

เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า
VEHICLE TO VEHICLE CHARGER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า
VEHICLE TO VEHICLE CHARGER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VEHICLE TO VEHICLE CHARGER

Jenlarp Jenlarpwattanakul
Nipatporn Dodthai
Yuttapichai Sansupa
Peetapat Supanich

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENERGY ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาพลังงานไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

VEHICLE TO VEHICLE CHARGER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------|---------------|-----------------------|
| 1.นายเจนลาภ | เจนลาภวัฒนกุล | รหัสนักศึกษา 58010209 |
| 2.นางสาวนิพัทธ์พร | โอดไทย | รหัสนักศึกษา 58010680 |
| 3.นายยุทธพิชัย | แสนสุภา | รหัสนักศึกษา 58011034 |
| 4.นายภิตะภัก | สุพานิช | รหัสนักศึกษา 58010975 |



(ดร.สมภพ ผลไม้)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า

นายเจนลาภ	เจนลาภวัฒนกุล	
นางสาวนิพัทธ์พร	โตดไทย	
นายยุทธพิชัย	แสนสุภา	
นายภิตะภัก	สุพานิช	
ดร.สมภพ	ผลไม้	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560		

บทคัดย่อ

ปฏิญานีพจน์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพกพาสำหรับใช้ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าด้วยกันเมื่อเกิดปัญหาพลังงานแบตเตอรี่ไม่พอต่อการเดินทางไปยังสถานีชาร์จประจุในระหว่างการเดินทาง ในปฏิญานีพจน์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นคอนเวอร์เตอร์แบบรีโซแนนซ์อนุกรมความถี่สูงเพื่อให้มีขนาดเล็กและประสิทธิภาพดี โดยหลังจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการทดลอง ผลการทดลองจากเครื่องต้นแบบแสดงให้เห็นว่าวงจรกำลังที่ออกแบบมาในเครื่องชาร์จนี้สามารถรองรับการส่งพลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายได้ตามที่กำหนด

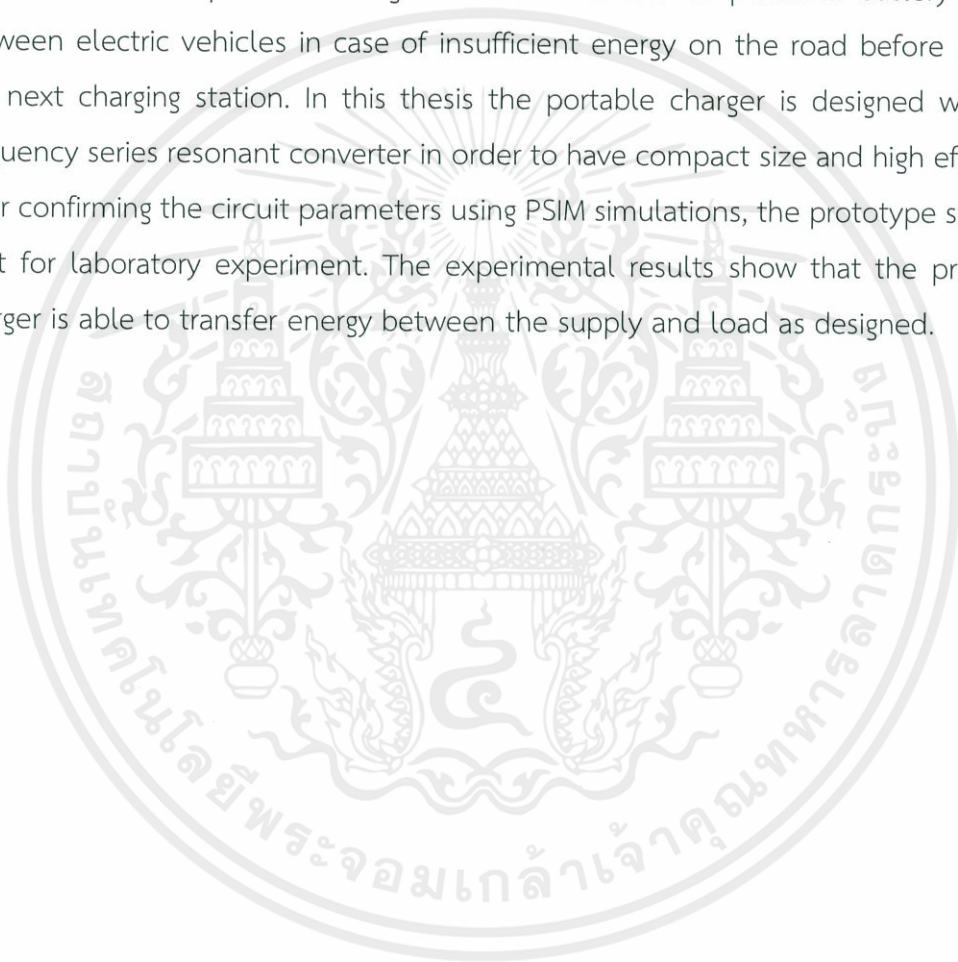
VEHICLE TO VEHICLE CHARGER

Mr.Jenlarp	Jenlarpwattanakul	58010209
MissNipatporn	Dodthai	58010680
Mr.Yuttapichai	Sansupa	58011034
Mr.Peetapat	Supanich	58010975
Dr.Sompob	Polmai	Thesis Advisor

Academic Year 2018

ABSTRACT

This thesis presents design and construction of portable battery charger between electric vehicles in case of insufficient energy on the road before reaching the next charging station. In this thesis the portable charger is designed with high frequency series resonant converter in order to have compact size and high efficiency. After confirming the circuit parameters using PSIM simulations, the prototype system is built for laboratory experiment. The experimental results show that the prototype charger is able to transfer energy between the supply and load as designed.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายทั้งในทางตรงและทางอ้อม ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้ หากปราศจากความช่วยเหลือของบุคคลเหล่านี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.สมภพ ผลไม้ เป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงการ ซึ่งทำให้การทำงานต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างราบรื่นและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์และบุคลากรต่าง ๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้คำแนะนำและสั่งสอนความรู้ต่าง ๆ มาโดยตลอด รวมถึงห้องปฏิบัติการ PEARL LAB (Power Electronic Applications & Energy Conversion Research Laboratory) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและพัฒนาโครงการ

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยเมเดินชา จำกัด ผู้สนับสนุนหลักในค่าใช้จ่าย สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท นิสสัน มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความรู้ด้านรถยนต์พลังงานไฟฟ้า รวมถึงโครงสร้างระบบภายในทั้งหมด และสนับสนุนให้งานวิจัยนี้ก้าวหน้าผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและแบ่งปันความรู้ในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้โอกาสศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้อย่างประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้เลี้ยงดู สั่งสอน และให้การสนับสนุนในทุกด้าน พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	XI
กิตติกรรมประกาศ	XII
สารบัญ	XIII
สารบัญรูปภาพ	XVI
สารบัญตาราง	XX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	5
1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	5
1.4.1 Hardware (V2V Charger Portable Box)	6
1.4.2 Software (V2V Charger Application)	6
1.5 แผนการดำเนินงาน	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 บทนำ	8
2.2 ระดับการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	8
2.2.1 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1	8
2.2.2 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2	8
2.2.3 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 3	8
2.3 มาตรฐานการชาร์จแบตเตอรี่	9
2.3.1 มาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission)	9
2.3.2 รูปแบบการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 – 1	11
2.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม (Lithium Battery)	11
2.4.1 ที่มาของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแบตเตอรี่ลิเทียมเป็นแบตเตอรี่	11
2.4.2 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม	12
2.4.3 แบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้านิสสัน รุ่น LEAF NISMO 2018	13
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุประจุแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Isolated Resonant DC-DC Converter)	13
2.5.1 วงจรไฟฟ้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)	13
2.5.2 ซอฟท์ สวิตซ์ซิ่ง (วงจร LLC Resonance Tank)	18
2.5.3 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.4 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดมีแทปกกลาง (Full-wave Rectifier by Center Tap Circuit)	20
2.5.5 SiC Schottky Diode	22
2.5.6 C filter	24
2.6 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าในวงจรกำลัง	25
2.6.1 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตซ์สารกึ่งตัวนำ	25
2.6.2 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แม่เหล็ก	26
2.7 การระบายความร้อนและการออกแบบ	27
2.7.1 การออกแบบแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink Design)	28
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม	29
2.8.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	29
2.8.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor)	31
2.9 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Vehicle)	32
2.9.1 รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่รองรับการทำงานโหมด V2H	32
2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับแอปพลิเคชันและเซิร์ฟเวอร์	36
2.10.1 Cloud (การประมวลผลแบบกลุ่มก้อนเมฆ)	36
2.10.2 Big Data	37
2.10.3 IOT (Internet of Things)	38
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review literature)	39
2.11.1 การประยุกต์ใช้งานบล็อกเชนและสมาร์ตคอนแทรคสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า Blockchain and Smart Contract Application for Electric Vehicle	39
2.11.2 ยานพาหนะไฟฟ้าสู่ระบบกริด Vehicle-to-grid systems (V2G)	40
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์	42
3.1 บทนำ	42
3.2 ส่วนประกอบวงจรกำลัง	42
3.2.1 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	44
3.2.2 การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์	46
3.2.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	47
3.2.4 การออกแบบวงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกกลางด้านบวก	52
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม	54
3.3.1 วงจรขับเคลื่อน (Gate Driver)	54
3.3.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า	55
3.3.4 Digital Signal Processing (DSP) Model TMS320f28335	55
3.3.5 NodeMCU Model Esp8266-12E	56
3.4 เทคนิคการควบคุม	57
3.4.1 การควบคุมแบบพี (P controller)	57
3.4.2 การควบคุมแบบไอ (I controller)	57
3.5 การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุม	57
3.6 การสูญเสียในวงจรกำลัง	59
3.7 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง	61
3.8 การประเมินขนาดเครื่องชาร์จ	63
3.9 การจำลองแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า	63
3.10 แบบจำลองวงจรกำลัง	64
3.11 การปรับความถี่เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า	65
3.12 บทสรุป	66
บทที่ 4 ผลการทดลอง	67
4.1 บทนำ	67
4.2 ผลการทดสอบคลื่นสัญญาณ PWM ชับขาเกท	67
4.3 ผลการทดสอบการชาร์จจากวงจรทดลองปฏิบัติ	67
4.4 ผลการทดสอบการปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า	71
4.5 บทสรุป	72
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	73
5.1 บทสรุป	73
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	73
5.3 แนวทางการพัฒนา	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก DATASHEET	76
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการ	91
ประวัติผู้เขียน	97

สารบัญรูปร่างภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 Andromeda EV Charging Service	1
รูปที่ 1.2 บริษัท RAC EVRescueService บริการชาร์จ รถยนต์ไฟฟ้าที่เรียกใช้	2
รูปที่ 1.3 Concept of V2X Technology	2
รูปที่ 1.4 การทำงานของ Vehicle to Home (V2H)	3
รูปที่ 1.5 Wonder New Energy	4
รูปที่ 1.6 V2V Application	6
รูปที่ 1.7 V2V Charger Portable Box Concept	6
รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ของนิสสันรุ่น LEAF 2018	13
รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	14
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N channel	15
รูปที่ 2.4 MOSFET	15
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic) ของมอสเฟตชนิด NMOS	16
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบลักษณะของทรานซิสเตอร์ทั้งสามชนิด	16
รูปที่ 2.7 Si IGBT VS SiC MOSFET	17
รูปที่ 2.8 SiC MOSFET Module บริษัท IXYS	17
รูปที่ 2.9 การทำงานของสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์	18
รูปที่ 2.10 การสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์	18
รูปที่ 2.11 Hard Switching VS Soft Switching	19
รูปที่ 2.12 หม้อแปลงความถี่สูง	20
รูปที่ 2.13 Center trap Rectifier	21
รูปที่ 2.14 Center tap Rectifier หลังนำไดโอด 2 ตัวต่อวงจรกัน	21
รูปที่ 2.15 วงจรเรกติไฟเออร์จากโปรแกรมจำลอง	22
รูปที่ 2.17 คุณลักษณะของSchottky Diode	23
รูปที่ 2.18 Silicon Carbide Schottky Diode จากบริษัท ST	24
รูปที่ 2.19 Ripple voltage	24
รูปที่ 2.20 Switching loss & Conduction loss	25
รูปที่ 2.21 ช่วงเวลาการทำงานของสัญญาณแรงดันและกระแสที่เกิดจากการสวิตช์ของอุปกรณ์	26
รูปที่ 2.22 Power losses in V2V Charger	27
รูปที่ 2.23 Heat sink for Power MOSFET	28
รูปที่ 2.24 Structure of cooling by heatsink	29
รูปที่ 2.25 Digital Signal Processing	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XVI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.26 NodeMcu 12E (ESP8266)	31
รูปที่ 2.27 วงจรขับเคลื่อน DRIVER™	31
รูปที่ 2.28 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า Hall Effect Sensor	32
รูปที่ 2.29 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า	32
รูปที่ 2.30 EV Support for V2H&V2G	33
รูปที่ 2.31 Nissan LEAF	33
รูปที่ 2.32 พอร์ตสำหรับชาร์จ Nissan LEAF(Left for DC, Right for AC)	34
รูปที่ 2.33 เพาเวอร์ปลั๊ก CHAdeMo สำหรับชาร์จ Nissan LEAF ระดับ 3 DC fast Charging	35
รูปที่ 2.34 Vehicle to Home System for Nissan LEAF	35
รูปที่ 2.35 Vehicle to Home Diagram	36
รูปที่ 2.36 Vehicle to Home Diagram Nissan Converter Box	36
รูปที่ 2.37 Cloud Computing Model	36
รูปที่ 2.38 Using Cloud to manage data of V2V user	37
รูปที่ 2.39 Big Data	37
รูปที่ 2.40 Internet of Things	38
รูปที่ 2.41 Using IOTs for V2V charger	38
รูปที่ 2.42 หน้าแสดงผลของแอปพลิเคชันใน Smartphone	39
รูปที่ 2.43 System diagram of APPLICATION FOR ELECTRIC VEHICLE	40
รูปที่ 2.44 V2G (Vehicle to Grid)	40
รูปที่ 3.1 Overview V2V charger Project	42
รูปที่ 3.2 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นมา	43
รูปที่ 3.3 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นในโปรแกรมจำลอง	43
รูปที่ 3.4 อินเวอร์เตอร์	44
รูปที่ 3.5 แรงดันและกระแสในอินเวอร์เตอร์	45
รูปที่ 3.6 กราฟกระแสและแรงดันของวงจรเรโซแนนซ์	45
รูปที่ 3.7 แกนเฟอโรไรต์สำหรับหม้อแปลงความถี่สูง	47
รูปที่ 3.8 กราฟสำหรับหาค่า B จาก Fs	47
รูปที่ 3.9 UC 93/76/16	48
รูปที่ 3.10 American wire gauge (AWG TABLE)	50
รูปที่ 3.11 วงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกลาง	52
รูปที่ 3.12 SiC Schottky Diode	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XVII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.13 กราฟกระแสและแรงดันของไดโอดในวงจรเรกติไฟเออร์	53
รูปที่ 3.14 Voltage-Current Graph for Output	54
รูปที่ 3.15 Gate Driver & DC Converter	55
รูปที่ 3.16 Current Sensor	55
รูปที่ 3.17 Voltage Divider Circuit for Detecting Voltage	55
รูปที่ 3.18 DSP Model TMS320f28335	56
รูปที่ 3.19 DSP Board Connecting with CAN WAVESHARE	56
รูปที่ 3.20 NodeMCU working process	56
รูปที่ 3.21 การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้การปรับความถี่	57
รูปที่ 3.22 ไดอะแกรมการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	58
รูปที่ 3.23 การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	58
รูปที่ 3.24 Signal Graph for driving gate	58
รูปที่ 3.25 Power losses in V2V Charger	59
รูปที่ 3.26 Switching loss of SiC MOSFET	60
รูปที่ 3.27 Open Circuit Test	62
รูปที่ 3.28 Short Circuit Test	62
รูปที่ 3.29 Cargo in Nissan Leaf 2018	63
รูปที่ 3.30 Electric Vehicle Battery Model for Source and Load	63
รูปที่ 3.31 วงจรกำลังจากโปรแกรมจำลอง	64
รูปที่ 3.32 บ็อบบินครอบแกนหม้อแปลง	64
รูปที่ 3.33 วงจรฝั่งปฐมภูมิ	64
รูปที่ 3.34 วงจรฝั่งทุติยภูมิ	65
รูปที่ 3.35 วงจร NODE MCU	65
รูปที่ 3.36 การปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า	65
รูปที่ 3.37 DIP Switch ปรับความถี่และกำลังไฟฟ้าติดตั้งบน DSP	66
รูปที่ 3.38 แผนผังการทำงานของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	66
รูปที่ 4.1 การทดลองสัญญาณควบคุมสวิตช์จากโปรแกรมจำลอง	67
รูปที่ 4.2 การทดสอบสัญญาณควบคุมสวิตช์จากวงจรกำลังที่สร้างขึ้นมา	67
รูปที่ 4.4 การทดสอบกระแสและแรงดันขาเข้าเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Source)	68
รูปที่ 4.5 การทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	68
รูปที่ 4.6 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XVIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.7 การทดลองวงจรซอร์ฟสวิทภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	69
รูปที่ 4.8 การทดสอบวงจรซอร์ฟสวิทภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	69
รูปที่ 4.9 การทดลองวงจรเรกติไฟเออร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	70
รูปที่ 4.10 การทดสอบวงจรเรกติไฟเออร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	70
รูปที่ 4.11 การทดลองกระแสและแรงดันขาออกจากเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Load)	70
รูปที่ 4.12 การทดสอบกระแสและแรงดันขาออกจากเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Load)	71
รูปที่ 4.13 การทดสอบแรงดันในการชาร์จของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	71
รูปที่ 4.14 การทดสอบการปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า	71



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	7
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับการชาร์จแต่ละระดับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	9
ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196	11
ตารางที่ 2.3 ส่วนระบายความร้อนกับอุณหภูมิและสัญลักษณ์	28
ตารางที่ 2.4 ความต้านทานความร้อนและสัญลักษณ์	28
ตารางที่ 2.5 ตารางสำหรับการเลือกแผ่นระบายความร้อน	29
ตารางที่ 3.1 ตารางสำหรับการเลือกแผ่นระบายความร้อน	45



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ณ ปัจจุบันการใช้งานรถยนต์เป็นจำนวนมากก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายด้าน อาทิ ปัญหาด้านมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนตามมา อีกทั้งความต้องการน้ำมันในตลาดโลกสูง ราคาน้ำมันจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนำไปสู่ภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคต ซึ่งจากที่กล่าวมาทำให้ปัจจุบันเทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ จำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า สาธารณะยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน เมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า และไม่ครอบคลุมในบางพื้นที่โดยเฉพาะเวลาที่ต้องเดินทางในระยะทางไกลๆ หรือทำให้ผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเกิดความวิตกกังวลระหว่างการเดินทางว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่จะเพียงพอในการเดินทางหรือไม่ หากไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ใกล้ อย่งไรก็ตามต้องคำนึงถึงปลั๊กไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะต้องเหมาะสมและสามารถใช้กับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้ โดยเชื่อมต่อกันระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 Andromeda EV Charging Service
(ที่มา : [https:// andromedapower.com/orca-inceptive/](https://andromedapower.com/orca-inceptive/))

การอัดประจุรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งต้องการเรื่องของเวลาและคุณภาพในการอัดประจุและมีการอัดประจุที่ได้มาตรฐาน โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในเรื่องการสร้างเครื่องอัดประจุพลังงานไฟฟ้าที่สามารถถ่ายโอนพลังงานระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้ภายใต้สมมติฐานการเข้าถึงโปรโตคอลการสื่อสารระหว่างสถานีชาร์จกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน รวมถึงออกแบบวงจรสำหรับการอัดประจุ อีกทั้งทำการศึกษาวงจรการควบคุมและระบบการสื่อสารของรถยนต์และเครื่องอัดประจุด้วย โดยเป้าหมายของการอัดประจุจะมุ่งเน้นที่ การอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า Nissan LEAF โดยภายในประกอบด้วย Battery Pack ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) โดยมีระดับแรงดันอยู่ที่ 400 โวลต์และมีความจุที่ 104 แอมป์ชั่วโมง

โดยผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องอัดประจุที่มีคุณสมบัติดังนี้

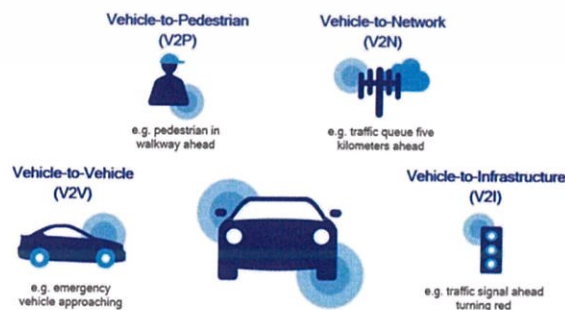
1. เป็นเครื่องอัดประจุแบบเตออร์รี่ที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียว โดยดัดแปลงจากวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter
2. เครื่องอัดประจุสามารถอัดประจุอย่างรวดเร็ว การอัดประจุมีพิกัดกระแส 5 แอมแปร์ พิกัดแรงดันที่ 400 โวลต์ ทำให้ได้พิกัดกำลัง 2 กิโลวัตต์
3. มีแอปพลิเคชัน V2V Charger สำหรับเครื่องอัดประจุแบบเตออร์รี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบพกพาไว้กระโปรงหลังรถส่วนบุคคล

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าแบบพกพาได้นี้ สามารถทำให้ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเข้าถึงกันได้ และนำไปใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา เพียงมีแบตเตอรี่เพียงพอในการจ่ายไฟให้กัน ก็จะช่วยลดปัญหาเรื่องของสถานีชาร์จที่มีไม่ครอบคลุมและลดความวิตกกังวลของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าลงได้ และอาจทำให้คนหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยกันมากขึ้น ซึ่งจากตัวอย่างของบริษัท ORCA Inceptive ประเทศสหรัฐอเมริกา ในรูปที่ 1.1 ได้นำวิธีการดังกล่าวมาให้บริการแก่ประชาชน พร้อมทั้งมีแอปพลิเคชันที่สร้างเป็น Platform ในการเรียกใช้งานและชำระเงินสำหรับการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยมี Application ไว้ให้ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าค้นหาบริการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่ เพื่อเรียกใช้งานและจ่ายเงินแลกกับแบตเตอรี่



รูปที่ 1.2 บริษัท RAC EVRescueService บริการชาร์จ รถยนต์ไฟฟ้าที่เรียกใช้ (ที่มา : <http://www.evrescue-service-launched-rac/>)

ในรูปที่ 1.2 เป็นตัวอย่างของบริการชาร์จไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้าในสหราชอาณาจักร ประเทศอังกฤษ เมือง Birmingham โดยบริษัท RAC ทำการติดตั้งเครื่องจ่ายไฟให้แบตเตอรี่ของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ไว้ในรถตู้ที่ขับมา ซึ่งทำให้ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเดินทาง อย่างอุ่นใจ เมื่อเดินทางไปไหนมาไหนในเมือง Birmingham สามารถเข้ามาใช้งานในระหว่างเดินทางได้ นอกจากนี้ทางบริษัท RAC ยังวางแผนที่จะให้บริการนอกเมืองเพิ่มอีกด้วย



รูปที่ 1.3 Concept of V2X Technology

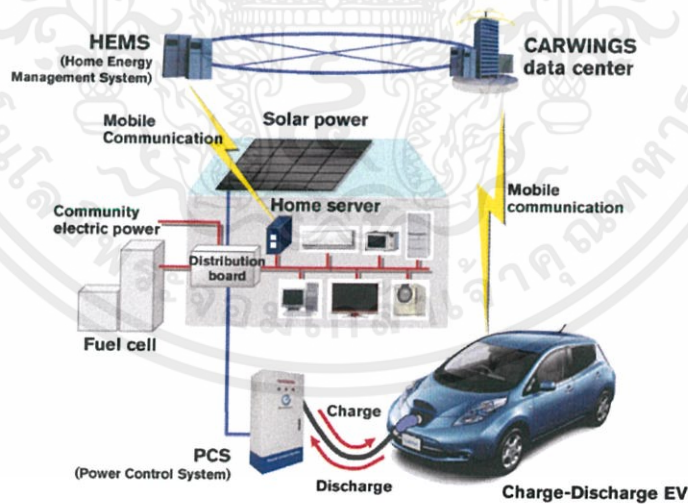
(ที่มา : <https:// ittop.cz/map99>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีภา 2 มาไปใช้

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในบริษัทต่างๆ อาทิ Nissan, Mitsubishi, Hyundai, Toyota เห็นว่า V2V เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีใหม่ที่ควรพัฒนาให้ก้าวล้ำ โดย V2V จัดอยู่ในองค์ประกอบของ V2X (Vehicle to Everything) การสื่อสารระหว่างยานพาหนะถึงสิ่งอื่นๆ โดย V2X ประกอบด้วย V2V, V2D, V2P, V2H, V2G และ V2I ดังรูปที่ 1.3

การทำงานของ V2V Charger ในงานวิจัยชิ้นนี้ จะมีความคล้ายคลึงกับเทคโนโลยี V2H (Vehicle to Home) ที่มีหลักการจ่ายไฟฟ้าให้กับบ้านเมื่อยามฉุกเฉินหรือไฟดับ แต่ V2V Charger (Vehicle to Vehicle Charger) เป็นการให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า และให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าอีกคันที่ต้องการไฟฟ้า เป็นโหลดตัวรับ

ตัวอย่างที่เห็นจากประเทศสหรัฐอเมริกา นำเทคโนโลยีนี้มาใช้เนื่องจากเหตุภัยพิบัติเฮอริเคนแซนดี้เข้าถล่มชายฝั่งตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเหตุให้หลายเมืองไม่มีไฟฟ้าใช้ อันส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือน และอีกกรณีการใช้คือ เรื่องของอัตราค่าไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น การชาร์จแบตเตอรี่ใส่รถยนต์ไฟฟ้าไว้ตอนกลางคืน ที่มีอัตราค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าตอนกลางวัน จากนั้นปล่อยไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์ในตอนกลางวันให้กับบ้านในช่วงค่าไฟฟ้าที่สูง ด้วยเหตุนี้จะช่วยประหยัดและลดภาระค่าไฟฟ้าในบ้านได้มาก จากกรณีตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแบตเตอรี่ในรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่นอกจากจะใช้ขับเคลื่อนให้รถแล้ว ยังสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าในยามจำเป็นได้เช่นกัน ในงานวิจัยนี้ V2V Charger จะเป็นการนำเทคโนโลยี V2H มาประยุกต์ใช้ โดยออกแบบเครื่องแปลงไฟฟ้าระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้ากับบ้าน ให้เป็นเครื่องแปลงไฟฟ้าระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้ากันเอง ที่มีน้ำหนักเบา เหมาะแก่การติดตั้งไว้ที่หลังรถของผู้ใช้ มีการทำงาน โดยทำการหลอกตัวรถยนต์พลังงานไฟฟ้าว่ากำลังจ่ายไฟฟ้าให้กับบ้าน แต่ในความเป็นจริงกำลังจ่ายไฟฟ้าให้กับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าอีกคัน เทคโนโลยีนี้จะสามารถนำเราสู่ยุคใหม่ของการเชื่อมต่อระหว่างคนกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ให้เข้าถึงกันได้มากขึ้นและสะดวกสบายมากขึ้น

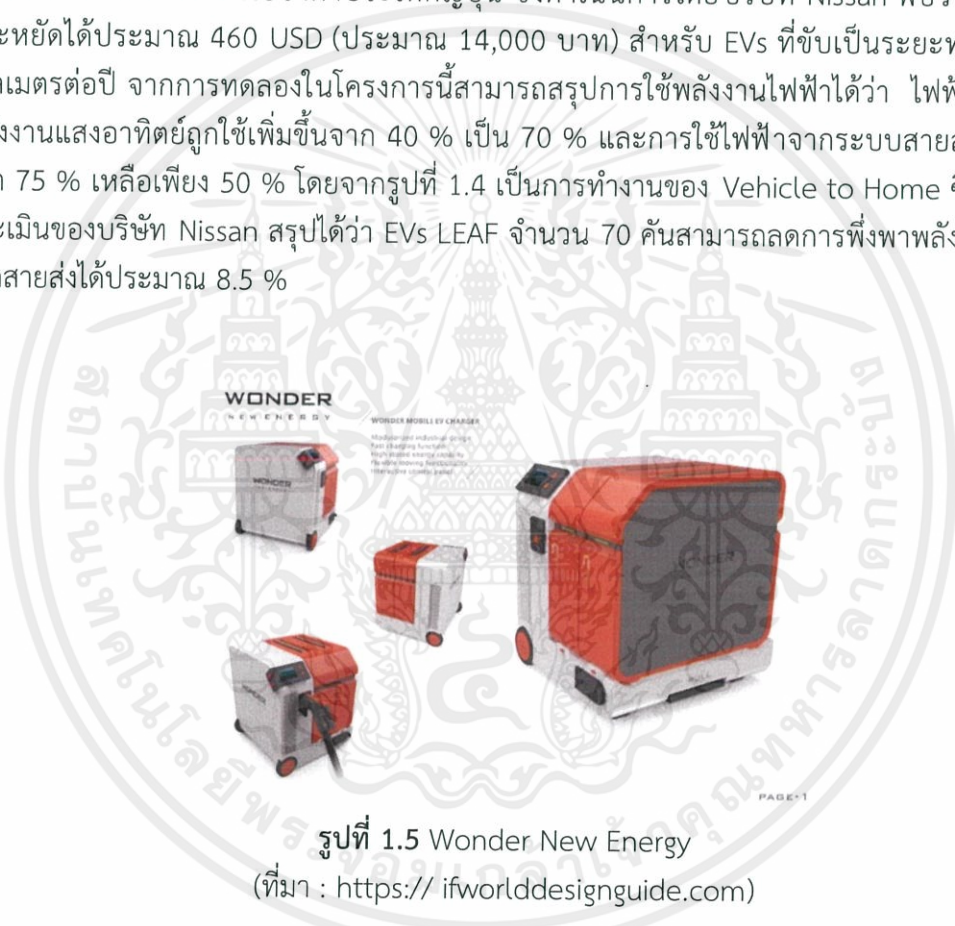


รูปที่ 1.4 การทำงานของ Vehicle to Home (V2H)

(ที่มา : <https:// ittop.cz/map99>)

หลังจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ที่ Fukushima ประเทศญี่ปุ่น บริษัททางด้านรถยนต์ต่างๆ มีแนวคิดที่จะใช้ระบบ V2H ขึ้นมาโดย บริษัท Nissan ได้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น “ LEAF Nismo” เพื่อรองรับการใช้ระบบ V2H นอกจากนี้จะใช้ EV สำหรับเป็นอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกา 3 มาไปใช้

บ้านแล้ว EV ยังสามารถต่อระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar roof top) เพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าไปแบตเตอรี่ใน EV เมื่อเวลากลางวัน EV จะจอดอยู่พร้อมทั้งชาร์จไฟฟ้าเข้าใน EV ผ่านระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อแบตเตอรี่ของ EV เต็ม "LEAF" สามารถจ่ายไฟฟ้าเพื่อใช้ในบ้านเรือนที่ญี่ปุ่นได้เกือบ 2 วัน นอกจากนี้การที่รถยนต์ทั่วไปจอดอยู่กับที่คิดเป็น 95% ในแต่ละวันประกอบกับความหลากหลายของแหล่งพลังงานสะอาดที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้น ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) กับระบบ EVs ที่ใช้ตามบ้านเรือนจะดูเป็นอะไรที่เหมาะสมกันมาก ระบบ V2H นั้นจะเพิ่มศักยภาพในการใช้ EV ให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากบ้านเรือนที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไว้ในรถยนต์ส่วนตัวและสามารถดึงพลังงานไฟฟ้ามาใช้ภายในบ้านได้ตามต้องการหรือเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินหรือไม่คาดฝันขึ้น โครงการตัวอย่างของระบบ V2H นี้ได้ดำเนินการใช้ที่โอซาก้าประเทศญี่ปุ่น ซึ่งดำเนินการโดยบริษัท Nissan พบว่า สามารถประหยัดได้ประมาณ 460 USD (ประมาณ 14,000 บาท) สำหรับ EVs ที่ขับเป็นระยะทาง 7,000 กิโลเมตรต่อปี จากการทดลองในโครงการนี้สามารถสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ว่า ไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ถูกใช้เพิ่มขึ้นจาก 40 % เป็น 70 % และการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งกลางลงจาก 75 % เหลือเพียง 50 % โดยจากรูปที่ 1.4 เป็นการทำงานของ Vehicle to Home ซึ่งจากการประเมินของบริษัท Nissan สรุปได้ว่า EVs LEAF จำนวน 70 คันสามารถลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งได้ประมาณ 8.5 %



รูปที่ 1.5 Wonder New Energy (ที่มา : [https:// ifworlddesignguide.com](https://ifworlddesignguide.com))

จากรูปที่ 1.5 เป็นโปรเจค Wonder New Energy ที่ได้นำ Technology ของ V2V Charger มาใช้งาน โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลักในทวีป Asia, Australia, Europe, North America เครื่องมีขนาดเล็กสามารถขึ้นแบบกระเป๋าเดินทางได้ ชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าได้แบบ DC quick charge เพียง 20 นาที รถก็สามารถวิ่งไปได้ไกล 30-60 กิโลเมตรไปนอกจากนี้ยังมีแผนวางขายในปี 2018 นี้

ในโครงการนี้เราจะประยุกต์ใช้วิธีการของ V2H ที่ให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายไฟฟ้าออกมาได้ แต่ทำการออกแบบและประยุกต์ให้เหมาะกับการพกพาไว้ในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า และสร้าง Application เป็น Community ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเรียกใช้บริการต่างๆ ค้นหาบริการชาร์จได้สื่อสารกันได้ เหมือนรถยนต์บริการของบริษัท Grab ซึ่งเราจะมุ่งเน้นที่รุ่น "LEAF" ของ บริษัท นิสสัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีภา 4 นำไปใช้

และระหว่างการชาร์จ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและคอยดูกระบวนการชาร์จไฟ ตั้งแต่ก่อนชาร์จ จนถึง การชำระเงินทั้งหมดที่ผ่านธนาคารออนไลน์ โดยรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าร่วมกับระบบของเราจะถูกติดตั้ง เครื่องชาร์จไฟระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ไว้ที่โรงรถหลังของท่านที่ช่องเก็บสัมภาระ พร้อมดาว โหลดและสมัครเว็บไซต์แอปพลิเคชัน เพื่อจัดการกระบวนการชาร์จไฟทั้งหมด และนอกจากนี้เราให้ Application นี้ เข้าถึงผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าทั่วไปที่ต้องการการชาร์จไฟระหว่างทาง เมื่อ แบตเตอรี่หมดเข้ามาใช้งานใน Community ของเรา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter และวงจร ควบคุม ในเครื่องชาร์จประจุระหว่างแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อออกแบบจำลอง เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และนำไปประยุกต์ใช้กับ Internet of Things ประเภทธุรกิจหลัก ในการสร้าง Application ที่เป็น Platform ให้ผู้ใช้เข้าถึงได้และสะดวก
2. เพื่อศึกษากระบวนการในการชาร์จไฟและดิสชาร์จไฟของระบบ EV Charging บน รถยนต์พลังงานไฟฟ้า Nissan LEAF
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Power Plug CHAdeMO ที่เหมาะมาใช้ในการชาร์จ แบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจการทำงานของวงจร Isolated Resonant DC Converter และวงจรควบคุม ในเครื่องชาร์จประจุระหว่างแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
2. เข้าใจการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Application ของการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่าง รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ร่วมกับ Internet of Things
3. รณรงค์สนับสนุนการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อลดปัญหาฝุ่น PM 2.5
4. เพื่อลดความกังวลของผู้ขับขีรถยนต์ไฟฟ้าในการเดินทางไกล หรือต่างถิ่น
5. สร้างรายได้ให้กับผู้ที่ต้องการทำบริการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า

1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในการศึกษาระบบการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษการสร้างเครื่องอัดประจุที่มีระบบการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยมุ่งเน้นให้ควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถคันแรกไปแบตเตอรี่รถคันสอง และสร้าง แอปพลิเคชัน ที่สามารถเรียกใช้บริการและค้นหา หรือพูดคุยต่ออรรถราคาต่างๆ ทั้งควบคุมการชาร์จ ไฟและจ่ายเงินแบบธนาคารอิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์ ผ่านทาง Application และออกแบบสร้างเครื่อง ชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า ที่พกพาได้ น้ำหนักเบา ใส่หลังรถยนต์ Nissan Leaf ได้ โดย การสร้างระบบบริการชาร์จประจุระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าของเราจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังแสดงใน รูปที่ 1.6 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1.4.1 Hardware (V2V Charger Portable Box)

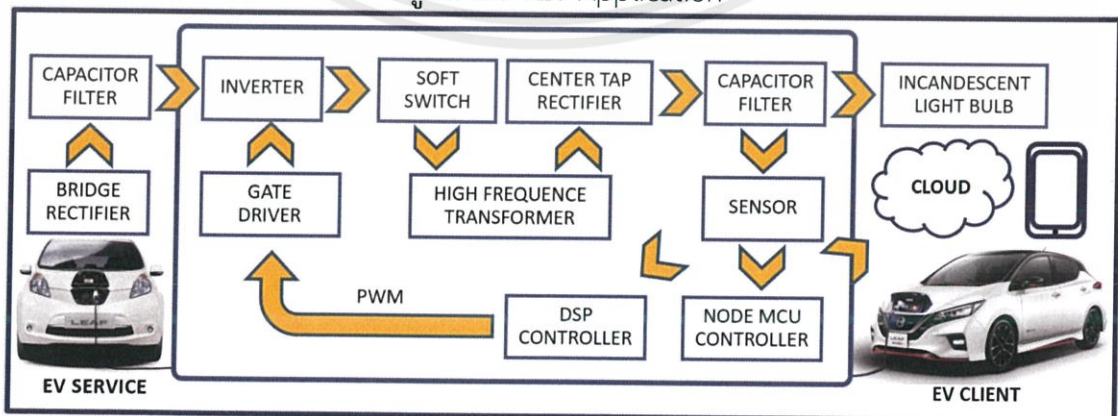
Hardware (V2V Charger Portable Box): เป็นการมีส่วนเครื่องเครื่องชาร์จประจุระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีน้ำหนักเบา สามารถใส่ไว้กระโปรงหลัง Nissan Leaf ได้ ซึ่งเครื่องจะเป็นวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter และวงจรควบคุม, รวมถึง Power plug ปลั๊กสำหรับชาร์จชุดคิทจำลอง (CHAdEMO)

