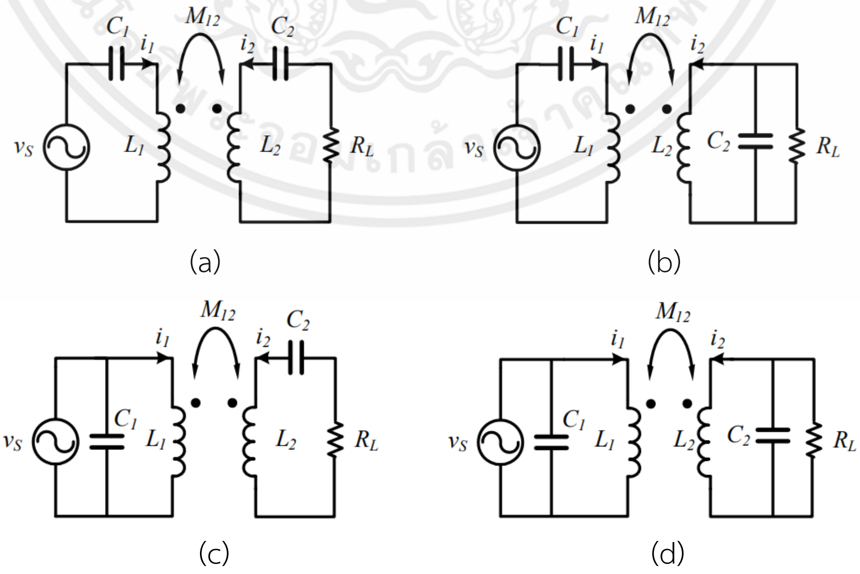
2.1.5 Compensation Network

Compensation Network คือวงจรที่ควบคุมอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ตามสมการที่ 2.2 ช่วยในการชดเชยแรงดันให้กับขดลวดฝั่งส่งกำลังไร้สาย และยังทำหน้าที่ปรับประสิทธิภาพ power factor ให้มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการส่งพลังงานสูงขึ้น ในระบบอัดประจุไร้สายนั้นค่า กำลังไฟฟ้าจินตภาพในส่วนของตัวเหนี่ยวนำมีค่อนข้างสูง และจากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพในส่วนของตัวเก็บประจุจะสามารถทำให้ กำลังไฟฟ้าจินตภาพโดยรวมมีค่าลดลง จึงเป็นผลให้มีประสิทธิภาพของการส่งพลังงานสูงขึ้น



รูปที่ 2.7 RLC Circuit power factor

จากหนังสือ Wireless Power Transfer: Between Distance and Efficiency ได้มีการอธิบายเกี่ยวกับวงจรชดเชยแรงดันเบื้องต้นใน 4 รูปแบบ ที่สามารถทำไปออกแบบวงจรในระบบส่งกำลังไร้สายได้ ดังรูปที่ 2.8 [4]



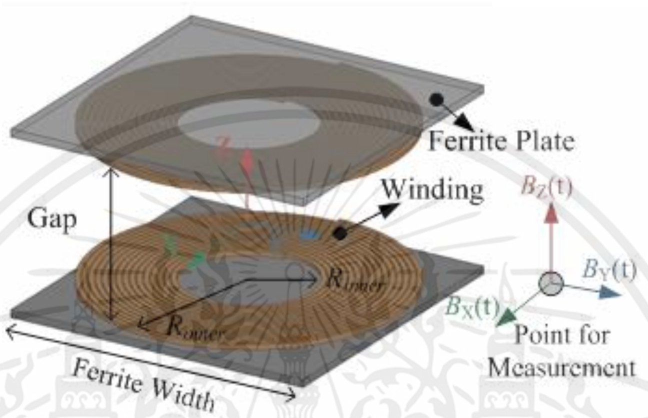
รูปที่ 2.8 วงจร Compensation เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 Transmitter & receiver coil

Transmitter coil คือ ขดลวดฝั่งส่งกำลังไร้สายที่อยู่บนพื้นดินทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงไปยังขดลวดฝั่งรับกำลังไร้สาย

Receiver coil คือ ขดลวดฝั่งรับกำลังไร้สายที่ติดตั้งอยู่ในยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อรับพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจากขดลวดฝั่งส่งกำลังไร้สายโดยความถี่ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 85-100 kHz ส่วนประกอบหลักของขดลวดส่งกำลังไร้สายจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ ขดลวด กับ แผ่นเฟอร์ไรต์ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Transmitter & Receiver coil

2.1.7 Battery

BMS (Battery management system) คือ ระบบจัดการระดับแบตเตอรี่แต่ละก้อนให้มีความเท่ากันในแต่ละชุด การเชื่อมต่อกันภายในชุดแบตเตอรี่นั้น จะมีการถ่ายเทประจุด้วยกันระหว่างแต่ละก้อนของแบตเตอรี่เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพ และยืดอายุการใช้งานของชุดแบตเตอรี่

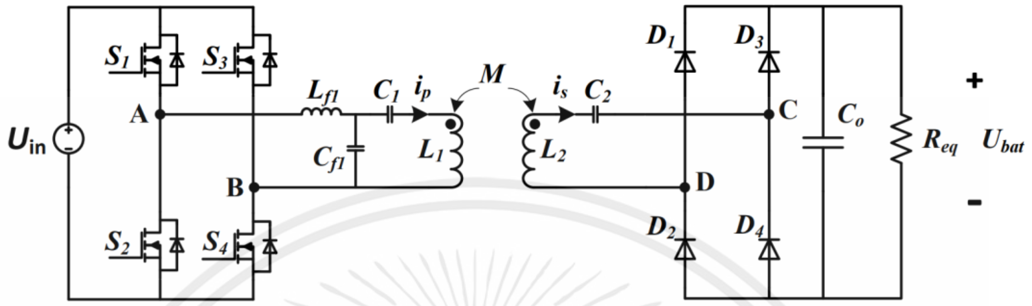
โดยระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้จะถ่ายเทประจุจากแบตเตอรี่ที่มีระดับประจุมาก ไปยังแบตเตอรี่ที่มีระดับประจุที่น้อยกว่า ความสม่ำเสมอของระดับแบตเตอรี่แต่ละก้อนจะช่วยให้ชุดแบตเตอรี่นั้นอัดประจุแบตเตอรี่ได้เต็มพร้อม ๆ กัน และ สามารถใช้แบตเตอรี่ได้หมดพร้อม ๆ กันไม่ทำให้แบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งหมดก่อนหรืออัดประจุเกินก่อน จึงช่วยยืดอายุการใช้งานของชุดแบตเตอรี่และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานชุดแบตเตอรี่มากขึ้นด้วย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยเรื่อง Design Considerations of 10 kW Wireless Charger for EV (2017) มีการศึกษาการออกแบบวิธีการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีการวัดประสิทธิภาพแบบ DC-DC อยู่ที่ 94% โดยการออกแบบนั้นประกอบด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

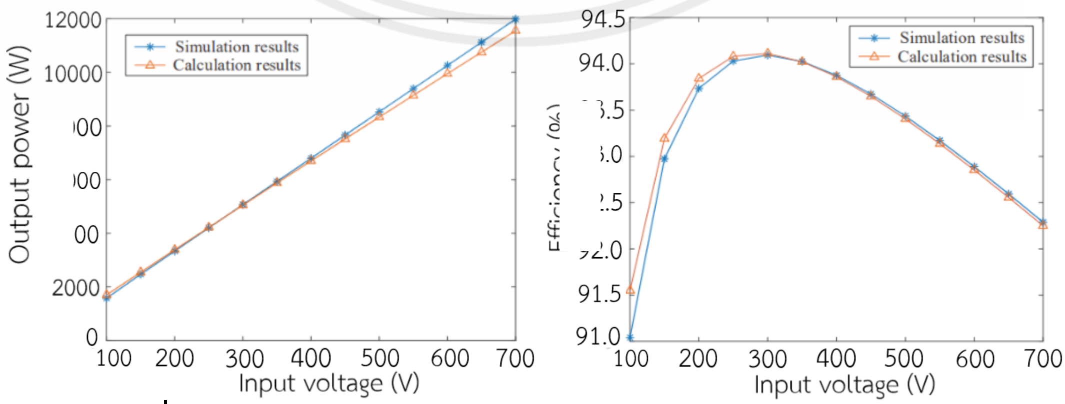
สูง (85 กิโลเฮิร์ตซ์) วงจรชดเชยแรงดัน ขดลวดส่งกำลังแบบไร้สาย วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ความถี่สูง และ วงจรกรองสัญญาณ ในกระบวนการศึกษามีการจำลองและการทดลองผลของระบบที่ออกแบบด้วย ภายในงานวิจัยนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับการออกแบบวงจร Compensation network รูปแบบ LCC ดังรูปที่ 2.10 [3]



รูปที่ 2.10 Compensation Network of the WPT

โดยกระบวนการออกแบบนั้นจะคำนึงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันขาเข้าที่จ่ายแบบกระแสตรง (U_{in}) กับ แรงดันขาออกกระแสตรงสำหรับจ่ายให้กับแบตเตอรี่ (U_{bat}) มีความสัมพันธ์กันกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจรชดเชยแรงดันกับค่าความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดส่งกำลังไร้สาย

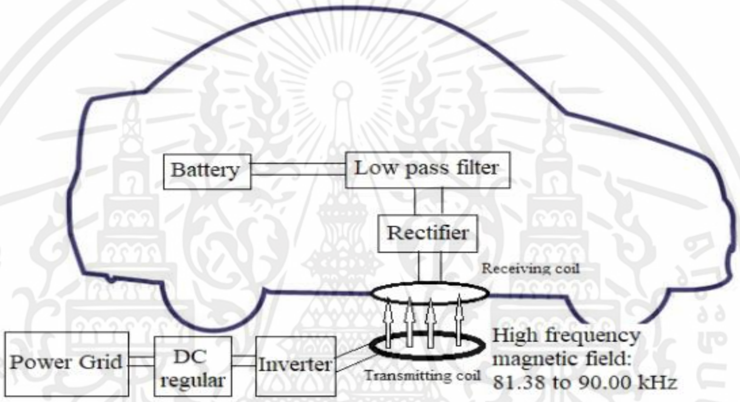
จากงานวิจัยเรื่อง Multi-Objective Optimization of the Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles (2020) มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ และจากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าการเพิ่มแรงดันขาเข้า มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าขาออกที่มีค่าเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพของระบบ ดังรูปที่ 2.11 ค่าประสิทธิภาพในช่วงแรกจะมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรงแต่ในช่วงหลังมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันกัน [6]



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Input Voltage, Output power และ Efficiency ของ Convertor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยเรื่อง Limits of Electromagnetic Environment for Electric Vehicle Wireless Power Transfer (2021) ซึ่งได้วิจัยเรื่องระบบถ่ายโอนพลังงานไร้สายกำลังสูง ที่นำอันตรายจากแม่เหล็กไฟฟ้ามาสู่ผู้โดยสารในรถ และผู้คนรอบ ๆ ยานยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนด และใช้มาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องเพื่อควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในปัจจุบันกฎระเบียบระหว่างประเทศเกี่ยวกับวิธีการทดสอบไฟฟ้า ระบบอัดประจุไร้สายของยานพาหนะนั้นเหมือนกัน คือความถี่มาตรฐานสำหรับระบบไร้สายของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ที่ 85 kHz และ ความถี่ในการทำงานหลักของระบบอัดประจุแบบไร้สายของยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไปต้องไม่เกิน 100 kHz โดยคำนึงจากมาตรฐานความปลอดภัยของอันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อมนุษย์ [2]



รูปที่ 2.12 High efficiency magnetic field maximum 90 kHz

อ้างอิงจากงานวิจัยเรื่อง Overview of coil designs for wireless charging of electric vehicle (2017) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องประเภทขดลวดของตัวอัดประจุไร้สาย และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ดังในตารางที่ 2.1 เช่น ขนาด, น้ำหนัก, การถ่ายโอนพลังงาน เป็นต้น [1]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย

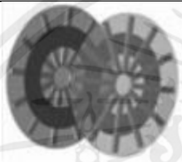
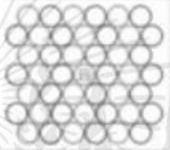
Specification	Various coil topologies					
	CRP	CP	HP	DDP	DDQP	BPP
การส่งกำลังไร้สาย	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	สูง	สูง
ขนาดแผ่นส่งกำลังไร้สาย	ปานกลาง	ปานกลาง	ใหญ่	เล็ก	เล็ก	เล็ก
น้ำหนักแผ่นส่งกำลังไร้สาย	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย (ต่อ)

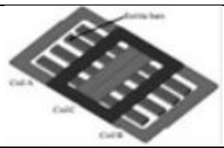
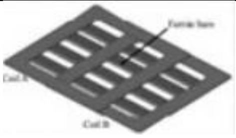
Specification	Various coil topologies					
	CRP	CP	HP	DDP	DDQP	BPP
ต้นทุนวัสดุ	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
ระยะการส่งกำลังไร้สาย	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง
พื้นที่การอัดประจุ	เล็ก	เล็ก	ใหญ่	ปานกลาง	ใหญ่	ใหญ่

ตารางที่ 2.3 การใช้งานในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย

	CRP&CP	HP	DDP
Type			
Factors	- Limited cost and size - System weight - Power level - Distance - between the primary and secondary - Types of electric vehicle - Chassis structure	- High requirement of misalignment - Size design of each cell coil - Secondary size and direction design - Limited cost and size - System weight - Power level	- Length of thick of ferrite bars - Unwanted flux leakage - Limited cost and size - System weight - Power level - Requirement of coupled flux direction
Features	- Flux symmetric around CP center - Nonpolarized perpendicular field patter by CP - Most commonly used in the primary of secondary - Poor interoperability characteristics - Generate and couple perpendicular flux - Flexible applications	- Poor interoperability characteristics - Generate and couple parallel flux polarized along the length of pads - Commonly used in the primary - Ferrite bars easy to be saturation at high power rate - No reverse flux to eliminate the unwanted rear flux	- Single sides flux generation - Perform better and be interoperable with different secondary topologies - Commonly used in the primary - Ferrite bars easy to be saturation at high power rate - No reverse flux to eliminate the unwanted rear flux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การใช้งานในแต่ละด้านของขดลวดแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบการอัดประจุไร้สาย (ต่อ)

	DDQP	BPP
Type		
Factors	- Length of thick of ferrite bars - Control methods - Limited cost and size - System weight - Power level - Types of electric vehicle - Chassis structure	- Length of thick of ferrite bars - Limited cost and size - Overlap of the central area - Chassis structure - Distance between the primary and secondary - Power level
Features	- As a secondary provide z charge zone three times than DDP - Perform better with different secondary topologies - Commonly used in the secondary - Variable excitation modes - Versatile in Central coil design to fit the airgap - Inferior material usage efficiency	- Mutually decoupled partially overlapped coil structure - Almost the same performance of DDQP used as a secondary - Using less copper than DDQP - Perform better with different secondary topologies - Commonly used in the secondary - Almost identical power with DDQ for given size

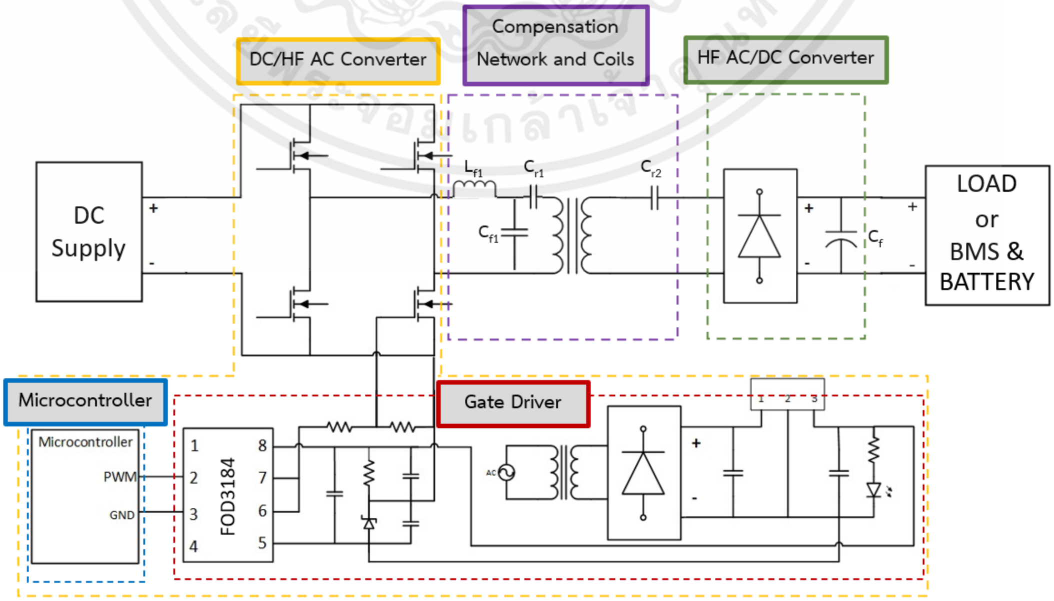
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการทดสอบ

