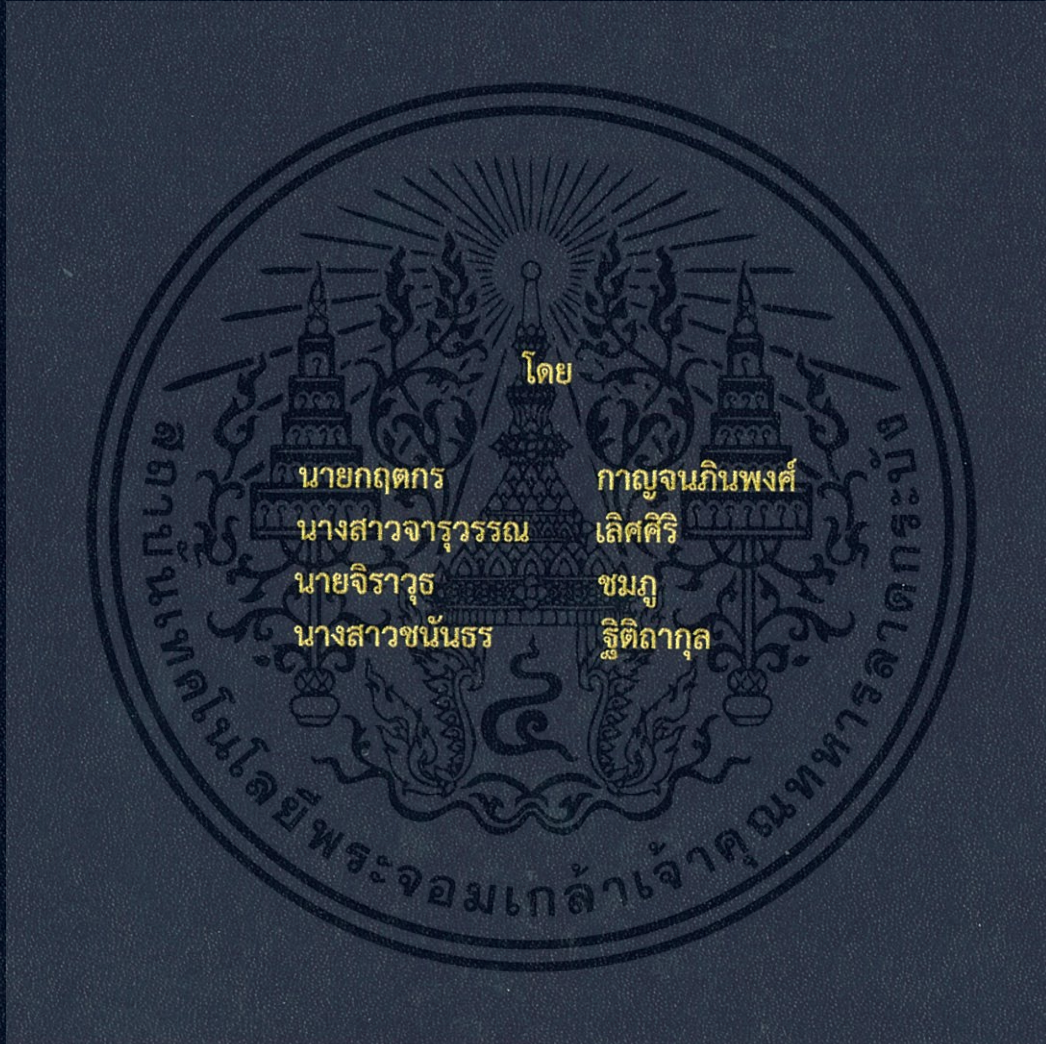


การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย
VEHICLE TO HOME FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย

VEHICLE TO HOME FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VEHICLE TO HOME FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION



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

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย
VEHICLE TO HOME FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ดร.สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย

ผู้จัดทำ

1. นายกฤตกร กาญจนภินพงค์
2. นางสาวจารุวรรณ เลิศศิริ
3. นายจิราวุธ ชมภู
4. นางสาวชนันธร ฐิติธากุล





.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นายชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย

นายกฤตกร	กาญจนภินพงค์
นางสาวจารุวรรณ	เลิศศิริ
นายจิราวุธ	ชมภู
นางสาวชนันธร	ฐิติธากุล
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ชัยทัต	มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอ เครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสองทิศทางระดับสอง ที่มีความสามารถทั้งในการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และสามารถนำพลังงานจากภายในแบตเตอรี่กลับมาจ่ายให้ที่อยู่อาศัย (Vehicle to Home; V2H) เนื่องจากในปัจจุบัน รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่รถยนต์ไฟฟ้านั้น ไม่ได้ถูกใช้งานตลอดเวลา ทำให้กลายเป็นการเก็บพลังงานที่ไร้ประโยชน์ การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ากลับมาจ่ายให้กับที่พักอาศัยในกรณีฉุกเฉินหรือในกรณีที่ค่าไฟฟ้ามีราคาสูง จะช่วยให้สามารถจัดการพลังงานได้อย่างคุ้มค่า ทั้งยังเป็นการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยอีกด้วย โดยอุปกรณ์ภายในวงจรกำลังจะมีคุณสมบัติการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าได้สองทิศทาง เพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ ขนาดของเครื่อง และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ เครื่องอัดประจุที่ออกแบบมา มีการควบคุมการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ เวลาที่ใช้ในการชาร์จทั้งหมด 8 ชั่วโมง ที่ระดับแรงดันพิกัด 100 โวลต์ ระดับกระแสพิกัด 20 แอมแปร์ โดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ 2 กิโลวัตต์ ส่วนการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่ จะไม่เกิน 20 แอมแปร์ ที่ระดับแรงดัน 220 โวลต์ การทำงานทั้งหมดนี้ จะถูกควบคุมผ่านอุปกรณ์ PLC เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ผลการจำลองผ่านโปรแกรม PSIM 9.0 สามารถยืนยันได้ว่า วงจรกำลังที่ออกแบบมา สามารถรองรับการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าสองทิศทาง และทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ อีกทั้งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ออกแบบและอ้างอิงตามมาตรฐานสากล IEC62196-2 สำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องอัดประจุไฟฟ้านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VEHICLE TO HOME FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION

Mr. Krittakorn	Kanjanapinpong	
Ms. Jaruwat	Lertsiri	
Mr. Jirawat	Chompoo	
Ms. Chanantorn	Thititagul	
Assoc. Prof. Dr. Surin	Khomfoi	Advisor
Chaitat	Maneeinn	Advisor

Year 2016

ABSTRACT

This thesis presents the level II electric vehicle charger with abilities both charging the electric vehicle and converting energy from the battery to use it in household. Due to the fact that, nowadays, electric vehicles are being used worldwide, but it is not all the time; this brings to bad energy management. Converting the energy from the battery to spare energy or energy during peak time, the energy management can be improved. The charger also controls the stability of the power system inside accommodations. Equipment, used inside the circuit, has the ability to transfer power flow bidirectionally to decrease the amount of equipment and size of the charger. The designed charger uses CC-CV (Constant Current Constant Voltage) method to control the charging phase with rated voltage and current at 100V and 20A, which result in a 2kW level II charger. PLC (Programable Logic Controller) is used to control the charger both charging and discharging mode to the battery. The simulation result using PSIM 9.0 shows that the designed circuit is able to transfer power bidirectionally and function properly as designed. This project follows and refers to IEC62196-2 standard which is the electric vehicle charger standard. In addition, this charger can be applied with commercial application in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และ นายชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษารวมไปถึงพี่ๆในห้องปฏิบัติการที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิก ใบเสร็จของโครงการ ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการ จัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลทุกข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
สารบัญตาราง (ต่อ)	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการใช้ในโครงการ	4
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ระดับการชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้า	7
2.2.1 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1	7
2.2.2 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2	7
2.2.3 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าระดับ 3	8
2.3 ประเภทของการชาร์จแบตเตอรี่	9
2.3.1 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่	9
2.3.2 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่	10
2.3.3 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่	11
2.4 ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ และสถานการณ์ชาร์จเริ่มต้น	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 ระบบจัดการแบตเตอรี่	14
2.6 ประเภทของเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้า	15
2.6.1 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียว	15
2.6.2 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง	16
2.6.3 เครื่องชาร์จแบบไร้สาย	16
2.7 มาตรฐานการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า	17
2.7.1 มาตรฐาน IEC (International Electro-technical Commission)	17
2.7.2 รูปแบบการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 -1	19
2.7.3 ลักษณะของหัวเชื่อมต่อของการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 62196-2	24
2.8 การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61851	31
2.8.1 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป	32
2.8.2 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย	32
2.8.3 แผนภาพสถานะของวงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป	38
2.8.4 แผนภาพสถานะของวงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย	39
2.8.5 ขั้นตอนการทำงาน	40
2.9 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทาง	61
2.9.1 กรณีทำงานเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง	61
2.9.2 กรณีทำงานเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	62
2.10 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	63
2.10.1 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)	63
2.10.2 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)	69
2.11 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม	74
2.11.1 การออกแบบตัวควบคุมด้วย พีไอ คอนโทรลเลอร์	74
2.12 การเปลี่ยนรูปสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Modified Sine Wave	76
2.13 สรุปวงจรการชาร์จไฟฟ้าและหลักการชาร์จไฟฟ้า	77

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.13.1 การทำงานในช่วงซาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่	77
2.13.2 การทำงานในช่วงคายประจุไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เข้าสู่ที่อยู่อาศัย	78
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์	80
3.1 บทนำ	80
3.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง	80
3.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า	81
3.2.2 วงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	82
3.2.3 วงจร Buck-Boost Bidirectional converter	83
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม	86
3.3.1 วงจรชั้บเกต	87
3.3.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า	89
3.3.3 ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้า	90
3.3.4 วงจรลดระดับแรงดัน	91
3.3.5 วงจร Not gate และตัวต้านทานจำกัดกระแส	91
3.3.6 Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200	92
3.4 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงวงจรควบคุม	94
3.4.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของวงจรชั้บเกต	94
3.4.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของตัวควบคุมหรือ PLC	94
3.4.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส	94
3.5 การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุม	95
3.5.1 โหมดการซาร์จ	95
3.5.2 โหมดการดิสซาร์จ	95
3.6 การคำนวณค่า PI factor สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้า	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.7 การคำนวณค่า PI factor สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้า	99
3.8 รถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ	101
3.9 บทสรุป	102
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการทดลอง	103
4.1 บทนำ	103
4.2 ผลการทดสอบ	103
4.2.1 หน้าจอแสดงการทำงานของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง	103
4.2.2 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยหลักการคงที่กระแสไฟฟ้า	104
4.2.3 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยหลักการคงที่แรงดันไฟฟ้า	105
4.2.4 การทดลองดิสชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาจ่ายให้ที่อยู่อาศัย	106
4.3 บทสรุป	107
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	108
5.1 บทสรุป	108
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	108
เอกสารอ้างอิง	110
ภาคผนวก	112
ภาคผนวก ก	113
ภาคผนวก ข	141
ประวัติผู้เขียน	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภาพของ Vehicle To Home (V2H)	2
รูปที่ 1.2 Volkswagen Beetle 1968	3
รูปที่ 2.1 การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่	9
รูปที่ 2.2 การชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่	11
รูปที่ 2.3 การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่	12
รูปที่ 2.4 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน MODE 1	20
รูปที่ 2.5 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน MODE 2	21
รูปที่ 2.6 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน MODE 3	22
รูปที่ 2.7 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน MODE 4	23
รูปที่ 2.8 รูปแบบเต้าเสียบในมาตรฐาน SAE J1772 (TYPE 1)	26
รูปที่ 2.9 รูปแบบของหัวปลั๊กในมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2	28
รูปที่ 2.10 รูปแบบหัวปลั๊กของ EV PLUG ALLIANCE	29
รูปที่ 2.11 รูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน CHADEMO	31
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป[4]	32
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย[4]	32
รูปที่ 2.14 แผนภาพสถานะของวงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป[4]	39
รูปที่ 2.15 แผนภาพสถานะของวงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย[4]	39
รูปที่ 2.16 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์บวกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	61
รูปที่ 2.17 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์ลบเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	62
รูปที่ 2.18 การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์บวก	62
รูปที่ 2.19 การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์ลบ	63
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	63
รูปที่ 2.21 การทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสวิตช์ปิดวงจร	64
รูปที่ 2.22 การทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสวิตช์เปิดวงจร	65
รูปที่ 2.23 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	66
รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และก๊อปปี้ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 วงจรสมมูลของวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตช์ปิด (SWITCH ON)	70
รูปที่ 2. 26 วงจรสมมูลของบวสคอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตช์เปิด (SWITCH OFF)	70
รูปที่ 2.27 ขนาดกระแสจากแหล่งจ่าย กระแสผ่านไดโอด กระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจากกฎความสมมาตรของแรงดัน-เวลา ของตัวเหนี่ยวนำ (VOLT-SEC BALANCE)	72
รูปที่ 2.28 ตัวควบคุมแบบ พีไอ คอนโทรลเลอร์	74
รูปที่ 2.29 BODE PLOT UNCOMPENSATED SYSTEM	75
รูปที่ 2.30 สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแบบ MODIFIED SINE WAVE และ PURE SINE WAVE	76
รูปที่ 2. 31 ค่าตัวแปรต่างๆของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแบบ MODIFIED SINE WAVE	77
รูปที่ 2.32 วงจรเครื่องชาร์จ	77
รูปที่ 2.33 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง BUCK MODE ON STATE	78
รูปที่ 2.34 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง BUCK MODE OFF STATE	78
รูปที่ 2.35 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง BOOST MODE ON STATE	79
รูปที่ 2.36 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง BOOST MODE OFF STATE	79
รูปที่ 3.1 วงจรกำลังที่สร้างขึ้น	81
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	82
รูปที่ 3.3 โมดูล อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	82
รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสและแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	83
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับวงจร BUCK-BOOST BIDIRECTIONAL CONVERTER	86
รูปที่ 3.6 แผงผังของวงจรขับเคลื่อน	88
รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อน	89
รูปที่ 3.8 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า	89
รูปที่ 3.9 ชิ้นงานตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้า	90
รูปที่ 3.10 แผงผังวงจรตัวตรวจแรงดันไฟฟ้า	91
รูปที่ 3.11 วงจรลดระดับแรงดัน	91
รูปที่ 3.12 วงจร NOT GATE และตัวต้านทานจำกัดกระแส	92
รูปที่ 3.13 SIEMEN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) MODEL S7-1200	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 แผนผังวงจรควบคุม	93
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +15 0 -15 V	94
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ	95
รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ	96
รูปที่ 3. 18 สัญญาณควบคุมสวิตช์	97
รูปที่ 3.19 กราฟ BODE ของสมการถ่ายโอนควบคุมแรงดันก่อนปรับปรุง	98
รูปที่ 3.20 กราฟ BODE ของสมการถ่ายโอนควบคุมแรงดันก่อนและหลังปรับปรุง	99
รูปที่ 3.21 กราฟ BODE ของสมการถ่ายโอนควบคุมกระแสก่อนปรับปรุง	100
รูปที่ 3.22 กราฟ BODE ของสมการถ่ายโอนควบคุมกระแสก่อนและหลังปรับปรุง	101
รูปที่ 3.23 แผนผังของรถยนต์ไฟฟ้าที่ทำการชาร์จ	102
รูปที่ 4.1 หน้าจอควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	103
รูปที่ 4.2 แรงดันในการชาร์จ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า	104
รูปที่ 4.3 กระแสในการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าค่อยๆเพิ่มขึ้นและคงที่ที่ 20แอมป์	105
รูปที่ 4.4 แรงดันในการชาร์จ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าในช่วงที่สองมีค่าคงที่อยู่ที่ 100โวลต์	105
รูปที่ 4.5 กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการชาร์จเป็นแบบคงที่แรงดัน	105
รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุต	106
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองดึงพลังงานจากแบตเตอรี่รถยนต์มาจ่ายให้บ้านจำลอง	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. 1 แผนการดำเนินงาน	5
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับการชาร์จของพาหนะพลังงานไฟฟ้า	8
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละประเภท	13
ตารางที่ 2.3 ระดับแรงดันในการชาร์จไฟฟ้าที่ระบุในมาตรฐาน IEC 62196-1	19
ตารางที่ 2.4 สรุปรูปแบบการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 62196-1	23
ตารางที่ 2.5 ค่าสูงสุดของความต่างศักย์ที่ความถี่พาหะสัญญาณค่าต่างๆของสาย Pilot	32
ตารางที่ 2.6 ค่าตัวแปรต่างๆในวงจรสมมูล	33
ตารางที่ 2.7 ช่วงของค่าความต่างศักย์ของสาย PILOT	34
ตารางที่ 2.8 การหยุดจ่ายพลังงานของระบบในทุกกรณี	35
ตารางที่ 2.9 ประเภทของการชาร์จแบตเตอรี่	36
ตารางที่ 2.10 พฤติกรรมของสถานะ	38
ตารางที่ 2.11 การทำงานในขั้นตอนที่ 1.1	40
ตารางที่ 2.12 การทำงานในขั้นตอนที่ 1.2	41
ตารางที่ 2.13 การทำงานในขั้นตอนที่ 2.1	42
ตารางที่ 2.14 การทำงานในขั้นตอนที่ 2.2	43
ตารางที่ 2.15 การทำงานในขั้นตอนที่ 3.1	44
ตารางที่ 2.16 การทำงานในขั้นตอนที่ 3.2	45
ตารางที่ 2.17 การทำงานในขั้นตอนที่ 4	46
ตารางที่ 2.18 การทำงานในขั้นตอนที่ 5	47
ตารางที่ 2.19 การทำงานในขั้นตอนที่ 6	48
ตารางที่ 2.20 การทำงานในขั้นตอนที่ 7	49
ตารางที่ 2.21 การทำงานในขั้นตอนที่ 8.1	50
ตารางที่ 2.22 การทำงานในขั้นตอนที่ 8.2	51
ตารางที่ 2.23 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.1	52
ตารางที่ 2.24 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.2	53
ตารางที่ 2.25 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.3	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 2.26 การทำงานในขั้นตอนที่ 10.1	55
ตารางที่ 2.27 การทำงานในขั้นตอนที่ 10.2	56
ตารางที่ 2.28 การทำงานในขั้นตอนที่ 11	57
ตารางที่ 2.29 การทำงานในขั้นตอน 12	58
ตารางที่ 2.30 ดิวตี้ไซเคิลของ PILOT ที่จ่ายโดย EVSE	59
ตารางที่ 2.31 กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่นำไปใช้ใน EV	60

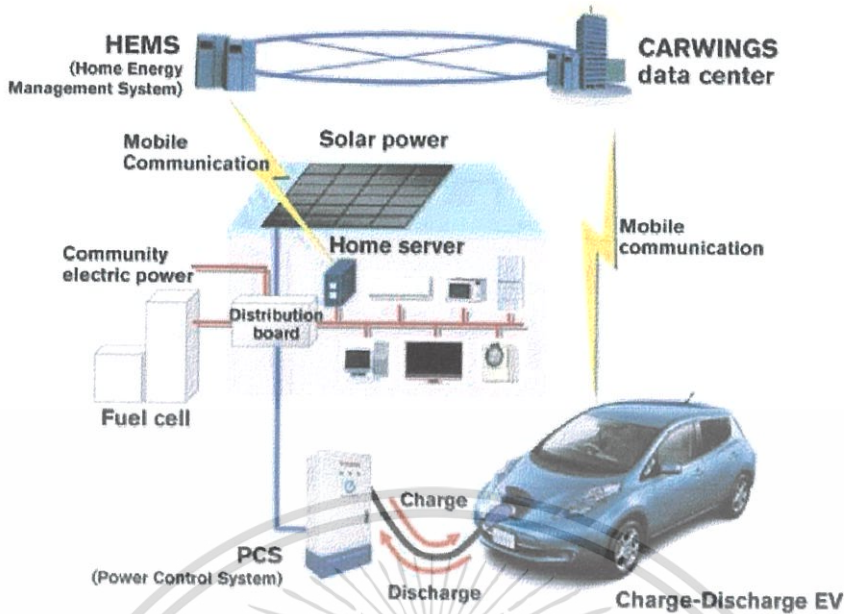


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้รถยนต์เป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายด้าน เช่น ปัญหาทางด้านมลพิษซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน อีกทั้งความต้องการน้ำมันในตลาดโลกสูง ราคาน้ำมันจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอาจนำไปสู่ภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคต ซึ่งจากที่กล่าวมาทำให้ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในปัจจุบัน มุ่งเน้นในส่วนของการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้รถยนต์เพียงด้านเดียว ซึ่งรถยนต์เมื่อไม่ได้ถูกใช้งาน พลังงานไฟฟ้าในส่วนนั้นก็จะถูกเก็บไว้อย่างเปล่าประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงเน้นการพัฒนา ให้สามารถนำรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ กลับมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบไฟฟ้า เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ เป็นแหล่งพลังงานให้ที่พักอาศัยในกรณีฉุกเฉิน และยังมุ่งเน้นพัฒนาการสื่อสารระหว่างรถยนต์ เพื่อแก้ไขปัญหาราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้ Vehicle-to-Home (V2H) เป็นระบบการถ่ายกำลังไฟจากรถยนต์สู่บ้านเรือนเพื่อประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อรถยนต์ถูกจอดไว้เป็นระยะเวลาโดยไม่ได้ขับออกไปไหน หรือเพื่อทดแทนกรณีระบบไฟฟ้าในบ้านไม่สามารถใช้งานได้จากกรณีไฟฟ้าดับและภัยธรรมชาติ อย่างไรก็ตามยังคงต้องคำนึงถึงปลั๊กไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะต้องเหมาะสมสามารถเข้ากับยานพาหนะไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านพักอาศัย



รูปที่ 1.1 แผนภาพของ Vehicle To Home (V2H)

การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้ซึ่งต้องการเรื่องเวลาและคุณภาพในการอัดประจุและมีการอัดประจุที่ได้มาตรฐาน ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในเรื่องการสร้างเครื่องอัดประจุพหุพลังงานไฟฟ้าระดับสองที่สามารถนำพลังงานกลับสู่เคหสถานได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนรวมถึงออกแบบวงจรสำหรับอัดประจุระดับสอง อีกทั้งยังทำการศึกษาวงจรการควบคุมและระบบการสื่อสารของรถยนต์และเครื่องอัดประจุด้วย โดยเป้าหมายของการอัดประจุคือการอัดประจุนยนต์ volkswagen beetle 1968 ดังรูปที่ 1.2 ที่ถูกนำมาประยุกต์เป็นพาหนะพลังงานไฟฟ้า โดยภายในประกอบด้วยแบตเตอรี่เป็นชนิด ลิเทียมไอออนเฟอร์โรฟอสเฟส โดยมีระดับแรงดันอยู่ที่ 96 โวลต์และมีความจุที่ 150 แอมป์ชั่วโมง โดยผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องอัดประจุที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นเครื่องอัดประจุระดับสองที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง (bidirectional Chargers) โดยการอัดประจุเป็นสองช่วงคือการอัดด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage: CC-CV)
2. เครื่องอัดประจุสามารถอัดประจุอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 4 ชั่วโมง โดยมีพิกัดกระแสที่ 40 แอมแปร์ พิกัดแรงดันที่ 100 โวลต์ ทำให้ได้พิกัดกำลัง 3.9 กิโลวัตต์
3. ใช้หัวชาร์จตามมาตรฐาน IEC62196 เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานของเครื่องอัดประจุระดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 Volkswagen Beetle 1968

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับอัดประจุไฟฟ้าสองทิศทาง (Bidirectional EV Charger)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์
- 1.2.3 สามารถนำพลังงานจากรยนต์กลับเข้าสู่ที่พักอาศัยในกรณีเกิดเหตุขัดข้องจากระบบไฟฟ้า
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจुरยนต์ไฟฟ้าให้มีระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมกับระดับของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าระดับสองที่กำหนด
- 1.2.5 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจुरยนต์ไฟฟ้าให้มีระดับแรงดันและกระแสให้เหมาะสมกับระดับที่กำหนด

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในการศึกษาการนำพลังงานจากรยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย (Vehicle to home for electric vehicle application) ในปฏิญญาพันธฉบับนี้ เป็นการศึกษาการสร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุที่สามารถนำประจุไฟฟ้าได้สองทิศทาง โดยมุ่งเน้นในด้านของการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ 2 การควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าไปสะสมที่แบตเตอรี่และการควบคุมการคายประจุไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่โดยมีขอบเขต และข้อกำหนดดังนี้

- 1.3.1 สามารถอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าได้ตามที่กำหนดไว้
- 1.3.2 ควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า
- 1.3.3 ความปลอดภัยและความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องอัดประจุไฟฟ้า
- 1.3.4 การแสดงผลสถานการณ์อัดประจุไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์แสดงผล

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติ วิธีการทำงานและองค์ประกอบวงจรของ Bidirectional Charger สำหรับการใช้งานใน V2H
- 1.4.2 ศึกษาระบบทั้งหมดที่จำเป็นในการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่รถยนต์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหรือที่พักอาศัย
- 1.4.3 ศึกษาวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง
- 1.4.4 ศึกษาการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับเครื่องอัดประจุ
- 1.4.4 ออกแบบวงจรไฟฟ้าและโครงสร้างของเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง
- 1.4.5 จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์ในการจัดทำเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง
- 1.4.6 ทำเครื่องอัดประจุแบบ Bidirectional พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมควบคุมการอัดประจุ
- 1.4.7 ทดสอบจ่ายไฟให้กับที่พักอาศัยและระบบไฟฟ้า
- 1.4.8 ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจากผลการทดสอบการใช้งาน
- 1.4.9 สรุปโครงการพร้อมนำเสนองาน
- 1.4.10 จัดทำขั้นตอนการออกแบบในเชิงวิศวกรรมในทุกขั้นตอนเพื่อพิจารณำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1. 1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ศึกษาคุณสมบัติ วิธีการทำงานและองค์ประกอบวงจรของ Bidirectional Charger									
2. ศึกษาระบบที่จำเป็นในการที่จะจ่ายไฟจากแบตเตอรี่รถยนต์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหรือที่พักอาศัย									
3. ศึกษาระบบสื่อสารระหว่างรถยนต์ด้วยกัน									
4. จำลองผลและจัดเตรียมอุปกรณ์ในงานวิจัย									
5. ทำเครื่องชาร์จ Bidirectional และทำการทดสอบจ่ายไฟให้กับที่พักอาศัยและระบบไฟฟ้า									
6. ทำระบบสื่อสารข้อมูลระหว่างรถยนต์ด้วยPLC									
7. ทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยเครื่องอัดประจุที่จัดทำขึ้น									
8. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจากผลการทดสอบการใช้งาน									
9. สรุปโครงการพร้อมนำเสนอ									
10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.6.1 โครงการวิจัยนี้ทำให้เข้าใจหลักการและสามารถประดิษฐ์เครื่องชาร์จระบบสองทิศทางได้
- 1.6.2 โครงการวิจัยนี้ทำให้เกิดการเรียนรู้และเข้าใจถึงระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์
- 1.6.3 โครงการนี้สามารถนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองได้
- 1.6.4 รมรณรงค์การใช้พลังงานทดแทนและสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะศึกษาหลักการพื้นฐานของการชาร์จไฟฟ้าให้แก่พาหนะพลังงานไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากยานพาหนะกลับคืนสู่ที่อยู่อาศัย ทั้งนี้การชาร์จให้พาหนะไฟฟ้ามีหลายระดับตามมาตรฐาน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวม และอธิบายลักษณะของการชาร์จแบตเตอรี่ระดับต่าง ๆ รวมถึงอธิบายองค์ประกอบของวงจร และหลักการทำงาน ที่ใช้ในการชาร์จและคายประจุไว้ในบทนี้ด้วยเช่นกัน

2.2 ระดับการชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้า

การชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้ามีสามระดับ ซึ่งแต่ละระดับของการชาร์จนั้น จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จ เวลาในการชาร์จ อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องชาร์จ หรือผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ที่แตกต่างกัน ดังนั้น เราจึงควรศึกษาและเลือกใช้ระดับการชาร์จให้เหมาะสมกับพาหนะไฟฟ้านั้นๆ เพื่อลดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการชาร์จลงได้ โดยการชาร์จทั้งสามระดับนั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 1 (Level 1 Charging) เป็นการชาร์จที่ใช้พลังงานต่ำในการชาร์จ โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส นิยมใช้หัวชาร์จตามมาตรฐาน J1772 เครื่องชาร์จระดับนี้สามารถติดตั้งได้ในที่อยู่อาศัยทั่วไป เนื่องจากมีระดับแรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ ทำให้ส่งผลต่อระบบไฟฟ้าต่ำด้วย การติดตั้งและการชาร์จนั้นง่าย แต่ข้อเสียคือใช้เวลานาน และมีกำลังในการชาร์จน้อยกว่า 2 กิโลวัตต์ในการชาร์จ

2.2.2 เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 2 (Level 2 Charging) เป็นการชาร์จด้วยพลังงานไฟฟ้าระดับปานกลาง ประมาณ 2 ถึง 20 กิโลวัตต์ ทำให้ใช้เวลาในการชาร์จเร็วกว่าการชาร์จระดับ 1 เครื่องชาร์จระดับสองนั้น เป็นที่นิยมสำหรับการนำไปพัฒนา เพราะมีระดับพลังงานที่เหมาะสมสามารถติดตั้งได้ทั้งในที่อยู่อาศัยทั่วไป และในที่สาธารณะ แต่ข้อเสียคือการควบคุมที่ยากกว่าเครื่องชาร์จระดับ 1 ถ้าให้กระแสมากเกินไป ความร้อนจากการชาร์จจะทำให้แบตเตอรี่ของพาหนะพลังงานไฟฟ้าเกิดการชำรุดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าระดับ 3

เครื่องชาร์จพลังงานไฟฟ้าระดับ 3 (Level 3 Charging) เป็นการชาร์จอย่างรวดเร็ว ทำให้เวลาในการชาร์จน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ระดับแรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ อาจจะเป็นการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงกำลังสูง ข้อเสีย คือความร้อนจากการชาร์จ และการติดตั้งต้องติดเป็นสถานีชาร์จพลังงานไฟฟ้าเหมือนกับปั้มเติมน้ำมัน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับการชาร์จของพาหนะพลังงานไฟฟ้า

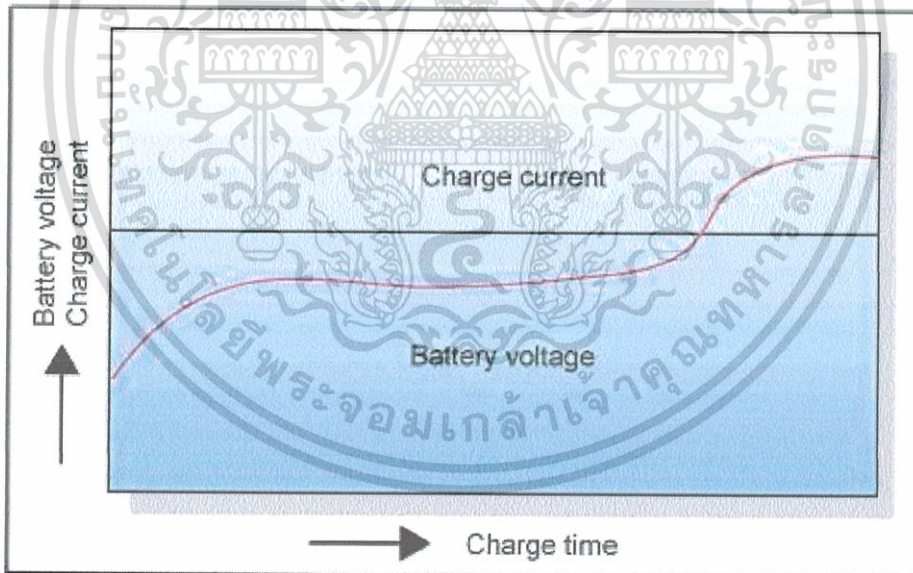
ระดับการชาร์จ	จำนวนเฟสของไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาเข้า	เวลาในการชาร์จ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระดับ 1	1 เฟส	1-2 กิโลวัตต์	8-14 ชั่วโมง	การติดตั้งเครื่องชาร์จง่าย และใช้กำลังไฟฟ้าน้อย	ใช้เวลาในการชาร์จมาก
ระดับ 2	1 เฟส	2-20 กิโลวัตต์	4-8 ชั่วโมง	มีระยะเวลาชาร์จที่เร็วขึ้น และใช้กำลังไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม	ความร้อนจากการชาร์จทำให้แบตเตอรี่เสื่อม
ระดับ 3	3 เฟส	มากกว่า 50 กิโลวัตต์	30 นาที	ระยะเวลาในการชาร์จเร็วที่สุด	ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ประเภทของการชาร์จแบตเตอรี่

2.3.1 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้า (Constant Current: CC) เป็นการชาร์จไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดระยะเวลาการชาร์จ ซึ่งขนาดของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น สามารถคำนวณจากค่าอัตราความจุ (Capacity Rate: C-Rate) เช่น การชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ชั่วโมง ค่ากระแสไฟฟ้าที่สามารถชาร์จได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อแบตเตอรี่จะมีค่าไม่เกิน 20 แอมแปร์ โดยการชาร์จในกรณี จำเป็นต้องมีการจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้ เนื่องจากเมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ไปในระยะเวลาหนึ่ง ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วแบตเตอรี่จะค่อย ๆ เพิ่มค่าสูงขึ้นจนทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสามารถกำหนดได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ต่อเซลล์ อย่างเช่น จะทำการหยุดการชาร์จแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์มีค่าเท่ากับ 2.3 โวลต์ คือถ้าแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 6 เซลล์ ก็จะทำให้การตัดการชาร์จเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 13.8 โวลต์ ซึ่งลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

ข้อดี-ข้อเสียของการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

ข้อดี

1. ใช้ระยะเวลาในการชาร์จน้อย เนื่องจาก ปริมาณกระแสไฟฟ้าแปรผันตามความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการชาร์จแบตเตอรี่

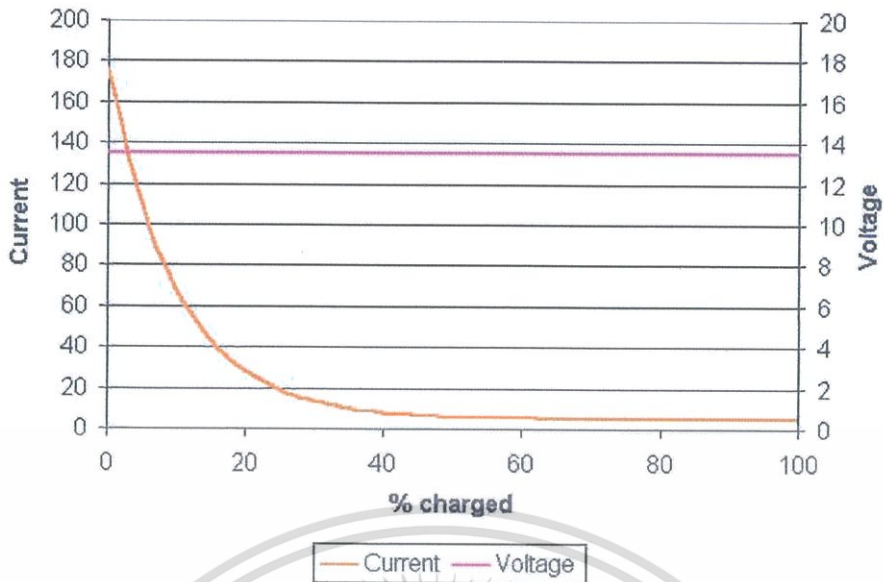
ข้อเสีย

1. หากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการชาร์จไม่เหมาะสมกับแบตเตอรี่แล้ว แบตเตอรี่จะเกิดความเสียหาย และมีอายุการใช้งานที่สั้นลง
2. การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จะก่อให้เกิดการสะสมอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้า หากความร้อนสะสมปริมาณมาก อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลง
3. หากต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานตามปกติ จะไม่สามารถการชาร์จด้วยวิธีนี้จนแบตเตอรี่เต็มได้ เนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่เสียหาย และเสื่อมสภาพได้เพราะ ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจนเกินพิกัดการแรงดันไฟฟ้าการชาร์จมาตรฐานของแบตเตอรี่นั้น ๆ

2.3.2 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

การชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage: CV) คือการชาร์จด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสมแก่แบตเตอรี่นั้น ๆ ตลอดช่วงการชาร์จ โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จต่อเซลล์มีค่าประมาณ 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ ตัวอย่างเช่น การชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 6 เซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 13.8 โวลต์

การชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ในช่วงแรกจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นไว้เนื่องจากถ้าหากแบตเตอรี่มีค่าความลึกของการคายประจุสูง (Deep of Discharge: DOD) จะทำให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูง และอาจเกินค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้แบตเตอรี่เสียหาย หรือเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นจึงต้องทำการจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงแรกไว้หลังจากชาร์จได้ระยะเวลาหนึ่ง ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเท่ากับ 0 แอมแปร์ หรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้จึงทำการหยุดการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 การชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

ข้อดี-ข้อเสียของการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

ข้อดี

แบตเตอรี่ไม่เสียหายเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าจะลดลง เมื่อช่วงเวลาในการชาร์จเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนไม่สะสมที่ตัวแบตเตอรี่มากนัก

ข้อเสีย

ใช้ระยะเวลาในการชาร์जनานกว่าการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป ค่าแรงดันที่แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจ่ายแรงดันชาร์จเท่าเดิม ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าจะลดลง ความสามารถในการชาร์จจึงลดลง ระยะเวลาที่ใช้ใน

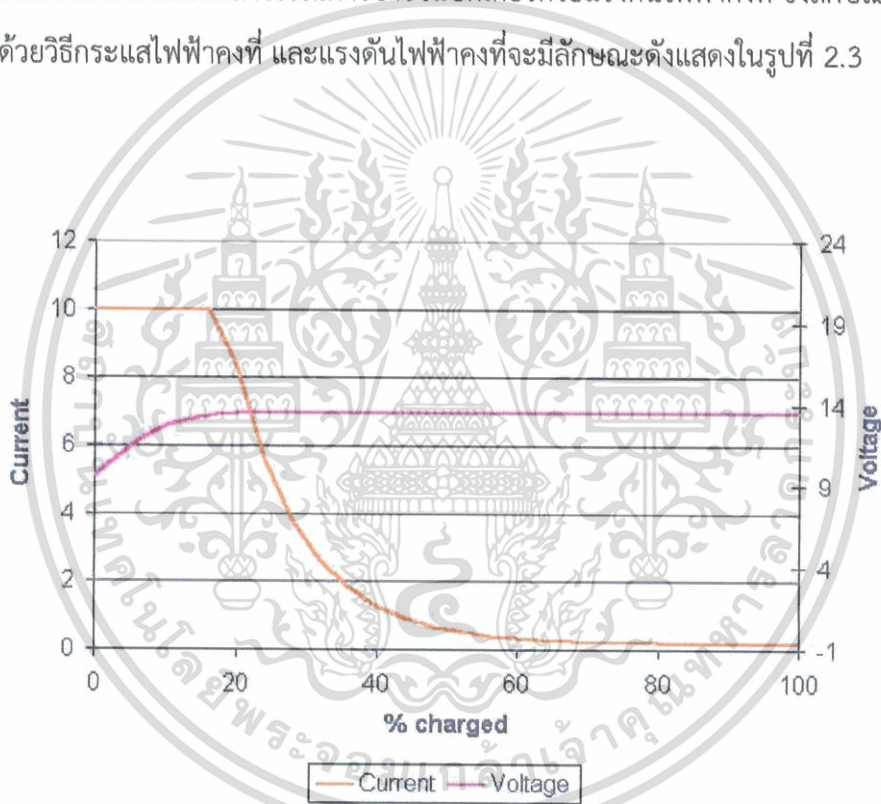
2.3.3 การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage: CC-CV) เป็นการชาร์จที่เหมาะสมที่สุด และเป็นที่ยอมรับนำมาใช้ในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ เนื่องจากเป็นวิธีที่นำข้อดีของการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในช่วงเริ่มการชาร์จแบตเตอรี่จะทำการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าที่กำหนด จากนั้นเครื่องชาร์จต้นแบบจะทำการเปลี่ยนรูปแบบการชาร์จจากการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่

ซึ่งในขณะที่ชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลงจนมีค่าถึงค่าที่กำหนด โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมได้กล่าวไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ และค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมได้กล่าวไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่ และแรงดันไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี

1. การชาร์จด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่ และแรงดันไฟฟ้าคงที่เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการนำไปชาร์จแบตเตอรี่ เนื่องจากสามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้รวดเร็วแล้วยังสามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จนเต็มได้

ข้อเสีย

1. การชาร์จด้วยวิธีนี้ยังคงก่อให้เกิดอุณหภูมิสะสมในแบตเตอรี่อยู่ในช่วงของการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่
2. การชาร์จด้วยวิธีนี้ยังคงใช้ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละประเภท

	กระแสไฟฟ้าคงที่	แรงดันไฟฟ้าคงที่	กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่
ข้อดี	สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้รวดเร็ว	สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จนเต็มและแบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำขณะทำการชาร์จ	สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จนเต็มและชาร์จได้เร็วกว่าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่
ข้อเสีย	ไม่สามารถชาร์จได้เต็มและแบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขณะทำการชาร์จ	ใช้ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม	ใช้ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่นานกว่าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ และสถานะการชาร์จเริ่มต้น

ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ (Deep of Discharge: DOD) คือค่าที่แสดงอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ และค่าสถานะการชาร์จเริ่มต้น (State of Charge: SOC คือค่าที่แสดงระดับประจุภายในของแบตเตอรี่ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็ม ค่า DOD จะมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และค่า SOC จะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุค่า DOD จะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่า SOC จะลดลง ตามอัตราส่วนที่คายประจุโดยค่า DOD จะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ทำการคายประจุ C rate ด้วย ซึ่งคือค่าที่กำหนดปริมาณการชาร์จเข้าไปในแบตเตอรี่ โดยความจุแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 1 C ซึ่งค่า C ที่ใช้ในการคายประจุมีค่ามากเกินไปย่อมส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งค่าที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.3 C เช่นเดียวกับค่าอัตรากระแสไฟฟ้าในการชาร์จที่เหมาะสมควรอยู่ที่ประมาณ 0.2 C เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และเกิดความเสียหาย