1.4.2 Software (V2V Charger Application)

Software (V2V Charger Application): นำเสนอ Demo Application สำหรับเป็น Concept ในการติดตั้งบน Smart Phone ซึ่งทำหน้าที่นำข้อมูลการชาร์จไฟ และ ข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้งานผู้ให้บริการทั้งหมด มาแสดงบน Web application และควบคุมการจ่ายเงินที่ผ่าน API ของธนาคารและการชาร์จไฟ นอกจากนี้ ยังมีระบบ Community ไว้ด้วยเพื่อให้ทุกคนเข้าถึงกันได้ อีกทั้ง ยังทำหน้าที่เป็น Platform ในการยืนยันต่างๆ ซึ่งนำไปบันทึกข้อมูลไว้ที่ Cloud ทั้งนี้ Application เป็นส่วนหนึ่งใน Concept ของการให้บริการและรับบริการ ในส่วนที่ศึกษานั้น มุ่งเน้นถึงขั้นตอนการชาร์จประจุและรวมถึงการส่งข้อมูลขึ้นสัญญาณไร้สาย ผ่าน อุปกรณ์ Node MCU ไปยัง Cloud



รูปที่ 1.6 V2V Application



รูปที่ 1.7 V2V Charger Portable Box Concept

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีภา 6 มาไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆทั้งภายในประเทศและต่างประเทศพร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการทดสอบและออกแบบ โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2561 ถึง มีนาคม 2562 รวมเป็นเวลา 8 เดือน โดยมีแผนการดำเนินโครงการดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อกิจกรรม	เดือน							
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาคุณสมบัติ วิธีการทำงานและองค์ประกอบของวงจรในเครื่องประจุแบตเตอรี่								
2.ศึกษาการอัดประจุให้กันของแบตเตอรี่ในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า								
3.ศึกษาระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับเครื่องอัดประจุ								
4.ออกแบบวงจรไฟฟ้าและโครงสร้างของเครื่องอัดประจุรถยนต์พลังงานไฟฟ้า								
5. ทำเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมควบคุมการอัดประจุและทำแอปพลิเคชัน								
6.ทดสอบจ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า								
7. นำระบบที่ได้มาทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด								
8.ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอัดประจุรถยนต์พลังงานไฟฟ้าจากผลการทดสอบใช้งาน								
9.สรุปโครงการนำเสนองาน								
10.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกา7นำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะศึกษาหลักการพื้นฐานของการชาร์จไฟฟ้าให้แก่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า และการชาร์จไฟฟ้าระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าทั้งนี้การชาร์จให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีหลายระดับมาตรฐาน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและอธิบายลักษณะของการชาร์จแบตเตอรี่ระดับต่างๆ รวมถึงอธิบายองค์ประกอบของวงจร และหลักการทำงานที่ใช้ในการชาร์จและคายประจุไว้ นอกจากนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งถูกนำมาใช้ในการทำโครงการการประยุกต์ใช้ เครื่อง V2V Charger และ Application V2V Charger สำหรับการเรียกบริการและชำระเงินการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

2.2 ระดับการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

การชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้ามี 3 ระดับ โดยแต่ละระดับการชาร์จนั้น จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ชาร์จ ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) ระยะเวลาในการชาร์จ ค่าติดตั้งเครื่องชาร์จ และผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังนั้น เราจึงต้องศึกษาและเลือกระดับการชาร์จที่เหมาะสมกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการชาร์จและพลังงาน โดยอ้างอิงข้อมูลจาก ศูนย์เทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) โดยการชาร์จทั้ง 3 ระดับมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1 (Level 1 Charging) เป็นการชาร์จที่ใช้พลังงานไฟฟ้าระดับต่ำ โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 1 เฟส นิยมใช้หัวชาร์จตามมาตรฐาน SAE J1772 สามารถติดตั้งได้ในที่อยู่อาศัยทั่วไป อาทิ อาคาร บ้านเรือน เนื่องจากมีระดับแรงดันและกำลังไฟฟ้าต่ำ ทำให้ส่งผลต่อระบบไฟฟ้าต่ำด้วย ติดตั้งและชาร์จง่าย ข้อเสียคือ ใช้เวลาชาร์जनานกว่า 8 ชั่วโมง และมีกำลังในการชาร์जन้อยกว่า 2 กิโลวัตต์ในการชาร์จ

2.2.2 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2 (Level 2 Charging) เป็นการชาร์จที่ใช้พลังงานไฟฟ้าระดับปานกลาง ประมาณ 2 – 20 กิโลวัตต์ จึงใช้เวลาชาร์จเร็วกว่าการชาร์จระดับ 1 เป็นที่นิยมสำหรับการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากมีระดับพลังงานที่เหมาะสม สามารถติดตั้งในที่อยู่อาศัยทั่วไปและที่สาธารณะด้วย ข้อเสียคือ การควบคุมที่ยากกว่าเครื่องชาร์จระดับ 1 หากให้กระแสมากเกินไป ความร้อนจากการชาร์จจะส่งผลให้แบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าชาร์จได้

2.2.3 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 3

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 3 (Level 3 Charging) เป็นการชาร์จที่ใช้เวลาในการชาร์จเพียงไม่ถึง 1 ชั่วโมง ระดับแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่ใช้อาจเป็นการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงกำลังสูง ข้อเสียคือ ความร้อนจากการชาร์จก่อให้เกิดการชาร์จของแบตเตอรี่และการติดตั้ง ต้องติดตั้งที่สถานีชาร์จพลังงานไฟฟ้า เฉกเช่น ปั๊มเติมน้ำมันของรถยนต์ทั่วไป

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับการชาร์จแต่ละระดับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ระดับการอัดประจุ	จำนวนเฟสของไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาเข้า	เวลาในการอัดประจุ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระดับ 1	1 เฟส	1-2 กิโลวัตต์	8-14 ชั่วโมง	การติดตั้งเครื่องอัดประจุง่ายและใช้กำลังไฟฟ้าน้อย	ใช้เวลาในการอัดประจุมาก
ระดับ 2	1 เฟส	2-20 กิโลวัตต์	4-8 ชั่วโมง	มีระยะเวลาอัดประจุที่เร็วขึ้นและใช้กำลังไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม	ความร้อนจากการอัดประจุทำให้แบตเตอรี่เสื่อม
ระดับ 3	3 เฟส	มากกว่า 50 กิโลวัตต์	30 นาที	ระยะเวลาในการอัดประจุเร็วที่สุด	ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด

โดยการอัดประจุนยนต์พลังงานไฟฟ้าระดับ 3 มีมาตรฐานสากลของประเทศญี่ปุ่นคือมาตรฐาน CHAdeMO ที่จัดตั้งขึ้นเพื่อให้การอัดประจุที่รวดเร็ว (Quick Charger) ให้มีมาตรฐานเดียวกันภายใต้มาตรฐานสากล SAE J1772, IEC62196-2 Type1, UL/CE/PSE ซึ่ง CHAdeMO มีเครือข่ายอยู่ทั่วโลกซึ่งสมาชิกเป็นกลุ่มองค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่ายรถยนต์ต่าง ๆ บริษัทที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 มาตรฐานการชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ถือว่าเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ของตัวรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างพื้นฐานสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อชาร์จไฟรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐานระบบชาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีดังนี้

2.3.1 มาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission)

โดยปกติแล้วระบบไฟฟ้าที่ให้บริการในพื้นที่บ้านพักอาศัยจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่ระดับแรงดันใช้งานแตกต่างกันแต่ละประเทศ ซึ่งการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่ จะเป็นการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ (Nominal Charging) ซึ่งสำหรับการชาร์จไฟฟ้าตามสถานบริการสาธารณะ (Public Charging) หรือในสถานที่ต่างๆ ผู้ใช้บริการจะมีสัดส่วนการชาร์จไฟฟ้าแบบ Quick Charging มากกว่า Nominal Charge ทั้งนี้เครื่องชาร์จตามบ้านพักอาศัยและตามสถานบริการ อาจมีลักษณะแตกต่างกันด้วยลักษณะการชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ในมาตรฐานทั่วไปแล้วการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ เครื่องชาร์จจะชาร์จไฟฟ้า กระแสสลับ 1 เฟส ระดับแรงดัน 110-120 V หรือ 210-240 V ตามแต่ระดับดันที่ใช้ในแต่ละประเทศ การชาร์จแบบแรงดันปกติ ตัวอุปกรณ์อาจถูกจำกัดพลังงานในการชาร์จด้วยฟิวส์ที่ตัวปลั๊ก อาทิ 16 A หรือ 32 A เป็นต้น สำหรับการชาร์จแบบเร็วจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันสูง 400-600 Vdc ฟิวส์กระแสสูง 400 A ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วที่ใช้ฟิวส์กำลังไฟฟ้าสูง เพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้เร็วกว่าการชาร์จแบบแรงดันปกติ มาตรฐานที่ได้การยอมรับและถูก นำมาใช้ควบคุมคุณภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า คือ มาตรฐาน IEC

โดยมาตรฐาน IEC ได้กำหนดมาตรฐานการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าไว้ โดยมี มาตรฐาน IEC62196 ว่าด้วยมาตรฐานการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า คือ ปลั๊ก (Electrical Connector) และรูปแบบการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Mode of Charging) ซึ่ง มาตรฐาน IEC62196 เกิดขึ้นหลังจากที่ในประเทศต่างๆหันมาใช้ยานยนต์พลังงานไฟฟ้ามา ระยะเวลาหนึ่งแล้ว ภายในมาตรฐาน IEC62196 จะรวมลักษณะการชาร์จในประเทศต่างๆและจำแนก ประเภทไว้ โดยรูปแบบที่ถูกระบุใน มาตรฐาน IEC บอกรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการ เชื่อมต่อระบบไฟฟ้า ซึ่งคือ อุปกรณ์หัวต่อ (Connector) ที่ระดับแรงดันใช้งาน และตามมาตรฐาน IEC62196 แบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.3.1.1 IEC 62196-1

กล่าวถึงเรื่องทั่วไป เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสการใช้งาน การเชื่อมต่อ ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า การแบ่งประเภทอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์หัวต่อ การ ป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้า รายละเอียดการต่อลงดิน และฉนวนเป็นต้น โดยมีการระบุระบบไฟฟ้าที่ใช้ ในการชาร์จสูงสุดดังนี้

- 690 Vac, 50-60 Hz, 250 A
- 1,500 Vdc, 400 A

2.3.1.2 IEC 62196-2

กล่าวถึงรายละเอียดเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยระบุ ไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 500 Vac, 50-60 Hz, 63 A สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส
- 500 Vac, 50-60 Hz, 70 A สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส

2.3.1.3 IEC 62196-3

กล่าวถึงรายละเอียดเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและชนิด รวมโดยระบุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 1,500 Vdc, 250 A
- 1,000 Vac, 250 A

นอกจากมาตรฐาน IEC62196 ที่ระบุถึง รูปแบบการชาร์จ และมาตรฐานหัว ปลั๊กแล้ว ยังมีมาตรฐาน IEC 61851 ที่ใช้ระบุถึงการใช้สัญญาณในการควบคุมการชาร์จรถยนต์

พลังงานไฟฟ้าผ่านหัวปลั๊ก โดยปกติแล้วที่บริเวณจุดเชื่อมต่อหรือหัวปลั๊กของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เมื่อเชื่อมต่อปลั๊กไฟแล้ว จะมีแรงดันไฟฟ้า แต่สำหรับอุปกรณ์ในการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าจะมีพิกัดใช้งานสูง จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการจ่ายไฟฟ้ามาที่หัวปลั๊กในการชาร์จไฟฟ้า ซึ่งอิงตามมาตรฐาน IEC 62196

สำหรับการใช้งานทั่วไปของหัวปลั๊กในการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่หัวปลั๊ก จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็ต่อเมื่อสัญญาณจากขั้วสัญญาณ (Signal Pin) ที่อิงตามมาตรฐาน IEC61851 เท่านั้น มิเช่นนั้นเครื่องชาร์จจะไม่จ่ายไฟฟ้าออกมาที่หัวปลั๊ก และหากเครื่องชาร์จตรวจสอบสัญญาณจากขั้วสัญญาณอีกช่องสัญญาณหนึ่งได้ เครื่องชาร์จก็จะจ่ายกระแสไฟฟ้าตามค่าพิกัดของอุปกรณ์และสามารถกำหนดรูปแบบการชาร์จเฉพาะที่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าต้องการได้ ซึ่งอาจเป็นการชาร์จแบบแรงดันปกติ หรือแบบรวดเร็วก็ได้ จะเห็นได้ว่านอกจากขั้วสัญญาณที่ใช้ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของหัวปลั๊กแล้ว สัญญาณควบคุมนี้ จะเป็นตัวกำหนดค่าพิกัดในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วย

ทั้งนี้ มาตรฐาน IEC62196 เป็นมาตรฐานหลักสำหรับการกำหนดรูปแบบการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และมาตรฐาน IEC61851 เป็นมาตรฐานควบคุมกันที่ระบุสัญญาณควบคุมการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ทั้งผู้ผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้าและเครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้า จะต้องอ้างอิงถึงมาตรฐานดังกล่าวนี้ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตน

2.3.2 รูปแบบการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 – 1

สำหรับมาตรฐาน IEC 62196-1 ระบุถึงรูปแบบการชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าว่ามีรูปแบบใดบ้างและอุปกรณ์ต่างๆในการชาร์จ เช่น หัวปลั๊ก สายไฟฟ้า จะต้องเป็นแบบใด ใช้งานกับระบบไฟฟ้าอย่างไร เพื่อให้ผู้ผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์ชาร์จพลังงานไฟฟ้า อ้างอิงถึงมาตรฐานดังกล่าวนี้ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตน เพื่อให้ไปในแนวทางเดียวกัน โดยระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ระบุตามมาตรฐาน IEC 62196-1 มีในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 – 1

ชนิดระบบไฟฟ้า	แรงดันสูงสุดในการชาร์จ	พิกัดกระแสในการชาร์จ
กระแสสลับ 50-60 Hz	690c	250
กระแสตรง	1,500 Vdc	400 A

2.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม (Lithium Battery)

2.4.1 ที่มาของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแบตเตอรี่ลิเทียมเป็นแบตเตอรี่

ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นมาในปี ค.ศ.1970 โดยเริ่มมาจากการผลิตเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell) ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดเซลล์ปฐมภูมิคือแบตเตอรี่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยเหตุผลหลักที่ใช้ลิเทียมเป็นองค์ประกอบหลักเนื่องมาจากลิเทียม เป็นโลหะที่เบาที่สุดที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าได้สูงที่สุด โดยเมื่อเทียบความหนาแน่นของพลังงานแล้วถือว่ามีความหนาแน่นของพลังงานสูงในน้ำหนักที่เท่ากัน โดยเริ่มแรกโลหะชนิดลิเทียมมีข้อจำกัดในการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เนื่องจากโลหะลิเทียมมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีเป็นอย่างมากซึ่งทำให้อันตรายในการใช้สูง ภายหลังจากจึงได้มีการพัฒนา

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมให้อยู่ในรูปของลิเทียมไอออนแทนโลหะชนิดลิเทียม ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้น ภายหลังจากปี ค.ศ.1991 บริษัท Sony จึงเป็นผู้ที่นำ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนออกสู่ตลาดเป็นเจ้าแรก

โดยแบตเตอรี่ในเซลล์ของลิเทียมไอออนมีค่าความหนาแน่นทางพลังงานสูงกว่าเซลล์ชนิดนิเกิล แคดเมียม ถึง 2-3 เท่า จึงทำให้ปัจจุบันนี้แบตเตอรี่ในเซลล์ในแพคเกจแบตเตอรี่จึงใช้เพียงแคเซลล์เดียวก็สามารถให้พลังงานกับมือถือได้อย่างเพียงพอและไม่มีปัญหาเรื่องความจำของแบตเตอรี่ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องล้างแบตเตอรี่ (การใช้แบตเตอรี่ให้หมด) อย่างที่ต้องทำในแบตเตอรี่รุ่นก่อนๆ

โดยข้อจำกัดของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม คือมีความไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงต้องให้มีการจำกัดการใช้งานอยู่ในช่วงแรงดัน, อุณหภูมิ, และกระแส ที่เหมาะสม ดังนั้นภายในแพคเกจแบตเตอรี่จึงต้องมี วงจรจำกัดแรงดันสูงสุดและต่ำสุด วงจรป้องกันกระแสเกิน และวงจรวัดอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ไม่ให้เกิน

2.4.2 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ประเภทแรกคือ แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน (Lithium-ion Battery) ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นสารออกไซด์ผสมกับลิเทียม และประเภทที่สองคือ แบตเตอรี่โพลิเมอร์ซึ่งมีรายละเอียดแบ่งตามประเภทดังนี้

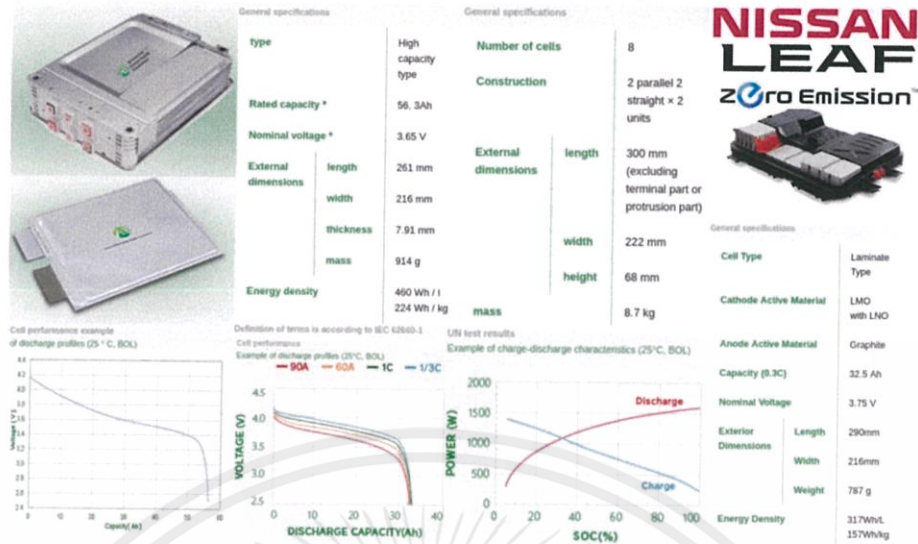
2.4.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้มีความมั่นใจได้ว่าจะมีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้งานสูง ดังเช่นที่เห็นในการใช้งานในปัจจุบันเช่น โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกันต่างๆ (Protection Circuits) เพื่อที่จะจำกัดแรงดัน จำกัดกระแส ขณะทำการอัดและคายประจุไฟฟ้า รวมไปถึงวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิว่ามีช่วงการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมหรือไม่ โดยข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ค่าดูแลรักษาต่ำ ไม่มีผลกระทบจากความจำของแบตเตอรี่ และมีผลจากการคายประจุของตัวเอง (Self Discharge) ต่ำ โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นการใช้งานกับพวกอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.4.2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ (Lithium-ion Polymer)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ.1970 โดยมีสองแบบคือแบบแข็ง และแบบแห้งคล้ายฟิล์มพลาสติก โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดโพลิเมอร์ มีความโดดเด่นในเรื่องของ ความบางและเบา นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการคงอายุการใช้งานที่ดี มีความปลอดภัยสูง แต่ข้อเสียก็คือมีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน และมีความหนาแน่นทางพลังงานที่ต่ำ

2.4.3 แบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า นิสสัน รุ่น LEAF NISMO 2018



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ของนิสสันรุ่น LEAF 2018

(ที่มา : <https://raydiall.com/cable-connectors-for-automotive>)

งานวิจัยนี้ได้เลือกตัวอย่างจากข้อมูลของแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า นิสสันรุ่นปี2018 มีจำนวนเซลล์ 192 เซลล์ มีความจุต่อเซลล์ 3.96V/Cell เมื่อทำการขนานกัน 96 Cell/Module บรรจุเป็นแบตเตอรี่แพค ที่ 350V 104Ah 40kWh

2.5 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุประจุแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Isolated Resonant DC-DC Converter)

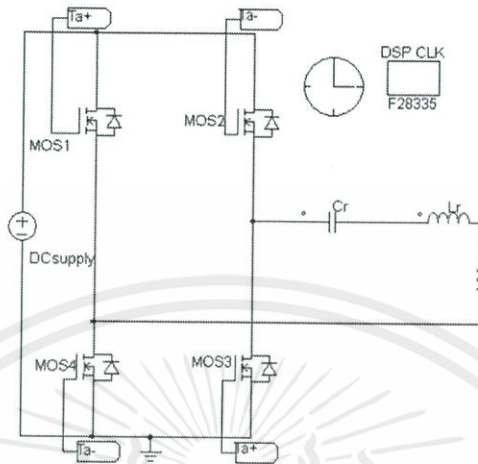
2.5.1 วงจรไฟฟ้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ คือ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC Converter) ทำงานโดยการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามขนาด และ ความถี่ที่ต้องการ แรงดันเอาต์พุตสามารถตั้งค่าให้คงที่หรือปรับค่าได้ตามต้องการที่ความถี่ใด ความถี่หนึ่ง หรือเปลี่ยนความถี่ไปก็ได้ หากต้องการเปลี่ยนแรงดัน เอาต์พุต ของอินเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ โดยการรักษาระดับอัตราการขยายของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ด้วยการคงค่าความถี่ แล้ว ปรับแรงดันอินพุต ในทางตรงกันข้าม หากคงค่าที่แรงดัน อินพุตแล้วเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของ อินเวอร์เตอร์ โดยการปรับค่าความถี่ ก็ สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน เอาต์พุต ได้เช่นกัน อัตราการขยายของอินเวอร์เตอร์สามารถหาได้จาก อัตราส่วนระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เอาต์พุตต่อค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ใน V2V Charger ประกอบด้วย Transistor ชนิด SiC MOSFET 4 ตัว

2.5.1.1 อินเวอร์เตอร์มอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation)

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งให้สามารถสร้างแรงดันขาออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ได้ จะใช้สัญญาณควบคุมเส้นตรง (linear control signal)

ตามความถี่ที่ต้องการมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveform) ซึ่งความถี่ในการสวิตช์จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม เรียกว่า การสวิตช์แบบพัลส์ความถี่เอม (Pulse width modulation : PWM) โดยมีค่าตัวแปรที่สำคัญดังนี้



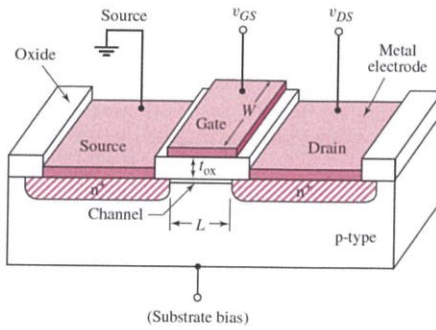
รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
(ที่มา : <https://electronics.stackexchange.com>)

2.5.1.2 มอ ส เฟ ต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)

มอ ส เฟ ต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor:

MOSFET) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการทำงานในลักษณะที่แปลงแรงดันเป็นกระแส กระแสที่ได้เป็นผลมาจากอิเล็กตรอน หรือโฮล ซึ่งเป็นพาหะข้างมาก (Majority Carrier) ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) หรือมอสเฟตชนิดพี (PMOS)

มอ ส เฟ ต แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ D-MOSFET (Depletion) และ E-MOSFET (Enhancement) แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแซนแนล n และ แบบแซนแนล p ซึ่ง “มอ ส เฟ ต” หรือ Metal oxide semiconductor field effect transistor เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นในช่วง ทศวรรษ 1970s ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ในยุคที่สองหลังจากที่ได้มีการสร้างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ (BJT) มาก่อนหน้านี้ แล้ว MOSFET เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าทรานซิสเตอร์ BJT ที่สามารถสร้างได้ง่ายกว่า BJT มาก และยังสามารถลดขนาดให้เล็กลงได้ จึงทำให้สามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้ นอกจากนี้การสร้างวงจรโดยใช้ MOSFET ไม่จำเป็นต้องใช้ ตัวต้านทานหรือไดโอด ช่วยในการไบอัสวงจร เหมือนกับทรานซิสเตอร์ BJT เนื่องจาก MOSFET สามารถทำงานได้โดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการไบอัส ซึ่งต่างจากทรานซิสเตอร์ BJT ที่ต้องใช้กระแส (การป้อนกระแส ซึ่งจะทำให้เกิดกระแส IB และ IC ตามลำดับ) ทำให้วงจรมอสเฟต มีขนาดเล็กกว่าวงจรมอสเฟต BJT ในการทำงานของมอสเฟต กระแสจะถูกควบคุมโดยการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าที่บริเวณพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำทั้งสองฝั่ง ปรากฏการณ์นี้ที่เคยมาใช้ในการมอดูเลตตัวเก็บประจุของสารกึ่งตัวนำ หรือการควบคุมกระแสในสารกึ่งตัวนำ โดยในการที่ป้อนสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับพื้นผิวนี้อาจจะเรียกว่า field effect



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N channel
(ที่มา : [https:// picclick.com/Power-transistor](https://picclick.com/Power-transistor))



รูปที่ 2.4 MOSFET

(ที่มา : <https:// picclick.com/Power-transistor>)

ย่านการทำงานของมอสเฟต

การแบ่งย่านการทำงานของมอสเฟตพิจารณาจากการจัดไบอัสของมอสเฟตซึ่งได้แก่ แรงดัน V_{GS} , V_{DS} และ V_T สามารถแบ่งช่วงการทำงานออกได้เป็น 3 ย่าน (Region) ดังต่อไปนี้
ช่วงคัทออฟ (Cutoff Region); ($V_{GS} < V_T$)

ช่วงคัทออฟ คือช่วงที่มอสเฟตไม่ทำงาน กรณีนี้จะไม่มีช่องทางเดินกระแสจึงทำให้มอสเฟต ไม่สามารถนำกระแสเดรน (I_D) ได้

$$I_D = 0$$

(2.1)

ช่วงเชิงเส้น (Linear Region); ($V_{DS} < V_{GS} < V_T$)

ช่วงเชิงเส้น เป็นช่วงที่แรงดันไบอัสที่ขาเกต และขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดันระหว่าง V_{DS} มีค่าน้อยกว่า $V_{GS} - V_T$ โดยสามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

$$I_D = k \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

(2.2)

ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region); ($V_{DS} \geq V_{GS} < V_T$)

ช่วงอิ่มตัวเป็นช่วงที่แรงดันที่ขาเกต และขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดัน V_{DS} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $V_{GS} - V_T$ สามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 15 มาไปใช้

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda V_{DS}) \quad (2.3)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความนำ (Transconductance Parameter) มีค่าเท่ากับ $\mu_0 C_{OX} W/L$ (A/V^2)

μ_0 คือ สภาพความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron Mobility) ($cm^2/V\text{-sec}$)

C_{OX} คือ ความจุไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของเกตออกไซด์ (Oxide Capacitance) (F/cm^2)

I_D คือ the drain current (A)

W คือ the channel width of the MOSFET (units of cm)

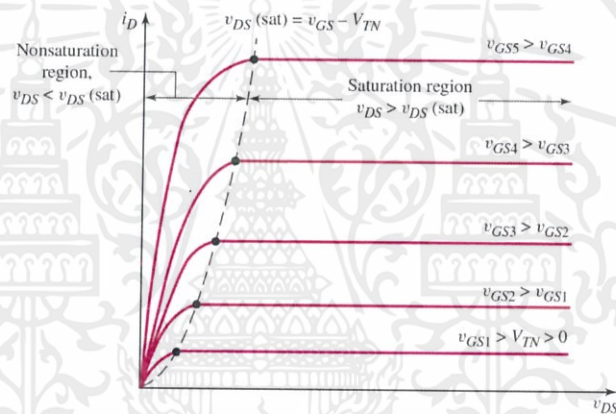
L คือ the channel length of the MOSPET (cm)

V_{GS} คือ the gate-to-source voltage (V)

V_{TH} คือ the threshold voltage (V)

V_{DS} คือ the drain-to-source voltage (V)

λ คือ แชนแนล เลนจ์ มอดูเลชัน (Channel Length Modulation) (V^{-1})



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic) ของมอสเฟตชนิด NMOS (ที่มา : <https://wkb-electric.com/>)

การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างสามอุปกรณ์ BJT's, MOSFET's และ IGBT' แสดงในรูปที่ 2.17

Device Characteristic	Power Bipolar	Power MOSFET	IGBT
Voltage Rating	High <1kV	High <1kV	Very High >1kV
Current Rating	High <500A	Low <200A	High >500A
Input Drive	Current 20-200 h_{FE}	Voltage V_{GS} 3-10V	Voltage V_{GE} 4-8V
Input Impedance	Low	High	High
Output Impedance	Low	Medium	Low
Switching Speed	Slow (μ s)	Fast (ns)	Medium
Cost	Low	Medium	High

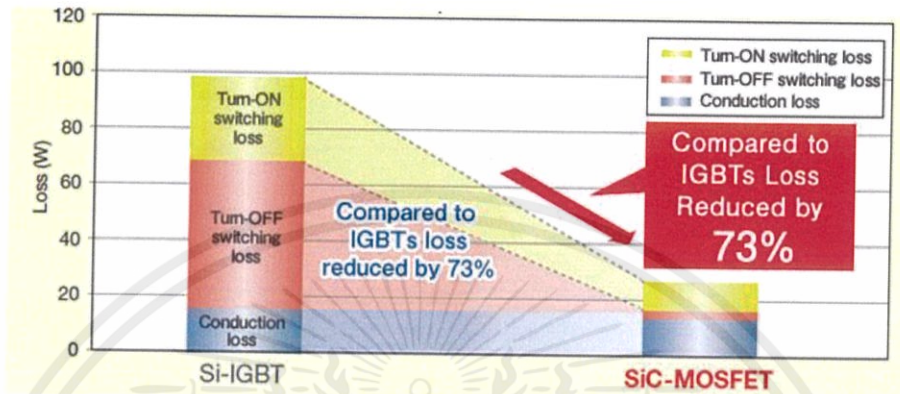
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบลักษณะของทรานซิสเตอร์ทั้งสามชนิด

(ที่มา : <http://ftm.futureelectronics.com/2015>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

จากการศึกษาอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ งานวิจัยชิ้นนี้ ต้องการใช้งานสวิตช์ที่ความถี่สูง เพราะต้องการให้ Passive Component (R,L,C) ในวงจรมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา เหมาะสมกับการใช้งาน และสามารถทนแรงดัน และกระแส ได้ดี จึงเลือก Silicon Carbide MOSFET (SiC MOSFET) ที่มีข้อดีของ Si MOSFET ทั่วไป และใช้งานในด้านแรงดันสูงได้ดีถึง 1,200 V และลดค่าความสูญเสียของอุปกรณ์ได้ถึง 73% โดย SiC MOSFET แสดงดังรูป



รูปที่ 2.7 Si IGBT VS SiC MOSFET

(ที่มา : <http://ftm.futureelectronics.com/2015>)

IXYS
X2-Class HiPerFET™
Power MOSFET

IXFH80N65X2
IXFK80N65X2

TO-264P (IXFK)

$V_{DSS} = 650V$
 $I_{D25} = 80A$
 $R_{DS(on)} \leq 38m\Omega$

TO-264P Outline

G = Gate
 S = Source
 D = Drain
 Tab = Drain

รูปที่ 2.8 SiC MOSFET Module บริษัท IXYS

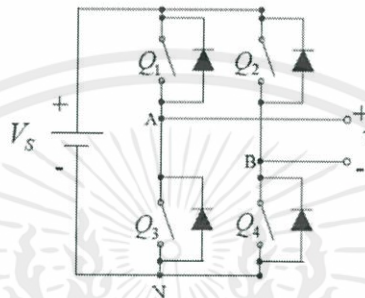
(ที่มา : <https://www.DigiKey.com>)

2.5.1.3 การควบคุมอินเวอร์เตอร์

เป็นการกำหนดรูปแบบการควบคุม คือการกำหนดรูปแบบการ เปิด / ปิด อินเวอร์เตอร์ การควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือที่นิยมเรียกกันว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) มีการนำไปใช้งานกัน หลากหลาย เช่น ใช้เป็นระบบจ่ายไฟสำรอง ใช้ใน การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์หรือนำไปใช้ ในรถยนต์เวลาเดินทางไปยังที่ๆ ไม่มีไฟฟ้าใช้ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่ต้องการสัญญาณแรงดัน เป็นรูปคลื่นไซน์ วิธีการควบคุมการสวิตช์ แบบพีดับเบิลยูเอ็ม นิยมใช้กัน โดยใช้วิธีการสร้างสัญญาณ ควบคุมรูปไซน์นำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการสร้างแหล่งจ่าย

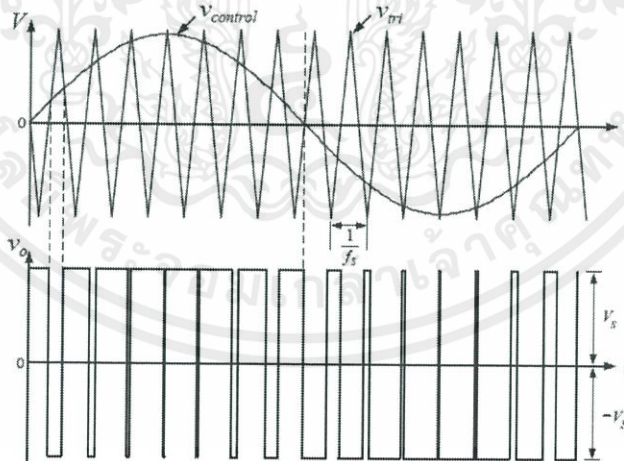
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การสวิตช์ แบบพีดับเบิลยูเอ็มแบ่งออกเป็น 2 แบบคือแบบไบโพลาร์ (Bipolar Voltage Switching) และแบบยูนิโพลาร์(Unipolar Voltage Switching)

การสวิตช์แบบไบโพลาร์การสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์คือการควบคุมให้สวิตช์แบบฟูลบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ การทำงานของสวิตช์ S1 ทำงานร่วมกับ S4 และ S2 ทำ งานร่วมกับ S3 เมื่อสัญญาณควบคุมรูปไซน์มีค่ามากกว่าสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สวิตช์ S1 และ S4 จะนำกระแสขนาดแรงดันเอาต์พุต V_0 มีค่าเท่ากับ V_S แต่ถ้าสัญญาณควบคุมรูปไซน์มีค่าน้อยกว่าสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สวิตช์ S2 และ S3 จะนำกระแสขนาดแรงดันเอาต์พุต V_0 มีค่าเท่ากับ V_S ภาพการสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์แสดงในภาพข้างล่าง



รูปที่ 2.9 การทำงานของสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์ (ที่มา : <https://it.mathworks.com>)

สิ่งที่ระบุน่า เป็นการสวิตช์แบบไบโพลาร์คือ มีการสวิตช์ของแรงดันระหว่างสาย (V_0 หรือ V_{AB}) ระหว่างขั้วหรือขั้วบวกกับลบ ความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ไหลตเท่ากับความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม



รูปที่ 2.10 การสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์ (ที่มา : <https://ta151601021.wordpress.com>)

2.5.2 ขอฟ สวิทซ์ซิ่ง (วงจรร LLC Resonance Tank)

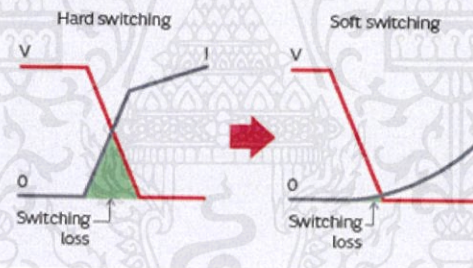
วงจรรที่ใช้สำหรับการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า นั้น จะต้องทำงานที่ความถี่สูง ทำให้มีกำลังสูญเสีย เนื่องจากการสวิตซ์ (Switching Losses) มีค่าสูงขึ้นตามความถี่ที่ปรับ

เพิ่มขึ้น ถ้าอุปกรณ์สวิตช์ทำงานแบบ ฮาร์ดสวิตช์ (Hard Switching) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำลง ดังนั้นเพื่อลดกำลังสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ดังกล่าว สามารถทำได้โดยการควบคุมให้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานแบบซอฟสวิตช์ซึ่ง หรือ เรียกว่า ทำงานภายใต้ สภาวะ ZVS (Zero Voltage Stage) หรือ ZCS (Zero Current Stage)

ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมาจากไหนบ้าง หากพิจารณาจะพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เครื่องจักรกลไฟฟ้า หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มักจะมาจากสาเหตุสำคัญ 2 สาเหตุหลัก คือ

1. ความร้อนเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความร้อนนี้จะมี ค่าแปรผันตามขนาดกระแสยกกำลังสอง และ ความต้านทานสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ $P=I^2 R$ เนื่องจากความร้อนในส่วนนี้จะเกิดเนื่องมาจากการนำกระแสตามปกติ เราจึงเรียกการสูญเสียไปเป็น ความร้อนในส่วนนี้ว่า Conduction Loss

2. ความร้อนเนื่องมาจากการกลับตัวไปมาของโมเมนต์ หรือการเคลื่อนไหวของโมเมนต์เนื่องมาจาก ความถี่ ความร้อนในส่วนนี้จะมีค่าน้อยขึ้นตามความถี่ ตัวอย่างของความร้อนในกรณีนี้ถ้าเป็นพวก เครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น พวมอเตอร์, หม้อแปลงไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิด ก็จะมี Loss ประเภท Hysteresis Loss แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์กำลังก็จะมี Loss ในส่วนนี้ เรียกว่า Switching Loss ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในตัวอุปกรณ์สวิตซ์สารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.11 Hard Switching VS Soft Switching
(ที่มา : <https://wkb-electric.com/>)