การดำเนินงานสร้างชิ้นงานนั้นมีการออกแบบวงจรในแต่ละส่วนและการทดสอบระบบในส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบจะจ่ายด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่งกำลังไฟฟ้าในรูปแบบกระแสตรง การส่งพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไร้สายด้วยขดลวด สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งระหว่างขดลวดเป็นกระแสสลับความถี่สูงเพื่อให้กำลังการส่งพลังงานมากพอในระยะห่างของใต้ท้องรถกับพื้นซึ่งกำหนดไว้ประมาณ 15 เซนติเมตร และ ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัยของคลื่นความถี่สูงที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ระบบนี้ต้องการกำลังไฟฟ้าขาออกในรูปแบบกระแสตรง ซึ่งองค์ประกอบโดยรวมของการออกแบบระบบดังกล่าว ดังรูปที่ 3.1 และ การออกแบบอัตราส่วนแรงดันขาเข้าต่อแรงดันขาออกเป็น 100 V : 48 V เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายเข้ากับแบตเตอรี่ทดสอบได้ ซึ่งโครงงานวิจัยนี้ทำการออกแบบวงจรของระบบส่งกำลังแบบไร้สายโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองและคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ จากนั้นจึงทำการออกแบบแผงวงจร PCB โดยใช้โปรแกรม Proteus 8 และ การออกแบบ 3D Model ใช้โปรแกรม AutoCAD ในการพิมพ์สามมิติของชิ้นงานในระบบ



รูปที่ 3.1 การออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจร DC to High Frequency AC Converter

วงจร DC to High Frequency AC Converter มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณกระแสตรงให้เป็นรูปแบบสัญญาณกระแสสลับความถี่สูง โดยมีส่วนประกอบย่อยทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ Microcontroller, Gate Driver และ MOSFET

Microcontroller มีหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง โดยเริ่มจากการสร้างโค้ดในโปรแกรม MATLAB แล้วอัพโหลดโค้ดขึ้นบนบอร์ด F28379D LaunchPad เพื่อนำไปควบคุมสัญญาณพัลส์ตามความถี่ที่ต้องการ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 85, 90 และ 95 kHz, Duty 40 % โดยพิจารณาจากมาตรฐานความปลอดภัย

Gate Driver เนื่องจากแรงดันจาก Microcontroller มีค่าไม่ถึงค่าขั้นต่ำของแรงดันในการควบคุมขาเกทของ มอสเฟต จึงมีวงจรขับขาเกทเข้ามาทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณแรงดันให้เพียงพอกับแรงดันขั้นต่ำที่ต้องการในการควบคุมการทำงานของ มอสเฟต โดยใช้ IC ในขับขาเกทรหัส FOD3184 ในการทำงานของวงจร โดยเพิ่มแรงดันเป็น 7.8 – 8.2 โวลต์ และ ใช้ Zenor diode ในการสร้างสัญญาณลบ 6.8 โวลต์ เพื่อให้ MOSFET หยุดการทำงานได้เร็วขึ้น

DC to High frequency AC Converter มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแรงดันในรูปแบบกระแสตรงที่ได้จากแหล่งจ่ายแรงดันให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันในรูปแบบกระแสสลับความถี่สูง โดยความถี่ของแรงดันขาออกจาก มอสเฟต จะเป็นไปตามความถี่ที่ควบคุมขาเกทจากสัญญาณที่ได้จาก Microcontroller และ วงจรขับขาเกท การเลือกขนาดมอสเฟตเลือกจากขนาดกระแสเดรนที่ไม่น้อยกว่ากระแสที่ผ่านตัวมอสเฟต และ แรงดันขาเกทของมอสเฟตที่ต้องมีระยะการทำงานอยู่ในช่วงที่วงจรขับขาเกทสามารถจ่ายแรงดันให้ได้ ซึ่งในชิ้นงานนี้เลือกใช้วงจร Converter แบบ Full bridge inverter โดยใช้มอสเฟตรุ่น R6076ENZ4C13

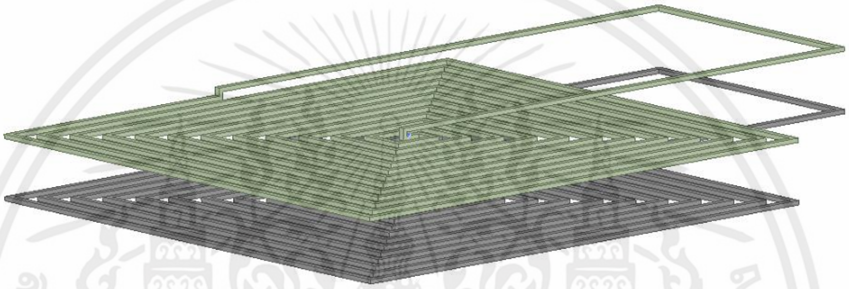
3.1.2 การออกแบบ Transmitter Coil และ Receiver Coil

Transmitter Coil และ Receiver Coil มีหน้าที่รับและส่งสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงจากมอสเฟต แล้วส่งพลังงานในรูปแบบไร้สาย โดยได้ทำการออกแบบรูปแบบการพันขดลวดทั้งสองด้วยโปรแกรม Ansys Maxell โดยรูปแบบการพันขดลวดจะมีผลกับค่าความเหนี่ยวนำในตัวขดลวด ซึ่งมีผลต่อค่าตัวเก็บประจุในวงจรชดเชยแรงดัน โดยการออกแบบในโปรแกรมมีการทดลองโดยแบ่งดังนี้

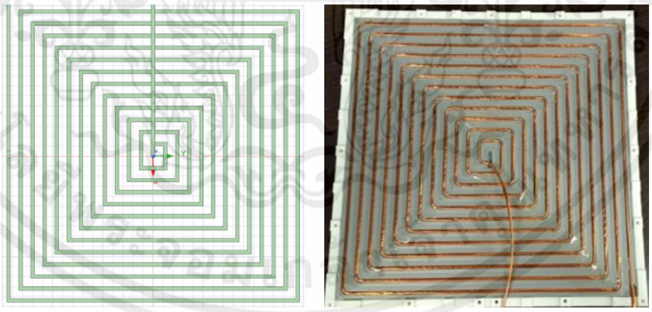
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปลี่ยนจำนวนรอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายคงที่
- การเปลี่ยนระยะห่างโดยกำหนดให้จำนวนรอบคงที่
- การเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดขดลวดโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายและจำนวนรอบคงที่

การเลือกรูปแบบการพันขดลวดที่ดีที่สุดในแต่ละการทดลองเลือกจากค่า Coefficient ที่มากที่สุด เป็นรูปแบบที่ดีที่สุดในแต่ละการทดลองมาเป็นค่าพารามิเตอร์ในการพันขดลวด ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ จำนวนรอบ 12 รอบ ระยะห่างระหว่างสาย 1.2 เซนติเมตร และ ขนาดพื้นที่หน้าตัดขดลวด 30 × 30 ตารางเซนติเมตร เป็นรูปแบบที่ใช้ในการพันขดลวดในโครงงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางขดลวดของขดลวดฝั่งส่งกำลัง (ด้านล่าง) และ ขดลวดฝั่งรับกำลัง (ด้านบน)



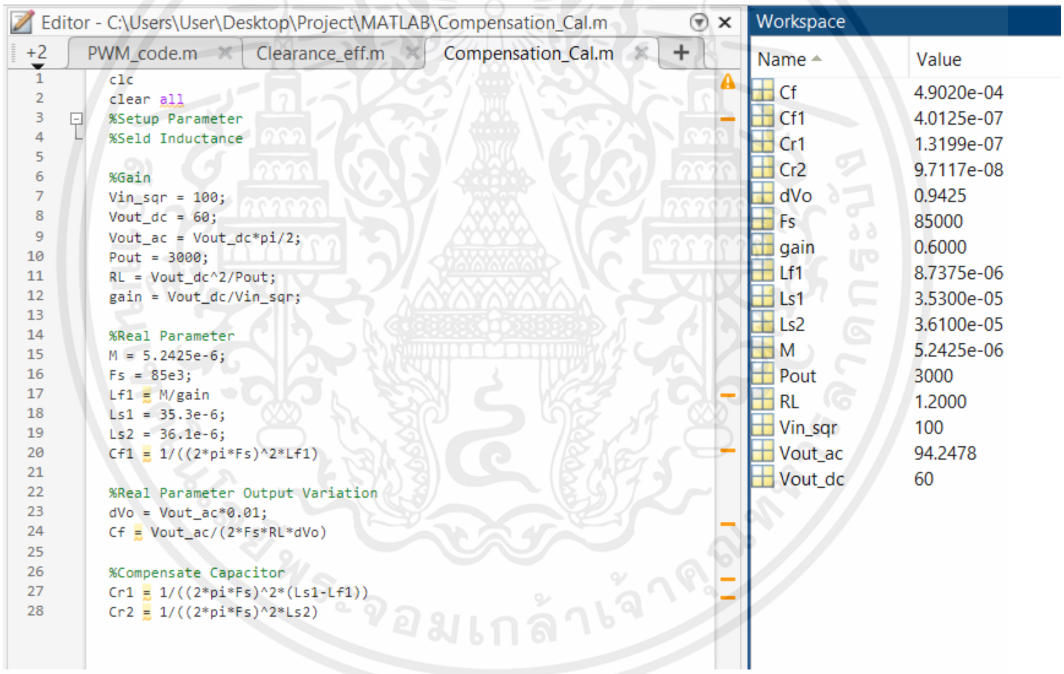
รูปที่ 3.3 การออกแบบรูปแบบการพันขดลวดในโปรแกรม Ansys Maxwell (ด้านซ้าย) และ รูปแบบการพันขดลวดในชิ้นงาน (ด้านขวา)

ความถี่ของไฟฟ้ากระสลับที่ส่งเข้าไปในขดลวดมีค่าความถี่ประมาณ 85-95 kHz กระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่วิ่งบนผิวตัวนำ ผลกระทบจากความถี่สูง จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัวนำ ดังนั้น จึงเลือกสายไฟที่เป็นประเภท Litz wire เพื่อลดผลกระทบจากกระแสไฟฟ้าบนผิวตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

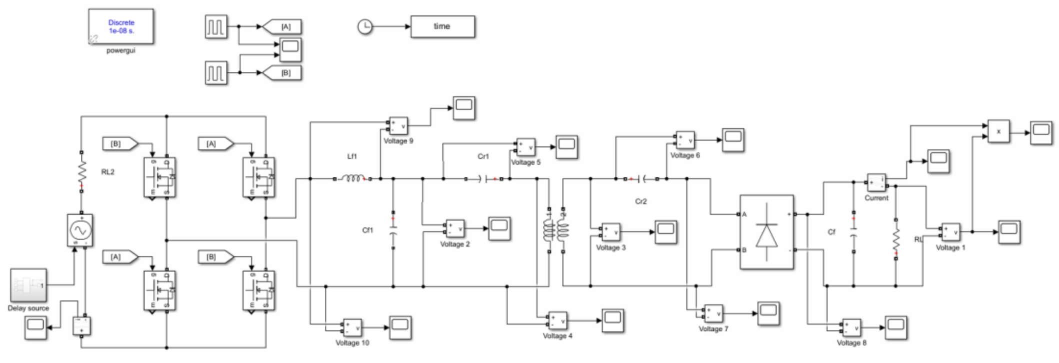
3.1.3 การออกแบบวงจร Compensation Network

วงจร Compensation Network มีหน้าที่ในการควบคุมอัตราส่วนของแรงดันขาเข้ากับขาออกซึ่งในระบบนี้ออกแบบให้มีอัตราส่วนแรงดันขาเข้าต่อแรงดันขาออกเป็น 100 V : 48 V โดยเลือกใช้รูปแบบวงจรชดเชยแรงดันแบบ LCC เนื่องจากรูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่อัตราส่วนแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกสามารถกำหนดค่าได้ ในขณะที่โหลดนั้นถูกเปลี่ยนเป็นค่าใดๆ อัตราส่วนแรงดันจะยังคงค่าเดิมไว้เสมอ ซึ่งการคำนวณวงจรดังกล่าวได้จากป้อนค่า ความเหนี่ยวนำของขดลวด (Self Inductance), ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวด (Mutual Inductance), กำลังไฟฟ้าขาออก และอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาออกกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ในการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink เพื่อให้ได้ค่าตัวเก็บประจุ (C_{f1}, C_{r1}, C_{r2}) ดังสมการที่ 2.3, 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ ตัวเหนี่ยวนำในวงจรชดเชยแรงดัน (L_f) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างค่าอุปกรณ์ในวงจรชดเชยแรงดันจากการคำนวณใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรของระบบที่สร้างขึ้นในโปรแกรม Simulink

3.1.4 การออกแบบวงจร High frequency AC to DC Converter

วงจร High frequency AC to DC Converter มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ารูปแบบกระแสสลับความถี่สูงให้เป็นกระแสตรง โดยมีส่วนประกอบในวงจรนี้ 2 ส่วน ได้แก่ Bridge Rectifier และ C Filter

Full Bridge Rectifier วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันรูปแบบกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ในวงจรนี้ใช้ไดโอดความถี่สูงเพื่อให้วงจรรองรับกับการแปลงสัญญาณความถี่สูงได้ โดยใช้ Fast diode เบอร์ DSEI2X61

C Filter กรองสัญญาณที่ออกจากวงจรเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบคงที่ ก่อนจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 870 μF 250-400 V

3.2 วิธีการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การทดสอบระบบ DC to High Frequency AC Converter, Compensation Network, High Frequency AC to DC Converter ด้วยการจ่ายกำลังไฟฟ้าจาก DC Supply โดยกำหนดค่าแรงดันขาเข้าเป็นเพิ่มขึ้นทีละ 10, 20, 30, ... , 150 โวลต์ตามลำดับ แล้ววัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าขาเข้า และ ขาออก จากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบในทุกๆ วงจร

3.2.1 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ DC to High Frequency AC Converter

การทดสอบระบบ DC to High Frequency AC Converter จะทดสอบทั้งหมด 3 ส่วนคือ Microcontroller, Gate driver, MOSFET โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microcontroller ทำการอัพโค้ดที่สร้างจาก MATLAB แล้ววัดค่าความถี่ PWM ที่ขา pin ขาออกกับ Ground ให้ค่าที่ได้ออกมาตรงตามที่กำหนดคือ 85, 90, 95 kHz โดยการทดสอบระบบในส่วน Microcontroller มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

วัตถุประสงค์

- ทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างความถี่สูง
- สังเกตสัญญาณที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์

วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยการนำออสซิลโลสโคปวัดเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์

Gate driver การทดสอบวงจรขับขาเกทที่เป็นส่วนต่อเนื่องจาก Microcontroller รูปแบบรูปคลื่นสัญญาณแรงดันใกล้เคียงกันกับส่วนที่แล้ว ขนาดแรงดันถูกขยายเพิ่มขึ้น โดยการทดสอบระบบในส่วน Gate driver มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

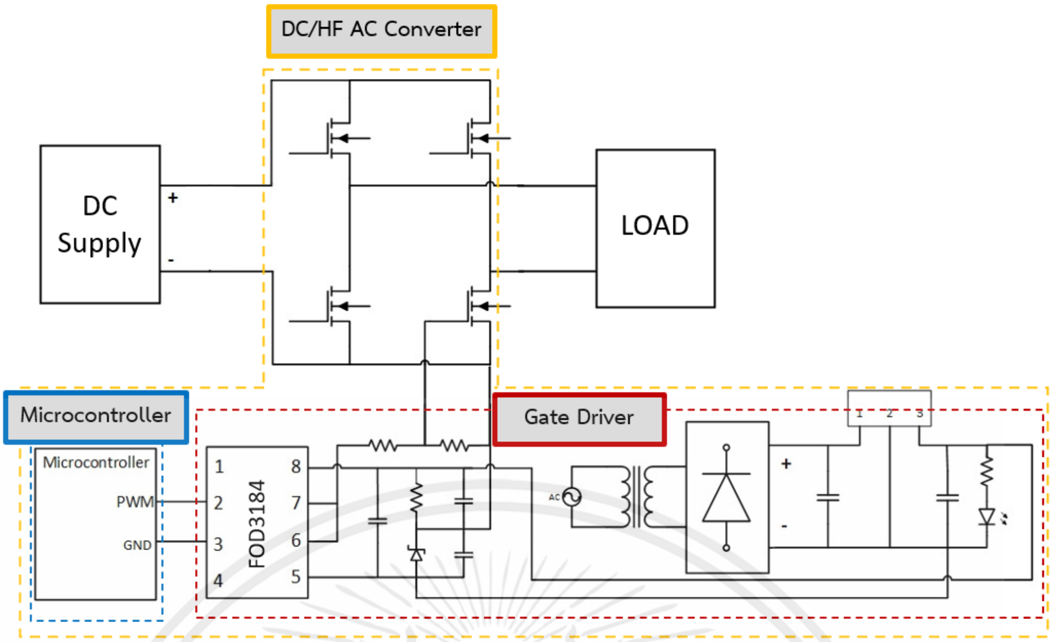
วัตถุประสงค์

- ทดสอบเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่ามากพอสำหรับสัญญาณขาเข้า MOSFET ขั้นต่ำ
- สังเกตสัญญาณเอาต์พุตแรงดันจากวงจรขับแรงดัน

วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยต่อสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับขาเข้าของวงจรขับขาเกท และใช้ออสซิลโลสโคปวัดขาออกของวงจรขับแรงดัน

MOSFET ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร มอสเฟต โดยจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันแบบกระแสตรงตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ รูปแบบการต่อวงจรเพื่อทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ DC to High Frequency AC Converter

โดยการทดสอบระบบในส่วน DC to High Frequency AC Converter มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