2.5 ระบบจัดการแบตเตอรี่

ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการชาร์จได้ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีรูปแบบและลักษณะการชาร์จที่แตกต่างกันไป เราจะต้องรู้ขอบเขต และศักยภาพของตัวแบตเตอรี่ตัวนั้น ๆ เพราะว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติพิกัดแรงดันไฟฟ้า และพิกัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป หากเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน หรืออุณหภูมิที่สูงเกินไปในขณะที่ทำการชาร์จจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และจะทำให้การจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ให้กับโหลดลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงควรจะทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาการชาร์จ โดยเราสามารถตรวจสอบ และแสดงผลออกโดยระบบ (Battery Monitoring System: BMS)

ระบบ BMS จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ เพราะสามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณ และแสดงผ่านผลผ่านทางหน้าจอ LCD สามารถให้ข้อมูลแบบ เรียลไทม์ (ระบบเวลาจริง) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการแสดงผล และแจ้งเตือนไปยังระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS) ซึ่งค่าที่เราทำการวัด และแสดงผลหลัก ๆ มีดังต่อไปนี้

การตรวจสอบ ระบบ BMS จะทำการตรวจสอบค่าสถานะต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage): แรงดันไฟฟ้ารวมในแต่ละเซลล์
- ค่าอุณหภูมิ (Temperature): อุณหภูมิเฉลี่ยอุณหภูมิในแต่ละเซลล์
- สถานะในการชาร์จของแบตเตอรี่ (State of charge: SOC)
- ความลึกของการคายประจุของแบตเตอรี่ในการชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ในแต่ละครั้ง (Depth of discharge: DOD)
- กระแสไฟฟ้า (Current): ทั้งกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ระบบ BMS ได้คำนวณ มีดังต่อไปนี้

- ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในการชาร์จ (Charge current limit: CCL)
- กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการคายประจุ (Discharge current limit: DCL) การสื่อสารระบบ BMS จะทำการรายงานข้อมูลต่าง ๆ ผ่านวิธีการสื่อสารดังต่อไปนี้
- การสื่อสารแบบ CAN (Controller area network)
- การสื่อสารแบบแลนไร้สาย (Wireless LAN) การป้องกันระบบ BMS ทำป้องกันแบตเตอรี่โดยสาเหตุดังต่อไปนี้
- กระแสไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-current)
- อุณหภูมิเกินกว่าปกติ (Over-temperature)
- แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-voltage)
- อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (Under-temperature)
- แรงดันไฟฟ้ิต่ำกว่าปกติ (Under-voltage)

2.6 ประเภทของเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้า

เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่พาหนะพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน ดังนั้นเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่ และระบบไฟฟ้า โดยเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแบ่งประเภทได้ออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะของการชาร์จดังนี้

2.6.1 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียว

เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าโดยพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียว (Unidirectional Chargers) เป็นเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าทั่วไปที่นิยมใช้กัน โดยเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าสามารถชาร์จให้แก่พาหนะพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าได้ แต่พลังงานไฟฟ้าไม่สามารถไหลกลับจากพาหนะพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ โดยส่วนประกอบ และการทำงานของเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลทางเดียวส่วนใหญ่ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และวงจรคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงมีหน้าที่ลดทอน หรือเพิ่มระดับแรงดันให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ โดยอาจจะมีวงจรกรองความถี่เพื่อให้การชาร์จมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.6.2 เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง

เครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าโดยพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง (Bidirectional Chargers) มีการทำงานได้สองลักษณะคือในลักษณะสถานะการชาร์จ (Charge mode) โดยเครื่องชาร์จดังกล่าวจะสนับสนุนการชาร์จจากระบบไฟฟ้าเข้าพาหนะพลังงานไฟฟ้า และสถานะคายประจุ (Discharge mode) โดยเครื่องชาร์จจะสนับสนุนการส่งพลังงานจากแบตเตอรี่พาหนะพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหรือที่อยู่อาศัย ซึ่งควรจ่ายกระแสที่ใกล้เคียงรูปคลื่นสัญญาณไซน์ให้มากที่สุด เพื่อเป็นการส่งพลังงานจากแบตเตอรี่พลังงานไฟฟ้าเข้าที่อยู่อาศัย หรือเรียกอีกอย่างว่าการทำงานในโหมดของพาหนะสู่ที่อยู่อาศัย (Vehicle-to-home: V2H) โดยโครงสร้าง และการทำงานของเครื่องชาร์จพาหนะไฟฟ้าประเภทพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง โดยส่วนประกอบ และการทำงานจะใกล้เคียงกับเครื่องชาร์จพาหนะประเภทไหลทิศทางเดียวแต่ต้องใช้วงจรเรียงกระแส และคอนเวอร์เตอร์ที่พลังงานไฟฟ้าไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional AC-DC Converter and Bidirectional DC-DC Converter)

2.6.3 เครื่องชาร์จแบบไร้สาย

เครื่องชาร์จแบบไร้สายเป็นเครื่องชาร์จพาหนะพลังงานไฟฟ้าโดยมีคุณสมบัติในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าไปสู่แบตเตอรี่โดยไม่ต้องใช้สายตัวนำไฟฟ้า โดยการส่งผ่านพลังงานมีส่วนประกอบดังนี้ ตัวควบคุมการจ่ายพลังงาน แผ่นเพลทสำหรับส่งพลังงาน แผ่นเพลทสำหรับรับพลังงาน และตัวควบคุมที่ติดตั้งอยู่ภายในพาหนะพลังงานไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานเบื้องต้น คือตัวควบคุมการจ่ายพลังงานจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการส่งผ่านพลังงาน และอาศัยแผ่นเพลทสำหรับรับพลังงานที่พาหนะพลังงานไฟฟ้ารับพลังงานจากแผ่นเพลทที่ส่งพลังงาน หลังจากแผ่นเพลทรับพลังงานจากตัวส่งแล้วตัวควบคุมภายในพาหนะพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และยังคงควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อเข้าสู่แบตเตอรี่ของพาหนะนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 มาตรฐานการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ถือได้ว่าเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ของตัวรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างพื้นฐานสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อชาร์จไฟให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐานของระบบชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีดังนี้

2.7.1 มาตรฐาน IEC (International Electro-technical Commission)

โดยปกติแล้วระบบไฟฟ้าที่ให้บริการในพื้นที่บ้านพักอาศัยจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟส โดยมีระดับแรงดันใช้งานอาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ซึ่งการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่ จะเป็นการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ (Normal Charging) ซึ่งสำหรับการชาร์จไฟฟ้าตามสถานีบริการชาร์จสาธารณะ (Public Charging Station) หรือในสถานที่ต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้บริการจะมีสัดส่วนของการชาร์จไฟฟ้าแบบรวดเร็ว (Quick Charging) มากกว่าการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ ทั้งนี้เครื่องชาร์จตามบ้านพักอาศัย และตามสถานีให้บริการอาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน ด้วยลักษณะการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า

ในมาตรฐานทั่วไปแล้วการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ เครื่องชาร์จจะทำการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งอาจเป็นแรงดัน 110-120 โวลต์ หรือ 210-240 โวลต์ ตามแต่ระดับแรงดันที่ใช้ในแต่ละประเทศ ซึ่งการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ ตัวอุปกรณ์อาจถูกจำกัดพลังงานในการชาร์จด้วยพิกัดกระแสที่ตัวปลั๊ก เช่น 16 แอมป์ หรือ 32 แอมป์ เป็นต้น สำหรับการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็ว จะเป็นการชาร์จโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันใช้งานสูง 400-600 Vdc และมีพิกัดกระแสที่สูงถึง 400 A ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วที่ใช้พิกัดกำลังไฟฟ้าที่สูงเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้เร็วกว่าการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับหลายประเทศ และถูกนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายก็คือมาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission)

โดยมาตรฐาน IEC ได้กำหนดมาตรฐานการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าไว้เช่นกัน โดยมีมาตรฐาน IEC62196 ที่กล่าวถึงมาตรฐานการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าคือปลั๊ก ที่เรียกว่า Electrical connector และรูปแบบของการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าที่เรียกว่า Mode of Charging ซึ่งมาตรฐาน IEC 62196 นี้เกิดขึ้นหลังจากที่ในประเทศต่างๆมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ามาระยะเวลาหนึ่งแล้ว มาตรฐาน IEC 62196 จะเป็นการรวบรวมลักษณะการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศต่างๆ และได้จำแนกเป็นประเภทไว้ โดยรูปแบบที่ถูกระบุในมาตรฐาน IEC นี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ซึ่งคือ อุปกรณ์หัวต่อ (Connector) ที่ระดับแรงดันใช้งานและตามมาตรฐาน IEC 62196 นี้ยังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนโดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1.1 IEC 62196-1 จะกล่าวถึงเรื่องทั่วไป เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสการใช้งาน การเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับรถยนต์ไฟฟ้า การแบ่งประเภทของอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์หัวต่อ การป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้า รายละเอียดการต่อลงดิน และฉนวน เป็นต้น โดยมีการระบุระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

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

2.7.1.2 IEC 62196-2 จะกล่าวถึงรายละเอียดของเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยระบุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 500 Vac., 50 - 60 Hz, 63 แอมป์ สำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟส และ 70 แอมป์ สำหรับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

2.7.1.3 IEC 62196-3 จะกล่าวถึงรายละเอียดของเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและชนิดรวม (กระแสสลับและกระแสตรง) โดยระบุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

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

นอกจากมาตรฐาน IEC 62196 ที่ระบุถึงรูปแบบการชาร์จ และมาตรฐานของหัวปลั๊กที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีมาตรฐาน IEC 61851 อีกมาตรฐานหนึ่งซึ่งเป็นมาตรฐานที่ระบุถึงการใช้สัญญาณในการควบคุมการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าผ่านหัวปลั๊กอีกมาตรฐานหนึ่ง โดยปกติแล้วที่บริเวณจุดเชื่อมต่อหรือหัวปลั๊กของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เมื่อเชื่อมต่อกับปลั๊กไฟแล้วจะมีแรงดันไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์ในการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าจะมีพิกัดใช้งานที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับการป้องกันการจ่ายไฟฟ้ามาที่หัวปลั๊กในการชาร์จไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62196

สำหรับในการใช้งานทั่วไปของหัวปลั๊กในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่หัวปลั๊กจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็ต่อเมื่อมีสัญญาณจากขั้วสัญญาณ (Signal Pin) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61851 เท่านั้น ไม่เช่นนั้นเครื่องชาร์จจะไม่จ่ายไฟฟ้าออกมาที่หัวปลั๊ก และหากเครื่องชาร์จสามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบสัญญาณจากขั้วสัญญาณอีกช่องสัญญาณหนึ่งได้ เครื่องชาร์จก็จะจ่ายกระแสไฟฟ้าตามค่าพิกัดของอุปกรณ์และสามารถกำหนดรูปแบบการชาร์จเฉพาะที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการได้ ซึ่งอาจเป็นการชาร์จแบบแรงดันปกติหรือแบบรวดเร็ว จะเห็นได้ว่านอกจากขั้วสัญญาณ ที่ใช้ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของหัวปลั๊กแล้ว สัญญาณควบคุมดังกล่าวยังเป็นตัวกำหนดค่าพิกัดในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอีก

จะเห็นได้ว่ามาตรฐาน IEC 62196 จะเป็นมาตรฐานหลักสำหรับกำหนดรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และมีมาตรฐาน IEC 61851 เป็นมาตรฐานควบคุมกันที่ใช้ในการระบุถึงสัญญาณควบคุมการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า ทั้งผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าและเครื่องชาร์จไฟฟ้าจะต้องอ้างอิงถึงมาตรฐานดังกล่าวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเอง ซึ่งมาตรฐาน IEC 62196 จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

2.7.2 รูปแบบการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 -1

สำหรับมาตรฐาน IEC 62196-1 จะระบุถึงรูปแบบการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าว่ามีรูปแบบใดบ้าง และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เช่น หัวปลั๊ก, สายไฟฟ้า หรือหัวปลั๊กจะต้องสามารถใช้งานกับระบบไฟฟ้าอย่างไร ซึ่งในส่วนนี้เองผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า และอุปกรณ์เสริมของรถยนต์ไฟฟ้าอื่นๆ จะต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองให้ได้ตามมาตรฐาน เพื่อให้รูปแบบการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ทั้งนี้มาตรฐาน IEC 62196-1 ได้ระบุถึงระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้างดงตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับแรงดันในการชาร์จไฟฟ้าที่ระบุในมาตรฐาน IEC 62196-1

ชนิดของระบบไฟฟ้า	แรงดันสูงสุดในการชาร์จ	พิกัดกระแสสูงสุดในการชาร์จ
กระแสสลับ 50-60 Hz	690 Vac	250 แอมป์
กระแสตรง	1,500 Vdc	400 แอมป์

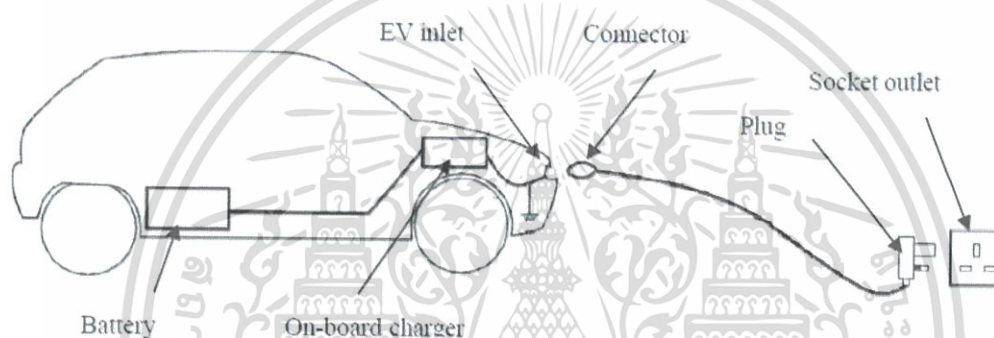
สำหรับรูปแบบการชาร์จ (Mode of Charging) นั้นมาตรฐาน IEC 62196-1 ได้กำหนดรูปแบบในการชาร์จโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61851-1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.7.2.1 โหมด 1 : การชาร์จไฟฟ้าแบบเข้าจากเต้ารับทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชาร์จไฟฟ้าในโหมด 1 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรงผ่านเต้ารับมาตรฐาน โดยกำหนดขนาดกระแสไม่เกิน 16 แอมป์ และขนาดแรงดันไม่เกิน 250 Vac สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และไม่เกิน 480 Vac สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแหล่งจ่ายไฟต้องมีการเดินระบบสายดินไว้ด้วย ซึ่งในการชาร์จไฟฟ้าโหมด 1 อุปกรณ์หัวต่อไม่จำเป็นต้องมีขาชี้สำหรับสัญญาณควบคุมการชาร์จไฟฟ้า

ในบางประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา มีกฎหมายห้ามใช้การชาร์จไฟฟ้าโหมด 1 เนื่องจากรูปแบบการชาร์จไม่สามารถควบคุมมาตรฐานในด้านความปลอดภัย เนื่องจากรูปแบบการชาร์จไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันหรือควบคุมการชาร์จใดๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

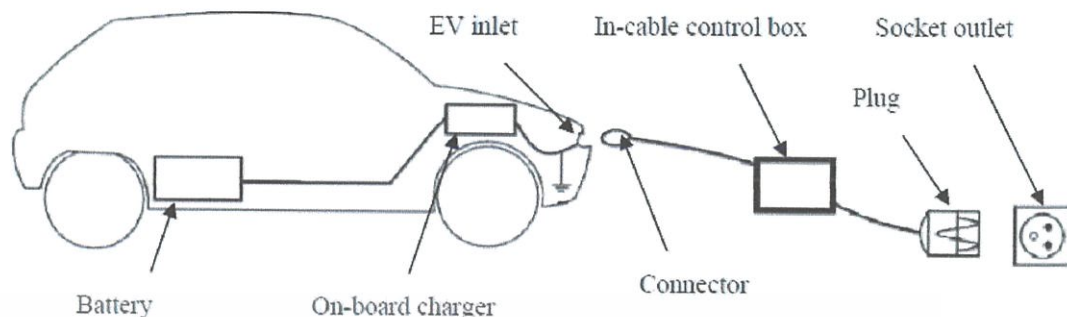


รูปที่ 2.4 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 1

2.7.2.2 โหมด 2: การชาร์จไฟฟ้าแบบเข้าจากเต้ารับทั่วไป โดยมีอุปกรณ์ป้องกันติดตั้งภายในสายไฟ

การชาร์จไฟฟ้าในโหมด 2 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรงผ่านเต้ารับมาตรฐาน โดยกำหนดขนาดกระแสไม่เกิน 32 แอมป์ และ ขนาดแรงดันไม่เกิน 250 VAC สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และไม่เกิน 480 VAC สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยนอกจากต้องมีการเดินระบบสายดินแล้ว ยังต้องมีฟังก์ชันควบคุมเพิ่มเติม โดยจะมีอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าติดตั้งภายในสายไฟ ซึ่งอาจติดตั้งในตัวปลั๊กหรือห่างจากปลั๊กไม่เกิน 0.3 เมตร และต้องมีอุปกรณ์ตัดไฟรั่ว (Residual-current device : RCD) เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดด้วย และหัวต่อสำหรับโหมด 2 จะต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุม โดยจะมีอุปกรณ์ควบคุมซึ่งติดตั้งอยู่ในสายไฟทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟ ขาสำหรับสัญญาณควบคุมจะมีเฉพาะในสายไฟทางด้านอุปกรณ์

ควบคุมไปยังรถยนต์ไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนสายไฟทางด้านต่อกับแหล่งจ่ายไฟไม่จำเป็นต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุม

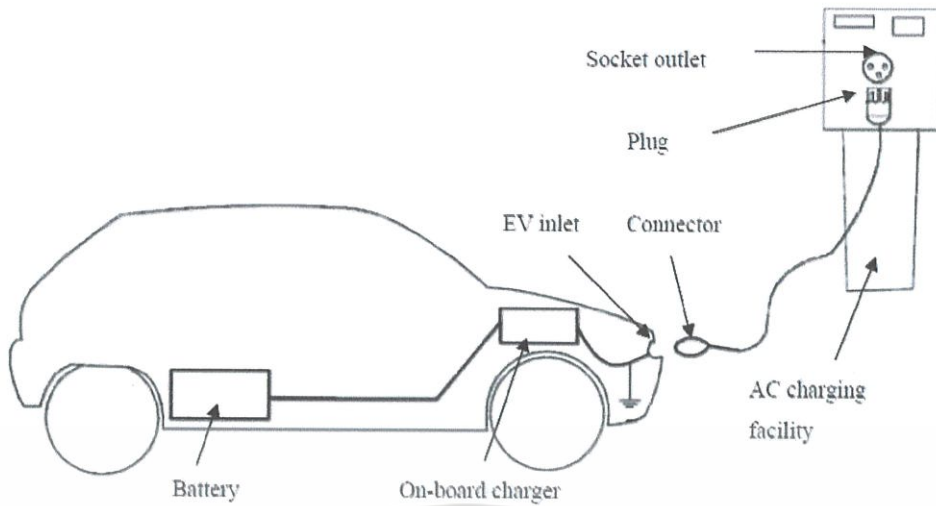


รูปที่ 2.5 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 2

2.7.2.3 โหมด 3: การชาร์จไฟฟ้าแบบช้าหรือเร็ว โดยใช้อุปกรณ์จ่ายไฟเฉพาะซึ่งมีฟังก์ชันด้านความปลอดภัยและการควบคุมภายในตัว

การชาร์จไฟฟ้าในโหมด 3 เป็นการชาร์จไฟรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับผ่านทางอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Electric Vehicle Supply Equipment: EVSE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ โดยอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับแบบถาวร โดยฟังก์ชันด้านความปลอดภัยและการควบคุมการจ่ายไฟจะถูกติดตั้งไว้ในอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าแล้ว การจ่ายไฟฟ้าไปยังรถยนต์ไฟฟ้าในโหมด 3 ยังคงเป็นการจ่ายไฟกระแสสลับ โดยอาจเป็นการชาร์จไฟแบบช้าหรือแบบเร็วก็ได้ขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสในการชาร์จ โดยที่หัวต่อสำหรับโหมด 3 จำเป็นต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุมทั้งสองด้านของสายไฟคือทั้งด้านที่เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้าและด้านที่ต่อกับอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งการชาร์จไฟฟ้าในโหมด 3 ถือเป็นระบบชาร์จไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับสถานีบริการชาร์จไฟฟ้าสาธารณะ

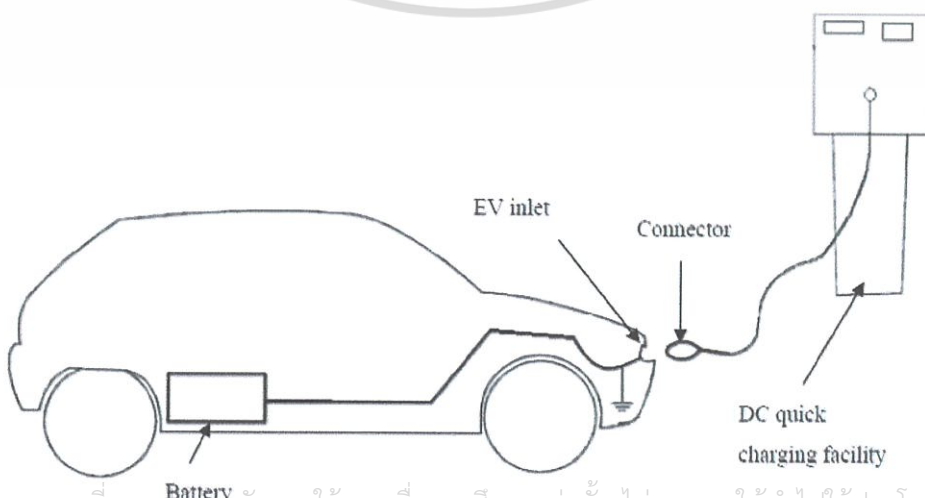
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 3

2.7.2.4 โหมด 4: การชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วโดยใช้เครื่องชาร์จภายนอก

การชาร์จไฟฟ้าในโหมด 4 จะเป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับผ่านทางเครื่องชาร์จภายนอก (Off-board charger) ซึ่งจะถูกติดตั้งฟังก์ชันสำหรับควบคุมการจ่ายไฟไว้แล้ว โดยการชาร์จไฟฟ้าในโหมดนี้จะจ่ายไฟมายังรถยนต์ไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งต้องมีการกำหนดรูปแบบหัวต่อที่แน่นอนเพื่อให้เชื่อมต่อได้เฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าที่รองรับการชาร์จไฟ โหมดนี้เท่านั้น โดยการชาร์จไฟฟ้าในโหมด 4 นี้อาจเรียกว่า การชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงแบบเร็ว ซึ่งจะจ่ายกระแสสูงมากถึง 400 A และหัวต่อสำหรับโหมด 4 ยังจำเป็นต้องมีจำนวนขาสำหรับสัญญาณควบคุมมากกว่าในโหมด 3 และด้วยกระแสใช้งานที่สูงถึง 125 A จึงไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งเครื่องชาร์จในโหมด 4 ตามบ้านพักอาศัย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเครื่องชาร์จในโหมด 4 นี้จะเหมาะกับการติดตั้งในสถานีชาร์จบริการประจุไฟฟ้าสาธารณะมากกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 4

ตารางที่ 2.4 สรุปรูปแบบการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 62196-1

รูปแบบการชาร์จ	หัวต่อโดยเฉพาะ	ระบบไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้าสูงสุด	การป้องกัน	โครงสร้างเฉพาะ
โหมด 1	ไม่ใช้	AC	16 A	ติดตั้งสายดิน	เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับตามเงื่อนไขการเชื่อมต่อด้านกำลังไฟฟ้า
โหมด 2	ไม่ใช้	AC	32 A	ติดตั้ง RCD	ใช้งานสายไฟฟ้าที่เฉพาะและมี การป้องกัน
โหมด 3	ใช้	Slow หรือ Semi-quick	ขึ้นอยู่กับหัวต่อที่ใช้	รวมอยู่ในโครงสร้างเฉพาะสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า	เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้อุปกรณ์เฉพาะ
โหมด 4	ใช้	DC	ขึ้นอยู่กับเครื่องชาร์จ	มีการติดตั้ง	เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				ใน โครงสร้าง	โดยเครื่องชาร์จ ภายนอก
--	--	--	--	-----------------	---------------------------

2.7.3 ลักษณะของหัวเชื่อมต่อของการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 62196-2

สำหรับมาตรฐาน IEC 62196-1 ที่มีการระบุถึงรูปแบบการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าไว้ถึง 4 รูปแบบ ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาแล้วเราก็คงจำแนกรูปแบบการชาร์จได้ออกเป็นการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติและการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วและหากรูปแบบการชาร์จดังกล่าวมีการใช้ระบบควบคุมการชาร์จผ่านตัวสัญญาณ ก็จะสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ได้ ทั้งนี้การกำหนดรูปแบบการชาร์จของรถยนต์นั้นจะถูกกำหนดด้วยรูปแบบหรือลักษณะของหัวปลั๊กที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องชาร์จ

ซึ่งเครื่องชาร์จที่ออกแบบมาให้ใช้กับลักษณะการชาร์จรูปแบบหนึ่งจะไม่สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องชาร์จรูปแบบอื่นได้โดยตรง ซึ่งการเชื่อมต่อหัวปลั๊กในรูปแบบต่างชนิดกันจำเป็นจะต้องใช้หัวแปลง (Adaptor) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ อย่างไรก็ตามการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 62196-2 นี้จะเป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นรูปแบบของหัวปลั๊กจะเป็นตัวกำหนดพิกัดกระแสใช้งานในการชาร์จ และควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าภายนอกไปยังเครื่องชาร์จภายในรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นตัวแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่ภายในรถยนต์ไฟฟ้า ในแต่ละประเทศที่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะมีการกำหนดรูปแบบการชาร์จที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบไฟฟ้าที่ผู้ให้บริการกำหนดขึ้นมา โดยการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในระยะเริ่มแรกนั้นถูกกำหนดในทิศทางที่แตกต่างกัน โดยมีการใช้หัวปลั๊กที่มีลักษณะของขั้วที่แตกต่างกัน และเนื่องจากการพัฒนาระบบการเชื่อมต่อของหัวปลั๊กในแต่ละประเทศมาจากการใช้งานคนละช่วงเวลา อีกทั้งลักษณะของระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดการกำหนดรูปแบบการชาร์จ และหัวปลั๊กที่แตกต่าง ทั้งนี้เราสามารถแบ่งประเภทของหัวปลั๊กสำหรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มประเทศได้ 3 กลุ่มตามมาตรฐาน IEC 62196-2 ได้ดังนี้

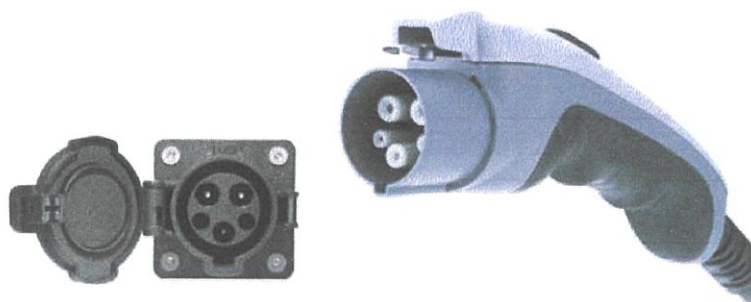
2.7.3.1 รูปแบบที่ 1 (Type 1) หัวปลั๊ก 1 เฟส (มาตรฐาน SAE J1772)

รูปแบบมาตรฐานสำหรับหัวปลั๊ก SAE J1772 ได้ถูกประกาศใช้งานเป็นครั้งแรกซึ่งรูปแบบหัวปลั๊กนี้ถูกออกแบบโดย บริษัท Yazaki โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยขั้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 5 ขั้ว โดยมีขั้วสำหรับการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2 ขั้ว มีสายของระบบสายดิน (Grounding) 1 ขั้ว และ 2 ขั้ว สุดท้ายสำหรับขั้วควบคุม (Control pin : CP) และ ขั้ว Proximity(PP) ซึ่งเป็นลักษณะสัญญาณควบคุมการชาร์จตามมาตรฐาน IEC 61851 สำหรับในมาตรฐานSAE J1772 นี้จะครอบคลุมการใช้งานชาร์จในรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสระดับแรงดัน 120 โวลต์ , 12/16 แอมป์ ไปจนถึง 240 โวลต์, 32/80 แอมป์ ทั้งนี้ในมาตรฐาน SAE (Society of Automotive Engineers) นี้จะไม่ครอบคลุมการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือรูปแบบการชาร์จใหม่ 4 ทั้งนี้รูปแบบการชาร์จตามมาตรฐาน SAE J1772 นี้จะมีตัวควบคุมการชาร์จไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า และส่งผ่านไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องชาร์จภายในของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยสายชาร์จ และหัวปลั๊ก

นอกเหนือจากขั้วที่ใช้ในการเชื่อมต่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้ามายังรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีขั้วเพิ่มเติมที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จไฟฟ้ารถยนต์ก็คือ ขั้วควบคุม (CP) และขั้ว Proximity (PP) ซึ่งสำหรับหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 62196 ทุกชนิดจะต้องมีการควบคุมการชาร์จรถยนต์จากขั้วที่เพิ่มขึ้นมาดังกล่าวนี้ โดยมีมาตรฐาน IEC 61851 เป็นมาตรฐานอ้างอิงสำหรับ CP และ PP ที่เพิ่มเติมขึ้นมาจะเป็นตัวช่วยเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ในการระบุว่ามียรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่หรือไม่ ในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้านั้น เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในโหมดพร้อมใช้งาน (Standby Mode) ซึ่งตามมาตรฐาน IEC 61851 เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะยังไม่มีการจ่ายไฟฟ้ามาที่หัวปลั๊กเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากมีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าและเกิดอันตรายได้ เมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับหัวปลั๊กแล้ว ขั้วควบคุมจะเป็นตัวตรวจสอบว่าการเชื่อมต่อหัวปลั๊กแน่นสมบูรณ์หรือไม่ โดยหากการเชื่อมต่อสมบูรณ์แล้วเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจึงรู้ว่ามีรถยนต์ไฟฟ้ามาเชื่อมต่อและพร้อมที่จะทำการชาร์จ ทั้งนี้เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะยังไม่จ่ายไฟฟ้าจนกว่าจะมีสัญญาณจากรถยนต์ผ่านขั้วควบคุมมาที่ตัวเครื่องชาร์จว่ารถยนต์มีความพร้อมที่จะชาร์จ ในทางกลับกันหากแบตเตอรี่รถยนต์ถูกชาร์จจนเต็ม รถยนต์ไฟฟ้าก็จะไม่ส่งสัญญาณขอชาร์จดังกล่าวมาที่เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอีก สำหรับการใช้งานรูปแบบสัญญาณร้องขอเพื่อชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้านี้สามารถนำมาใช้กับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะได้ เมื่อมีสัญญาณร้องขอเพื่อชาร์จจากรถยนต์ไฟฟ้า ผู้ให้บริการระบบจะสามารถตรวจสอบได้ว่าในพื้นที่ที่มีการร้องขอการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นอยู่ในสายป้อนใด และสายป้อนดังกล่าวมีปริมาณการส่งผ่านไฟฟ้าเหลืออยู่หรือไม่ เมื่อตัดสินใจได้แล้วจึงอนุญาตให้เครื่องชาร์จทำการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้แต่หากสายป้อนดังกล่าวมีการใช้งานสูงผู้ให้บริการไฟฟ้าก็จะตัดสินใจไม่ให้เครื่องชาร์จทำงาน เป็นการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้าอัจฉริยะผ่านขั้วควบคุมที่เชื่อมต่อระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและเครื่องชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์บริการวิชาการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปแบบเต้าเสียบในมาตรฐาน SAE J1772 (Type 1)

2.7.3.2 รูปแบบที่ 2 (Type 2) หัวปลั๊ก 1 เฟส และ 3 เฟส (VDE-AR-E 2623-2-2)

หลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของหัวปลั๊กในประเทศแถบยุโรปในหลากหลายรูปแบบ German DKE/VDE (The VDE Association for Electrical, Electronic and Information Technologies German) ซึ่งเป็นสมาคมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีด้านไฟฟ้า และระบบสารสนเทศของประเทศเยอรมัน ได้ประกาศรูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ที่ใช้สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยมีบริษัท Mennekes เป็นผู้ออกแบบ

ทั้งนี้เนื่องจากในประเทศแถบยุโรปนั้นมีการใช้งานของหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 60309 กันอย่างแพร่หลาย และมีผู้ผลิตรถยนต์บางยี่ห้อได้ออกแบบหัวปลั๊กให้สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 60309 ไปแล้วก่อนหน้าการประกาศใช้งานนี้ เช่น Peugeot เป็นต้น หัวปลั๊กนี้จะเป็นหัวปลั๊กที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส, กระแสใช้งาน 16 A ไปจนถึงไฟฟ้า 3 เฟส, กระแสใช้งาน 32 แอมป์ แต่หัวปลั๊กดังกล่าวยังไม่สามารถใช้งานสำหรับการชาร์จในโหมด 3 ได้ เนื่องจากหัวปลั๊กดังกล่าวไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับขั้วควบคุมที่ช่วยควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นเอง ดังนั้นมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2 จึงถูกกำหนดขึ้น และเนื่องจากในประเทศแถบยุโรปมีการใช้งานหัวปลั๊กแบบเก่ากันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ACEA (European Automobile Manufacturers Association) ได้กำหนดแผนในการปรับเปลี่ยนรูปแบบหัวปลั๊กในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามาเป็นรูปแบบเดียวกัน โดยในช่วงแรกได้กำหนดให้ใช้รูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ในโหมด 3 (ใช้กับแรงดัน 1 เฟส หรือ 3 เฟส โดยมีขั้วควบคุมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จ) กับอุปกรณ์ที่ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่สาธารณะ (Public Charging Station) และอนุญาตให้บ้านพักอาศัยมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ในโหมด 2 ซึ่งไม่มีการควบคุมการชาร์จด้วยขั้วสัญญาณได้ และสำหรับในเฟสถัดไป ปี ค.ศ. 2017 ทาง ACEA มีแผนที่จะกำหนดรูปแบบให้เป็น

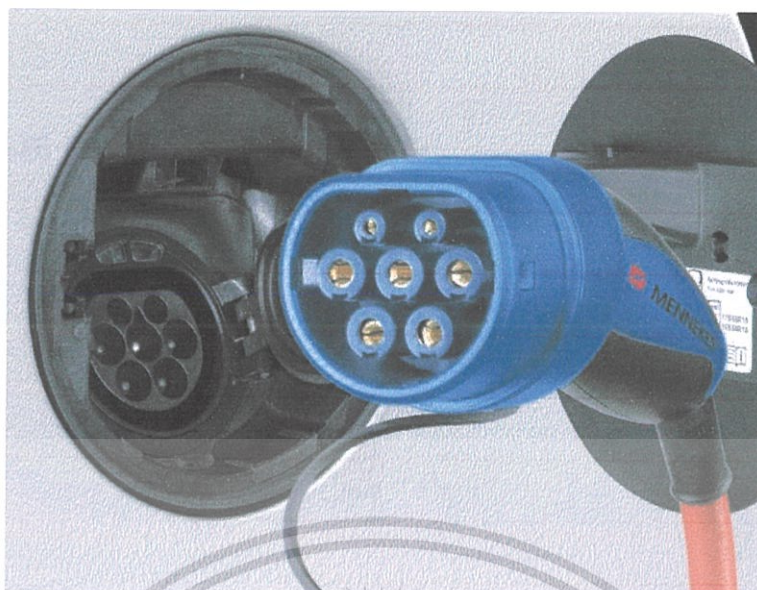
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานเดียวกันคือหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ในโหมด 3 ซึ่งสามารถควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านระบบ Smart grid ได้

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 จะประกอบไปด้วย Pin ทั้งหมด 7 Pin คือ 4 Pin แรกจะเป็น Pin สำหรับเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสสลับในระบบ 3 เฟส 4 สาย (เฟส A,B,C และ Neutral) ระบบการต่อลงดินจะเป็น Pin ที่อยู่ตรงกลาง และอีก 2 Pin จะเป็น Control Pilot (CP) และ Proximity Pilot (PP)

จะเห็นได้ว่าการออกมาตรฐานหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 สำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศแถบยุโรปนั้นอาจเป็นการเพิ่มภาระให้กับผู้ใช้งานบ้างในช่วงต้นของการประกาศใช้มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากประชาชนในแถบยุโรปมีการใช้งานหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 60309 มาก่อนหน้านี้แล้ว แต่จากการประกาศใช้ทำให้เกิดผลดีในด้านของผู้ผลิตรถยนต์มีแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ให้เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน ลดการจัดซื้อ/จัดหาอะไหล่ หรืออุปกรณ์ที่ต่างชนิดกัน ทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และลดต้นทุนในด้านอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าค่ายยุโรปในระยะยาว

ข้อดีอีกประการหนึ่งของรูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2 (IEC62196-2 “TYPE 2” หรือเป็นที่รู้จักกันนามหัวปลั๊กแบบ Type 2, Mode 3) นั้นมีระบบป้องกันความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน กล่าวคือมีระบบป้องกันการจ่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่อหัวปลั๊กไม่แน่น โดยหากไม่มีระบบการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าด้วยตัวควบคุม ผู้ใช้งานอาจได้รับอันตรายจากไฟฟ้าได้ อีกทั้งสำหรับผู้ให้บริการไฟฟ้าเอง ในหัวปลั๊กชนิดนี้มีการวางระบบตัวควบคุมไว้รองรับการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) อีกด้วย ซึ่งหากเป็นไปตามแผนงานของ ACEA ในปี ค.ศ. 2017 ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยจะเปลี่ยนหัวปลั๊กเป็นแบบเดียวกันทั้งหมด และผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งช่วยลดการเกิดปัญหาพิภักดินของสายป้อน และสามารถพัฒนาไปเป็นระบบ V2G (Vehicle to Grid) หรือการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าถูกชาร์จจนเต็มได้อีกด้วย



รูปที่ 2.9 รูปแบบของหัวปลั๊กในมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2

2.7.3.3 รูปแบบที่ 3 (Type 3) หัวปลั๊ก 1 เฟส และ 3 เฟส (EV Plug Alliance)

จากหัวปลั๊กทั้ง 2 รูปแบบที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ในหัวปลั๊กแบบที่ 3 นี้ถูกนำเสนอโดยบริษัท Schneider Electric ในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งได้พัฒนารูปแบบของหัวปลั๊กดังกล่าวจากหัวปลั๊ก Libera ซึ่งผลิตโดย บริษัท Scame ในประเทศอิตาลี หัวปลั๊กชนิดนี้สามารถรองรับการชาร์จได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส โดยมีพิกัดสูงสุด 32 A และการออกแบบหัวปลั๊กชนิดนี้มีจุดเด่นแตกต่างจากหัวปลั๊กแบบ Type 1 และ Type 2 คือมีระบบ Shutter ปิดที่หัวปลั๊ก และตัวปลั๊กด้วย โดยทางผู้ออกแบบพิจารณาว่าการออกแบบตัวปลั๊กนั้นต้องออกแบบให้ปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ซึ่งในกรณีทั่วไปแล้วผู้ใช้งานมีโอกาสที่จะสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าของหัวปลั๊ก เช่น การสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะของตัวปลั๊ก

ในหัวปลั๊กแบบ Type 1 และ Type 2 นั้นมีการออกแบบให้มีขั้วควบคุมให้มีการตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า โดยในกรณีที่เครื่องชาร์จหรือเครื่องควบคุม EVSE ไม่มีการเชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์จะไม่จ่ายกระแสไฟฟ้ามาที่หัวปลั๊กจนกว่าจะมีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์จึงจะจ่ายกระแสไฟฟ้ามาและพร้อมที่จะชาร์จ ซึ่งผู้ออกแบบหัวปลั๊ก Type 3 มองว่าการใช้สัญญาณทางไฟฟ้ามาเป็นตัวตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อดังกล่าวและนำมาควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของเครื่องชาร์จ (EVSE) นั้นอาจจะยังก่อให้เกิดความเสี่ยงได้หากขั้วควบคุมดังกล่าวมีปัญหาหรือขัดข้องในขณะที่ใช้งาน ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าก็ยังมีโอกาสที่จะสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานโดยที่ผู้ใช้งานไม่ทราบเลยว่าระบบป้องกันดังกล่าวชำรุด โดยการออกแบบให้หัวปลั๊กและตัวปลั๊กมี Shutter ปิดจะช่วยป้องกันปัญหาดังกล่าวได้อย่างถาวร และนอกจากการป้องกันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องความปลอดภัยแล้ว ฝาปิดหัวปลั๊กดังกล่าวยังช่วยในด้านการป้องกันน้ำและฝุ่น (Ingress Protection, IP) ได้อีกด้วย