ขั้นตอนการคำนวณวงจรเรโซแนนซ์

ความถี่เรโซแนนซ์ $f_{sw} = f_r$ กำหนดให้ $X_L = X_C$

ต้องการเงื่อนไขคือ ZVS และ ZCS

เมื่อ Normalized Frequency (f_n) = $f_{sw} / f_r = 1$

สมการการหา Resonance Frequency

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ และ ค่าตัวเก็บประจุ ที่ความถี่เรโซแนนซ์

Step1 : หาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

$$(I)X_c = V$$

$$2\pi fC = X_c$$

(2.4)

Step2 : หาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \times f^2 \times C} \quad (2.5)$$

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบ Soft Switching ที่ใช้ความถี่ 50kHz จากสมการ Resonance Frequency

2.5.3 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทำงานโดยใช้หลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับหม้อแปลงมาตรฐาน ความแตกต่างหลักๆ ก็คือการใช้งานได้ในความถี่ที่สูงขึ้นขณะที่หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าส่วนใหญ่ทำงานที่ 50 หรือ 60 Hz เครื่องแปลงความถี่สูงใช้ความถี่ตั้งแต่ 20 KHz ถึง 1MHz การทำงานในความถี่ที่สูงขึ้นมีประโยชน์มากมายประการแรกคือขนาดที่สำหรับการให้พลังงานใดๆ ความถี่ที่สูงขึ้นจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีขนาดเล็กลง ประการที่สองเนื่องจากหม้อแปลงมีขนาดเล็กและต้องใช้สายทองแดงน้อยจึงช่วยลดการสูญเสียและช่วยให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้เนื่องจากแกนเป็นเฟอร์ไรต์โดยทั่วไปไม่มีรูปทรงเรขาคณิตที่หลากหลายเพื่อให้หม้อแปลงสามารถปรับแต่งสำหรับการประยุกต์ได้ ไม่ว่าจะมีการป้องกันเพิ่มเติมจึงเป็นโอกาสที่ดีที่แกนเฟอร์ไรต์มีอยู่เพื่อตอบสนองความต้องการอย่างไรก็ตามผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นเพราะมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็กและมีความหนาแน่นของพลังงานที่สูง ลดปัญหาต่างๆ เช่น ผิวและผลกระทบจากความใกล้ชิดเป็นเรื่องที่ต้องคิดกันเป็นอย่างมากเพื่อการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 2.12 หม้อแปลงความถี่สูง

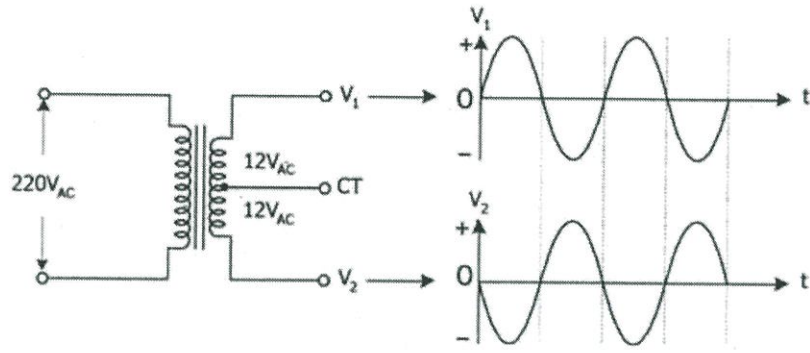
(ที่มา : [https:// eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=127](https://eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=127))

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงและพันหม้อแปลงรอบแกนเฟอร์ไรต์ ที่อัตราส่วน 1:1 โดยเริ่มจากการเลือกเบอร์ขดลวดที่ใช้พัน โดยที่ไม่ให้เกิดผล Skin dept ขึ้นที่ผิวตัวนำทองแดง เนื่องจากใช้ความถี่สูงถึง 50kHz และเลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่วัสดุรูปทรงเหมาะสมแก่การพันขดลวด โดยไม่เกิดค่าความสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ ซึ่งใช้ ชนิด UC Core และคำนวณหาน้ำหนักที่เกิดจากแกนเฟอร์ไรต์และขดลวด เพราะส่วนใหญ่ น้ำหนักโดยรวมของเครื่อง V2V Charger มาจากหม้อแปลงความถี่สูงนี้

2.5.4 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดมีแทปกกลาง (Full-wave Rectifier

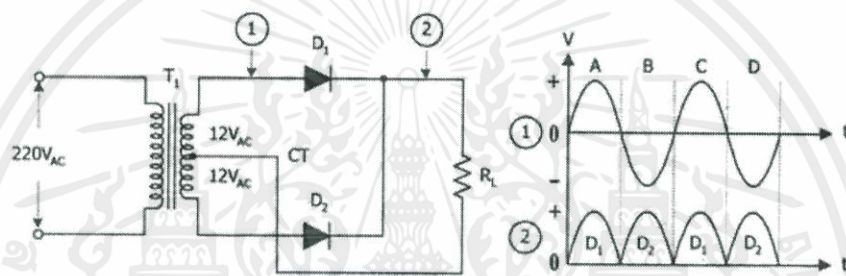
by Center Tap Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Center tap Rectifier

(ที่มา : <https://medium.com/hci-wvu/how-to-build-your-first-%C3%B0app-fe0c89d8f95f>)



รูปที่ 2.14 Center tap Rectifier หลังนำไดโอด 2 ตัวต่อวงจรกัน

(ที่มา : <https://www.electronicshub.org>)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกเอาท์พุทได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่อินพุทของวงจร โดยไม่มีส่วนใดของแรงดันไฟสลับถูกตัดทิ้งไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นสัญญาณไฟตรงโดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแทปกลาง (Center Tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดการต่างเฟสกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายกระแสได้เรียบและสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

หลักการทำงาน คือ เมื่อมีแรงดันไฟสลับ V_{IN} ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันไฟสลับขึ้นที่ขั้วบนและขั้วล่างของขดทุติยภูมิที่แทปกลางของหม้อแปลงจะกำหนดให้มีแรงดัน 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันครึ่งหนึ่งจึงเกิดที่แทปกลางกับขั้วด้านบนของหม้อแปลง และอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่แทปกลางกับอีกขั้วด้านล่างของหม้อแปลงโดยระหว่างขั้วด้านบนและขั้วด้านล่างจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำงานของวงจรเมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นบวก ขั้วล่างมีแรงดันเป็นลบไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสตรง นำกระแสมีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด R_L ไปครบวงจรที่ขั้วแทป ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่น

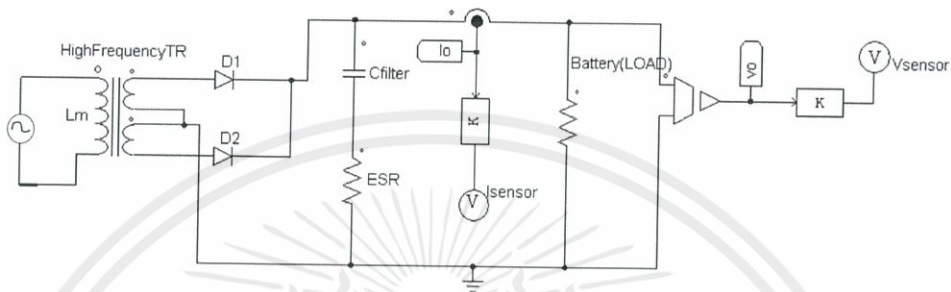
ในช่วงเวลาต่อมา ขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นลบ ขั้วล่างมีค่าแรงดันเป็นบวก ไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสกลับ ไดโอด D_2 ได้รับไบอัสตรงเกิดการนำกระแส มีกระแสไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี 21 นำไปใช้

ผ่านไดโอดผ่านโหลด RL ไปครบวงจรที่ชั่วแท้ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด RL เป็นคลื่นรูปไซน์ ครึ่งคลื่นด้านบวกปรากฏที่เอาต์พุต

หากอธิบายหลักการการทำงานอย่างง่าย คือ ในรูป output ของหม้อแปลง V1 และ V2 ในช่วงเวลาเดียวกันจะมีไฟฟ้าชิ่งตรงข้ามกัน และมี CT เป็น 0V และเมื่อหลังจากนำไดโอด 2 ตัวต่อวงจร จะทำให้ไดโอดแต่ละตัวสลับกันทำงานตามช่วงเวลาของตัวเองไปอัสตรง ทำให้ได้ output ออกมาตามกราฟล่าง (Full Wave) เป็นกระแสตรง ทั้งนี้รูปวงจร Full Wave by Center Tap ของ V2V Charger เป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.15 วงจรเรกติไฟเออร์จากโปรแกรมจำลอง (ที่มา : <https://www.electronicshub.org>)

2.5.5 SiC Schottky Diode

งานวิจัยนี้เลือกใช้ SiC Schottky Barrier Diode (SiC SBD) เนื่องจากมีค่า Reverse Recovery ต่ำ และทำงานเร็ว ทนค่าแรงดันและความถี่ได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น อาทิ SBD ที่มีหลายแบบทั้ง Fast SBD, Ultra Fast SBD ซึ่งมี Reverse Recovery สูง แต่ทนแรงดันได้ไม่เกิน 150 Volt และ SiC BD ที่สามารถทนแรงดันได้สูง แต่ Breakdown voltage ต่ำ จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ในงานนี้ การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดชนิดต่างๆ

Type	Reverse Recovery	Forward Voltage	Breakdown Voltage	Frequency
Si C SBD	Low	Low	High	High
Si C BD	High	Low	High	High
SBD (Ultrafast)	High	Low	Low	Low

รูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดชนิดต่างๆ

สมการกระแสที่ไหลผ่าน Schottky Diode

$$I = I_s \left(e^{V_D / (nV_T)} - 1 \right) \quad (2.6)$$

- เมื่อ I คือกระแสที่ไหลผ่านไดโอด
- I_s คือกระแสอิ่มตัวเมื่อทำการไบอัสกลับ
- V_D คือแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด

V_T คือค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน

n คือค่าตัวประกอบอุดมคติ (ideality factor) หรือค่าตัวประกอบคุณภาพ (quality factor) หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (emission coefficient) ทั้งนี้ค่าตัวประกอบอุดมคติมีค่าอยู่ที่ 1 ถึง 2 ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ ในหลายกรณีสามารถประมาณค่าเท่ากับ 1 ได้ (ดังนั้นค่า n จึงอาจถูกละไว้) ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน (thermal voltage) V_T มีค่าประมาณ 25.85 mV ที่อุณหภูมิ 300 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ แต่เราสามารถหาค่าดังกล่าวเมื่ออุณหภูมิอื่น ๆ ได้ จาก

สมการแรงดันที่ Schottky Diode

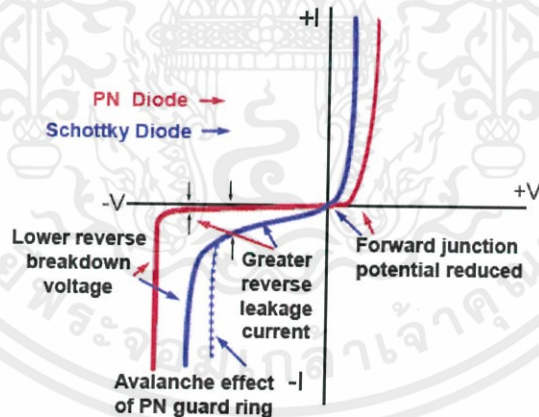
$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (2.7)$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์ มีค่าเท่ากับ $1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ที่รอบต่อ p-n

q คือประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602176487 \times 10^{-19} \text{ C}$

สมการของไดโอดชอทท์ทัก์ในอุดมคติหรือกฎของไดโอดนั้นเกิดมาจากการอ้างสมมติฐานของกระบวนการเกิดการกระแสไฟฟ้าในไดโอดว่า (เนื่องจากสนามไฟฟ้า) เป็นการลอยผ่าน, การแพร่, และการรวมความร้อนอีกครั้ง (thermal recombination-generation) นอกจากนี้ยังสันนิษฐานว่ากระแสจากการรวมตัวอีกครั้ง (recombination-generation: R-G) ในเขตปลอดพาหะไม่มีนัยสำคัญใด ๆ นั่นหมายความว่าสมการของไดโอดชอทท์ทัก์ไม่ต้องคำนวณผลของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายเมื่อกระแสนอนกลับและโพتونที่ช่วยให้เกิด R-G



รูปที่ 2.17 คุณลักษณะของ Schottky Diode

(ที่มา : <https://medium.com/hci-wvu/how-to-build-your-first-%C3%B0app-fe0c89d8f95f>)

การหาค่าแรงดันในวงจรเรียงกระแสชนิดแทปกลาง (ด้านบวก) โดยใช้ Schottky Diode ที่มี Voltage Drop อยู่ที่ 0.15V การคำนวณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสหาได้จาก

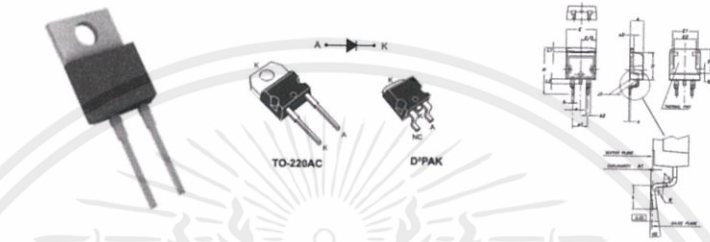
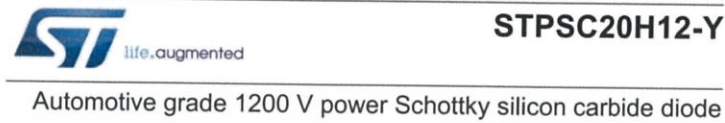
$$V_{dc} = 1.414V_{ac} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 23

เมื่อ V_{dc} = แรงดันขาออก (V)

V_{ac} = แรงดันขาเข้า (V)

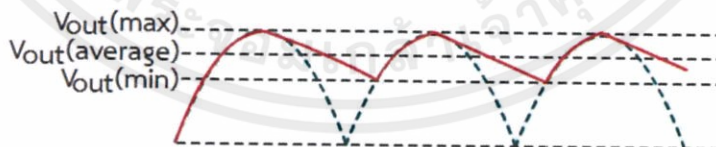
งานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้ SiC Schottky Diode ของบริษัท Infineon ที่สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูงกว่าชนิดทั่วไป และเป็นแบบ CoolSiC ที่ใช้เทคโนโลยีในการลดความร้อนตัวอุปกรณ์ได้ดี



รูปที่ 2.18 Silicon Carbide Schottky Diode จากบริษัท ST (ที่มา : <https://www.physicsforums.com/>)

2.5.6 C filter

ในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าและกรองแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของ Capacitor ซึ่งมีการเก็บประจุเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าและคายประจุ ให้กับโหลด (RL) เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ามามีค่าลดลง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียกว่าแรงดันริบเบิล (Ripple Voltage) ส่วนท้ายของวงจรจะมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมเอาท์พุททำให้กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบขึ้นอีก ซึ่งการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมนั้นหาได้จากสมการ V_{ripple} เนื่องจากต้องการให้ Output มีค่าเรียบมาก เหมาะแก่การชาร์จแบตเตอรี่ จึงควรใช้ $ripple = 2-5\%$



รูปที่ 2.19 Ripple voltage (ที่มา : <https://www.physicsforums.com/>)

สมการ Ripple Voltage

$$V_{ripple} = \frac{V_p}{2\pi fRC}$$

$$C = \frac{V_p}{2\pi f R (V_{\text{ripple}})} \quad (2.9)$$

เมื่อ V_{ripple} = แรงแดันริปเปิล (2-5%)

R = โหลดแบตเตอร์รีธ

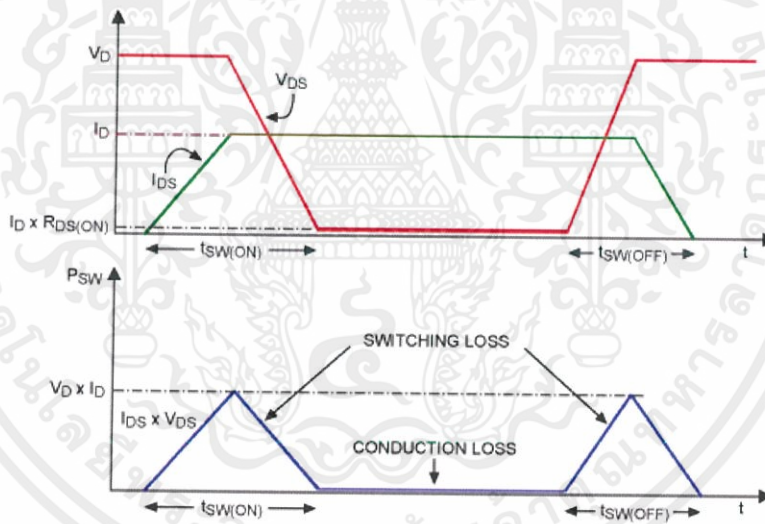
C = ตัวเก็บประจุที่นำมาคร่อม

F = ความถี่สวิตชิง

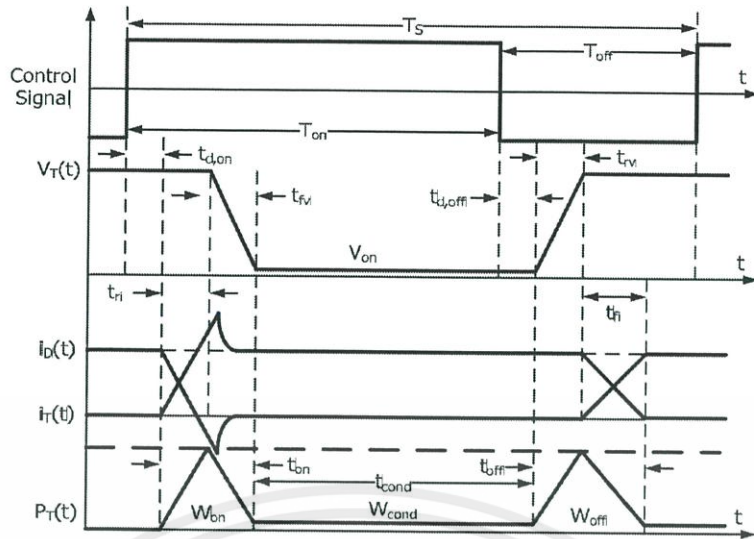
2.6 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าในวงจรกำลัง

2.6.1 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำ

การสูญเสียของอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำ เนื่องจากอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำมีกำลังการสูญเสียมากในขณะที่ Switch ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพ ของอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำ เช่น MOSFET หรือ IGBT มีค่าต่ำลง เนื่องจากอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำดังกล่าวต้อง ทำงานภายใต้การสวิตซิ่งที่ค่อนข้างสูง (ใช้กับความถี่สูง) จึงเกิดความร้อนได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีการเลือกใช้ อุปกรณ์ Switch และความถี่ที่เหมาะสมกับวงจรที่เราต้องการออกแบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ในงานวิจัยนี้จะพูดถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์สวิตซิ่งตัวนำ MOSFET



รูปที่ 2.20 Switching loss & Conduction loss
(ที่มา : <https://www.maximintegrated.com>)



รูปที่ 2.21 ช่วงเวลาการทำงานของสัญญาณแรงดันและกระแสที่เกิดจากการสวิตช์ของอุปกรณ์ (ที่มา : <https://www.maximintegrated.com>)

สำหรับการสูญเสียที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์สามารถแบ่งออกได้ 2 ช่วงดังนี้ ช่วงแรกเป็นส่วนของการ สูญเสียขณะนำกระแส (Conduction loss : $W_{loss,cond}$) และช่วงที่สองจะเป็นการสูญเสียขณะ Switching (Switching loss : $W_{s,loss}$) โดยการสูญเสียขณะ Switching จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองช่วงเวลาด้วยกัน คือ ช่วงเวลาขณะเริ่มนำกระแส (Turn-on loss : $W_{loss,on}$) และช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแส (Turn-off loss : $W_{loss,off}$)

2.6.2 การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แม่เหล็ก

การสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์แม่เหล็ก จะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกน (core loss) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในทองแดง (Copper loss) ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้ามรวมมีประสิทธิภาพลดลง 1-5%

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกน (Core loss) มี 2 ประการ คือ เนื่องจากฮิสเทอรีซิส และเนื่องจากกระแสไหลวนภายในแกน

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss)

เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นของแรงดันและกระแสด้านขาเข้าที่ป้อนให้สารแม่เหล็ก ซึ่งถ้าเลือกแกนหม้อแปลงที่มีค่าความขบซึมได้สูงๆ ก็จะทำให้ความสูญเสียนี้ลดต่ำลง

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current loss)

เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสที่ไหลวนในแกนหม้อแปลง ซึ่งสามารถลดความสูญเสียนี้ได้โดยเพิ่มค่าความต้านทานในจุดที่เกิดกระแสวน นั่นคือการแบ่งแกนเป็นแผ่นย่อยๆ หลายแผ่นแล้วมาประกบกัน (laminations) ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในแกนลดลง แต่ปกติมักใช้กับงานความถี่ต่ำ หากใช้กับงานความถี่สูงกว่า 50kHz แบบ V2V charger จะต้องใช้แกนเฟอร์ไรต์ เพราะแกนมีโครงสร้างแบบตัน จึงลดผลสูญเสียจากกระแสไหลวนได้เยอะ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในทองแดง (Copper loss) มี 2 ประการ คือ เนื่องจากความต้านทานกระแสดตรง (Winding DC loss) และ เนื่องจากความต้านทานกระแสสลับ (Winding AC loss)

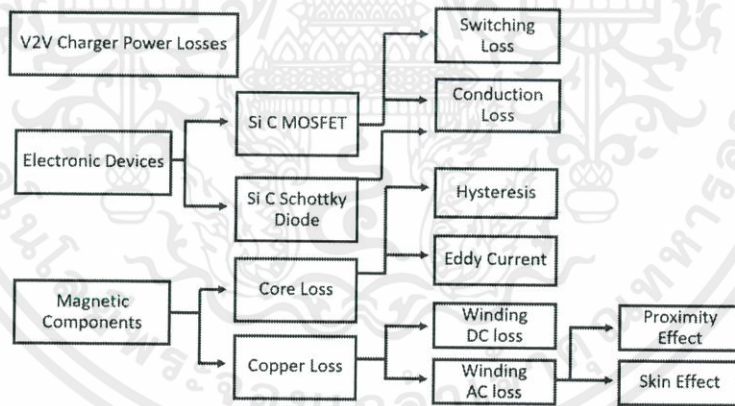
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานกระแสดตรง (Winding DC loss)

เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากค่าความต้านทานไฟฟ้าต่อค่าไฟฟ้ากระแสดตรงในสายตัวนำทองแดง เนื่องจากส่วนใหญ่สายตัวนำทองแดงที่ใช้จะนิยมใช้ทองแดงเป็นส่วนประกอบ โดยทั่วไปที่ความถี่ไฟฟ้าต่ำ 50-60 Hz จะมีความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง 450 A/Cm^2 แต่หม้อแปลงความถี่สูงจะใช้ความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดงสูงกว่าค่านี้มาก เพราะพื้นที่ระบายความร้อนมีค่ามากเพียงพอเมื่อเทียบกับความร้อนที่เกิดขึ้น

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานกระแสสลับ (Winding AC loss)

ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ จะแตกต่างจากความต้านทานไฟฟ้าตัวนำทองแดงที่ใช้เฉพาะไฟฟ้ากระแสดตรง เพราะสนามแม่เหล็กเกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำให้เกิดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในตัวทองแดง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดกระแสวนภายในทองแดง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางผิว Skin Effect ซึ่งเปรียบเสมือนกับการเพิ่มค่าความต้านทานในขดลวดทองแดง

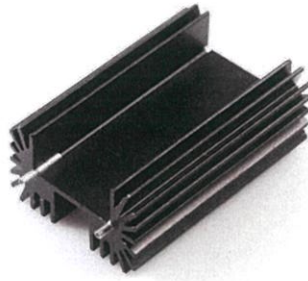
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสูญเสียในวงจรกำลัง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการชาร์จประจุมีค่าลดลงจากที่ควร ซึ่งการสูญเสียทางไฟฟ้าของวงจรกำลังส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆภายในวงจร โดยวิธีการคำนวณจะสามารถได้ดังนี้



รูปที่ 2.22 Power losses in V2V Charger

2.7 การระบายความร้อนและการออกแบบ

การระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหาย และทำงานผิดพลาด โดยอุปกรณ์ทั้งหลายจะเน้นพิเศษสำหรับอุปกรณ์สวิตชิงในงานวิจัยนี้ คือ SiC MOSFET ซึ่งการระบายความร้อนสำหรับอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีหลายวิธีการ เช่น การใช้น้ำไหลเวียนระบายความร้อน การใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อระบายความร้อน (Cooling Fans) หรือการใช้แผ่นระบายความร้อน (Heatsink)



รูปที่ 2.23 Heat sink for Power MOSFET
(ที่มา : <https://electronics.stackexchange.com>)

งานวิจัยชิ้นนี้ นำวิธีการระบายความร้อนใช้แผ่นระบายความร้อน (Heatsink) ในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบดังนี้

2.7.1 การออกแบบแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink Design)

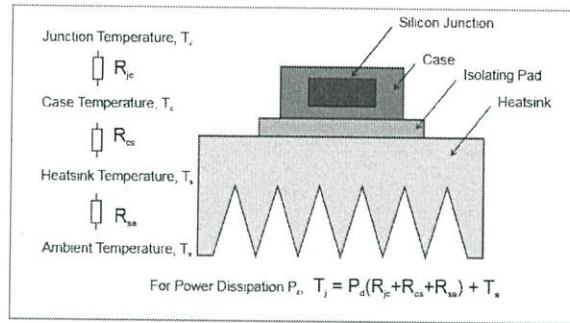
ตารางที่ 2.3 ส่วนระบายความร้อนกับอุณหภูมิและสัญลักษณ์

ส่วนระบายความร้อน	อุณหภูมิ (°C)	
	Name	Symbol
บริเวณรอยต่อ	Junction Temperature	T_j
บริเวณตัวถัง	Case Temperature	T_c
บริเวณแผ่นระบายความร้อน	Heatsink Temperature	T_s
อากาศบริเวณห้อง	Ambient Temperature	T_a

ตารางที่ 2.4 ความต้านทานความร้อนและสัญลักษณ์

ความต้านทานความร้อน (°C/W)	
ระหว่างส่วนประกอบ	Symbol
รอยต่อกับตัวถัง	R_{jc}
ตัวถังรอยต่อกับแผ่นระบายความร้อน	R_{cs}
แผ่นระบายความร้อนกับอากาศบริเวณห้อง	R_{sa}

การไหลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปความร้อนที่มีอุณหภูมิของแต่ละส่วนไม่เท่ากัน โดยการระบายความร้อนจะเริ่มต้นจากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในรูปล่าง



รูปที่ 2.24 Structure of cooling by heatsink
(ที่มา : <https://www.electronics-cooling.com/2005>)

$$T_j = P_d (R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}) + T_a \quad (2.10)$$

โดย ค่า P_d (Power Dissipation) คำนวณได้จากแรงดัน และกระแสของอุปกรณ์ชิ้นนั้น
ค่า R จะมีระบุในดาต้าชีทของอุปกรณ์ , ฮีทซิงค์ และขึ้นกับลักษณะการติดตั้งด้วย
ค่า T_{amb} กำหนดจากสภาพแวดล้อมการทำงาน
เมื่อได้ค่า R_{sa} ($^{\circ}C/W$, K/W) จากสมการข้างต้น นำไปเลือกชนิดของแผ่นระบายความร้อนได้จากตารางดังนี้

ตารางที่ 2.5 ตารางสำหรับการเลือกแผ่นระบายความร้อน

Heatsink NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_{sa} ($^{\circ}C/W$)	3.2	2.3	2.2	0	2.1	1.7	1.3	1.3	1.25	1.2	0.8	0.65
Vol (cm^3)	76	99	181	0	198	298	435	675	608	634	695	1311

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม

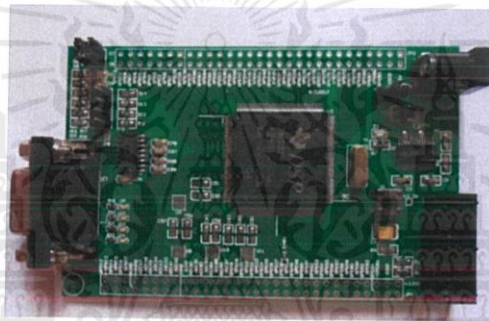
2.8.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อนสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัล ออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ (Port) อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดียว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือแทนที่ในการใช้งานจะต้องวางจรวดนอกต่างๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะทำการรวมวงจรถูกจำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุท/เอาต์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจร บางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลาวงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (Embedded Systems) วงจรควบคุมเป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากวงจรต่างๆ มาทำการ

ประมวลผล แล้วส่งสัญญาณออกไปเพื่อสั่งการวงจรขับเคลื่อน ในการควบคุมการทำงานของสวิตซ์ โดยงานวิจัยนี้ต้องการ การควบคุมแบบป้อนกลับสองค่าคือ ค่าของกระแสป้อนกลับและค่าของแรงดันป้อนกลับ จึงเลือกใช้ตัว ควบคุมแบบ DSP (Digital Signal Processing) ในการควบคุมและประมวลผล โดยจะควบคุม ให้มีรูปแบบการซารจสองรูปแบบคือซารจด้วยกระแสคงที่และการซารจด้วยแรงดันคงที่ โดยข้อมูล ป้อนกลับของกระแสจะรับข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแส และในส่วนของแรงดันไฟฟ้า ใช้หลักการ ของทฤษฎีการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) บนตัวต้านทานในการรับค่าแรงดันป้อนกลับเพื่อตรวจ ค่าแรงดันป้อนกลับเขา DSP โดยมีส่วนต่างๆของวงจรควบคุมดังนี้

2.8.1.1 DSP (Digital Signal Processing)

DSP (Digital Signal Processing) ย่อมาจาก Digital Signal Processing เป็น controller ที่ใช้ส่วนมากจะมีชุดคำสั่งที่ support คำสั่งที่เป็นการประมวลผลสัญญาณเข้าที่เป็น digital ภาษาที่ใช้ก็มักจะเป็น C โดยโครงงานนี้ใช้ DSP เป็น Controller หลักในการควบคุมสั่งการสวิตซ์การปล่อยกระแสของวงจรมันเอง จากนั้นนำค่าที่ได้แสดงผลบนหน้าจอ และแอปพลิเคชัน



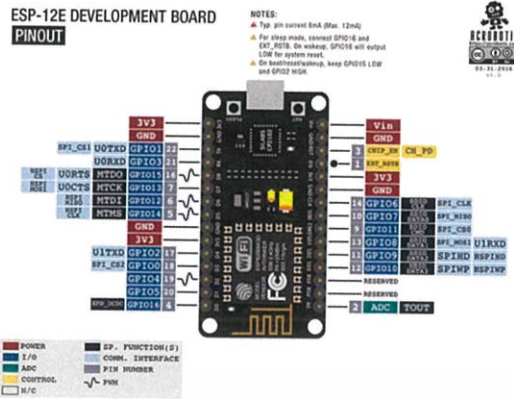
รูปที่ 2.25 Digital Signal Processing

(ที่มา : <https://medium.com/hci-wvu/how-to-build-your-first-%C3%B0app-fe0c89d8f95f>)

2.8.1.2 Node MCU

NodeMcu (ESP8266) เป็นโมดูล wifi ภายในมีเฟิร์มแวร์ทำงานในลักษณะ Serial-to-WiFi ที่ช่วยให้อุปกรณ์อื่นๆ เช่น MCU สามารถต่อเข้ากับ internet ได้โดยใช้ port serial (ขา Tx, ขา Rx) และใช้คำสั่ง AT ในการควบคุมการทำงาน ต่อมาผู้พัฒนาได้พัฒนาเฟิร์มแวร์ NodeMcu ให้เป็น platform และใช้ภาษา LUA ในการเขียนโปรแกรม ด้วยความที่เป็น platform ที่สะดวกต่อการใช้งาน ทางผู้พัฒนาจึงจับ NodeMcu (ESP8266) ใส่เป็นบอร์ดหนึ่งใน Arduino IDE ด้วยและได้พัฒนาให้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ปัจจุบัน IoT (internet of things) กำลังมาแรง ESP8266 จึงเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับนำมาพัฒนา IoT

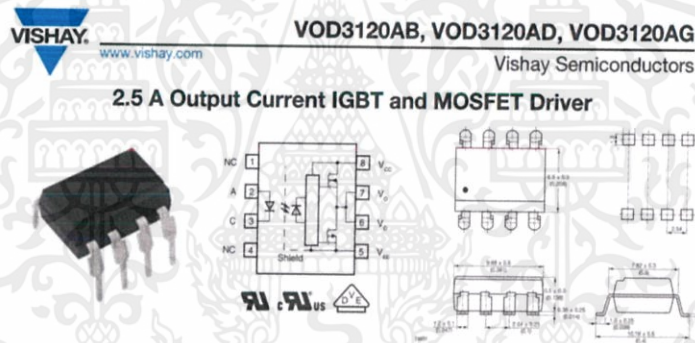
สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำ NodeMCU (ESP8266) มาใช้โดยการรับค่า Data จาก Sensor กระแสและแรงดัน โดยค่าที่ได้จะส่งไปเก็บไว้ที่ Cloud หลังจากนั้นเมื่อผู้ใช้งานเปิดแอปพลิเคชัน จะสามารถเรียกข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งดึงข้อมูลมาจาก Cloud



รูปที่ 2.26 NodeMcu 12E (ESP8266)
(ที่มา : <https://www.factor-mart.com>)

2.8.1.3 วงจรขับเคลื่อน

วงจรขับเคลื่อนมีหน้าที่ในการขับสวิตช์ให้ทำงานตามที่ต้องการซึ่งวงจรรับคำสั่งมาจาก DSP ผ่าน ออปโต ไอโซเลเตอร์ เพื่อทำการแยกวงจรควบคุมและวงจรถูกขับออกจากกัน นำสัญญาณที่ไดจาก DSP มาทำการสั่ง on/off สวิตช์ ที่อยู่ภายในอินเวอร์เตอร์โมดูล

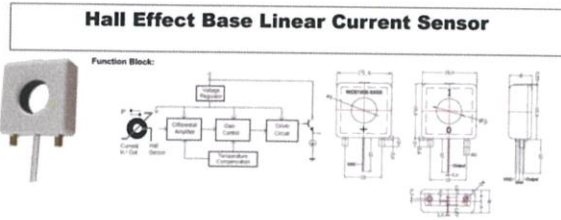


รูปที่ 2.27 วงจรขับเคลื่อน DRIVER™

(ที่มา : <https://medium.com/hci-wvu/how-to-build-your-first-%C3%B0app-fe0c89d8f95f>)

2.8.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor)

วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องขารทำงานแลทำการป้อนกลับสัญญาณไปหาชุดควบคุม โดยกระแสนอนกลับ Sensor จะรับค่าสัญญาณ กระแสมาจากเอาต์พุตของวงจรถูกขับสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนค่าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่อนาล็อกอินพุตของ DSP



รูปที่ 2.28 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า Hall Effect Sensor
 (ที่มา : <https://medium.com/hci-wvu/how-to-build-your-first-%C3%B0app-fe0c89d8f95f>)

2.9 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Vehicle)

2.9.1 รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่รองรับการทำงานโหมด V2H

ในปัจจุบันมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

BMW i3 Curb (1:1)	Tesla S curb 2013 (1:1)	BYD e6	Honda	MAZDA DEMIO EV	Micro Vett (Betta Cargo)	Nissan LEAF	Peugeot ON	Peugeot Partner
Passengers: 5	Passengers: 7	Passengers: 6	Passengers: 5	Passengers: 5	Passengers: 2	Passengers: 5	Passengers: 4	Passengers: 5
Weight: 2100kg	Weight: 2100kg	Weight: 2400kg	Weight: 1,320kg	Weight: 1,380kg	Weight: 180kg	Weight: 1520kg	Weight: 1120kg	Weight: 675kg
Driving range: 130 (16km)	Driving range: 424km	Driving range: 190km	Driving range: 220km	Driving range: 200km	Driving range: 140km	Driving range: 200kg	Driving range: 160km	Driving range: 170km
Battery: 22kWh	Battery: 70 and 90kWh	Battery: 13kWh	Battery: 28kWh	Battery: 22kWh	Battery: 31 kWh	Battery: 24kWh	Battery: 14kWh	Battery: 22.5kWh
						ELECTRIC VEHICLES		
BYD e6	Mitsubishi Motors i-MiEV	Citroen ZEVO	Mitsubishi i-MiEV	Citroen iLight	Nissan iV200			
Panel Van	MiEV Van	Passengers: 4	Passengers: 4	Passengers: 1	Passengers: 2			
Passengers: 2	Passengers: 2/4	Weight: 1,120kg	Weight: 1110kg	Weight: 675kg	Weight: 1580kg			
Weight: 1918kg	Weight: 1090, 1200kg	Driving range: 167km	Driving range: 180km	Driving range: 170km	Driving range: 200km			
Driving range: 110kg	Driving range: 130kWh	Battery: 16kWh	Battery: 15kWh	Battery: 22.5kWh	Battery: 33kWh			
Battery: 20kWh	Battery: 14.8kWh							

รูปที่ 2.29 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า
 (ที่มา : <https://goo.gl/hBXg31>)

ซึ่งรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ณ ปัจจุบันที่ได้รับการยืนยันแล้วว่ารถที่สามารถทำงานโหมดดีเซลชาร์จไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ได้ โดยไม่เกิดความเสียหายและอายุการใช้งานต่อรถและแบตเตอรี่ โดย Mr.Colin Mckerracher (Head of advanced transport research at Bloomberg New Energy Finance (BNEF)



BMW	i3 (18.8 kWh)	
VW	e-up! (15 kWh)	
	e-Golf (24.2 kWh)	
Nissan	Leaf (21 kWh)	✓
	e-NV200 (21 kWh)	✓
	Evalia (21 kWh)	✓
KIA	Soul EV (27 kWh)	
Mitsubishi	Outlander (10 kWh)	✓
	iMIEV / C-Zero / ION (14.7 kWh)	✓
Tesla	Model S90 / Model X90	✓
BYD	E6 (82 kWh)	✓
peugeot	iOn (16 kWh)	
	Tepee (23 kWh)	
Citroen	C-Zero (16 kWh)	
	BERLINGO ELECTRIC(18kWh)	
	BERLINGO MULTISPACE(23kWh)	
Toyota	Mirai (26 kWh)	✓
Honda	Fit (18 kWh)	✓
BJEV	EV260 (37.7 kWh)	
Cherv	EOI(19kWh)	