วัตถุประสงค์

- ทดสอบ MOSFET เพื่อแปลง DC เป็น AC ความถี่สูง
- สังเกตสัญญาณที่สร้างจาก MOSFET

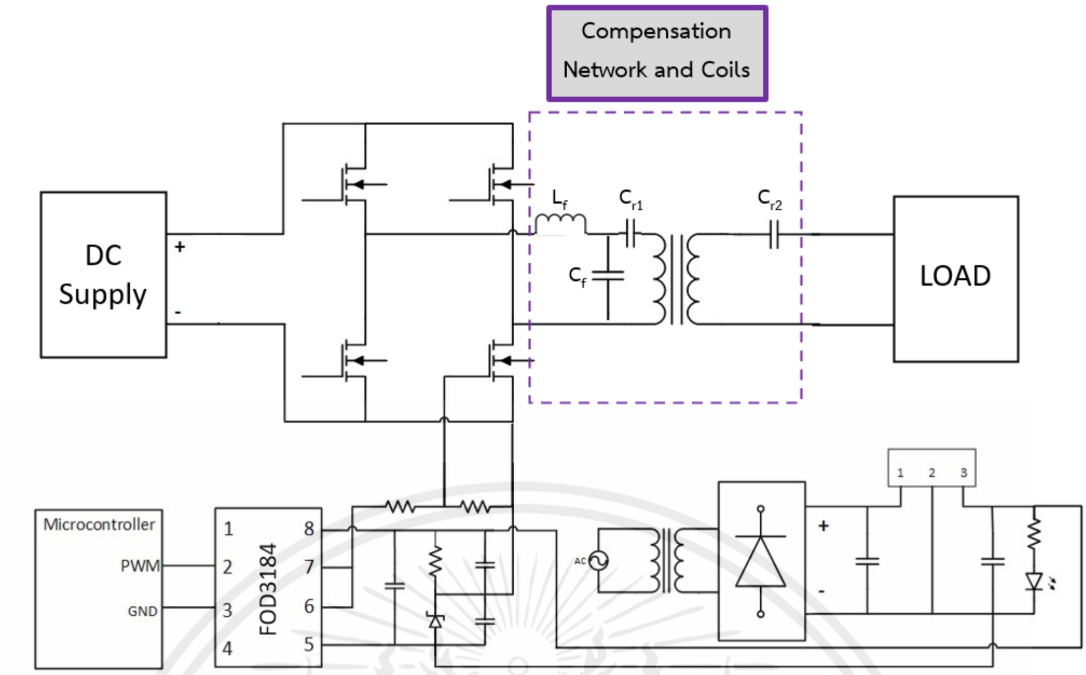
วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยจ่ายไฟให้โหลดหลอด 3 kW ที่แรงดันต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ

3.2.2 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ Compensation Network

วงจร Compensation Network จะสร้างขึ้นมาจากค่าที่ได้จากการจำลองใน MATLAB นั้นก็คือค่า C_{r1}, C_{r2}, C_{f1}, L_{f1} แล้วนำมาวัดให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงใน MATLAB มากที่สุดเพื่อให้ได้อัตราส่วนของแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกเป็นไปตามที่กำหนดไว้

วงจรชดเชยแรงดันจะทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจรชดเชยแรงดัน จ่ายแรงดันจากแหล่งกำเนิดแล้วหาค่าประสิทธิภาพ รูปแบบการต่อวงจรเพื่อทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ Compensation Network

โดยการทดสอบระบบในส่วน Compensation Network มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

วัตถุประสงค์

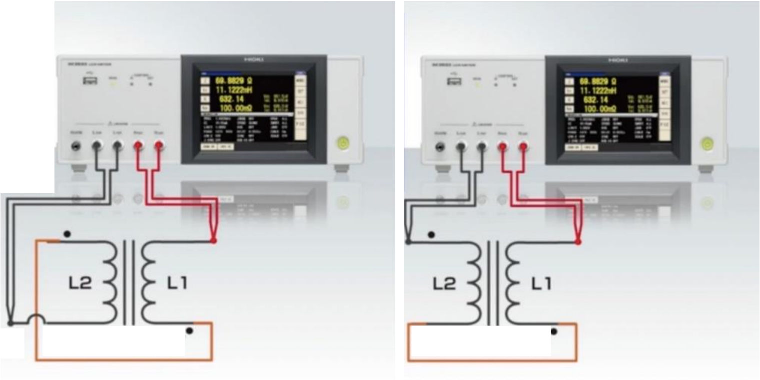
- เพื่อควบคุมอัตราส่วนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตให้ใกล้เคียงตามที่คำนวณได้
- สังเกตสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรชดเชย

วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยจ่ายไฟให้โหลดหลอด 3 kW ที่แรงดันต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ

3.2.3 การทดสอบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดฝั่งส่งกำลัง และ ขดลวดฝั่งรับกำลัง ค่าที่วัดจะวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (Self Inductance) และ ความเหนี่ยวนำร่วมของทั้งสอง (Mutual Inductance) ด้วยเครื่องมือวัด LCR Meter ที่ย่านความถี่การวัด 85 kHz เลือกย่านการวัดจากความถี่ของระบบที่ทำงาน การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเฉพาะตัววัดได้จากขดลวดโดยตรง ส่วนการวัดความเหนี่ยวนำร่วมมีวิธีการวัดดังรูปที่ 3.8 นำค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการทั้งสองรูปดังกล่าวมาลบแล้วทำการหารด้วย 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วิธีการวัดค่า Mutual Inductance

โดยการทดสอบระบบในส่วนค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดมีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

วัตถุประสงค์

- จำลองโมเดลขดลวดเพื่อทราบค่าตัวเหนี่ยวนำโดยใช้ Ansys-Maxwell
- วัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดตัวส่งและตัวรับ
- วัดความเหนี่ยวนำร่วมกันของขดลวดทั้งสอง

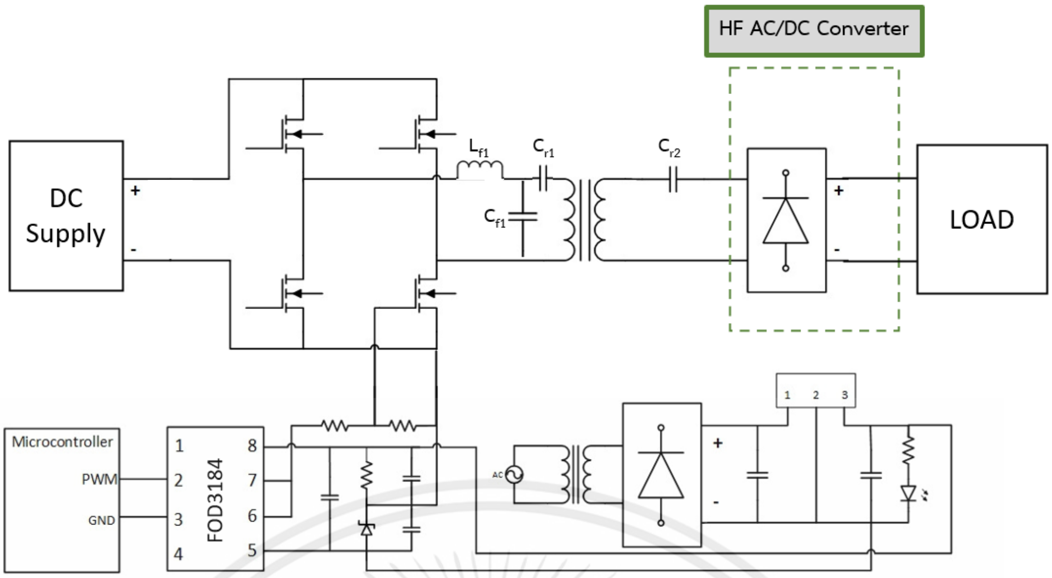
วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยใช้เครื่องวัด LCR วัดค่าความเหนี่ยวนำร่วมและตัวเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับและขดลวดตัวส่งที่ระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เซนติเมตร

3.2.4 การทดสอบการจ่ายกำลังให้ระบบ High Frequency AC to DC Converter

การทดสอบระบบ High Frequency AC to DC Converter จะทดสอบทั้งหมด 2 ส่วนคือ bridge rectifier, C filter

Bridge rectifier ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วย DC Supply ตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร bridge rectifier แล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ รูปแบบการต่อวงจรเพื่อทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ Bridge Rectifier

โดยการทดสอบระบบในส่วน Bridge Rectifier มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

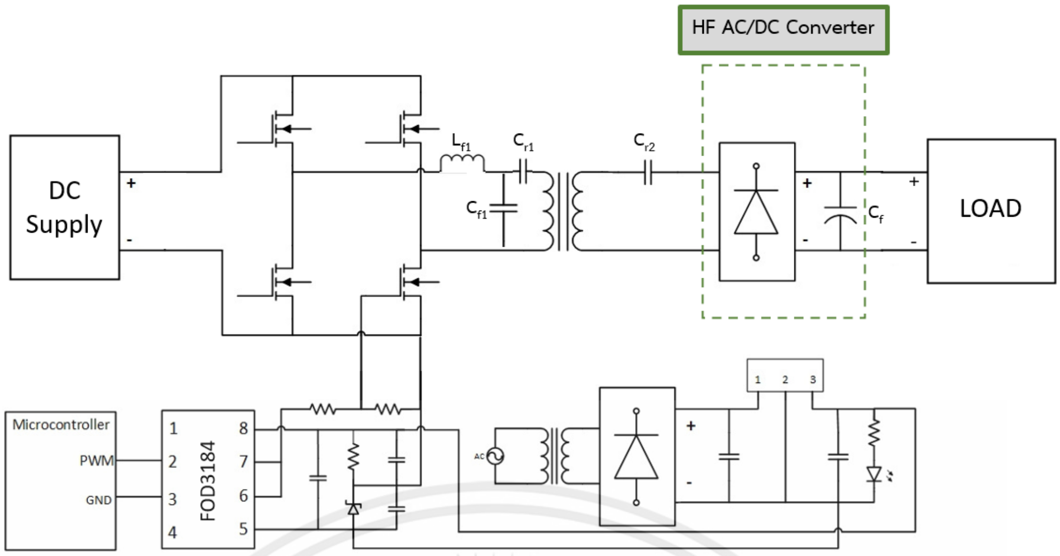
วัตถุประสงค์

- ทดสอบวงจรกรองกระแสเพื่อแปลงสัญญาณ AC เป็น DC
- สังเกตสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกรองกระแส

วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยจ่ายไฟให้โหลดหลอด 3 kW ที่แรงดันต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ

C Filter ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{DC}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร C Filter แล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ รูปแบบการต่อวงจรเพื่อทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รูปแบบการต่อวงจรการทดสอบ C Filter

โดยการทดสอบระบบในส่วน C Filter มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

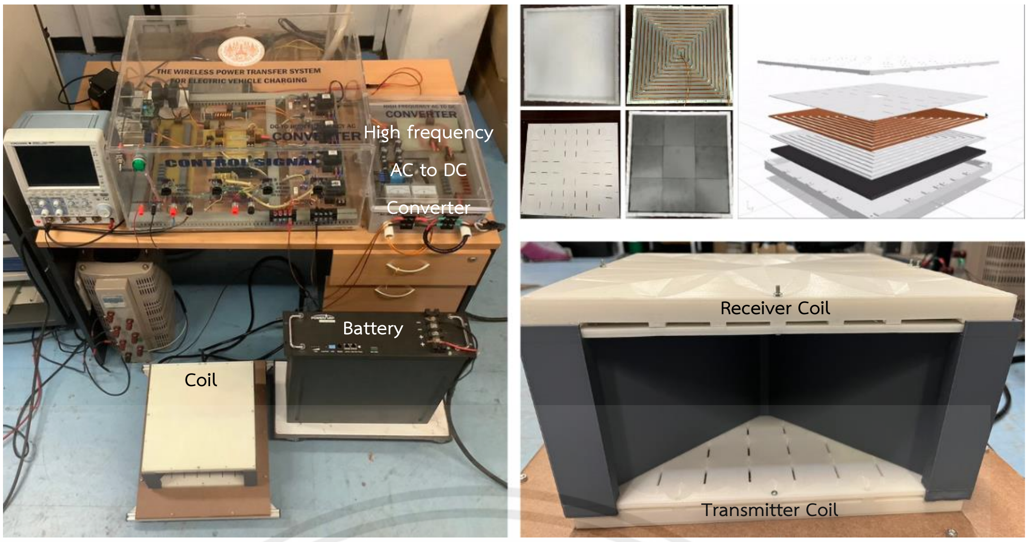
วัตถุประสงค์

- ทดสอบวงจรกรองสัญญาณ C - Filter เพื่อปรับปรุงสัญญาณให้คงที่ DC
- สังเกตสัญญาณขาออกจากวงจร C - Filter

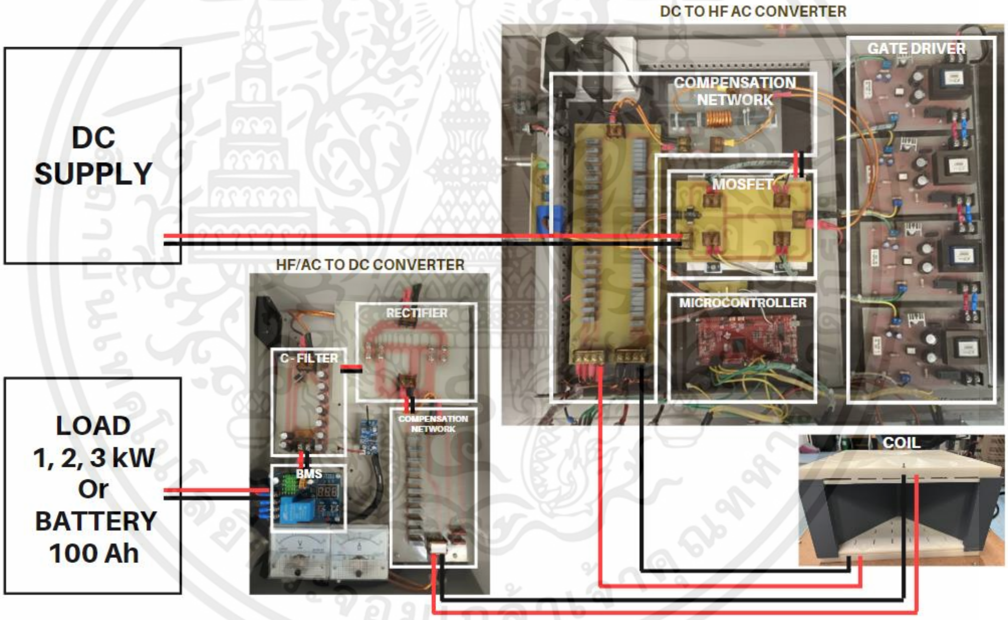
วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยจ่ายไฟให้โหลดหลอด 3 kW ที่แรงดันต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ

การทดสอบระบบทำการทดสอบด้วยชุดทดสอบที่ได้ทำการสร้างขึ้น โดยประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (85 kHz) วงจรชดเชยแรงดัน ขดลวดส่งกำลังแบบไร้สาย วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ความถี่สูง และ วงจรกรองสัญญาณ ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ซึ่งรูปภาพองค์ประกอบของแต่ละอุปกรณ์ย่อยจะแสดงในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดทดสอบระบบ



รูปที่ 3.12 การต่อชุดทดสอบในการทดสอบระบบ

3.3 วิธีการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่

3.3.1 การทดสอบการจ่ายกำลังสูงสุดให้กับแบตเตอรี่

ความสามารถการจ่ายกำลังสูงสุดของระบบสามารถทดสอบได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปที่ขาเข้าของระบบและจ่ายไปยังแบตเตอรี่ จากนั้นเพื่อทดสอบว่าระบบจ่ายกำลังได้มากสุดเท่าใด การทดสอบนี้จึงเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาเข้ามากที่สุดก่อนระบบเกิดการเบรกดาวน์ โดยการทดสอบระบบในส่วนการจ่ายกำลังสูงสุดให้กับแบตเตอรี่มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

- เพื่อทราบขีดจำกัดของความสามารถการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ

วิธีการทดสอบ: ทดสอบโดยการเพิ่มแรงดันขาเข้าจนกระทั่งระบบเกิดการเบรกดาวน์ จากนั้นทำการซ่อมแซมส่วนที่ระบบเกิดความเสียหาย แล้วจ่ายแรงดันขาเข้าใหม่ให้กับระบบก่อนถึงจุดเบรกดาวน์แล้วทำการเก็บผลการทดสอบ

3.3.2 การทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV

ในการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่นี้ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการจ่ายกระแสคงที่ (Constant current) และ วิธีการจ่ายแรงดันคงที่ (Constant voltage) เพื่อสังเกตค่าของแรงดันและกระแสที่เข้าแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับเวลาที่ได้ทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ การทดสอบนี้มีความถี่การเก็บข้อมูลเก็บทุกๆ 30 วินาที โดยการทดสอบระบบในส่วนการจ่ายกำลังให้กับแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV มีวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

วัตถุประสงค์

- เพื่อทดสอบความสามารถการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ของระบบ