โดยทั่วไปแล้วการเชื่อมต่อปลั๊กในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อใน 2 ส่วนก็คือ ส่วนที่เชื่อมต่อกับเครื่องชาร์จหรือตัวควบคุม EVSE และส่วนที่เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า ผู้ออกแบบ EV Plug Alliance ได้นำเสนอว่าแทนที่เราจะพิจารณาเลือกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากรูปแบบทั้ง 3 ชนิด คือ Type 1, Type 2 และ Type 3 อาจจะพิจารณารูปแบบ Type 3 นี้สำหรับหัวปลั๊กด้านเครื่องชาร์จหรือตัวควบคุม EVSE เนื่องจากสามารถป้องกันปัญหาการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าของปลั๊กได้ดีที่สุดและปล่อยให้ปลั๊กด้านของรถยนต์ไฟฟ้าสามารถกำหนดได้อย่างเสรีจากรูปแบบปลั๊กตามที่มาตรฐาน IEC 62196 ได้ระบุไว้จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการพัฒนารูปแบบของหัวปลั๊กในกลุ่มประเทศที่ได้กล่าวถึง ซึ่งมีการพัฒนารูปแบบของหัวปลั๊กตามระบบไฟฟ้าและมาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าของแต่ละประเทศใช้งานอยู่ก่อนหน้านี้ สำหรับประเทศที่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายอีก 2 ประเทศคือ ญี่ปุ่น และจีน ก็ได้นำเอารูปแบบของหัวปลั๊กใน 3 กลุ่มนี้ไปใช้งานในประเทศของตน แต่อาจมีลักษณะที่แตกต่างกันสำหรับการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง โดยในประเทศญี่ปุ่นมีรูปแบบหัวปลั๊ก CHAdeMO และในประเทศจีนเองก็ยังมีรูปแบบหัวปลั๊กเป็นของตนเองสำหรับการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในการใช้งานชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยกระแสตรงนี้จะถูกระบุอยู่ในมาตรฐาน IEC 62196-3



รูปที่ 2.10 รูปแบบหัวปลั๊กของ EV Plug Alliance

2.7.4 การชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) และการชาร์จแบบรวม (AC/DC Charging) ตามมาตรฐาน IEC 62196-3

จากหัวปลั๊กทั้ง 3 รูปแบบที่ใช้งานชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับข้างต้นนั้นสำหรับมาตรฐาน IEC 62196-3 นี้ได้ระบุถึงรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นการชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ภายในรถยนต์ไฟฟ้าตรงโดยไม่ผ่านเครื่องชาร์จภายในรถยนต์เหมือนกับกรณีการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเครื่องชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต้องมีเครื่องชาร์จภายในตัวเครื่อง และการชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะเป็นการชาร์จไฟฟ้าแบบรวดเร็ว ซึ่งใช้เวลาในการชาร์จสั้นกว่าการชาร์จแบบแรงดันปกติ และด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้การชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนี้มีพิสัยการใช้งานสูงกว่ากรณีการชาร์จไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ เพื่อให้สามารถชาร์จได้เต็มในเวลาอันสั้น ซึ่งการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนี้อาจมีการใช้งานที่แรงดัน 500 Vdc และมีกระแสใช้งานสูงถึง 125 แอมป์ซึ่งสำหรับหัวปลั๊ก CHAdeMO ของประเทศญี่ปุ่นด้วยพฤติกรรมการใช้งานที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงจึงอาจไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งในบ้านพักอาศัย และการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงอาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าหากมีการใช้งานในปริมาณมากพร้อมๆกัน

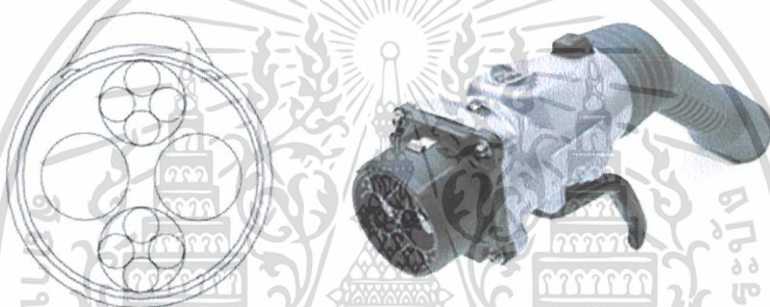
ในประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาหัวปลั๊กสำหรับชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือหัวปลั๊กแบบCHAdeMO ดังนั้นในประเทศญี่ปุ่นจะใช้หัวปลั๊กแบบ SAE J1772 ในการชาร์จแบบแรงดันปกติ ซึ่งเป็นการชาร์จแบบไฟฟ้ากระแสสลับและใช้หัวปลั๊กแบบ CHAdeMO ในกรณีที่ต้องการชาร์จไฟฟ้าแบบรวดเร็ว ซึ่งเป็นการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งรูปแบบการชาร์จของประเทศญี่ปุ่นจึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้าต้องมีหัวปลั๊กทั้ง 2 ชนิดที่ตัวรถยนต์ไฟฟ้า อาทิเช่นในรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf ก็ใช้รูปแบบหัวปลั๊กดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 2.11 และสำหรับในประเทศจีนนั้นการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับใช้รูปแบบของหัวปลั๊ก Type 2 เหมือนกับประเทศเยอรมัน แต่ในการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หัวปลั๊กอีกรูปแบบหนึ่งคล้ายกับระบบชาร์จที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น

จะเห็นได้ว่าในประเทศญี่ปุ่นและประเทศจีนนั้นจะมีหัวปลั๊กสำหรับการชาร์จแยกกันในรูปแบบแรงดันปกติและแบบรวดเร็ว แต่สำหรับหัวปลั๊กแบบ Combo ในหัวปลั๊กแบบ SAE J1772 และ VDE-AR-E 2623-2-2 นั้นจะถูกรวมเข้ากันเป็นหัวเดียวซึ่งมีความสะดวกต่อผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าและผู้ใช้งานที่สะดวกในการเชื่อมต่อหัวปลั๊ก อย่างไรก็ตามการพิจารณานำเอารูปแบบของระบบหัวปลั๊กในประเทศไทยหากมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตนั้นต้องพิจารณาในหลายองค์ประกอบ การตัดสินใจพิจารณากำหนดรูปแบบและมาตรฐานหัวปลั๊กสำหรับของประเทศไทยควรพิจารณาตั้งแต่ก่อนนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้า เพื่อที่จะกำหนดรูปแบบการนำเข้าของรถยนต์ไฟฟ้าและระบุมาตรฐานของหัวปลั๊กที่คาดว่าเหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด หากไม่มีการระบุรูปแบบแล้วจะทำให้เกิดการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีรูปแบบของหัวปลั๊กที่แตกต่างกัน การก่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะมีหลากหลายรูปแบบ และอาจทำให้ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเกิดความไม่สะดวกในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่จะต้องชาร์จในสถานีบริการชาร์จสาธารณะ(Public Charging Station) หรืออาจจะเป็นภาระของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือใช้อุปกรณ์แปลงหัวปลั๊ก (Plug Adapter) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันกับโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องชาร์จซึ่งอาจมีหลายรูปแบบในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้น ในการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นการชาร์จแบบรวดเร็วตามชื่อของรถยนต์ Nissan Leaf ได้ระบุไว้ว่าสามารถชาร์จได้ถึง 80% ของความจุพิกัดภายในเวลา 30 นาที ด้วยรูปแบบการชาร์จที่ใช้เวลาเพียงไม่นาน ทำให้เครื่องชาร์จแบบรวดเร็วอาจถูกติดตั้งในสถานีชาร์จตามถนนทางหลวงเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องเดินทางระหว่างเมือง หากมีการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อความต่อเนื่องในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเราอาจจะต้องพิจารณาติดตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้าแบบรวดเร็วในเส้นทางระหว่างเมือง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 รูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน CHAdeMO

2.8 การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61851

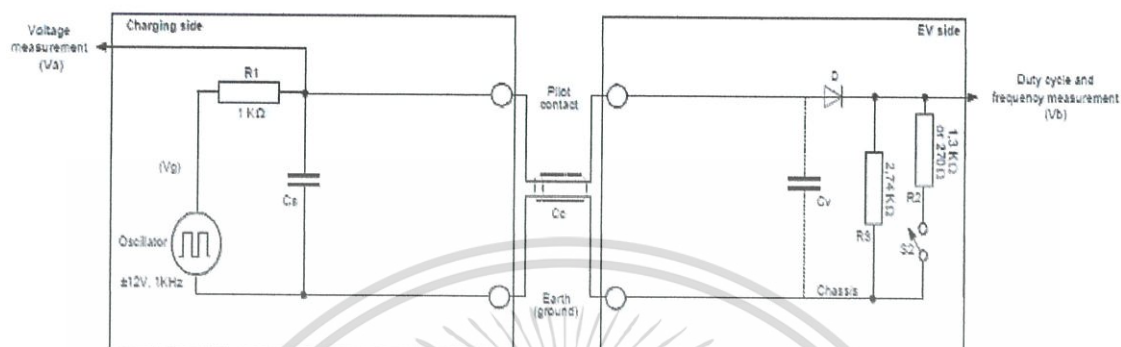
นอกเหนือจากขั้วที่ใช้ในการเชื่อมต่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้ามายังรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีขั้วเพิ่มเติมที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จไฟฟ้ารถยนต์ก็คือ ขั้วควบคุม (CP) และขั้ว Proximity (PP) ซึ่งสำหรับหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 62196 ทุกชนิดจะต้องมีการควบคุมการชาร์จรถยนต์จากขั้วที่เพิ่มขึ้นมาดังกล่าวนี้ โดยมีมาตรฐาน IEC 61851 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

สำหรับขั้ว Proximity Pilot (PP) จะช่วยตรวจสอบการเชื่อมต่อของหัวปลั๊กกับรถยนต์ไฟฟ้าและช่วยป้องกันการเกิดประกายไฟเมื่อหัวปลั๊กถูกถอดออกจากตัวรถเมื่อสิ้นสุดการชาร์จไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

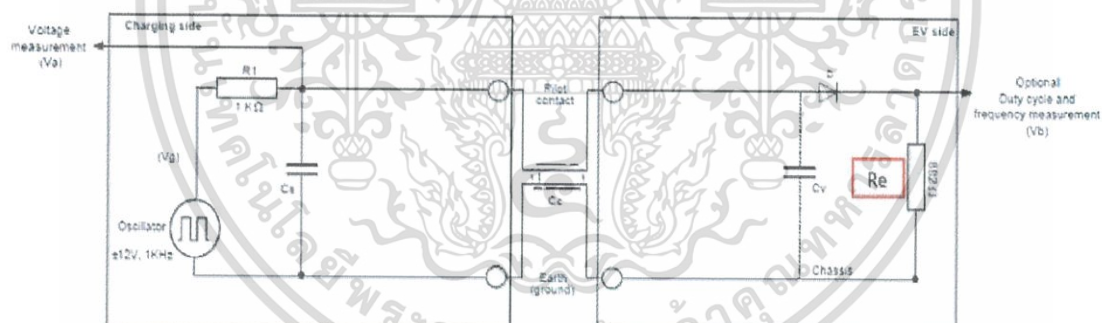
สำหรับข้อ Control Pilot (CP) หลักการทำงานและข้อมูลต่างๆจะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61851-1 (TC69) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป[4]

2.8.2 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย[4]

ตารางที่ 2.5 ค่าสูงสุดของความต่างศักย์ที่ความถี่พาหะสัญญาณค่าต่างๆของสาย Pilot

ความถี่ (kHz)	ค่าความต่างศักย์สูงสุดวัดจากค่ายอดถึงค่ายอด (V)
148-249	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

250-499	0.6
500-1000	1.2
> 1000	2.5

ตารางที่ 2.6 ค่าตัวแปรต่างๆในวงจรสมมูล

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่า ตัวเลข	ช่วงค่าตัวเลข	หน่วย
แรงดันแหล่งจ่ายเปิดวงจรด้านบวก	Voch	12	11.4 – 12.06	V
แรงดันแหล่งจ่ายเปิดวงจรด้านลบ	Vocl	-12	(-12.06) – (-11.4)	V
ความถี่	Fo	1,000	995 – 1,005	Hz
ค่าสูงสุด rise time (10 % ถึง 90 %)	Trg	2		μ s
ค่าสูงสุด fall time (90 % ถึง 10 %)	Tfg	2		μ s
ค่าสูงสุด settling time ถึง 95 % ของ สภาวะคงตัว (steady state)	Tsg	3		μ s
ความต้านทานตัวที่ 1	R1	1,000	970 – 1,030	Ω
ความต้านทานตัวที่ 2 สำหรับรถที่ไม่มี ระบบระบายอากาศ	R2	1,300	1,261 – 1,339	Ω
ความต้านทานตัวที่ 2 สำหรับรถที่มีระบบ ระบายอากาศ	R2	270	261.9 – 278.1	Ω
ความต้านทานตัวที่ 3	R3	2,740	2,658 – 2,822	Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานรวมสำหรับรถที่ไม่มีระบบระบายอากาศ	Re	882	856 - 908	Ω
ความต้านทานรวมสำหรับรถที่มีระบบระบายอากาศ	Re	246	239 - 253	Ω
ความต่างศักย์ตกคร่อมไดโอด (2,75 - 10 mA, -40 °C ถึง + 85 °C) Fast turn-off diode (Tr < 200ms) Vr > 50 V	Vd	0.7	0.55 - 0.85	V
ตัวเก็บประจุ EVSE	Cs		300 - 1,600	pF
ค่าสูงสุดของตัวเก็บประจุของสายเคเบิล	Cc	1,500		pF
ค่าสูงสุดของตัวเก็บประจุป้อนเข้า	Cv	2,400	ไม่ระบุ	pF
ตัวต้านทาน Damping	Rse,Rsv		100-1,000	Ω
ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมสำหรับ off board ของEVSE	Lse	1		mH
ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมสำหรับ EV	Lsv	1		mH

ตารางที่ 2.7 ช่วงของค่าความต่างศักย์ของสาย Pilot

สถานะ/ช่วง	ช่วงแรงดันที่กำหนดโดยระบบ			ช่วงแรงดันที่ระบบยอมรับได้ในการตรวจสอบสถานะ ^a		
	น้อยสุด (V)	ปกติ (V)	มากที่สุด (V)	น้อยสุด (V)	ปกติ (V)	มากที่สุด (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะ A1,A2 / ช่วงบวก	11.4	12	12.6	11	12	13
สถานะ B1,B2 / ช่วงบวก	8.37	9	9.59	8	9	10
สถานะ C1,C2 / ช่วงบวก	5.47	6	6.53	5	6	7
สถานะ D1,D2 / ช่วงบวก	2.59	3	3.28	2	3	4
สถานะ E	0	0	1	-1	0	1
สถานะ A2,B2,C2,D2 / ช่วงลบ	-12.6	-12	-11.4	-13	-12	-11
สถานะ F ^a						
a คือขณะวัดที่ Va						

ตารางที่ 2.8 การหยุดจ่ายพลังงานของระบบในทุกกรณี

Va (V)	เวลาสูงสุดในการหยุดจ่ายพลังงาน (ms)
≥ 7.5	100
≤ 1.5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ประเภทของการชาร์จแบตเตอรี่

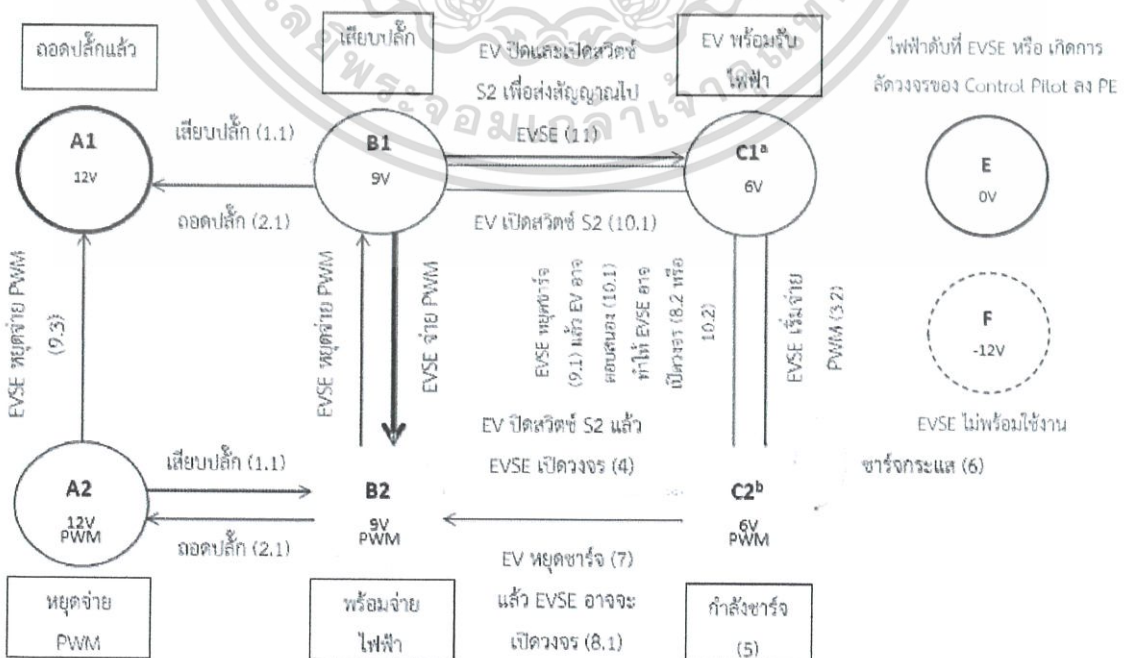
สถานะระบบ	EV เชื่อมต่อกับ EVSE	S2	EV พร้อมรับพลังงาน	EVSE พร้อมจ่ายพลังงาน	EVSE จ่ายพลังงาน	Va			หมายเหตุ
						ระดับสูง	ระดับต่ำ		
A1	ไม่	ไม่ระบุ	ไม่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	12 V	ไม่ระบุ	แรงดันคงที่	Vb = 0 V
A2			ไม่	พร้อม	ไม่จ่าย	12 V	-12 V	PWM	
B1	ใช่	เปิด	ไม่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	9 V	ไม่ระบุ	แรงดันคงที่	R3 ถูกตรวจจับ
B2			ไม่	พร้อม	ไม่จ่าย	9 V	-12 V	PWM	
C1	ใช่	ปิด	ใช่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	6 V	ไม่ระบุ	แรงดันคงที่	R2 = 1,3 k Ω \pm 3 % พื้นที่การชาร์จที่ไม่ต้องมีระบบระบายอากาศ
C2			ใช่	พร้อม	จ่าย	6 V	-12 V	PWM	

D1			ใช่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	3 V	ไม่ระบุ	แรงดันคงที่	$R2 = 270 \Omega \pm 3 \%$ พื้นที่การชาร์จที่ต้องมีระบบ ระบายอากาศ
D2			ใช่	พร้อม	จ่าย	3 V	-12 V	PWM	
E	ใช่	ไม่ระบุ	ไม่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	0 V	ไม่ระบุ	แรงดันคงที่	$V_b = 0$: EVSE หรือระบบไฟฟ้ามี ปัญหาหรือสายสัญญาณลัดวงจร
F	ใช่	ไม่ระบุ	ไม่	ไม่พร้อม	ไม่จ่าย	ไม่ระบุ	-12 V	ไม่ระบุ	EVSE ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 2.10 พฤติกรรมของสถานะ

สถานะ	พฤติกรรม	ข้อสังเกต
X1	EVSE ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากไม่มีพลังงานจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า หรือ EVSE หยุดการชาร์จเอง	หากมีพลังงานไฟฟ้าเข้ามา EVSE จะเปลี่ยนไปเป็นสถานะ X2 ทำให้ EV สามารถชาร์จได้
E	ไฟฟาดับหรือไม่มีไฟฟ้าที่ EVSE การลัดวงจรของ control pilot ลง PE	EVSE ไม่ต่อกับเต้าเสียบ ณ เวลาผ่านไปสูงสุด 30 s หรือแทบจะทันที
F	EVSE ไม่พร้อมใช้งาน	EVSE ไม่ต่อกับเต้าเสียบ ณ เวลาผ่านไปสูงสุด 30 s หรือแทบจะทันที

2.8.3 แผนภาพสถานะของวงจรสมมูลควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


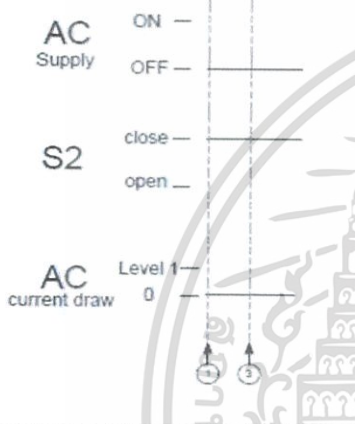
2.8.5 ขั้นตอนการทำงาน

ตารางที่ 2.11 การทำงานในขั้นตอนที่ 1.1

1.1 เสียบปลั๊ก (มี S2)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>Va</p>	A1	(1) EV ยังไม่เชื่อมต่อ +12 V t1-2 ไม่จำกัดเวลา
 <p>AC Supply</p> <p>S2</p> <p>AC current draw</p>	A1 → B1	(2) สายเคเบิลเชื่อมต่อระหว่าง EV กับ EVSE +9 V หมายเหตุ ขั้นตอนนี้ใช้ได้กับ A2 → B2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 การทำงานในขั้นตอนที่ 1.2

1.2 เสียบปลั๊ก (ปราศจาก S2)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>Va</p>	A1	(1) EV ยังไม่เชื่อมต่อ +12 V t1-3 ไม่จำกัดเวลา
 <p>AC Supply</p> <p>S2</p> <p>AC current draw</p>	A1 → C1/D1	(3) สายเคเบิลเชื่อมต่อระหว่าง EV กับ EVSE +6 V หมายเหตุ - ขั้นตอนนี้ใช้ได้กับ A2 → C2/D2 - ไม่มี t2 อยู่ในขั้นตอนนี้

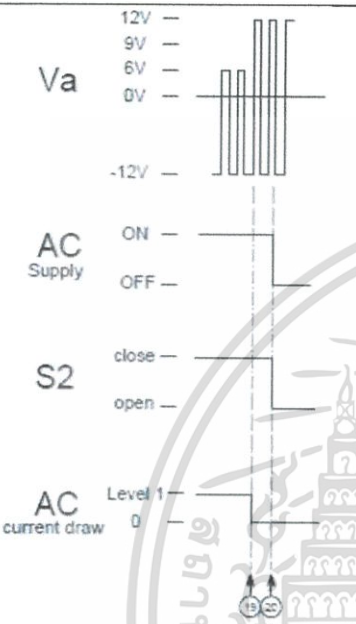
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 การทำงานในขั้นตอนที่ 2.1

2.1 ถอดปลั๊กที่สถานะ Bx	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	B2 → A2 หรือ B1 → A1	(19) ปลั๊กไม่ได้ต่อกับ EVSE หรือ เต้าเสียบที่ EV ไม่ได้ต่อกับหัวปลั๊ก ความล่าช้าในการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมหลังจากเปลี่ยนสถานะจาก B2, C2 หรือ D2 ไปสถานะ A1 t_{19-20} ไม่จำกัดเวลา
	A1 หรือ A2	(20) EV ยังไม่เชื่อมต่อ EVSE ไม่ได้ต่อกับเต้าเสียบที่เวลาผ่านไปสูงสุด 5 วินาที หรือแทบจะทันที ในสายเคเบิลจะมีสาย pilot ที่เชื่อมต่อกับสวิตช์ S2 ฝั่ง EV เพื่อสื่อสารว่า EV ยังไม่ได้เชื่อมต่อ

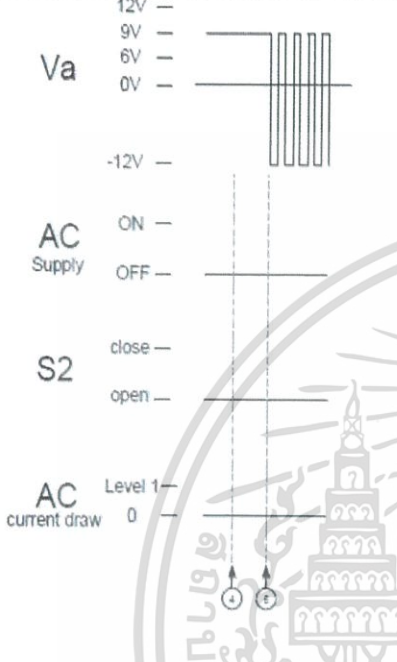
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 การทำงานในขั้นตอนที่ 2.2

2.2 ถอดปลั๊กระหว่างชาร์จ	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time: Va (voltage), AC Supply (ON/OFF), S2 (close/open), and AC current draw (Level 1/0). Va shows a pulse from 0V to 12V. AC Supply transitions from ON to OFF. S2 transitions from close to open. AC current draw transitions from Level 1 to 0.</p>	<p>C2, D2 → A1 หรือ C2, D2 → A2</p>	<p>(19) ปลั๊กไม่ได้ต่อกับ EVSE หรือ เต้าเสียบที่ EV ไม่ได้ต่อกับหัวปลั๊กระหว่างชาร์จ</p> <p>EVSE เปิดวงจรขณะต่อโหลด</p> <p>เวลาสูงสุดที่ 100 ms</p>
	<p>A2 → A1</p>	<p>ความล่าช้าในการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นที่เหลื่อม</p> <p>ไม่จำกัดเวลา</p>
	<p>A1 หรือ A2</p>	<p>EVSE ไม่ได้ต่อกับเต้าเสียบที่เวลาผ่านไปสูงสุด 5 วินาที หรือแทบจะทันที</p>

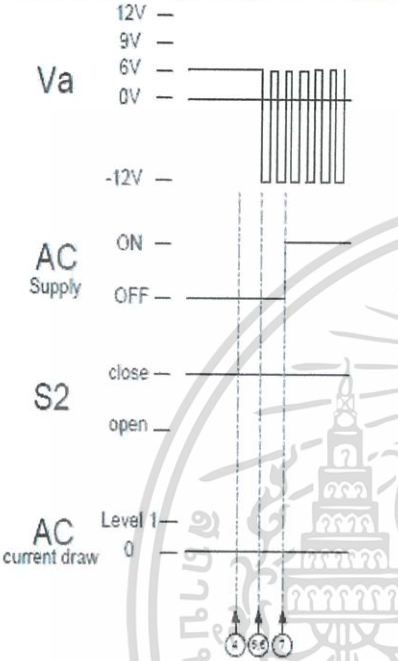
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.15 การทำงานในขั้นตอนที่ 3.1

3.1 EVSE พร้อมจ่ายพลังงานไฟฟ้า (สถานะ B)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	B1 → B2	<p>(5) EVSE พร้อมจ่ายไฟฟ้า และระบุค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้จากดิวิตีไซเคิลของ PWM</p> <p>EV จะรับรู้การเปลี่ยนสถานะจาก B1 ไป B2</p> <p>t_{4-5} ไม่จำกัดเวลา</p> <p>หมายเหตุ ขั้นตอนนี้สามารถแทนที่ด้วยจุดเริ่มต้นของการชาร์จหรือกลับมาในช่วงการชาร์จ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.16 การทำงานในขั้นตอนที่ 3.2

3.2 EVSE พร้อมจ่ายพลังงานไฟฟ้า (สถานะ C)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C1 → C2	<p>(5) EVSE พร้อมจ่ายไฟฟ้า และระบุค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้จากดิวตี้ไซเคิลของ PWM</p> <p>หมายเหตุ ในขั้นตอนนี้สมมติ EV ทำงานภายใต้สาย Control Pilot และกระแสไฟฟ้าอาจจะไม่เป็นไปตามสัญญาณ PWM</p> <p>t_{4-5} ไม่จำกัดเวลา</p>
		<p>(6) EV พร้อมรับพลังงานไฟฟ้า</p> <p>(7) EVSE จ่ายพลังงาน ถ้าสถานะ D2 ถูกตรวจพบ แหล่งจ่ายจะปิดเฉพาะในกรณีความต้องการระบายอากาศถูกพบ</p> <p>t_{5-6} 0 s และ t_{6-7} เวลาสูงสุดที่ 3 s</p>

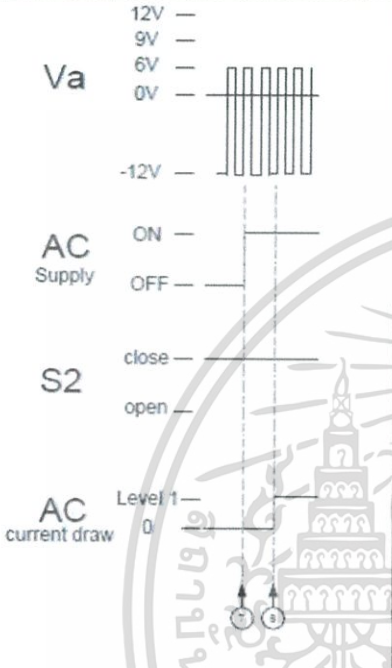
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.17 การทำงานในขั้นตอนที่ 4

4. EV พร้อมชาร์จ	สถานะหรือ การเปลี่ยน แปลง	เงื่อนไข
	<p>B2→C2,D2</p> <p>C2,D2</p>	<p>(6) EV พร้อมรับพลังงานไฟฟ้า</p> <p>t_{6-7} เวลาสูงสุดที่ 3 s</p> <p>(7) EVSE จ่ายพลังงาน ถ้าสถานะ D2 ถูกตรวจพบ แหล่งจ่ายจะปิดเฉพาะในกรณีความต้องการระบายอากาศถูกพบ</p> <p>ในกรณี EV ร้องขอการระบายอากาศล่าช้า คำสั่งระบายอากาศเปิดหลังจากเปลี่ยนสถานะจากสถานะ C2 ไปสถานะ D2 ใน 3 วินาทีในกรณี EVSE ไม่มีการระบายอากาศ จะเปิดวงจรและอาจจะเปลี่ยนไปสถานะ X1</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.18 การทำงานในขั้นตอนที่ 5

5. EV เริ่มการชาร์จ	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C2,D2	(8) กระแสไฟฟ้าถูกดึงไปยัง EV t_{7-8} เวลาต่ำสุดที่ 100 ms

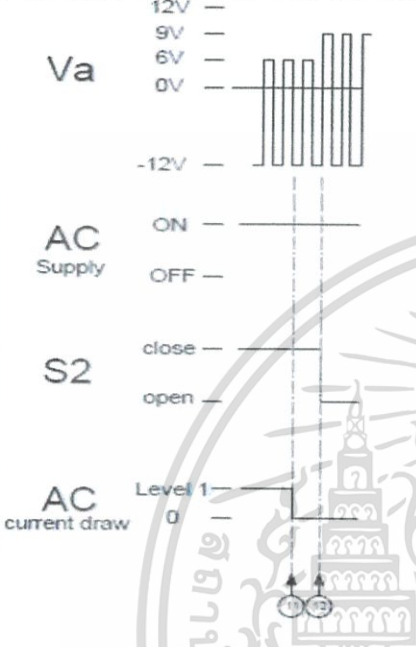
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.19 การทำงานในขั้นตอนที่ 6

6. กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time. Va is a PWM signal oscillating between 0V and 6V. AC Supply is ON. S2 is in the 'close' state. AC current draw shows two levels, Level 1 and Level 2, with Level 1 being higher than Level 2. A vertical dashed line marks the start of the event.</p>	C2,D2	<p>(9) EVSE ปรับเปลี่ยนการจ่ายพลังงานตามระบบไฟฟ้าหรือการปรับตั้งค่าบน EVSE ทำให้ตัวที่ไซเคิลสามารถเปลี่ยนตามได้ตลอดเวลา ปกติช่วงเวลา 5 s ของการปรับค่า EVSE จะไม่ใช่ขั้นตอนที่ 6 สำหรับการเปลี่ยน PWM</p> <p>10 s จากจุดตั้งต้น (EVSE รับรู้สถานะ) จนกระทั่ง EV ตอบสนอง</p>
		<p>(10) EV ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงและเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าตาม PWM t_{9-10} เวลาสูงสุดที่ 5 s</p>

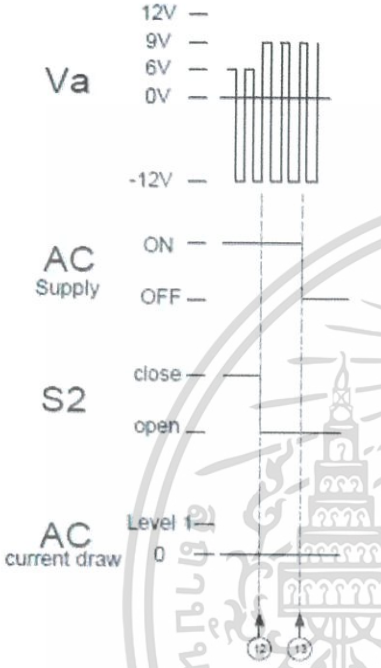
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.20 การทำงานในขั้นตอนที่ 7

7. EV หยุดการชาร์จ	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C2, D2	(11) ปกติ EV จะลดกระแสไฟฟ้าลงถึงค่าต่ำสุด (น้อยกว่า 1 A) ก่อนเปิดสวิตช์ S2 ช่วงเวลาไม่ปกติ (ฉุกเฉิน) EV อาจจะเปิดสวิตช์ S2 ทันที
	C2,D2 → B2	(12) EV เปิดสวิตช์ S2 t_{11-12} ไม่จำกัดเวลา

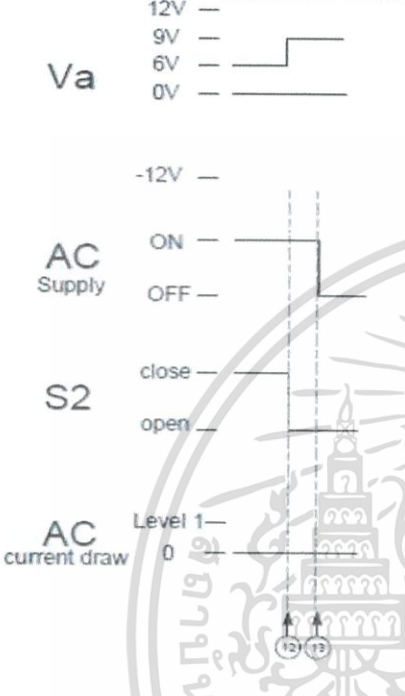
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.21 การทำงานในขั้นตอนที่ 8.1

8.1 EVSE ตอบสนองไปยัง EV เปิด S2 (ด้วย PWM)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time:</p> <ul style="list-style-type: none"> Va: A PWM signal with a peak of 12V and a trough of -12V. AC Supply: Transitions from OFF to ON at the start of the PWM period and back to OFF at the end. S2: Transitions from 'open' to 'close' during the PWM period. AC current draw: Shows a pulse at 'Level 1' corresponding to the S2 transition. 	B2	<p>(13) EVSE เปิดวงจรในการตอบสนองการเปิดสวิตช์ S2 (พิจารณาสถานการณ์ไม่ปกติ สวิตช์ S2 อาจเปิดวงจรขณะต่อโหลด)</p> <p>t_{12-13} เวลาสูงสุดที่ 100 ms</p>

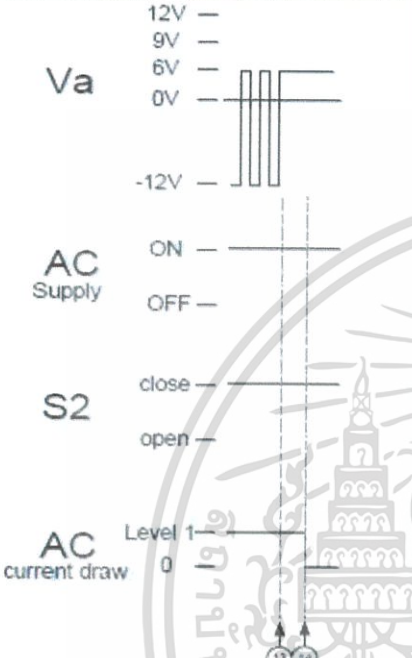
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.22 การทำงานในขั้นตอนที่ 8.2

8.2 EVSE ตอบสนองไปยัง EV เปิด S2 (ปราศจาก PWM)	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time. Va is a step function that jumps from 0V to 12V. AC Supply transitions from OFF to ON. S2 transitions from open to close. AC current draw shows a pulse at Level 1 during the S2 close transition. A watermark of a Thai university seal is visible in the background.</p>	B1	(13) EVSE เปิดวงจรในการตอบสนองการเปิดสวิตช์ S2 t_{12-13} เวลาสูงสุดที่ 100 ms

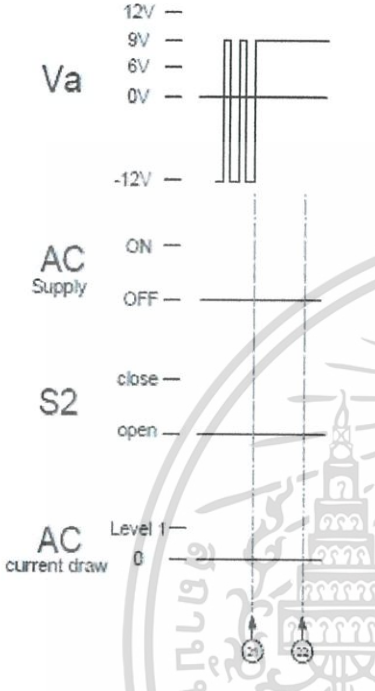
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.23 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.1

9.1 EVSE ร้องขอให้หยุดการชาร์จ	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C2,D2 → C1,D1	(13) EVSE อาจปรับค่าตัวรีเซ็ตเซลล์ไปที่สถานะคงที่เพื่อให้ EV หยุดดึงกระแสไฟฟ้า
	C1,D1	(14) EV ตอบสนอง PWM ที่สถานะคงที่และหยุดดึงกระแสไฟฟ้า t_{13-14} เวลาสูงสุดที่ 3 s
		ในกรณี EV ไม่ได้ทำตามสัญญาณ PWM อาจจะทำให้ EVSE เปิดวงจรเอง

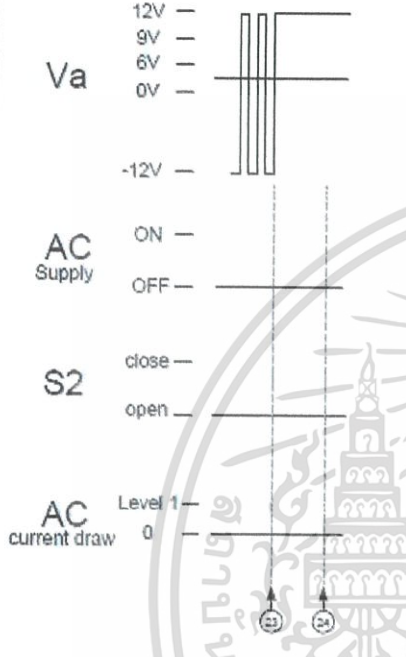
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.24 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.2

9.2 EVSE หยุดให้สัญญาณ PWM ที่สถานะ B	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows the state of various signals during the transition from B2 to B1. Va is a PWM signal between 0V and 9V. AC Supply is ON. S2 is close. AC current draw is Level 1. The diagram shows a transition from state B2 to B1.</p>	B2 → B1	<p>(21) EVSE อาจหยุดให้สัญญาณ PWM ได้ตลอดเวลา</p> <p>(22) ไม่มีกระบวนการโดย EV จำเป็นต้องแทนที่</p> <p>ในกรณีขั้นตอน 3.1 จะตามขั้นตอน 9.2 EVSE จะรออย่างน้อย 3 วินาที t_{21-22} ไม่จำกัดเวลา</p>

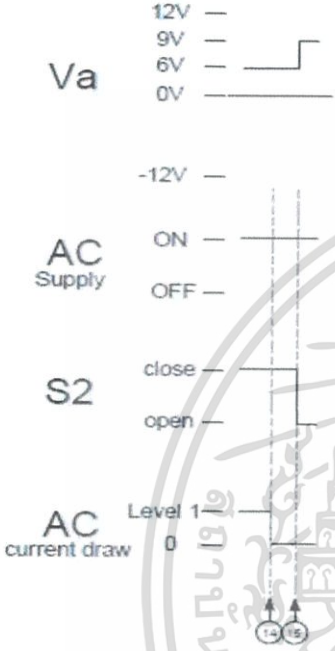
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.25 การทำงานในขั้นตอนที่ 9.3

9.3 EVSE หยุดให้สัญญาณ PWM ที่สถานะ A	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time:</p> <ul style="list-style-type: none"> Va: A pulse-width modulated (PWM) signal that transitions from 0V to 12V. The pulse width is approximately 10% of the period. AC Supply: A signal that transitions from OFF to ON at the start of the Va pulse. S2: A signal that transitions from open to close at the start of the Va pulse. AC current draw: A signal that transitions from Level 0 to Level 1 at the start of the Va pulse. <p>Vertical dashed lines mark time points t_{23} and t_{24}. A watermark of a Thai university seal is visible in the background.</p>	<p>A2 → A1</p>	<p>(23) EVSE อาจหยุดให้สัญญาณ PWM ได้ทุกเวลา</p> <p>(22) ไม่มีกระบวนการโดย EV จำเป็นต้องแทนที่</p> <p>t_{23-24} ไม่จำกัดเวลา</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.26 การทำงานในขั้นตอนที่ 10.1

10.1 EV ตอบสนองต่อการร้องขอหยุด	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C1,D1	(14) EV ตอบสนอง PWM ที่สถานะคงที่ และหยุดดึงกระแสไฟฟ้า t_{14-15} เวลาสูงสุดที่ 3 s
S2	C1,D1 → B1	(15) EV เปิดสวิตช์ S2
AC current draw	ขั้นตอนนี้เป็นไปตามขั้นตอน 8.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.27 การทำงานในขั้นตอนที่ 10.2

10.2 EV ไม่ตอบสนองต่อการร้องขอให้หยุดการชาร์จ	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
	C1,D1	(14) EV ไม่ตอบสนอง PWM ที่สถานะคงที่ และไม่หยุดดึงกระแสไฟฟ้า
	C1,D1	(16) EVSE จะเปิดวงจรภายใต้การจ่ายโหลด (เริ่มจับเวลาขณะ PWM เปลี่ยนไป) t_{14-16} เวลาต่ำสุดที่ 3 s และเวลาสูงสุดที่ 5 s
		หมายเหตุ t_{15} ไม่ได้แสดงไว้เนื่องจากไม่มี S2 ในขั้นตอนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.28 การทำงานในขั้นตอนที่ 11