รูปที่ 2.30 EV Support for V2H&V2G
(ที่มา : <https://www.inside-ev.com/>)

การวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Nissan LEAF กับ Nissan LEAF

2.9.1.1 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า Nissan LEAF



Frontview

Sideview

Backview

Nissan LEAF 2018 : Allerede inden lanceringen af den normale udgave af den nye Leaf gør Nissan klar til en GTI-lignende Nismo, som vises i konceptform på biludstillingen i Tokyo senere på måneden

รูปที่ 2.31 Nissan LEAF
(ที่มา : <https://www.nissan.co.th/>)

“LEAF” แปลว่า ใบไม้ ขณะเดียวกัน ก็ย่อมาจากแนวคิดพื้นฐานที่ทีมวิศวกรของ Nissan กำหนดไว้ว่าจะต้องเป็น Leading, Environmentally friendly, Affordable, Family car หรือ ก็คือ รถยนต์ครอบครัว ที่เป็นผู้นำทั้งในด้านเทคโนโลยีระบบขับเคลื่อน ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม Nissan Leaf ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า AC Synchronous electric motor กำลังสูงสุด 150 แรงม้า แบตเตอรี่เป็นแบบ Advanced Lithium-ion (Li-ion) ขนาด 40 kWh ระยะทางที่ Nissan Leaf วิ่งได้สูงสุดต่อการชาร์จเต็ม 1 ครั้งอยู่ที่ 400 กิโลเมตร (ตามมาตรฐาน JC08 ประเทศญี่ปุ่น) หรือ 240 กิโลเมตร (ตามมาตรฐาน EPA ประเทศสหรัฐอเมริกา) หรือ 378 กิโลเมตร (ตามมาตรฐานฝั่ง Europe)

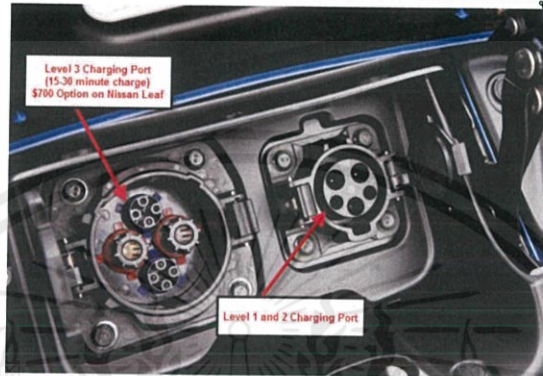
โดยการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan LEAF มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 33 มาไปใช้

- ชาร์จปกติ 3 kW onboard Charger ใช้เวลา 16 ชั่วโมง
- ชาร์จปกติ 6 kW onboard Charger ใช้เวลา 8 ชั่วโมง
- ชาร์จด่วน Quick Charging ใช้เวลา 40 นาที (ชาร์จ 80%)

2.9.1.1.1 พอร์ตสำหรับการชาร์จประจุแบตเตอรี่ของ Nissan LEAF (Charging Port of Nissan LEAF)

การชาร์จแบตเตอรี่ Nissan LEAF จะมีพอร์ตสำหรับการชาร์จ 2 พอร์ต คือ AC Port ที่ระดับการชาร์จ 1-2 และ DC Port ที่ระดับการชาร์จ 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.32 พอร์ตสำหรับการชาร์จ Nissan LEAF (Left for DC, Right for AC)
(ที่มา : <https://www.kbb.com/>)

2.9.1.1.2 เพาเวอร์ปลั๊กสำหรับรถยนต์ Nissan LEAF (Power Plug for LEAF)

พอร์ตมาตรฐานโพรโตคอลที่ใช้คือ CHAdeMO สำหรับไฟฟ้าแรงดันสูง Fast charging ซึ่งออกแบบโดย TEPCO (Tokyo Electric Power Company) ซึ่งใช้ CAN โดย CAN คือ โพรโตคอลสำหรับการส่งข้อมูลติดต่อระหว่าง Components ภายในรถยนต์ไฟฟ้าอย่างเช่นการจัดการกับแบตเตอรี่ของรถยนต์โดยจากรูปด้านล่าง Pin ที่ใช้ในการติดต่อกับ CAN Bus คือ Pin ที่ 8 กับ 9 จากที่กล่าวข้างต้น LEAF จะมีการชาร์จ 3 ระดับ คือ ระดับ 1 - 2 เป็นการชาร์จไฟ AC แบบทั่วไป แล้วผ่าน On board charging ในรถ ซึ่งช้า และใช้เวลาหลายชั่วโมง และ ระดับ 3 คือ การชาร์จไฟ DC ตรงเข้าแบตเตอรี่ใช้ระยะเวลาไม่ถึงชั่วโมง

เพาเวอร์ปลั๊กที่ใช้ในการชาร์จจะแบ่งตามประเภทของไฟในการชาร์จ คือ

1. Level 1-2 : โดยปกติใช้เพาเวอร์ปลั๊กแบบใดก็ได้ แต่ส่วนมากนิยมใช้ SAE j1772 ที่ใช้กับแรงดัน 120-240 V
2. Level 3 : ใช้ CHAdeMO Power Plug เนื่องจากเป็นการชาร์จที่ใช้เวลาเร็วและคนละระดับแรงดันกับ Level 1-2 มาก ซึ่งเหมาะกับแรงดัน 480 V

Connector pin-layout and assignment			
Pin No.	Function / assignment	Pin diameter (mm)	Wire size (mm ²)
1	Reference GND for insulation monitoring	1.8	0.75
2	Control EV relay (1 of 2)	1.8	0.75
3	(not assigned)	1.8	—
4	Ready to charge contact	1.8	0.75
5	Power transfer (high-voltage)	5.0	1000, 1000, 1000
6	Power transfer (high-voltage)	5.0	1000, 1000, 1000
7	Proximity detection	1.8	0.75
8	Communication +	1.8	0.75
9	Communication -	1.8	0.75
10	Control EV relay (2 of 2)	1.8	0.75



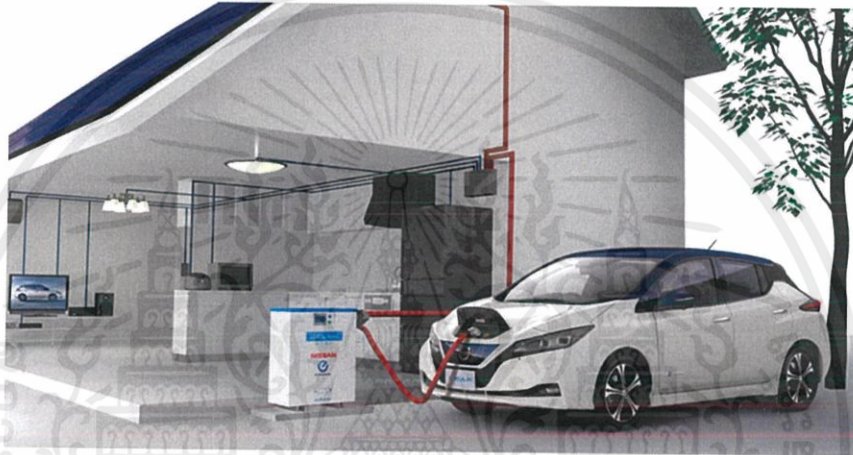
DC Charging Connector CHV-03

(Conforming to CHAdeMO 0.9 specifications)
 • DC charging connector for EV, usable in Japan, America and Europe.
 • Charging is performed by inserting the plug into a vehicle side inlet conforming to CHAdeMO specifications.
 • Conforming to the European EHV and RoHS directives.



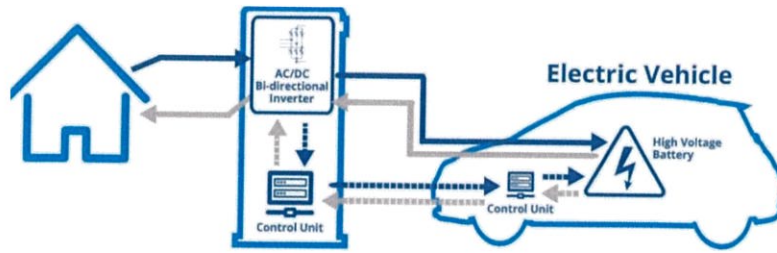
รูปที่ 2.33 เพาเวอร์ปลั๊ก CHAdeMo สำหรับชาร์จ Nissan LEAF ระดับ 3 DC fast Charging (ที่มา : <https://www.kbb.com/>)

2.9.1.1.3 ระบบ V2H ของ Nissan LEAF (Vehicle to Home System for LEAF)

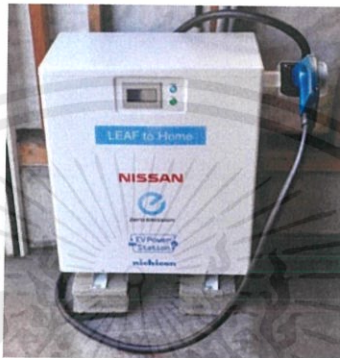


รูปที่ 2.34 Vehicle to Home System for Nissan LEAF (ที่มา : <https://www.kbb.com/>)

ระบบ V2H คือการใช้รถ Nissan Leaf เป็นแหล่งพลังงานสำรองให้กับบ้าน เมื่อไฟดับ หรือ มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น อีกรณีคือ การลดค่าไฟบ้าน โดยชาร์จไฟบ้านเข้าไฟรถ ช่วงอัตราค่าไฟถูก และใช้รถจ่ายไฟเข้าบ้าน ช่วงอัตราค่าไฟแพง เพื่อประหยัดการใช้ไฟในบ้าน เพราะตัวรถมีระบบ Vehicle-to-Home (V2H) ติดตั้งไว้ด้วย ซึ่งเรียกกันว่า LEAF to Home โดยการจ่ายไฟฟ้าจาก LEAF to Home ต้องมีตัวแปลงไฟติดตั้งไว้ที่บ้าน ไฟ DC จากรถจะผ่านเครื่องแปลงไฟ เป็นไฟ AC เพื่อเข้าบ้าน เรียกเครื่องว่า V2H converter Box หากอธิบายโดยง่ายคือ LEAF ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน (DC Source) จ่ายไฟให้กับบ้าน และ Converter Box ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการแปลงไฟ DC จาก LEAF เป็น AC เพื่อจ่ายไฟไปให้บ้านที่เป็น Load จากหลักการที่กล่าวมานั้น ทำให้โครงการชิ้นนี้ใช้หลักการของ V2H มาประยุกต์ โดยทำการนำ LEAF to Home เป็น LEAF to LEAF ซึ่งจำลองเสมือน LEAF ว่ากำลังชาร์จไฟเข้าบ้าน แต่แท้จริงแล้วชาร์จเข้า LEAF อีกคัน โดยผ่านตัวแปลงไฟ ที่โครงการนี้ทำการนำ Converter Box ที่มีน้ำหนักมากและตั้งอยู่ที่บ้าน มาออกแบบใหม่ให้พกพาใส่ช่องเก็บสัมภาระหลังรถ LEAF ได้ และสะดวกในการชาร์จให้กัน แน่ใจว่าน้ำหนักต้องไม่ทำให้รถเสียสมดุลในการขับขี่ เพราะอาจส่งผลกระทบต่อคนขับและความปลอดภัยของคนนั่ง



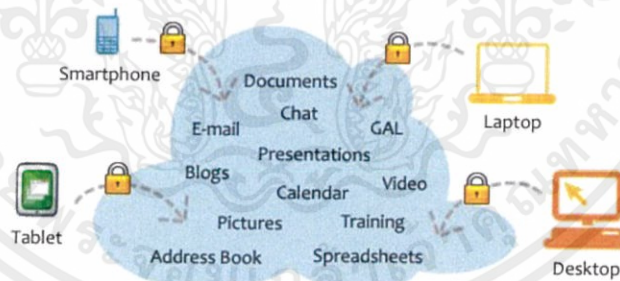
รูปที่ 2.35 Vehicle to Home Diagram
(ที่มา : <http://blog.livedoor.jp/fowardbhl/>)



รูปที่ 2.36 Vehicle to Home Diagram Nissan Converter Box
(ที่มา : <http://blog.livedoor.jp/fowardbhl/>)

2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับแอปพลิเคชันและเซิร์ฟเวอร์

2.10.1 Cloud (การประมวลผลแบบกลุ่มก้อนเมฆ)

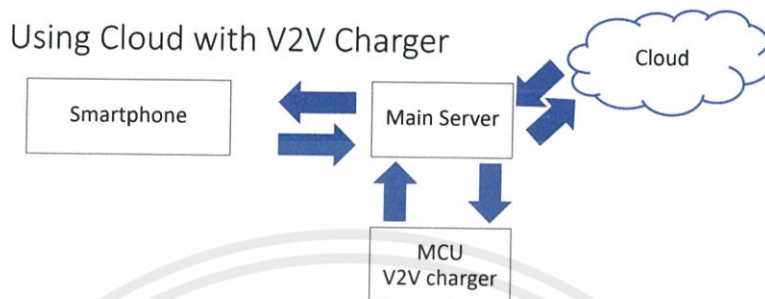


รูปที่ 2.37 Cloud Computing Model
(ที่มา : <http://hederatech.com/>)

Cloud เป็นลักษณะของการทำงานของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตที่ให้บริการโดยบริการหนึ่งกับผู้ใช้ โดยผู้ให้บริการจะแบ่งปันทรัพยากรให้กับผู้ต้องการใช้งานนั้น การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆเป็นลักษณะที่พัฒนาขึ้นต่อมาจากความคิดและบริการของเวอร์ช่วลไอเซชันและเว็บเซอร์วิส โครงสร้างพื้นฐาน (เหมือนระบบไฟฟ้า ประปา) ที่พร้อมให้บริการกับผู้ใช้งานเมื่อมีความต้องการใช้ ผู้ให้บริการการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ ส่วนใหญ่จะให้บริการในลักษณะของเว็บแอปพลิเคชันโดยให้ผู้ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ขณะเดียวกันซอฟต์แวร์และข้อมูลทั้งหมดจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 36 มาไปใช้

เก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆนั้นถูกอธิบายถึงโมเดลรูปแบบใหม่ของเทคโนโลยีสารสนเทศในการใช้งานบนอินเทอร์เน็ตที่เน้นการขยายตัวได้อย่างยืดหยุ่น สามารถที่จะปรับขนาดได้ตามความต้องการของผู้ใช้ และมีการจัดสรรทรัพยากร โดยเน้นการทำงานระยะไกลอย่างง่าย ที่ใช้อินเทอร์เน็ตเป็นโครงสร้างพื้นฐาน



รูปที่ 2.38 Using Cloud to manage data of V2V user

โครงการนี้ได้นำ Cloud เป็น Platform พื้นที่ใช้ในการจัดเก็บ Data ของลูกค้าที่ใช้ Application “V2V charger” เพื่อความปลอดภัย สะดวกสบาย และการพัฒนาระบบในการพัฒนาวิเคราะห์ให้ดีขึ้น เป็น Big data ในอนาคต

2.10.2 Big Data



รูปที่ 2.39 Big Data

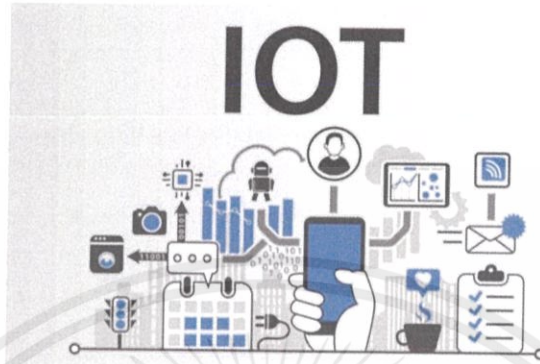
(ที่มา : <http://hederatech.com/>)

ในยุคปัจจุบันที่โลกถูกขับเคลื่อนด้วยข้อมูล ผู้คนพึ่งพิงข้อมูลในการตัดสินใจต่างๆ กระบวนการคิดของคนทั่วไปหรือแม้แต่องค์กรต่างๆ ในทุกวันนี้ส่วนใหญ่อยู่บนฐานของการรวบรวมข้อมูล ประมวลผล เพื่อประกอบการตัดสินใจทำอะไรบางอย่าง แต่ด้วยความที่ข้อมูลในปัจจุบันมีอยู่มากมายและกระจัดกระจาย คำถามสำคัญ คือ เราจะเข้าถึงข้อมูลมหาศาลเหล่านั้นและใช้ข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นประโยชน์ได้อย่างไร จากคำถามดังกล่าว จึงทำให้คนหันมาสนใจสิ่งที่เรียกว่า Big data กันมากขึ้นจนกลายเป็นกระแสสังคมในปัจจุบัน

โครงการนี้จะสามารถต่อยอดได้ โดยนำ Big data มาประยุกต์ใช้ในอนาคต ซึ่งมีความเป็นไปได้สูง เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบจากการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในเซิร์ฟเวอร์ใหญ่ที่ได้จัดเก็บไว้บน Cloud เพื่อเสริมการพัฒนาและสร้างความปลอดภัย อีกทั้งรองรับข้อมูลที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย อาทิ

การพัฒนา ระบบ V2V Charger สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าทุกชนิดในโลก เป็นต้น โดยมีผู้นำข้อมูลมาตรวจสอบและมีนักวิเคราะห์ข้อมูล Big Data ในองค์กร (Data analysis & Data Science)

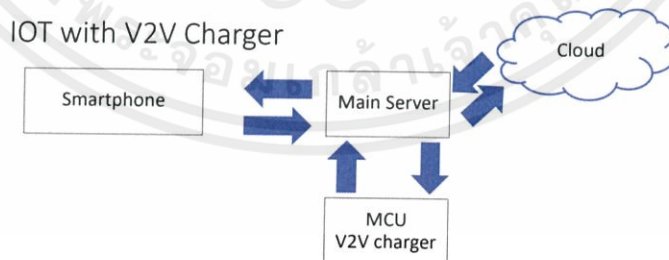
2.10.3 IOT (Internet of Things)



รูปที่ 2.40 Internet of Things
(ที่มา : <http://hederatech.com/>)

Internet of Things (IOT) คือ "อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง" หมายถึง การที่อุปกรณ์ต่างๆ สิ่งต่างๆ ได้ถูกเชื่อมโยงทุกอย่างสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งาน อุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (การสั่งการเปิดไฟฟ้าภายในบ้านด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น มือถือ ผ่านทางอินเทอร์เน็ต) รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการแพทย์ อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

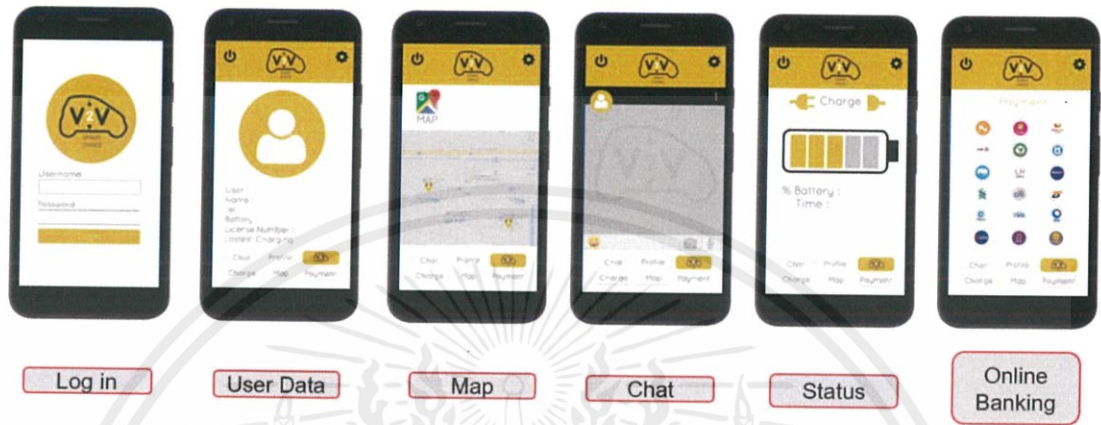
โครงการนี้โยงถึง Internet of Things ในส่วนการเรียกบริการ V2V charger และ API banking Payment รวมถึงการแสดงผลของกระบวนการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสมาร์ทโฟนที่ใช้จะทำการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต และสัญญาณในการส่งค่าเพื่อแสดงผล นั่นคือ อินเทอร์เน็ต ระหว่าง เครื่อง V2V charger และ Smartphone



รูปที่ 2.41 Using IOTs for V2V charger

ในโครงการนี้จะเน้นการทำเครื่อง V2V box เป็นหลักโดยจะทำการเขียนโปรแกรมจำลองการสื่อสารระหว่างเครื่องชาร์จระหว่างการชาร์จของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 2 คัน และใช้เทคโนโลยี API ของธนาคารใน V2V Charger application ในการคิดค่าบริการในการชาร์จประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อบอกกับฝั่ง Application ว่าต้องทำการจ่ายเงิน โดยผสมกลยุทธ์ทาง

การตลาด โดยนำเรื่องของการประมูล บิตราคากัน เมื่อผู้ต้องการแบตเตอรี่เปิดแอปพลิเคชัน บอกจำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องการ จะมีผู้สนใจในระยะใกล้เข้ามายื่นข้อเสนอต่อorangราคากัน หากถูกใจก็จะสามารถตกลงราคากันได้ ระบบนี้จึงถือเป็นการใช้กลยุทธ์การตลาด เพื่อความยุติธรรมและความพอใจของลูกค้า และปลอดภัยเพราะมีการแสดงข้อมูลผู้ใช้และผู้ให้บริการ รวมถึงจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดไว้เป็นหลักฐานบน Cloud

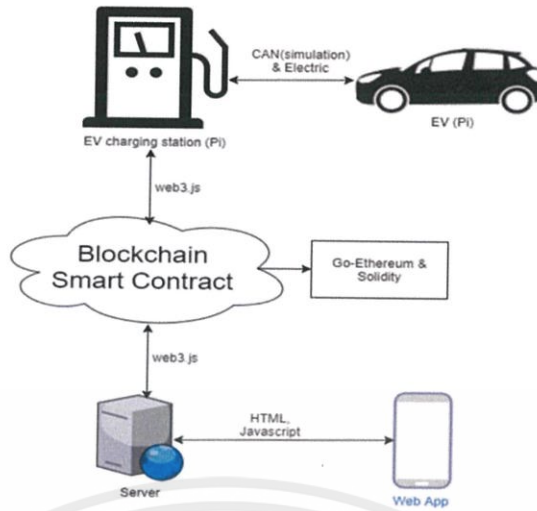


รูปที่ 2.42 หน้าแสดงผลของแอปพลิเคชันใน Smartphone

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review literature)

2.11.1 การประยุกต์ใช้งานบล็อกเชนและสมาร์ตคอนแทรคสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า Blockchain and Smart Contract Application for Electric Vehicle

งานวิจัยของคุณฐิติวัฒน์ เรืองสาคร กล่าวถึง การออกแบบ และสร้างระบบจ่ายเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีของ Blockchain Smart Contract ในการควบคุมและจัดการการจ่ายเงินแทนระบบการจ่ายเงินแบบเก่า เช่น บัตรเครดิต เพื่อที่จะลดข้อจำกัดที่เกิดขึ้นกับระบบแบบศูนย์กลาง เช่น ค่าธรรมเนียมในการทำธุรกรรมสำหรับการทำธุรกรรมขนาดเล็กจำนวนมากๆ นอกจากนั้นระบบนี้จะช่วยลดปัญหาของจำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอเวลาที่ต้องเดินทางในระยะทางไกล ดังนั้นจึงพัฒนาระบบระบบจ่ายเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาแล้วนำไปติดตั้งไว้กับสถานีชาร์จไฟส่วนบุคคล โดยการนำโหนดของ Blockchain ไปติดตั้งไว้กับสถานีชาร์จไฟ และ สร้าง Application ที่สามารถเข้าถึง Blockchain ได้ไว้สำหรับให้เจ้าของรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้งานและชาร์จไฟกับสถานีชาร์จ ซึ่ง Application สามารถแสดงข้อมูลของการชาร์จไฟและสั่งจ่ายเงินและสั่งชาร์จไฟได้ ในส่วนของการจำลองรถยนต์ไฟฟ้านั้นเราจะใช้เป็นการจำลองส่งข้อมูลระหว่างสถานีชาร์จและรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.43 System diagram of APPLICATION FOR ELECTRIC VEHICLE

2.11.2 ยานพาหนะไฟฟ้าสู่ระบบกริด Vehicle-to-grid systems (V2G)

งานวิจัยนี้กล่าวถึง Vehicle-to-grid (V2G) เป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่กักเก็บอยู่ในแบตเตอรี่สามารถป้อนกลับเข้าไปยังระบบไฟฟ้าได้ ในกรณีที่ยานพาหนะไฟฟ้าไม่ได้ใช้งานและยังเป็นระบบที่เปรียบเสมือนมีการไหลแบบสองทิศทางที่มีประสิทธิภาพซึ่งไม่ได้เป็นเพียงการชาร์จแบตเตอรี่เท่านั้น โดยการป้อนกลับนั้นสามารถทำเพื่อรักษาสมดุลและรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในช่วงที่เกิดขัดข้องทางไฟฟ้าต่างๆที่ส่งผลมายังระบบไฟฟ้าหรือเพื่อเป็นการขายไฟฟ้ากลับคืนเข้าสู่ระบบโดยจะเป็นการเกี่ยวข้อในแง่ของเศรษฐกิจ สำหรับในโหมดที่เชื่อมต่อกับกริด (V2G) เป็นการนำแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้าสามารถต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้าที่จะมีส่วนร่วมในการขายไฟฟ้าหรือการให้กำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองและบริการเสริมอื่น ๆ ในโครงสร้างระบบ



รูปที่ 2.44 V2G (Vehicle to Grid)

ในโครงการนี้คณะผู้จัดทำได้นำ Concept ของการที่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าสามารถ Discharge ประจุออกจากแบตเตอรี่ได้ ในกรณี V2H (Vehicle To Home) และ V2G (Vehicle To Grid) เพื่อจ่ายไฟบ้านและกริดไฟฟ้า ดังนั้นเราจึงนำมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการและความสะดวกสบายของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ขาดพลังงานหลัก โดยอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า และมีเครื่องสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ที่ประยุกต์จากเครื่อง V2H ของ Nissan LEAF ที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันตามบ้าน ซึ่งทำการออกแบบ ให้เหมาะสมน้ำหนัก

บอกว่าเดิม กลายเป็นเครื่อง “V2V Charger Portable Box” อีกทั้งมี Application สำหรับ Smartphone เพื่อเป็น Platform ในการให้บริการ และสร้าง Community ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า เพื่อสื่อสารและเข้าถึงกันง่ายขึ้น ค้นหาผ่านแผนที่ Google MAP ประมูลการขายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ของตน มีหน้าจอสถานะการชาร์จประจุ และชำระค่าบริการการชาร์จแบตเตอรี่ ผ่านทาง API Online ซึ่งข้อมูล User ทั้งหมดจัดเก็บและเรียกใช้งานง่ายใน Cloud Platform และมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น เพราะมีข้อมูลทั้งหมดบน Cloud ในส่วนของจอแสดงผล หน้าจอแอปพลิเคชันจะคอยแสดงผลตลอดการใช้งานแอปพลิเคชัน จนเสร็จสิ้นการดำเนินการชาร์จประจุ เพียงเท่านี้การเดินทางไปไหนไกลๆ โดยไม่มีสถานีชาร์จจะหมดไป หากการเชื่อมต่อกันของกลุ่มรถยนต์ไฟฟ้าเข้าถึงกันและช่วยเหลือกัน โดยมีการแลกเปลี่ยนแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าและพร้อมคิดค่าบริการ

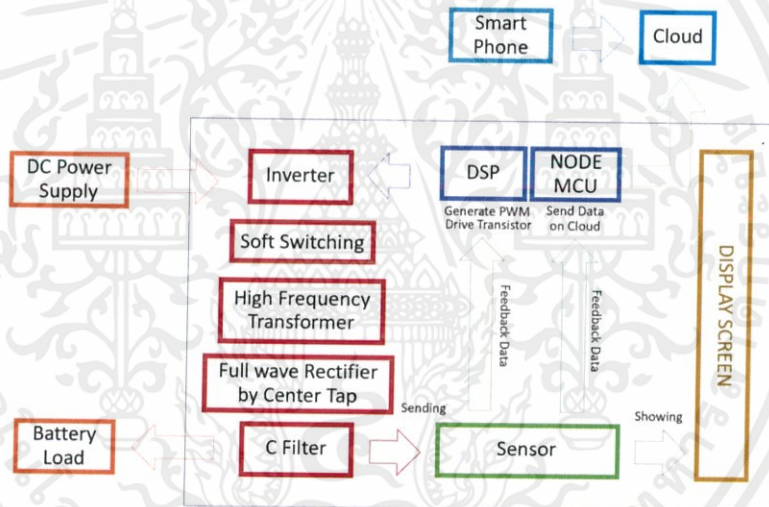


บทที่ 3

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์

3.1 บทนำ

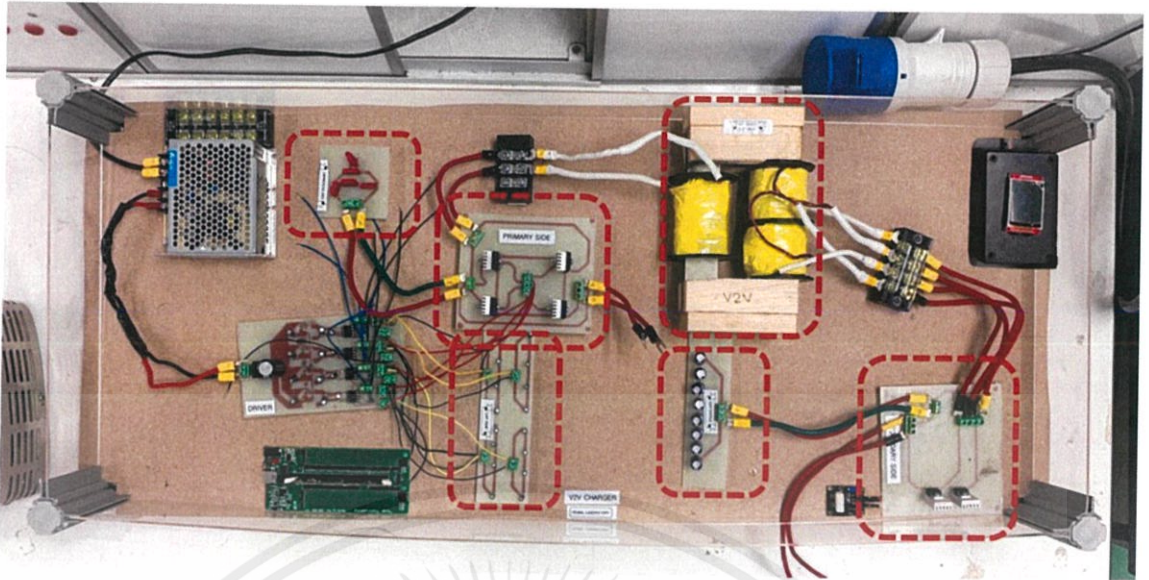
ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า สำหรับการชาร์จจ้ายหลักการทำงานของวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยรายละเอียดในอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มาประกอบรวมกัน รวมถึงวงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆสองส่วนคือ วงจรกำลังและวงจรควบคุม นอกจากนี้จะอธิบายถึงการออกแบบพัฒนาระบบแอปพลิเคชัน ที่ติดตั้งลงในบน Smartphone ทำหน้าที่แสดงข้อมูลผ่าน Web application เพื่อทำการจ่ายเงินและแสดงผลการชาร์จไฟ โดยจะใช้ API ของ Online Banking ในการชำระเงิน และ API ของ Google MAP ค้นหาตำแหน่งรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่มีเครื่อง V2V Box ทั้งนี้ระบบมีเซิร์ฟเวอร์เป็นตัวกลางและใช้ Application ในการสื่อสารกัน โดยสร้างเป็น Community Network ที่สามารถดึงข้อมูลจาก Cloud ได้ตลอดเวลา



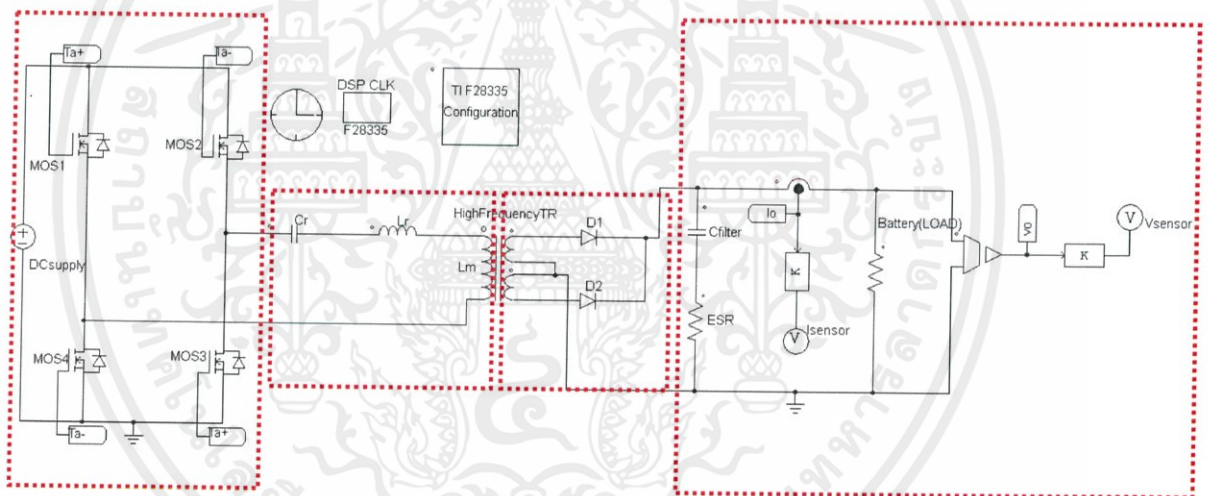
รูปที่ 3.1 Overview V2V charger Project

3.2 ส่วนประกอบวงจรกำลัง

วงจรกำลัง Isolated Resonant DC-DC Inverter แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ วงจรฝั่งปฐมภูมิ ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Inverter), วงจรเรโซแนนซ์เทังก์ (Soft Switch), หม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างวงจรฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิ (High Frequency Transformer), วงจรฝั่งทุติยภูมิ ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มลูกคลื่นแบบมีแทปกลางทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Full Wave Rectifier Center Tapped), การแยกฝั่งวงจรกำลัง โดยใช้หม้อแปลง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบ หากเกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้าขึ้น รถฝั่งใดฝั่ง อีกฝั่งจะไม่พัง เหมือนหลักการของการแยกกราวด์ระหว่างวงจรชาร์จและแหล่งจ่ายไฟ (Isolation)



รูปที่ 3.2 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นมา



รูปที่ 3.3 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นในโปรแกรมจำลอง

วงจรกำลังที่สร้างขึ้นในโปรแกรมจำลองประกอบด้วย
ฝั่งปฐมภูมิ

1. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter 1 Phase DC-AC)
2. วงจรเรโซแนนซ์แทงก์ (Soft Switch)
3. หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

ฝั่งทุติยภูมิ

4. วงจรเรียงกระแสชนิดเต็มลูกคลื่นแบบมีแทปกลาง (Full Wave Rectifier Center Tapped)
5. C filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 43 นำไปใช้

3.2.1 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

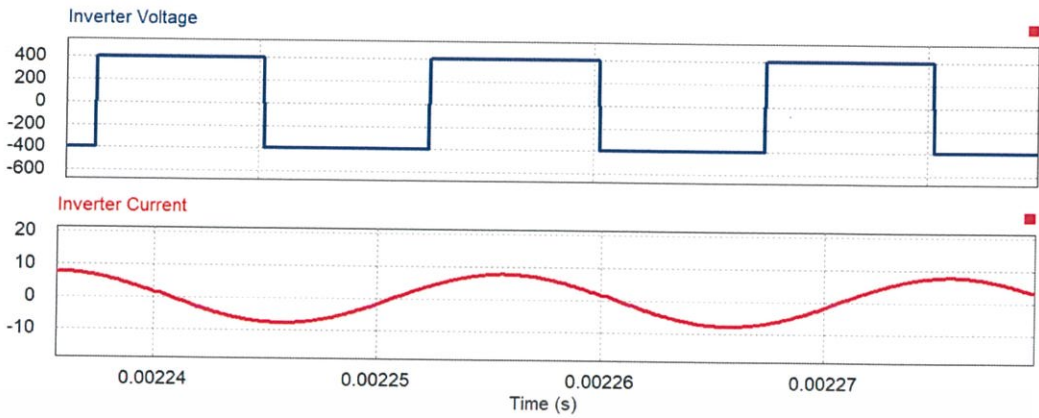
วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่อง V2V charger ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากรถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันแรกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน ซึ่งการจำลองการชาร์จจะใช้ DC Power Supply เป็นแหล่งจ่ายไฟแทนแบตเตอรี่ของรถคันแรก เนื่องจากการจ่ายไฟจากรถคันแรกไปรถคันสอง จะมองรถคันแรกเหมือน EV Station ทำหน้าที่จ่ายไฟกระแสตรง (DC) ส่วนรถคันสองเหมือนโหลดไฟฟ้า นอกจากนี้เพื่อให้ง่ายและประหยัดในการซื้อแบตเตอรี่มาลองด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ SiC MOSFET จำนวน 4 ตัว จากบริษัท Infineon ที่มีเทคโนโลยีที่สามารถระบายความร้อนของทรานซิสเตอร์ได้เป็นอย่างดี (SiC MOSFET) ต่อกันแบบฟูลบริดจ์ ซึ่งสามารถทนกระแสและแรงดันที่มีกำลังไฟฟ้าสูงถึง 2 kw ที่ความถี่สวิทซ์ 50 kHz ทั้งนี้มีการขับสวิทซ์ที่ขาเกตของ MOSFET โดยวงจรขับเกตและวงจรสร้างสัญญาณ PWM