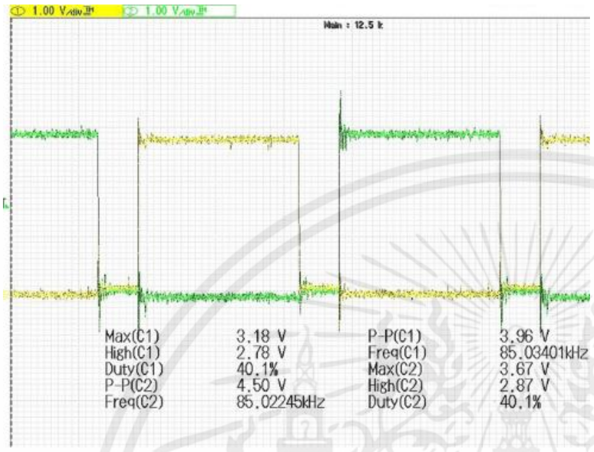
วิธีการทดสอบ: จ่ายกระแสคงที่โดยคงกระแสไว้ที่ 2 แอมแปร์ ทำการทดสอบเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการทดสอบด้วยวิธีการจ่ายแรงดันคงที่โดยคงค่าแรงดันไว้ที่ 52 โวลต์ ทำการทดสอบเป็นเวลา 60 นาที โดยวิธีการเก็บผลการทดสอบเก็บค่าจากการอ่านค่าที่มัลติมิเตอร์ที่ได้วัดที่ขั้วแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

4.1 ผลการทดสอบระบบ DC to High Frequency AC Converter

4.1.1 ผลการทดสอบ Microcontroller



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบ Microcontroller กำหนดให้จ่ายลูกคลื่น Pulse 85 kHz

ผลการทดสอบบอร์ด F28379D Launchpad โดยการกำหนดให้บอร์ดสร้างสัญญาณ Pulse เปอร์เซ็นต์ Duty ของลูกคลื่น 40% ทดสอบค่าความถี่ 85, 90 และ 95 kHz บอร์ดสามารถสร้างสัญญาณได้ทั้งสามความถี่ ตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณความถี่ 85 kHz ดังรูปที่ 4.1

4.1.2 ผลการทดสอบ Gate Driver

รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบ Gate Driver ลูกคลื่นความถี่ 85 kHz

ผลการทดสอบวงจรขับขาเกท โดยวัดสัญญาณแรงดันด้วยการกำหนดให้สร้างความถี่ 85, 90 และ 95 kHz สามารถขยายสัญญาณได้ทั้งสามความถี่ ตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณความถี่ 85 kHzได้ผลดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดสอบ DC to High frequency AC Converter

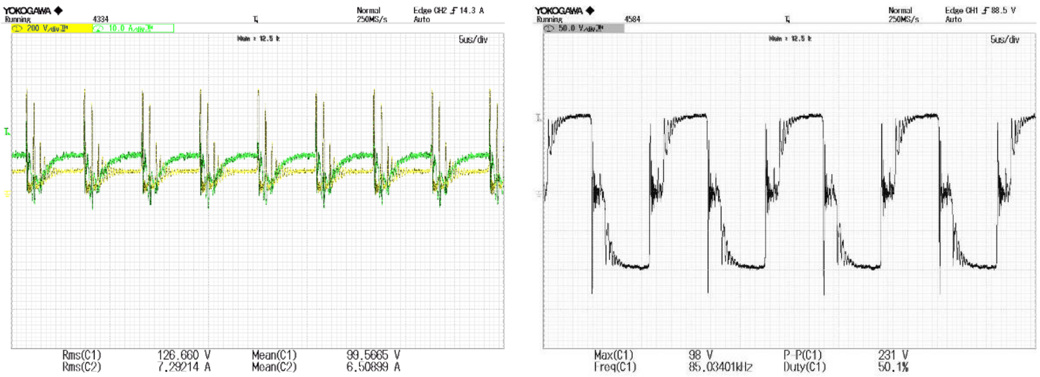
การเก็บข้อมูลโดยการทดสอบด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับวงจรและทดสอบกับโหลดหลอดไฟขนาด 3 kW 220 V_{rms} เก็บผลการทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวงจร DC to High frequency AC Converter

VDC input (V)	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	1.71	17.10	9.88	0.92	9.09	53.16
20.00	3.08	61.60	19.39	2.17	42.08	68.31
30.00	3.77	113.10	29.45	3.08	90.71	80.20
40.00	4.45	178.00	39.24	3.76	147.54	82.89
50.00	4.87	243.50	49.91	4.30	214.61	88.14
60.00	5.51	330.60	59.41	4.79	284.57	86.08
70.00	5.99	419.30	68.76	5.43	373.37	89.05
80.00	6.36	508.80	78.31	5.69	445.58	87.58
90.00	6.85	616.50	88.94	6.08	540.76	87.71
100.00	7.29	729.00	99.57	6.51	648.20	88.92
110.00	7.85	863.50	110.06	7.12	783.63	90.75
120.00	8.23	987.60	119.07	7.47	889.45	90.06
130.00	8.56	1112.80	129.28	7.77	1004.51	90.27
140.00	8.95	1253.00	139.09	8.16	1134.93	90.58
150.00	9.33	1399.50	149.37	8.55	1277.11	91.25

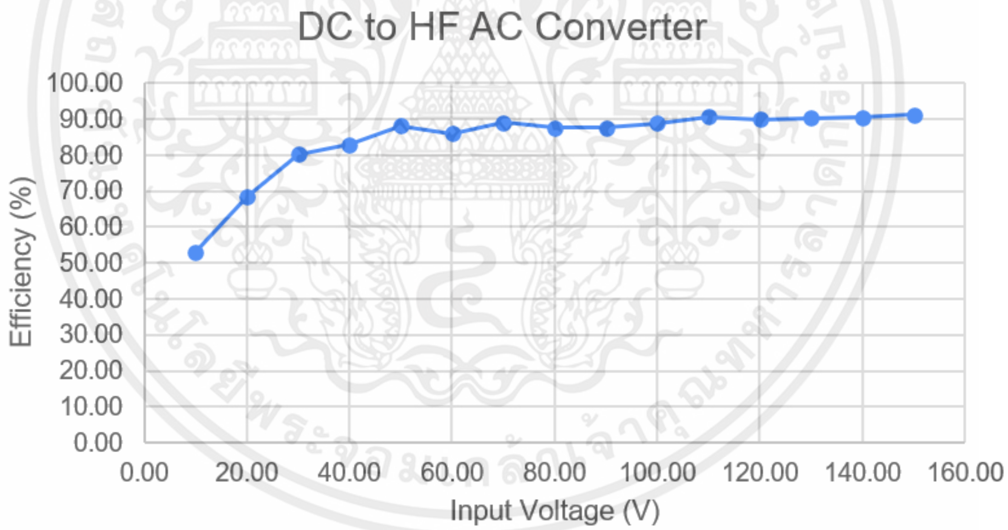
จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวงจร DC to High frequency AC Converter มีรูปคลื่นสัญญาณขาเข้าและขาออกเป็นไปตามรูปที่ 4.3 โดยแรงดันเป็นดังกราฟสีเหลืองและกระแสเป็นดังกราฟสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันขาออกจากวงจร DC to High frequency AC Converter ตามลำดับ

หลังจากการทดสอบและได้ผลการทดสอบแล้ว มีการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในส่วนของ DC to High frequency AC Converter ได้ค่าการคำนวณดังตารางที่ 4.1 นำค่าที่ได้มาทำการพลอตกราฟดังกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ DC to High frequency AC Converter

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้มีการคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพโดยเริ่มคำนวณจุดที่ค่าประสิทธิภาพเริ่มคงที่ จากรูปที่ 4.4 การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้เริ่มคำนวณที่จุดแรงดัน 50 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมในส่วน DC to High frequency AC Converter มีค่าเท่ากับ 89.13 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

การทดสอบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดส่งกำลังไร้สายโดยเครื่องมือวัด LCR Meter โดยการกำหนดความถี่ในการวัดให้ตรงกับความถี่ที่วงจรทำงาน คือ 85 kHz ได้ผลการทดสอบการวัดดังตารางที่ 4.2 และเทียบผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรม Ansys Maxwell ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดส่งกำลังไร้สาย

Distance (cm)	Inductance (µH)		
	Self inductance Tx	Self induction Rx	Mutual
5	38.26	39.15	22.08
10	36.60	37.12	10.23
15	35.30	36.10	5.24
20	35.25	36.07	3.07
25	35.22	36.05	1.97

ตารางที่ 4.3 การจำลองค่าความเหนี่ยวของขดลวดส่งกำลังไร้สายจาก Ansys Maxwell

Frequency 85 kHz

		Self inductance Tx	Mutual inductance	Self inductance Rx	Coupling Coefficient
	dist [mm]	Matrix1.L(Rx_ex,Rx_ex) [uH] Setup2 : LastAdaptive Freq='85kHz'	Matrix1.L(Tx_ex,Rx_ex) [uH] Setup2 : LastAdaptive Freq='85kHz'	Matrix1.L(Tx_ex,Tx_ex) [uH] Setup2 : LastAdaptive Freq='85kHz'	Matrix1.CplCoef(Tx_ex,Rx_ex) Setup2 : LastAdaptive Freq='85kHz'
7	50.000000	35.777300	17.801229	35.702407	0.498078
8	100.000000	33.087636	8.602629	33.055411	0.260122
9	150.000000	32.566675	4.646506	32.503059	0.142816
10	200.000000	32.453067	2.701213	32.367290	0.083345
11	250.000000	32.372731	1.662283	32.303436	0.051403

4.3 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network

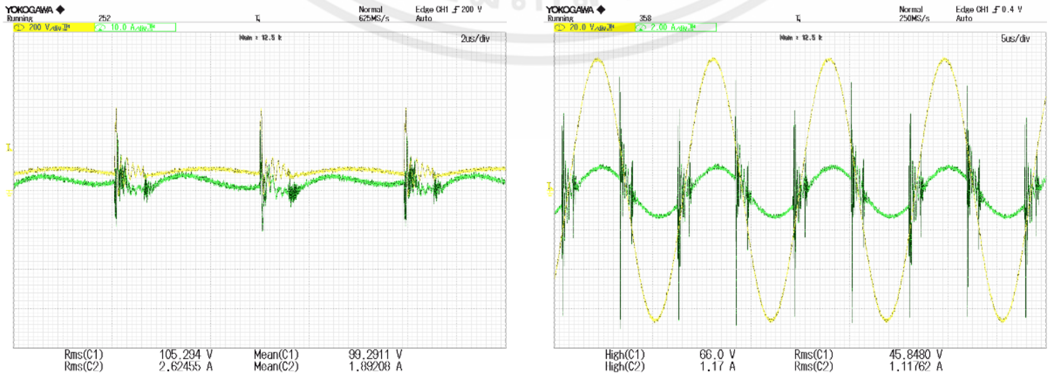
การทดสอบการจ่ายแรงดันเข้าขดลวดและวงจรชดเชยแรงดัน จ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแรงดันกระแสตรงและทดสอบกับโหลดหลอดไฟขนาด 3 kW 220 V_{rms} ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network

V_{DC} input (V)	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.54	5.36	2.72	1.11	3.02	56.33
20.00	1.02	20.40	5.68	2.06	11.70	57.36
30.00	1.41	42.33	9.00	2.73	24.57	58.04
40.00	1.73	69.20	12.62	3.16	39.88	57.63
50.00	2.02	101.20	16.62	3.44	57.17	56.49
60.00	2.29	137.40	20.59	3.75	77.21	56.20
70.00	2.55	178.64	24.78	4.08	101.10	56.60
80.00	2.81	225.04	28.91	4.34	125.47	55.75
90.00	3.07	276.30	33.03	4.62	152.60	55.23
100.00	3.34	333.60	37.19	4.87	181.12	54.29
110.00	3.60	396.11	41.31	5.15	212.75	53.71
120.00	3.86	462.72	45.36	5.39	244.49	52.84
130.00	4.12	534.95	49.27	5.75	283.30	52.96
140.00	4.39	615.02	53.46	6.00	320.76	52.15
150.00	4.65	697.05	57.19	6.22	355.72	51.03

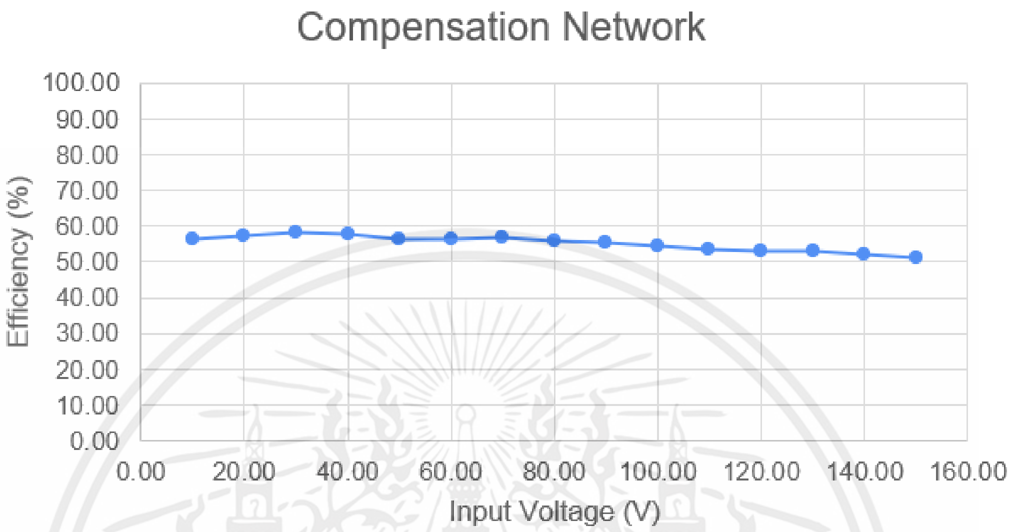
จากตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network มีรูปคลื่นสัญญาณขาเข้าและขาออกเป็นไปตามรูปที่ 4.5 โดยแรงดันเป็นดังกราฟสีเหลืองและกระแสเป็นดังกราฟสีเขียว



รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Compensation Network ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการทดสอบและได้ผลการทดสอบแล้ว มีการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในส่วนของ Compensation Network ได้ค่าการคำนวณดังตารางที่ 4.4 นำค่าที่ได้มาทำการพลอตกราฟดังกราฟรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ Compensation network

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้มีการคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพโดยเริ่มคำนวณจุดที่ค่าประสิทธิภาพเริ่มคงที่ จากรูปที่ 4.6 การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้เริ่มคำนวณที่จุดแรงดัน 50 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมในส่วน Compensation Network มีค่าเท่ากับ 54.30 %

4.4 ผลการทดสอบระบบ High Frequency AC to DC Converter

4.4.1 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier

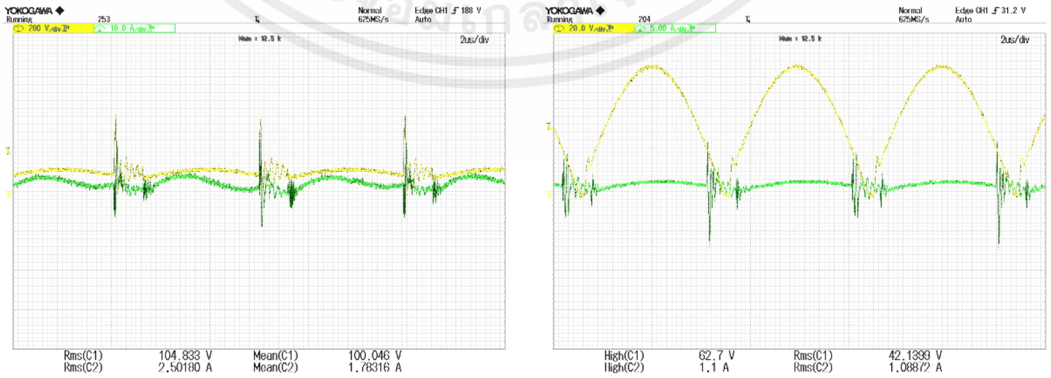
การทดสอบการจ่ายแรงดันผ่านวงจรเรียงกระแส จ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแรงดันรูปแบบกระแสตรงและทดสอบกับโหลดหลอดไฟขนาด 3 kW 220 V_{rms} ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier

V_{DC} input (V)	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.37	3.65	1.89	0.56	1.06	29.00
20.00	0.89	17.84	4.65	1.55	7.21	40.40
30.00	1.33	39.87	7.70	2.30	17.71	44.42
40.00	1.67	66.92	11.15	2.81	31.33	46.82
50.00	1.97	98.25	14.95	3.17	47.39	48.24
60.00	2.24	134.64	19.30	3.70	71.41	53.04
70.00	2.52	176.05	23.64	4.07	96.21	54.65
80.00	2.79	222.80	26.02	4.13	107.46	48.23
90.00	3.04	273.87	29.85	4.45	132.83	48.50
100.00	3.31	330.50	33.80	4.68	158.18	47.86
110.00	3.56	391.60	37.55	4.91	184.37	47.08
120.00	3.82	458.64	41.52	5.22	216.73	47.26
130.00	4.09	531.05	45.30	5.46	247.34	46.58
140.00	4.37	611.10	49.43	5.63	278.29	45.54
150.00	4.63	694.65	53.18	5.89	313.23	45.09