11. EV ส่งสัญญาณไปยัง EVSE	สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
 <p>The diagram shows four signals over time: Va (0V to 12V square wave), AC Supply (ON/OFF), S2 (close/open), and AC current draw (Level 1 spike). Below the signals is a diagram of a building with EVSEs 17 and 18.</p>	<p>Bx→Cx, Dx→Bx</p>	<p>(17,18) เปลี่ยนแปลงสถานะจาก Bx ไป Cx, Dx และ Cx, Dx ไป Bx</p> <p>EVSE จะไม่ย้ายไปสถานะ F เนื่องจากขั้นตอนที่ 11 ขั้นตอนนี้เป็นทางเลือกและจะถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารแบบดิจิทัล EV อาจใช้ขั้นตอนนี้เพื่อส่งสัญญาณไปที่ EVSE (เช่น ให้พร้อมทำงาน)ไม่ว่ากรณีใดๆ EV จะไม่ดึงกระแสไฟฟ้ามาใช้ในระหว่างขั้นตอนนี้</p> <p>t_{17-18} เวลาต่ำสุดที่ 200 ms และ เวลาสูงสุดที่ 5 s</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. (ในมาตรฐานไม่ระบุรายละเอียดการทำงานและไม่ระบุรูปสัญญาณ)

ตารางที่ 2.29 การทำงานในขั้นตอน 12

สถานะหรือการเปลี่ยนแปลง	เงื่อนไข
XX→E	การเปลี่ยนแปลงจากสถานะใดๆไปสถานะ E ส่งผลให้ EVSE เปิดวงจร
XX→F	เวลาสูงสุดที่ 100 ms
	EV จะเปิดสวิตช์ S2 ทันที เวลาสูงสุดที่ 3 s
	EVSE ไม่ต่อกับเต้าเสียบในทันที เวลาสูงสุดที่ 30 s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.30 ดิวตี้ไซเคิลของ Pilot ที่จ่ายโดย EVSE

ค่าดิวตี้ไซเคิลที่กำหนดไว้โดย EVSE	ค่ากระแสที่ยอมรับได้
0 % Duty Cycle	EVSE ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ - F
5 % Duty Cycle	5% ของดิวตี้ไซเคิลในการสื่อสารแบบดิจิทัลจะต้องถูกตั้งค่าขึ้นระหว่าง EVSE และ EV ก่อนการชาร์จ
(% duty cycle) = กระแสไฟฟ้า / 0.6	กระแสไฟฟ้าจาก 6 A ถึง 51 A
10 % ≤ duty cycle ≤ 85 %	
(% duty cycle) = (กระแสไฟฟ้า / 2.5) + 64	กระแสไฟฟ้าจาก 51 A ถึง 80 A
85 % < duty cycle ≤ 96 %	
100 % Duty Cycle	ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ - X1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.31 กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่นำไปใช้ใน EV

ค่าดิวตี้ไซเคิลที่ EV ประมวลผลได้	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ถูกนำไปใช้ในรถยนต์
Duty cycle < 3 %	ไม่ให้ทำการชาร์จ (0 A)
3 % ≤ duty cycle ≤ 7 %	5% ของดิวตี้ไซเคิลในการสื่อสารแบบดิจิทัลจะต้องถูกตั้งค่าขึ้นระหว่าง EVSE และ EV ก่อนการชาร์จ ไม่ให้ทำการชาร์จหากไม่มีการสื่อสารแบบดิจิทัล การสื่อสารแบบดิจิทัลอาจจะใช้กับดิวตี้ไซเคิลค่าอื่นๆด้วย
7 % < duty cycle < 8 %	ไม่ให้ทำการชาร์จ (0 A)
8 % ≤ duty cycle < 10 %	6 A
10 % ≤ duty cycle ≤ 85	กระแสไฟฟ้า = (% duty cycle) × 0.6 A
85 % < duty cycle ≤ 96 %	กระแสไฟฟ้า = (% duty cycle - 64) × 2.5 A
96 % < duty cycle ≤ 97 %	80 A
Duty cycle > 97 %	ไม่ให้ทำการชาร์จ (0 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

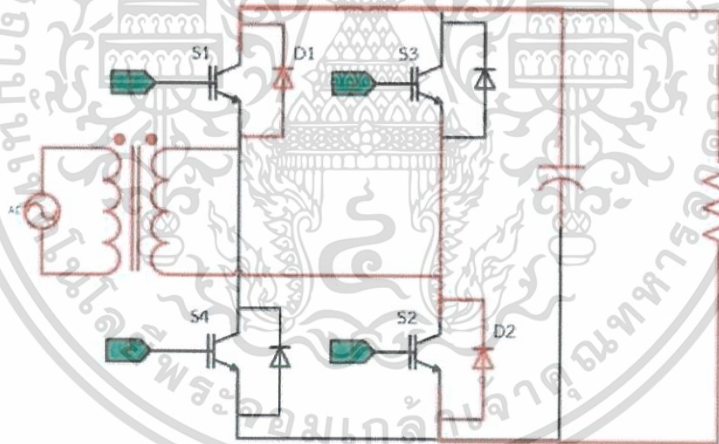
2.9 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทาง

2.9.1 กรณีทำงานเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง

ในกรณีนี้ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยหลักการจ่ายไปอัสตรง และการจ่ายไปอัสกลับให้ตัวไดโอด เพื่อให้ไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแสตามสภาวะไปอัสที่จ่าย ในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นพัลส์บวก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอด D1 และ D2 ดังแสดงในรูปที่ 2.36 และในกรณีที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ในช่วงพัลส์ลบ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอด D3 D4 ดังแสดงในรูปที่ 2.37 แรงดันไฟฟ้าหลังจากผ่านวงจรเรียงกระแสจากทั้งสองสภาวะนั้น จะเป็นแรงดันไฟตรง อยู่บริเวณ DC BUS ซึ่งต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ไว้ เพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟตรง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ DC BUS หากพิจารณาให้ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่มาก จนไม่เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

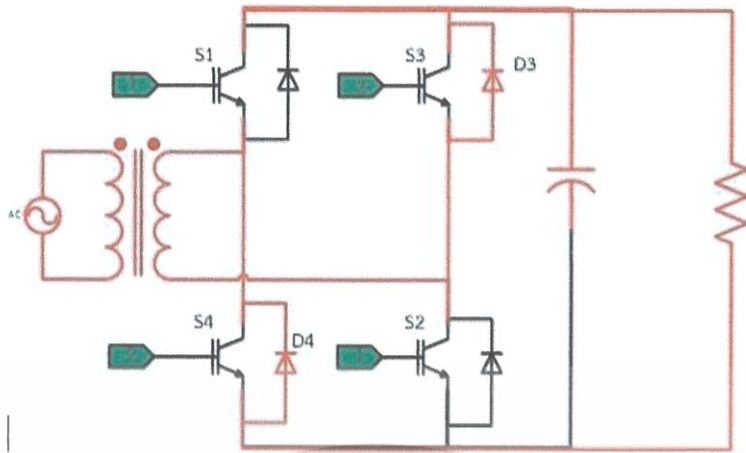
$$V_{dc} = \sqrt{2}V_{rms}$$

(2.1)



รูปที่ 2.16 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์บวกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

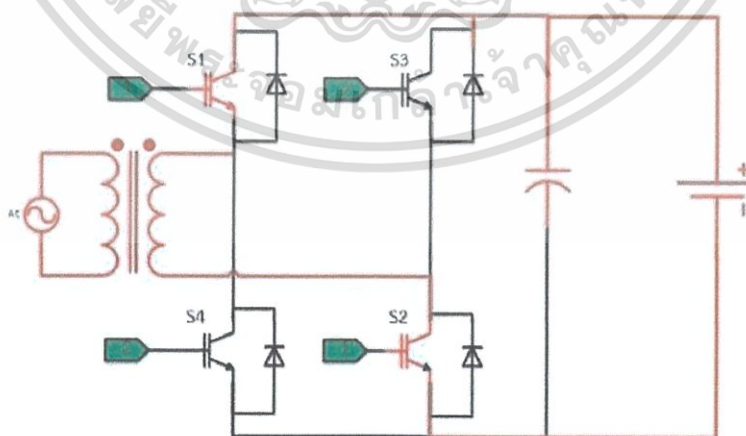
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์ลบเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

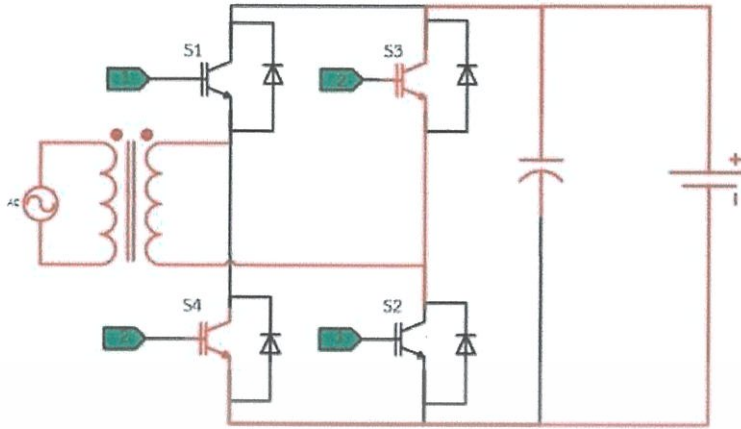
2.9.2 กรณีทำงานเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ในกรณีนี้ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยหลักการเปิดปิดของสวิตช์ ในสถานะที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นพัลส์บวก จะควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์ S1 และ S2 ดังแสดงในรูปที่ 2.38 และในกรณีที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ในช่วงพัลส์ลบ จะควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านสวิตช์ S3 และ S4 ดังแสดงในรูปที่ 2.39 โดยสวิตช์ที่ใช้ในวงจร จะถูกควบคุมการเปิดปิดด้วยสัญญาณเกต ที่ป้อนเข้า ซึ่งหากต้องการให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์ (sine wave) จะต้องทำการควบคุมสวิตช์ด้วยสัญญาณ PWM



รูปที่ 2.18 การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์บวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

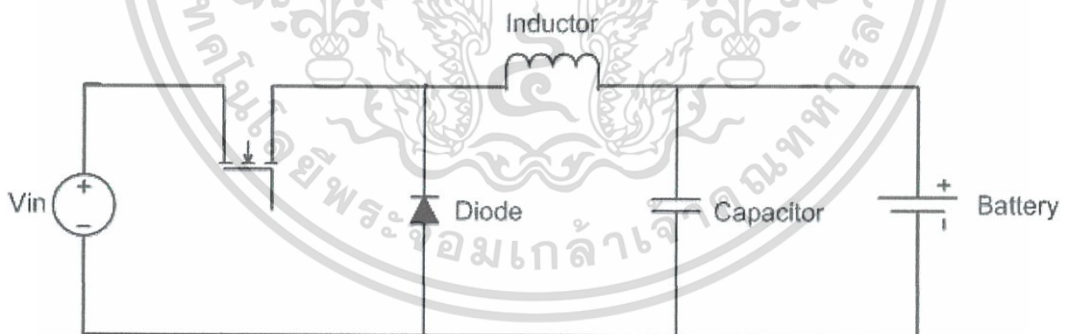


รูปที่ 2.19 การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับช่วงพัลส์ลบ

2.10 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2.10.1 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของวงจรดังรูปที่ 2.8 โดยที่ระดับแรงดันเอาต์พุตจะต่ำกว่าแรงดันขาเข้า ใช้หลักการของการสวิตช์ที่มารณเปิด-ปิดได้ทุกขณะ และสามารถควบคุมวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ผ่านการควบคุมดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณเกตสวิตซ์ซึ่ง



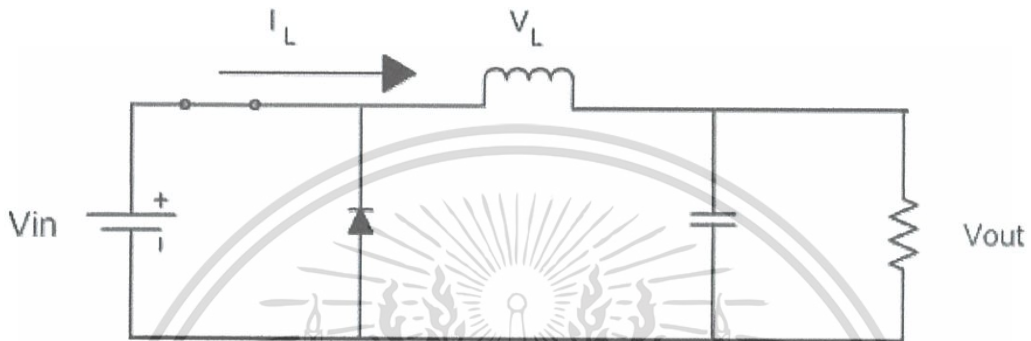
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

2.10.1.1 การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แบ่งเป็นสองช่วง คือขณะที่สวิตซ์ต่อวงจร และขณะที่สวิตซ์ตัดวงจร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์ตัดวงจรดังรูปที่ 2.9 ไดโอดจะไม่มีกระแสไหลเนื่องจากถูกไบอัสย้อนกลับ ถ้าสมมุติให้ตัวเก็บประจุมีความจุไฟฟ้าขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าคงตัว (เรียบ) แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าลบด้วยแรงดันไฟฟ้าขาออกซึ่งมีค่าเป็นบวก ดังนั้นกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้น ถ้าสวิตช์ตัดต่อวงจรเป็นช่วงเวลาวัฏจักรงาน (Duty cycle; D) ดังสมการ 2.21 จะสามารถหากระแสที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการ 2.3 , 2.4 และสมการ 2.5



รูปที่ 2.21 การทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสวิตช์ปิดวงจร

$$D_{on} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.2)$$

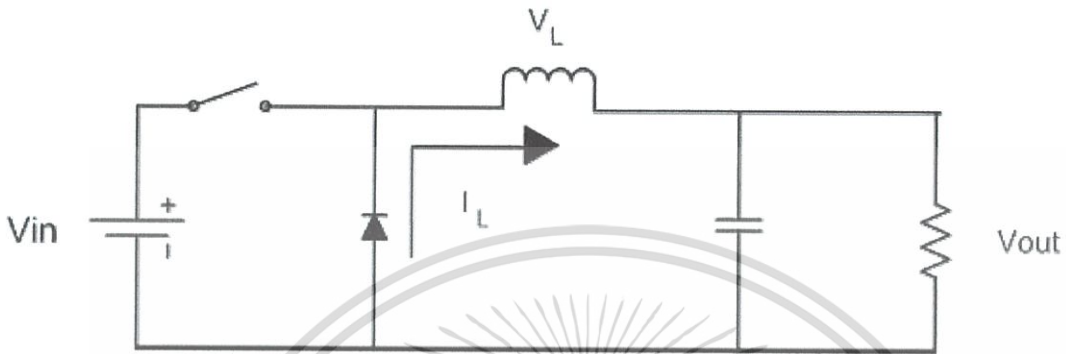
$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = V_{in} - V_{out} \quad (2.3)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad (2.4)$$

$$DI_L = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} D_{on} T \quad (2.5)$$

ขณะสวิตช์ตัดวงจรดังรูปที่ 2.10 กระแสในตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถหยุดไหลได้ในทันที ทำให้ไดโอดนำกระแส แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับค่าลบของแรงดันไฟฟ้าออก

ดังนั้นกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลง ถ้าสวิตช์ตัดต่อวงจรเป็นช่วงเวลาวัฏจักรงาน (Duty cycle; D) คำนวณได้จากสมการ 2.6 จะสามารถหากระแสที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการ 2.7 , 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.22 การทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสวิตช์เปิดวงจร

$$D_{off} = \frac{t_{off}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{off}}{T} = 1 - D_{on} \tag{2.6}$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{out} \tag{2.7}$$

$$-DI_L = \frac{V_{out}}{L} D_{off} T \tag{2.8}$$

$$DI_L = -\frac{V_{out}}{L} (1 - D_{on}) T \tag{2.9}$$

ในขณะที่วงจรเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว กระแสที่เพิ่มขึ้นในช่วงสวิตช์ต่อวงจรกับกระแสที่ลดลงในช่วงที่สวิตช์ตัดวงจรจะเท่ากัน ดังนั้นจากสมการ 2.5 และสมการ 2.9 จะได้ว่า

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{L} D_{on} T = \frac{V_{out}}{L} D_{off} T \quad (2.10)$$

$$(V_{in} - V_{out}) D_{on} = V_{out} D_{off} \quad (2.11)$$

จากความสัมพันธ์ $D_{on} + D_{off} = 1 \quad (2.12)$

จะได้ว่า $(V_{in} - V_{out}) D_{on} = V_{out} (1 - D_{on}) \quad (2.13)$

$$V_{out} = D_{on} V_{in} \quad (2.14)$$

โดยที่

D_{on} คือ ค่า Duty Cycle ของสวิตช์ในช่วงต่อวงจร

D_{off} คือ ค่า Duty Cycle ของสวิตช์ในช่วงตัดวงจร

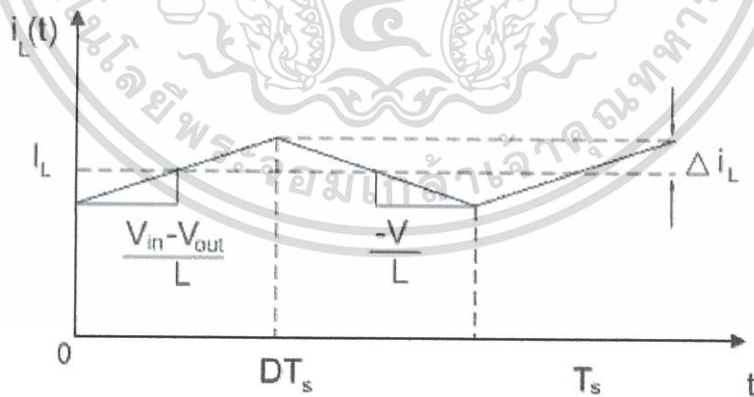
V_{out} คือ ระดับแรงดันเอาต์พุทของวงจร

V_{in} คือระดับแรงดันขาเข้าของวงจร

t_{on} คือช่วงเวลาของสวิตช์ในช่วงต่อวงจร

t_{off} คือช่วงเวลาของสวิตช์ในช่วงตัดวงจร

T คือคาบเวลาการสวิตช์ซิงของสวิตช์



รูปที่ 2.23 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

จากสมการที่ 2.14 สรุปได้ว่าที่สภาวะคงตัว แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทจะขึ้นอยู่กับค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle: D) และแรงดันไฟฟ้าต้านขาเข้าโดยแรงดันเอาต์พุทจะน้อยกว่าแรงดันขาเข้าเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวงจรทำงานในสภาวะคงตัวค่ากระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเฉลี่ยใน 1 คาบเวลาการสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ยจะเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเฉลี่ยดังนั้นจะได้ว่า

$$I_L = I_{out} = \frac{V_{out}}{R} \quad (2.15)$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ 2.18

$$I_{L,max} = I_L + \frac{DI_L}{2} \quad (2.16)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_{out}}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_{out}}{L} (1-D) T \right] \quad (2.17)$$

$$\therefore I_{L,max} = V_{out} \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.18)$$

และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดผ่านตัวเหนี่ยวนำหาได้จากสมการ 2.21

$$I_{L,min} = I_L - \frac{DI_L}{2} \quad (2.19)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_{out}}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_{out}}{L} (1-D) T \right] \quad (2.20)$$

$$\therefore I_{L,min} = V_{out} \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.21)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าของขดลวดเหนี่ยวนำต่ำที่สุด (L_{min}) ที่ยังคงทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด CCM โดยกำหนดให้ $I_{L,min}$ มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ดังสมการ 2.22

$$L_{min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.2 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

สำหรับการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันด้านเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุโดยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเก็บประจุหาได้จากสมการ

$$I_C = I_L - I_R \quad (2.23)$$

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวกซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นการสะสมประจุของตัวเก็บประจุ โดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$Q = CV_{out} \quad (2.24)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_{out} \quad (2.25)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.26)$$

หาค่า ΔQ จากพื้นที่ใต้กราฟที่แรงงาในรูปที่ 2.11 จะได้สมการ 2.46 และ 2.47

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \times \frac{T}{2} \times \frac{\Delta I_L}{2} \quad (2.27)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{T\Delta I_L}{8C} \quad (2.28)$$

จากสมการ 2.28 แทนค่า ΔI_L ในสมการ 2.27 และ 2.28 จะได้

$$\Delta V_{out} = \left(\frac{T}{8C}\right) \left(\frac{V_{out}}{L}\right) (1-D)T \quad (2.29)$$

$$\therefore \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.3 หลักการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

ตัวเหนี่ยวนำในวงจรบัค จะทำหน้าที่ลดระลอกคลื่นของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในทางปฏิบัติสามารถออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำได้จากการกำหนดค่าระลอกคลื่นของกระแส ให้มีค่าตามที่กำหนด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{V_{out}(1-D)}{\Delta I_L \times f_s} \quad (2.31)$$

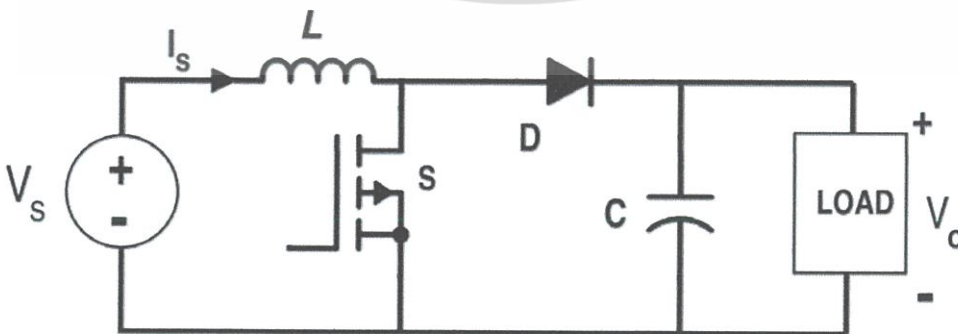
เมื่อค่า ΔI_L คือค่าระลอกของกระแสขาออก ในทางปฏิบัติควรมีค่าไม่เกิน 40% ของกระแสขาออก และค่า f_s แทนค่าความถี่ของสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์

ในลักษณะเดียวกัน การออกแบบตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติสามารถกำหนดจากค่าของระลอกคลื่นแรงดันขาออก จากสมการที่ 2.30 สามารถคำนวณค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการ

$$C = \frac{(1-D)}{8L_{min}f_s^2 \times \left(\frac{\Delta V_O}{V_O}\right)} \quad (2.32)$$

2.10.2 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output) ให้มีค่ามากกว่าแรงดันขาเข้า (Input) ที่ป้อนเข้ามาในวงจรหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรทบระดับ (Step-up Converter) โดยมีลักษณะวงจрдังรูป



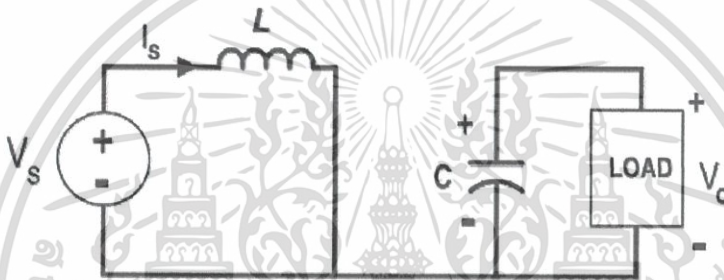
รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.24 เราสามารถพิจารณาการทำงานของบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost-Converter) ในแต่ละช่วงการทำงาน (Mode) ตามการปิด-เปิดของสวิตช์ได้ดังนี้

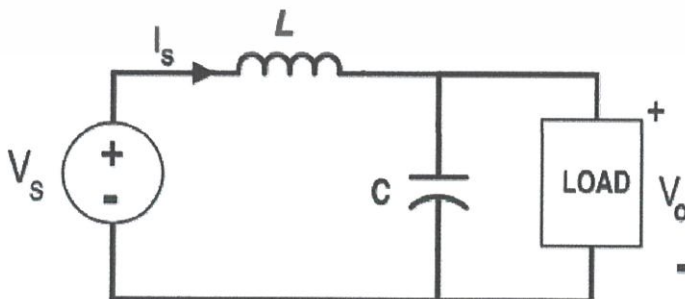
2.10.2.1 การทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเมื่อสวิตช์ปิด (Switch On) พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) จะจ่ายให้ไปสะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ในระยะเวลาหนึ่งในช่วงเวลาที่สวิตช์ปิด (Switch On) อยู่ โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย (V_s) ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟ



รูปที่ 2.25 วงจรสมมูลของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตช์ปิด (Switch On)

จากรูปที่ 2.26 การทำงานในช่วงนี้ พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) และพลังงานไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำจะถูกส่งมาให้อย่างไหลลื่น โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากตัวเหนี่ยวนำนั้น เกิดจากการคายพลังงานไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ หลังจากที่ได้สะสมพลังงานไว้ในช่วงเวลาที่ทำงานก่อนหน้านี้ เนื่องจากโหลดได้รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ร่วมกับการคายพลังงานของตัวเหนี่ยวนำนี้เองส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้า



รูปที่ 2. 26 วงจรสมมูลของบัสคอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตช์เปิด (Switch Off)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์ปิด

$$V_o = V_s \quad (2.33)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s \quad (2.34)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.35)$$

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_s}{L} DT \quad (2.36)$$

เนื่องจากแหล่งจ่ายจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เมื่อสวิตช์เปิด

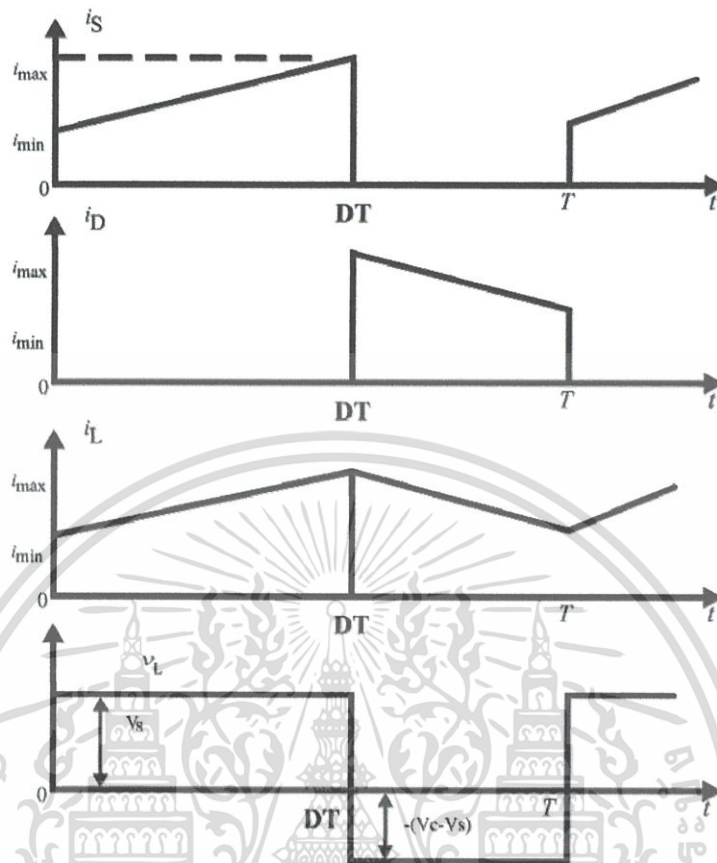
$$V_s = V_L + V_C \quad (2.37)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_C \quad (2.38)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s - V_C}{L} \quad (2.39)$$

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_s - V_C}{L} (1-D)T \quad (2.40)$$

กระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าเริ่มต้น



รูปที่ 2.27 ขนาดกระแสจากแหล่งจ่าย กระแสผ่านไดโอด กระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจากกฎความสมมาตรของแรงดัน-เวลา ของตัวเหนี่ยวนำ (Volt-Sec Balance)

$$V_s \times DT = (V_s - V_c) \times (1-D)T \quad (2.41)$$

$$V_c = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.42)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.43)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_{avg} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \quad (2.44)$$

กำลังไฟฟ้าขาเข้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{in} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \times V_S \quad (2.45)$$

กำลังไฟฟ้าขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_{out} = \frac{V_O^2}{R} = \frac{V_S^2}{(1-D)^2 R} \quad (2.46)$$

พิจารณาให้ไม่มีกำลังสูญเสียสวิชชิง จากสมการที่ 2.38 และ 2.44 จะได้ว่า

$$I_{min} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{V_S}{2L} DT \quad (2.47)$$

$$I_{max} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} + \frac{V_S}{2L} DT \quad (2.48)$$

พิจารณาในช่วงกระแสต่อเนื่อง $I_{min} = 0$ จะได้ว่า

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2} TR \quad (2.49)$$

แรงดันกระเพื่อมสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta V_C = \frac{DTV_S}{(1-D)RC} \quad (2.50)$$

2.10.2.2 หลักการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

เช่นเดียวกับตัวเหนี่ยวนำในวงจรบัค ในทางปฏิบัติ สามารถออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำได้จากการกำหนดค่าระลอกคลื่นของกระแส ให้มีค่าตามที่กำหนด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{out}} \quad (2.51)$$

โดยที่สามารถคำนวณค่า ΔI_L ของวงรูปสได้จากสมการ

$$\Delta I_L = \%ripple \times I_{out,max} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับวงจรถับ ในทางปฏิบัติ สามารถออกแบบค่าตัวเก็บประจุได้จากการกำหนดค่าระลอกคลื่นของแรงดัน เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2.43 และ 2.50 จะได้ว่า

$$C = \frac{I_o \times D}{\Delta V \times f} \quad (2.53)$$

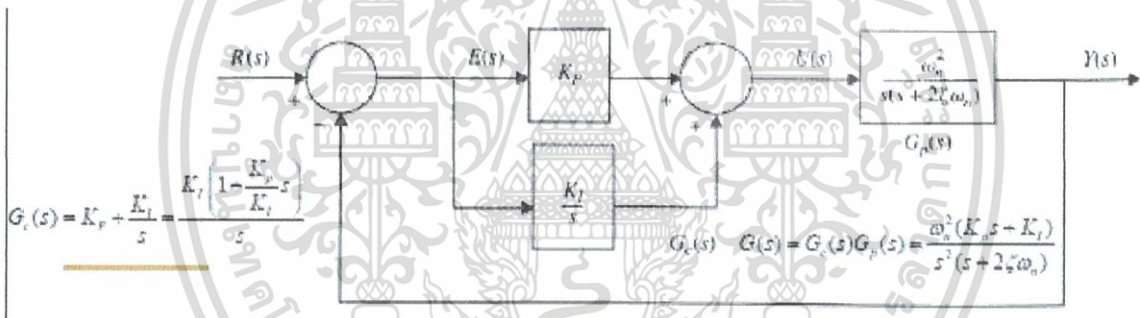
2.11 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม

2.11.1 การออกแบบตัวควบคุมด้วย พีไอ คอนโทรลเลอร์

ผลของพีไอ คอนโทรลเลอร์เป็นดังนี้

เมื่อเพิ่มซีโร ที่ $s = -\frac{K_I}{K_P}$ ไปยังเส้นทางฟอร์เวิร์ดซึ่งเป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

และเพิ่ม โพล ที่ $s=0$ ไปยังเส้นทางฟอร์เวิร์ดทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน. หมายความว่า ชนิดของระบบจะเพิ่มขึ้นไป 1 ชั้น (ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวจะลดลงเป็นศูนย์)

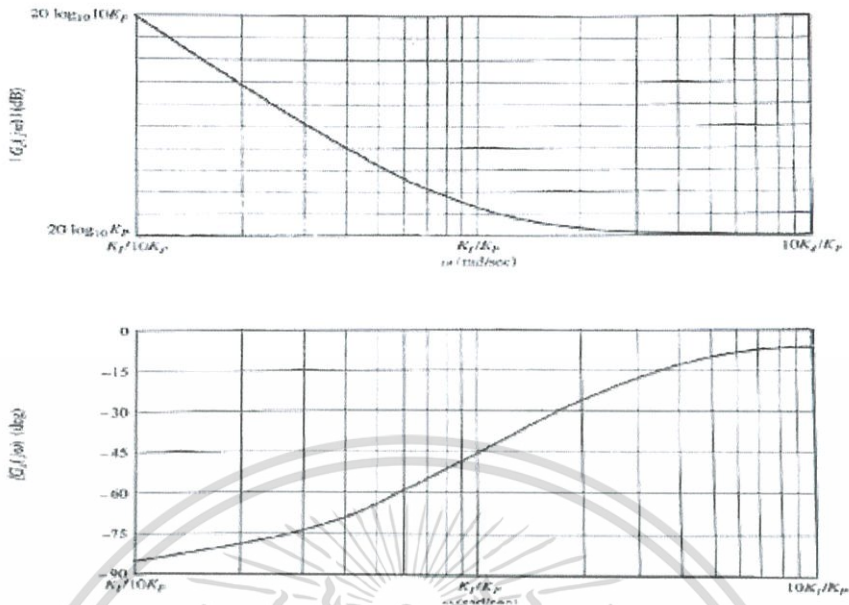


รูปที่ 2.28 ตัวควบคุมแบบ พีไอ คอนโทรลเลอร์

ซึ่งจะทำให้

- ปรับปรุง Damping ให้ดีขึ้นและลดการค่า Maximum overshoot
- เป็นการเพิ่มค่า Rise time
- ลดค่า BW
- ปรับปรุงค่า GM, PM และ Resonance Peak
- มีคุณสมบัติเป็น Low pass filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 Bode plot uncompensated system

โดยมีหลักการทำดังนี้

- ให้ทำ Bode Plot ให้กับระบบที่ยังไม่ผ่านการชดเชยค่า (uncompensated system)
- หาค่า GM และ PM จากนั้นให้เลือก PM ใหม่ โดยมีค่าต่ำสุดที่ 65
- พิจารณาค่า เกน ที่ถูกลดทอน หลังจากการเพิ่ม PI เข้าไปในระบบที่มีค่า PM > 65 ที่มีค่าความถี่ตัดผ่าน (Gain cross over frequency)

$$|G_p(j\omega'_p)| = -20 \log_{10} K_p \text{ dB}$$

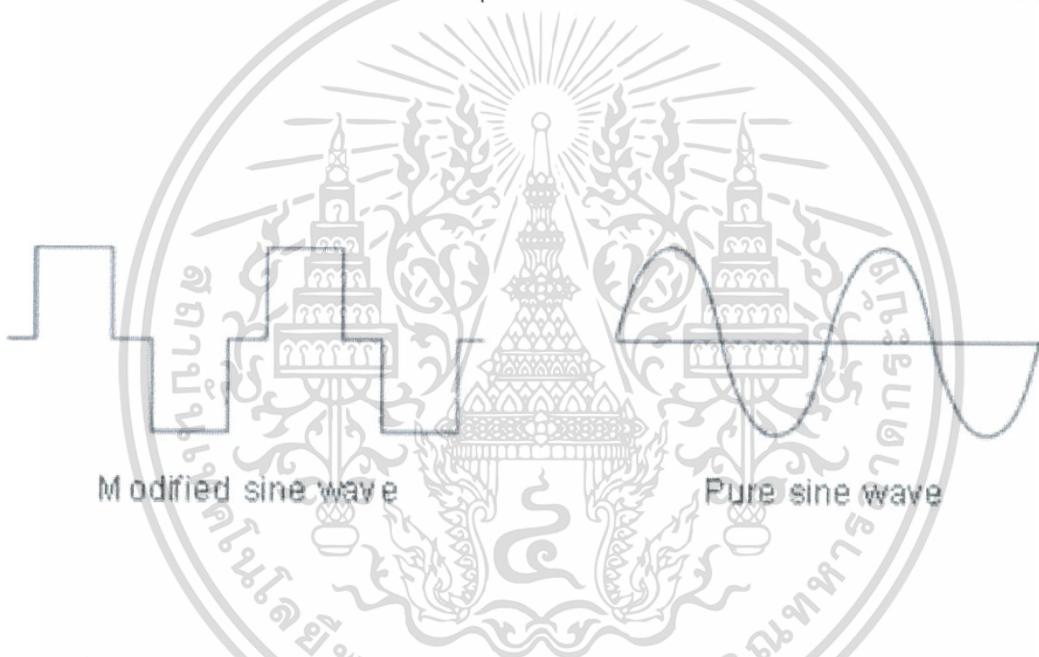
- เลือกค่า $\frac{K_I}{K_p}$ ให้ไม่ต่ำกว่า 1 decade หรือ

$$\frac{K_I}{K_p} = \frac{\omega'_p}{10}$$

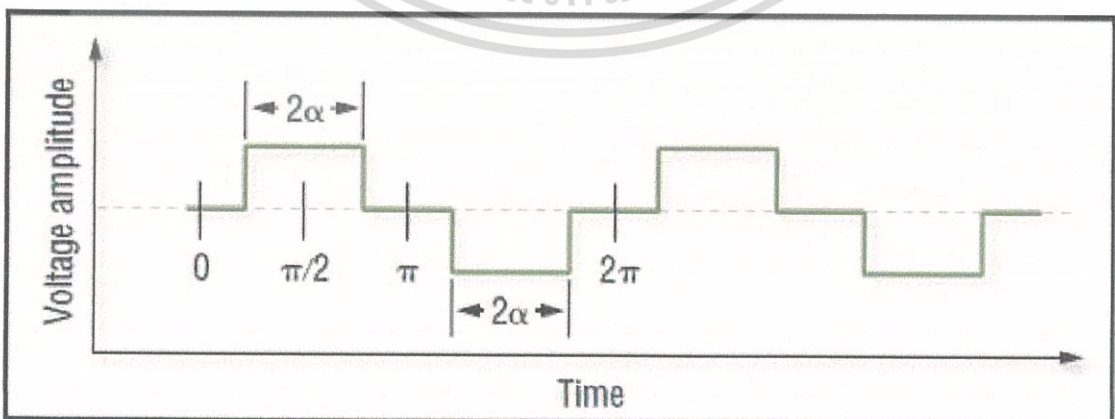
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การเปลี่ยนรูปสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Modified Sine Wave

Modified Sine Wave คือ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยขบวนการทางดิจิทัลเพื่อลดความสูญเสียในรูปของความร้อนที่เกิดในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และเพื่อลดวงจรให้มีขนาดเล็กลง โดยสัญญาณที่ได้จะมีแรงดันและความถี่เท่ากับสัญญาณ Pure Sine Wave แต่รูปคลื่นสัญญาณเป็นลักษณะขั้นบันได แม้สัญญาณจะไม่ดีเท่ากับ Pure Sine Wave แต่ราคาถูกกว่า มีประสิทธิภาพ และนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ามาตรฐานส่วนใหญ่ เช่น หลอดไฟ ทวี วิทย์ คอมพิวเตอร์ เต้าไมโครเวฟ เป็นต้น แต่อาจไม่เหมาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำ เช่น เครื่องมือหรืออุปกรณ์ไร้สาย เครื่องถ่ายภาพเอกสาร เครื่องพิมพ์เลเซอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.30 สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Modified Sine Wave และ Pure Sine Wave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2. 31 ค่าตัวแปรต่างๆของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Modified Sine Wave

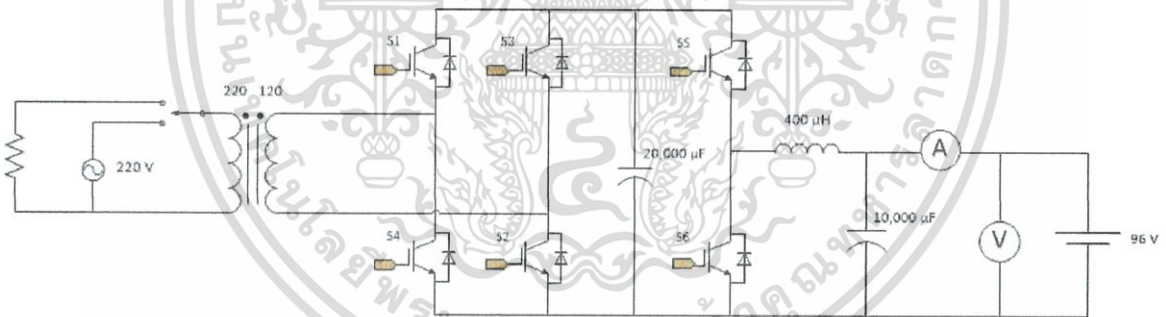
จากรูปที่ 2.29 กำหนดให้ความกว้างของช่วงบวกและช่วงลบของสัญญาณ Modified Sine Wave เป็น 2α จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากการอินทิเกรตช่วง 0 ถึง $\pi/2$ ได้เป็น

$$b_n = \frac{4}{n\pi} \sin(n\alpha) \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่}$$

และคำนวณหาค่า THD ต่ำสุดได้ที่ $\alpha = 0.352\pi$ ซึ่งจะได้ค่า THD เท่ากับ 23.8% (-12 dB) และที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ประมาณ 6.5% (-24 dB)

2.13 สรพวงจรรชาร์จไฟฟ้าและหลักการชาร์จไฟฟ้า

เครื่องชาร์จไฟฟ้าที่ทางคณะผู้จัดทำได้ตัดสินใจจะจัดทำขึ้นนั้นเป็นเครื่องชาร์จไฟฟ้าเข้าพาทนะไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ที่สามารถชาร์จไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สอง โดยใช้หลักการ ชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันคงที่ โดยเครื่องชาร์จมีลักษณะวงจрдังนี้



รูปที่ 2.32 วงจรเครื่องชาร์จ

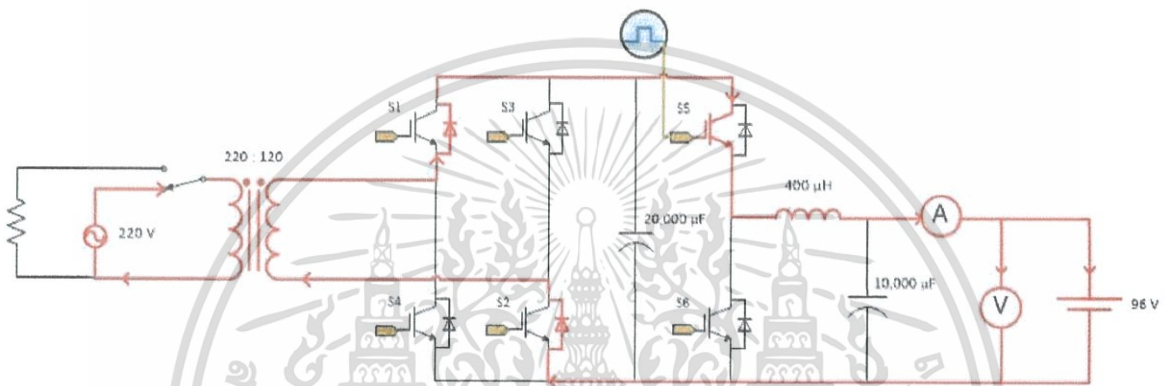
วงจрдังกล่าว ประกอบด้วย ชุดที่1วงจรเรียงกระแส (rectifier) แบบสองทิศทาง และชุดที่2 วงจร Buck-Boost Converter Bidirectional โดยมีหลักการทำงานดังนี้