การทำงานของอินเวอร์เตอร์จะเริ่มจาก DSP สั่งการให้ขับสัญญาณ PWM ออกมา โดยใช้การเปรียบเทียบของสัญญาณคลื่น linear และ Sawtooth แล้ว Comparison เป็น PWM จากนั้นเข้า Gate Driver เพื่อขับขาเกตของ MOSFET แล้วจึงสวิทซ์ทำงานกันเป็นคู่ คือ MOS1-MOS4 และ MOS2-MOS3 สลับกัน

เพื่อการระบายความร้อนที่ดีขึ้นของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากเป็นส่วนที่รับภาระทางไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา จึงได้ติดตั้งแผ่นระบายความร้อน (Heatsink) และพัดลมระบายความร้อน (Cooling Fans) ซึ่งการจำลองจะใช้แหล่งจ่ายแทนแบตเตอรี่รถยนต์คันแรกเป็น DC Power Supply พิกัดที่ใช้: 400V 5A



รูปที่ 3.4 อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.5 แรงดันและกระแสในอินเวอร์เตอร์

3.2.1.1 การออกแบบแผ่นระบายความร้อน

การออกแบบแผ่นระบายความร้อน โดยเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถคำนวณได้จาก

$$T_j = P_d (R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}) + T_a \quad (3.1)$$

โดย ค่า P_d (Power Dissipation) คำนวณได้จากแรงดัน และกระแสของอุปกรณ์ชิ้นนั้น
 ค่า R จะมีระบุในตารางข้อมูลของอุปกรณ์ , ฮีทซิงค์ และขึ้นกับลักษณะการติดตั้งด้วย
 ค่า T_{amb} กำหนดจากสภาพแวดล้อมการทำงาน

แทนค่า

$$150 = 20(0.553 + 0.5 + R_{sa}) + 50$$

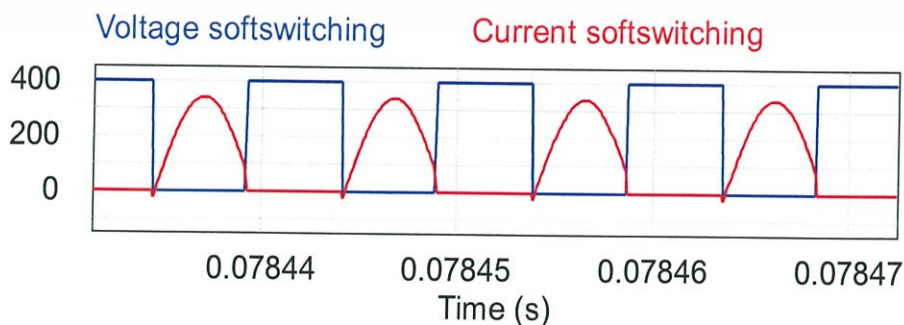
จะได้ค่า $R_{sa} = 0.82 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

เมื่อได้ค่า R_{sa} ($^\circ\text{C/W}$, K/W) จากสมการข้างต้น นำไปเลือกชนิดของแผ่นระบายความร้อนได้จากตารางดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางสำหรับการเลือกแผ่นระบายความร้อน

Heatsink NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_{sa} ($^\circ\text{C/W}$)	3.2	2.3	2.2	0	2.1	1.7	1.3	1.3	1.25	1.2	0.8	0.65
Vol (vm^3)	76	99	181	0	198	298	435	675	608	634	695	1311

ดังนั้น จึงเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนต่อ SiC MOSFET 1 ตัว เบอร์ 11



รูปที่ 3.6 กราฟกระแสและแรงดันของวงจรเรโซแนนซ์

3.2.2 การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์เทงก์ หรือวงจรลดความสูญเสีย (Soft Switch) คือการอนุกรมกันของ Passive Component (LLC) ประกอบด้วย Resonance Inductor, Resonance Capacitor และ Magnetic Inductor ในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งในการทดลองสามารถหาได้จาก การกำหนดค่า Resonance Capacitor ที่หาซื้อได้ทั่วไป ที่พิกัดกำหนด และคำนวณหาค่า Resonance Inductor จากนั้นทำการพันขดลวดให้มี Leakage ตามค่าที่คำนวณ จะได้ Magnetic Inductor ของหม้อแปลงด้วย วงจรที่ใช้สำหรับการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้านั้น จะต้องทำงานที่ความถี่สูง ทำให้มีกำลังสูญเสีย เนื่องจากการสวิตช์ (Switching Losses) มีค่าสูงขึ้นตามความถี่ที่ปรับเพิ่มขึ้น ถ้าอุปกรณ์สวิตช์ทำงานแบบฮาร์ดสวิตช์ (Hard Switching) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำลง ดังนั้นเพื่อลดกำลังสูญเสีย เนื่องจากการสวิตช์ซึ่งดังกล่าว สามารถทำได้โดยการควบคุมให้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานแบบซอฟต์สวิตช์ซึ่ง หรือ เรียกว่า ทำงานภายใต้ สภาวะ ZVS (Zero Voltage Stage) หรือ ZCS (Zero Current Stage)

ขั้นตอนการคำนวณวงจรเรโซแนนซ์

ความถี่เรโซแนนซ์ $f_{sw} = f_r$ กำหนดให้ $X_L = X_C$ โดยเงื่อนไขคือ ZVS และ ZCS

เมื่อ Normalized Frequency (f_n) = $f_{sw} / f_r = 1$

สมการการหา Resonance Frequency การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ และ ค่าตัวเก็บประจุ ที่ความถี่เรโซแนนซ์

Step1 : หาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

$$X_c = V / I \quad (3.2)$$

$$2\pi f C = X_c \quad (3.3)$$

แทนค่า

$$2\pi(50k)(C) = 0.016$$

จะได้ค่าตัวเก็บประจุ $C = 51.64nF$

Step2 : หาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}} \quad (3.4)$$

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \times f^2 \times C} \quad (3.5)$$

แทนค่า

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \times (50k)^2 \times 51.64n}$$

จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ $L_r = 196.213nH$

ดังนั้น ค่าที่ได้จากวงจรเรโซแนนซ์

Resonant Frequency (fr)	50 kHz
-------------------------	--------

Resonant Capacitor (Cr)	51.64nF
Leakage Resonant Inductor (Lr)	196.213uH

3.2.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งออกแบบสำหรับวงจรชาร์จโดยมีค่าอัตราส่วนอยู่ที่ 1:1 โวลต์ซึ่งจะทำหน้าที่รักษาแรงดันไฟฟ้าลงให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่และแยกกราวระหว่างวงจรชาร์จและแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Isolation) เพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรในกรณีระบบไฟฟ้ามีปัญหา



รูปที่ 3.7 แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงความถี่สูง
เลือกแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงความถี่สูง
คำนวณหาผลคูณของพื้นที่แกนกับพื้นที่วินโดว์ (WaAc) จากสมการ

$$WaAc = \frac{P_{out} D}{K_t B^2 F_s} \quad (3.9)$$

เมื่อ

WaAc = ผลคูณของพื้นที่แกนกับพื้นที่วินโดว์

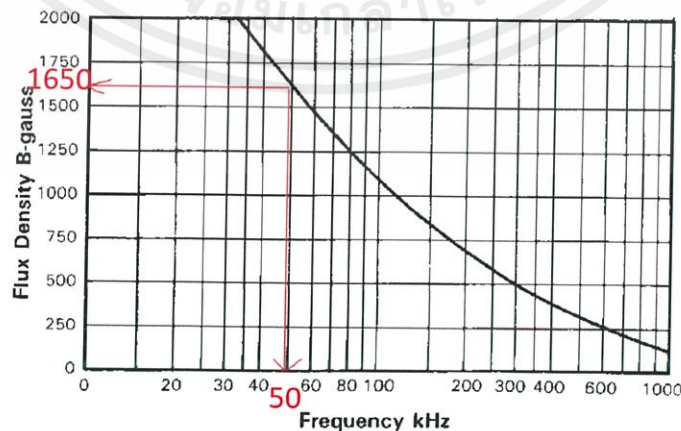
P_{out} = กำลังไฟฟ้าขาออก (watt)

D = ความหนาแน่นกระแส ในหน่วย Cir mm²/A

K_t = ค่าคงที่ของวงจรที่ออกแบบ (กรณีนี้ใช้ค่างจร Full bridge inverter) = 0.0014

B = ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Gauss)

F_s = ความถี่สวิตซิ่ง (Hz)



รูปที่ 3.8 กราฟสำหรับหาค่า B จาก F_s

แทนค่า

$$WaAc = \frac{(2k)(2616)}{0.0014(1650)(50k)}$$

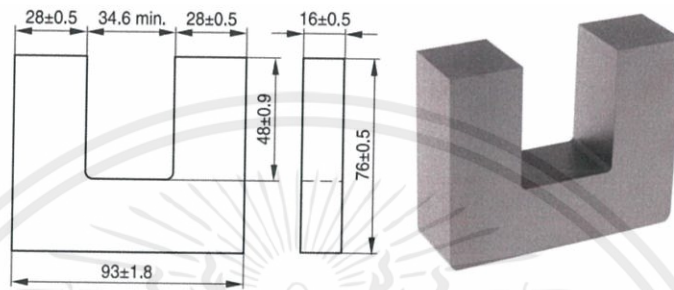
จะได้ค่าผลคูณของพื้นที่แกนกับพื้นที่วินโดว์ $WaAc = 46 \text{ cm}^4$

เมื่อนำไปเปิดตารางหาแกนเฟอร์ไรต์ จะได้แกนเฟอร์ไรต์ UC 93/76/16 บริษัท TDK



Mouser Electronics

U 93/76/16



รูปที่ 3.9 UC 93/76/16

จำนวนรอบการพันขดลวด

การหาจำนวนรอบการพันขดลวด จากสมการ

$$N = \frac{(V)(10^8)}{(4)(B)(Ac)(Fs)} \tag{3.5}$$

เมื่อ N = จำนวนรอบขดลวดในการพันแกนหม้อแปลง ในที่นี้ อัตราส่วนหม้อแปลง 1:1:1 ($N_1=N_2=N_3$)

V = แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

B = ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Gauss)

Ac = พื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์ 4.48 cm^2

Fs = ความถี่สวิตชิง

แทนค่า

$$N = \frac{(400)(10^8)}{(4)(1650)(4.48)(50k)}$$

ดังนั้นจะได้ จำนวนรอบการพันแกน 28 รอบ ($N_1 = N_2 = N_3 = 28 \text{ turns}$)

การหาค่าความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Magnitizing Inductance)

Step1 : หาค่า Reluctance ของแกนเฟอร์ไรต์

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A} \tag{3.6}$$

เมื่อ \mathfrak{R} = ค่าReluctance ของแกนเฟอร์ไรต์

μ = ความซึมซาบแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์ = $\mu_0 \mu_r$

A = พื้นที่แกนเฟอร์ไรต์

แทนค่า

$$\mathfrak{R} = \frac{373.2m}{(4\pi \times 10^{-7} \times 1820) (448u)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $R = 443.188 \text{ k A}^2\text{turn/wb}$

Step2 : หาค่า Magnetizing Inductance

$$L_m = \frac{N^2}{R} \quad (3.7)$$

เมื่อ R = ค่าReluctance ของแกนเฟอร์ไรต์

N = จำนวนรอบการพันแกน

L_m = ค่าความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก

แทนค่า

$$L_m = \frac{28^2}{443.188\text{k}}$$

จะได้ $L_m = 1.769\text{mH}$

จะพบว่าค่า $L_r = 1\% L_m$

ขั้นตอนการเลือกขดลวดทองแดง

หม้อแปลงความถี่สูง ใช้ความถี่สูง 50kHz จึงมีผลของปรากฏการณ์ทางผิวขดลวดตัวนำ (Skin Effect) จึงคำนวณหาความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแสของตัวนำทองแดงที่อุณหภูมิ 100 Celcius

สมการขนาดของกระแสในขดลวดตัวนำ

$$\Delta = \frac{75}{\sqrt{f}} \text{ mm} \quad (3.7)$$

แทนค่า

$$\Delta = \frac{75}{\sqrt{50\text{k}}} \text{ mm}$$

ดังนั้น ที่ความถี่ 50kHz จะมี $\Delta = 0.33 \text{ mm}$

การทำให้ผลของ Skin Effect น้อยมากจนละเว้นได้ เมื่อเลือกใช้ เส้นผ่าศูนย์กลางขดลวดตัวนำทองแดง $d \leq 2\Delta$ หรือคือ $d \leq 0.66 \text{ mm}$

ขั้นตอนการปฏิบัติ จะเลือกตัวนำทองแดงที่พื้นที่หน้าตัด = ความหนาผิวตัวนำทองแดงจำนวนหลายเส้น โดยทำการตีเกลียวขนานกัน (litz wire) ซึ่งจะขนานกันจนได้เส้นผ่าศูนย์กลาง = ตัวนำทองแดงแบบตันที่จะใช้ 1 เส้น แต่วิธีตีเกลียวนี้จะใช้ได้ต่อเมื่อ ความถี่ที่ใช้งานต่ำกว่า 500kHz เนื่องจากถ้าที่ความถี่มากกว่านี้ ผลของตัวเก็บประจุแฝง (Interstand Capacitance) จะทำให้เส้นลวดตีขนานมีประสิทธิภาพลดลง

การหาขดลวดทองแดงฝั่งปฐมภูมิ

เปิดตารางเบอร์ขดลวดทองแดงที่ใช้พันหม้อแปลง (AWG)

เบอร์ขดลวดทองแดง มาตรฐาน SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter)	พื้นที่หน้าตัด (Area)	ทนกระแสได้ (A)
	mm	mm ²	
0000	10.2	81.71	270.11
000	9.5	70.68	233.62
00	8.8	60.82	199.77
0	8.2	52.81	177.22
1	7.6	45.36	151.94
2	7.0	38.48	128.00
3	6.4	32.17	107.21
4	5.9	27.34	90.86
5	5.4	22.90	75.87
6	4.9	18.86	62.23
7	4.5	15.90	52.29
8	4.1	13.20	43.22
9	3.7	10.75	35.01
10	3.3	8.55	27.66
11	2.9	6.61	22.72
12	2.6	5.31	18.26
13	2.3	4.15	14.29
14	2.0	3.14	10.80
15	1.9	2.54	8.751
16	1.8	2.01	6.915
17	1.4	1.54	5.204
18	1.2	1.15	3.890
19	1.0	0.79	2.701
20	0.91	0.66	2.186
21	0.81	0.51	1.729
22	0.72	0.41	1.324
23	0.61	0.2922	0.972
24	0.50	0.2463	0.817
25	0.51	0.2617	0.675
26	0.45	0.1624	0.547
27	0.40	0.1288	0.432
28	0.38	0.1134	0.370
29	0.36	0.1021	0.312
30	0.31	0.0755	0.243
31	0.29	0.0661	0.204
32	0.28	0.0616	0.176
33	0.25	0.0510	0.169
34	0.23	0.0451	0.137
35	0.21	0.0346	0.108
36	0.19	0.0285	0.098
37	0.17	0.0227	0.078
38	0.15	0.0177	0.063
39	0.13	0.0133	0.046
40	0.12	0.0114	0.039
41	0.11	0.0101	0.033
42	0.10	0.0081	0.027
43	0.091	0.0065	0.022
44	0.081	0.0052	0.017
45	0.071	0.0040	0.013
46	0.061	0.0029	0.0097
47	0.051	0.0020	0.0068
48	0.041	0.0013	0.0047
49	0.030	0.0007	0.0024
50	0.025	0.0005	0.0017

รูปที่ 3.10 American wire gauge (AWG TABLE)

เลือกขดลวดเบอร์ 23 :

Dia=0.57404 mm, Area=0.259 mm², กระแสพิกัด = 0.729 A, Fmax skindept = 53kHz
กระแสฟุ้งปฐมภูมิ = $5 \div \sqrt{2} = 3.53$ A

ใช้จำนวนขดลวด $(3.53 \times 1.25) \div 0.729 = 7$ เส้น (เพื่อเป็น 14 เส้น)

ขดลวด 14 เส้น มีพื้นที่(Area) $14 \times 0.259 = 3.626$ mm², Dia = $2\sqrt{A/\pi} = 2.148$ mm

ความยาวในการพัน 14 รอบ (พันทั้งหมด 28 รอบชั้นละ 14 รอบ) = $14 \times 2.148 = 30.072$ mm
เพื่อระยะ Bobbin เป็น 65 mm

ความยาวขดลวดชั้นที่ 1 = $14(2(16+2+2)+(28+2+2)) = 1456$ mm

ความยาวขดลวดชั้นที่ 2 = $14(2(16+2+2+2.148+2.148)+2(28+2+2+2.148+2.148)) = 1696.576$ mm

ดังนั้น ความยาวขดลวดฟุ้งปฐมภูมิ $1456+1696.576=3152.576$ mm (เพื่อเป็น 3500 mm)

การหาขดลวดทองแดงฟุ้งทุติยภูมิ

การพันขดลวดฟุ้งทุติยภูมิชนิดมีแทปกกลาง จะพันแทปละ 28 รอบ โดยคิดค่ากระแสเฉลี่ยที่ผ่านไดโอด 1 ตัว ซึ่งคำนวณจาก

$$I_{rms} = \frac{I_p}{2} \quad (3.9)$$

แทนค่า

$$I_{rms} = \frac{5}{2}$$

จะได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด 1 ตัว = 2.50 A

เปิดตารางเบอร์ขดลวดทองแดงที่ใช้พันหม้อแปลง (SWG)

เลือกขดลวดเบอร์ 23 :

Dia=0.57404 mm, Area=0.259 mm², กระแสพิกัด = 0.729 A, Fmax skindept = 53kHz

กระแสฟุ้งทุติยภูมิ และ ตติยภูมิ = 2.5 A

ใช้จำนวนขดลวด $(2.5 \times 1.25) \div 0.729 = 5$ เส้น (เพื่อเป็น 10 เส้น)

ขดลวด 10 เส้น มีพื้นที่(Area) $10 \times 0.259 = 2.59 \text{ mm}^2$, Dia = $2\sqrt{A/\pi} = 1.816 \text{ mm}$
 ความยาวในการพัน 10 รอบ (พื้นที่ทั้งหมด 28 รอบชั้นละ 14 รอบ) = $14 \times 1.816 = 25.424 \text{ mm}$
 เพื่อระยะ Bobbin เป็น 50 mm
 ความยาวขดลวดชั้นที่ 1 = $14(2(16+2+2)+(28+2+2)) = 1456 \text{ mm}$
 ความยาวขดลวดชั้นที่ 2 = $14(2(16+2+2+1.816+1.816)+2(28+2+2+1.816+1.816)) = 1659.392 \text{ mm}$
 ดังนั้น ความยาวขดลวดฝั่งปฐมภูมิ $1456+1659.392=3115.392 \text{ mm}$ (เพื่อเป็น 3500 mm)

การประเมินน้ำหนัก

น้ำหนักเครื่อง V2V Charger น้ำหนักส่วนใหญ่มาจากหม้อแปลง ดังนั้นจึงประมาณคร่าวๆได้ดังนี้

การประเมินน้ำหนักขดลวดตัวนำทองแดง

การหาน้ำหนักขดลวดหาได้จาก

$$m = DV = D(A)l \text{ gram} \quad (3.10)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของขดลวดทองแดง $8.98 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

A = พื้นที่หน้าตัดขดลวดหลังตีเกลียว เสมือนหน้าตัดทรงตัน

l = ความยาวขดลวดที่ใช้พันแกนเฟอร์ไรต์

แทนค่า

$$M1 = DV = 8.96 \times 10^{-6} (5 \times 2226.4)$$

จะได้ น้ำหนักขดลวดปฐมภูมิ $M1 = 0.0997 \text{ kg}$

แทนค่า

$$M2 = DV = 8.96 \times 10^{-6} (2.02 \times 2226.4)$$

จะได้ น้ำหนักขดลวดปฐมภูมิ $M2 = 0.08059 \text{ kg}$

การประเมินน้ำหนักแกนเฟอร์ไรต์

การหาน้ำหนักแกนหาได้จาก

$$m = 2(DV) \text{ gram} \quad (3.11)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของขดลวดทองแดง $5 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

V = ปริมาตรแกนเฟอร์ไรต์

แทนค่า

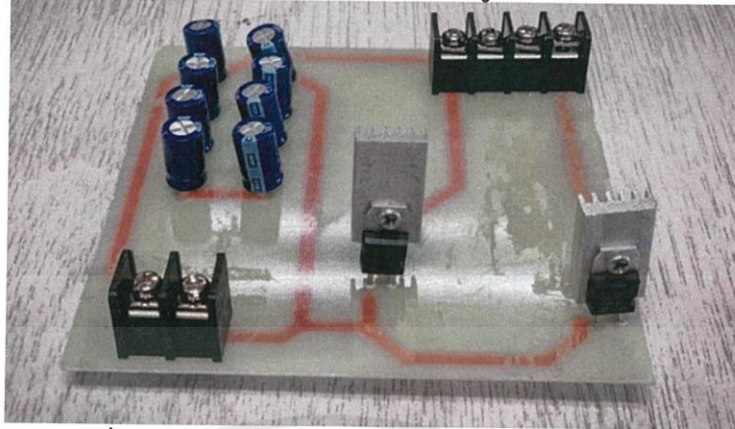
$$Mc = 2(5 \times 10^{-6})(159000)$$

แกนเฟอร์ไรต์หนัก $Mc = 1.15 \text{ kg}$

ดังนั้น น้ำหนักรวมของหม้อแปลงความถี่สูง $M_{total} = M1 + M2 + MC = 1.19259 \text{ kg}$


งานวิจัยนี้ได้ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงและพันหม้อแปลงรอบแกนเฟอร์ไรต์ ที่อัตราส่วน 1:1 โดยเริ่มจากการเลือกเบอร์ขดลวดที่ใช้พัน โดยที่ไม่ให้เกิดผล Skin dept ชั้นที่ผิวตัวนำทองแดง เนื่องจากใช้ความถี่สูงถึง 100kHz และเลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่วัสดุรูปทรง เหมาะแก่การพันขดลวด โดยไม่เกิดค่าความสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ ซึ่งใช้ ชนิด UC Core เพราะเมื่อพันแกนแกนเป็นทรงกระบอก จะไม่เกิดมุมของลวดที่กำกับพื้นผิวแกนตอนพันแกน อีกทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่เกิดจากแกนเฟอร์ไรต์และขดลวด เพราะส่วนใหญ่ใช้น้ำหนักโดยรวมของเครื่อง V2V Charger มาจากหม้อแปลงความถี่สูงนี้

3.2.4 การออกแบบวงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกลางด้านบวก



รูปที่ 3.11 วงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกลาง

วงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกลางจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแทปตรงกลางต่อลงกราวด์และมีไดโอด 2 ตัว ชนิด Schottky Diode ข้อดีของซ็อกเก็ตไดโอด คือทำงานได้เร็ว และแรงดันตกคร่อมตัวมัน น้อยกว่าไดโอด FRD (fast recovery diode) เท่าตัว ส่วนข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับวงจรที่แรงดันสูงได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ SiC Schottky Diode จากบริษัท ST ที่ทนแรงดันและกระแสพิกัดได้



STPSC20H12-Y

Automotive grade 1200 V power Schottky silicon carbide diode

Symbol	Value
$I_{F(AV)}$	20 A
V_{RRM}	1200 V
$T_J (max.)$	175 °C
$V_f (typ.)$	1.35 V

รูปที่ 3.12 SiC Schottky Diode

การทำงานของไดโอดจะทำงานแบบ Half Wave Rectifier คือไดโอด 1 ตัวจะได้คลื่นครึ่งลูกคลื่นช่วง on/off สลับกับไดโอดอีกตัว (Pulse +/-) ผลที่ได้จะนำคลื่นไดโอดทั้งสองรวมกันจะได้ คลื่นเต็มลูกคลื่นในตอนขาออกวงจรเรียงกระแส ข้อดีของการใช้วงจรเรียงกระแสแบบชนิดแทปกลางคือลดจำนวนไดโอดที่ใช้ 2 เท่า ถ้าต้องการใช้ Full Wave Rectifier จะต้องใช้ไดโอด 4 ตัว และช่วยลดค่าความสูญเสียและแรงดันที่ตกคร่อมในตัวไดโอดลงด้วย และไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ สามารถไหลเข้ามารอบวงจรบริเวณจุด Center tapped ของหม้อแปลงแบบ Center tapped transformer ได้ โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกบวกเท่านั้น การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น จะเป็น 2 เท่าของวงจรเรียง กระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น การหาค่าแรงดันในวงจรเรียงกระแสชนิดแทปกลาง (ด้านบวก) โดยใช้ Schottky Diode ที่มี Voltage Drop อยู่ที่ 0.15V การคำนวณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสหาได้จาก

$$V_{dc} = 1.414V_{ac} \quad (3.12)$$

เมื่อ V_{dc} = แรงดันขาออก (V)

V_{ac} = แรงดันขาเข้า (V)

แทนค่า

$$V_{dc} = 1.414(282.88) = 400 \text{ Volt}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า Output ของวงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นชนิดมีแทปกกลางด้านบวก มีค่า 400 V
 ในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าและกรองแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของ Capacitor ซึ่งมีการเก็บประจุเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าและคายประจุให้กับโหลด (RL) เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียกว่าแรงดันริบเบิล (Ripple Voltage) ส่วนท้ายของวงจรจะมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมเอาท์พุททำให้กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบขึ้นอีก ซึ่งการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมนั้นหาได้จากสมการ V_{ripple} เนื่องจากต้องการให้ Output มีค่าเรียบมาก เหมาะแก่การชาร์จแบตเตอรี่ จึงควรใช้ ripple = 2-5 %

$$C = \frac{V_p}{2\pi f R (V_{ripple})} \quad (3.13)$$

เมื่อ V_{ripple} = แรงดันริบเบิล กำหนดค่าให้ 1 %

R = โหลดแบตเตอรี่รถ

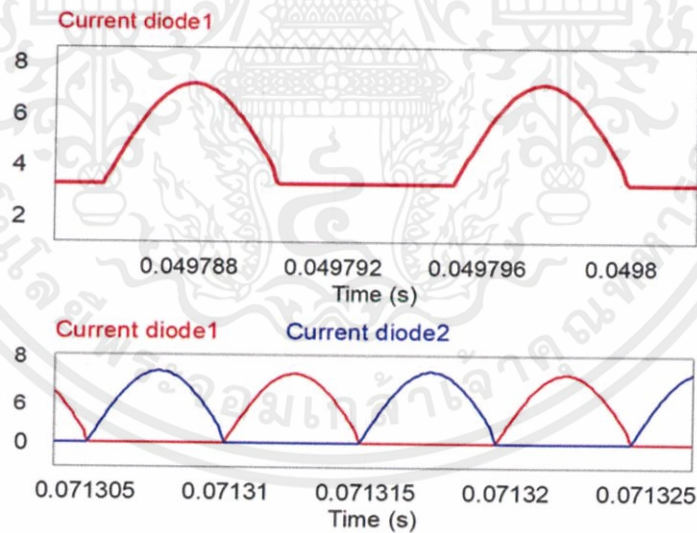
C = ตัวเก็บประจุที่นำมาคร่อม

F = ความถี่สวิตชิง

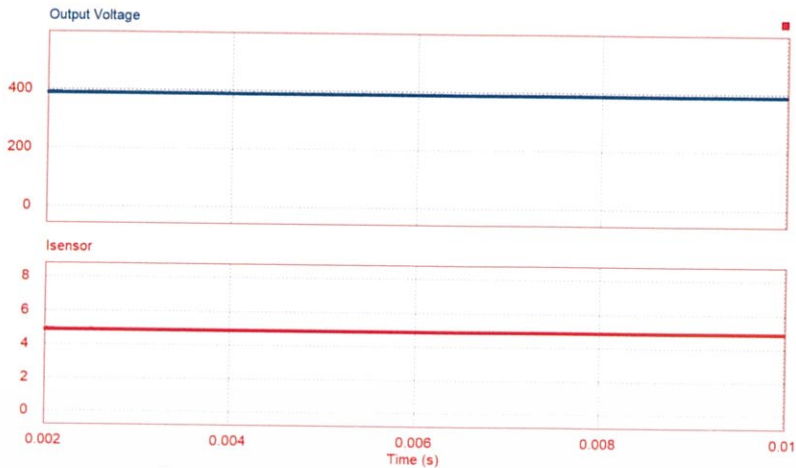
แทนค่า

$$C = \frac{400}{2\pi(50k)(26.67)(0.01)} = 12.5 \mu F$$

ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ควรใช้คือ 12.5 μF



รูปที่ 3.13 กราฟกระแสและแรงดันของไดโอดในวงจรเรกติไฟเออร์



รูปที่ 3.14 Voltage-Current Graph for Output

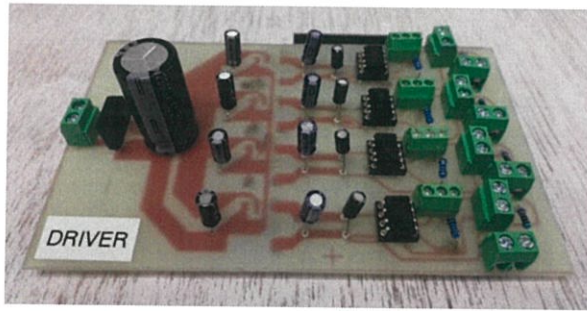
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมเป็นวงจรที่รับข้อมูลมาจากทุกๆวงจร มาทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณออกไปเพื่อสั่งการวงจรขับเคลื่อน ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ โดยงานวิจัยนี้ ต้องการค่าของกระแสและแรงดันป้อนกลับ จึงเลือกใช้ตัวควบคุมเป็น DSP (Digital Signal Processing) ในการควบคุม โดยจะควบคุมให้การชาร์จด้วยกระแสและแรงดันคงที่ โดยข้อมูลป้อนกลับของกระแส จะใช้ Current Sensor จากบริษัท Infineon Sensor รุ่น TLI4970-D050T5 ในการตรวจวัดกระแส ในส่วนของแรงดันไฟฟ้าใช้หลักการของทฤษฎีการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) บนตัวต้านทานในการรับค่าแรงดันป้อนกลับเพื่อตรวจแรงดันป้อนกลับเข้า DSP และมี CAN WAVESHARE รุ่น SN65HVD230 เชื่อมต่อกับ DSP เพื่อในอนาคตสามารถส่งข้อมูลและไอดีต่อไปที่บัสสื่อสารของรถยนต์ได้ และแบ่งสัญญาณ Input กับ Output ในส่วนของระบบแอปพลิเคชันจะมีตัวควบคุมเป็น NodeMCU Model Esp8266-12E ที่เป็นบอร์ด Arduino ที่มีไวไฟในตัวบอร์ด จึงไม่ต้องติดไวไฟเพิ่ม โดยเมื่อได้รับค่าแรงดันและกระแสป้อนกลับ บอร์ดจะส่งค่าขึ้นไปเก็บข้อมูลไว้ที่ Cloud จากนั้นสามารถใช้สมาร์ตโฟนดูค่าและข้อมูลต่างๆได้ผ่านเซิร์ฟเวอร์ ส่วนต่างๆของวงจรควบคุมทั้งหมดมีดังนี้

1. ชุดควบคุมสำหรับควบคุมกระแสป้อนกลับและแรงดันป้อนกลับ
 - วงจรขับเคลื่อน
 - วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าป้อนกลับ
 - วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ
2. DSP (Digital Signal Processing) Model tms320f28335
3. Node MCU Model ESP8266-12E

3.3.1 วงจรขับเคลื่อน (Gate Driver)

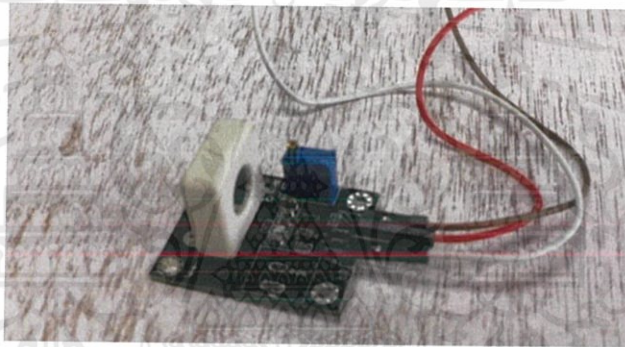
วงจรขับเคลื่อนทำหน้าที่ในการขับสวิตช์ให้ทำงานตามที่ต้องการ ซึ่งวงจรรับคำสั่งมาจาก DSP ผ่าน Opto Osillator เพื่อทำการแยกวงจรควบคุมและวงจรถูกขับออกจากกัน (Isolate) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ DC Converter ต่อเข้ากับ วงจร Driver พิกัด 1200v/6A จะนำสัญญาณที่ได้จาก DSP มาทำการสั่ง on/off switch



รูปที่ 3.15 Gate Driver & DC Converter

3.3.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า

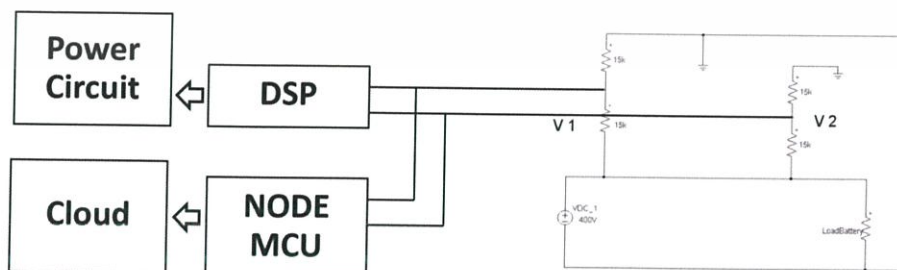
วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องขารทำงาน และทำการป้อนกลับสัญญาณไปหาตัวควบคุม โดยกระแสป้อนกลับใช้อุปกรณ์ Current Sensor Model TLI4970-D050T5 จากบริษัท Infineon รับค่าสัญญาณกระแสมาจากเอาต์พุตของวงจรกำลัง สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนค่าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ อนาล็อกอินพุทของ DSP และ Node MCU



รูปที่ 3.16 Current Sensor

3.3.3 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

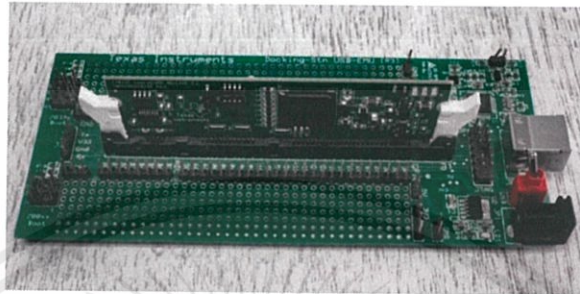
วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าในการขารแล้วทำการป้อนกลับสัญญาณไปหาตัวควบคุมโดยหลักการของการแบ่งแรงดันบนตัวต้านทาน ออกแบบโดยใช้ตัวต้านทาน 15 กิโลโอห์ม สองตัวต่ออนุกรมกันทั้ง 2 ขา โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสู่ตัวต้านทานรวมทั้งหมดเพื่อให้ได้อาแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาบนตัวต้านทาน เพื่อเข้าสู่ DSP ในส่วนวงจรกำลังและ NodeMCU ในส่วนแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.17 Voltage Divider Circuit for Detecting Voltage

3.3.4 Digital Signal Processing (DSP) Model TMS320f28335

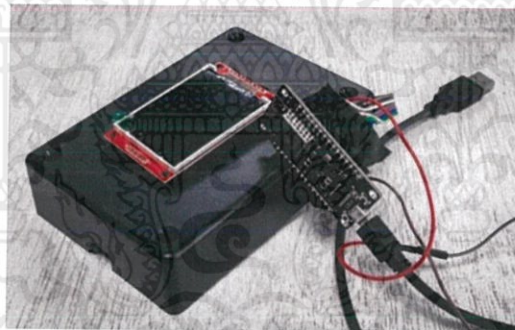
Digital Signal Processing (DSP) Model TMS320f28335 เป็นตัวควบคุมที่ทำหน้าที่รับสัญญาณกระแสและแรงดันป้อนกลับจากวงจรกำลัง มาสร้างการควบคุมสัญญาณสวิตซ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรกำลังอีกทีหนึ่ง โดยใช้ PI control และ VCO (Voltage Controlled Oscillator) ในการควบคุมของ DSP โดยเขียนโปรแกรมภาษาซีจากนั้นแปลงภาษาเข้า DSP โดยใช้ Code Composer Studio



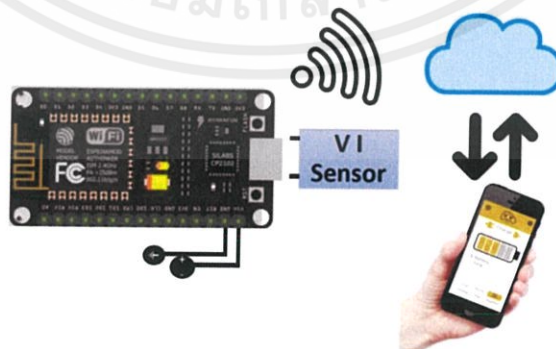
รูปที่ 3.18 DSP Model TMS320f28335

3.3.5 NodeMCU Model Esp8266-12E

งานวิจัยนี้ใช้ NodeMCU ในการรับค่ากระแสและแรงดัน จาก Sensor ที่วัดด้านขาออก แล้วส่งค่าเป็นข้อมูลไปเก็บไว้ที่ Cloud เมื่อทำการเปิดแอปพลิเคชันจากสมาร์ตโฟน แล้ว log in server ผู้ใช้จะสามารถเรียกดูข้อมูลการชาร์จแบตเตอรี่ได้ และมีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะมีการจัดเก็บข้อมูลที่ cloud ทำให้สามารถตรวจสอบได้ดียิ่งขึ้น



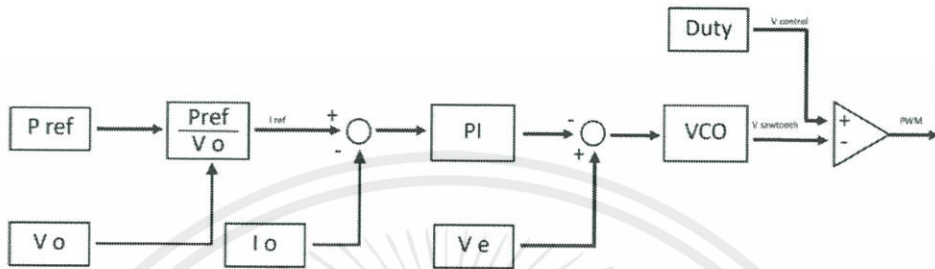
รูปที่ 3.19 DSP Board Connecting with CAN WAVESHARE