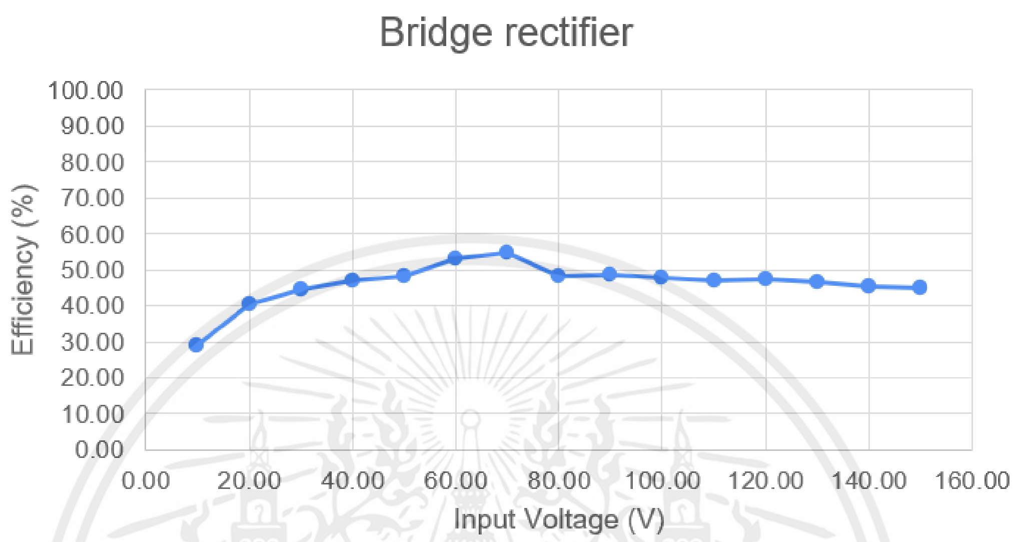
จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบ Bridge Rectifier มีรูปคลื่นสัญญาณขาเข้าและขาออกเป็นไปตามรูปที่ 4.7 โดยแรงดันเป็นดังกราฟสีเหลืองและกระแสเป็นดังกราฟสีเขียว



รูปที่ 4.7 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Bridge Rectifier ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการทดสอบและได้ผลการทดสอบแล้ว มีการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในส่วนของ Bridge Rectifier ได้ค่าการคำนวณดังตารางที่ 4.5 นำค่าที่ได้มาทำการพลอต กราฟดังกราฟรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ Bridge rectifier

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้มีการคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพโดยเริ่มคำนวณจุดที่ค่าประสิทธิภาพเริ่มคงที่ จากรูปที่ 4.8 การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้เริ่มคำนวณที่จุดแรงดัน 50 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมในส่วน Bridge Rectifier มีค่าเท่ากับ 48.37 %

4.4.2 ผลการทดสอบ C Filter

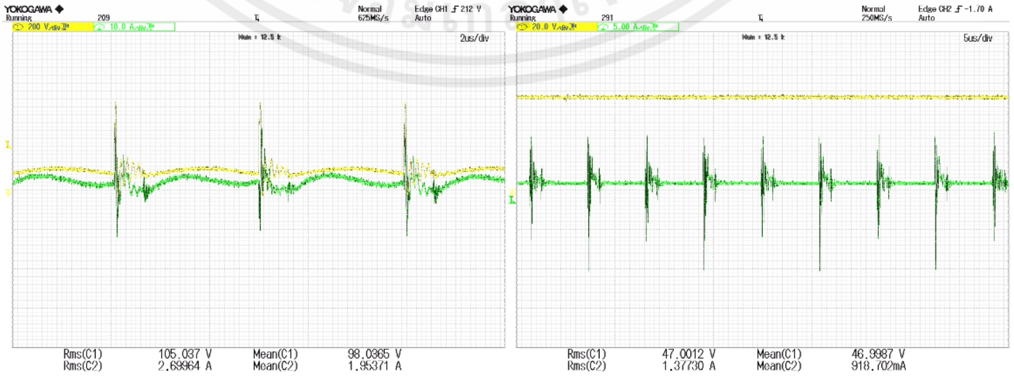
การทดสอบการจ่ายแรงดันผ่านวงจรกรองสัญญาณ จ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแรงดันรูปแบบกระแสตรงและทดสอบกับโหลดหลอดไฟขนาด 3 kW 220 V_{rms} ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ C Filter

V_{DC} input (V)	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,DC}$ (V)	$I_{out,DC}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.41	4.12	1.18	0.51	0.60	14.61
20.00	1.03	20.60	3.41	1.65	5.63	27.31
30.00	1.53	45.96	6.58	2.46	16.19	35.22
40.00	1.92	76.60	10.46	3.02	31.59	41.24
50.00	2.23	111.70	14.72	3.45	50.78	45.46
60.00	2.53	152.04	19.01	3.80	72.24	47.51
70.00	2.83	198.24	23.63	4.12	97.36	49.11
80.00	3.12	249.76	28.16	4.41	124.19	49.72
90.00	3.41	306.90	32.70	4.73	154.67	50.40
100.00	3.71	370.60	37.20	5.09	189.35	51.09
110.00	4.00	439.67	41.84	5.31	222.17	50.53
120.00	4.28	513.24	46.34	5.62	260.43	50.74
130.00	4.57	593.84	50.76	5.91	299.99	50.52
140.00	4.86	679.70	55.19	6.18	341.07	50.18
150.00	5.13	769.80	59.19	6.45	381.78	49.59

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบระบบ C Filter มีรูปคลื่นสัญญาณขาเข้าและขาออกเป็นไปตามรูปที่ 4.9 โดยแรงดันเป็นดังกราฟสีเหลืองและกระแสเป็นดังกราฟสีเขียว

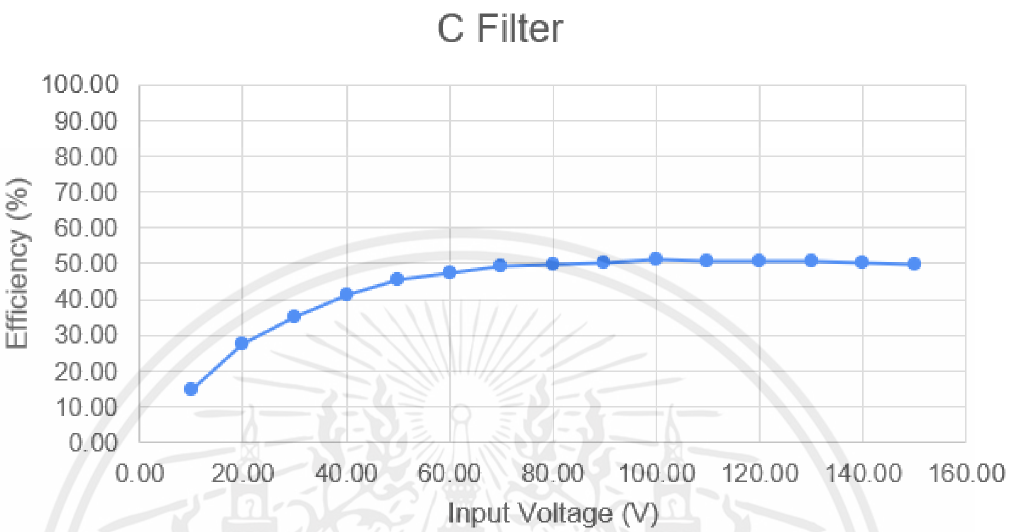


รูปที่ 4.9 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร

C Filter ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการทดสอบและได้ผลการทดสอบแล้ว มีการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในส่วนของ C Filter ได้ค่าการคำนวณดังตารางที่ 4.6 นำค่าที่ได้มาทำการพลอต กราฟดังกราฟรูปที่ 4.10



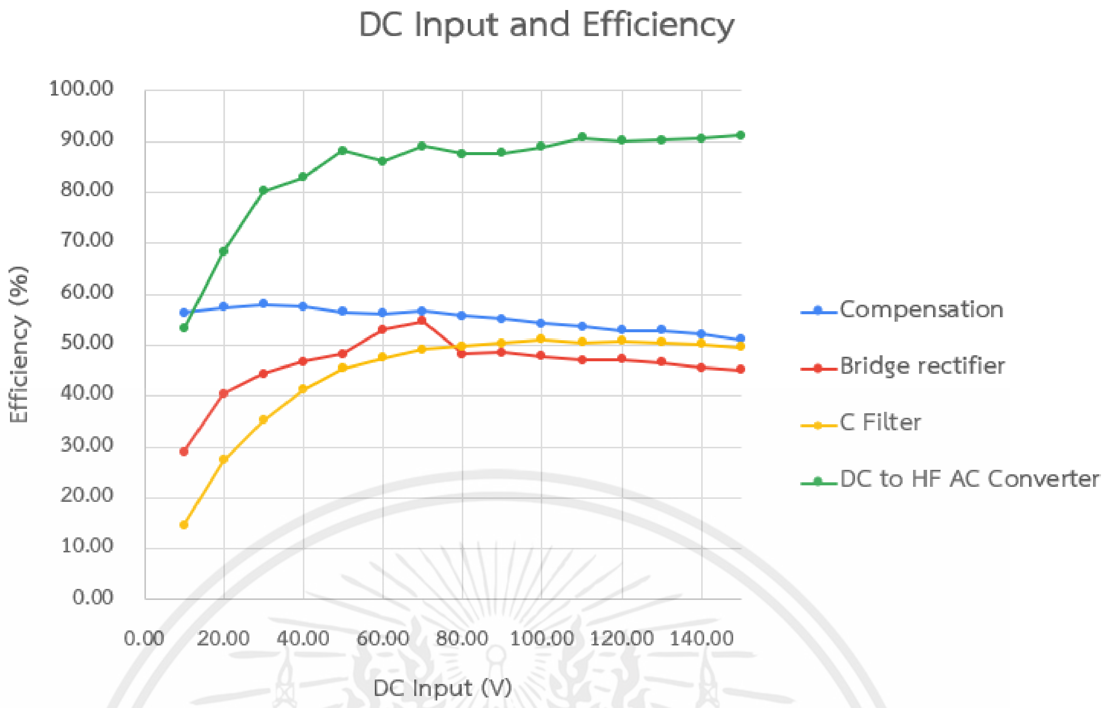
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพของ C Filter

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้มีการคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพโดยเริ่มคำนวณจุดที่ค่าประสิทธิภาพเริ่มคงที่ จากรูปที่ 4.10 การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมในส่วนนี้เริ่มคำนวณที่จุดแรงดัน 50 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมในส่วน C Filter มีค่าเท่ากับ 44.22 %

4.5 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ

การคำนวณค่าประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ สามารถนำพิจารณาให้เห็นโดยภาพรวมจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับแรงดันขาเข้าจะเห็นได้ว่าช่วงก่อนเข้าไปยังขดลวดส่งกำลังไร้สายมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 84% และสังเกตได้อีกว่าประสิทธิภาพในช่วงหลังขดลวดรับกำลังไร้สายไปแล้วประสิทธิภาพมีค่าที่ใกล้เคียงกันประมาณ 50% ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ

4.6 ผลการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่

การทดสอบการอัดประจุกับแบตเตอรี่ขนาด 48 V, 20 Ah ได้ผลการทดสอบโดยแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

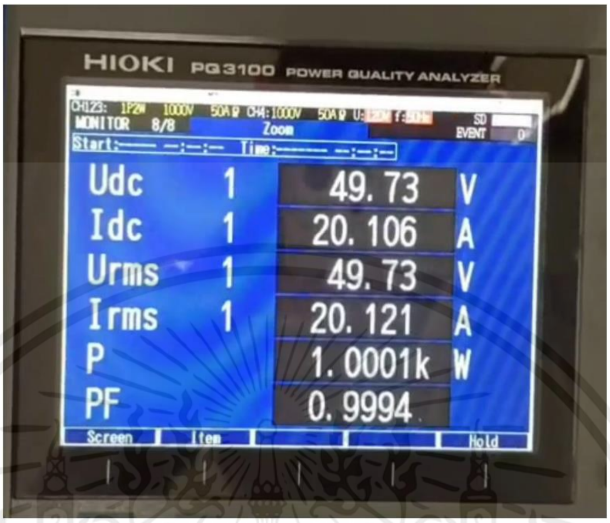
4.6.1 ผลการทดสอบการจ่ายกำลังสูงสุดให้กับแบตเตอรี่

สามารถอัดประจุได้กำลังสูงสุดอยู่ที่ 1000 W โดยการจ่ายแรงดันขาเข้า 155.1 V, 14.8 A ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 กระแสและแรงดันขาเข้าของแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

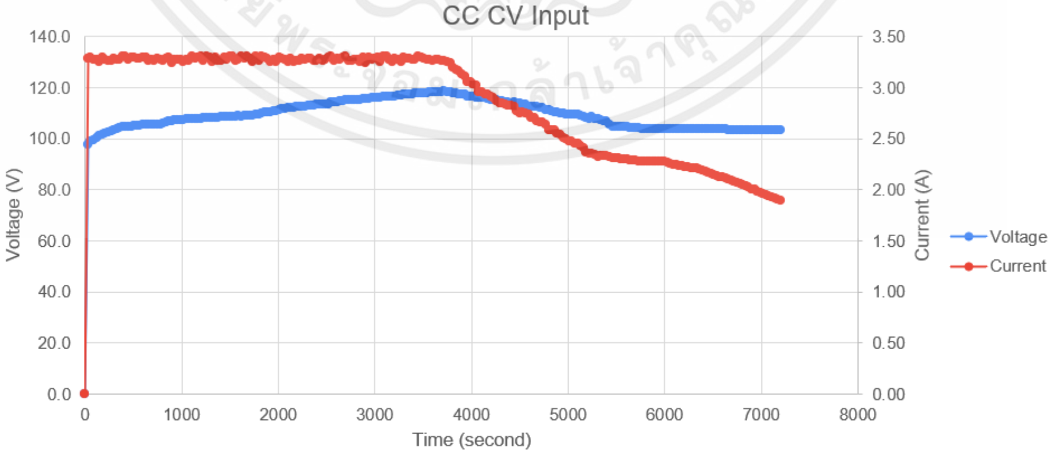
แรงดันที่เข้าแบตเตอรี่เป็นรูปแบบกระแสตรงแบบคงที่ และ กระแสไฟฟ้าในรูปแบบกระแสตรง ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจ่ายไฟเพื่ออัดประจุเข้ากับแบตเตอรี่ได้กำลังส่งที่ 1000 W ($P = U_{dc} \times I_{dc}$)



รูปที่ 4.13 แรงดันขาออก (U_{dc}) และ กระแสขาออก (I_{dc})

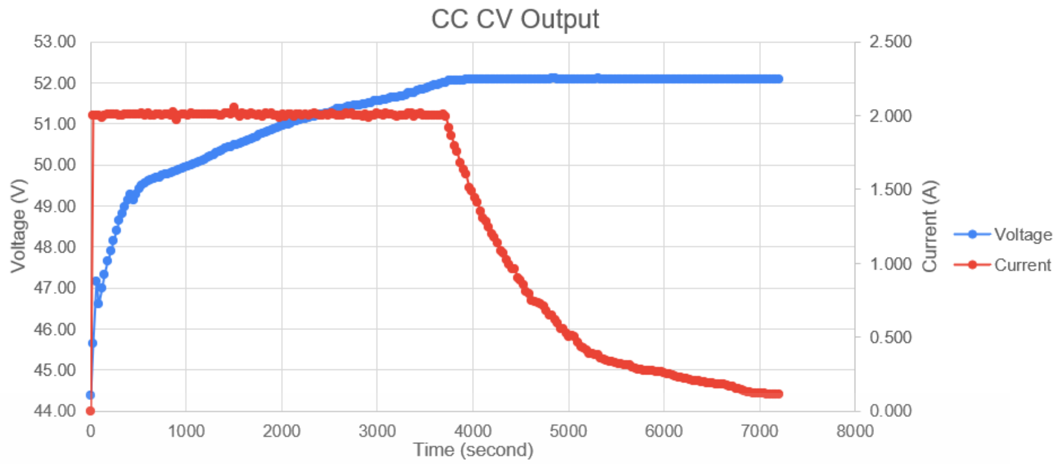
4.6.2 ผลการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV

การเก็บผลการทดสอบทั้งขาเข้าและขาออกระบบ นำผลการทดสอบที่ได้มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ แรงดัน และ กระแส ของขาเข้าและขาออกระบบ ได้กราฟดังรูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15



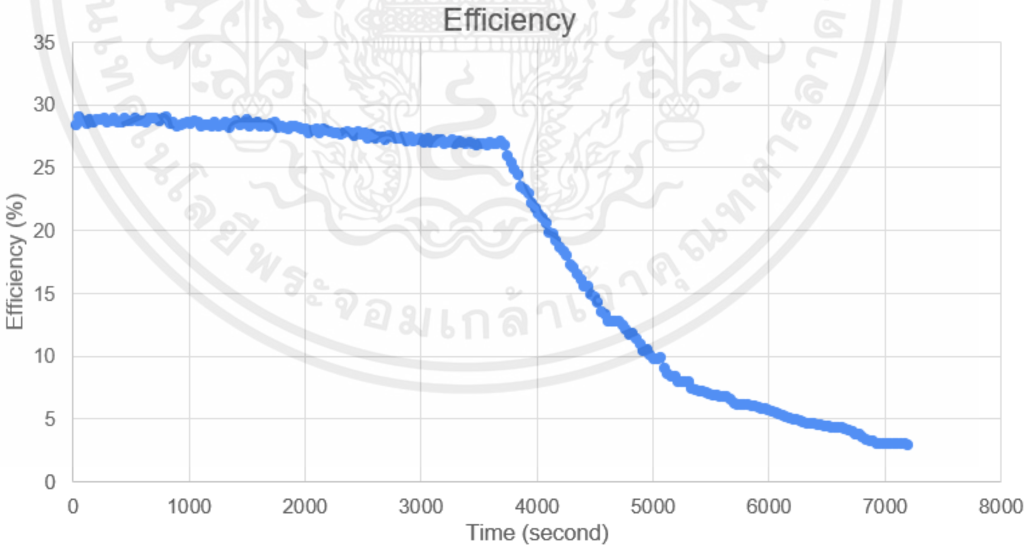
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ แรงดัน และ กระแส ขาเข้าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ แรงดัน และ กระแส ขาออกที่จ่ายให้แบตเตอรี่

การหาประสิทธิภาพของการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV นั้นได้การคำนวณและนำมาพลอตเป็นกราฟ ได้กราฟดังรูปที่ 4.16 จากรูปจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในช่วงการทดสอบการจ่ายกระแสคงที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบตลอดช่วงการทดสอบ ซึ่งเป็นช่วงการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่สูง และ ประสิทธิภาพในช่วงการทดสอบการจ่ายแรงดันที่มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบตลอดช่วงการทดสอบ ซึ่งเป็นช่วงการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ต่ำ



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพแต่ละช่วงในวิธีการ CC และ CV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

5.1 สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบระบบเป็นไปตามวิธีการออกแบบวงจรที่ได้ออกแบบไว้ ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายให้กับโหลดหลอดไฟ และ สามารถอัดประจุได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพการจ่ายโหลดอยู่ที่ 50% และ ประสิทธิภาพการอัดประจุอยู่ที่ 43% ซึ่งในการอัดประจุของระบบนั้นประสิทธิภาพจะแปรผันตรงกับกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานของระบบทั้งหมด

5.2 อภิปรายผลการทดสอบ

ข้อจำกัดของระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีข้อจำกัดการส่งกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ ขนาดของตัวนำในขดลวดส่งกำลังไร้สาย และ รุ่นของมอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในชิ้นงานนี้ใช้ตัวนำแบบ Litz wire ที่จำกัดกระแสอยู่ที่ 20 แอมแปร์ จึงทำให้ระบบสามารถจ่ายกำลังสูงสุดได้ดังเช่นผลการทดลองในปริญญานิพนธ์นี้

กำลังสูญเสียของระบบที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เกิดขึ้นได้จากการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอากาศจากการส่งกำลังแบบไร้สาย ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรชดเชยแรงดัน ความร้อนจากขดลวดส่งกำลังไร้สาย และ ความร้อนที่จุดเชื่อมต่อของสายไฟ รวมถึงรูปแบบของขดลวดส่งกำลังไร้สาย ซึ่งจากการออกแบบประสิทธิภาพสูงสุดของขดลวดส่งกำลังไร้สายที่ได้ออกแบบนี้อยู่ที่ 60% ด้วยปัจจัยดังกล่าวนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบมีค่าน้อย ซึ่งในแต่ละส่วนมีสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนี้

ประสิทธิภาพของวงจรขับขาเกทลดลงเนื่องจากสัญญาณที่ควบคุมการทำงานของ MOSFET มีร้อยละของ duty และ แรงดันไฟฟ้าต่ำ อีกทั้งการสูญเสียพลังงานในระบบเนื่องจากความต้านทานภายในของ MOSFET และ GATE DRIVER

ประสิทธิภาพของวงจรชดเชยแรงดันลดลงเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบของวงจร เช่น คอยล์และวงจรชดเชยแรงดัน L_{f1}, C_{f1}, C_{r1} เป็นผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานของขดลวด

ประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสลดลงเนื่องจากความต้านทานภายในของไดโอดและยังมีความถี่ในการทำงานที่ค่อนข้างสูงและทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น

ประสิทธิภาพของวงจรกรองกระแสลดลงเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจรและความถี่ในการทำงานที่ค่อนข้างสูงแต่จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรเรียงกระแสอาจเป็นเพราะในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบและวัดผลนั้นมีการวัดอย่างต่อเนื่องจากการทดลองอื่น ๆ และ เว้นช่วงเวลาการทดสอบสั้นเกินไปทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นยังคงอยู่

5.3 ข้อเสนอแนะ

ความสามารถของกำลังการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มขนาดของสายไฟให้สามารถทนกระแสให้มากขึ้น และ เพิ่มขีดจำกัดของกระแสเดรนของมอสเฟตให้มากขึ้นโดยการเลือกรุ่นใหม่ที่มีความเหมาะสมทั้งกระแสเดรน ทั้งแรงดันที่ทำงานของขาเกท หากเลือกรุ่นที่แรงดันของขาเกทมากเกินไป มอสเฟตจะไม่มีการสวิตชิ่งในระหว่างจ่ายไฟเข้าและทำให้มอสเฟต เกิดความเสียหาย และยังสามารถแก้ไขได้โดยการปรับแก้ที่วงจรขับขาเกตให้มีค่าแรงดันที่เหมาะสมกับมอสเฟตมากขึ้น ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้มากขึ้นสามารถเพิ่มได้โดยการแก้ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น และ ออกแบบรูปแบบขดลวดส่งกำลังไร้สายใหม่ โดยใช้เป็นรูปแบบของ DD – Type หรือรูปแบบอื่น ๆ ดังงานวิจัย Overview of coil designs for wireless charging of electric vehicle (2017) ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังเพิ่มขึ้น กำลังสูญเสียในระบบน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chunhua Liu, Chaoqiang Jiang, Chun Qiu, “Overview of Coil Designs for Wireless Charging of Electric Vehicle”, **IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)**, School of Energy and Environment, City University of Hong Kong, Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Hong Kong, 2017

[2] Kai che, Jinxing Yu, Peng Yang, Minglei Wei, Songtao Liu, and Deguan Li, “Limits of Electromagnetic Environment for Electric Vehicle Wireless Power Transfer”**, IEEE PES Asia Pacific Power & Energy Engineering Conference (APPEEC)**, Department of Environment Science, North China Electric Power University, 2021

[3] Shi Z.H., Zhi H. K., and Chong L., “Design Considerations of 10kw Wireless Charger for EV”, **International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security (PESA)**, School of Electrical Engineering, The Southwest Jiaotong University, 2017

[4] Wenxing Zhong, Dehong Xu, Ron Shu Yuen Hui, **Wireless Power Transfer Between Distance and Efficiency**, Singapore, the registered company Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2020

[5] Young Jim Hwang, and Jae Young Jang, “Design and Analysis of a Novel Magnetic Coupler of an In-Wheel Wireless Power transfer System for Electric Vehicles”, **Energies 2020**, 2020, pp. 332.

[6] Ze Zhou, Zhitao Liu, and Hongye Su, “Multi-Objective Optimization of the Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles”, **IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)**, State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Institute of Cyber-Systems and Control, Zhejiang University Hangzhou, 2020, pp.215-218

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

DESIGN AND DEAVELOP THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR ELECRTRIC VEHICLE CHARGING

ภูมิสิทธิ์ สายโสภา ศิวกร ปามา ศุภกร เกตุแจ่ม ศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย และ ผศ. ชัยทัต มณีอินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: n.somboonpanya@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีการนำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยระบบสามารถส่งกำลังไฟฟ้าผ่านขดลวดส่งกำลังแบบไร้สายซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟได้ 380 วัตต์ และ อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 1000 วัตต์ ประสิทธิภาพของการจ่ายกำลังฟ้าของระบบอยู่ที่ 50% (DC-DC) และ ประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่อยู่ที่ 43% (DC-DC) ระบบที่ได้ทำการออกแบบประกอบด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (85 กิโลเฮิร์ตซ์) วงจรชดเชยแรงดัน ขดลวดส่งกำลังแบบไร้สาย วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ความถี่สูง และ วงจรกรองสัญญาณ ในการออกแบบใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ในการจำลองระบบทั้งหมดเพื่อสังเกตพฤติกรรมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าแต่ละจุด และ ใช้ในการคำนวณค่าองค์ประกอบในวงจรชดเชยแรงดัน ส่วนการออกแบบขดลวดส่งกำลังแบบไร้สายจะใช้โปรแกรม Ansys Maxwell ในการจำลองค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ผลการจำลอง และ ผลการทดสอบเป็นไปตามวิธีการที่ออกแบบไว้

ABSTRACT

This thesis presents the design and development of a wireless power transfer system for electric vehicle charging. The system utilizes wireless transmission coils to deliver power, enabling a lamp load of 380 W and battery charging of 1000 W for a 48 V battery. The load test efficiency is measured at 50% (DC-DC), while the battery charging efficiency is calculated to be 43% (DC-DC). The designed system encompasses key components such as a high-frequency converter circuit (operating at 85 kHz), a compensation network, coils, high-frequency full-wave bridge rectifiers, and C filter circuits. To ensure the system's effectiveness, MATLAB and Simulink programs were employed to simulate and observe the voltage and current behavior at various points, as well as to calculate the necessary components within the compensation network. Furthermore, the design of the wireless power transmission coil was optimized using the Ansys Maxwell program, enabling accurate simulation of the coil's inductance. Notably, the simulation results align closely with the experimental findings, confirming the efficacy of the proposed design methodology.

Overall, this thesis provides a comprehensive overview of the wireless power transfer system for electric vehicle charging, detailing the design process, simulation techniques, and experimental validation, thereby contributing to the advancement of wireless power transmission technology.

1. บทนำ

จากความต้องการหันมาใช้พลังงานสะอาดของสังคมโลกในปัจจุบันนั้น ทำให้ผู้คนหันมาใช้ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้ากันมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันก็สามารถอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ที่สถานี และที่บ้านได้เลย แต่การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เป็นที่นิยมในไทยนั้นเป็นการอัดประจุแบบใช้สาย และในปัจจุบันนั้นการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายก็มีปัญหาในหลายๆจุด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของหัวอัดประจุของสถานีที่ต้องมีลักษณะตรงกับรุ่นของยานยนต์ไฟฟ้า ความปลอดภัยหรือระบบป้องกันของยานยนต์ไฟฟ้าที่ถึงจะมีความเสี่ยงน้อยแต่ก็ยังคงมีอยู่ เพราะผู้ใช้งานนั้นต้องเป็นคนที่ถอดและเสียบสายอัดประจุด้วยตนเอง นอกจากนี้จุดอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าในยานยนต์ แต่ละรุ่นนั้นก็มีตำแหน่งที่ต่างกัน จึงทำให้ต้องคำนึงถึงตอนจอดรถด้วยว่าตรงตำแหน่งที่สามารถอัดประจุได้หรือไม่

การแก้ไขปัญหาความไม่สะดวกสบายต่อการใช้งานของการอัดประจุแบบสาย และความปลอดภัยของผู้ใช้งานแก้ปัญหาได้โดยการมีระบบล็อคหัวอัดประจุเมื่อมีการจ่ายไฟจากตู้อัดประจุไปที่รถและถอดได้เมื่ออัดประจุเสร็จแล้วเท่านั้น แต่ในหลายๆประเทศก็เริ่มมีการหันมาใช้การอัดประจุแบบไร้สายเพื่อแก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ปัญหาเรื่องความไม่สะดวกจากการจอดรถเพื่ออัดประจุไฟ และระยะของสายที่มีข้อจำกัดรวมถึงปัญหาด้านความปลอดภัยที่ผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องลงจากรถมาเพื่ออัดประจุรถด้วยตนเอง ทั้งยังมีลักษณะของหัวอัดประจุที่ต้องตรงกับแบบของยานยนต์ไฟฟ้า

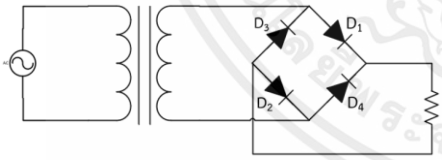
การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายนั้น เป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมา เพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกสบายของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและช่วยให้ขั้นตอนการอัดประจุรถนั้นง่ายขึ้นและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน นอกจากนี้การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายก็จะมีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยให้ทัศนียภาพดีขึ้นเพราะมีขนาดเล็กและไม่เทอะทะ ใช้งานง่าย ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสนับสนุนความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันและความสะดวกสบายต่อการใช้งาน

กลุ่มของผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อมุ่งเน้นให้ปัญหาที่เกิดจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบมีสายอัดประจุได้ถูกแก้ปัญหาออกไป โดยระบบที่ได้ออกแบบนี้มีความคาดหวังว่าระบบนี้จะสามารถส่งกำลังไฟฟ้าและสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปอัดประจุเพื่อสะสมในแบตเตอรี่ได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 AC/DC Converter

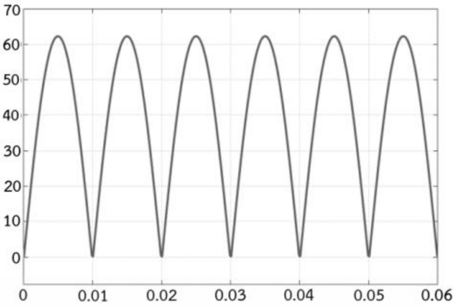
AC/DC Converter หรือ วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier) มีลักษณะเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งวงจรนี้ใช้ไดโอด 4 ตัว ดังรูปที่ ก.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ การทำงานของวงจรไดโอดจะผลัดนำกระแสครั้งละ 2 ตัว



รูปที่ ก.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_2 มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})

ในช่วงไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) จะทำให้ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_3 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_4 มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) ได้คลื่นตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 Full Wave Bridge Rectifier วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

2.2 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังคงมีระลอกคลื่นอยู่ในปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน จึงต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยการใช้ตัวเก็บประจุ และนำตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด RL แรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยคำนวณหาได้จากสูตร $V_{DC} = V_P = 1.414V_{AC}$ สามารถคำนวณหาตัวเก็บประจุได้จากสมการที่ 1

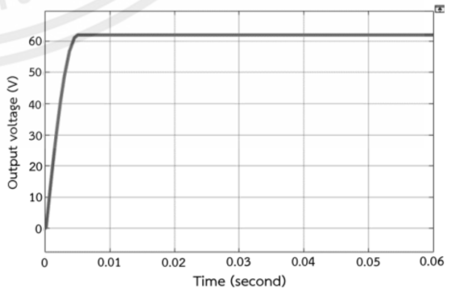
$$C = \frac{I_L \times T}{2V_{rip}} \qquad (1)$$

โดยที่

I_L คือ กระแสโหลด

T คือ 0.01 s (full wave)

V_{rip} คือ แรงดันจุดที่ไฟกระเพื่อมของแรงดันเอาท์พุต ไม่ควรเกิน 10% ของอินพุต



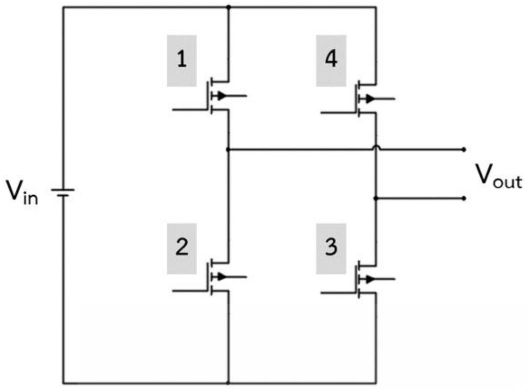
รูปที่ ก.3 รูปคลื่น Capacitor Filter

2.3 DC/High Frequency AC Converter

วงจรการแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับความถี่สูง มีองค์ประกอบอยู่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบ ได้แก่ วงจร Full bridge inverter (MOSFET), วงจรขับขาเกทและ แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Microcontroller)



รูปที่ ก.4 Full bridge inverter

Full bridge inverter (MOSFET)

Full bridge inverter จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยการใช้ มอสเฟต ในการจัดเรียงทิศทางของกระแส โดยทำงานคล้ายคลึงกับสวิตซ์ ซึ่งการควบคุม มอสเฟต นั้นจะมีการใช้คลื่นพัลส์มากระตุ้นขาเกทของ มอสเฟต แต่ละตัว ทำให้ มอสเฟต ทำงานที่เวลาที่แตกต่างกันตามสัญญาณที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดย มอสเฟต ตัวที่ 1 จะทำงานคู่กับ มอสเฟต ตัวที่ 3 และ มอสเฟต ตัวที่ 2 จะทำงานควบคู่ไปพร้อมกับ มอสเฟต ตัวที่ 4 ตามตำแหน่งดังรูปที่ ก.4 เช่น Microcontroller และ ขยายแรงดันให้เกินระดับแรงดันเริ่มต้นด้วยวงจรขับขาเกท

วงจรขับขาเกท

สัญญาณพัลส์ที่ใช้กระตุ้น มอสเฟต ให้ทำงาน ระดับแรงดันที่ใช้กระตุ้นจะต้องมีค่ามากกว่าระดับแรงดันเริ่มต้น ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการสร้างสัญญาณโดย Microcontroller มีระดับที่น้อยเกินกว่าระดับแรงดันเริ่มต้น ไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้ มอสเฟต ทำงานได้ตามช่วงความถี่ที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีวงจรที่ช่วยขยายแรงดันให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น ให้เพียงพอที่จะกระตุ้นขาเกทให้ มอสเฟต ทำงานได้ ซึ่งเป็นหน้าที่ของวงจรขับขาเกทที่ต้องขยายสัญญาณพัลส์ก่อนสัญญาณจะถูกส่งให้ขาเกทของ มอสเฟต ในขั้นตอนต่อไป

2.4 Compensation Network

Compensation Network คือวงจรที่ควบคุมอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ช่วยในการชดเชยแรงดันให้กับขดลวดฝั่งส่งกำลังไร้สาย และ ยังทำหน้าที่ปรับประสิทธิภาพ power factor ให้มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการส่งพลังงานสูงขึ้น ในระบบอัดประจุไร้สายนั้นค่า กำลังไฟฟ้าจินตภาพในส่วนของตัวเหนี่ยวนำมีค่อนข้างสูง กำลังไฟฟ้าจินตภาพในส่วนของตัวเก็บประจุจะสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าจินตภาพโดยรวมมีค่าลดลง จึงเป็นผลให้มีประสิทธิภาพของการส่งพลังงานสูงขึ้น

3. ระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

3.1 การสร้างระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

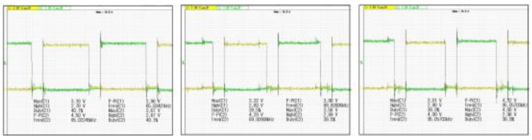
การสร้างและการออกแบบระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบไปด้วย Microcontroller, Gate Driver, Compensation Network, DC to High Frequency AC Converter, High frequency AC to DC Converter, C Filter, Coil ระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะทำงานโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ DC to High Frequency AC Converter โดยมี Microcontroller ควบคุมความถี่ หลังจากนั้นกระแสจะเข้าสู่ Transmitter coil แล้วเริ่มส่งพลังงานสู่ Receiver coil พลังงานที่ได้จะถูกส่งไปยัง High frequency AC to DC Converter แล้วถูกรกกรองกระแสด้วย C Filter ก่อนจ่ายให้กับแบตเตอรี่

4. การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะประกอบไปด้วยรายละเอียดการออกแบบการทดลองและผลการทดลองโดยจะแบ่งเป็น 7 การทดลอง คือ การทดลอง Microcontroller, Gate Driver, Compensation Network, DC to High Frequency AC Converter, Coil , High frequency AC to DC Converter, C Filter เพื่อทดสอบระบบว่าส่งผ่านพลังงานได้หรือไม่ และเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบว่ามีการสูญเสียพลังงานจากส่วนใดของระบบ ในการทดลองจะทำการกำลังไฟฟ้าจาก DC Supply โดยกำหนดค่าแรงดันขาเข้าเป็นเพิ่มขึ้นทีละ 10, 20, 30, ... , 150 โวลต์ตามลำดับ แล้ววัดค่าแรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าขาเข้า และ ขาออก จากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบในทุกๆ วงจร

4.1 การทดสอบ Microcontroller

ทดสอบค่าความถี่ 85, 90 และ 95 kHz บอร์ดสามารถสร้างสัญญาณได้ทั้งสามความถี่ ตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณความถี่ 85 kHz ดังรูปที่ ก.6

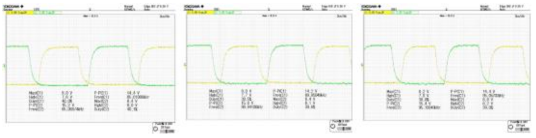


รูปที่ ก.5 ผลการทดสอบ Microcontroller กำหนดให้จ่ายลูกคลื่น Pulse 85, 90 และ 95 kHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบ Gate Driver

ทำการวัดแรงดันขาออกจาก Gate driver ค่าความถี่ที่ได้จะมีค่าตรงกับ Microcontroller และ มีค่า V_{output} ที่มากกว่า Microcontroller



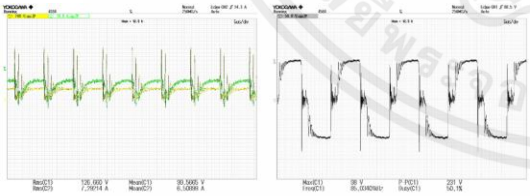
รูปที่ ก.6 ผลการทดสอบ Gate Driver โดยการจ่ายลูกคลื่นความถี่ 85, 90 และ 95 kHz ตามลำดับ

4.3 การทดสอบ DC to High frequency AC Converter

ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร มอสเฟต โดยจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันแบบกระแสตรงตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบวงจร DC to High frequency AC Converter

VDC input	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
(V)	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	1.71	17.10	9.88	0.92	9.09	53.16
20.00	3.08	61.60	19.39	2.17	42.08	68.31
30.00	3.77	113.10	29.45	3.08	90.71	80.20
40.00	4.45	178.00	39.24	3.76	147.54	82.89
50.00	4.87	243.50	49.91	4.30	214.61	88.14
60.00	5.51	330.60	59.41	4.79	284.57	86.08
70.00	5.99	419.30	68.76	5.43	373.37	89.05
80.00	6.36	508.80	78.31	5.69	445.58	87.58
90.00	6.85	616.50	88.94	6.08	540.76	87.71
100.00	7.29	729.00	99.57	6.51	648.20	88.92
110.00	7.85	863.50	110.06	7.12	783.63	90.75
120.00	8.23	987.60	119.07	7.47	889.45	90.06
130.00	8.56	1112.80	129.28	7.77	1004.51	90.27
140.00	8.95	1253.00	139.09	8.16	1134.93	90.58
150.00	9.33	1399.50	149.37	8.55	1277.11	91.25



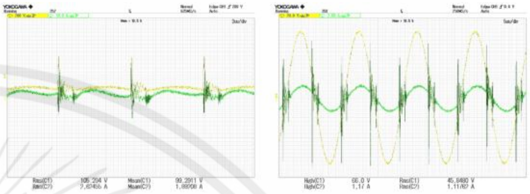
รูปที่ ก.7 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันขาออกจากวงจร DC to High frequency AC Convert ตามลำดับ

4.4 การทดสอบ Compensation Network

วงจรชดเชยแรงดันจะทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร ชดเชยแรงดัน จ่ายแรงดันจากแหล่งกำเนิดแล้วหาค่าประสิทธิภาพ

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบระบบ Compensation Network

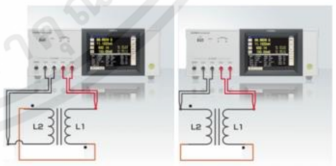
V_{DC} input	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
(V)	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.54	5.36	2.72	1.11	3.02	56.33
20.00	1.02	20.40	5.68	2.06	11.70	57.36
30.00	1.41	42.33	9.00	2.73	24.57	58.04
40.00	1.73	69.20	12.62	3.16	39.88	57.63
50.00	2.02	101.20	16.62	3.44	57.17	56.49
60.00	2.29	137.40	20.59	3.75	77.21	56.20
70.00	2.55	178.64	24.78	4.08	101.10	56.60
80.00	2.81	225.04	28.91	4.34	125.47	55.75
90.00	3.07	276.30	33.03	4.62	152.60	55.23
100.00	3.34	333.60	37.19	4.87	181.12	54.29
110.00	3.60	396.11	41.31	5.15	212.75	53.71
120.00	3.86	462.72	45.36	5.39	244.49	52.84
130.00	4.12	534.95	49.27	5.75	283.30	52.96
140.00	4.39	615.02	53.46	6.00	320.76	52.15
150.00	4.65	697.05	57.19	6.22	355.72	51.03



รูปที่ ก.8 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Compensation Network ตามลำดับ

4.5 การทดสอบ Coils

การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดฝั่งส่งกำลัง และขดลวดฝั่งรับกำลัง ค่าที่วัดจะวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (Self Inductance) และ ความเหนี่ยวนำร่วมของทั้งสอง (Mutual Inductance) ด้วยเครื่องมือวัด LCR Meter ที่ย่านความถี่การวัด 85 kHz เลือกย่านการวัดจากความถี่ของระบบที่ทำงาน การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเฉพาะตัววัดได้จากขดลวดโดยตรง ส่วนการวัดความเหนี่ยวนำร่วมมีวิธีการวัดดังรูปที่ ก.10 นำค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการทั้งสองรูปดังกล่าวมาลบแล้วทำการหารด้วย 4



รูปที่ ก.9 วิธีการวัดค่า Mutual Inductance

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดส่งกำลังไร้สาย

Distance	Inductance (μH)		
(cm)	Self inductance Tx	Self induction Rx	Mutual
5	38.26	39.15	22.08
10	36.60	37.12	10.23
15	35.30	36.10	5.24
20	35.25	36.07	3.07
25	35.22	36.05	1.97

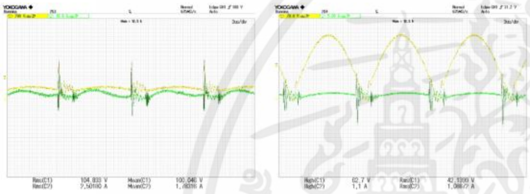
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดสอบ High frequency AC to DC Converter

ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วย DC Supply จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร bridge rectifier แล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบ Bridge Rectifier

V_{DC} input	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
(V)	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,rms}$ (V)	$I_{out,rms}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.37	3.65	1.89	0.56	1.06	29.00
20.00	0.89	17.84	4.65	1.55	7.21	40.40
30.00	1.33	39.87	7.70	2.30	17.71	44.42
40.00	1.67	66.92	11.15	2.81	31.33	46.82
50.00	1.97	98.25	14.95	3.17	47.39	48.24
60.00	2.24	134.64	19.30	3.70	71.41	53.04
70.00	2.52	176.05	23.64	4.07	96.21	54.65
80.00	2.79	222.80	26.02	4.13	107.46	48.23
90.00	3.04	273.87	29.85	4.45	132.83	48.50
100.00	3.31	330.50	33.80	4.68	158.18	47.86
110.00	3.56	391.60	37.55	4.91	184.37	47.08
120.00	3.82	458.64	41.52	5.22	216.73	47.26
130.00	4.09	531.05	45.30	5.46	247.34	46.58
140.00	4.37	611.10	49.43	5.63	278.29	45.54
150.00	4.63	694.65	53.18	5.89	313.23	45.09



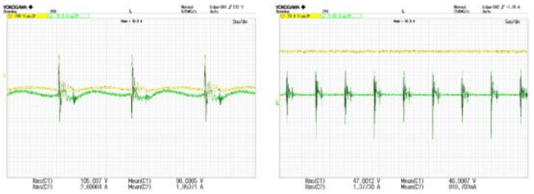
รูปที่ ก.10 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร Bridge Rectifier ตามลำดับ

4.7 การทดสอบ C Filter

ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันขาเข้าด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตามค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{DC}) และ กระแสไฟฟ้าขาออกหลังวงจร C Filter แล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพ

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบ C Filter

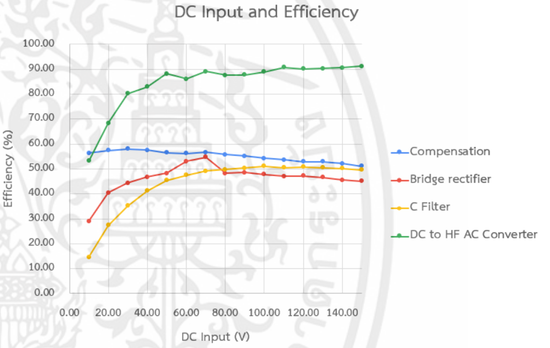
V_{DC} input	ON-load 3000W 220 V_{rms}					
(V)	$I_{in,DC}$ (A)	P_{input} (W)	$V_{out,DC}$ (V)	$I_{out,DC}$ (A)	P_{output} (W)	EFF (%)
10.00	0.41	4.12	1.18	0.51	0.60	14.61
20.00	1.03	20.60	3.41	1.65	5.63	27.31
30.00	1.53	45.96	6.58	2.46	16.19	35.22
40.00	1.92	76.60	10.46	3.02	31.59	41.24
50.00	2.23	111.70	14.72	3.45	50.78	45.46
60.00	2.53	152.04	19.01	3.80	72.24	47.51
70.00	2.83	198.24	23.63	4.12	97.36	49.11
80.00	3.12	249.76	28.16	4.41	124.19	49.72
90.00	3.41	306.90	32.70	4.73	154.67	50.40
100.00	3.71	370.60	37.20	5.09	189.35	51.09
110.00	4.00	439.67	41.84	5.31	222.17	50.53
120.00	4.28	513.24	46.34	5.62	260.43	50.74
130.00	4.57	593.84	50.76	5.91	299.99	50.52
140.00	4.86	679.70	55.19	6.18	341.07	50.18
150.00	5.13	769.80	59.19	6.45	381.78	49.59



รูปที่ ก.11 แรงดันและกระแสขาเข้า กับ แรงดันและกระแสขาออกจากวงจร C Filter ตามลำดับ

4.7 ประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ

การคำนวณค่าประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบสามารถนำพิจารณาให้เห็นโดยภาพรวมจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบจะเห็นได้ว่าช่วงก่อนเข้าไปยังขดลวดส่งกำลังไร้สายมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 84% และสังเกตได้อีกว่าประสิทธิภาพในช่วงหลังขดลวดรับกำลังไร้สายไปแล้วประสิทธิภาพมีค่าที่ใกล้เคียงกันประมาณ 50% ดังรูปที่ ก.13



รูปที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบ

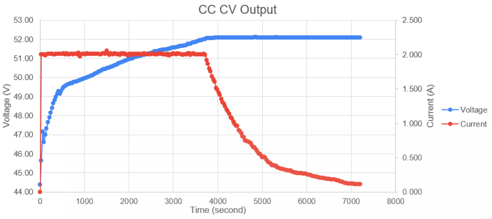
4.8 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่

การทดสอบการอัดประจุกับแบตเตอรี่ขนาด 48 V, 20 Ah สามารถอัดประจุได้กำลังสูงสุดอยู่ที่ 1000 W โดยการจ่ายแรงดันขาเข้า 155.1 V, 14.8 A แรงดันที่เข้าแบตเตอรี่เป็นรูปแบบกระแสตรงแบบคงที่ และ กระแสไฟฟ้าในรูปแบบกระแสตรง ดังรูปที่ ก.14 ซึ่งจากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจ่ายไฟเพื่ออัดประจุเข้ากับแบตเตอรี่ได้กำลังส่งที่ 1000 W ($P = V_{dc} \times I_{dc}$)

รูปที่ ก.13 กระแสและแรงดันขาเข้าของแหล่งจ่าย และ แรงดันขาออก (U_{dc}) และ กระแสขาออก (I_{dc})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่นี้ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการจ่ายกระแสคงที่ (Constant current) และ วิธีการจ่ายแรงดันคงที่ (Constant voltage) เพื่อสังเกตค่าของแรงดันและกระแสที่เข้าแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับเวลาที่ได้ทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ กราฟดังรูปที่ ก.15



รูปที่ ก.14 กราฟการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการ CC และ CV

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบระบบเป็นไปตามวิธีการออกแบบวงจรที่ได้ออกแบบไว้ ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายให้กับโหลด และ สามารถอัดประจุได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพการจ่ายโหลดอยู่ที่ 50% และ ประสิทธิภาพการอัดประจุอยู่ที่ 43% กำลังสูญเสียของระบบที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เกิดขึ้นได้จากการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอากาศจากการส่งกำลังแบบไร้สาย ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรชดเชยแรงดัน ความร้อนจากขดลวดส่งกำลังไร้สาย

6. อภิปรายผลการทดสอบ

ข้อจำกัดของระบบส่งกำลังแบบไร้สายสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีข้อจำกัดการส่งกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ ขนาดของตัวนำในขดลวดส่งกำลังไร้สาย และ รุ่นของมอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในชิ้นงานนี้ใช้ตัวนำแบบ Litz wire ที่จำกัดกระแสอยู่ที่ 20 แอมแปร์ จึงทำให้ระบบสามารถจ่ายกำลังสูงสุดได้ดังเช่นผลการทดลองในปริญญานิพนธ์นี้

กำลังสูญเสียของระบบที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เกิดขึ้นได้จากความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรชดเชยแรงดัน ความร้อนจากขดลวดส่งกำลังไร้สาย และ ความร้อนที่จุดเชื่อมต่อของสายไฟ รวมถึงรูปแบบของขดลวดส่งกำลังไร้สาย ซึ่งจากการออกแบบประสิทธิภาพสูงสุดของขดลวดส่งกำลังไร้สายที่ได้ออกแบบนี้อยู่ที่ 60% ด้วยปัจจัยดังกล่าวนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบมีค่าน้อย

7. ข้อเสนอแนะ

ความสามารถของกำลังการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มขนาดของสายไฟให้สามารถทนกระแสให้มากขึ้น และ เพิ่มขีดจำกัดของกระแสเดรนของมอสเฟตให้มากขึ้นโดยการเลือกรุ่นใหม่ที่มีความเหมาะสมทั้งกระแสเดรน ทั้งแรงดันที่ทำงานของขาเกท หากเลือกรุ่นที่แรงดันของขาเกทมากเกินไป มอสเฟตจะไม่มีการสวิตซิ่งในระหว่างจ่ายไฟเข้าและทำให้มอสเฟตเกิดความเสียหาย ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้มากขึ้นสามารถเพิ่มได้โดยการแก้ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น และ ออกแบบรูปแบบขดลวดส่งกำลังไร้สายใหม่ โดยใช้เป็นรูปแบบของ DD – Type หรือรูปแบบอื่นๆ ดังงานวิจัย Overview of coil designs for wireless charging of electric vehicle (2017) ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังเพิ่มขึ้น [1]

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Chunhua Liu, Chaoqiang Jiang, Chun Qiu, “Overview of Coil Designs for Wireless Charging of Electric Vehicle”, **IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)**, School of Energy and Environment, City University of Hong Kong, Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Hong Kong, 2017

[2] Kai che, Jinxing Yu, Peng Yang, Minglei Wei, Songtao Liu, and Deguan Li, “Limits of Electromagnetic Environment for Electric Vehicle Wireless Power Transfer”, **IEEE PES Asia Pacific Power & Energy Engineering Conference (APPEEC)**, Department of Environment Science, North China Electric Power University, 2021

[3] Shi Z.H., Zhi H. K., and Chong L., “Design Considerations of 10kw Wireless Charger for EV”, **International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security (PESA)**, School of Electrical Engineering, The Southwest Jiaotong University, 2017

[4] Wenxing Zhong, Dehong Xu, Ron Shu Yuen Hui, **Wireless Power Transfer Between Distance and Efficiency**, Singapore, the registered company Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2020

[5] Young Jim Hwang, and Jae Young Jang, “Design and Analysis of a Novel Magnetic Coupler of an In-Wheel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wireless Power transfer System for Electric Vehicles”, **Energies 2020**, 2020, pp. 332.