2.13.1 การทำงานในช่วงชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

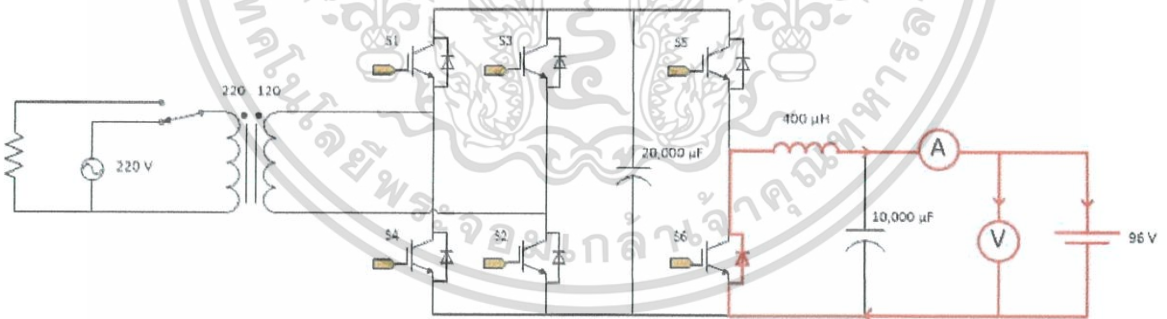
ไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านหม้อแปลงด้านแรงดันสูงเพื่อทำการลดทอนแรงดันลง และเหนี่ยวนำให้ กระแสไฟฟ้าไหลออกจากหม้อแปลงด้านแรงดันต่ำ เข้าสู่ วงจรในชุดที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ไดโอดที่สวิตช์ S1 และ S2 จะทำงานในช่วงไฟกระแสล้นอยู่ในช่วงพัลส์บวก ไดโอดที่สวิตช์ S3 และ S4 จะทำงานในช่วงไฟกระแสล้นอยู่ในช่วงพัลส์ลบ สวิตช์ทั้งสองนี้ จะควบคุมทิศทางของกระแสไฟฟ้าให้เปลี่ยนจากไฟกระแสล้น เป็นไฟกระแสตรง จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน DC BUS แต่ก่อนที่จะทำการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ จะต้องมีการลดแรงดันลงให้เหมาะสมเสียก่อน โดยสวิตช์ S5 จะทำงานทำให้วงจรในชุดที่สองทำงานในลักษณะ Buck Mode ลดทอนแรงดันให้เหมาะสม ก่อนชาร์จลงแบตเตอรี่ โดยมีลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้างambarkanที่ 2.31 และ 2.32



รูปที่ 2.33 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง Buck Mode On State



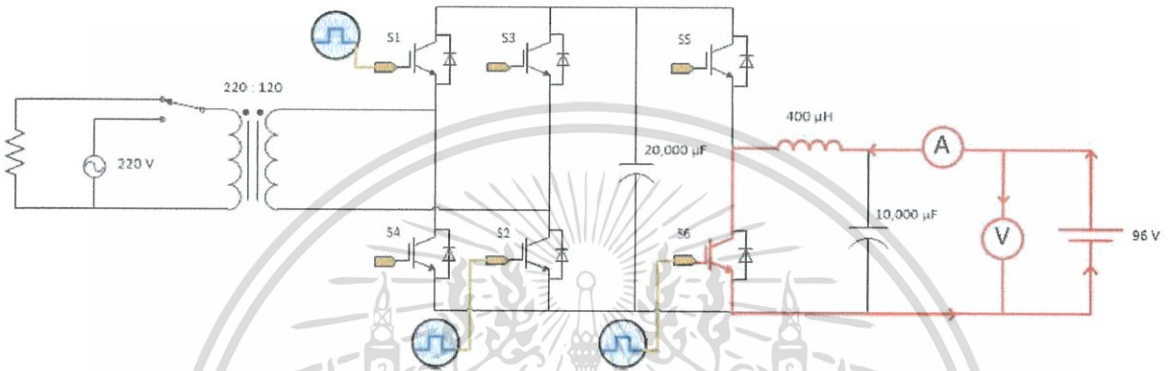
รูปที่ 2.34 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง Buck Mode Off State

2.13.2 การทำงานในช่วงคายประจุไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เข้าสู่ที่อยู่อาศัย

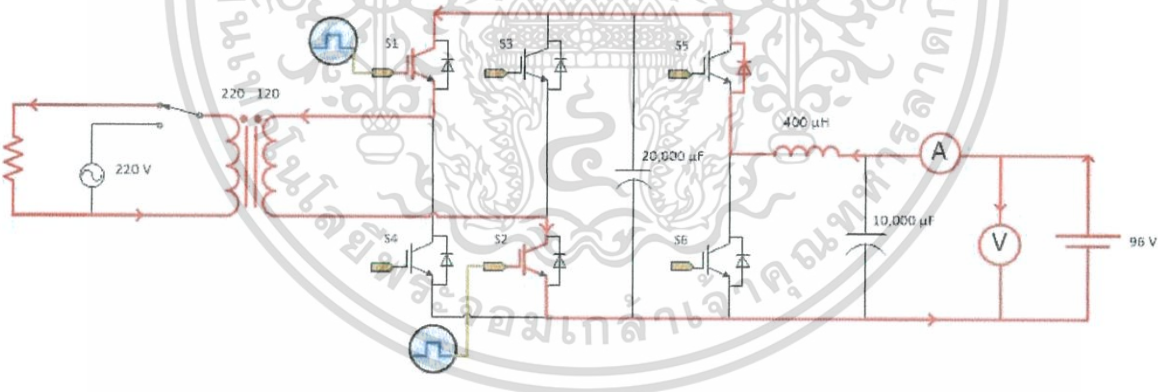
ในกรณีนี้ แบตเตอรี่จะคายประจุไฟฟ้าออกมา ผ่านวงจรในชุดที่สองซึ่งสวิตช์ S6 จะทำงาน ทำให้วงจรในชุดที่สองนี้ ทำงานในลักษณะ Boost Mode เพื่อเพิ่มขนาดแรงดันให้เหมาะสม ก่อนจะปล่อยสู่ DC BUS จากนั้นจึงทำการควบคุมสวิตช์ในวงจรชุดที่หนึ่ง ให้ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก DC BUS เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสวิตช์ S1 และ S2 จะทำงานพร้อมกัน ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงพัลส์บวก และ สวิตช์ S3 และ S4 จะทำงานพร้อมกัน ให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงพัลส์ลบ จากนั้นจึงไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำเพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้ได้ระดับแรงดันที่เหมาะสม และเหนี่ยวนำให้กระแสไฟฟ้าไหลออกจากหม้อแปลงด้านแรงดันสูง และจ่ายเข้าที่อยู่อาศัยต่อไป โดยมีลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้างดรูปที่ 2.33 และ 2.34



รูปที่ 2.35 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง Boost Mode On State



รูปที่ 2.36 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าช่วง Boost Mode Off State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์

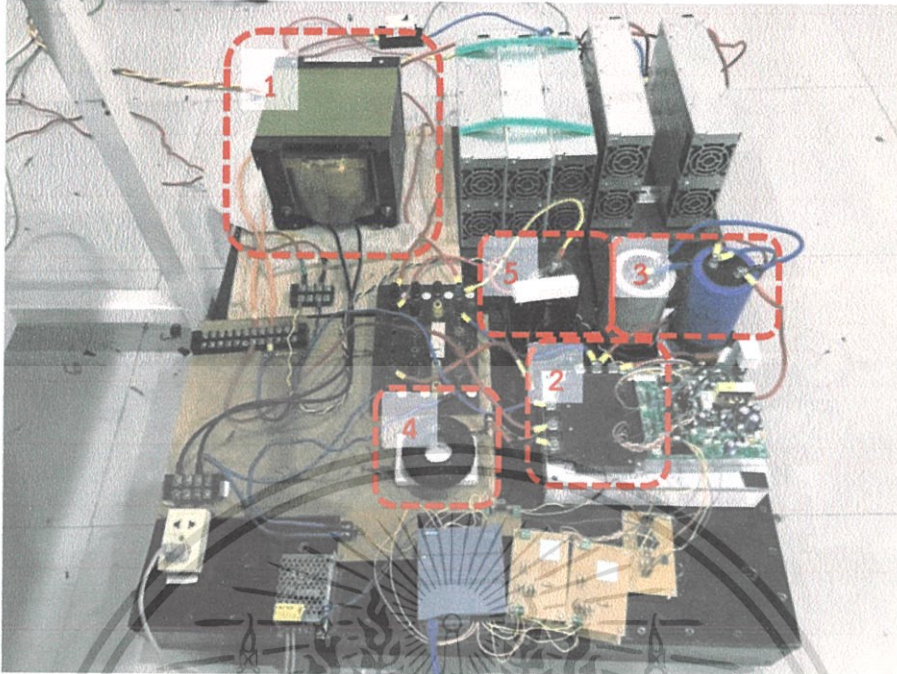
3.1 บทนำ

ในการออกแบบสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ระดับสอง แบบสองทิศทางสำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า สำหรับการชาร์จอาศัยหลักการทำงานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน และสำหรับการนำประจุกลับเข้าสู่บ้านพักอาศัยหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจะอาศัยหลักการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยรายละเอียดในอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มาประกอบรวมกัน รวมถึงวงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จที่นำกระแสได้สองทิศทาง ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆสองส่วนคือ วงจรกำลังและวงจรควบคุม

3.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง

วงจรกำลังประกอบไปด้วยหม้อแปลงซึ่งทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้า วงจรเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และวงจร Buck-Boost Bidirectional converter ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากโมดูลอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

ในการทำงานของ Buck-Boost Bidirectional converter จะแบ่งเป็นส่วนของ Buck mode ใช้ ในการควบคุมแรงดันในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตซิ่งโดยมี IGBT และไดโอดเป็นส่วนประกอบ แล้วนำไปต่อกับขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ อีกส่วนหนึ่งคือ Boost mode มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับ Buck mode เพียงแต่ต่างกันในการเรียงลำดับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์



รูปที่ 3.1 วงจรกำลังที่สร้างขึ้น

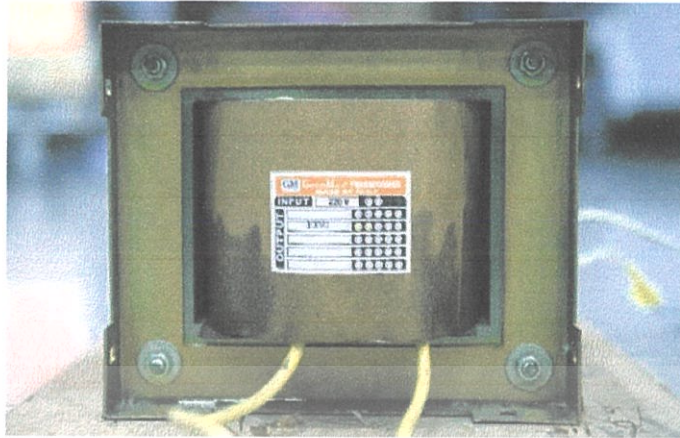
วงจรกำลังที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1. หม้อแปลงไฟฟ้า 220:120
2. โมดูลสำเร็จรูป 3 Phase DC-AC Inverter ซึ่งนำมาดัดแปลงเป็นสองส่วนคือ
 - วงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ
 - วงจร Buck-Boost Bidirectional converter
3. ตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดันไฟฟ้าหลังการทำงานแบบเรียงกระแส
4. ขดลวดเหนี่ยวนำ
5. ตัวเก็บประจุของวงจร Buck-Boost Bidirectional converter

3.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งออกแบบสำหรับวงจรชาร์จโดยมีค่าอัตราส่วนอยู่ที่ 220:120 โวลต์ซึ่งจะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่และแยกกราวด์ระหว่างวงจรชาร์จและแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Isolation) เพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรในกรณีระบบไฟฟ้ามีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

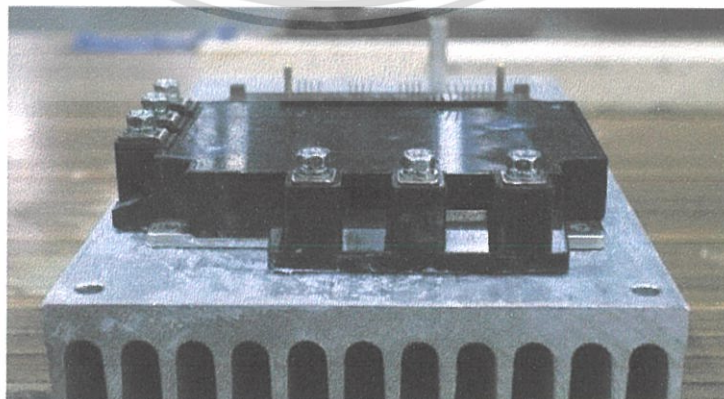


รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

3.2.2 วงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

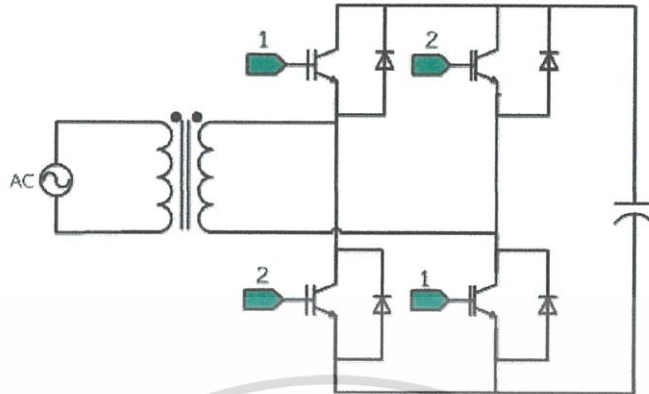
ในการทำงานจริงนี้เราต้องการความกะทัดรัดของอุปกรณ์ จึงได้นำโมดูลอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส มาทำการดัดแปลง โดยทำเป็นวงจรเรียงกระแสสำหรับการทำงานแบบซาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมเอาต์พุตทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบขึ้น โดยในวงจรที่มีพิกัดสูงต้องใช้อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบโมดูลดังรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า จะใช้อินเวอร์เตอร์คู่กับตัวฮีทซิงค์ เพื่อสามารถระบายความร้อนได้ดีเนื่องจากเป็นส่วนของวงจรที่รับภาระทางไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา โดยหลังจากส่วนของวงจรเรียงกระแสจะให้คงที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 169.68 โวลต์

สำหรับการทำงานแบบนำกระแสกลับเข้าสู่บ้านพักอาศัย จะมีการควบคุมสวิตซ์ เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยมีรูปแบบของวงจรนี้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 โมดูล อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสและแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

3.2.3 วงจร Buck-Boost Bidirectional converter

สำหรับการทำงานแบบ Buck Mode เป็นการลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เหมาะสมในการชาร์จโดยประกอบไปด้วยอุปกรณ์คือ IGBT ไดโอด ขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถควบคุมระดับแรงดันได้จากการปรับดิ้วไซด์ไซเคิลโดยการควบคุมการขับสวิตช์ของวงจรกำลัง

สำหรับการทำงานแบบ Boost mode เป็นการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้มีขนาดเหมาะสมสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย โดยมีอุปกรณ์คือ IGBT ไดโอด ตัวเก็บประจุ และขดลวดเหนี่ยวนำ

3.2.3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในช่วง Buck Mode

ในการออกแบบนั้น เราจะต้องรู้ว่าแรงดันด้านอินพุตสำหรับการทำงานในช่วง Buck นั้น เท่ากับแรงดันด้านดีซีลิงค์คือ 169.68 โวลต์ โดยต้องการออกแบบให้สตทอนระดับแรงดันในการชาร์จเป็น 100 โวลต์ โดยจะทำการชาร์จให้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งใช้แบตเตอรี่ที่เป็นลิเทียมไอออนฟอสเฟส มีขนาด 96 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมง โดยใช้ความถี่ในการสวิตช์ ที่ 6 กิโลเฮิร์ต และกำหนดอัตราการลอกคลื่นไว้ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำการชาร์จไว้ที่ 20 แอมป์ โดยให้เครื่องชาร์จทำการในช่วง 80-100 โวลต์จากสมการ

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{100 \text{ V}}{169.68 \text{ V}}$$

$$= 0.60$$

สามารถหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดของที่ทำวงจรให้ทำงานแบบกระแสต่อเนื่องจาก

$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{100 \text{ V}}{20 \text{ A}} \quad (3.2)$$

$$= 16.67 \mu\text{H}$$

และสามารถหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำโดยให้มีกระแสเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์จาก

$$L = \frac{(V_{\text{in}} - V_{\text{out}}) \times \left(\frac{D}{f}\right)}{\Delta I_L} \quad (3.3)$$

$$L = \frac{(169.8 - 100) \times \left(\frac{0.60}{6000}\right)}{0.2}$$

$$= 34.9 \text{ mH}$$

และสามารถหาค่าตัวเก็บประจุที่กรองแรงดันเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์จาก

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (3.4)$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$

$$C = \frac{1-0.60}{8 \times (34.9 \times 10^{-3}) \times (6 \times 10^3)^2 \times 0.2\%}$$

$$C = 20 \mu\text{F}$$

3.2.3.2 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับวงจร

ในการออกแบบการพันขดลวดสำหรับขดลวดเหนี่ยวนำของวงจร Buck-Boost Bidirectional converter ใช้ทฤษฎีการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ สำหรับความถี่สวิตซ์ซึ่ง 6 กิโลเฮิร์ต ในการใช้ความถี่ค่านี้ เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์ ควบคุม ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความถี่สูง โดยมีรูปแบบแกนเป็นแบบทอรอยด์ โดยใช้ขดลวดเบอร์ 14 พันเกลียวกันสามเส้นแล้วมาพันเกลียวกันสองชุดอีกรอบเพื่อการทนกระแสของขดลวดเหนี่ยวนำ โดยมีการออกแบบรอบในการพันที่สามารถหาจำนวนรอบในการพันขดลวดจากทฤษฎีการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้สมการ

$$L = \frac{0.4\pi N^2 (A_c)(10^{-8})}{l_g} \quad (3.5)$$

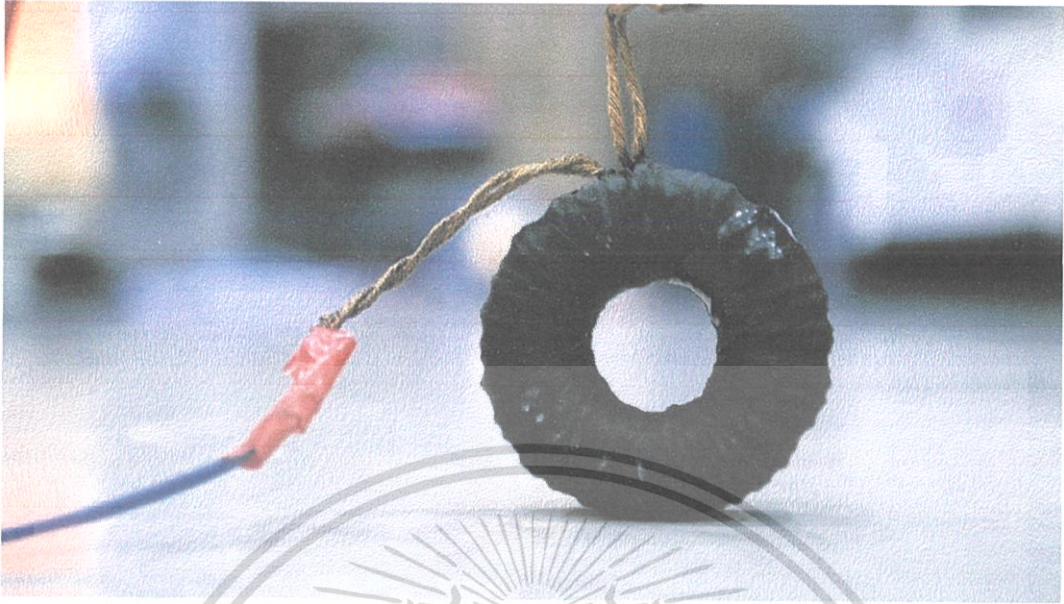
$$N = \sqrt{\frac{l_g L}{0.4\pi A_c (10^{-8})}}$$

$$N = \sqrt{\frac{l_g L}{0.4\pi A_c (10^{-8})}}$$

$$N = \sqrt{\frac{(0.5 \times 10^{-3})(34.9 \times 10^{-3})}{0.4\pi(0.0078)(10^{-8})}}$$

$$N = 422 \text{ รอบ}$$

ทำการพันแกนเฟอร์ไรต์จำนวน 422 รอบ โดยมีช่องอากาศ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อสำหรับขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ที่ 34.9 มิลลิเฮนรี่ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานขดลวดเหนียวนำสำหรับวงจร Buck-Boost Bidirectional Converter

3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมเป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากวงจรต่างๆ มาทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณออกไปเพื่อสั่งการวงจรขับเคลื่อน ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ โดยงานวิจัยนี้ต้องการการควบคุมแบบป้อนกลับสองค่าคือ ค่าของกระแสป้อนกลับและค่าของแรงดันป้อนกลับ จึงเลือกใช้ตัวควบคุมเป็น Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200 ในการควบคุม โดยจะควบคุมให้มีรูปแบบการชาร์จสองรูปแบบคือชาร์จด้วยกระแสคงที่และการชาร์จด้วยแรงดันคงที่ โดยข้อมูลป้อนกลับของกระแสจะรับข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแส และในส่วนของแรงดันไฟฟ้า ใช้หลักการของทฤษฎีการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) บนตัวต้านทานในการรับค่าแรงดันป้อนกลับเพื่อตรวจค่าแรงดันป้อนกลับเข้า PLC โดยมีส่วนต่างๆของวงจรควบคุมดังนี้

วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1. ชุดวงจรควบคุมสำหรับควบคุมกระแสป้อนกลับและแรงดันป้อนกลับ

- วงจรขับเคลื่อน
- วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าป้อนกลับ
- วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรลระดับแรงดัน
- วงจร Not gate และตัวต้านทานจำกัดกระแส

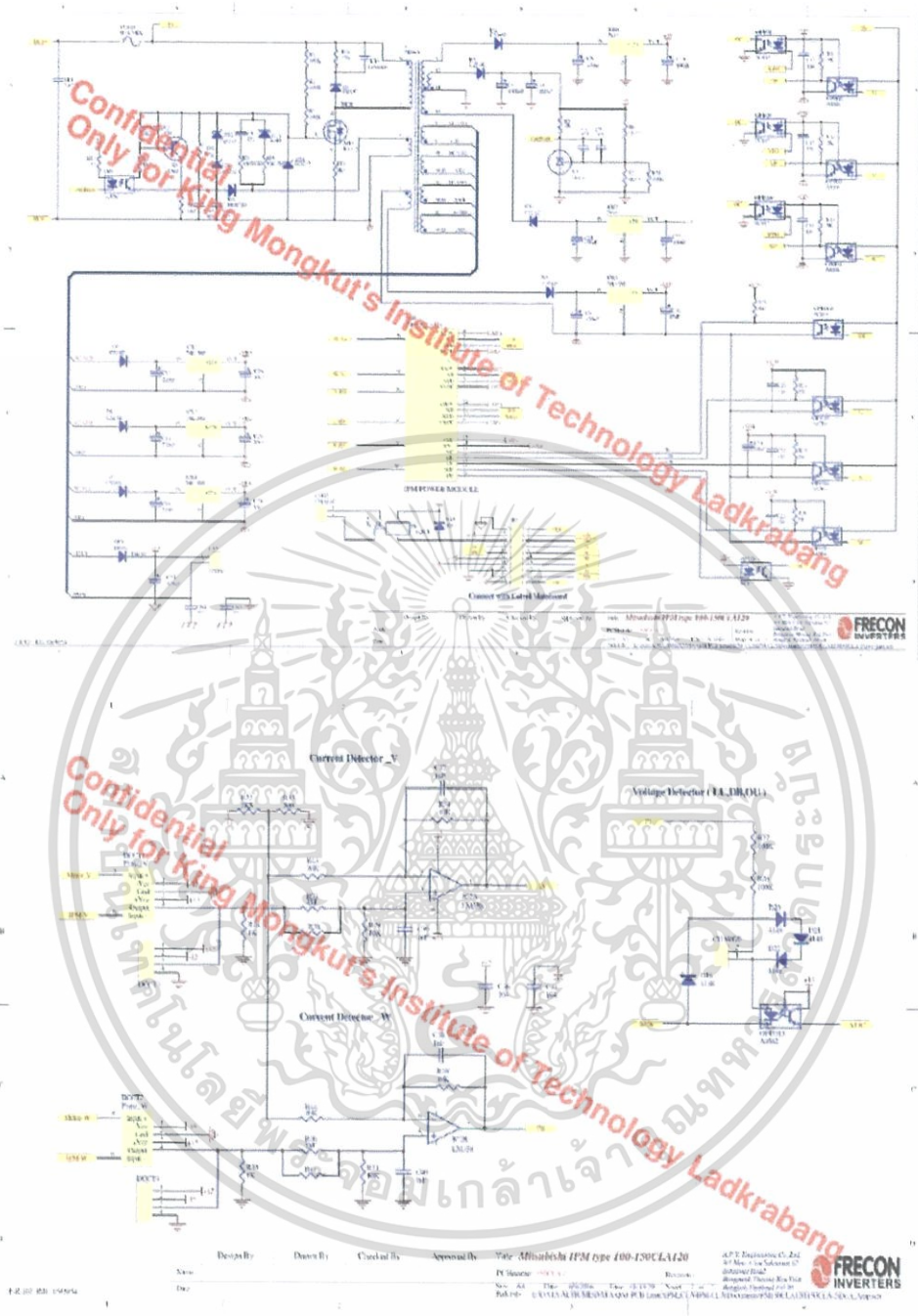
2. Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200

3.3.1 วงจรขับเคลื่อน

วงจรถูกขับเคลื่อนมีหน้าที่ในการขับสวิตซ์ให้ทำงานตามที่ต้องการซึ่งวงจรรับคำสั่งมาจาก PLC ผ่าน ออปโต ไอโซเลเตอร์ เพื่อทำการแยกวงจรควบคุมและวงจรถูกขับเคลื่อนออกจากกัน นำสัญญาณที่ได้จาก PLC มาทำการสั่ง on/off สวิตซ์ ที่อยู่ในอินเวอร์เตอร์โมดูล โดยวงจรถูกขับเคลื่อนต้องการไฟเลี้ยงขั้นต่ำสุดอยู่ที่ 60 โวลต์ดีซี ซึ่งมีแผงผังของวงจรถูกขับเคลื่อนดังรูป

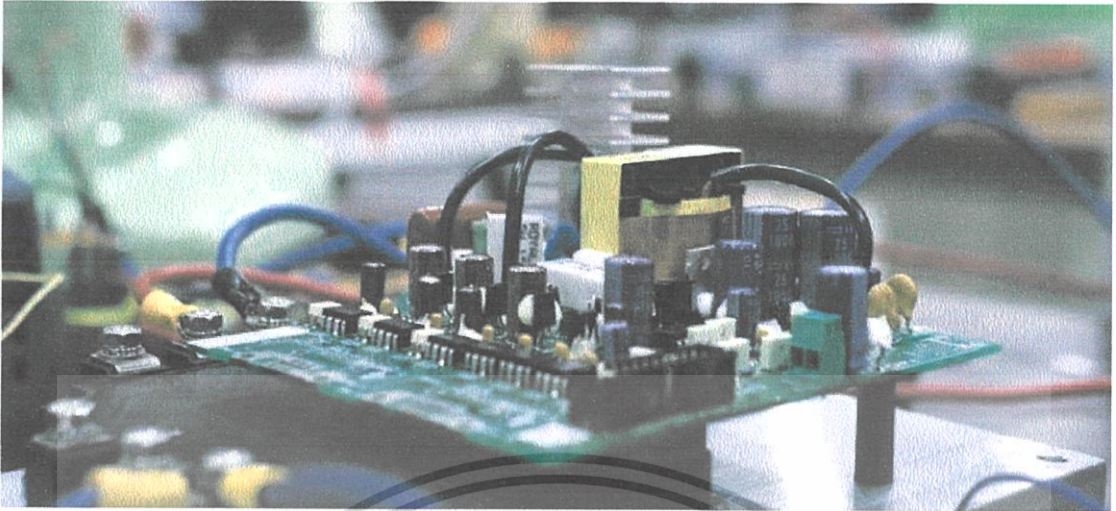


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผงผังของวงจรขับเคลื่อน

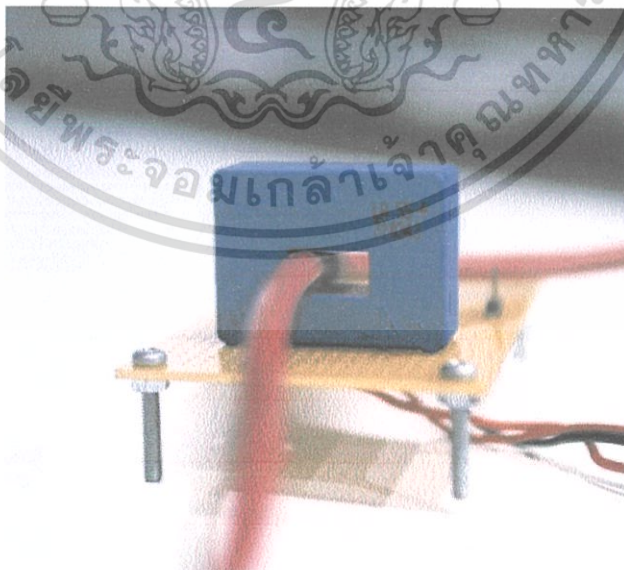
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อน

3.3.2 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องชาร์จทำงานแล้วทำการป้อนกลับสัญญาณไปเข้าสู่ตัวควบคุม โดยกระแสป้อนกลับใช้อุปกรณ์ LEM LA55-P รับค่าสัญญาณกระแสมาจากเอาต์พุตของวงจรกำลัง สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนค่าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ อนาล็อกอินพุตของ PLC

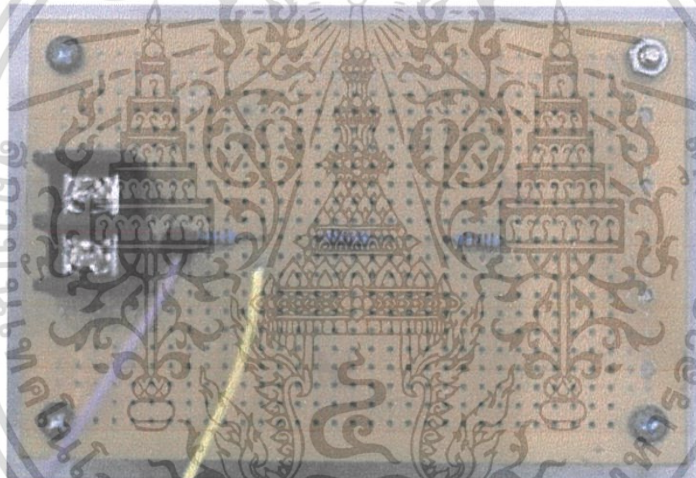


รูปที่ 3.8 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

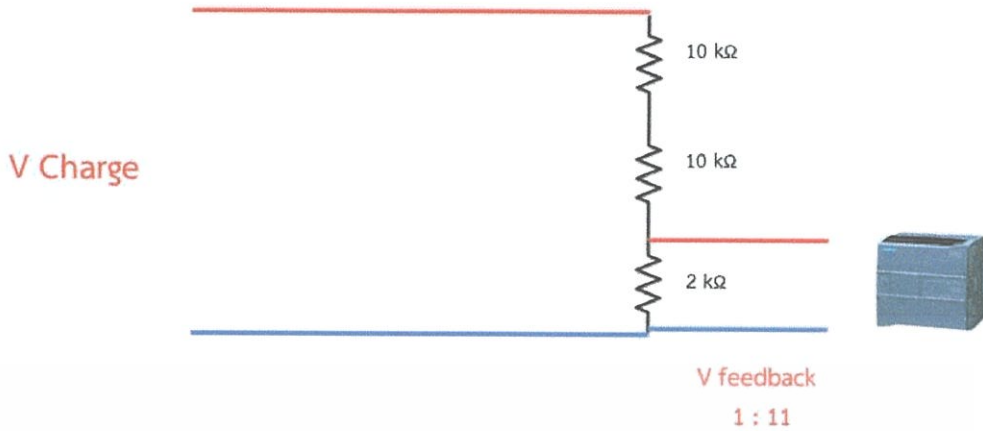
3.3.3 ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าในการชาร์จแล้วทำการป้อนกลับสัญญาณไปเข้าสู่ตัวควบคุมโดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดันบนตัวต้านทาน โดยให้ค่า 100 เพอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าจริงที่ได้รับมีค่าที่ PLC รับได้อยู่ที่ 8-10 โวลต์ ดังนั้นออกแบบโดยใช้ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม สองตัวต่ออนุกรมกันแล้วอนุกรมด้วย ตัวต้านทาน 2 โอห์ม เพื่อให้ได้อัตราส่วนความต้านทาน 1 : 11 โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสู่ตัวต้านทานรวมทั้งหมดเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาบนตัวต้านทาน 2 กิโลโอห์ม เพื่อเข้าสู่ตัวควบคุมหรือ PLC



รูปที่ 3.9 ชิ้นงานตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

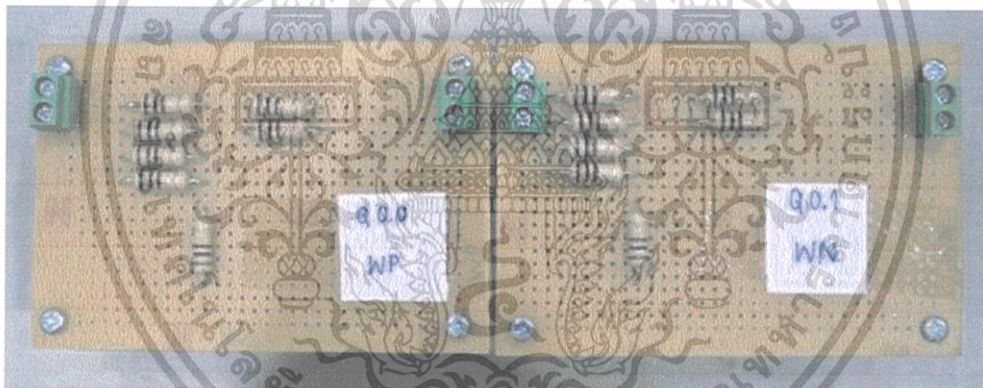
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผนผังวงจรตัวตรวจแรงดันไฟฟ้า

3.3.4 วงจรลดระดับแรงดัน

เป็นวงจรที่ประกอบด้วยความต้านทานขนาด 100 โอห์ม ใช้ในการลดขนาดแรงดันเอาต์พุตที่ออกจาก PLC เข้าสู่ วงจรขั้วเกต ซึ่งมีวงจรเป็นดังรูปที่ 3.11

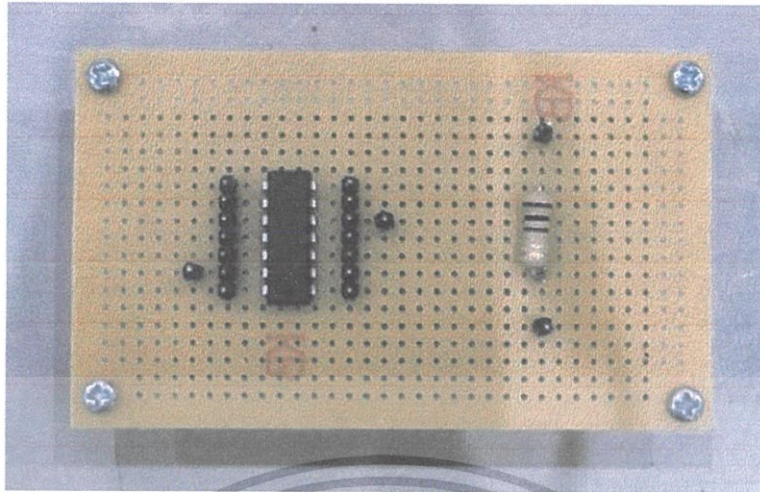


รูปที่ 3.11 วงจรลดระดับแรงดัน

3.3.5 วงจร Not gate และตัวต้านทานจำกัดกระแส

เป็นวงจรที่ช่วยกลับค่าสัญญาณจาก PLC เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานตรงกับ PLC เนื่องจากการทำงานของสัญญาณจาก PLC กับสัญญาณที่จะใช้ขั้วออปโต ทำงานในช่วงตรงข้ามกัน กล่าวคือออปโตที่ใช้ จะทำงานเมื่อระดับแรงดันต่ำและหยุดทำงานในช่วงระดับแรงดันสูง (Active Low) จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ไปขั้วเกต มีวงจรเป็นดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

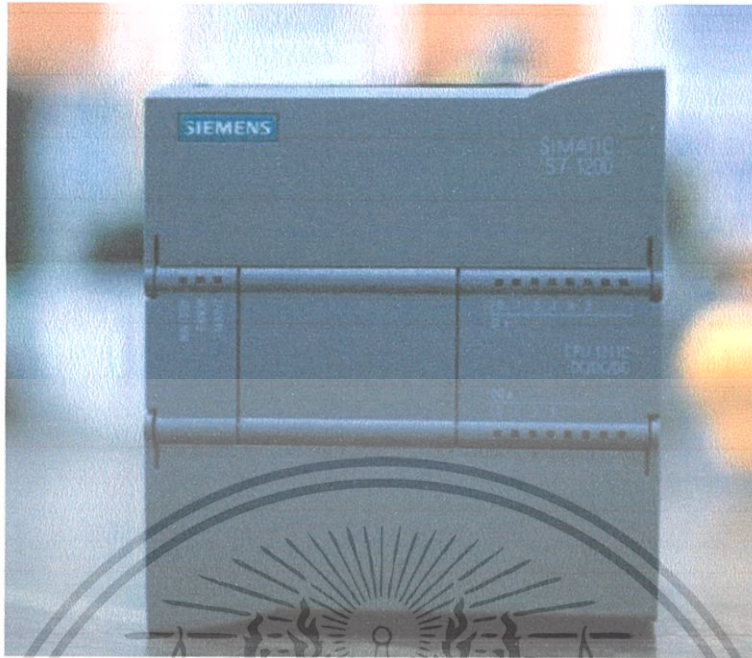


รูปที่ 3.12 วงจร Not gate และตัวต้านทานจำกัดกระแส

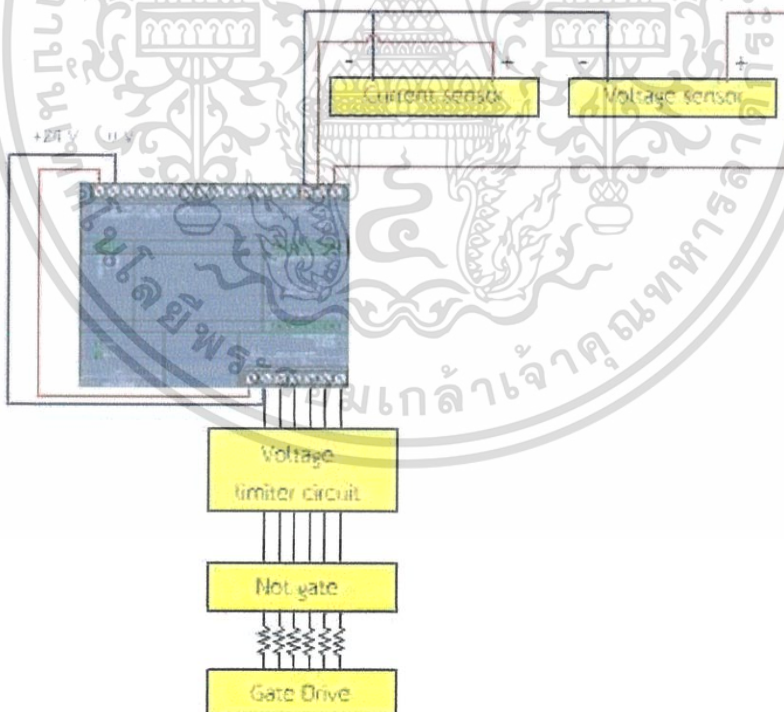
3.3.6 Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200

Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ Microcontroller แต่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยเลือกใช้ในการทำหน้าที่รับสัญญาณกระแสไฟฟ้าป้อนกลับและแรงดันป้อนกลับจากวงจรกำลังมาสร้างการควบคุมสัญญาณขับสวิตซ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรกำลังอีกทีหนึ่งโดยใช้วิธี PI Control ในการควบคุมของ PLC เพื่อลดการกระเพื่อมของกระแสไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพของการชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 Siemen Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200



รูปที่ 3.14 แผนผังวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงวงจรควบคุม

อุปกรณ์บนวงจรควบคุมบางตัวต้องมีไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงเพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน ดังนั้นจึงต้องมีวงจรไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อไปจ่ายให้วงจรควบคุม นอกจากนี้แล้วยังต้องทำให้วงจรทั้งหมดเป็นแบบประทั่งตัวเองได้ จึงใช้แหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่สองตัวต่ออนุกรม โดยที่อุปกรณ์ที่ต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานคือ วงจรขั้วเกต วงจรควบคุม และเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส

3.4.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของวงจรขั้วเกต

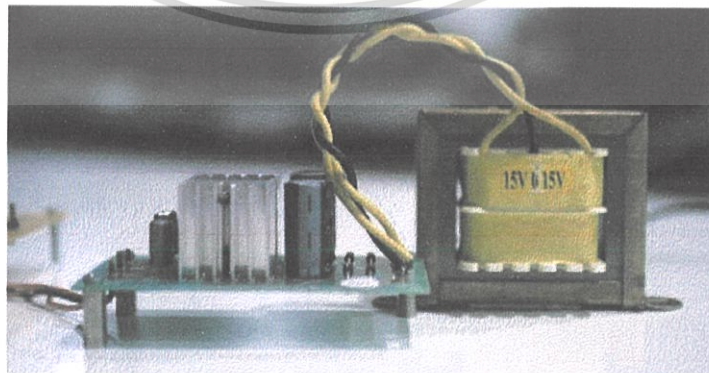
สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันวงจรขั้วเกตนั้น ใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดัน 12V ต่ออนุกรมกัน 2 ลูก ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเป็น 24 โวลต์ จากนั้น นำแหล่งจ่ายนี้ต่อเข้ากับ วงจรบูส เพื่อทำการยกระดับแรงดันขึ้น เป็น 97 โวลต์ เพื่อให้เพียงพอสำหรับวงจรขั้วเกต