รูปที่ 3.20 NodeMCU working process

3.4 เทคนิคการควบคุม

การควบคุมในวงจรกำลังไฟฟ้จะใช้การปรับความถี่เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยใช้ ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator; VCO) ทำหน้าที่สร้าง สัญญาณไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับแรงดันด้านขาเข้า นอกจากนี้อาศัยการทำงานโดยใช้ค่ากระแสอ้างอิงมา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระแสที่อยู่ภายในวงจรกำลัง ซึ่งจะให้ได้ค่าความผิดพลาดจากนั้นนำ ค่าที่ได้ไปเข้าบล็อกการควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Controllers)



รูปที่ 3.21 การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้การปรับความถี่

3.4.1 การควบคุมแบบพี (P controller)

การควบคุมแบบพี เป็นการควบคุมแบบใช้สัดส่วนคุณเข้าป้ดงสมการ P controller Equation โดยการควบคุมนี้จะเป็นการขยายค่าความผิดพลาดซึ่งถ้าหากมีค่ามากเกินไปจะทำให้ ระบบไม่เสถียรได้แต่ในทางกลับกันถ้ามีค่าน้อยเกินไประบบก็เข้าตามไปด้วย

$$P_{out} = K_p \times e(t) \quad (3.14)$$

เมื่อ P_{out} คือ สัญญาณขาออกจากการควบคุมแบบพี
 K_p คือ ค่าอัตราส่วน
 $e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

3.4.2 การควบคุมแบบไอ (I controller)

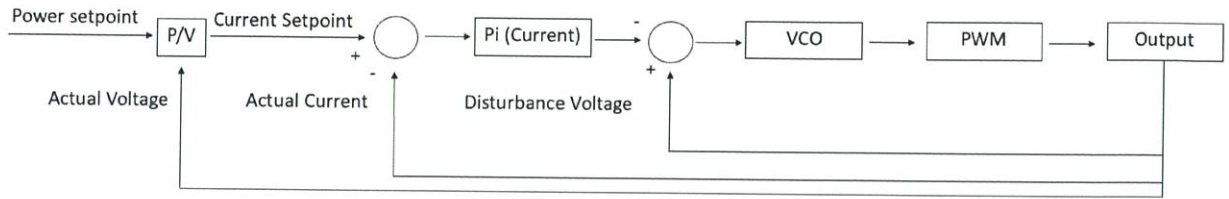
การควบคุมแบบไอ เป็นการควบคุมโดยใช้หลักการปริพันธ์โดยจะเป็นผลรวมของ ความผิดพลาด ดงสมการ I controller Equation โดยการควบคุมจะเป็นการกำจัดค่าความผิดพลาด ให้หมดไป แต่อาจจะทำให้ระบบเกิดโอเวอร์ชูตได้

$$I_{out} = K_I \int e(t) dt \quad (3.15)$$

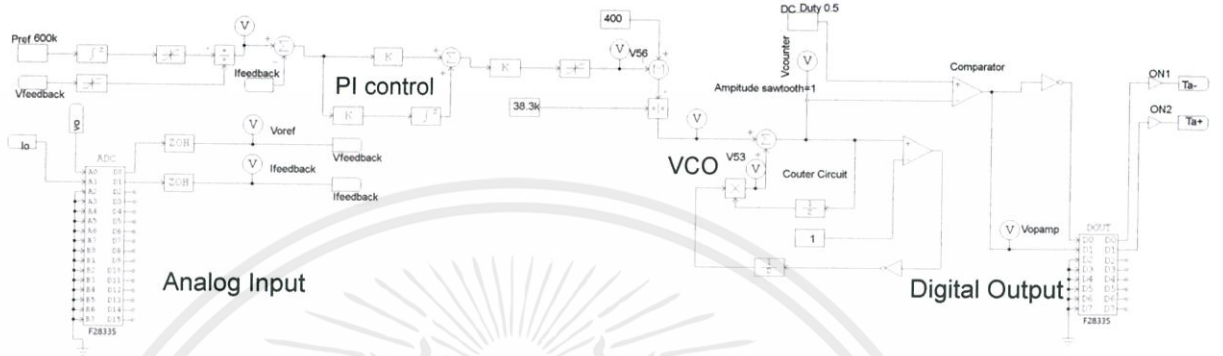
เมื่อ I_{out} คือ สัญญาณขาออกจากการควบคุมแบบไอ
 K_I คือ ค่าอัตราส่วนปริพันธ์
 $e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด
 T คือ เวลา

3.5 การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุม

การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยทำการออกแบบการเขียนวงจรควบคุมด้วยตัว ควบคุม Digital Signal Processing (DSP) Model TMS320f28335 ทำการออกแบบด้วยการชาร์จ ดงนี้

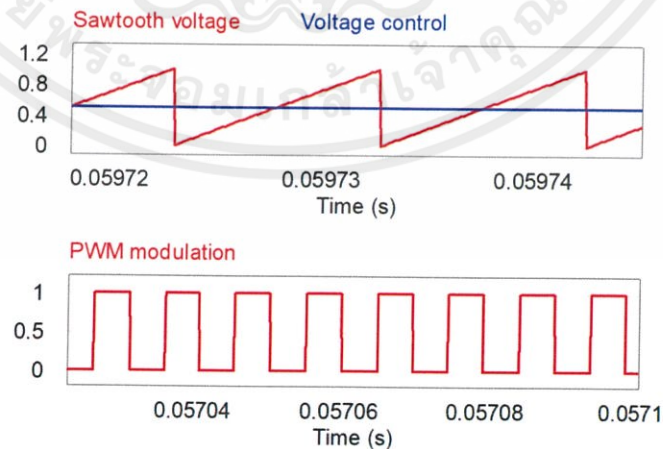


รูปที่ 3.22 ไดอะแกรมการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 3.23 การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

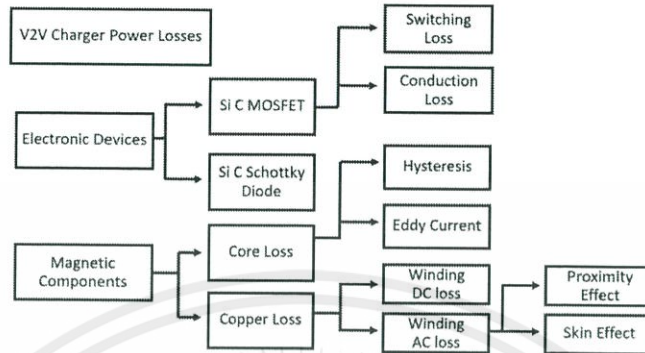
โปรแกรมควบคุมขณะชาร์จได้ออกแบบโดยเริ่มต้นจากการตรวจจับค่าแรงดัน และค่ากระแสไฟฟ้าจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่ ป้อนกลับเข้าไปยัง DSP ขั้นตอนแรก ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงจาก Sensor และ ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้จากจอควบคุม จะถูกป้อนเข้า Scale (P/V) เพื่อแปลงเป็นกระแสกำหนด จากนั้นนำค่ากระแสจริงจาก Sensor และค่ากระแสที่กำหนดไว้เมื่อครู่ จะถูกป้อนเข้า PI Current loop ของ DSP ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน และ PI loop จะทำการปรับค่าควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI Control ค่าสัญญาณขาออกและค่าแรงดัน Disturbance จะถูกป้อนเข้า Voltage Controlled Oscillator (VCO) ซึ่งสามารถออกแบบ เพื่อให้สามารถปรับได้ด้วยกระแสที่อินพุตเข้า Oscillators สัญญาณขาออกนี้จะถูกนำไปป้อนเข้าโปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM ใน DSP และถูกส่งออกจาก Digital Output Q0.0, Q0.1 ไปควบคุมวงจรขับเกตเพื่อควบคุมสวิตซ์วงจรกำลังต่อไป



รูปที่ 3.24 Signal Graph for driving gate

3.6 การสูญเสียในวงจรกำลัง

การสูญเสียในวงจรกำลังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการชาร์จประจุมีค่าลดลงจากที่ควร ซึ่งการสูญเสียทางไฟฟ้าของวงจรกำลังส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆภายในวงจร โดยวิธีการคำนวณจะสามารถได้ดังนี้



รูปที่ 3.25 Power losses in V2V Charger

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียใน SiC MOSFET : Switching loss + Conduction loss

- Switching loss คำนวณได้จาก

$$P_{sw} = 0.5 (V_{ds} \times f_s) \times (t_{on,off}) \times I_{ds} \quad (3.16)$$

P_{sw} = พื้นที่ใต้กราฟของแรงดันและกระแสในช่วง on/off

เมื่อ V_{ds} = แรงดันที่ Drain-Source

I_{ds} = กระแสที่ Drain-Source

f_s = ความถี่สวิตซ์ซิ่ง

T_{on} = เวลาในการเริ่มทำงาน

T_{off} = เวลาเมื่อหยุดทำงาน

แทนค่า

กรณี Switch on

กำหนด $V_{ds} = 400$ volt

$I_{ds} = 5$ Amp

$T_{on} = 32$ nS

$f_s = 50$ kHz

$$P_{sw\ on} = 0.5 (400 \times 50 \times 10^3) (32 \times 10^{-9}) \times 5 = 1.6\ W$$

กรณี Switch off

กำหนด $V_{on} = 400$ volt

$I_{on} = 5$ Amp

$T_{off} = 70$ nS

$f_s = 50$ kHz

$$P_{sw\ on} = 0.5 (400 \times 5 \times 10^3) (70 \times 10^{-9}) \times 5 = 3.5\ W$$

จะได้ $P_{sw} = P_{on} + P_{off} = 1.6 + 3.5 = 5.1\ W$

- Conduction loss คำนวณได้จาก

$$P_{cond} = (R_{ds\ on} + I_{d\ on}^2)D \quad (3.17)$$

เมื่อ $R_{ds\ on}$ = ความต้านทาน Drain-Source

$I_{d\ on}$ = กระแสช่วงทำงาน

D = Duty Cycle

แทนค่า

$$P_{cond} = (0.038 + 0.004^2)0.5$$

จะได้ $P_{cond} = 0.019\ W$

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียใน SiC Schottky Diode :

$$P_{diode} = 1.07 \times I_{f\ av} + 0.059 \times I_{f\ rms}^2 \quad (3.19)$$

เมื่อ $I_{f\ av}$ = กระแสเฉลี่ย

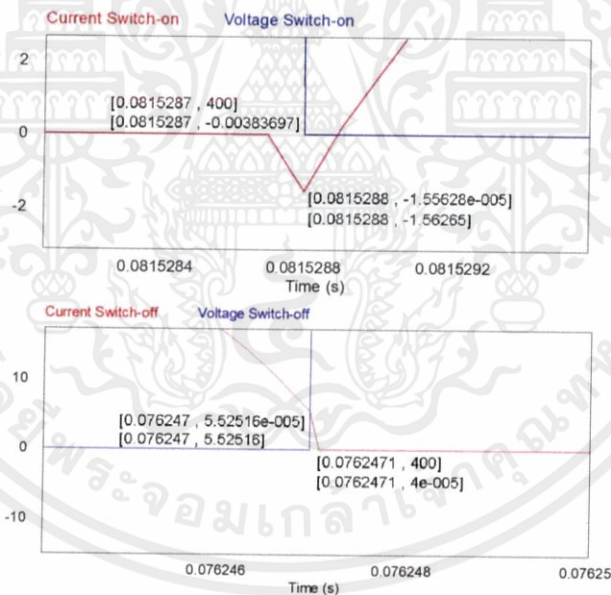
$I_{f\ rms}$ = กระแส Forward

แทนค่า

$$P_{diode} = (1.07 \times 20) + (0.059 \times 38^2)$$

จะได้ $P_{diode} = 106.59\ watt$

ดังนั้นกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ : $4(P_{sw} + P_{cond}) + 2(P_{diode})$
 $= 233.67\ W$



รูปที่ 3.26 Switching loss of SiC MOSFET

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในอุปกรณ์แม่เหล็ก

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์: Hysterisis loss + Eddy Current loss

- Hysterisis loss คำนวณได้จาก

$$P_h = 0.5(B_m^2 / u) \times f_s \times V_c \quad (3.20)$$

เมื่อ B_m = ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

U = ความซึมซาบแม่เหล็กของสารเฟอร์ไรต์

f_s = ความถี่สวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vc = ปริมาตรแกนเฟอร์ไรต์

แทนค่า

$$Ph = 0.5(1000^2 / 3.15 \times 10^{-3}) \times 50k \times 79.8 \text{cm}^3$$

จะได้ Ph = 1.26×10^{-15} watt

- Eddy Current loss คำนวณได้จาก

$$Pe = Ke (f_s^2)(B_m^2) \quad (3.21)$$

เมื่อ Bm = ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

Fs = ความถี่สวิตชิง

Ke = ค่าคงที่ Eddy Current loss = 0.6

แทนค่า

$$Pe = 1.02 \times 10^{-7} (50 \text{ k}^2)(0.1^2)$$

จะได้ Pe = 10.727 watt

- กำลังสูญเสียในขดลวดตัวนำทองแดง : Winding DC loss + Winding AC loss (Skin Effect)

- Winding DC loss คำนวณได้จาก

$$P_{cu,dc} = 22 \times J^2 \times K_{cu} \quad (3.22)$$

เมื่อ J = ความหนาแน่นของกระแสในขดลวดตัวนำ

Kcu = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรเส้นลวดทองแดงและปริมาตรที่พันลวดทองแดง (Vcu/Vw)

แทนค่า

$$P_{cu,dc} = 22 \times 1.795^2 \times 0.625$$

จะได้ Pcu,dc = $44.34 \text{ mW/cm}^3 = 3.53$ watt

- Winding AC loss (Skin Effect) คำนวณได้จาก

$$P_{cu,se} = 22 \times K_{cu} \times (R_{ac}/R_{dc}) \times J^2 \quad (3.23)$$

เมื่อ J = ความหนาแน่นของกระแสในขดลวดตัวนำ

Kcu = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรเส้นลวดทองแดงและปริมาตรที่พันลวดทองแดง (Vcu/Vw)

Rac / Rdc = อัตราส่วนความต้านทานบนขดลวดทองแดงแบบ ac ต่อ dc (เพื่อไม่ให้มีผล

Skin effect จึงใช้ r = Skin dept) จะได้ Rac/Rdc = 1 นั้นเอง

แทนค่า

$$P_{cu,se} = 22 \times 0.625 \times (1) \times 1.795^2$$

จะได้ Pcu.se = $44.34 \text{ mW/cm}^3 = 3.53$ watt

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในอุปกรณ์แม่เหล็ก: Pcu + Pcore = 10.727 + 2(3.53) = 17.787 watt

เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรกำลังนี้ (Total Losses in V2V): Electronic Device Loss + Magnetic Component Loss = 462.787 watt

3.7 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง

การพันขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงให้เหมาะกับการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงลักษณะการพันขดลวดที่นำมาตีเกรียว โดยได้เบอร์ลวดที่เหมาะสมจากการคำนวณ ซึ่งเพื่อกันไม่ให้ขดลวดที่พันสัมผัส

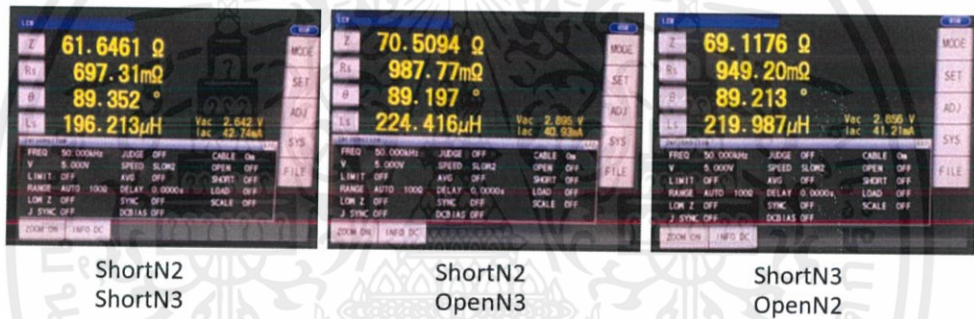
โดยตรงกับแกนหม้อแปลง มิฉะนั้นความคมของแกนอาจทำให้ลวดขาดได้ จึงสร้างบ็อบบินขึ้นเป็นตัวรองรับ จากนั้นนำหม้อแปลงไปทดสอบโดยเครื่อง HIOKI IM3538 LCR Meter โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ Open Circuit Test และ Short Circuit Test ดังนี้

1. Open Circuit Test : เพื่อหาค่า Magnetic Inductance (Lm)



รูปที่ 3.27 Open Circuit Test

2. Short Circuit Test : เพื่อหาค่า Leakage Inductance (Lr)



รูปที่ 3.28 Short Circuit Test

Open Circuit Test

Open Circuit	R Core loss (Ohm)	Magnetizing Inductance (mH)
N2 & N3	4.5858	1.7689
N1 & N3	4.7823	1.7692
N1 & N2	4.6567	1.7629

Short Circuit Test

Circuit	R Copper loss (m Ohm)	Leakage Inductance (uH)
ShortN2 & ShortN3	697.31	196.213
ShortN2 & OpenN3	987.77	224.416

ShortN3 & OpenN2	949.20	219.987
------------------	--------	---------

จากการทดสอบทั้งสองพบว่า ค่า Leakage Inductance = 1% x (Lm) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงดังทฤษฎี

3.8 การประเมินขนาดเครื่องชาร์จ

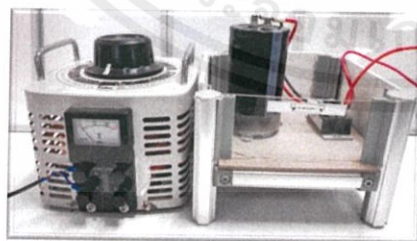
จากข้อมูลของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า Nissan leaf 2018 พบว่า ความจุส่วนกระโปรงหลังไว้สำหรับเก็บสำภาระ มีความจุอยู่ที่ 435 ลิตร โดยมีความกว้าง 1790 mm. ความยาว 180 mm. ความสูง 1336 mm. และน้ำหนักของตัวรถอยู่ที่ 1795 kg. ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องออกแบบให้เครื่องชาร์จนี้วางไว้กระโปรงหลังได้โดยเปลืองเนื้อที่จนเกินไปและมีน้ำหนักที่น้อยกว่าเครื่อง V2H ที่มีอยู่ 60 kg



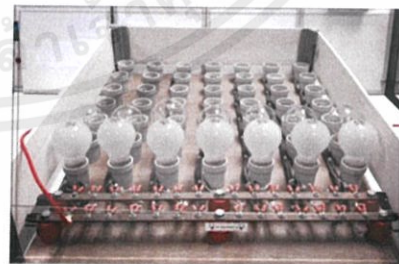
รูปที่ 3.29 Cargo in Nissan Leaf 2018

3.9 การจำลองแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ นำหม้อแปลงปรับค่าได้ (Variac) เชื่อมต่อไฟฟ้าบ้าน และใช้วงจร Bridge Rectifier ปรับกำลังไฟฟ้าให้มีค่า 400V โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เหมือนตัวแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันที่ 1 และใช้โหลดแบตเตอรี่ตัวรับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันที่ 2 เป็นโหลดไฟคู่ซึ่งต่ออนุกรมกัน 2 โหลดและนำมาขนานกันจำนวน 10 คู่ จะได้ค่าความจุเทียบเท่าแบตเตอรี่ 400V ที่พิกัด 2kW



Variac Transformer : 220 V 311Vrms
 Bridge Rectifier : 311Vrms 311Vmax
 Capacitor Filter : 311V (reduce ripple)



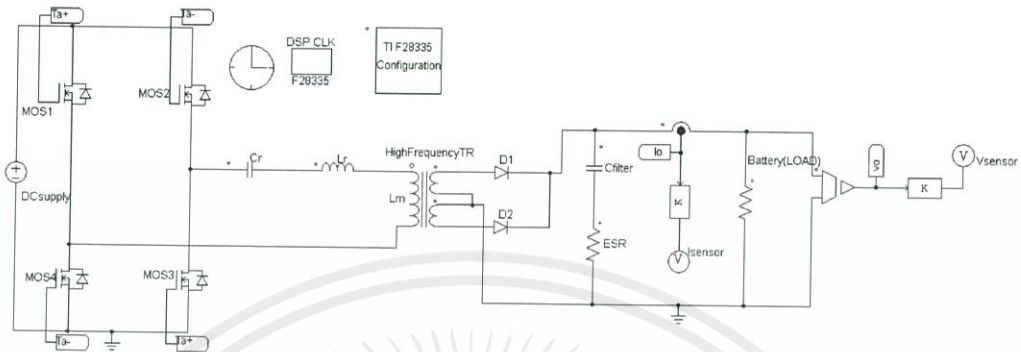
Incandescent light bulb
 7 Couples Parallel

รูปที่ 3.30 Electric Vehicle Battery Model for Source and Load

3.10 แบบจำลองวงจรกำลัง

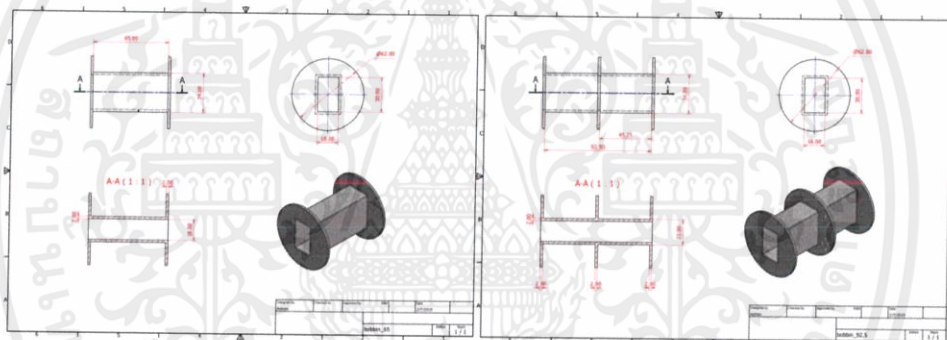
วงจรกำลังของเครื่องอัดประจุระหว่างยานยนต์พลังงานไฟฟ้า ใช้โปรแกรมออกแบบดังนี้

โปรแกรม PSIM9.0 ในการออกแบบวงจรจำลอง



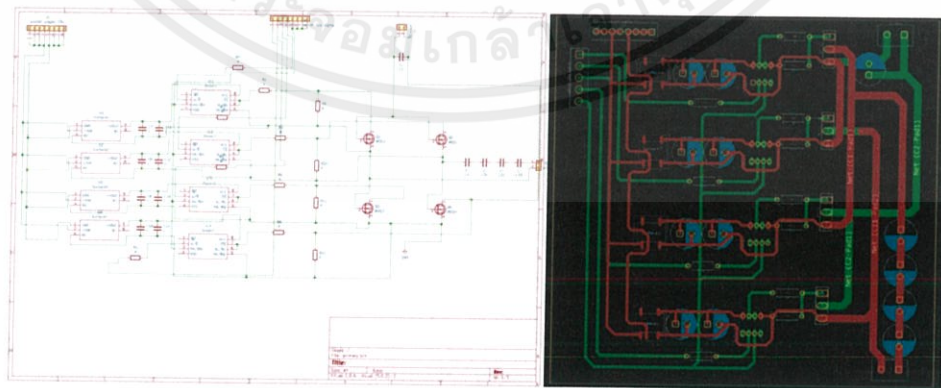
รูปที่ 3.31 วงจรกำลังจากโปรแกรมจำลอง

โปรแกรม Solid work ในการออกแบบสร้าง Bobbin

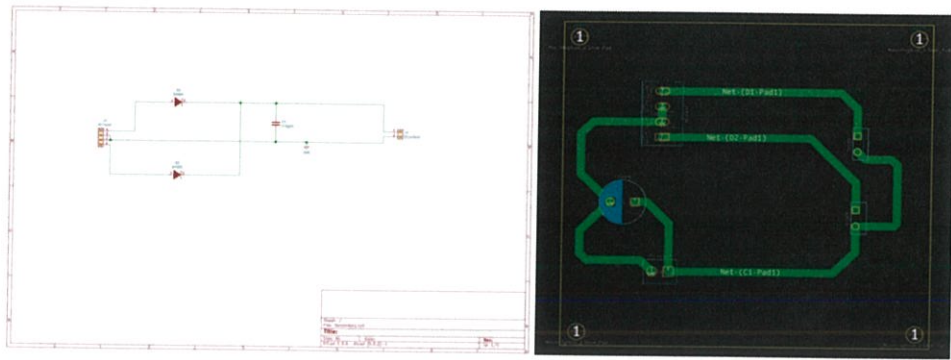


รูปที่ 3.32 บ็อบบินครอบแกนหม้อแปลง

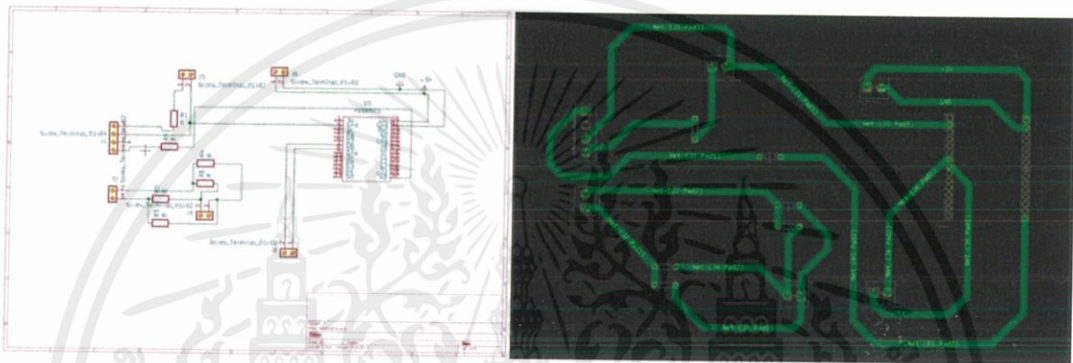
โปรแกรม KICAD ในการออกแบบวงจรกำลัง



รูปที่ 3.33 วงจรฝังปฐมภูมิ



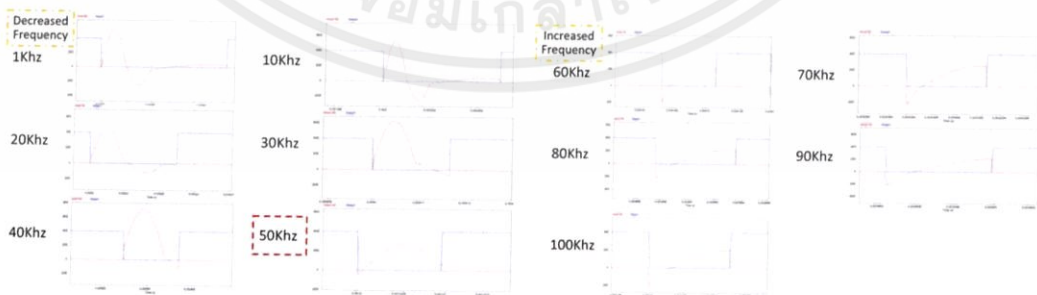
รูปที่ 3.34 วงจรฝั่งหตุยภูมิ



รูปที่ 3.35 วงจร NODE MCU

3.11 การปรับความถี่เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า

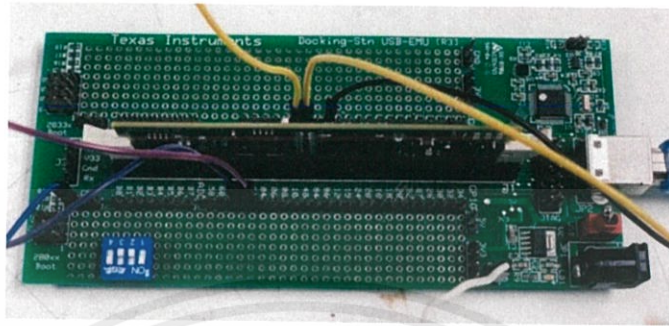
การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรเครื่องอัดประจุนี้ ใช้หลักการปรับความถี่ ด้วย DSP controller หลักการปรับกำลังไฟฟ้านั้น เมื่อปรับความถี่เพิ่มขึ้น จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลง ซึ่งการปรับความถี่ส่งผลให้วงจรกำลัง Soft Switching เกิดค่าความสูญเสีย โดยเดิมวงจรทำงานแบบ Resonant ที่ความถี่ 50kHz มี ZVS และ ZCS ($X_C = X_L$) แต่เมื่อปรับความถี่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลง ทำให้ ZCS หายไป ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 3.36 การปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า

ในการทดสอบการปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้าของงานวิจัยนี้ นำอุปกรณ์ Dip Switch 4 ขา ติดตั้งบนบอร์ด DSP โดยส่งสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแล้วควบคุมคำสั่งภายในบอร์ด DSP โดย

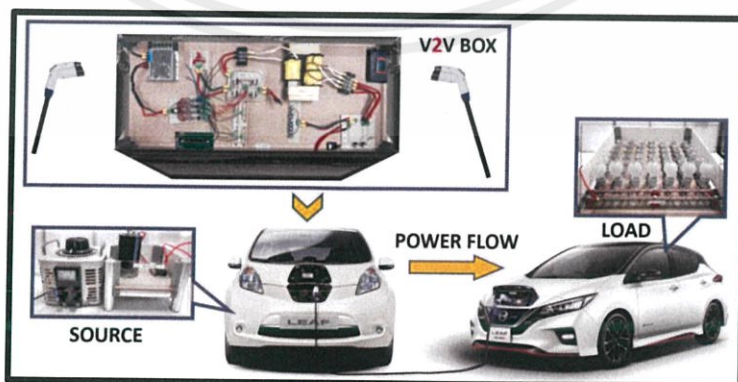
ปรับความถี่ได้ถึง 11 ระดับด้วยกัน ได้แก่ 50kHz, 55kHz, 60kHz, 65kHz, 70kHz, 75kHz, 80kHz, 85kHz, 90kHz, 95kHz, 100kHz ทำให้วงจรกำลังของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า สามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.37 DIP Switch ปรับความถี่และกำลังไฟฟ้าติดตั้งบน DSP

3.12 บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ปรึกษา บริษัท นิสสันมอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด และทราบข้อมูลแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า นิสสัน Zero Emission1 มีความจุแบตเตอรี่อยู่ที่ 350 V 40kWh 104 Ah ปลอยกระแสไฟ้ออกจากแบตเตอรี่ได้โดยใช้โหมด Stand by ของรถขณะทำการปลอยกระแสออกซึ่งกระแสจะไหลผ่านทางสาย PowerPlug ที่สำหรับจำลองเท่านั้นไม่มีภาคการสื่อสารของสายชาร์จ โดยควรเลือกใช้ช่องเสียบเป็น DC Port เพราะเป็นการดึงกระแสจากแบตเตอรี่โดยตรงไม่ต้องผ่าน On board Charging ซึ่งสามารถปลอยกระแสออกมาได้ 2kW, 50-400V, 0-5A งานวิจัยนี้จึงจำลองการชาร์จประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า 2 คัน โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ DC แทนการปลอยกระแสจากแบตเตอรี่ของรถยนต์คันแรก หลังจากนั้นกระแสจะวิ่งผ่านเครื่อง V2V Charger แล้วเข้าไปที่รถยนต์คันที่สอง ซึ่งใช้โหลดเป็นหลอดไฟแสงสว่างแทน เนื่องจากการเสนอแนวคิด ที่ว่าด้วยการนำยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ามาช่วยเหลือกันและทำแอปพลิเคชันสำหรับค้นหาและพูดคุยกันขึ้นเพื่อต่อราคากัน โดยชำระเงินผ่านธนาคารออนไลน์ ทางงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำระบบการสื่อสารของรถยนต์ (CAN) ที่เป็นข้อมูลเชิงลึกที่ทางบริษัทไม่สามารถเปิดเผยได้ งานวิจัยจึงไม่มุ่งเน้นการสื่อสารของรถยนต์คันที่สองว่าจะต้อง Command ไฟฟ้ามาเท่าใด



รูปที่ 3.38 แผนผังการทำงานของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

บทนี้จะแสดงผลการทดลองจาก Simulation โดย PSIM9.0 และผลการทดลองเมื่อต่อวงจรในทางปฏิบัติ โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า เวลาการชาร์จและพิกัดกำลังที่เหมาะสม ซึ่งจำลองจากข้อมูลพิกัดของแบตเตอรี่ Nissan Leaf Nismo 2018 ที่ 350V, 104Ah, 40kWh

4.2 ผลการทดสอบคลื่นสัญญาณ PWM ขับขาก



รูปที่ 4.1 การทดลองสัญญาณควบคุมสวิตช์จากโปรแกรมจำลอง



รูปที่ 4.2 การทดสอบสัญญาณควบคุมสวิตช์จากวงจรกำลังที่สร้างขึ้นมา

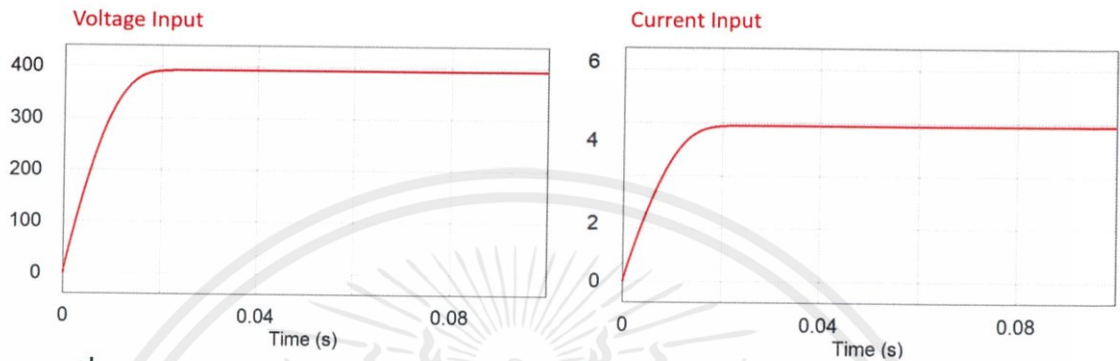
4.3 ผลการทดสอบการชาร์จจากวงจรทดลองปฏิบัติ

การทดสอบการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าจากวงจรทดลองปฏิบัติ โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าผ่านวิธีปรับความถี่ ซึ่งผ่าน PI Control และ VCO ที่นำมาใช้เป็นโค้ดในการทดลองภาคปฏิบัติของ DSP Board

ผลการทดสอบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

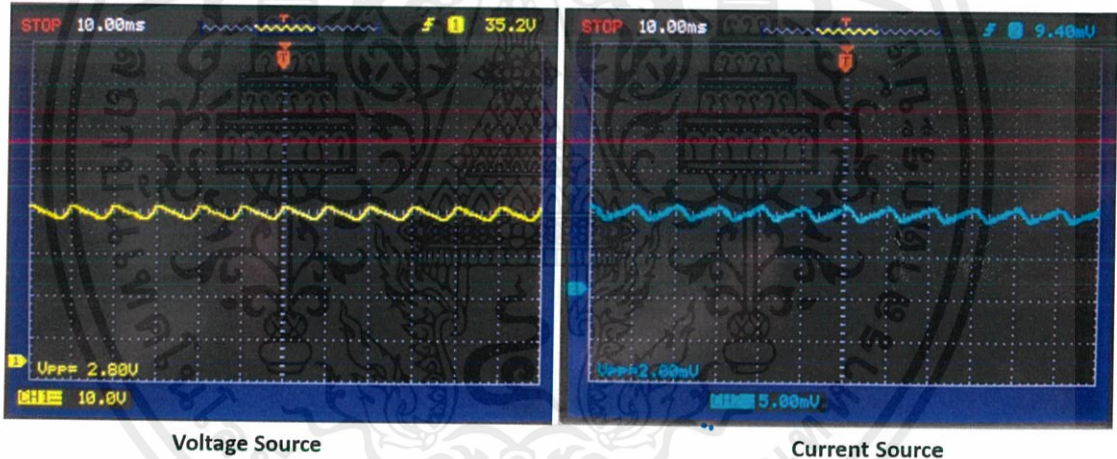
เป็นการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้วงจร Isolated Resonant DC/DC Converter ซึ่งจะเริ่มต้นการชาร์จด้วยหลักการคงที่ค่ากระแสไฟฟ้าขนาด 311 V, 5 A การทดสอบแต่ละส่วนของวงจรภายในชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรซอร์ฟสวิต และวงจรเรกติไฟเออร์

แรงดันและกระแสขาเข้า



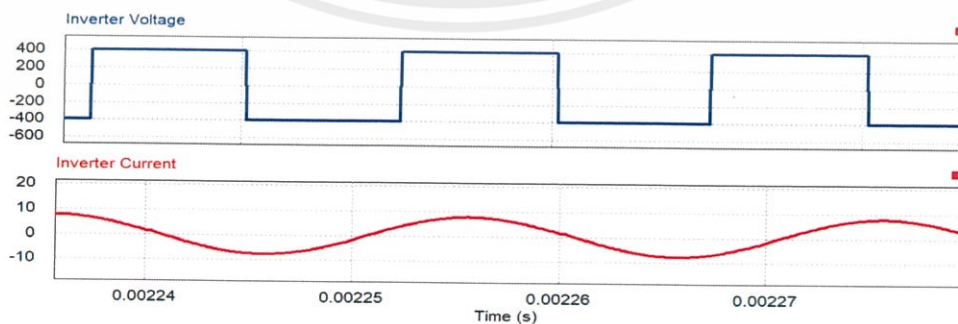
รูปที่ 4.3 การทดลองกระแสและแรงดันขาเข้าเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Source)

MEASURED AT SOURCE

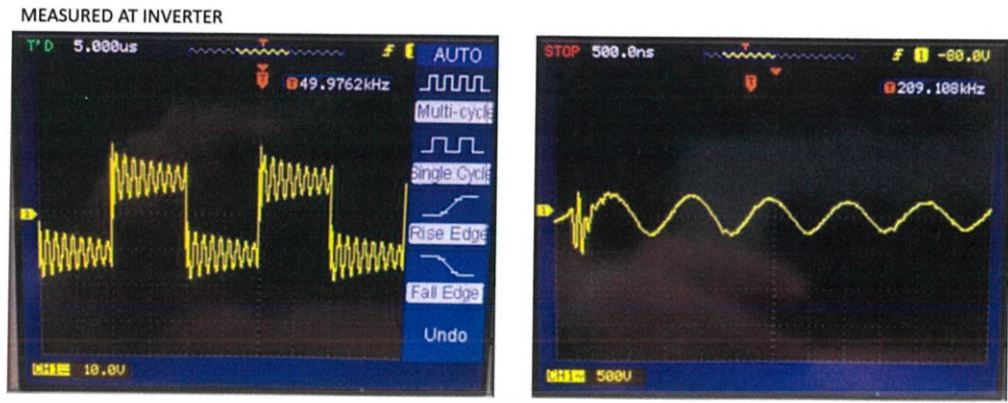


รูปที่ 4.4 การทดสอบกระแสและแรงดันขาเข้าเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Source)

แรงดันและกระแสวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.5 การทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

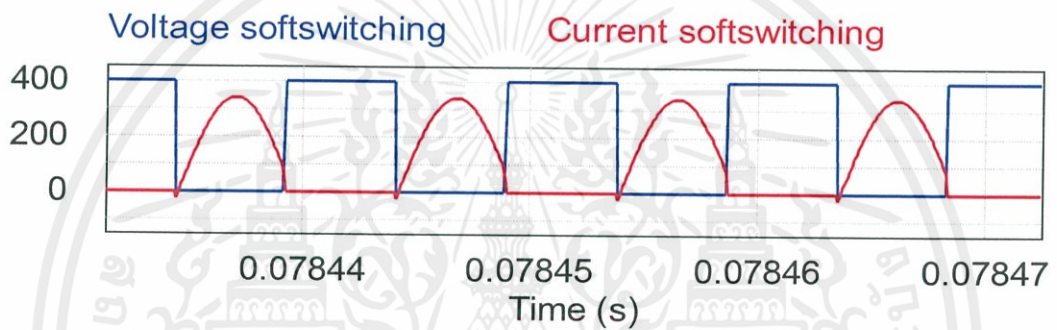


Voltage Inverter

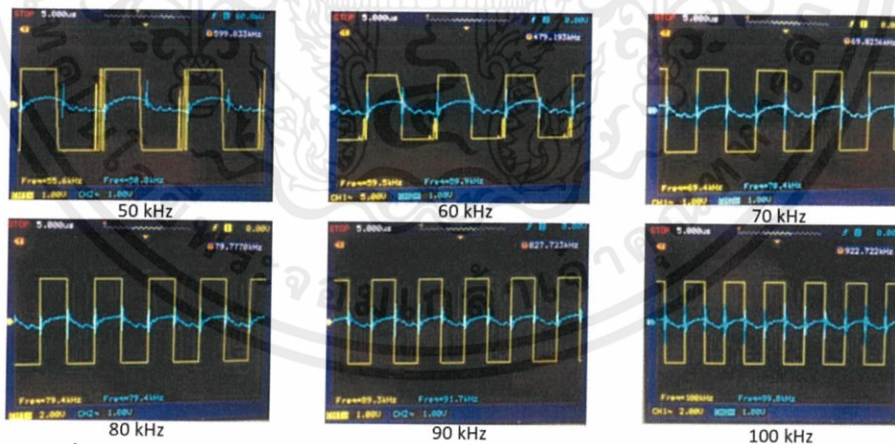
Current Inverter

รูปที่ 4.6 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

แรงดันและกระแสวงจรซอร์ฟสวิท

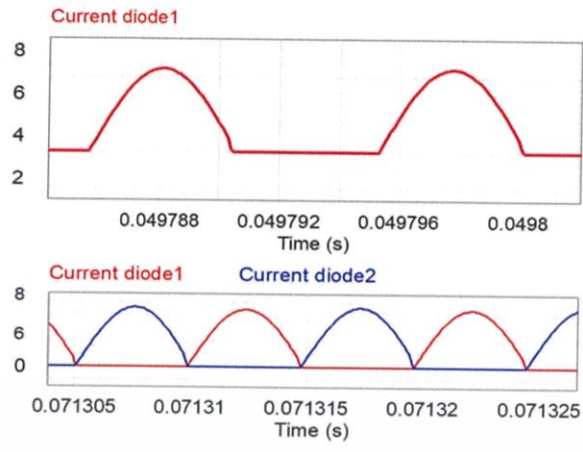


รูปที่ 4.7 การทดลองวงจรซอร์ฟสวิทภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 การทดสอบวงจรซอร์ฟสวิทภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

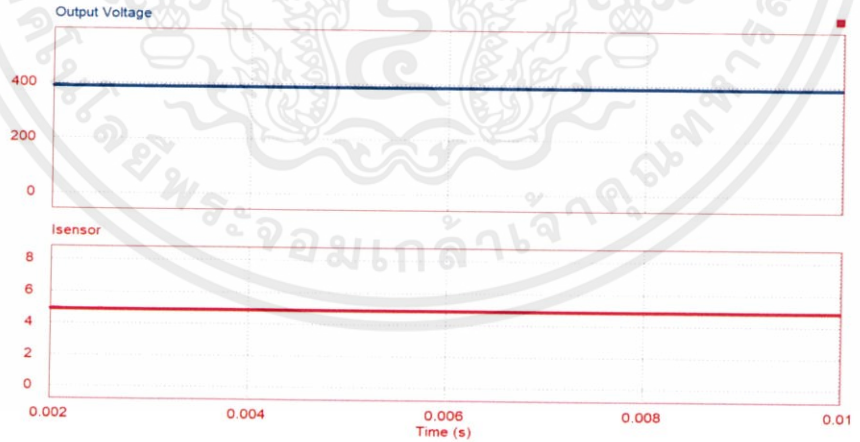
แรงดันและกระแสวงจรเรกติไฟเออร์



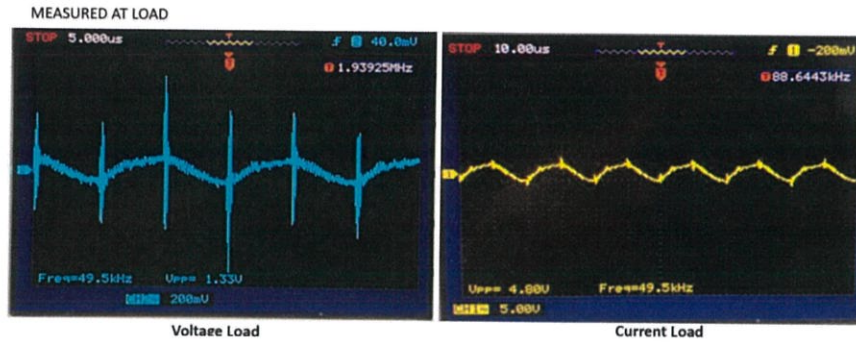
รูปที่ 4.9 การทดลองวงจรเรกติไฟเออร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 การทดสอบวงจรเรกติไฟเออร์ภายในเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า แรงดันและกระแสขาออก



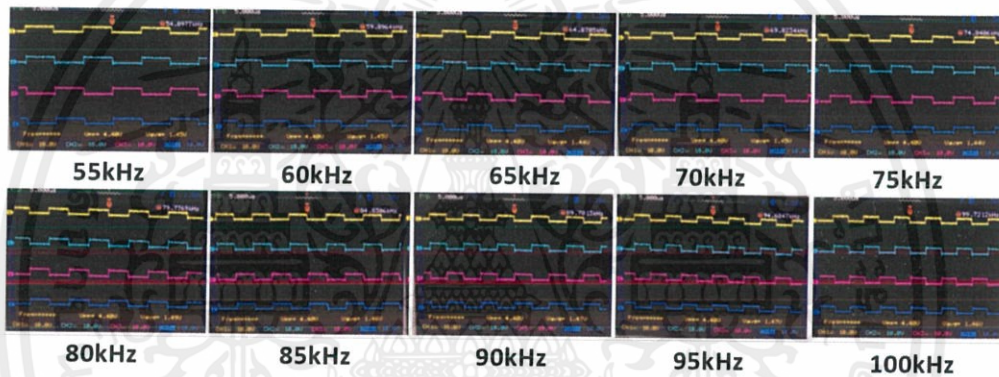
รูปที่ 4.11 การทดลองกระแสและแรงดันขาออกจากเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Load)



รูปที่ 4.12 การทดสอบกระแสและแรงดันขาออกจากเครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV Load)

4.4 ผลการทดสอบการปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า

การปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้าใช้อุปกรณ์ DIP SWITCH โดยปรับความถี่ทั้งหมด 11 ความถี่ด้วยกัน ดังนี้



รูปที่ 4.13 การทดสอบแรงดันในการชาร์จของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

Simulation						Practical					
f(kHz)	Vin	Iin	Vout	Iout	Power out	f(kHz)	Vin	Iin	Vout	Iout	Power out
50	100	2.05	98.27	1.23	120.87	50	100	0.9	99.3	0.7	69.51
55	100	1.61	91.61	1.15	105.35	55	100	0.83	95.2	0.65	61.88
60	100	1.38	84.11	1.05	88.31	60	100	0.8	92.5	0.6	55.5
65	100	1.23	76.95	0.96	73.87	65	100	0.73	85.5	0.56	47.88
70	100	1.12	70.64	0.88	62.16	70	100	0.62	78.8	0.47	37.03
75	100	1.03	65.24	0.82	53.49	75	100	0.5	71.6	0.41	29.35
80	100	0.95	60.56	0.76	46.02	80	100	0.43	66.4	0.35	23.24
85	100	0.89	56.61	0.71	40.19	85	100	0.37	61.7	0.3	18.51
90	100	0.84	53.14	0.66	35.07	90	100	0.33	58.4	0.26	15.18
95	100	0.79	50.13	0.63	31.58	95	100	0.28	54.7	0.21	11.48
100	100	0.75	47.5	0.59	28.02	100	100	0.25	51.8	0.19	9.84

รูปที่ 4.14 การทดสอบการปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่าวงจร Isolated Resonant DC/DC Converter สามารถทำการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ได้ โดยสามารถชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 5 A และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 400V เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้า 2kW ให้กับรถยนต์อีกคัน โดยสามารถปรับ

กำลังไฟฟ้าลดลงได้ โดยการปรับความถี่ ซึ่งใช้อุปกรณ์ DIP Switch เนื่องจากขีดจำกัดเรื่องของ อุปกรณ์ที่ไม่สามารถทนกำลังไฟฟ้าสูงกว่านี้ จึงจำกัดที่ความถี่เสถียรภาพ 50kHz ไว้

4.5 บทสรุป

จากการทดสอบการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุระหว่างยานยนต์พลังงานไฟฟ้า ขนาด 2 กิโลวัตต์ พบว่าวงจรที่ออกแบบมานั้น สามารถชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบกระแสคงที่ และ แรงดันคงที่ได้ เครื่องชาร์จจะค่อยๆขึ้นแรงดัน เพื่อป้องกันอุปกรณ์และแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย โดยทำการจำลองการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันหนึ่งสู่อีกคันหนึ่ง ซึ่งในการ ทดลองจะให้คันแรกที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นไฟฟ้า AC ต่อเข้า Bridge Rectifier ให้ส่งไฟฟ้า เป็น DC และให้แบตเตอรี่อีกคัน เป็นภาระทางไฟฟ้าโหลดไฟแทน ในการชาร์จจะใช้พิกัด กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2kW 400V 5A ซึ่งเป็นค่าพิกัดสูงสุดของการชาร์จและดิสชาร์จ ของรถยนต์พลังงาน ไฟฟ้าของค่ายนิสสัน (Nissan Leaf Nismo 2018) ในด้านความปลอดภัยนั้นจะใช้หม้อแปลงความถี่ สูงแยกกราวด์ของวงจรฝั่งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ



บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการออกแบบและทดสอบวงจร พบว่า เครื่องชาร์จสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ระหว่างวัตถุจำลองแบตเตอรี่ของยานยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยการชาร์จอาศัยหลักการควบคุมระดับ แรงดันและกระแสจากวงจรไอโซเลต เรโซแนนท์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถควบคุม กำลังไฟฟ้าขาออกได้ตามต้องการ โดยระดับแรงดันสูงสุดที่กำหนดคือ 400 โวลต์ และระดับ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดคือ 5 แอมป์ เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์จึงกำหนดดิวิตีไซเคิลสูงสุดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ด้วยความถี่สวิตซ์ 50 กิโลเฮิร์ต และปรับกำลังตามความถี่ได้ 3 ระดับ โดยมีหม้อแปลง เป็นตัวแยกกราวด์วงจรทั้งสองฝั่ง หากวงจรใดวงจรหนึ่งเสียหาย วงจรอีกฝั่งหรือรถอีกคันที่ใช้เครื่อง ชาร์จจะอยู่จะไม่เสียหายตามไปด้วย

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถออกแบบเครื่องชาร์จที่มีพิกัดกำลังสูงกว่านี้ ได้ และตัวอุปกรณ์ยังขาดความมีเสถียรภาพ ซึ่งต้องพัฒนาและแก้ไขต่อไปเพื่อให้ได้ตามเป้าหมาย แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษา และประดิษฐ์ชิ้นงานนี้ ทำให้ได้เรียนรู้เกี่ยวกับวงจรอัดประจุ การ ออกแบบ โปรแกรมควบคุมการทำงานมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดงานวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวังดังนี้

1. เมื่อเกิดข้อผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์เสียหายขณะทำการทดลอง ควรวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิด ให้ดี ก่อนดำเนินการทดลองขั้นต่อไป เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดซ้ำสอง
2. ในการทดลองควรเริ่มจากสภาพไร้ภาระทางไฟฟ้า แล้วค่อยเพิ่มภาระทางไฟฟ้า เพื่อจะดู แนวโน้มของผลที่วัดออกมาได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติมความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่อง ประจุแบตเตอรี่และระบบแสดงผลบนแอปพลิเคชันได้ดังนี้

1. เพิ่มระดับกระแส เพื่อลดระยะเวลาการชาร์จ ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น
2. ลดขนาดของอุปกรณ์ โดยการเพิ่มความถี่ในการสับสวิตซ์ ซึ่งช่วยลดขนาดของขดลวดเหนียว และลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้
3. ประยุกต์ระบบการเก็บข้อมูลและแชร์ข้อมูลของบริการการชาร์จและการชำระเงิน โดยใช้ เทคโนโลยี บล็อกเชน
4. ศึกษาข้อมูลเชิงลึก CAN BUS Protocol ของยานยนต์พลังงานไฟฟ้า เพื่อดูคำสั่ง Command ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] David P.Tuttle, Robert L. Fares, University of Texas Austin “Plug-In Vehicle to Home (V2H) Duration and Power Output Capability”, IEEE Vol3, No.1, Revised August 2012
- [2] W.Kempton and J.Tomic, “Vehicle to Grid Power Fundamentals Calculating capacity and net revenue”, J. Power Sources, Vol.144, No.1, PP.268-279, June.2005
- [3] P.Kowstubha, K.Krishnaveni, K.Ramesh Reddy, Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Hyderabad, India “Performance analysis of Pulse Analog Control Schemes for LLC Resonant DC/DC Converters Suitable in Portable Applications”, Revised 7 July 2016
- [4] Bin, G., Lin, C.-Y., Chen, B.F., Dominic, J., Lai, J.-S.(Jason), 2013. “Zero-voltage-switching PWM resonant full-bridge converter with minimized circulating losses and minimal voltage stresses of bridge rectifiers for electric vehicle battery chargers”, IEEE Trans. Power Electron.October10, 4657–4667.
- [5] Bingham, C.M., Ang, Y.A., Foster, M.P., Stone, D.A., 2008 “Analysis and control of dual-output LCLC resonant converters with significant leakage inductance”, IEEE Trans. Power Electron. 23 July, 1724–1732.
- [6] Chaohui, L., Wang, J., Colombage, K., Gould, C., Sen, B., Stone, D., 2015. “Current ripple reduction in 4 kW LLC resonant converter based battery charger for electric vehicles”, In: IEEE Energy Conversion Congress Exposition, 20–24 September, Montreal, QC, pp. 6014–6021.
- [7] Fariborz, M., Craciun, M., Gautam, D.S., Eberle, W., 2014, “Control strategies for wide output voltage range LLC resonant DC–DC converters in battery chargers”, IEEE Trans. Veh. Technol. March 3, 1117–1125.
- [8] กฤตกร กาญจนภินพงส์, จารุวรรณ เลิศศิริ, จิราวุธ ชมภู, ชนันธร ฐิติถากุล “ การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้าประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย”, ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 75 นำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 76 นำไปใช้

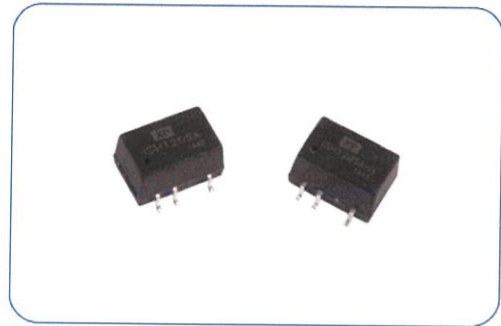
ISH Series

DC-DC Converter



2 Watts

- Single Output
- SMD Package
- Industry Standard Pinout
- Operating Temperature -40 °C to +105 °C
- 1500 VDC Isolation, 3000 VDC Option
- 3 Year Warranty



Dimensions:

ISH:
0.500 x 0.44 x 0.285" (12.7 x 11.2 x 7.25 mm)

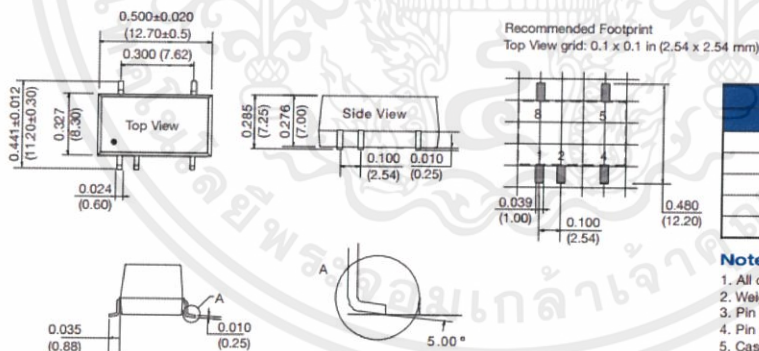
Models & Ratings

Input Voltage	Output Voltage	Output Current	Input Current ^{1b}		Maximum Capacitive Load	Efficiency ^{2a}	Model Number ^{2f}
			No Load	Full Load			
4.5-5.5	3.3V	400 mA	30 mA	506 mA	220 µF	72%	ISH0503A ^{3f}
	5V	400 mA	30 mA	506 mA	220 µF	79%	ISH0505A ^{3f}
	9V	222 mA	30 mA	506 mA	220 µF	82%	ISH0509A ^{3f}
	12V	167 mA	30 mA	506 mA	220 µF	82%	ISH0512A ^{3f}
	15V	133 mA	30 mA	506 mA	220 µF	83%	ISH0515A ^{3f}
10.8-13.2	5V	400 mA	25 mA	212 mA	220 µF	79%	ISH1205A ^{3f}
	9V	222 mA	25 mA	212 mA	220 µF	82%	ISH1209A ^{3f}
	12V	167 mA	25 mA	212 mA	220 µF	82%	ISH1212A ^{3f}
	15V	133 mA	25 mA	212 mA	220 µF	83%	ISH1215A ^{3f}
	24V	83 mA	25 mA	212 mA	220 µF	84%	ISH1224A ^{3f}
13.5-16.5	15V	133 mA	18 mA	169 mA	220 µF	83%	ISH1515A ^{3f}
	5V	400 mA	15 mA	105 mA	220 µF	79%	ISH2405A ^{3f}
21.6-26.4	12V	167 mA	15 mA	105 mA	220 µF	82%	ISH2412A ^{3f}
	15V	133 mA	15 mA	105 mA	220 µF	83%	ISH2415A ^{3f}
	24V	83 mA	15 mA	105 mA	220 µF	86%	ISH2424A ^{3f}

Notes

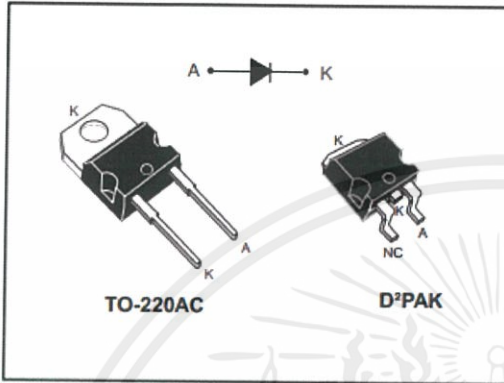
1. For optional 3000 VDC Isolation add suffix "-H" to end of part number e.g. ISH1224A-H.
2. Input currents measured at nominal input voltage.
3. Typical value at full load.

Mechanical Details



Automotive grade 1200 V power Schottky silicon carbide diode

Datasheet - production data


Description

The SiC diode, available in TO-220AC and D²PAK, is an ultrahigh performance power Schottky rectifier. It is manufactured using a silicon carbide substrate. The wide band-gap material allows the design of a low V_F Schottky diode structure with a 1200 V rating. Due to the Schottky construction, no recovery is shown at turn-off and ringing patterns are negligible. The minimal capacitive turn-off behavior is independent of temperature. Especially suited for use in PFC and secondary side applications, this ST SiC diode will boost the performance in hard switching conditions. This rectifier will enhance the performance of the targeted application. Its high forward surge capability ensures a good robustness during transient phases.

Features

- AEC-Q101 qualified
- No or negligible reverse recovery
- Switching behavior independent of temperature
- Robust high voltage periphery
- PPAP capable
- Operating T_J from $-40\text{ }^\circ\text{C}$ to $175\text{ }^\circ\text{C}$
- ECOPACK[®]2 compliant

Table 1: Device summary

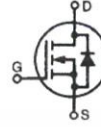
Symbol	Value
$I_{F(AV)}$	20 A
V_{RRM}	1200 V
T_J (max.)	175 °C
V_F (typ.)	1.35 V

**X2-Class HiPerFET™
Power MOSFET**

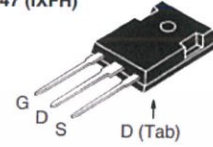
**IXFH80N65X2
IXFK80N65X2**

$V_{DSS} = 650V$
 $I_{D25} = 80A$
 $R_{DS(on)} \leq 38m\Omega$

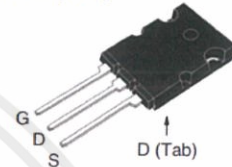
N-Channel Enhancement Mode
Avalanche Rated
Fast Intrinsic Diode



TO-247 (IXFH)



TO-264P (IXFK)



G = Gate
S = Source
D = Drain
Tab = Drain

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	
V_{DSS}	$T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$	650	V
V_{DGR}	$T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$, $R_{GS} = 1M\Omega$	650	V
V_{OSS}	Continuous	± 30	V
V_{OSM}	Transient	± 40	V
I_{D25}	$T_C = 25^\circ C$	80	A
I_{DM}	$T_C = 25^\circ C$, Pulse Width Limited by T_{JM}	160	A
I_A	$T_C = 25^\circ C$	20	A
E_{AS}	$T_C = 25^\circ C$	3	J
dv/dt	$I_S \leq I_{DM}$, $V_{DS} \leq V_{DSS}$, $T_J \leq 150^\circ C$	50	V/ns
P_D	$T_C = 25^\circ C$	890	W
T_J		-55 ... +150	$^\circ C$
T_{JM}		150	$^\circ C$
T_{stg}		-55 ... +150	$^\circ C$
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering	300	$^\circ C$
T_{SOLD}	1.6 mm (0.062in.) from Case for 10s	260	$^\circ C$
M_d	Mounting Torque	1.13 / 10	Nm/lb.in
Weight	TO-247	6	g
	TO-264P	10	g

Features

- International Standard Packages
- Low $R_{DS(on)}$ and Q_G
- Avalanche Rated
- Low Package Inductance

Advantages

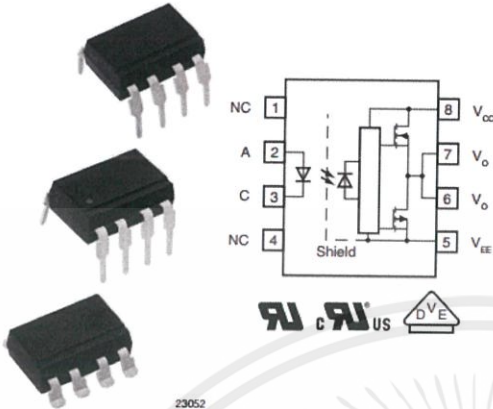
- High Power Density
- Easy to Mount
- Space Savings

Applications

- Switch-Mode and Resonant-Mode Power Supplies
- DC-DC Converters
- PFC Circuits
- AC and DC Motor Drives
- Robotics and Servo Controls

Symbol	Test Conditions ($T_J = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified)	Characteristic Values		
		Min.	Typ.	Max.
BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V$, $I_D = 1mA$	650		V
$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 4mA$	3.5		5.0 V
I_{OSS}	$V_{GS} = \pm 30V$, $V_{DS} = 0V$			± 100 nA
I_{DSS}	$V_{DS} = V_{DSS}$, $V_{GS} = 0V$ $T_J = 125^\circ C$			50 μA
				3 mA
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10V$, $I_D = 0.5 \cdot I_{D25}$, Note 1			38 m Ω

2.5 A Output Current IGBT and MOSFET Driver



FEATURES

- 2.5 A minimum peak output current
- Rail-to-rail output stage
- 0.5 μ s maximum propagation delay time
- 35 kV/ μ s minimum common mode rejection (CMR) at $V_{CM} = 1500$ V
- Wide operating V_{CC} range: 15 V to 30 V
- $I_{CC} = 3.5$ mA maximum supply current
- Industrial temperature range: -40 °C to $+105$ °C
- Under voltage lock-out (UVLO) with hysteresis
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS COMPLIANT

APPLICATIONS

- Isolated IGBT / MOSFET gate driver
- AC and brushless DC motor drives
- Induction stove top
- Industrial inverters
- Switch mode power supplies (SMPS)
- Uninterruptible power supplies (UPS)

DESIGN SUPPORT TOOLS

[click logo to get started](#)



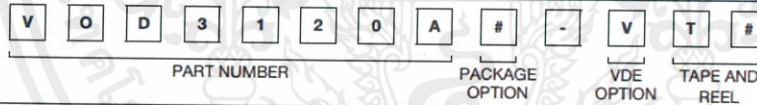
DESCRIPTION

The VOD3120A consists of a AlGaAs LED optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. This optocoupler is ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs used in motor control inverter applications. The high operating voltage range of the output stage provides the drive voltages required by gate controlled devices. The voltage and current supplied by this optocoupler makes it ideally suited for directly driving IGBTs with ratings up to 1200 V / 100 A. For IGBTs with higher ratings, the VOD3120A can be used to drive a discrete power stage which drives the IGBT gate.

AGENCY APPROVALS

- [UL 1577](#)
- [cUL](#)
- [DIN EN 60747-5-5 \(VDE 0884\) and reinforced insulation rating available with option "V"](#)
- [CQC](#)

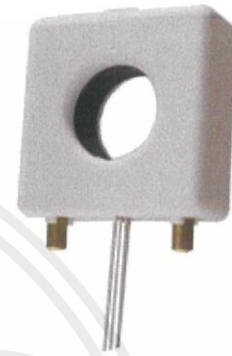
ORDERING INFORMATION



AGENCY CERTIFIED / PACKAGE	CMR (kV/ μ s)
UL, cUL, CQC	35
DIP-8	VOD3120AD
DIP-8, 400 mil	VOD3120AG
SMD-8	VOD3120AB-T
SMD-8, 180° orientation	VOD3120AB-T2
VDE, UL, cUL, CQC	35
DIP-8	VOD3120AD-V
DIP-8, 400 mil	VOD3120AG-V
SMD-8	VOD3120AB-VT
SMD-8, 180° orientation	VOD3120AB-VT2

Hall Effect Base Linear Current Sensor**Features:**

- Diameter 9.0 mm conductor through hole
- Output voltage proportional to AC and DC current
- Wide sensing current range 0~70A at 5V voltage supply
- High sensitivity 33 mV/A
- Wide operating voltage range 3.0~12 V.
- Low operating current 3mA
- Isolation voltage 4000V
- Ratiometric output from supply voltage
- 23K Hz Bandwidth

**Functional Description :**

The Winson WCS1700 current sensor provides economical and precise solution for both DC and AC current sensing in industrial, commercial and communications systems. The unique package provides easy implementation without breaking original system and makes current sensing possible. Typical applications include motor control, load detection and management, over-current fault detection and any intelligent power management system etc...

The WCS1700 consists of a precise, low-temperature drift linear hall sensor IC with temperature compensation circuit and a diameter 9.0mm through hole. Users can use system's own electric wire by pass it through this hole to measure passing current. This design allows system designers to monitor any current path without breaking or changing original system layout at all. Any current flowing through this hole will generate a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage.

The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads. This allows the WCS1700 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques and make system more competitive in cost.

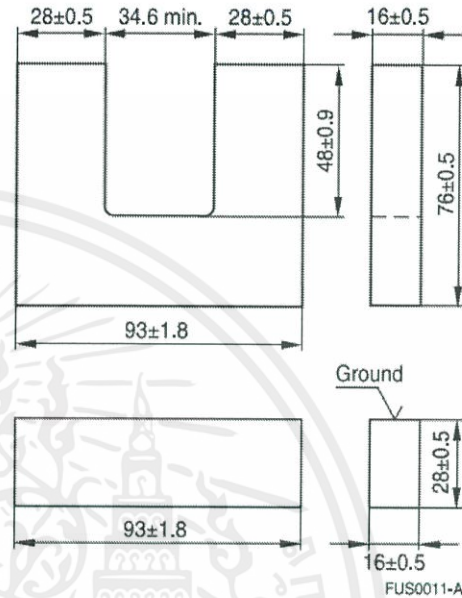
Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

U 93/76/16 with I 93/28/16
Cores
B67345

- Delivery mode: single units
- For power transformers >1 kW (20 kHz)

Magnetic characteristics (per set)

	UU 93/152/16	UI 93/104/16	
$\Sigma l/A$	0.79	0.58	mm ⁻¹
l_e	354	258	mm
A_e	448	448	mm ²
A_{min}	448	448	mm ²
V_e	159000	116000	mm ³
m	800	600	g/set



The A_L value in the table applies to a core set comprising two ungapped cores.

Material	A_L value nH	μ_e	P_V W/set	Ordering code
Combination UU 93/152/16				
N27	2900 +30/-20%	1820	< 32.0 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X027
N87	3100 +30/-20%	1950	< 14.0 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X087
N95	4100 +30/-20%	2578	< 9.5 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X095
Combination UI 93/104/16				
N27	3800 +30/-20%	1740	< 24.0 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X027 (U) B67345B0004X027 (I)
N87	4100 +30/-20%	1880	< 11.0 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X087 (U) B67345B0004X087 (I)
N95	5300 +30/-20%	2429	< 7.0 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B67345B0003X095 (U) B67345B0004X095 (I)

Digital Signal Controllers (DSCs)

SPRS439–JUNE 2007

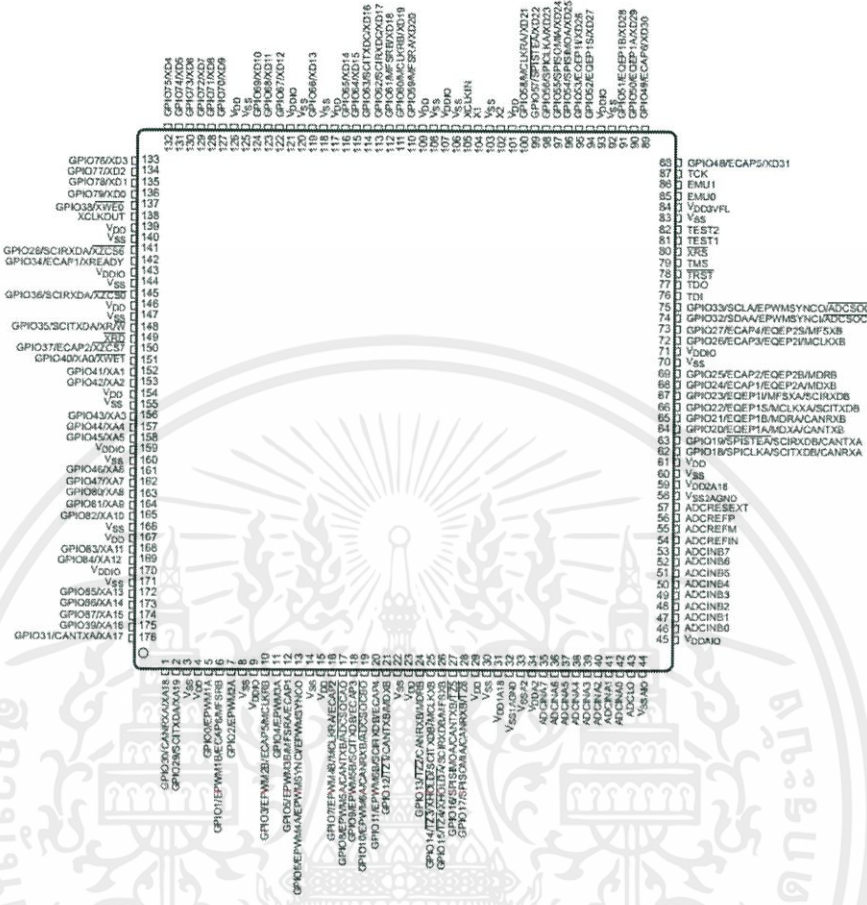
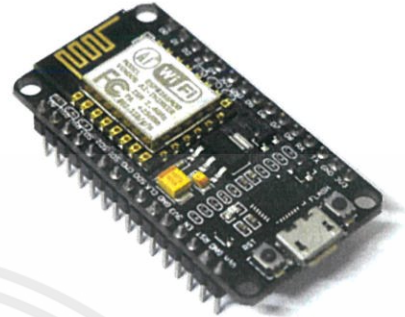


Figure 2-1. F28335, F28334, F28332 176-Pin PGF LQFP (Top View)

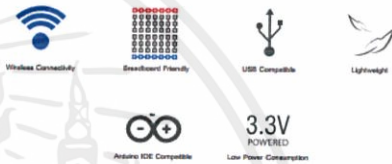
NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" by default refers to the firmware rather than the DevKit. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the eLua project, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as lua-cjson, and spiffs.



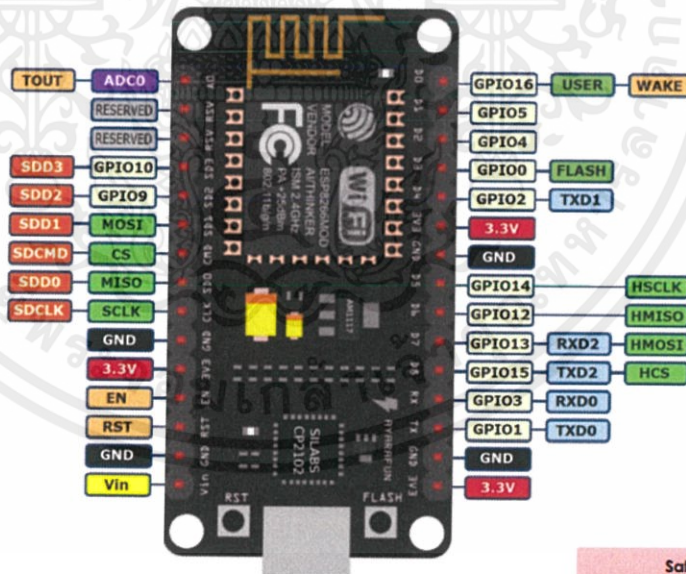
Features

- ▶ Version : DevKit v1.0
- ▶ Breadboard Friendly
- ▶ Light Weight and small size.
- ▶ 3.3V operated, can be USB powered.
- ▶ Uses wireless protocol 802.11b/g/n.
- ▶ Built-in wireless connectivity capabilities.
- ▶ Built-in PCB antenna on the ESP-12E chip.
- ▶ Capable of PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, 1 analog pin.
- ▶ Uses CP2102 USB Serial Communication interface module.
- ▶ Arduino IDE compatible (extension board manager required).
- ▶ Supports Lua (alike node.js) and Arduino C programming language.



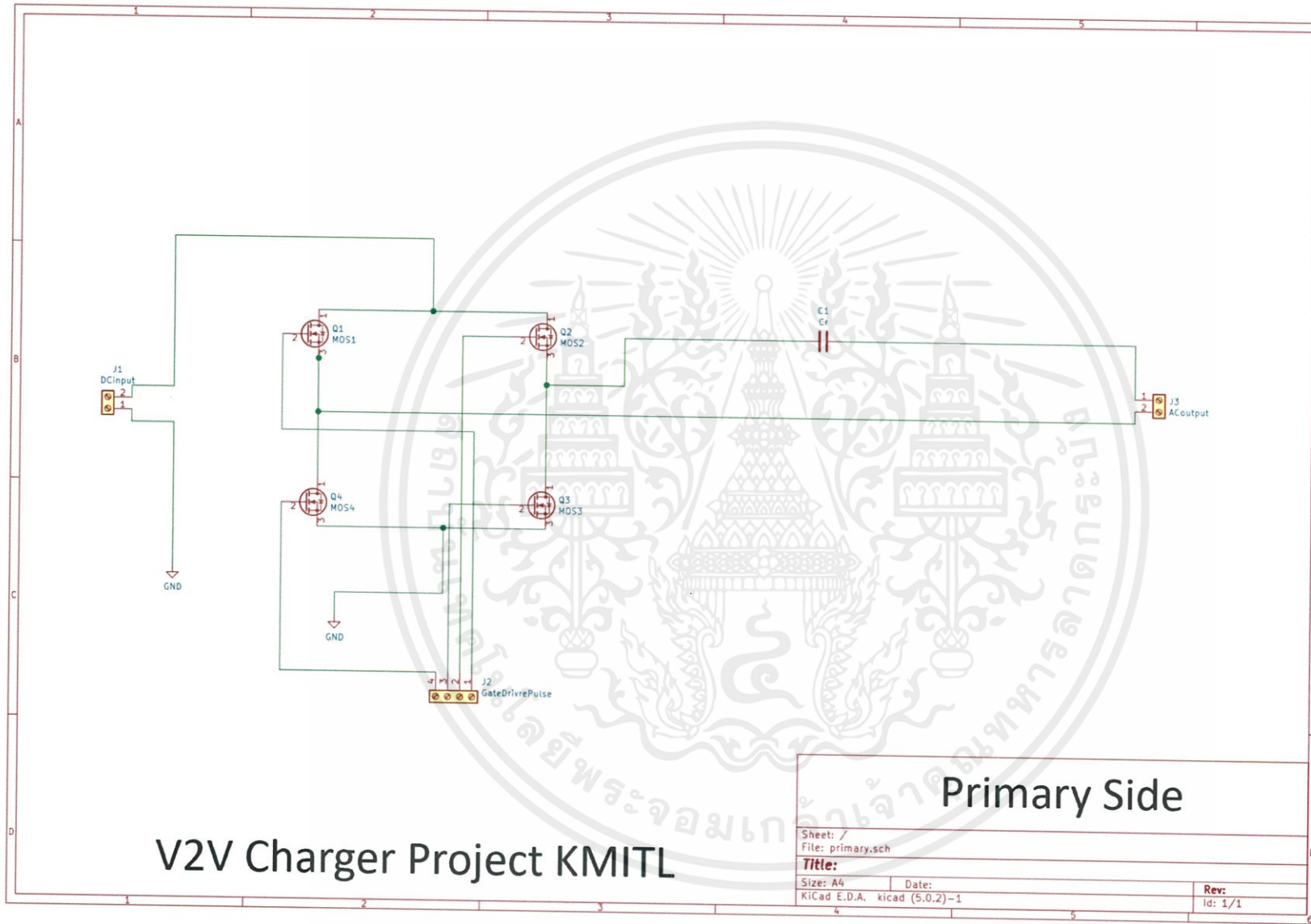
PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0



Source
<https://iobytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/>

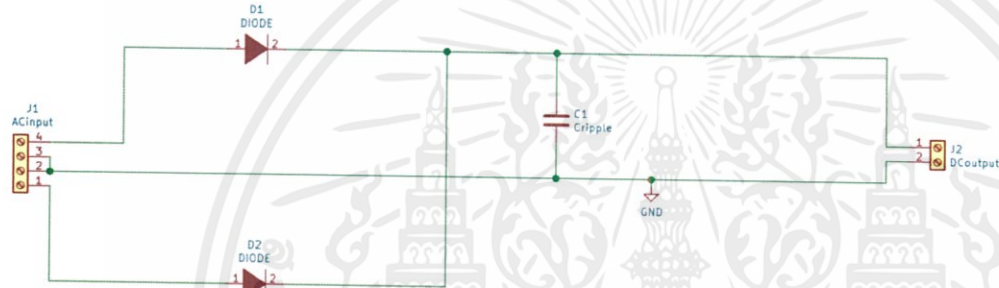
Safety Precaution
 All GPIO runs at 3.3V !!