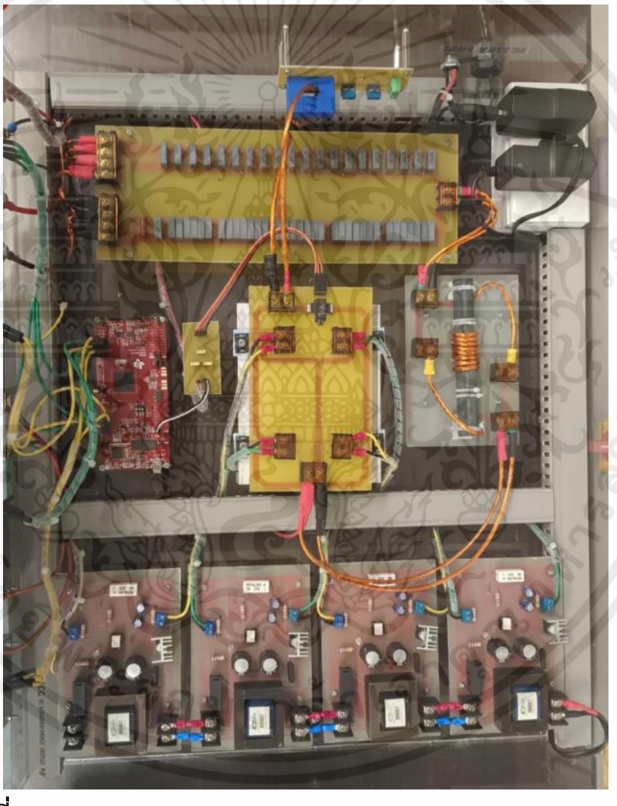
[6] Ze Zhou, Zhitao Liu, and Hongye Su, “Multi-Objective Optimization of the Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles”, **IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)**, State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Institute of Cyber-Systems and Control, Zhejiang University Hangzhou, 2020, pp.215-218

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์

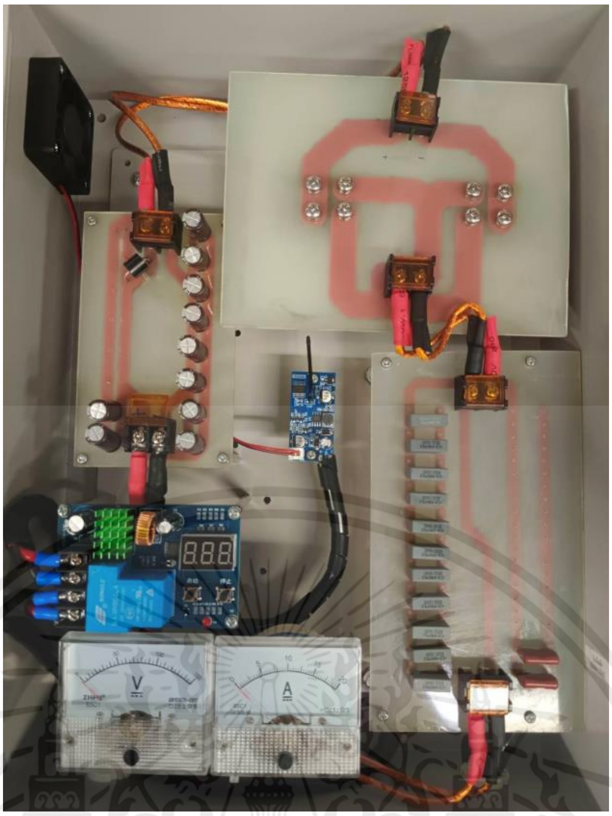
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 ชุดการทดสอบของระบบ

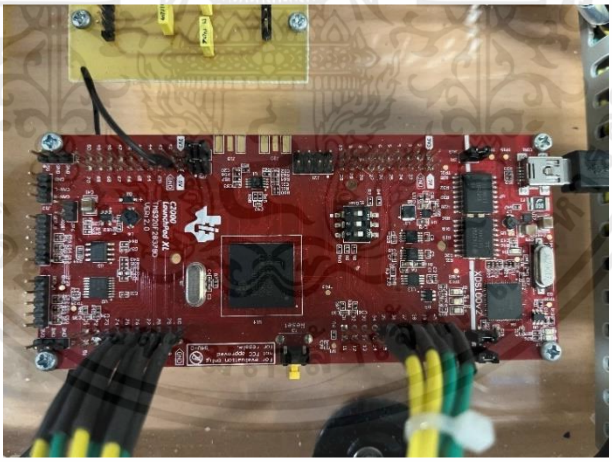


รูปที่ ข.2 ชุดทดสอบ DC to High frequency AC Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

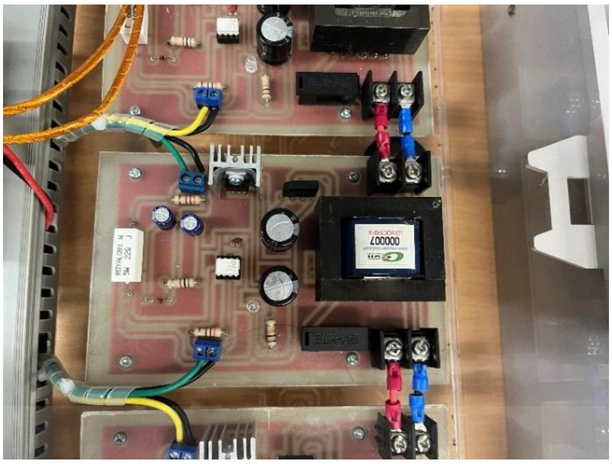


รูปที่ ข.3 ชุดทดสอบ High frequency AC to DC Converter

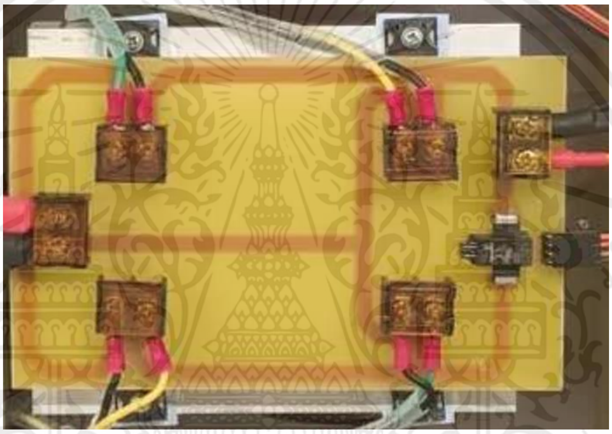


รูปที่ ข.4 Microcontroller

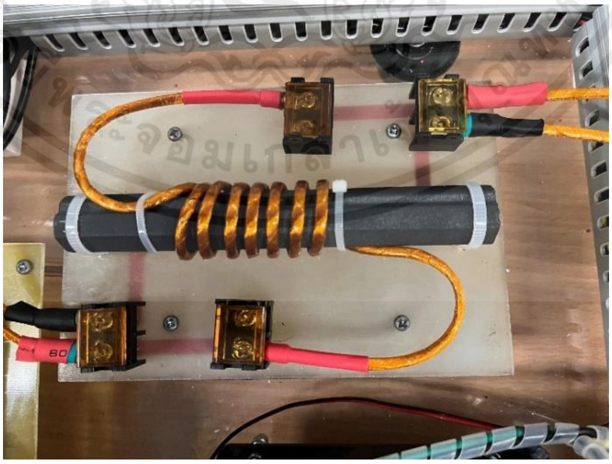
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 วงจรขับขาเกท

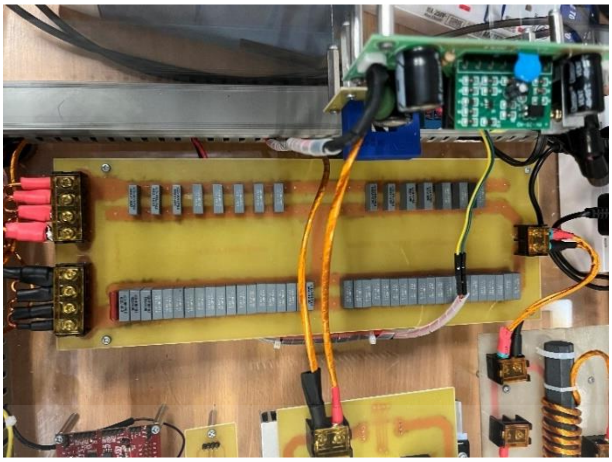


รูปที่ ข.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงเป็นกระแสสลับความถี่สูง



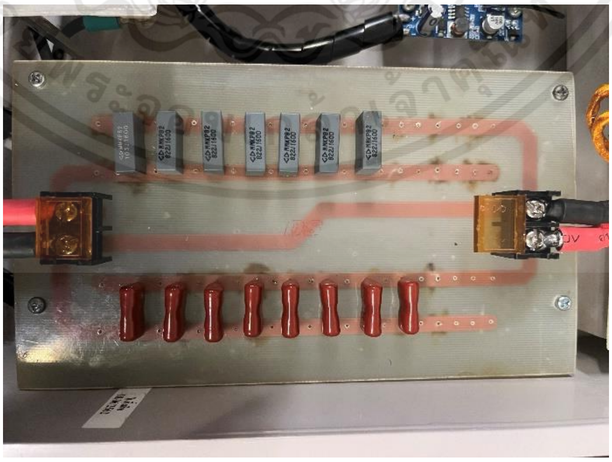
รูปที่ ข.7 ขดลวดเหนี่ยวนำของวงจรชดเชยแรงดัน (L_f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



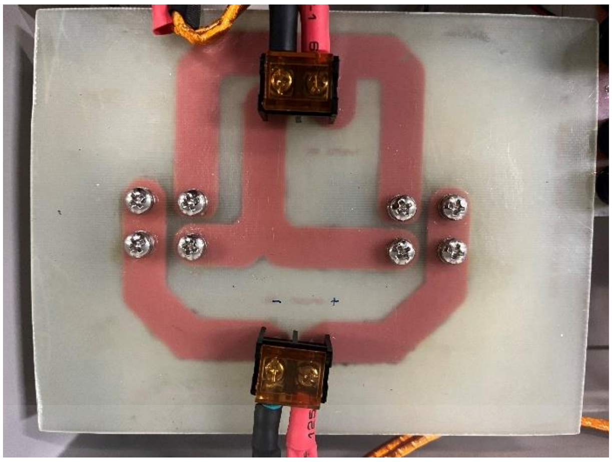
รูปที่ ข.8 ตัวเก็บประจุในวงจรชดเชยแรงดันฝั่งขดลวดส่งกำลังไร้สาย (C_{f1}, C_{r1})

รูปที่ ข.9 ขดลวดส่งกำลังไร้สาย



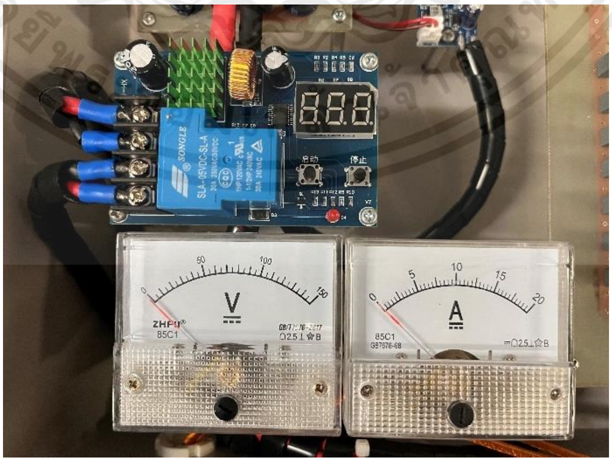
รูปที่ ข.10 ตัวเก็บประจุในวงจรชดเชยแรงดันฝั่งขดลวดรับกำลังไร้สาย (C_{r2})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



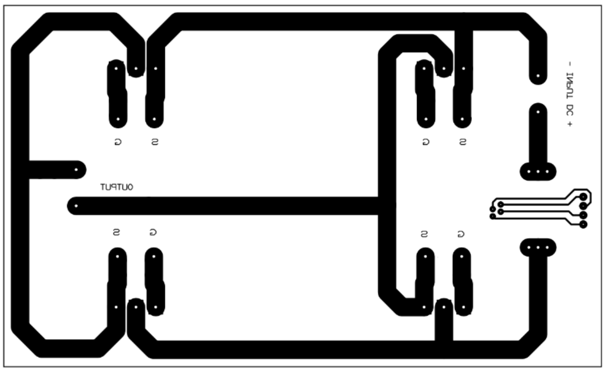
รูปที่ ข.11 วงจรเรียงกระแส

รูปที่ ข.12 วงจรกรองสัญญาณ

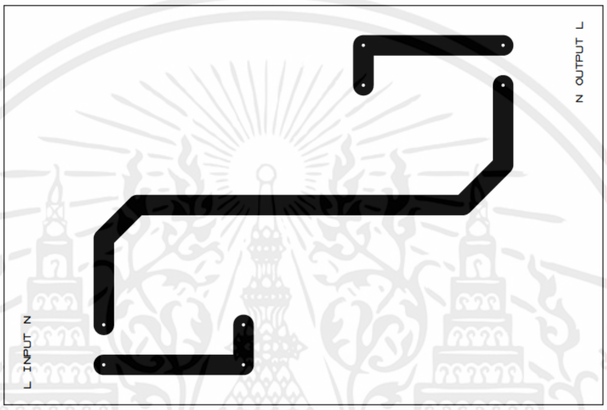


รูปที่ ข.13 Battery Management System

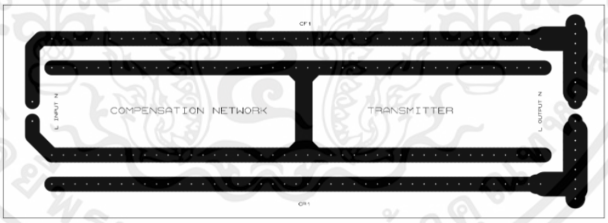
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



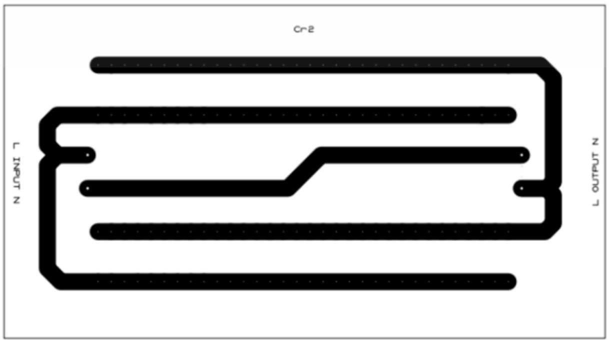
รูปที่ ข.14 PCB ของวงจร Inverter



รูปที่ ข.15 PCB ของวงจร Compensation (L_{f1})

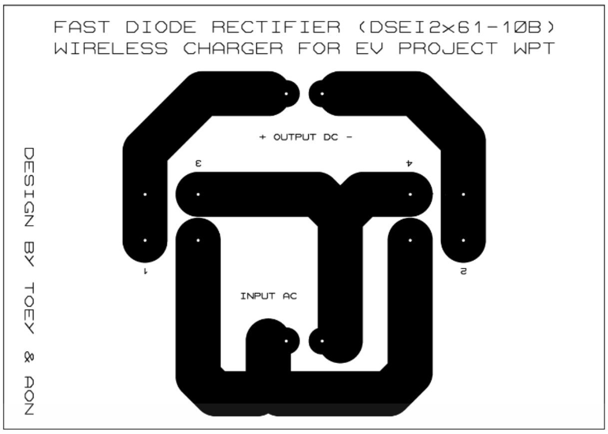


รูปที่ ข.16 PCB ของวงจร Compensation (C_{f1} และ C_{r1})

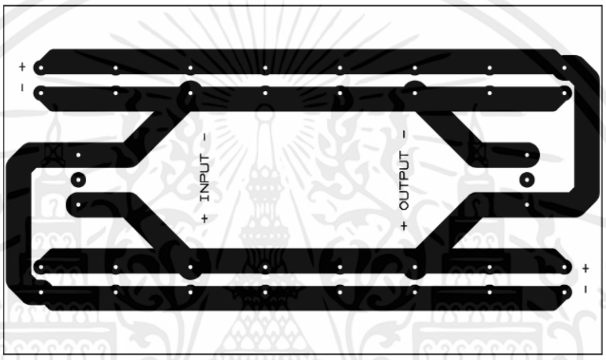


รูปที่ ข.17 PCB ของวงจร Compensation (C_{r2})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.18 PCB ของวงจร Bridge rectifier



รูปที่ ข.19 PCB ของวงจร C Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายภูมิสิทธิ์ สายโสภา

วัน/เดือน/ปีเกิด 19 เมษายน พ.ศ.2543

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขา** วิศวกรรมไฟฟ้า (พลังงาน)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนยโสธรพิทยาคม

สถานที่ฝึกงาน บริษัท ถิรไทย จำกัด (มหาชน)

ชื่อ - นามสกุล นายศิวกร ปามา

วัน/เดือน/ปีเกิด 10 สิงหาคม พ.ศ.2544

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขา** วิศวกรรมไฟฟ้า (พลังงาน)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนยโสธรพิทยาคม

สถานที่ฝึกงาน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด

ชื่อ - นามสกุล นายศุภกร เกตุแจ่ม

วัน/เดือน/ปีเกิด 8 มิถุนายน พ.ศ.2543

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขา** วิศวกรรมไฟฟ้า (กำลัง)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก

สถานที่ฝึกงาน บริษัท ถิรไทย จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้