3.4.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของตัวควบคุมหรือ PLC

สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันให้ตัวควบคุมนั้น จะต้องใช้ไฟเลี้ยงที่มีแรงดัน 24 โวลต์ จึงใช้ไฟจากแบตเตอรี่ขนาด 12V ที่ถูกนำมาต่ออนุกรมกัน 2 ลูก ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายเดียวกันกับแหล่งจ่ายของวงจรขั้วเกต

3.4.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงช่วยในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส

วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสนั้น ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 15 0 15 จากหม้อแปลงขนาดเล็ก ต่อเข้ากับวงจรแปลงไฟเป็น +15 0 -15 จากนั้นนำไฟกระแสตรงที่ได้ไปเป็นไฟเลี้ยง LEM ซึ่งวงจรแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +15 0 -15 V เป็นดังรูป



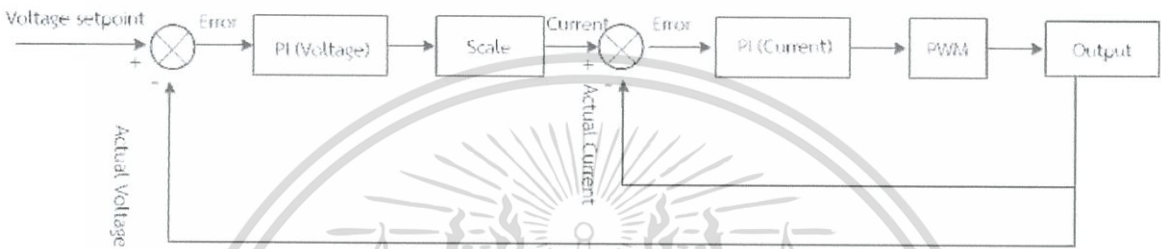
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +15 0 -15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุม

การออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยทำการออกแบบการเขียนวงจรควบคุมด้วยตัวควบคุม Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200 โดยทำการออกแบบควบคุมด้วยการชาร์จสองแบบดังนี้

3.5.1 โหมดการชาร์จ



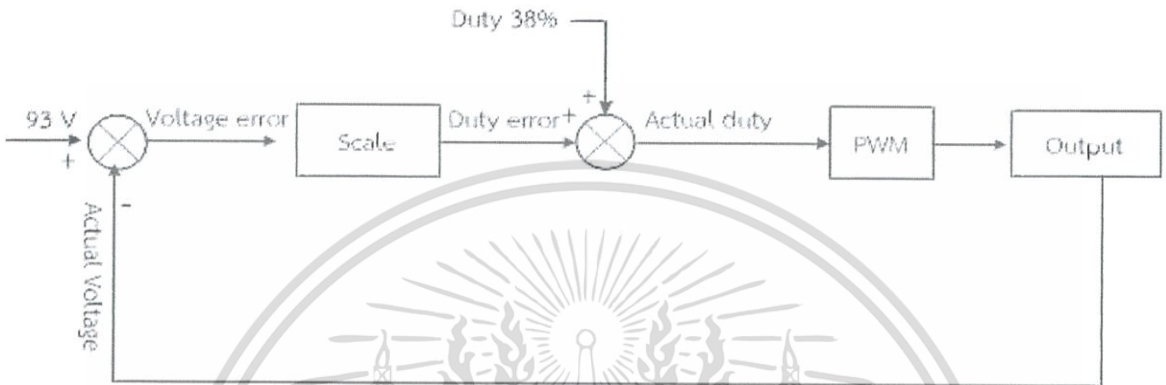
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ

โปรแกรมควบคุมขณะชาร์จได้ออกแบบโดยเริ่มต้นจากการตรวจจับค่าแรงดัน และค่ากระแสไฟฟ้าจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่ ป้อนกลับเข้าไปยังPLC ในขั้นตอนแรก ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงจากเซนเซอร์ และค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดจากจอยควบคุม จะถูกป้อนเข้า PI Voltage loopของPLC ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน และPI loop ที่จะทำให้การปรับค่า ควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI control ค่าสัญญาณขาออกของ PI Voltage loopนี้ จะถูกนำไปสเกล ให้กลายเป็นค่ากระแสตั้งค่าของ PI loop(Current) โดยให้ค่ากระแสตั้งค่าสูงสุดที่20A PI Current loopนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงทำการปรับค่า ควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI control สัญญาณขาออกนี้จะถูกนำไปป้อนเข้า โปรแกรมสร้างสัญญาณPWMภายในPLC และจะถูกส่งออกจากDigital output Q0.0 ของ plc ไปควบคุมวงจรขับเคลื่อนเพื่อควบคุมสวิตซ์วงจรกำลังต่อไป

3.5.2 โหมดการดิสชาร์จ

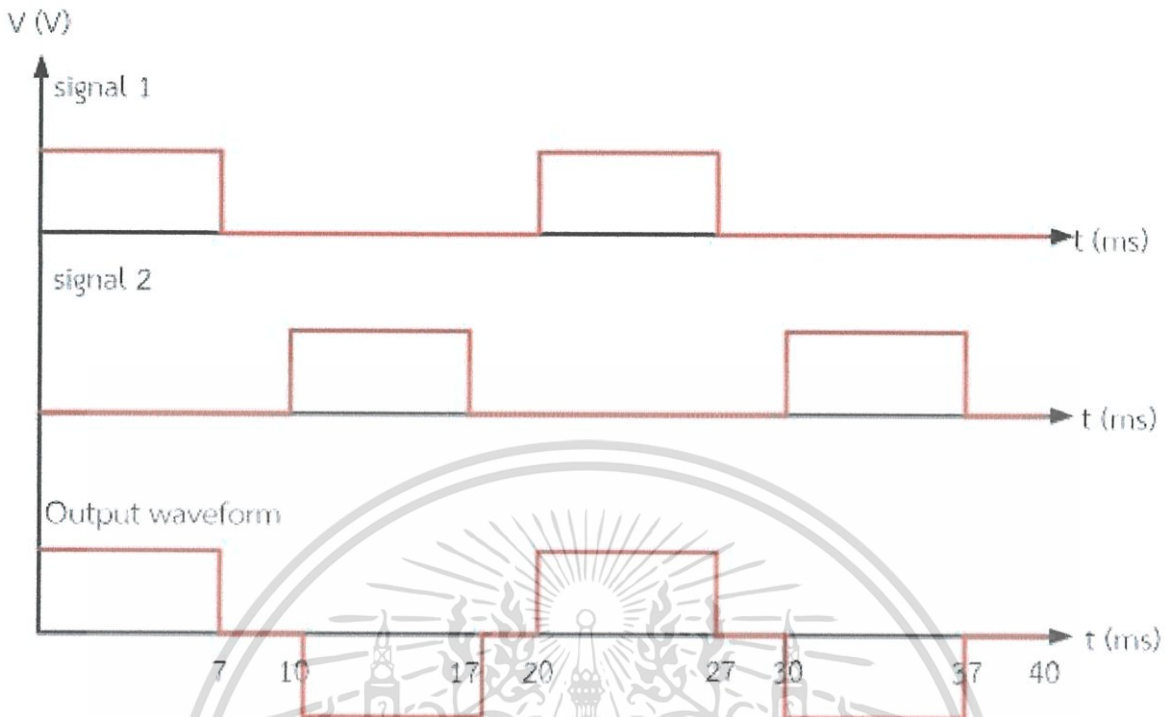
ในช่วงการดิสชาร์จนี้จะแบ่งการควบคุมออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกคือการควบคุมให้ได้ค่าแรงดันที่ DC BUS ที่ต้องการ โดยการตรวจจับค่าแรงดันจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่นำมาเทียบกับค่าแรงดัน93V ซึ่งเป็นค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่ออกแบบให้เป็นแรงดันแบตเตอรี่ต่ำสุดที่เหมาะสมสำหรับการใช้

งานในรถยนต์ไฟฟ้านี้ และนำค่าผิดพลาดที่ได้ไปเสกสให้กลายเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลที่ผิดพลาดไปจากค่า
 ค่าดิวตี้ไซเคิลที่ควรใช้ขณะแรงดันแบตเตอรี่เท่ากับ93V ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำไปรวม
 กับ38 ได้เป็นค่าค่าดิวตี้ไซเคิลที่ควรใช้ นำค่านี้ไปป้อนเข้าโปรแกรมPWMภายในPLC ได้สัญญาณขาออก
 จาก Digital output Q0.1 ไปควบคุมวงจรขับเคลื่อนเพื่อควบคุมสวิตช์วงจรกำลังต่อไป



รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ

ช่วงที่สอง คือการควบคุมสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ให้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น
 แรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมให้ควบคุมสัญญาณออกมาเป็น
 modified sine ที่ความถี่50 Hz หรือ 20 ms โดยสัญญาณควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองสัญญาณ
 สัญญาณที่1ถูกเขียนโปรแกรมใช้onที่ 7ms แรก และoff จงหมดไซเคิล สัญญาณที่2จะถูกเขียนโปรแกรม
 ให้offที่10ms แรก onที่ 11-17ms และ off ต่อจนครบ20ms จากนั้นจึงเริ่มต้นการทำงานใหม่ดั้งเดิม
 สัญญาณที่1และ2จะถูกส่งออกจาก Digital output Q0.2 และ Q0.3 ตามลำดับ เพื่อนำไปควบคุมวงจร
 ขับเคลื่อน ควบคุมสวิตช์วงจรกำลังต่อไป โดยลักษณะสัญญาณสามารถอธิบายได้ด้วยรูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 3. 18 สัญญาณควบคุมสวิตช์

3.6 การคำนวณค่า PI factor สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้า

จากทฤษฎีจะได้สมการถ่ายโอนดังต่อไปนี้

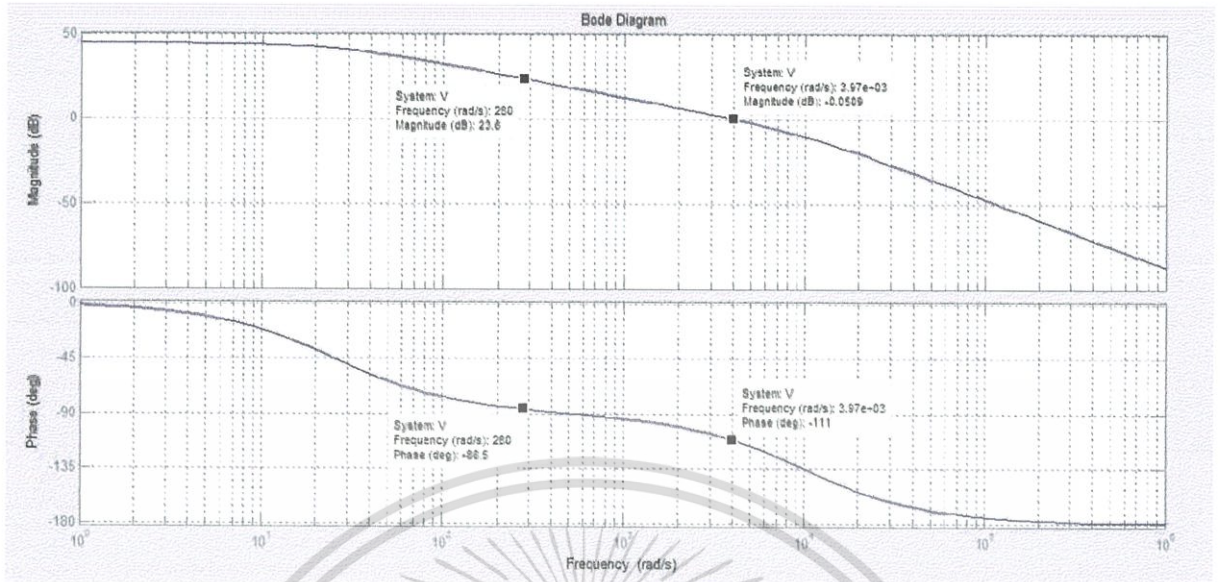
$$G(s) = \frac{RV_{in}}{s^2RLC+sL+R} \quad (3.6)$$

จากการออกแบบวงจร กำหนดให้ค่าความต้านทานเท่ากับ 0.01 โอห์ม ค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ 400 ไมโครเฮนรี และค่าความจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 10,000 ไมโครฟารัด จึงได้สมการถ่ายโอนของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$G(s) = \frac{0.01 \times 120 \times \sqrt{2}}{(0.01 \times 400 \times 10^{-6} \times 10,000 \times 10^{-6})s^2 + (400 \times 10^{-6})s + 0.01} = \frac{1.697}{(400 \times 10^{-7}) \times s^2 + 0.0004s + 0.01}$$

นำสมการถ่ายโอนไปเขียนกราฟโพลได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จะได้กราฟดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 กราฟ Bode ของสมการถ่ายโอนควบคุมแรงดันก่อนปรับปรุง

กราฟดังกล่าวมีค่าเฟสมาจึนเท่ากับ 69 องศา เพื่อปรับปรุงการควบคุม จึงต้องการให้ค่าเฟสมาจึนใหม่มีค่าเท่ากับ 94 องศา จากกราฟสามารถคำนวณค่า PI factor ได้ดังต่อไปนี้

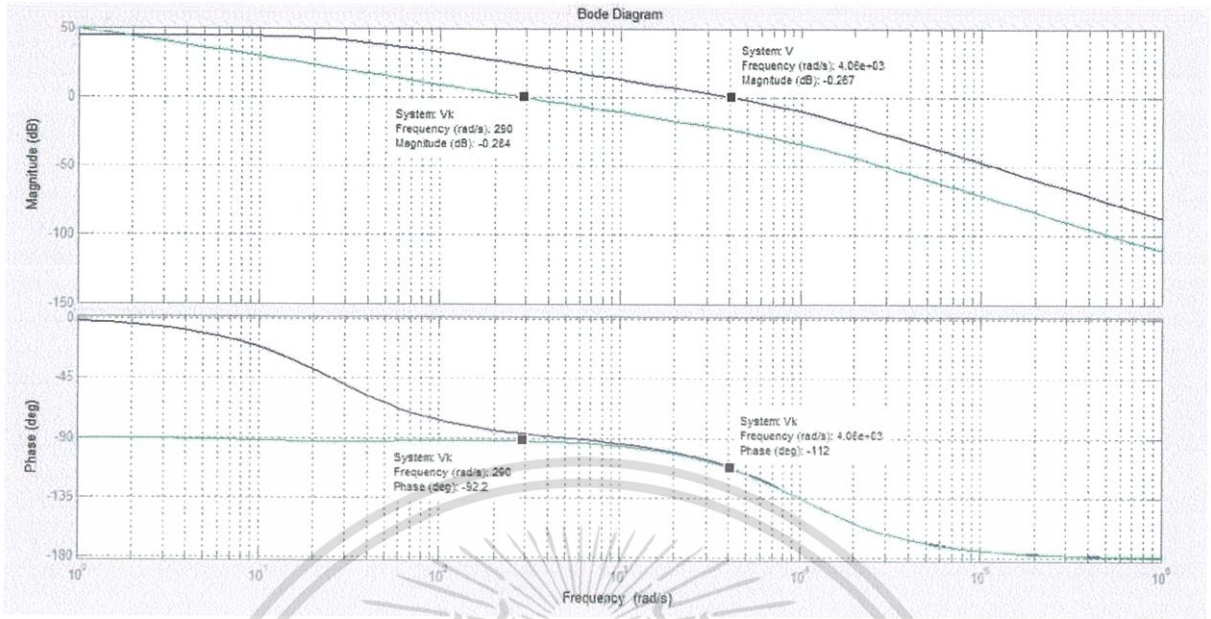
$$K_p = 10^{\frac{-23.6}{20}} = 0.06 \quad (3.7)$$

$$K_i = K_p \times \frac{f}{10} = 0.06 \times \frac{276}{10} = 1.674 \quad (3.8)$$

จึงได้สมการถ่ายโอนที่ปรับปรุงด้วย PI factor และสามารถนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์แบบโบเต้ได้ดังต่อไปนี้

$$G(s) = \frac{0.1121s + 3.095}{(400 \times 10^{-8})s^3 + 0.0004s^2 + 0.01s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 กราฟ Bode ของสมการถ่ายโอนควบคุมแรงดันก่อนและหลังปรับปรุง

กราฟสีน้ำเงินและสีเขียวแสดงกราฟก่อนและหลังการปรับปรุงตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฟสมาร์จินของกราฟหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 87 องศา

3.7 การคำนวณค่า PI factor สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้า

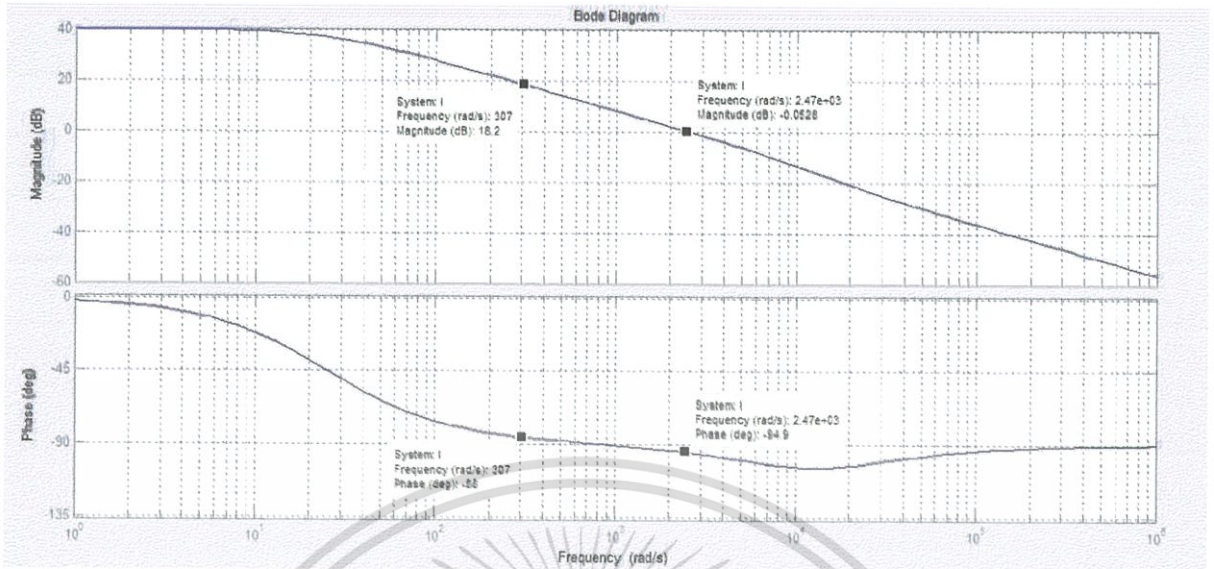
จากทฤษฎีจะได้สมการถ่ายโอนดังต่อไปนี้

$$G(s) = \frac{s(RC)s + 1}{s^2RLC + sL + R} \quad (3.9)$$

$$= \frac{(0.01 \times 10000 \times 10^{-6} \times 0.6)s + 1}{(0.01 \times 400 \times 10^{-6} \times 10,000 \times 10^{-6})s^2 + (400 \times 10^{-6})s + 0.01}$$

นำสมการถ่ายโอนไปเขียนกราฟโบเด่ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จะได้กราฟดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 กราฟ Bode ของสมการถ่ายโอนควบคุมกระแสก่อนปรับปรุง

กราฟดังกล่าวมีค่าเฟสแมจิ้นเท่ากับ 85 องศา เพื่อปรับปรุงการควบคุม จึงต้องการให้ค่าเฟสแมจิ้นใหม่มีค่าเท่ากับ 94 องศา จากกราฟสามารถคำนวณค่า PI factor ได้ดังต่อไปนี้

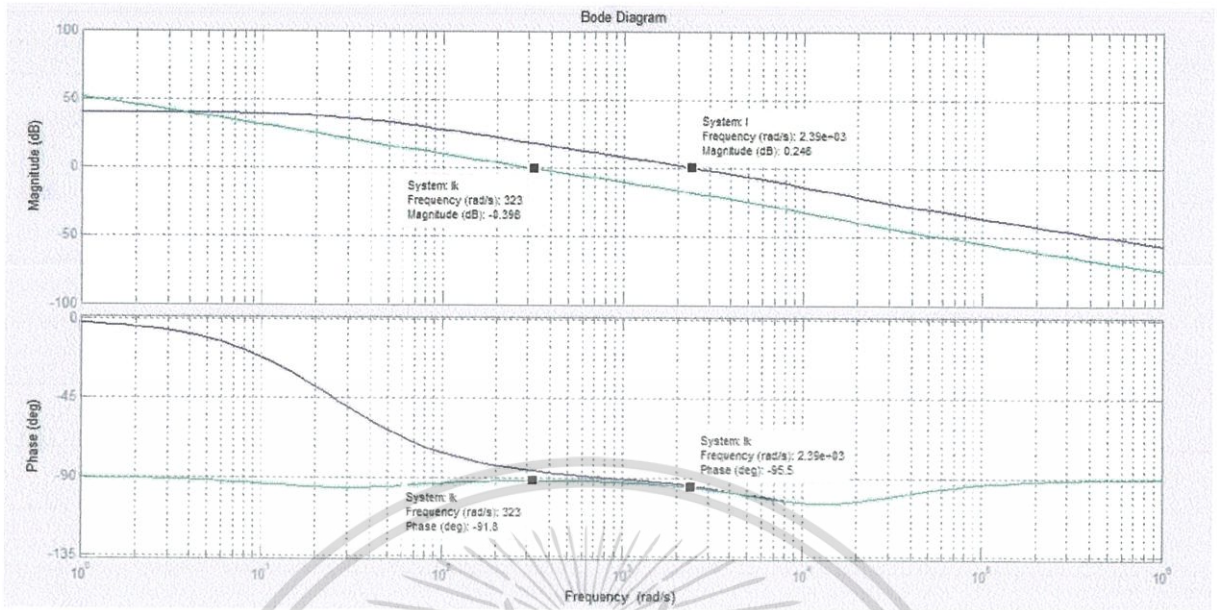
$$K_p = 10^{\frac{-18.2}{20}} = 0.123$$

$$K_i = K_p \times \frac{f}{10} = 0.123 \times \frac{309}{10} = 3.8007$$

จึงได้สมการถ่ายโอนที่ปรับปรุงด้วย PI factor และสามารถนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์แบบโบเด่ได้ดังต่อไปนี้

$$G(s) = \frac{(7.382 \times 10^{-6}) \times s^2 + 0.1233s + 3.802}{(400 \times 10^{-8}) \times s^3 + 0.0004s^2 + 0.01s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



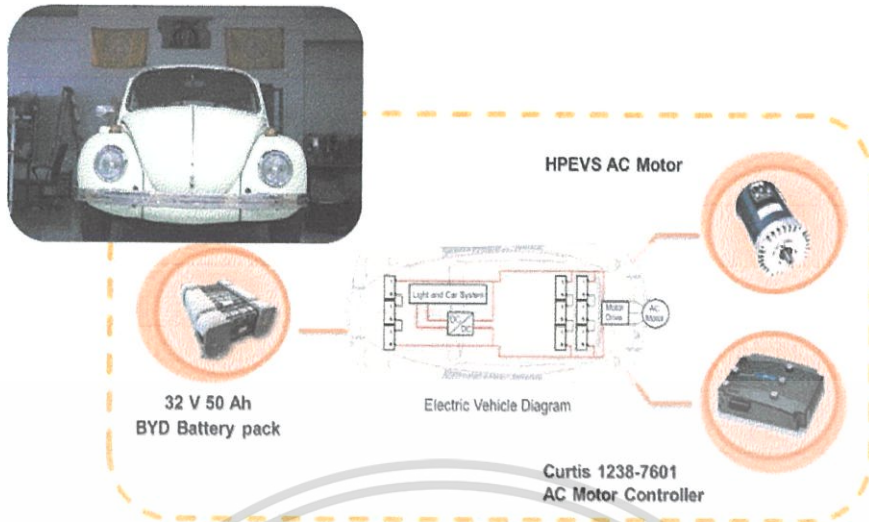
รูปที่ 3.22 กราฟ Bode ของสมการถ่ายโอนควบคุมกระแสก่อนและหลังปรับปรุง

กราฟสีน้ำเงินและสีเขียวแสดงกราฟก่อนและหลังการปรับปรุงตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฟสมาร์จินของกราฟหลังปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 88 องศา

3.8 รถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

ในงานวิจัยนี้มีรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบคือ รถ Volkswagen the beetle 1968 ซึ่งได้รับการดัดแปลงเป็นรถไฟฟ้า 100% แล้ว ประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส ขนาด 32 โวลต์ 50 แอมป์ชั่วโมง มาอนุกรมกันสามก้อนเป็น 1 ชุด และต่อขนานกันสามชุดทำให้ได้แบตเตอรี่ที่ระดับแรงดัน 96 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมง และมีตัวคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดัน 96 โวลต์เป็น 12 โวลต์ ภายในรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายสำหรับระบบส่องสว่างและระบบอื่นๆที่จำเป็นของรถยนต์ และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แผนผังของรถยนต์ไฟฟ้าที่ทำการชาร์จ

3.9 บทสรุป

การออกแบบเครื่องชาร์จระดับสองสำหรับชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วงจร Buck-Boost Bidirectional converter โดยในช่วงการทำงานแบบ Buck Mode ถูกใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ โดยมีโหมดในการชาร์จด้วยโหมดกระแสคงที่และโหมดการชาร์จด้วยระดับแรงดันคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จให้ไม่เกิน 20 แอมป์ โดยวงจรลดทอนระดับแรงดันควบคุมการทำงานด้วยการเปิดและปิดของสวิตซ์ซึ่งเลือกใช้ IGBT สำหรับการสวิตซ์ที่ 6 กิโลเอิร์ท โดยควบคุมด้วย Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200 เป็นตัวควบคุมด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยกระแสป้อนกลับซึ่งรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแส และควบคุมแบบป้อนกลับด้วยแรงดันด้วยทฤษฎีการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ที่ตัวต้านทานซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบค่าต่างๆของวงจร เช่นตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ รวมถึงการออกแบบวงจรควบคุม วงจรไฟเลี้ยงที่ใช้ซึ่งประกอบกันเป็นเครื่องชาร์จระดับสองต้นแบบ ในส่วนของการคายประจุจากแบตเตอรี่กลับคืนเข้าสู่บ้าน หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆนั้น จะใช้ช่วงการทำงานแบบ Boost Mode ซึ่งสวิตซ์ IGBT จะถูกควบคุมการทำงานด้วย PLC

บทที่ 4

ผลการทดลองและผลการทดลอง

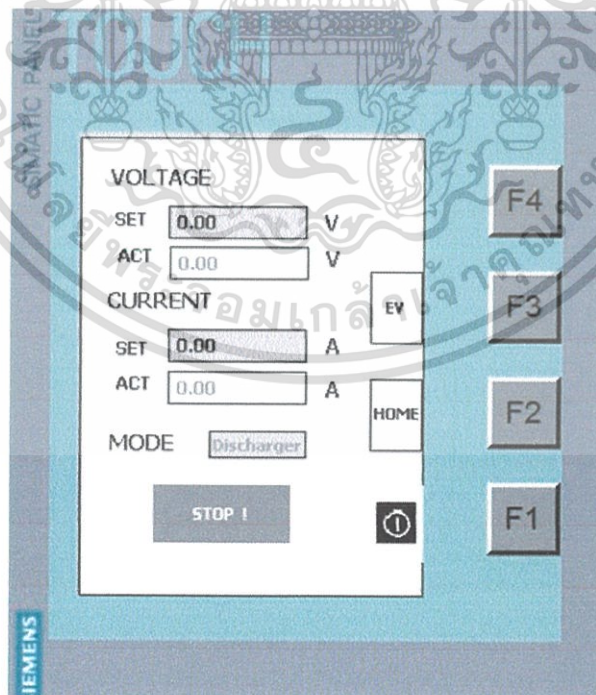
4.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองในโหมดการชาร์จแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่พร้อมกับการชาร์จด้วยแรงดันคงที่ และการถ่ายเทประจุกลับเข้าแหล่งจ่ายหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เวลาในการชาร์จและพิกัดกำลังที่เหมาะสมของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีพิกัดแบตเตอรี่ 96 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมง

4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 หน้าจอแสดงการทำงานของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง

ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าต้องมีหน้าจอการทำงานของโปรแกรมควบคุม มีหน้าที่ในการกำหนดตัวแปรและควบคุมการชาร์จ โดยหน้าจอแสดงการทำงานของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสองดังกล่าวถูกเขียนโดย Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200 ดังรูปที่ 4.1 โดยมีส่วนประกอบของอินเทอร์เฟซดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าจอควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Input Setting

เป็นส่วนของตัวแปรต้นของการทดลองซึ่งมีความสัมพันธ์กับวงจรควบคุมและตัวควบคุมของวงจร ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วย Voltage Set เป็นระดับแรงดันที่สามารถปรับค่าได้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยในการทดลองจะต้องปรับแรงดันให้มีระดับแรงดันสูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ เพื่อให้ให้เกิดกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่เพื่อการชาร์จ และ Current Set คือกระแสที่สามารถจำกัดได้ของโปรแกรมควบคุมการชาร์จ ทำหน้าที่ในการจำกัดไม่ให้กระแสการชาร์จ ไม่สูงเกินที่กำหนดไว้เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องชาร์จและความเสื่อมแบตเตอรี่

- Mode

เป็นการบอกสภาพว่า กำลังชาร์จพลังงานเข้าแบตเตอรี่ (Charge) หรือจ่ายพลังงานออกจากแบตเตอรี่ (Discharge)

4.2.2 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยหลักการคงที่กระแสไฟฟ้า

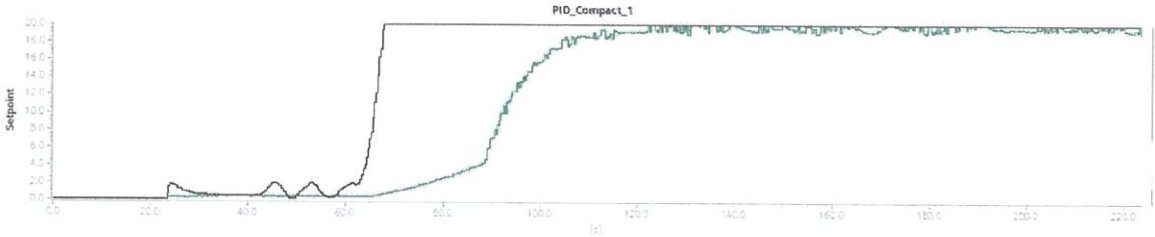
เป็นการทดสอบในการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้วงจร Buck-Boost Bidirectional converter ในโหมดบัก ซึ่งจะเริ่มต้นการชาร์จด้วยหลักการคงที่ค่ากระแสไฟฟ้าขนาด 20 แอมป์ ในการชาร์จได้ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 100 โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป ค่าแรงดันของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้ามียุคเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 100 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แรงดันในการชาร์จ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า

สัญญาณดิวิตซ์เซลล์ที่จ่ายจากวงจรขับเคลื่อนโดยมีแรงดันในการทำงานของสวิตช์ในสถานะเปิดอยู่ที่ 5 โวลต์ และมีแรงดันในการทำงานของสวิตช์ในสถานะปิดอยู่ที่ 0 โวลต์ โดยมีความถี่ของการสวิตช์ซิงของวงจรที่ 6 กิโลเฮิร์ต โดยผลการทดลองดังกล่าวเป็นดิวิตซ์เซลล์ที่ทำให้ได้ระดับกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 20 แอมป์ โดยจากรูปที่ 4.3 พบว่ามีค่าโอเวอร์ชูทของกระแสไฟฟ้าน้อยมากทำให่วงจรชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์

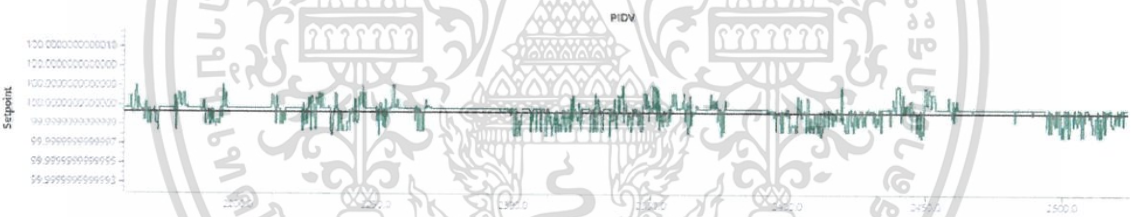
ไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



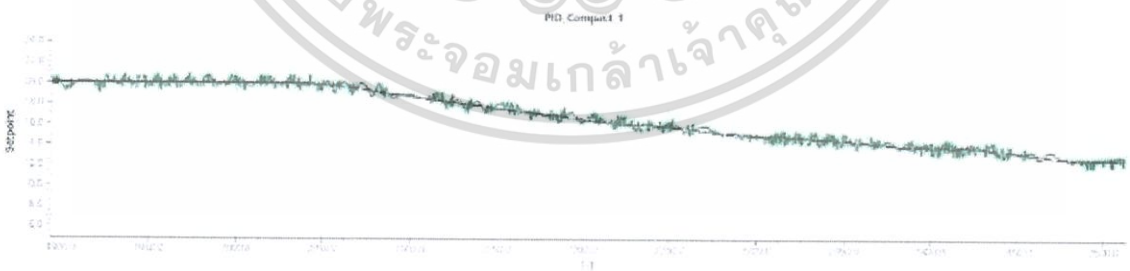
รูปที่ 4 3 กระแสในการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าค่อยๆเพิ่มขึ้นและคงที่ที่20แอมป์

4.2.3 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าด้วยหลักการคงที่แรงดันไฟฟ้า

เมื่อเวลาผ่านไป ค่าแรงดันของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 100 โวลต์ จึงต้องเปลี่ยนเป็นการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยหลักการคงที่แรงดันไฟฟ้า ที่ 100 โวลต์ และค่อยๆลดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่จนมีค่าเป็นศูนย์ กล่าวคือ จนแบตเตอรี่ชาร์จเต็มนั่นเอง ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าขณะชาร์จ แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แรงดันในการชาร์จ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าในช่วงที่สองมีค่าคงที่อยู่ที่100โวลต์



รูปที่ 4.5 กระแสไฟฟ้ามี่ค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการชาร์จเป็นแบบคงที่แรงดัน

จากการทดลองพบว่าวงจร Buck-Boost Bidirectional converter สามารถทำการชาร์จ แบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ได้ โดยสามารถชาร์จ ด้วยกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 20 แอมป์ ที่แรงดันไฟฟ้าในการชาร์จ ที่ 100 โวลต์ทำให้กำลังไฟฟ้าในการชาร์จ อยู่ที่ 2 กิโลวัตต์ แต่ด้วย

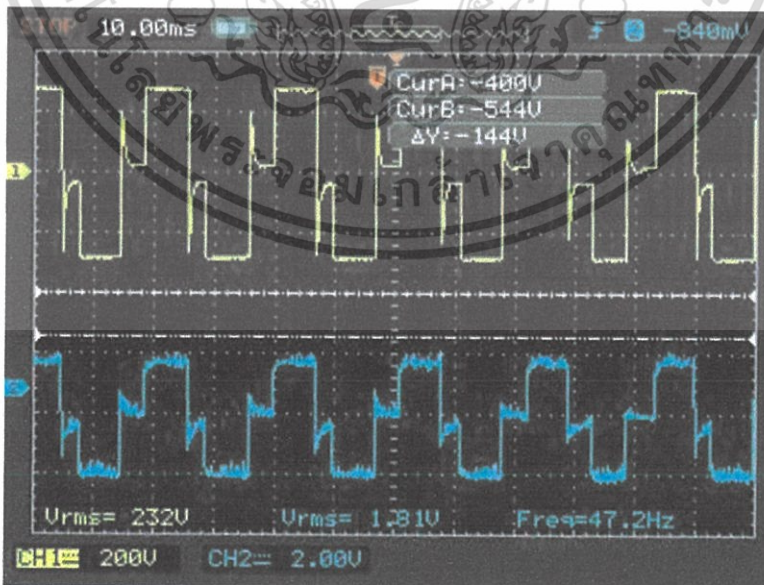
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาเนื่องจากขีดจำกัดเรื่องของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทนกระแสฟ้าได้สูงและปัญหาเรื่องโปรแกรมควบคุมในการให้ความถี่ที่มีความเสถียรภาพได้ที่ 6 กิโลเฮิร์ต จึงทำให้วงจรนี้สามารถชาร์จ ได้ใกล้เคียงกับมาตรฐานการชาร์จระดับที่2 อย่างไรก็ตามแล้วแต่วงจรที่ได้ออกแบบมานี้สามารถชาร์จ พลังงานไฟฟ้าได้สองรูปแบบตามต้องการ

4.2.4 การทดลองดิสชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาจ่ายให้ที่อยู่อาศัย

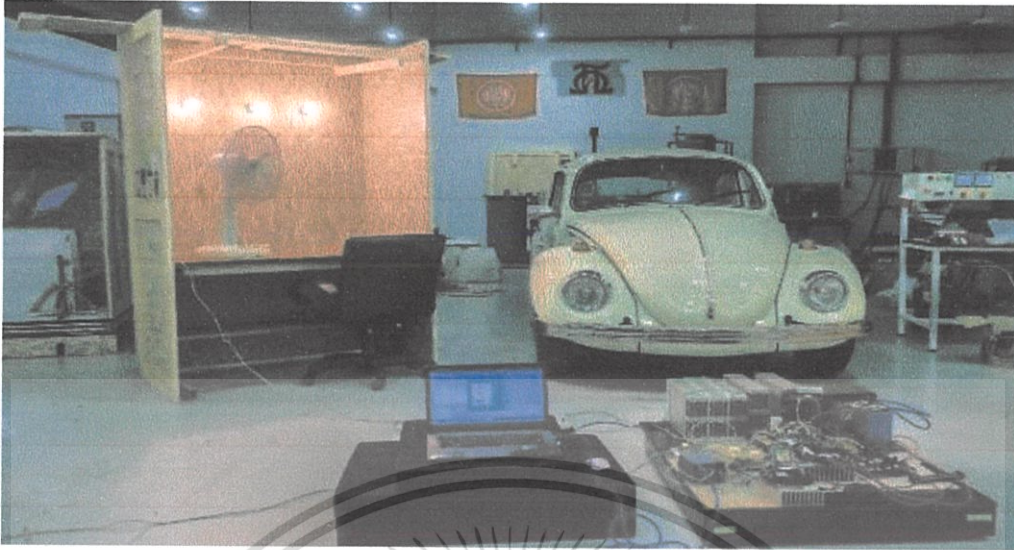
การทดสอบในการชาร์จ รถยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้วงจร Buck-Boost Bidirectional converter ในโหมดบัส เป็นการทดลองสำหรับการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ที่พักอาศัยหรือจ่ายพลังงานกลับไปยังภาระทางไฟฟ้า ซึ่งได้ออกแบบระบบควบคุมการชาร์จ ให้มีระดับแรงดันที่ DC-link เป็น 169.8 โวลต์ แม้ว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงไปเนื่องจากการใช้งานแล้วก็ตาม เพื่อให้เหมาะสำหรับการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ 220 โวลต์ ด้วยหลักการ Modified sine wave โดยจะมีการควบคุมสวิตช์ด้วย PLC

สำหรับสถานะ การจ่ายพลังงานกลับคืนสู่ที่พักอาศัยนี้ จะต้องระวังในการจ่ายภาระทางไฟฟ้าด้วยกระแสที่สูงเกินกว่าค่า state of charge ของแบตเตอรี่ ในการทดลองนี้ ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นหลอดไส้ 3 หลอดและพัดลม1เครื่อง ซึ่งดึงกระแสโดยประมาณ 2 แอมป์ ทำให้ได้สัญญาณแรงดันและกระแสขณะจ่ายภาระทางไฟฟ้าเป็นดังรูป



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองดึงพลังงานจากแบตเตอรี่รถยนต์มาจ่ายที่บ้านจำลอง

4.3 บทสรุป

จากการทดสอบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเครื่องชาร์จสองทิศทาง ขนาด 2 กิโลวัตต์ พบว่าวงจรที่ออกแบบมานั้น สามารถชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ได้โดยมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 83.21 เปอร์เซ็นต์ เครื่องชาร์จจะขึ้นแรงดันแบบ ทีละลำดับ เพื่อป้องกันและแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าถึงค่า Voltage set จะเกิดการชาร์จ ด้วยกระแสคงที่ เกิดขึ้นจากการที่มีระดับแรงดันในการชาร์จ สูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า จากนั้นเมื่อถึงสถานะหนึ่งเครื่องชาร์จจะเปลี่ยนสถานะการชาร์จ จากกระแสคงที่เป็นการชาร์จ แบบแรงดันคงที่จนทำให้กระแสลดลงเรื่อยๆจนเข้าใกล้ศูนย์ โดยที่มีขดลวดเหนี่ยวนำของวงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่เกิดการอิ่มตัวของแม่เหล็กขึ้นระหว่างการชาร์จ อีกทั้งอุณหภูมิของแบตเตอรี่ไม่สูงซึ่งไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพจากการชาร์จ ของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสองอีกด้วย

สำหรับการจ่ายพลังงานกลับเข้าสู่ที่พักอาศัยหรืออุปกรณ์ไฟฟ้านั้น จะใช้วงจร Buck-Boost Bidirectional converter ในโหมดบัส ซึ่งต้องทำให้แรงดันที่ DC-link มีค่าเท่ากับ 169.8 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมกับการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดัน 120 โวลต์ แล้วจึงแปลงกลับผ่านหม้อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีขนาดเป็น 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการออกแบบและทดสอบวงจร พบว่า เครื่องชาร์จสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้สองทิศทาง โดยในโหมดชาร์จ อาศัยหลักการควบคุมระดับแรงดันจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งในโหมดลดระดับแรงดันนี้ สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ตามที่ต้องการ โดยระดับแรงดันสูงสุดที่กำหนดคือ 100 โวลต์ และระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดคือ 20 แอมป์ เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์จึงกำหนดตัวตัดไซเคิลสูงสุดที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ด้วยความถี่สวิตช์ 6 กิโลเฮิร์ต