V2V Charger Project KMITL

Primary Side

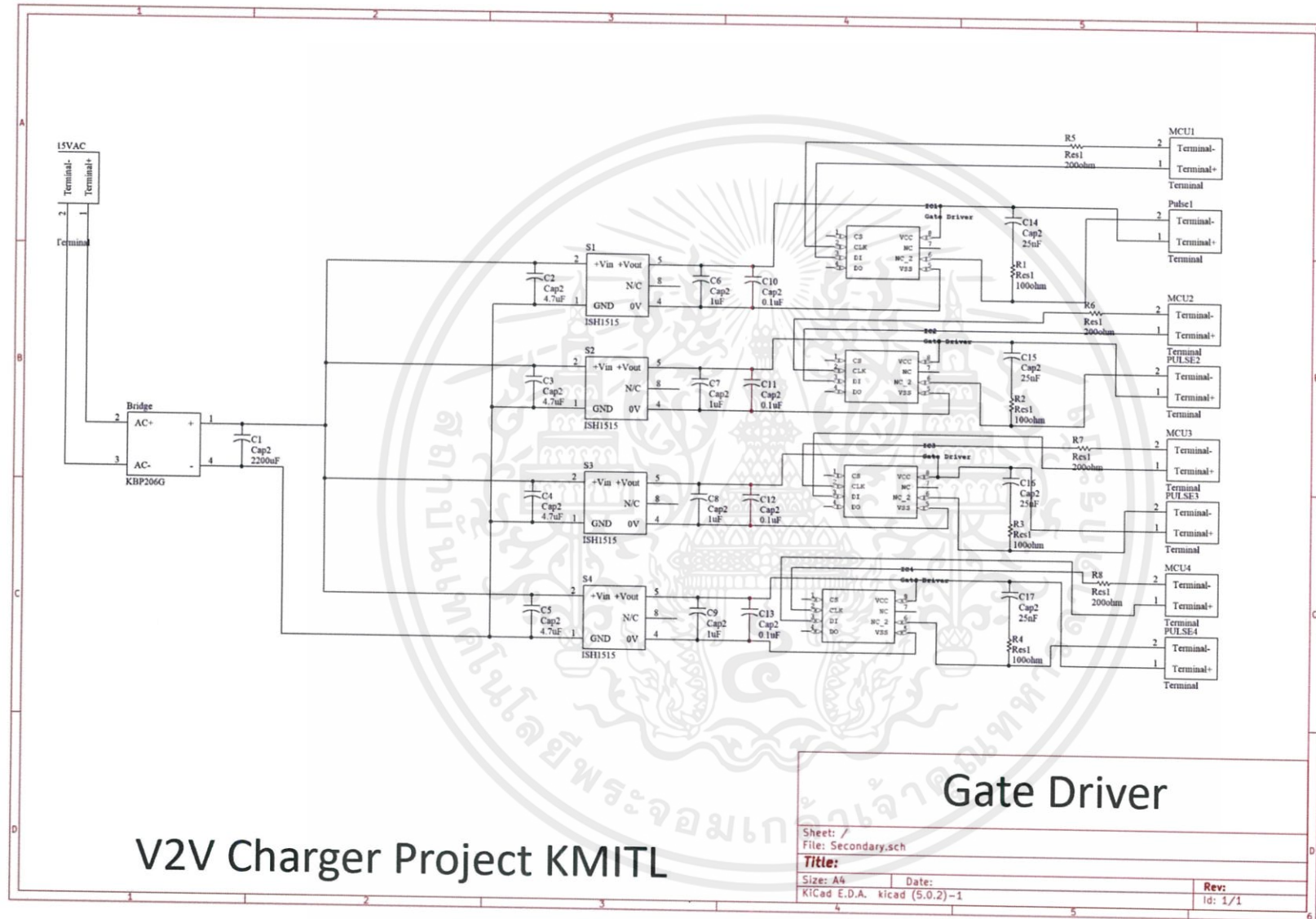
Sheet: /	
File: primary.sch	
Title:	
Size: A4	Date:
KiCad E.D.A. kicad (5.0.2)-1	Rev:
	Id: 1/1



V2V Charger Project KMITL

Secondary Side

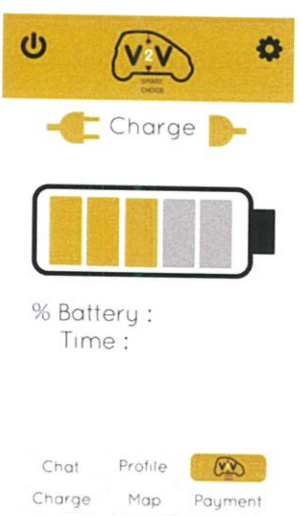
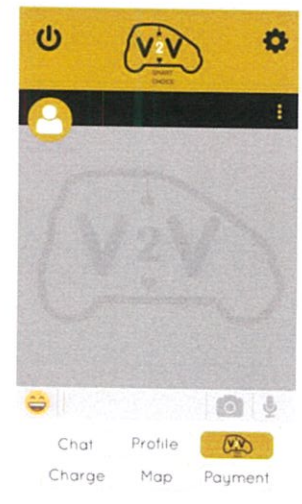
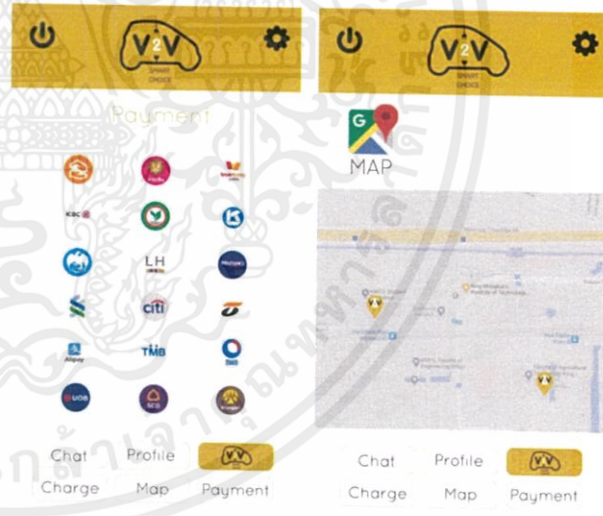
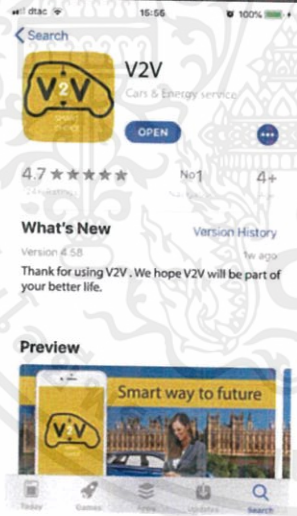
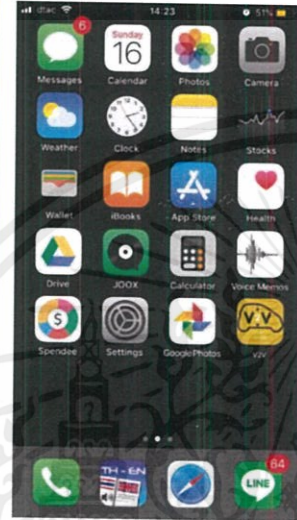
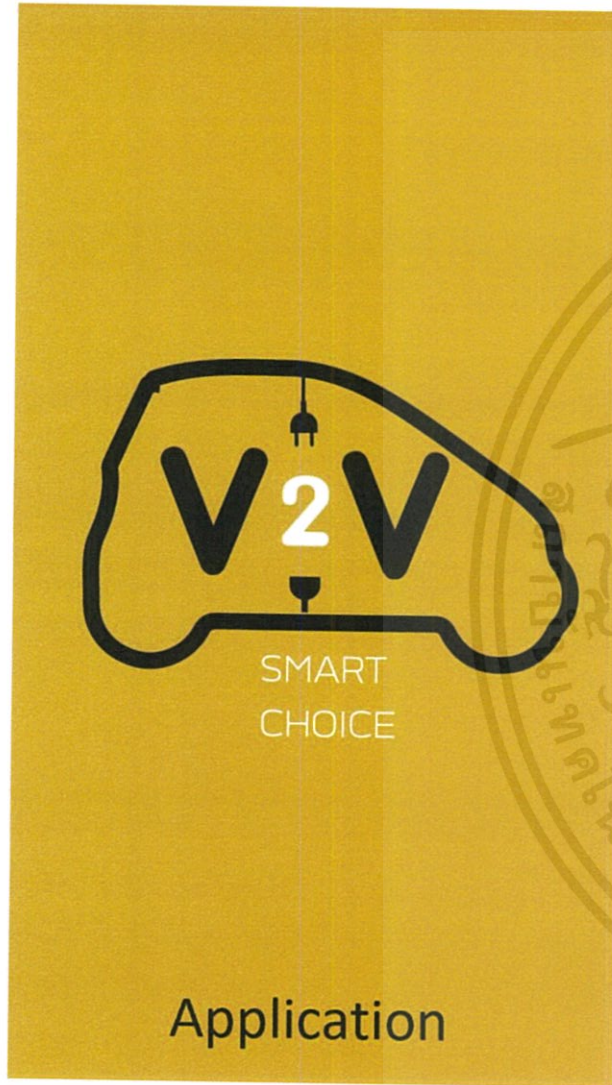
Sheet: /	
File: Secondary.sch	
Title:	
Size: A4	Date:
KiCad E.D.A. kicad (5.0.2)-1	
Rev:	
Id: 1/1	



V2V Charger Project KMITL

Gate Driver

Sheet: /		Rev:	
File: Secondary.sch		Id: 1/1	
Title:			
Size: A4	Date:		
KICad E.D.A. kicad (5.0.2)-1			



V2V Charger Project KMITL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 89 มาไปใช้



VEHICLE TO VEHICLE CHARGER (V2V CHARGER)

Jenlarp Jenlarpwattanakul¹, Nipatporn Dodthai², Yuttapichai Sansupa³,
Peetapat Supanich⁴ and Dr. Sompob Polmai⁵

Abstract

This thesis aimed at presenting the design of portable charger used between Electric Vehicles (Vehicle to Vehicle Charger). EVs will play a vital role in the global car market. Hence, it is necessary to set up a battery recharging service system, which provides an immediate safe service, to reduce the problem of inadequate recharging station. V2V provides services by API to locate service points. The Application is installed to provider vehicles, and a portable charger is equipped in the trunk area. Clients can search for service points then call through an application that location, coordinate via GPS of providers' vehicles in which the V2V system is installed. Clients can make payment through Internet Banking. The V2V charger is designed in accordance with IEC62196-2. In future, the charger can be developed for commercial in conjunction with application on smart phone. V2V system targets to contact for helping each other directly.

Introduction

Nowadays, EVs plays a vital role in people's life. Not only the rate of EVs are dramatically increased but also the price of its. Despite the rising of EVs in Thailand is not increased as significant as the foreign country but we must anticipate with the trend for future. EVs will force the problem about limitation such as inadequate of charging station and range anxiety, especially when in the long distance that will make EV owner anxious. Thus, we created V2V Charger to use EVs community help together reducing range anxiety while driving long road. Moreover, for promoting employment & income opportunity.

Methodology



Fig1. The Stage of V2V Charger

Fig2. V2V Charger Application



Fig3. V2V Charger Prototype

Fig4. Extended Development for Business

Results

In the experiment, to transfer energy between two EVs we have decided the control circuit of power by using DSP with PWM signal fixed duty cycle at 0.5 by modulated of Sawtooth and DC signal. On top of that, The Power from Isolated Resonant DC-DC Converter is 400V 5A (2kW) with 5 kHz.

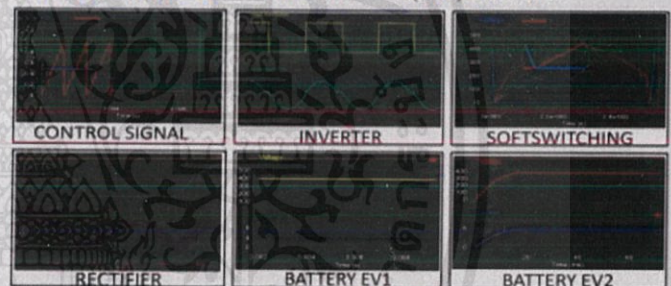


Fig5. Experimental Result

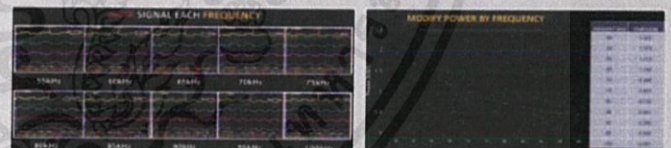


Fig6. PWM Signal in Each Frequency

Fig7. Modify Power by varied Frequency

Conclusion

In this project, we have learned, designed and built the power circuit system for V2V charging using Isolated Resonant DC-DC Converter. We have known the advantage of EVs technology as follows:

Vehicle to Vehicle Charger (V2V Charger)

- Isolated Resonant DC-DC Converter :Worked at rated 400V, 50kHz,5A,2kW.
- Power Transfer between EVs.
- Creating new Service using EVs service charged.
- Using Node MCU to apply in internet of things technology (IOT).

References

- [1] David P.Tuttle, Robert L. Fares, University of Texas Austin "Plug-In Vehicle to Home (V2H) Duration and Power Output Capability", IEEE Vol3, No.1, Revised August 2012
- [2] W.Kempton and J.Tomic, "Vehicle to Grid Fundamentals Calculating capacity and net revenue", J. Power Sources, Vol.144, No.1, PP.268-279, June.2005

Acknowledgement

MEIDEN ELECTRIC Co.ltd
NISSAN MOTOR Co.ltd
PEARL LABORATORY





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 91 นำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า VEHICLE TO VEHICLE CHARGER

เจนลาภ เจนลาภวัฒนกุล นิตภัทร โดดไทย

ยุทธพิชัย แสนสุภา ภิระภักดิ์ สุพานิช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail : Kampun_10@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพกพาสำหรับใช้ระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าด้วยกันเมื่อเกิดปัญหาพลังงานแบตเตอรี่ไม่พอต่อการเดินทางไปยังสถานีชาร์จประจุในระหว่างการเดินทาง ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นคอนเวอร์เตอร์แบบรีโซแนนซ์อนุกรมความถี่สูงเพื่อให้มีขนาดเล็กและประสิทธิภาพดี โดยหลังจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการทดลอง ผลการทดลองจากเครื่องต้นแบบแสดงให้เห็นว่าวงจรกำลังที่ออกแบบมาในเครื่องชาร์จนี้สามารถรองรับการส่งพลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายได้ตามที่กำหนด

คำสำคัญ : Isolated Resonant DC to DC Converter, V2V Charger, มาตรฐาน IEC62196-2

ABSTRACT

This thesis presents design and construction of portable battery charger between electric vehicles in case of insufficient energy on the road before reaching the next charging station. In this thesis the portable charger is designed with high frequency series resonant converter in order to have compact size and high efficiency. After confirming the circuit parameters using PSIM simulations, the prototype system is built for laboratory experiment. The experimental results

show that the prototype charger is able to transfer energy between the supply and load as designed.

1.บทนำ

ณ ปัจจุบันการใช้งานรถยนต์เป็นจำนวนมากก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายด้าน อาทิ ปัญหาด้านมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนตามมา อีกทั้งความต้องการน้ำมันในตลาดโลกสูง ราคาน้ำมันจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่ภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคต ซึ่งจากที่กล่าวมาทำให้ปัจจุบันเทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ จำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสาธารณะยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า และไม่ครอบคลุมในบางพื้นที่ โดยเฉพาะเวลาที่ต้องเดินทางในระยะทางไกลๆ หรือทำให้ผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเกิดความวิตกกังวลระหว่างการเดินทางว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่จะเพียงพอในการเดินทางหรือไม่ หากไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ใกล้ๆ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงปลั๊กไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะต้องเหมาะสมและสามารถใช้กับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้ โดยเชื่อมต่อกันระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

การอัดประจุรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งต้องการเรื่องเวลาและคุณภาพในการอัดประจุและมีการอัดประจุที่ได้มาตรฐาน โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในเรื่องการสร้างเครื่องอัดประจุพลังงานไฟฟ้าที่สามารถถ่ายโอนพลังงานระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้ภายใต้สมมติฐานการเข้าถึงโปรโตคอลการสื่อสารระหว่างสถานีชาร์จกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน รวมถึงออกแบบวงจรสำหรับการอัดประจุ อีกทั้งทั้งการศึกษาวงจรการควบคุมและระบบการสื่อสารของรถยนต์และเครื่องอัดประจุด้วย โดยเป้าหมายของการอัดประจุจะมุ่งเน้นที่ การอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า Nissan LEAF โดยภายในประกอบด้วย Battery Pack ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) โดยมีระดับแรงดันอยู่ที่ 400 โวลต์และมีความจุที่ 104 แอมป์ชั่วโมง

โดยผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องอัดประจุที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นเครื่องอัดประจุแบบเตอร์รีที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียว โดยดัดแปลงจากวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter
2. เครื่องอัดประจุสามารถอัดประจุอย่างรวดเร็ว การอัดประจุมีพิกัดกระแส 5 แอมแปร์ พิกัดแรงดันที่ 400 โวลต์ ทำให้ได้พิกัดกำลัง 2 กิโลวัตต์
3. มีแอปพลิเคชัน V2V Charger สำหรับเครื่องอัดประจุแบบเตอร์รีระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบพกพาไว้กระปรองหลังรถส่วนบุคคล

2. วงจรกำลัง

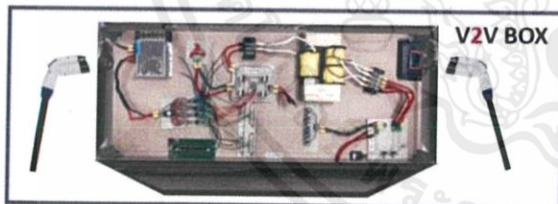
วงจรกำลังที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

ฝั่งปฐมภูมิ

1. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter 1 Phase DC-AC) แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
2. วงจรเรโซแนนซ์เทก (Soft Switch) ลดค่าความสูญเสียทางไฟฟ้าของวงจร
3. หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer) อัตราส่วน 1:1 แยกกราวด์วงจรทั้ง 2 ฝั่งให้ลดความเสียหายลง เมื่อเกิดอันตราย

ฝั่งทุติยภูมิ

4. วงจรเรียงกระแสชนิดเต็มลูกคลื่นแบบมีแทปกกลาง (Full Wave Rectifier Center Tapped) แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้แบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าอีกคัน
5. Capacitor ripple filter กรองไฟฟ้ากระแสตรงให้มีความเรียบขึ้น ก่อนจ่ายไฟฟ้าให้แบตเตอรี่

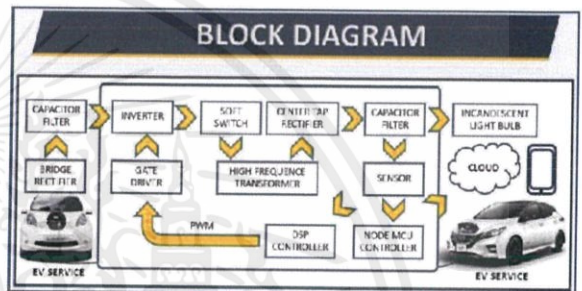


รูปที่ 1 วงจรกำลังที่สร้างขึ้น

2.1 หลักการทำงานของวงจรกำลัง

ไฟฟ้ากระแสตรงจากรถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันแรกถูกจ่ายออกมาเข้าวงจรกำลังที่ DC Bus ของวงจรปฐมภูมิ เข้าอินเวอร์เตอร์

1 เฟส เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีมอสเฟตทำหน้าที่สับสวิตช์เป็นคู่ (S1-S3 , S2-S4) ในการให้กระแสไหลผ่านวงจรได้ ซึ่งมอสเฟตได้รับคำสั่งมาจาก Microcontroller ที่ตรวจจับ Sensor ส่งค่า Feedback มาขับสัญญาณ PWM ไปที่วงจรขับเกด เพื่อขับขาเกทของมอสเฟตให้ทำงาน จากนั้นไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาไหลผ่านวงจรเรโซแนนซ์ ซอร์ฟสวิทชิง LLC ทำหน้าที่ลดค่าความสูญเสียจากการสวิตช์ของมอสเฟตให้ลดลง แล้วจึงไปที่หม้อแปลงความถี่สูงที่อัตราส่วน 1:1 ไปที่วงจรฝั่งทุติยภูมิ ซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาจะไหล 2 ทาง เนื่องจากทำการพันหม้อแปลงแบบมีแทปกกลาง แต่ละทางจะไหลเข้า Diode เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส จากนั้นจึงมาบรรจบกันแล้ว กรองไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้เรียบยิ่งขึ้น โดยใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่คำนวณได้ กรองริบเปลือยออก แล้วออกที่ DC BUS ไหลเข้าวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าอีกคัน

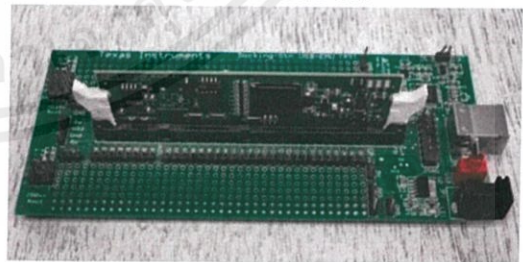


รูปที่ 2 การชาร์จแบตเตอรี่ผ่านวงจรกำลัง

3. วงจรควบคุม

วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

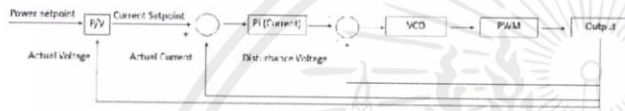
1. ชุดควบคุมสำหรับควบคุมกระแสป้อนกลับและแรงดันป้อนกลับ
 - วงจรขับเกด
 - วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าป้อนกลับ
 - วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ
2. DSP (Digital Signal Processing) Model tms320f28335
3. Node MCU Model ESP8266-12E



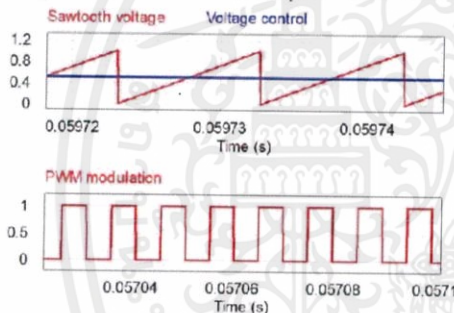
รูปที่ 3 อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ควบคุมของวงจรกำลัง

3.1 หลักการทำงานของวงจรถวลคุม

โปรแกรมควบคุมขณะชาร์จได้ออกแบบโดยเริ่มต้นจากการตรวจจับค่าแรงดัน และค่ากระแสไฟฟ้าจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่ที่ป้อนกลับเข้าไปยัง DSP ขั้นตอนแรก ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงจาก Sensor และ ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้จากจอบควบคุม จะถูกป้อนเข้า Scale (P/V) เพื่อแปลงเป็นกระแสกำหนด จากนั้นนำค่ากระแสจริงจาก Sensor และค่ากระแสที่กำหนดไว้เมื่อครู่ จะถูกป้อนเข้า PI Current loop ของ DSP ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน และ PI loop จะทำการปรับค่าควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI Control ค่าสัญญาณขาออกและค่าแรงดัน Disturbance จะถูกป้อนเข้า Voltage Controlled Oscillator (VCO) ซึ่งสามารถออกแบบ เพื่อให้ความถี่สามารถปรับได้ด้วยกระแสที่อื่นพุเข้า Oscillators สัญญาณขาออกนี้จะถูกนำไปป้อนเข้าโปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM ใน DSP และถูกส่งออกจาก Digital Output Q0.0, Q0.1 ไปควบคุมวงจรถวลคุมเพื่อควบคุมสวิตซ์วงจรกำลังต่อไป



รูปที่ 4 โดแกรมของการควบคุมวงจรถวลคุมขณะชาร์จ

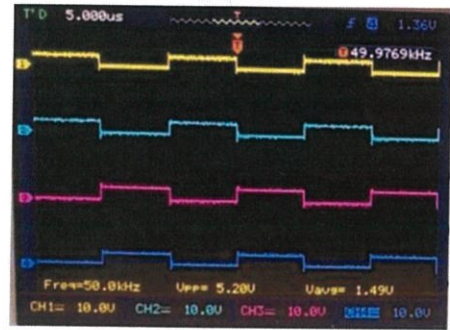


รูปที่ 5 สัญญาณควบคุมสวิตซ์

4. ผลการทดลอง

การทดสอบการชาร์จแบตเตอรี่รีเลย์นต์พลังงานไฟฟ้าจากวงจรทดลองปฏิบัติ โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าผ่านวิธีปรับความถี่ ซึ่งผ่าน PI Control และ VCO ที่นำมาใช้เป็นโค้ดในการทดลองภาคปฏิบัติของ DSP Board

4.1 ผลการทดลองคลื่นสัญญาณ PWM ขั้วขาเกท



รูปที่ 6 การทดสอบสัญญาณ PWM ควบคุมสวิตซ์

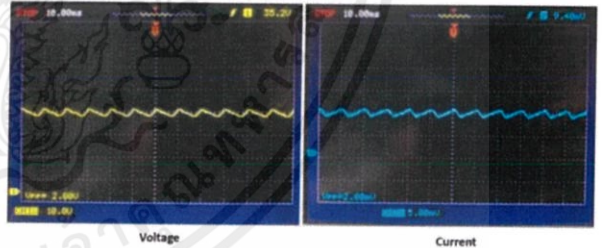
4.2 การปรับปรับความถี่เพื่อปรับกำลังไฟฟ้า

Simulation					Practical						
f [kHz]	Vin	Iin	Vout	Iout	Power out	f [kHz]	Vin	Iin	Vout	Iout	Power out
50	100	2.25	48.92	1.23	126.82	50	100	0.9	54.3	0.7	63.1
75	100	1.51	41.0	1.55	125.35	75	100	2.83	55.2	2.65	81.8
100	100	1.38	44.1	1.15	68.71	100	100	0.7	52.5	0.7	55.5
125	100	1.23	46.25	1.56	23.52	125	100	2.23	55.5	2.56	47.58
150	100	1.17	48.54	1.68	69.46	150	100	2.69	58.8	2.47	37.73
175	100	1.13	50.74	1.79	53.48	175	100	0.5	71.6	2.41	29.15
200	100	1.05	48.9	1.76	46.29	200	100	2.43	64.4	2.35	23.24
225	100	0.98	56.0	1.71	40.18	225	100	2.57	57.7	0.5	31.71
250	100	0.94	53.14	1.66	55.72	250	100	2.53	54.4	0.26	15.18
275	100	0.79	58.13	2.63	31.28	275	100	2.18	54.7	0.21	11.88
300	100	1.25	47.5	1.74	28.22	300	100	2.25	57.8	0.19	6.84

รูปที่ 7 การทดสอบการปรับกำลังไฟฟ้าโดยการปรับความถี่

4.3 ผลการทดสอบชาร์จแบตเตอรี่รีเลย์นต์พลังงานไฟฟ้าขาเข้า

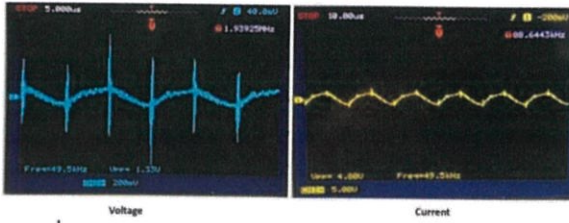
เป็นการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่รีเลย์นต์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช่วงจร Isolated Resonant DC/DC Converter ซึ่งจะเริ่มต้นการชาร์จด้วยหลักการคงที่ค่ากระแสไฟฟ้าขนาด 15 A



รูปที่ 8 การทดสอบในการชาร์จของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

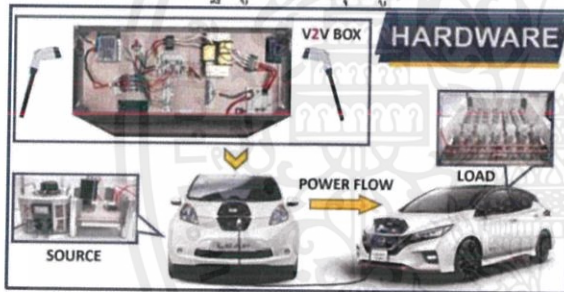
4.4 ผลการทดสอบชาร์จแบตเตอรี่รีเลย์นต์พลังงานไฟฟ้าด้วยขาออก

เป็นการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่รีเลย์นต์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช่วงจร Isolated Resonant DC/DC Converter การชาร์จด้วยหลักการคงที่ค่าแรงดันไฟฟ้าขนาด 400 V

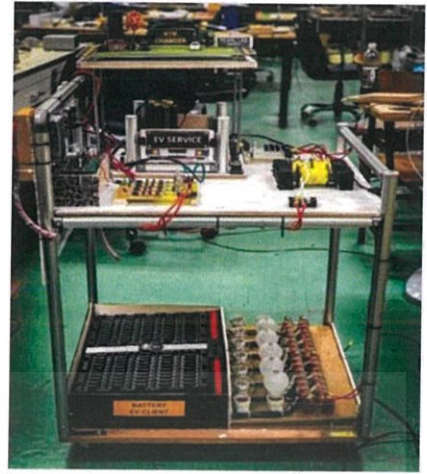


รูปที่ 9 การทดสอบโวลต์หลอดไฟสำหรับการชาร์จของเครื่องอัดประจุระหว่างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

จากการทดสอบการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุระหว่างยานยนต์พลังงานไฟฟ้า ขนาด 2 กิโลวัตต์ พบว่าวงจรที่ออกแบบมานั้นสามารถชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบกระแสสลับที่ และแรงดันคงที่ได้ โดยมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เครื่องชาร์จจะค่อยๆ ขึ้นแรงดัน เพื่อป้องกันอุปกรณ์และแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย โดยทำการจำลองการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าคันหนึ่งสู่อีกคันหนึ่ง ซึ่งในการทดลองจะให้คันแรกที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาเป็น DC Power Supply แทน และให้แบตเตอรี่อีกคัน เป็นภาระทางไฟฟ้าหลอดไฟแทน ในการชาร์จจะใช้พิกัด กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2kW 400V 5A ซึ่งเป็นค่าพิกัดสูงสุดของการชาร์จและดีสชาร์จของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าของค่ายนิสสัน (Nissan Leaf Nismo 2018) ในด้านความปลอดภัยนั้นจะใช้หม้อแปลงความถี่สูงแยกกราวด์ของวงจรฝั่งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 10 การทดลองการอัดประจุของเครื่องอัดประจุระหว่างยานยนต์พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 11 โปรโตไทป์จำลองสำหรับการทำเครื่องอัดประจุระหว่างยานยนต์พลังงานไฟฟ้า

5. สรุป

จากการออกแบบและทดสอบวงจร พบว่าการออกแบบวงจร Isolated Resonant DC-DC Converter สามารถชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่พิกัดของแบตเตอรี่ 400 V 104Ah ได้ ด้วยการชาร์จแบบกระแสสลับที่และแรงดันคงที่ โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และนำไปต่อยอดในเชิงธุรกิจและเชิงพาณิชย์ได้ ด้วยการนำเทคโนโลยี Blockchain มาเป็นตัวกลางในการชำระค่าบริการ เครื่องชาร์จนี้ ผ่านทางแอปพลิเคชันของบริการ V2V Charger และศึกษาระบบการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลสายชาร์จและรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายทั้งในทางตรงและทางอ้อม ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้ หากปราศจากความช่วยเหลือของบุคคลเหล่านี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.สมภพ ผลไม้ เป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงการ ซึ่งทำให้การทำงานต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์และบุคลากรต่าง ๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้คำแนะนำและสั่งสอนความรู้ต่าง ๆ มาโดยตลอด รวมถึงห้องปฏิบัติการ PEARL LAB (Power Electronic Applications & Energy Conversion Research Laboratory) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและพัฒนาโครงการ

ขอขอบคุณ บริษัท นิสสัน มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความรู้ด้านรถยนต์พลังงานไฟฟ้า รวมถึงโครงสร้างระบบภายในทั้งหมด และสนับสนุนงานวิจัยนี้ก้าวหน้าผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและแบ่งปันความรู้ในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้โอกาสศึกษาจัดทำปริญญาโทเต็มขั้นได้อย่างประสบความสำเร็จ สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้เลี้ยงดู สั่งสอน และให้การสนับสนุนในทุกด้าน พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

[1] David P.Tuttle, Robert L. Fares, University of Texas Austin “Plug-In Vehicle to Home (V2H) Duration and Power Output Capability”, IEEE Vol3, No.1, Revised August 2012

[2] W.Kempton and J.Tomic, “Vehicle to Grid Power Fundamentals Calculating capacity and net revenue”, J. Power Sources, Vol.144, No.1, PP.268-279, June.2005

[3] P.Kowstubha, K.Krishnaveni, K.Ramesh Reddy, Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Hyderabad, India “Performance analysis of Pulse Analog Control Schemes for LLC Resonant DC/DC Converters Suitable in Portable Applications”, Revised 7 July 2016

[4] Bin, G., Lin, C.-Y., Chen, B.F., Dominic, J., Lai, J.-S.(Jason), 2013. “Zero-voltage-switching PWM resonant full-bridge converter with minimized circulating losses and minimal voltage stresses of bridge rectifiers for electric vehicle battery chargers”, IEEE Trans. Power Electron.October10, 4657-4667.

[5] Bingham, C.M., Ang, Y.A., Foster, M.P., Stone, D.A., 2008 “Analysis and control of dual-output LCLC resonant converters with significant leakage inductance”, IEEE Trans. Power Electron. 23 July, 1724-1732.

[6] Chaohui, L., Wang, J., Colombage, K., Gould, C., Sen, B., Stone, D., 2015. “Current ripple reduction in 4 kW LLC resonant converter based battery charger for electric

vehicles”, In: IEEE Energy Conversion Congress Exposition, 20-24 September, Montreal, QC, pp. 6014-6021.

[7] Fariborz, M., Craciun, M., Gautam, D.S., Eberle, W., 2014, “Control strategies for wide output voltage range LLC resonant DC-DC converters in battery chargers”, IEEE Trans. Veh. Technol. March 3, 1117-1125.

[8] กฤตกร กาญจนภินพงค์, จารุวรรณ เลิศศิริ, จิราวุธ ชมภู, ชนันธร จูติลากุล “ การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้าประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย”, ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล

นายเจนลาภ เจนลาภวัฒนกุล

วัน เดือน ปีเกิด

19 กรกฎาคม 2539

ที่อยู่

นครปฐม 73140

557/1 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัด

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสาธิตเกษตรกำแพงแสน

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

Fukuoka Institute of technology (FIT), Japan “Supercapacitor Laboratory”

ระหว่างวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 22 มิถุนายน 2561



ชื่อ-นามสกุล

นางสาวนิพัทธ์พร โตดไทย

วัน เดือน ปีเกิด

25 มกราคม 2540

ที่อยู่

ชลบุรี 20110

191/149 หมู่ที่3 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอสรีราชา จังหวัด

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเซนต์พอลคอนแวนต์

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท ไทยออยล์ จำกัด มหาชน แผนก วิศวกรรมเครื่องวัดและควบคุม

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2560



ชื่อ-นามสกุล นายยุทธพิชัย แสนสุภา
วัน เดือน ปีเกิด 16 มกราคม 2540
ที่อยู่ 55/2 หมู่ที่34 ตำบลเชียงรากน้อย อำเภอบางปะอิน
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13180

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบางปะอิน”ราชานุเคราะห์ ๑”

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต โรงไฟฟ้าพระนครใต้ แผนก Operation & Efficiency

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2560



ชื่อ-นามสกุล นายภิตะภักดิ์ สุพานิช
วัน เดือน ปีเกิด 11 กันยายน 2539
ที่อยู่ 52/10 หมู่ที่3 ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัด
นนทบุรี 11120

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

Tokai University, Japan “Fuel Cell”

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 7 กรกฎาคม 2560