และในโหมดดิสชาร์จ แบ่งการควบคุมเป็นสองส่วน ในส่วนแรกการควบคุมระดับแรงดัน อาศัยหลักการหลักการจากวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ซึ่งในโหมดเพิ่มระดับแรงดันนี้ สามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับการใช้ภายในที่อยู่อาศัยคือ 220 Vrms โดยใช้ความถี่สวิตช์ที่ 6 กิโลเฮิร์ต และในส่วนการควบคุมที่สอง การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยออกแบบให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับในรูปแบบ modified sinewave ความถี่สวิตช์ที่ 50 เฮิร์ต

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถออกแบบเครื่องชาร์จที่มีฟังก์ชันที่สูงกว่านี้ได้ และตัวอุปกรณ์ยังขาดความมีเสถียรภาพ ซึ่งต้องพัฒนาและแก้ไขต่อไปเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายแต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษา และประดิษฐ์ชิ้นงานนี้ ทำให้ได้เรียนรู้เกี่ยวกับวงจรอัดประจุ การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองทดลองงานวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวัง ดังนี้

1. เมื่อเกิดข้อผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์เสียหายขณะทำการทดลอง ควรวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดให้ถี่ ก่อนดำเนินการทดลองขั้นต่อไป เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดซ้ำสอง

2. ในการทดลองควรจะเริ่มจากสภาพไร้ภาระทางไฟฟ้าแล้วจึงค่อยๆเพิ่มภาระทางไฟฟ้าเพื่อดูแนวโน้มของผลที่วัดออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติมความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องแบตเตอรี่ได้ดังนี้

1. เพิ่มระดับกระแส เพื่อลดเวลาในการชาร์จให้สามารถชาร์จได้รวดเร็วขึ้น

2. ลดขนาดของอุปกรณ์ โดยการเพิ่มความถี่ ในการสับสวิตช์ ซึ่งจะช่วยลดขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำและลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brigitte Hauke, Texas Instrument “Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage”, Application Report, Low Power DC/DC Application, SLVA372C, , November 2009, Revised January 2014
- [2] Brigitte Hauke, Texas Instrument, “Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage”, Application Report, Low Power DC/DC Application, SLVA477B, , December 2011, Revised August 2015
- [3] Anuja Namboodiri, UG Student, Harshal S. Wani, Assistant Professor, Engineering College, Chandkheda, “Unipolar and Bipolar PWM Inverter”, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Volume 1, Issue 7, December 2014
- [4] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION TECHNICAL COMMITTEE, “ELECTRIC ROAD VEHICLES AND ELECTRIC INDUSTRIAL TRUCKS”, NO. 69, October 2012
- [5] Hamid R. Karshenas and et al, “Bidirectional DC - DC Converters for Energy Storage Systems”, Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids, Prof. Rosario Carbone (Ed.), ISBN: 978-953-307-269-2, InTech,
- [6] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins; “Power Electronics converters, Applications, and design”, 2nd edition; John Wiley & Sons, INC., 1995
- [7] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, “จ้างที่ปรึกษาโครงการศึกษาการเตรียมความพร้อม รองรับการใช้นานพาหนะไฟฟ้าในอนาคตสำหรับประเทศไทย”, กันยายน 2558
- [8] พิมพ์สุชา ธนารุจิเกียรติ, วรพล เหลืองนภาเลิศ, อภิสสิทธิ์ ทิพย์นาง, อธิธิพร ศรประสิทธิ์ “เครื่องอัดประจุพาหนะพลังงานไฟฟ้าระดับสองสำหรับประยุกต์ใช้ในอาคารอัจฉริยะ”, ปรียญยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

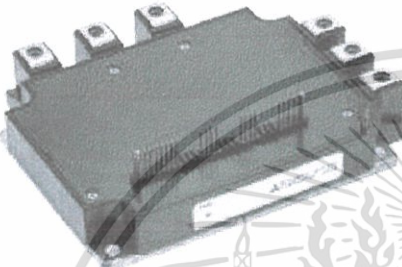


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI <INTELLIGENT POWER MODULES>

PM100CLA120FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE**PM100CLA120****FEATURE**

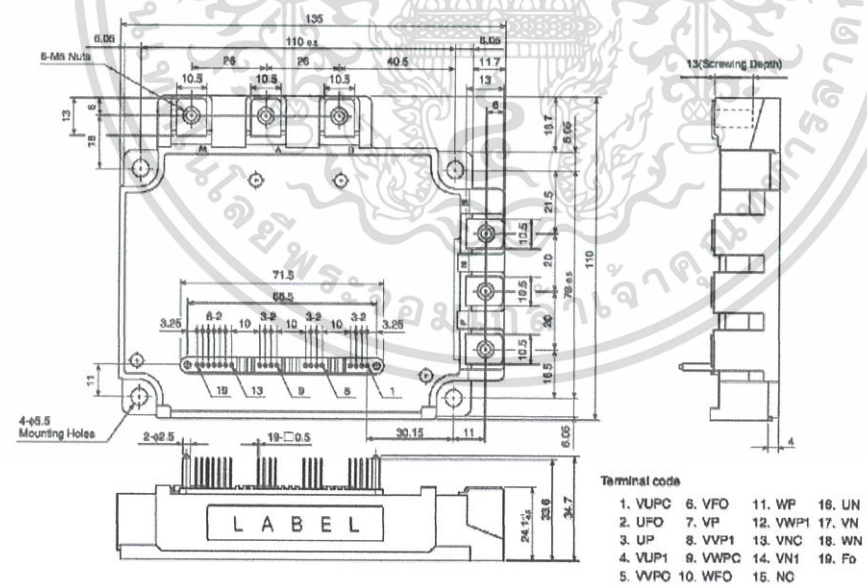
- a) Adopting new 5th generation IGBT (CSTBT) chip, which performance is improved by 1 μ m line rule process. For example, typical $V_{ce(sat)}$ -1.9V @T_J-125°C
- b) I adopt the over-temperature conservation by T_J detection of CSTBT chip, and error output is possible from all each conservation upper and lower arm of IPM.
- 3 ϕ 100A, 1200V Current-sense IGBT type Inverter
- Monolithic gate drive & protection logic
- Detection, protection & status indication circuits for, short-circuit, over-temperature & under-voltage (P-Fo available from upper arm devices)
- Acoustic noise-less 18.5kW/22kW class inverter application
- UL Recognized Yellow Card No.E80276(N)
File No.E80271

APPLICATION

General purpose inverter, servo drives and other motor controls

PACKAGE OUTLINES

Dimensions in mm



May 2005



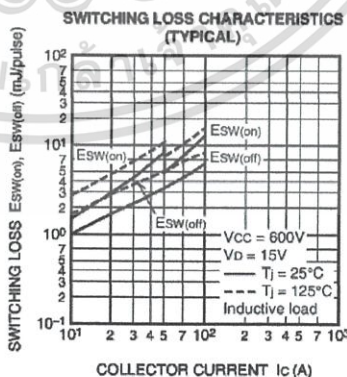
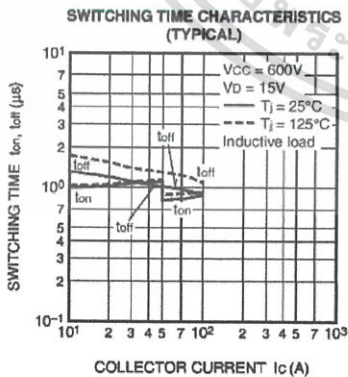
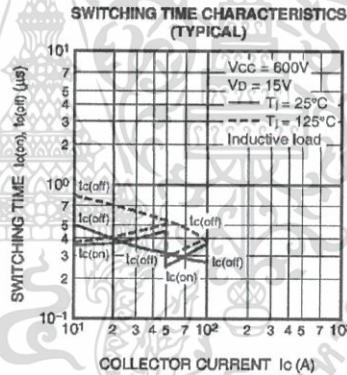
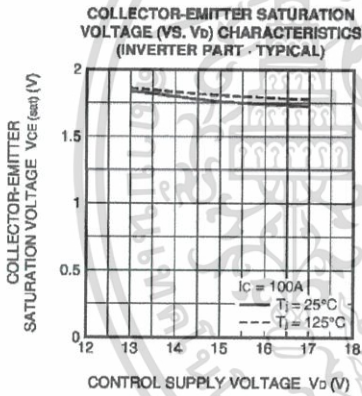
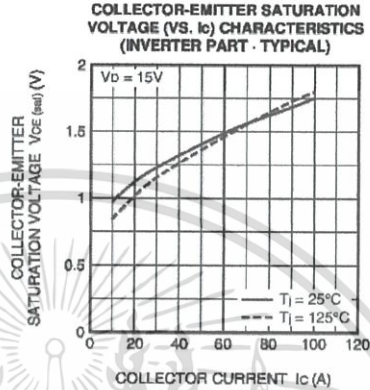
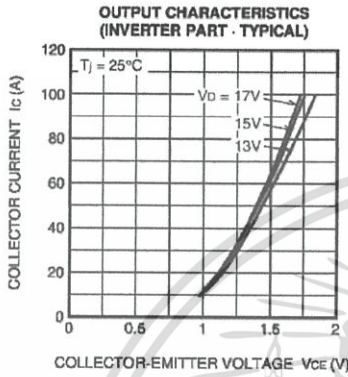
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI <INTELLIGENT POWER MODULES>

PM100CLA120

FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE

PERFORMANCE CURVES



May 2005

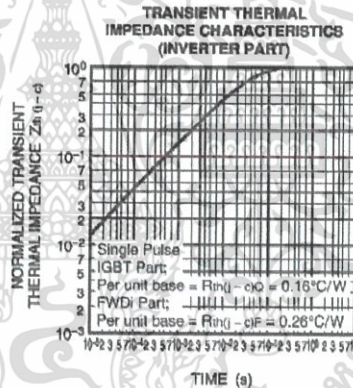
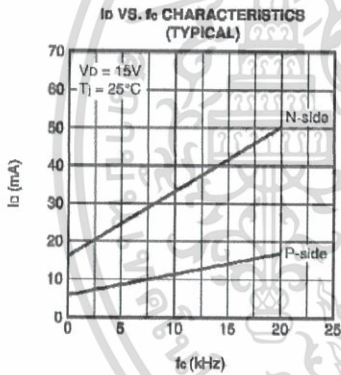
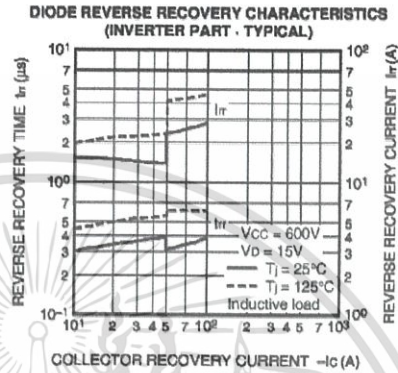
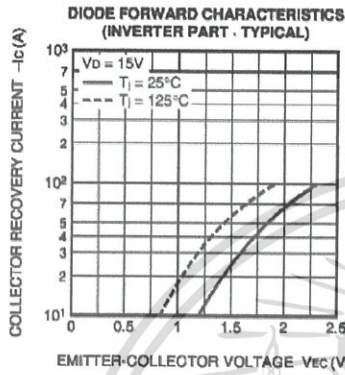


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI <INTELLIGENT POWER MODULES>

PM100CLA120

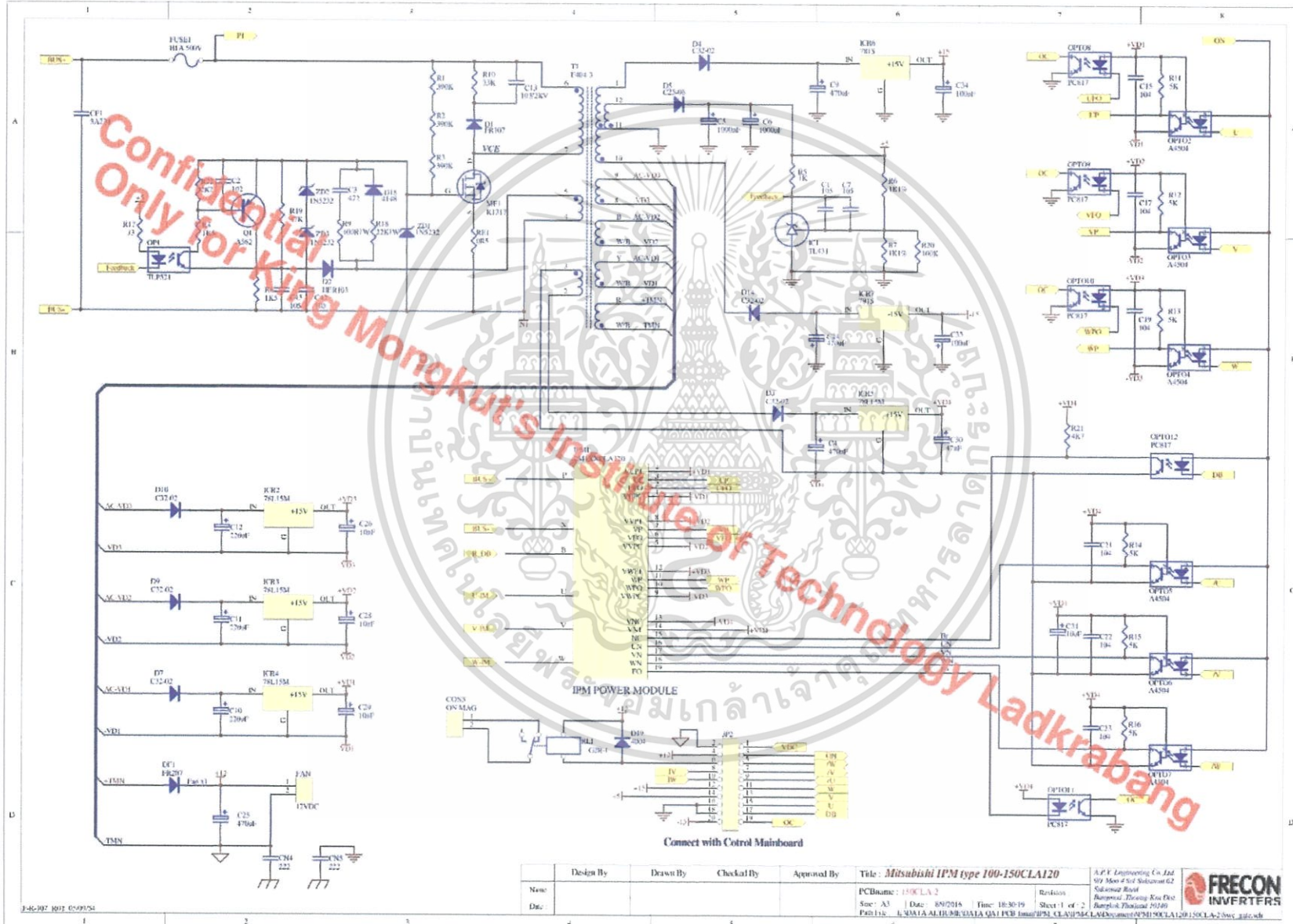
FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE



May 2005



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Design By	Drawn By	Checked By	Approved By	Title: Mitsubishi IPM type 100-150CLA120	A.P.V. Engineering Co. Ltd 519 Moo 4 Set Substation 62 Subsidiary Road Bangkok, Thailand 10140
None				PCBname: 150CLA_2	Revision
Date				Size: A3 Date: 8/9/2018 Time: 18:30:19	Sheet 1 of 2
				Path: I:\4. SQA\TA AL\BOM\DATA QA\1 PCB\Inverter\IPM_CLA120\150CLA_2\150CLA_2_Svc_01.dwg	



High CMR, High Speed Optocouplers

Technical Data

HCPL-4504
HCPL-J454
HCPL-0454
HCNW4504

Features

- **Short Propagation Delays for TTL and IPM Applications**
- **15 kV/ μ s Minimum Common Mode Transient Immunity at $V_{CM} = 1500$ V for TTL/Load Drive**
- **High CTR at $T_A = 25^\circ\text{C}$**
>25% for HCPL-4504/0454
>23% for HCNW4504
>19% for HCPL-J454
- **Electrical Specifications for Common IPM Applications**
- **TTL Compatible**
- **Guaranteed Performance from 0°C to 70°C**
- **Open Collector Output**
- **Safety Approval UL Recognized**
- 3750 V rms / 1min. for HCPL-4504/0454/J454
- 5000 V rms / 1min. for HCPL-4504 Option020 and HCNW4504
- **CSA Approved IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Approved**
- $V_{IORM} = 560$ Vpeak for HCPL-0454 Option060
- $V_{IORM} = 630$ Vpeak for HCPL-4504 Option060

- $V_{IORM} = 891$ Vpeak for HCPL-J454
- $V_{IORM} = 1414$ Vpeak for HCNW4504

Applications

- **Inverter Circuits and Intelligent Power Module (IPM) interfacing** - High Common Mode Transient Immunity (> 10 kV/ μ s for an IPM load/drive) and ($t_{PLH} - t_{PHL}$) Specified (See Power Inverter Dead Time section)
- **Line Receivers** - Short Propagation Delays and Low Input-Output Capacitance
- **High Speed Logic Ground Isolation - TTL/TTL, TTL/CMOS, TTL/LSTTL**

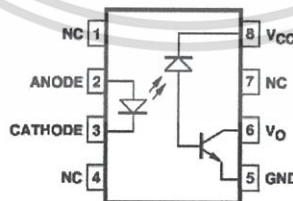
- **Replaces Pulse Transformers** - Save Board Space and Weight
- **Analog Signal Ground Isolation** - Integrated Photodetector Provides Improved Linearity over Phototransistors

Description

The HCPL-4504 and HCPL-0454 contain a GaAsP LED while the HCPL-J454 and HCNW4504 contain an AlGaAs LED. The LED is optically coupled to an integrated high gain photo detector.

The HCPL-4504 series has short propagation delays and high CTR. The HCPL-4504 series also has a guaranteed propagation delay difference ($t_{PLH} - t_{PHL}$). These

Functional Diagram



TRUTH TABLE	
LED	V_O
ON	LOW
OFF	HIGH

A 0.1 μF bypass capacitor between pins 5 and 8 is recommended.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

features make the HCPL-4504 series an excellent solution to IPM inverter dead time and other switching problems. The CTR, propagation delay, and CMR are specified both for TTL and IPM conditions which are provided for ease of application. These single channel, diode-transistor optocouplers are available in 8-Pin DIP, SO-8, and Widebody

package configurations. An insulating layer between a LED and an integrated photodetector provide electrical insulation between input and output. Separate connections for the photodiode bias and output-transistor collector increase the speed up to a hundred times that of a conventional phototransistor coupler by reducing the base collector capacitance.

Selection Guide

Package Type	Standard 8-Pin DIP (300 Mil)	White Mold 8-Pin DIP (300 Mil)	Small Outline SO8	Widebody (400 Mil)
Part Number	HCPL-4504	HCPL-J454	HCPL-0454	HCNW4504
IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Approval	$V_{IORM} = 630 V_{peak}$ (Option 060)	$V_{IORM} = 891 V_{peak}$	$V_{IORM} = 560 V_{peak}$ (Option 060)	$V_{IORM} = 1414 V_{peak}$

Ordering Information

Specify Part number followed by Option Number (if desired)

Example

HCPL-4504 #XXXX

020 = UL 5000 Vrms/1minute Option* for HCPL-4504 Only.

060 = IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Option* for HCPL-4504/0454.

300 = Gull-Wing Lead Option for HCPL-4504/J454, HCNW4504.

500 = Tape and Reel Packaging Option.

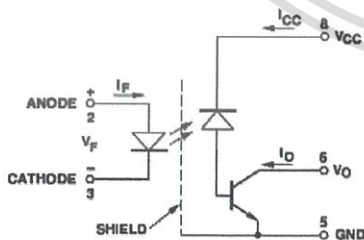
XXXE = Lead Free Option

Option data sheets available. Contact Agilent sales representative or authorized distributor for information.

*Combination of Option 020 and Option 060 is not available.

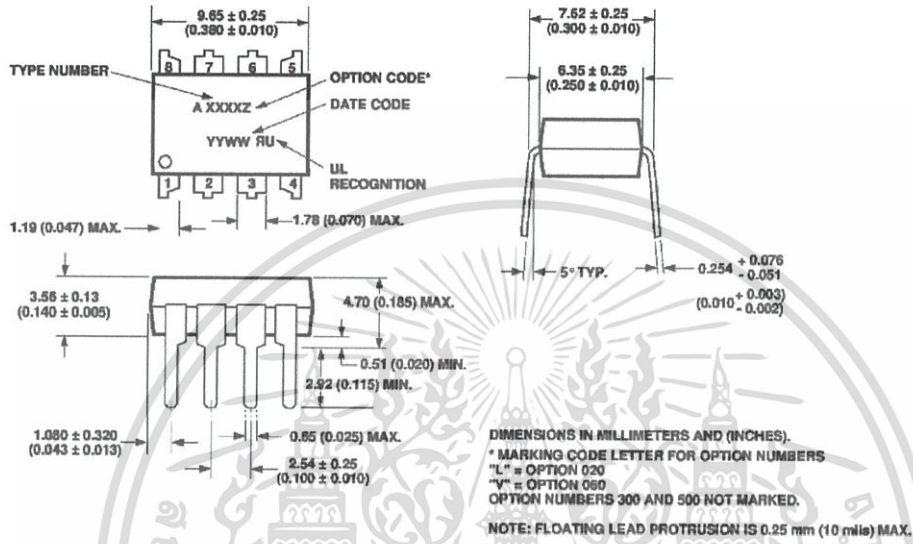
Remarks: The notation “#” is used for existing products, while (new) products launched since 15th July 2001 and lead free option will use “-”

Schematic

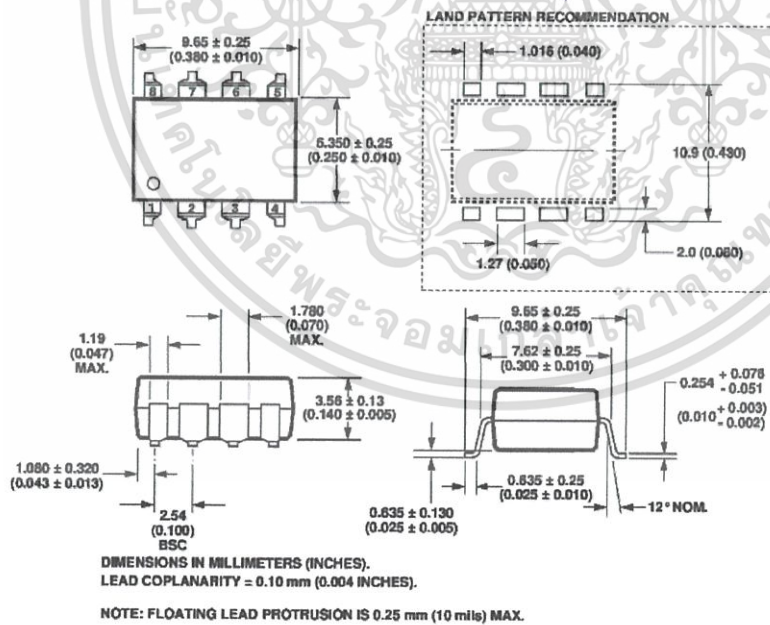


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outline Drawings
HCPL-4504 Outline Drawing

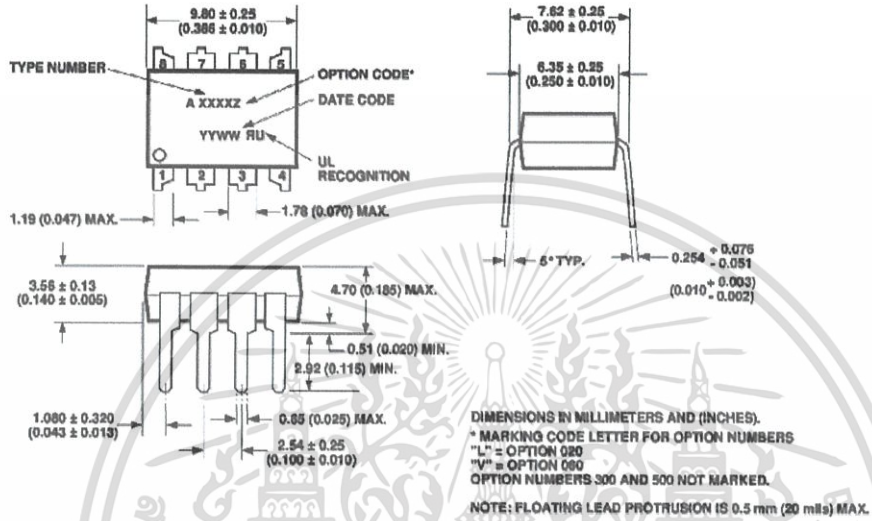


HCPL-4504 Gull Wing Surface Mount Option 300 Outline Drawing

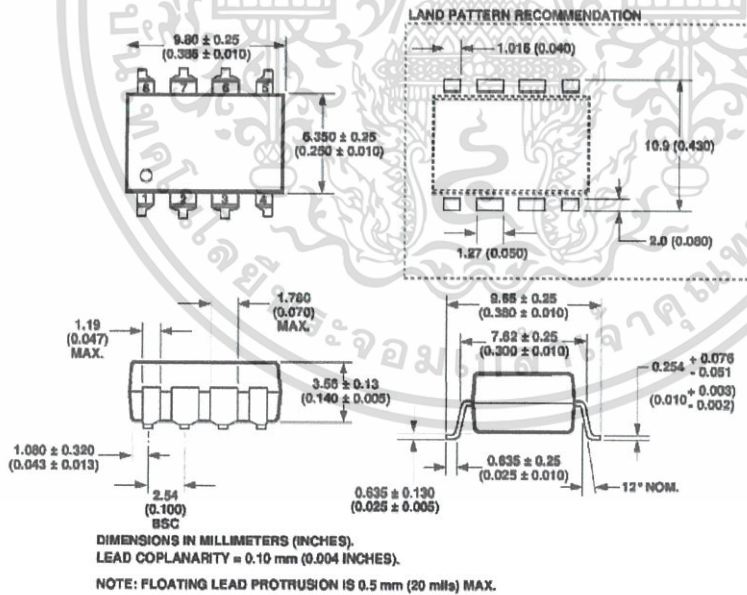


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outline Drawings
HCPL-J454 Outline Drawing

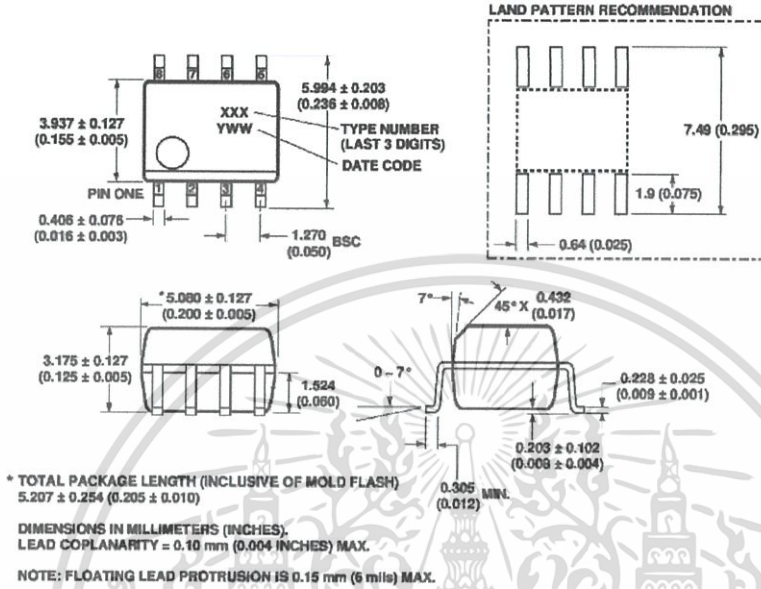


HCPL-J454 Gull Wing Surface Mount Option 300 Outline Drawing

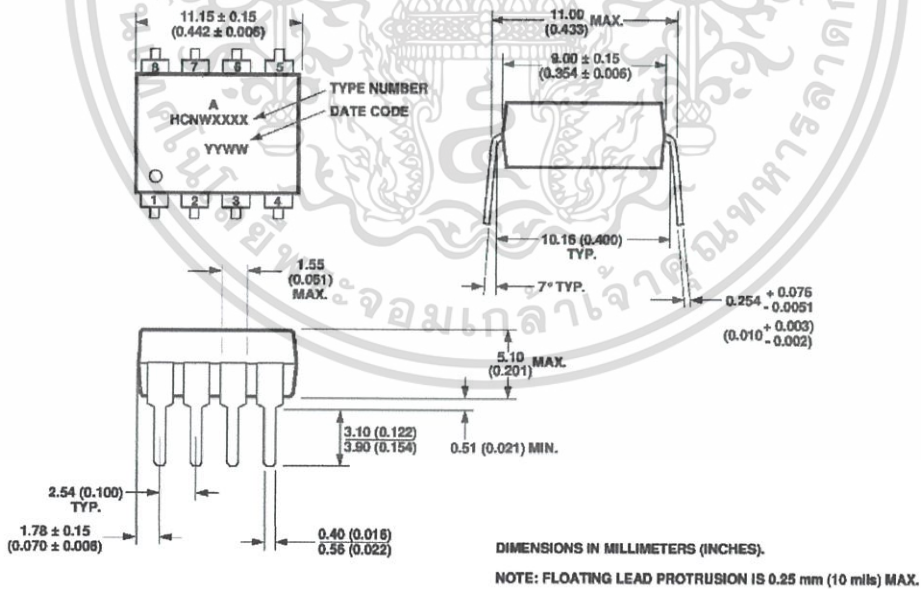


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCPL-0454 Outline Drawing (8-Pin Small Outline Package)

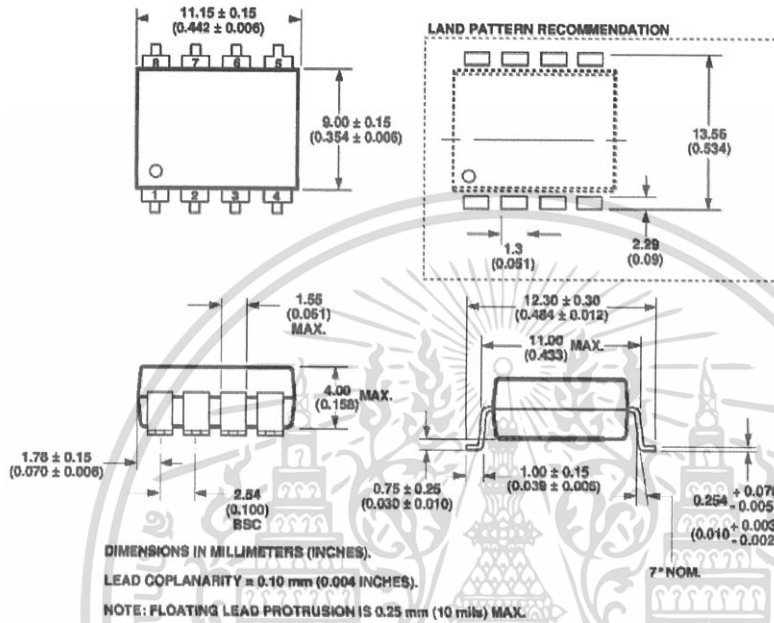


HCNW4504 Outline Drawing (8-Pin Widebody Package)



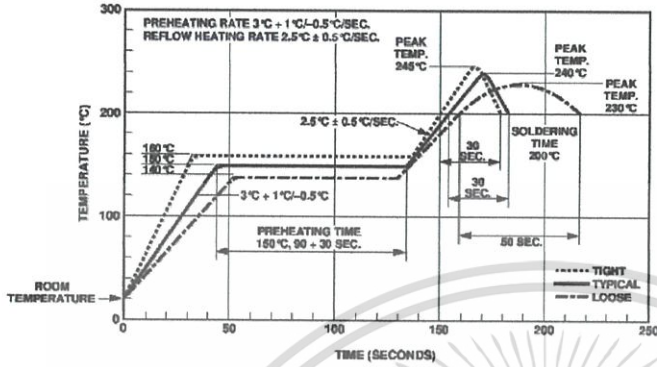
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCNW4504 Gull Wing Surface Mount Option 300 Outline Drawing

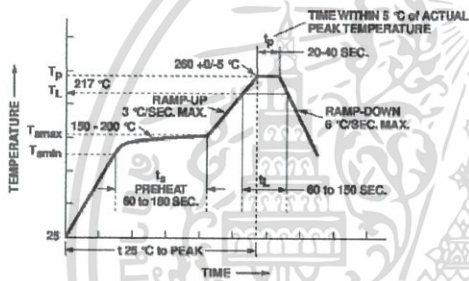


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solder Reflow Temperature Profile



Recommended Pb-Free IR Profile



NOTES:
THE TIME FROM 25°C TO PEAK TEMPERATURE ≈ 8 MINUTES MAX.
 $T_{max} = 200^{\circ}\text{C}$, $T_{min} = 150^{\circ}\text{C}$

Regulatory Information

The devices contained in this data sheet have been approved by the following agencies:

Agency/Standard		HCPL-4504	HCPL-J454	HCPL-0456	HCNW4504
Underwriters Laboratories (UL)	UL1577				
Recognized under UL1577, Component Recognition Program, Category FPQU2, File E55361		✓	✓	✓	✓
Canadian Standards Association (CSA)	Component Acceptance Notice #5	✓	✓	✓	✓
File CA88324					
IEC/EN/DIN EN 60747-5-2	Approved under:				
IEC 60747-5-2:1997 + A1:2002		✓	✓		✓
EN 60747-5-2:2001 + A1:2002					
DIN EN 60747-5-2 (VDE 0884 Teil 2):2003-01					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insulation and Safety Related Specifications

Parameter	Symbol	Value				Units	Conditions
		HCPL-4504	HCPL-J454	HCPL-0454	HCNW4504		
Minimum External Air Gap (External Clearance)	L(101)	7.1	7.4	4.9	9.6	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air.
Minimum External Tracking (External Creepage)	L(102)	7.4	8.0	4.8	10.0	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body.
Minimum Internal Plastic Gap (Internal Clearance)		0.08	0.5	0.08	1.0	mm	Through insulation distance, conductor to conductor, usually the direct distance between the photoemitter and photodetector inside the optocoupler cavity.
Minimum Internal Tracking (Internal Creepage)		NA	NA	NA	4.0	mm	Measured from input terminals to output terminals, along internal cavity.
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI	≥ 175	≥ 175	≥ 175	≥ 200	Volts	DIN IEC 112/VDE 0303 Part I
Isolation Group		IIIa	IIIa	IIIa	IIIa		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)

All Agilent data sheets report the creepage and clearance inherent to the optocoupler component itself. These dimensions are needed as a starting point for the equipment designer when determining the circuit insulation requirements.

However, once mounted on a printed circuit board, minimum

creepage and clearance requirements must be met as specified for individual equipment standards. For creepage, the shortest distance path along the surface of a printed circuit board between the solder fillets of the input and output leads must be considered. There are recommended techniques such as grooves and

ribs which may be used on a printed circuit board to achieve desired creepage and clearances. Creepage and clearance distances will also change depending on factors such as pollution degree and insulation level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Insulation Related Characteristics

Description	Symbol	HCPL-0454 OPTION 060	HCPL-4504 OPTION 060	HCPL-J454	HNCW4504	Unit
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 150 V rms for rated mains voltage ≤ 300 V rms for rated mains voltage ≤ 450 V rms for rated mains voltage ≤ 600 V rms for rated mains voltage ≤ 1000 V rms		I-IV I-III	I-IV I-IV I-III	I-IV I-IV I-III I-III	I-IV I-IV I-IV I-IV I-III	
Climatic Classification		55/100/21	55/100/21	55/100/21	55/85/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	2	2	2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	560	630	891	1414	V _{peak}
Input to Output Test Voltage, Method b* $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1050	1181	1670	2652	V _{peak}
Input to Output Test Voltage, Method a* $V_{IORM} \times 1.5 = V_{PR}$, Type and Sample Test, $t_m = 60$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	840	945	1336	2121	V _{peak}
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, $t_m = 10$ sec)	V_{IOTM}	4000	6000	6000	8000	V _{peak}
Safety Limiting Values - Maximum Values Allowed in the Event of a Failure, also see Thermal Derating curve						
Case Temperature	T_S	150	175	175	150	°C
Input Current	$I_{S,INPUT}$	150	230	400	400	mA
Output Power	$P_{S,OUTPUT}$	600	600	600	700	mW
Insulation Resistance at T_S , $V_{IO} = 500$ V	R_S	$\geq 10^9$	$\geq 10^9$	$\geq 10^9$	$\geq 10^9$	Ω

*Refer to the optocoupler section of the Designer's Catalog, under regulatory information (IEC/EN/DIN EN 60747-5-2) for a detailed description of Method a and Method b partial discharge test profiles.

NOTE: These optocouplers are suitable for "safe electrical isolation" only within the safety limit data. Maintenance of the safety data shall be ensured by means of protective circuits.

NOTE: Insulation Characteristics are per IEC/EN/DIN EN 60747-5-2.

NOTE: Surface mount classification is Class A in accordance with CECC 00802.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Device	Min.	Max.	Units	Note
Storage Temperature	T_S		-55	125	°C	
Operating Temperature	T_A	HCPL-4504 HCPL-0454 HCPL-J454	-55	100	°C	
		HCNW4504	-55	85		
Average Forward Input Current	$I_{F(AVG)}$			25	mA	1
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms pulse width)	$I_{F(PEAK)}$	HCPL-4504 HCPL-0454		50	mA	2
		HCPL-J454 HCNW4504		40		
Peak Transient Input Current ($\leq 1 \mu s$ pulse width, 300 pps)	$I_{F(TRANS)}$	HCPL-4504 HCPL-0454		1	A	
		HCPL-J454 HCNW4504		0.1		
Reverse LED Input Voltage (Pin 3-2)	V_R	HCPL-4504 HCPL-0454		5	V	
		HCPL-J454 HCNW4504		3		
Input Power Dissipation	P_{IN}	HCPL-4504 HCPL-0454		45	mW	3
		HCPL-J454 HCNW4504		40		
Average Output Current (Pin 6)	$I_{O(AVG)}$			8	mA	
Peak Output Current	$I_{O(PEAK)}$			16	mA	
Supply Voltage (Pin 8-5)	V_{CC}		-0.5	30	V	
Output Voltage (Pin 6-5)	V_O		-0.5	20	V	
Output Power Dissipation	P_O			100	mW	4
Lead Solder Temperature (Through-Hole Parts Only) 1.6 mm below seating plane, 10 seconds Up to seating plane, 10 seconds	T_{LS}	HCPL-4504 HCPL-J454		260	°C	
		HCNW4504		260		
Reflow Temperature Profile	T_{RP}	HCPL-0454 and Option 300		See Package Outline Drawings section		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (DC)Over recommended temperature ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C) unless otherwise specified. See note 12.

Parameter	Symbol	Device	Min.	Typ.*	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note		
Current Transfer Ratio	CTR	HCPL-4504	25	32	60	%	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$	$I_F = 16\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{ V}$	1, 2, 4	5	
		HCPL-0454	21	34			$V_O = 0.5\text{ V}$				
		HCPL-J454	19	37	60		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$				
			13	39			$V_O = 0.5\text{ V}$				
		HCNW4504	23	29	60		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$				
			19	31	63		$V_O = 0.5\text{ V}$				
		CTR	HCPL-4504	26	35		65	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$	$I_F = 12\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{ V}$	1, 2, 4	5
		HCPL-0454	22	37			$V_O = 0.5\text{ V}$				
		HCPL-J454	21	43	65		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$				
			16	45			$V_O = 0.5\text{ V}$				
	HCNW4504	25	33	65	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$						
			21	35	68	$V_O = 0.5\text{ V}$					
Logic Low Output Voltage	V_{OL}	HCPL-4504		0.2	0.4	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 4.0\text{ mA}$	$I_F = 16\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{ V}$			
		HCPL-0454			0.5		$I_O = 3.3\text{ mA}$				
		HCPL-J454		0.2	0.4		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 3.6\text{ mA}$				
					0.5		$I_O = 3.0\text{ mA}$				
		HCNW4504		0.2	0.4		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 3.6\text{ mA}$				
				0.5	$I_O = 3.0\text{ mA}$						
Logic High Output Current	I_{OH}		0.003	0.5	μA	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = V_{CC} = 6.5\text{ V}$	$I_F = 0\text{ mA}$			5	
			0.01	1		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = V_{CC} = 15\text{ V}$					
Logic Low Supply Current	I_{CCL}	HCPL-4504		60	200	μA	$I_F = 16\text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$			12	
		HCPL-0454									
		HCNW4504									
		HCPL-J454		70							
Logic High Supply Current	I_{CCH}		0.02	1	μA	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 0\text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$				12	
				2							
Input Forward Voltage	V_F	HCPL-4504		1.5	1.7	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 16\text{ mA}$			3	
		HCPL-0454			1.8						
		HCPL-J454	1.45	1.59	1.85		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 16\text{ mA}$				
		HCNW4504	1.35		1.95						
Input Reverse Breakdown Voltage	BV_R	HCPL-4504		5	V	$I_R = 10\text{ }\mu\text{A}$					
		HCPL-0454									
		HCPL-J454	3								$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$
		HCNW4504									
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\frac{\Delta V_F}{\Delta T_A}$	HCPL-4504		-1.6	mV/°C	$I_F = 16\text{ mA}$					
		HCPL-0454									
		HCPL-J454		-1.4							
		HCNW4504									
Input Capacitance	C_{IN}	HCPL-4504		60	pF	$f = 1\text{ MHz}$, $V_F = 0\text{ V}$					
		HCPL-0454									
		HCPL-J454		70							
		HCNW4504									

*All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Switching Specifications

Over recommended temperature ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C) unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Device	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Propagation Delay Time to Logic Low at Output	t_{PHL}			0.2	0.3	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ Pulse: $f = 20\text{ kHz}$, Duty Cycle = 10%, $I_F = 16\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $C_L = 15\text{ pF}$, $V_{THL} = 1.5\text{ V}$	6, 8, 9	9
					0.5				
	t_{PHL}		0.2	0.5	0.7	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ Pulse: $f = 10\text{ kHz}$, Duty Cycle = 50%, $I_F = 12\text{ mA}$, $V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $V_{THL} = 1.5\text{ V}$	6, 10-14	10
		HCPL-J454	0.05		1.0				
		Others	0.1						
Propagation Delay Time to Logic High at Output	t_{PLH}			0.3	0.5	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ Pulse: $f = 20\text{ kHz}$, Duty Cycle = 10%, $I_F = 16\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $C_L = 15\text{ pF}$, $V_{THH} = 1.5\text{ V}$	6, 8, 9	9
					0.7				
	t_{PLH}		0.3	0.8	1.1	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ Pulse: $f = 10\text{ kHz}$, Duty Cycle = 50%, $I_F = 12\text{ mA}$, $V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $V_{THH} = 2.0\text{ V}$	6, 10-14	10
			0.2		1.4				
Propagation Delay Difference Between Any 2 Parts	$t_{PLH} - t_{PHL}$		-0.4	0.3	0.9	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ Pulse: $f = 10\text{ kHz}$, Duty Cycle = 50%, $I_F = 12\text{ mA}$, $V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $V_{THL} = 1.5\text{ V}$, $V_{THH} = 2.0\text{ V}$	6, 10-14	17
			-0.7		1.3				
Common Mode Transient Immunity at Logic High Level Output	$ CM_H $		15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CM} = 1500\text{ V}_{P-P}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $C_L = 15\text{ pF}$, $I_F = 0\text{ mA}$	7	7, 9
	$ CM_H $		15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $I_F = 0\text{ mA}$	7	8, 10
Common Mode Transient Immunity at Logic Low Level Output	$ CM_L $		15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CM} = 1500\text{ V}_{P-P}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $C_L = 15\text{ pF}$, $I_F = 16\text{ mA}$	7	7, 9
	$ CM_L $	HCPL-J454	15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $I_F = 12\text{ mA}$	7	8, 10
	$ CM_L $	Others	10			$\text{kV}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $I_F = 16\text{ mA}$	7	8, 10
	$ CM_L $		15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 15.0\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $I_F = 16\text{ mA}$	7	8, 10

*All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Characteristics

Over recommended temperature ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to 25°C) unless otherwise specified.

Parameter	Sym.	Device	Min.	Typ.*	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note	
Input-Output Momentary Withstand Voltage†	V_{ISO}	HCPL-4504	3750			V rms	RH \leq 50%, t = 1 min., $T_A = 25^\circ\text{C}$		6, 13, 16	
		HCPL-J454	3750						6, 14, 16	
		HCPL-4504 Option 020	5000						6, 11, 15	
		HCNW4504	5000						6, 15, 16	
Input-Output Resistance	R_{I-O}	HCPL-4504		10^{12}		Ω	$V_{I-O} = 500$ Vdc		6	
		HCPL-0454								
		HCPL-J454								
		HCNW4504	10^{12}	10^{13}						$T_A = 25^\circ\text{C}$
			10^{11}					$T_A = 100^\circ\text{C}$		
Capacitance (Input-Output)	C_{I-O}	HCPL-4504		0.6		pF	f = 1 MHz		6	
		HCPL-0454								
		HCPL-J454		0.8						
		HCNW4504		0.5	0.6					

*All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

†The Input-Output Momentary Withstand Voltage is a dielectric voltage rating that should not be interpreted as an input-output continuous voltage rating. For the continuous voltage rating refer to the IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Insulation Related Characteristics Table (if applicable), your equipment level safety specification or Agilent Application Note 1074 entitled "Optocoupler Input-Output Endurance Voltage."

Notes:

- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 0.8 mA/ $^\circ\text{C}$ (8-Pin DIP).
Derate linearly above 85°C free-air temperature at a rate of 0.5 mA/ $^\circ\text{C}$ (SO-8).
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 1.6 mA/ $^\circ\text{C}$ (8-Pin DIP).
Derate linearly above 85°C free-air temperature at a rate of 1.0 mA/ $^\circ\text{C}$ (SO-8).
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 0.9 mW/ $^\circ\text{C}$ (8-Pin DIP).
Derate linearly above 85°C free-air temperature at a rate of 1.1 mW/ $^\circ\text{C}$ (SO-8).
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 2.0 mW/ $^\circ\text{C}$ (8-Pin DIP).
Derate linearly above 85°C free-air temperature at a rate of 2.3 mW/ $^\circ\text{C}$ (SO-8).
- CURRENT TRANSFER RATIO in percent is defined as the ratio of output collector current, I_O , to the forward LED input current, I_F , times 100.
- Device considered a two-terminal device: Pins 1, 2, 3, and 4 shorted together and Pins 5, 6, 7, and 8 shorted together.
- Under TTL load and drive conditions: Common mode transient immunity in a Logic High level is the maximum tolerable (positive) dV_{CM}/dt on the leading edge of the common mode pulse, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic High state (i.e., $V_O > 2.0$ V). Common mode transient immunity in a Logic Low level is the maximum tolerable (negative) dV_{CM}/dt on the trailing edge of the common mode pulse signal, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic Low state (i.e., $V_O < 0.8$ V).
- Under IPM (Intelligent Power Module) load and LED drive conditions: Common mode transient immunity in a Logic High level is the maximum tolerable dV_{CM}/dt on the leading edge of the common mode pulse, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic High state (i.e., $V_O > 3.0$ V). Common mode transient immunity in a Logic Low level is the maximum tolerable dV_{CM}/dt on the trailing edge of the common mode pulse signal, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic Low state (i.e., $V_O < 1.0$ V).
- The 1.9 k Ω load represents 1 TTL unit load of 1.6 mA and the 5.6 k Ω pull-up resistor.
- The $R_L = 20$ k Ω , $C_L = 100$ pF load represents an IPM (Intelligent Power Module) load.
- See Option 020 data sheet for more information.
- Use of a 0.1 μF bypass capacitor connected between Pins 5 and 8 is recommended.
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 4500 V rms for 1 second (leakage detection current limit, $I_{L0} \leq 5$ μA).
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 4500 V rms for 1 second (leakage detection current limit, $I_{L0} \leq 5$ μA).
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 6000 V rms for 1 second (leakage detection current limit, $I_{L0} \leq 5$ μA).
- This test is performed before the 100% Production test shown in the VDE 0884 Insulation Related Characteristics Table, if applicable.
- The difference between t_{PLH} and t_{PHL} between any two devices (same part number) under the same test condition. (See Power Inverter Dead Time and Propagation Delay Specifications section.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

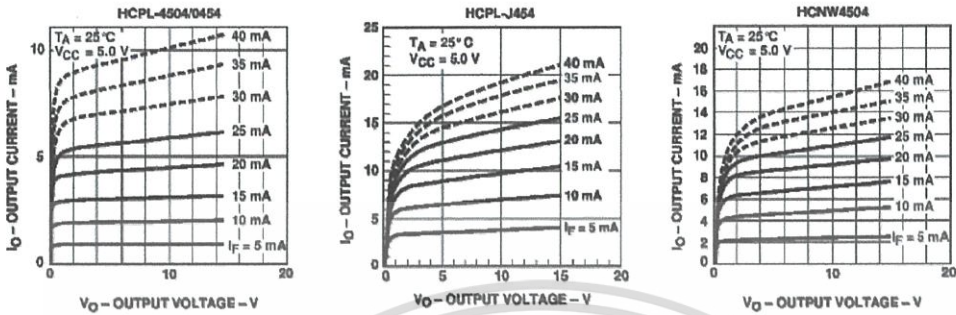


Figure 1. DC and Pulsed Transfer Characteristics.

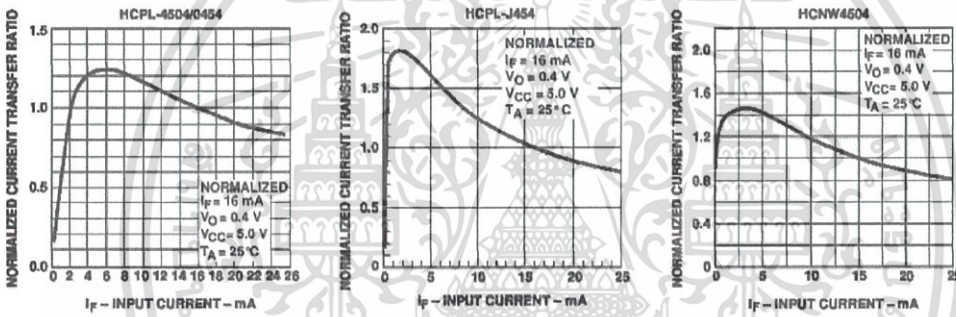


Figure 2. Current Transfer Ratio vs. Input Current.

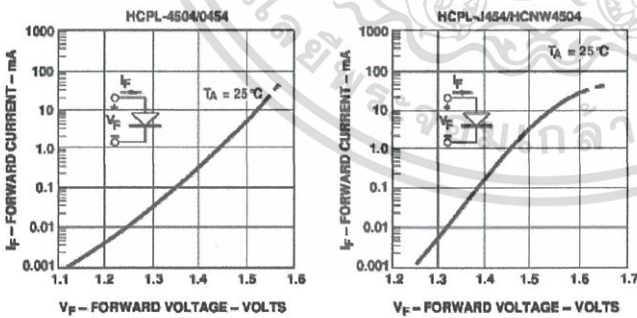


Figure 8. Input Current vs. Forward Voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

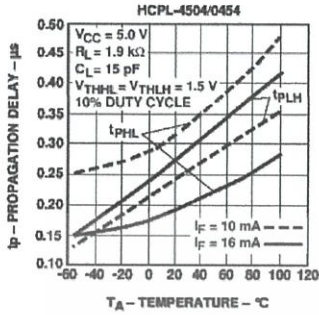


Figure 8. Propagation Delay Time vs. Temperature.

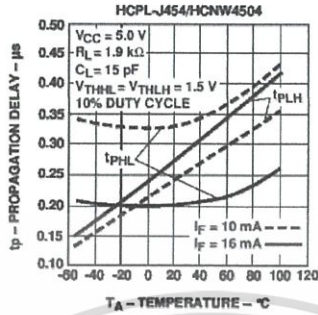


Figure 9. Propagation Delay Time vs. Load Resistance.

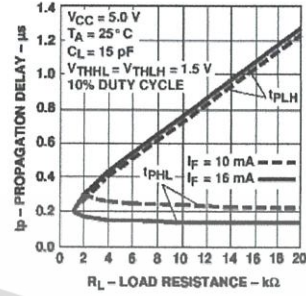


Figure 10. Propagation Delay Time vs. Load Resistance.

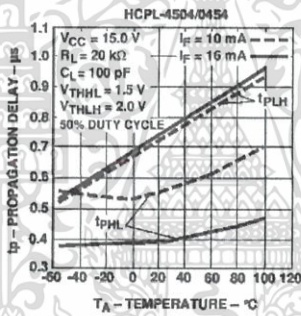
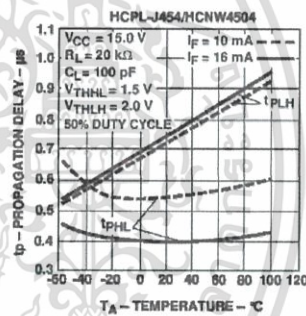


Figure 11. Propagation Delay Time vs. Temperature.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

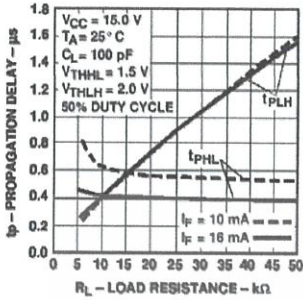


Figure 12. Propagation Delay Time vs. Load Resistance.

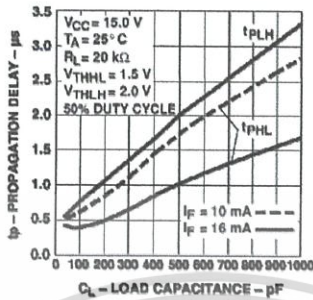


Figure 13. Propagation Delay Time vs. Load Capacitance.

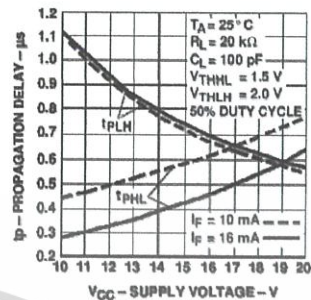


Figure 14. Propagation Delay Time vs. Supply Voltage.

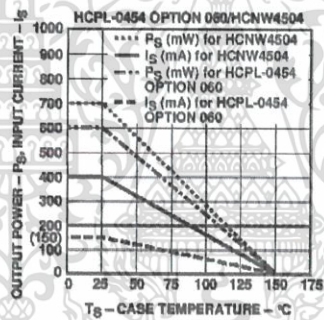
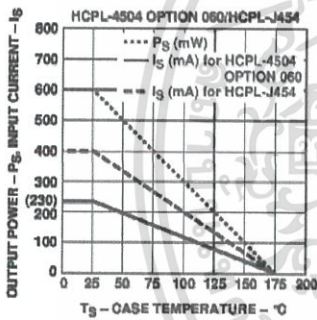


Figure 15. Thermal Derating Curve, Dependence of Safety Limiting Valve with Case Temperature per IEC/EN/DIN EN 60747-5-2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

same way), it is important to know the minimum and maximum turn-on (t_{PHL}) and turnoff (t_{PLH}) propagation delay specifications, preferably over the desired operating temperature range. The importance of these specifications is illustrated in Figure 17. The waveforms labeled "LED1", "LED2", "OUT1", and "OUT2" are the input and output voltages of the optocoupler circuits driving Q1 and Q2 respectively. Most inverters are designed such that the power transistor turns on when the optocoupler LED turns on; this ensures that both power transistors will be off in the event of a power loss in the control circuit. Inverters can also be designed such that the power transistor turns off when the optocoupler LED turns on; this type of design, however, requires additional fail-safe circuitry to turn off the power transistor if an over-current condition is detected. The timing illustrated in Figure 17 assumes that the power transistor turns on when the optocoupler LED turns on.

The LED signal to turn on Q2 should be delayed enough so that an optocoupler with the very fastest turn-on propagation delay (t_{PHLmin}) will never turn on before an optocoupler with the very slowest turn-off propagation delay (t_{PLHmax}) turns off. To ensure this, the turn-on of the optocoupler should be delayed by an amount no less than $(t_{PLHmax} - t_{PHLmin})$, which also happens to be the

maximum data sheet value for the propagation delay difference specification, $(t_{PLH} - t_{PHL})$. The HCPL-4504/0454/J454 and HCNW4504 specify a maximum $(t_{PLH} - t_{PHL})$ of 1.3 μ s over an operating temperature range of 0-70°C.

Although $(t_{PLH} - t_{PHL})_{max}$ tells the designer how much delay is needed to prevent shoot-through current, it is insufficient to tell the designer how much dead time a design will have. Assuming that the optocoupler turn-on delay is exactly equal to $(t_{PLH} - t_{PHL})_{max}$, the minimum dead time is zero (i.e., there is zero time between the turnoff of the very slowest optocoupler and the turn-on of the very fastest optocoupler).

Calculating the maximum dead time is slightly more complicated. Assuming that the LED turn-on delay is still exactly equal to $(t_{PLH} - t_{PHL})_{max}$, it can be seen in Figure 17 that the maximum dead time is the sum of the maximum difference in turn-on delay plus the maximum difference in turnoff delay,

$$[(t_{PLHmax} - t_{PLHmin}) + (t_{PHLmax} - t_{PHLmin})].$$

This expression can be rearranged to obtain

$$[(t_{PLHmax} - t_{PHLmin}) - (t_{PHLmin} - t_{PHLmax})],$$

and further rearranged to obtain

$$[(t_{PLH} - t_{PHL})_{max} - (t_{PLH} - t_{PHL})_{min}].$$

which is the maximum minus the minimum data sheet values of $(t_{PLH} - t_{PHL})$. The difference between the maximum and minimum values depends directly on the total spread in propagation delays and sets the limit on how good the worst-case dead time can be for a given design.

Therefore, optocouplers with tight propagation delay specifications (and not just shorter delays or lower pulse-width distortion) can achieve short dead times in power inverters. The HCPL-4504/0454/J454 and HCNW4504 specify a minimum $(t_{PLH} - t_{PHL})$ of -0.7 μ s over an operating temperature range of 0-70°C, resulting in a maximum dead time of 2.0 μ s when the LED turn-on delay is equal to $(t_{PLH} - t_{PHL})_{max}$, or 1.3 μ s.

It is important to maintain accurate LED turn-on delays because delays shorter than $(t_{PLH} - t_{PHL})_{max}$ may allow shoot-through currents, while longer delays will increase the worst-case dead time.

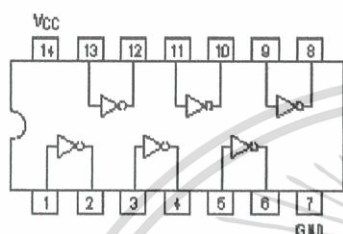


HEX INVERTER

SN54/74LS04

HEX INVERTER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06



D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN64LSXXJ Ceramic
SN74LSXXN Plastic
SN74LSXXD SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	64	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	64	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	64, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	64			4.0	mA
		74			8.0	

FAST AND LS TTL DATA

5-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS04

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V_{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V_{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
V_{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{OH} = \text{MAX}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$ $V_{CC} = V_{CC} \text{ MIN}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} per Truth Table
		74	0.35	0.5	V	
I_{IH}	Input HIGH Current			20	μA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
I_{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
I_{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
I_{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			2.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
				6.6	mA	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t_{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ $C_L = 15 \text{ pF}$
t_{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

FAST AND LS TTL DATA

5-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



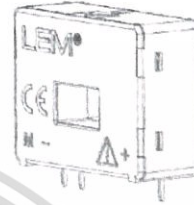
Current Transducer LA 55-P/SP1

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$I_{PN} = 50 \text{ A}$



16024



Electrical data

I_{FN}	Primary nominal current rms	50	A				
I_{FM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 100	A				
R_M	Measuring resistance	$T_A = 70^\circ\text{C}$		$T_A = 85^\circ\text{C}$			
			$R_{M \text{ typ}}$	$R_{M \text{ max}}$	$R_{M \text{ max}}$		
		with ± 12 V	@ ± 50 A _{rms}	0	215	0	210
			@ ± 100 A _{rms}	0	35	0	30
		with ± 15 V	@ ± 50 A _{rms}	0	335	30	330
			@ ± 100 A _{rms}	0	95	30	90
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA				
K_N	Conversion ratio	1 : 2000					
V_C	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15	V				
I_C	Current consumption	10 (@ ± 15 V) + I_s	mA				

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0

Special features

- $I_{SN} = 0 .. \pm 100 \text{ A}$
- $K_N = 1 : 2000$

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{FN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.65	%	
		@ ± 12 .. 15 V (± 5 %)	± 0.90	%	
ϵ_L	Linearity error		< 0.15	%	
I_O	Offset current @ $I_s = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	± 0.10	mA	
I_{CM}	Magnetic offset current ¹⁾ @ $I_s = 0$ and specified R_M after an overload of $3 \times I_{FN}$	Typ	± 0.15	mA	
		Max	± 0.30	mA	
I_{CT}	Temperature variation of I_O	- 25°C .. + 85°C	± 0.05	± 0.30	mA
		- 40°C .. + 25°C	± 0.10	± 0.50	mA
t_{90}	Reaction time to 10 % of I_{FN} step		< 500	ns	
t_1	Response time ²⁾ to 90 % of I_{FN} step		< 1	µs	
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/µs	
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB)		DC .. 200	kHz	

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications

Application domain

- Industrial.

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	°C
R_S	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	145
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	150
m	Mass	18	g
	Standards	EN 50178 : 1997	

Notes: ¹⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit
²⁾ With a di/dt of 100 A/µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Current Transducer LA 55-P/SP1

Isolation characteristics

V_{i}	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
V_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	4.5	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	3.8	mm
dCl	Clearance distance	3.8	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl V_w	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	300 V	300 V
Reinforced isolation	150 V	150 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

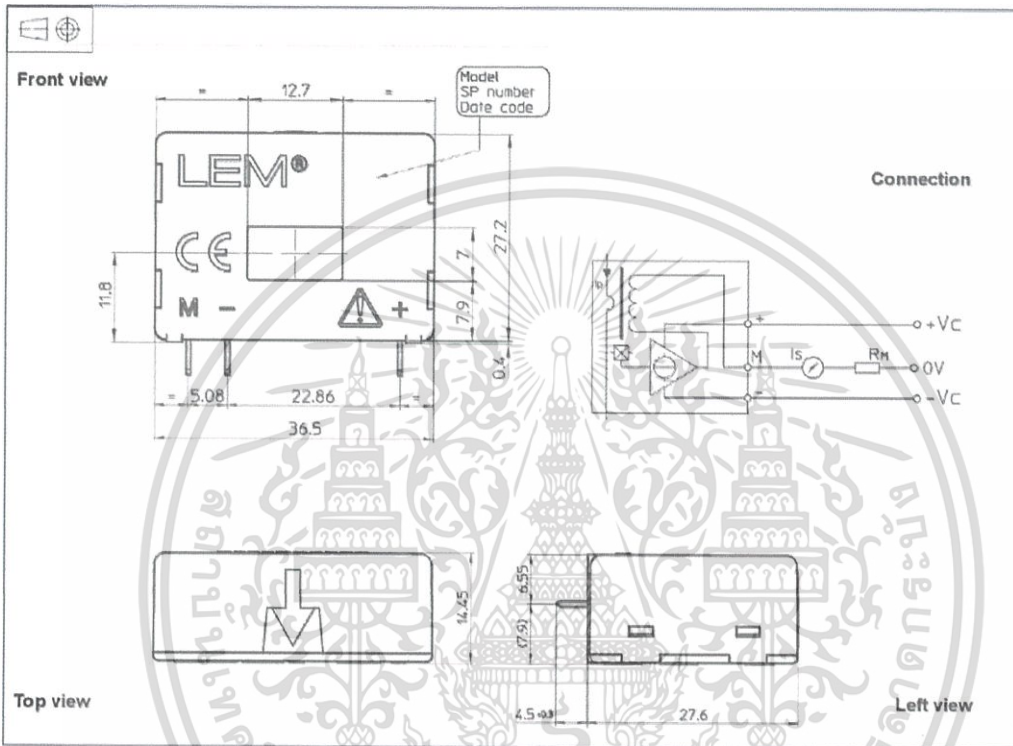
When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply). Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage. This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions LA 55-P/SP1 (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Primary through-hole 12.7 x 7 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins
0.63 x 0.56 mm
0.9 mm
- Recommended PCB hole

Remarks

- I_s is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 90 °C.
- Dynamic performances (di/dt and response time) are best with a single bar completely filling the primary hole.
- In order to achieve the best magnetic coupling, the primary windings have to be wound over the top edge of the device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย

Vehicle To Home For Electric Vehicle Application

ชนันธร จุฑิธากุล จิราวุธ ชมภู จารุวรรณ เลิศศิริ นายกฤตกร กาญจนกินหงส์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ลอดกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail : pare.chanantorn@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการนำพลังงานจากรถยนต์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย โดยใช้เครื่องชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสองทิศทางระดับสอง ที่มีความสามารถทั้งในการชาร์จรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และสามารถนำพลังงานที่สะสมอยู่ภายในแบตเตอรี่กลับมาจ่ายให้ที่พักอาศัย (Vehicle to Home; V2H) นอกจากนี้ยังเป็นกรณีเพิ่มความสามารถของรถยนต์ไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับแหล่งสะสมพลังงานที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งเครื่องชาร์จต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้มีการควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 2 กิโลวัตต์ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC62196 จากผลการจำลองและผลการทดสอบเครื่องชาร์จต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้ พบว่า เครื่องชาร์จต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: คอนเวอร์เตอร์สองทิศทาง เครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับสอง การจ่ายพลังงานคืนที่ที่พักอาศัย มาตรฐาน IEC62196

ABSTRACT

This project presents the function which convert energy from electric vehicle and apply to accommodation by using bidirectional level 2 charger with the abilities both charge the battery in the electric vehicle and discharge stored energy inside the battery to supply household items (Vehicle to Home; V2H). This function extends the application of the electric vehicle as a movable energy storage. The charger's prototype that we have created uses the CCCV (Constant Current Constant Voltage) charging method, rated power at 2kW referring IEC62196-2 standard. From simulations and experiments, the prototype is able to function efficiently.

Keywords: Bidirectional Converter, EV Charger Level 2, V2H, IEC62196 Standard

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้รถยนต์เป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายด้าน เช่น ปัญหาทางด้านมลพิษซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน อีกทั้งความต้องการน้ำมันในตลาดโลกสูง ราคาน้ำมันจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอาจนำไปสู่ภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคต ซึ่งจากที่กล่าวมาทำให้ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในปัจจุบัน มุ่งเน้นในส่วนของ การชาร์จพลังงานไฟฟ้าให้รถยนต์เพียงด้านเดียว ซึ่งรถยนต์เมื่อไม่ได้ถูกใช้งานพลังงานไฟฟ้าในส่วนนั้นก็จะถูกเก็บไว้อย่างเปล่าประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาให้สามารถนำรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนกลับให้ที่พักอาศัยในกรณีฉุกเฉิน โดยผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องอัดประจุที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นเครื่องอัดประจุระดับสองที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลสองทิศทาง (bidirectional Chargers) โดยการอัดประจุเป็นสองช่วงคือการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage: CCCV)
2. เครื่องอัดประจุ ใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 8 ชั่วโมง โดยมีพิกัดกระแสที่ 20 A พิกัดแรงดันที่ 100 V ทำให้ได้พิกัดกำลัง 2 kW
3. ใช้หัวชาร์จตามมาตรฐาน IEC62196 เพื่อให้ได้ความมาตรฐานของเครื่องอัดประจุระดับสอง

2. วงจรกำลัง

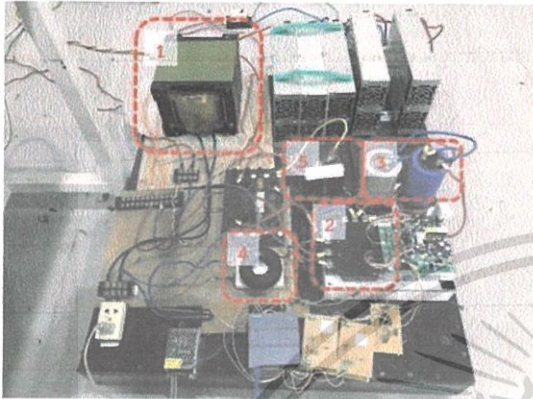
วงจรกำลังที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1. หม้อแปลงไฟฟ้าอัตราส่วน 220:120 V
2. หัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 (หัวปลั๊ก IEC62196-2)
3. ตัวเก็บประจุหลังการทำงานของวงจรเรียงกระแส (DC Bus) 20,000 μ F
4. ตัวเก็บประจุของวงจร Buck-Boost Bidirectional converter 10,000 μ F
5. ขดลวดเหนี่ยวนำ 400 μ H
6. โมดูลสำเร็จรูป 3 Phase DC-AC Inverter ซึ่งนำมาดัดแปลงเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ
- วงจร Buck-Boost Bidirectional Converter

7. แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟตขนาด 32 V 50 Ah จำนวน 9 ลูก



รูปที่ 1 วงจรกำลังที่สร้างขึ้น

2.1 หลักการทำงานของวงจรกำลัง

วงจรดังกล่าวแบ่งออกเป็น ชุดที่หนึ่ง วงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และชุดที่สอง วงจร Buck-Boost Bidirectional Converter โดยมีหลักการทำงานดังนี้

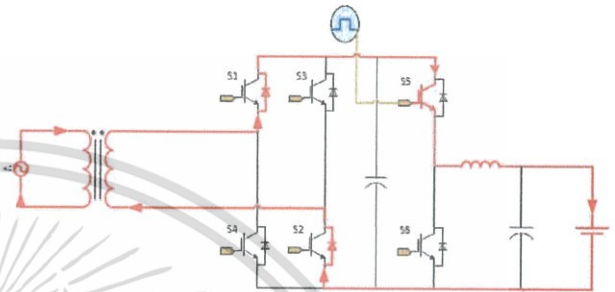
2.1.1 การทำงานในช่วงชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

ไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านหม้อแปลงด้านแรงดันสูงเพื่อทำการลดทอนแรงดันลง และเหนี่ยวนำให้ กระแสไฟฟ้าไหลออกจากหม้อแปลงด้านแรงดันต่ำ เข้าสู่ตัววงจรในชุดที่หนึ่ง โดย ไดโอดที่สวิตช์ S1 และ S2 จะทำงานในช่วงไฟกระแสสลับอยู่ในช่วงพัลส์บวก ไดโอดที่สวิตช์ S3 และ S4 จะทำงานในช่วงไฟกระแสสลับอยู่ในช่วงพัลส์ลบ ไดโอดทั้งสองตัวนี้ จะควบคุมทิศทางของกระแสไฟฟ้าให้เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน DC BUS แต่ก่อนที่จะทำการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ จะต้องมีการลดแรงดันลงให้เหมาะสมเสียก่อน โดยสวิตช์ S5 จะทำงาน ทำให้อำนาจในชุดที่สองทำงานในลักษณะ Buck Mode ลดทอนแรงดันให้เหมาะสม ก่อนอัดประจุลงแบตเตอรี่ โดยมีลักษณะการไหลของกระแสไฟดังรูปที่ 2

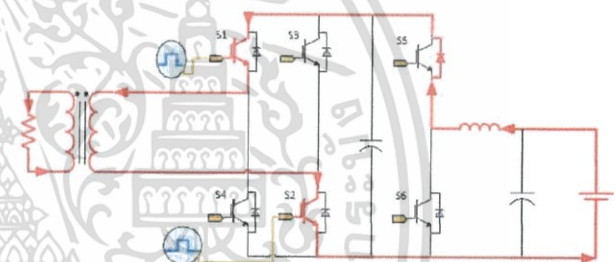
2.1.2 การทำงานในช่วงจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนกลับที่พิกัด

ในกรณีนี้ แบตเตอรี่จะคายประจุไฟฟ้าออกมา ผ่านวงจรในชุดที่สองซึ่งสวิตช์ S6 จะทำงาน ทำให้อำนาจในชุดที่สองนี้ ทำงานในลักษณะ Boost Mode เพื่อเพิ่มขนาดแรงดันให้เหมาะสม ก่อนจะปล่อยสู่ DC BUS จากนั้นจึงทำการควบคุมสวิตช์ในวงจรชุดที่หนึ่ง ให้ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจาก DC BUS เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสวิตช์ S1 และ S2 จะทำงานพร้อมกัน ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงพัลส์บวก และ สวิตช์

S3 และ S4 จะทำงานพร้อมกัน ให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงพัลส์ลบ จากนั้นจึงไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำเพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้ได้ระดับแรงดันที่เหมาะสม และเหนี่ยวนำให้กระแสไฟฟ้าไหลออกจากหม้อแปลงด้านแรงดันสูง และจ่ายเข้าที่ขั้วอาศัยต่อไป โดยมีลักษณะการไหลของกระแสไฟดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การทำงานในช่วงชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่



รูปที่ 3 การทำงานในช่วงจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนกลับที่พิกัด

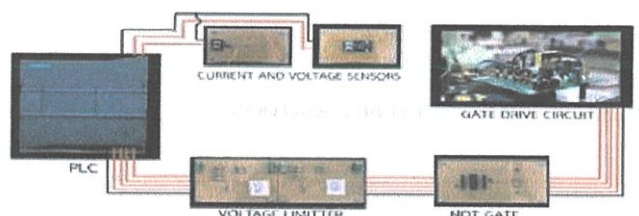
3. วงจรควบคุม

วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1. ชุดวงจรควบคุมสำหรับควบคุมกระแสย้อนกลับและแรงดันย้อนกลับ

- วงจรขับเคลื่อน
- วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ
- วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ
- วงจรลดระดับแรงดัน
- วงจร Not Gate และตัวต้านทานจำกัดกระแส

2. Programmable Logic Controller (PLC) model s7-1200



รูปที่ 4 วงจรควบคุมที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

3.1.1 การทำงานในช่วงชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

โปรแกรมควบคุมขณะชาร์จได้ออกแบบโดยเริ่มต้นจากการตรวจจับค่าแรงดัน และค่ากระแสไฟฟ้าจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่ ป้อนกลับเข้าไปยัง PLC

ในขั้นตอนแรก ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงจากเซนเซอร์ และค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดจากจอกควบคุม จะถูกป้อนเข้า PI Voltage Loop ของ PLC ซึ่งจะทำกรเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน และ PI Loop นี้ จะทำการปรับค่า ควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI Control ค่าสัญญาณขาออกของ PI Voltage Loop นี้ จะถูกนำไปแปลง ให้กลายเป็นค่ากระแสตั้งค่าของ PI Loop (Current) โดยให้ค่ากระแสตั้งค่าสูงสุดที่ 20 A

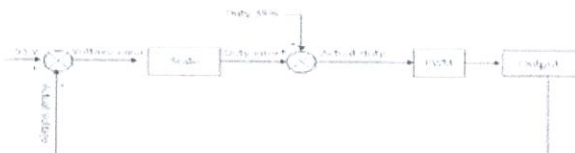
PI Current Loop นี้ จะทำการเปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงทำการปรับค่า ควบคุมสัญญาณขาออกตามหลักการ PI Control สัญญาณขาออกนี้จะถูกนำไปป้อนเข้า โปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM ภายใน PLC และจะถูกส่งออกจาก Digital Output ของ PLC ไปควบคุมวงจรถับเกตเพื่อควบคุมสวิทช์วงจรกำลังต่อไป



รูปที่ 5 โค้ดโปรแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ

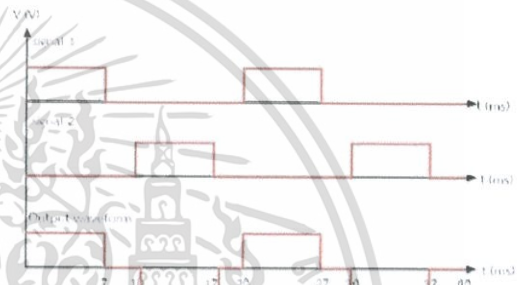
3.1.2 การทำงานในช่วงจ่ายพลังงานไฟฟ้ากินถ่านที่พักอาศัย

ในช่วงการดีสชาร์จนี้จะแบ่งการควบคุมออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกคือการควบคุมให้ได้ค่าแรงดันที่ DC Bus ที่ต้องการ โดยการตรวจจับค่าแรงดันจริงบริเวณหน้าแบตเตอรี่นำมาเทียบกับค่าแรงดัน 93V ซึ่งเป็นค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่ออกแบบให้เป็นแรงดันแบตเตอรี่ต่ำสุดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และนำค่าผิดพลาดที่ได้ไปแปลงให้กลายเป็นค่าตัวดีไซน์คัลที่ผิดพลาดไปจากค่าตัวดีไซน์คัลที่ควรใช้ขณะแรงดันแบตเตอรี่เท่ากับ 93V ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำไปรวมกับ 36 ได้เป็นค่าตัวดีไซน์คัลที่ควรใช้ นำค่านี้ไปป้อนเข้าโปรแกรม PWM ภายใน PLC ได้สัญญาณขาออกจาก Digital Output ของ PLC ไปควบคุมวงจรถับเกตเพื่อควบคุมสวิทช์วงจรกำลังต่อไป



รูปที่ 6 โค้ดโปรแกรมการทำงานของวงจรควบคุมขณะชาร์จ

ช่วงที่สอง คือการควบคุมสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ให้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมให้ควบคุมสัญญาณออกมาเป็น Modified Sine Wave ที่ความถี่ 50 Hz หรือ 20 ms โดยสัญญาณควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองสัญญาณ สัญญาณที่หนึ่งถูกเขียนโปรแกรมให้ On ที่ 7 ms แรก และ Off จนหมด 1 ไซเคิล สัญญาณที่สองจะถูกเขียนโปรแกรมให้ Off ที่ 10 ms แรก On ที่ 11-17 ms และ Off ต่อจนครบ 20 ms จากนั้นจึงเริ่มต้นการทำงานใหม่ดั้งเดิม สัญญาณที่หนึ่งและสองจะถูกส่งออกจาก Digital Output ของ PLC เพื่อนำไปควบคุมวงจรถับเกต ควบคุมสวิทช์วงจรกำลังต่อไป โดยลักษณะสัญญาณสามารถอธิบายได้ด้วยรูปดังต่อไปนี้

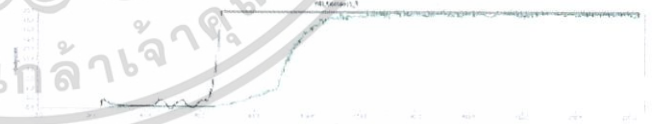


รูปที่ 7 สัญญาณควบคุมสวิทช์

4. ผลการทดลอง

4.1 การทำงานในช่วงชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่จะแบ่งเป็นสองช่วงการทำงาน ช่วงที่หนึ่งคือช่วงคงที่กระแสไฟฟ้าที่ 20 A เพื่อให้สามารถชาร์จได้รวดเร็วขึ้น ลักษณะแรงดันและกระแสสามารถแสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



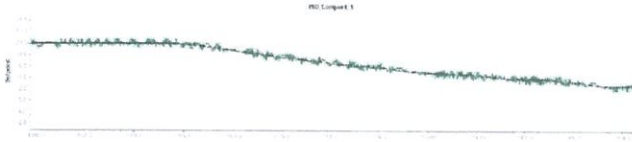
รูปที่ 8 กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาขณะชาร์จด้วยวิธีคงที่กระแส



รูปที่ 9 กราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะชาร์จด้วยวิธีคงที่กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันการเสื่อมของแบตเตอรี่จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เนื่องจากกระแสสูง ในช่วงที่ตองจึงเป็นการควบคุมระดับแรงดันไว้ที่ 100 V และลดขนาดกระแสอย่างค่อนเนื่องจนเป็นศูนย์ ดังแสดงในกราฟต่อไปนี้



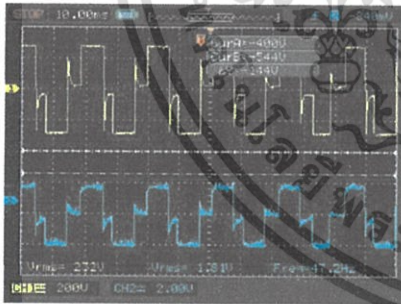
รูปที่ 10 กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาขณะชาร์จด้วยวิธีคงที่แรงดัน



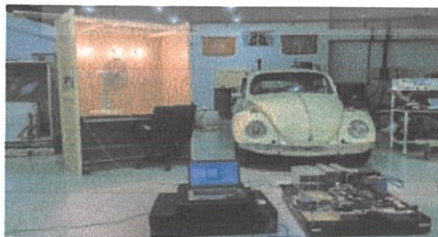
รูปที่ 11 กราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะชาร์จด้วยวิธีคงที่แรงดัน โดยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่นี้ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 83.21 %

4.2 การทำงานในช่วงจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนกลับที่พิกอacity

ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับสู่ที่อยู่อาศัยจะทำการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่า 232 V_{rms} ความถี่ 47.2 Hz โดยอาศัยหลักการ Modified Sinewave ดังแสดงผลการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 11 รูปคลื่นสัญญาณ Modified Sine



รูปที่ 12 โหลดทางไฟฟ้าที่ใช้จริงในการทดลอง

5. สรุป

จากการออกแบบและทดสอบวงจร พบว่าการออกแบบวงจร Bidirectional Converter สามารถชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่พิกัดของแบตเตอรี่ 96 V 150 Ah ได้ภายใน 8 ชั่วโมง ด้วยการชาร์จแบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

สำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนกลับที่พิกอacity สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ภายในรถยนต์กลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับในรูปคลื่นสัญญาณแบบ Modified Sine ประมาณ 220 Vrms และนำไปใช้ได้จริงกับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น พัดลม กาต้มน้ำ หลอดไฟ เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และ นายชัยทัต วัฒนอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงพี่ๆในห้องปฏิบัติการที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดี ตลอด นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเปิด ใบเสร็จของโครงการ ท้ายนี้และผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิคารมารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins; "Power Electronics converters, Applications, and design", 2nd edition; John Wiley & Sons, INC., 1995
- [2] Brigitte Hauke, Texas Instrument, "Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage", Application Report, Low Power DC/DC Application, SLVA477B, , December 2011, Revised August 2015
- [3] Hamid R. Karshenas and et al, "Bidirectional DC - DC Converters for Energy Storage Systems", Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids, Prof. Rosario Carbone (Ed.), ISBN: 978-953-307-269-2, InTech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายกฤตกร กาญจนภินพงค์
วัน เดือน ปีเกิด 22 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 88 ซอยพัฒนาการ 65 แยก4 ถนนพัฒนาการ แขวง

ประเวศ

เขตประเวศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10250

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท เจ.เอส.ที. เซอร์วิส เซส จำกัด

แผนก Cathodic Protection

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 30 กรกฎาคม 2559



ชื่อ-นามสกุล นางสาวจรรุวรรณ เลิศศิริ

วัน เดือน ปีเกิด 11 กรกฎาคม 2538

ที่อยู่ 9/19 ร่มเกล้า 19 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพรตพิทยพยัต

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Tokai University, Japan (Kanagawa)

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 9 กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นายจिरาวุธ ชมภู
วัน เดือน ปีเกิด 31 ธันวาคม 2536
ที่อยู่ 104 พัฒนาการ 63 แขวงประเวศ เขตประเวศ
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10250

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
พัฒนาการ

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท มิตรซูบิชิ เฮฟวี อินดัสตรีส์-มหาจักร แอร์ คอนดิชันเนอร์ส จำกัด
แผนกประกอบสร้าง

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2559



ชื่อ-นามสกุล นางสาวชนันธร รุทธิธากุล
วัน เดือน ปีเกิด 23 กรกฎาคม 2538
ที่อยู่ 1105 หมู่บ้านเพชรเกษม 3 ถนนเพชรเกษม
แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10160

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเซนต์ฟรังซิสซาเวียร์
คอนแวนต์

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Tokai University, Japan (Kanagawa)

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 9 กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้