

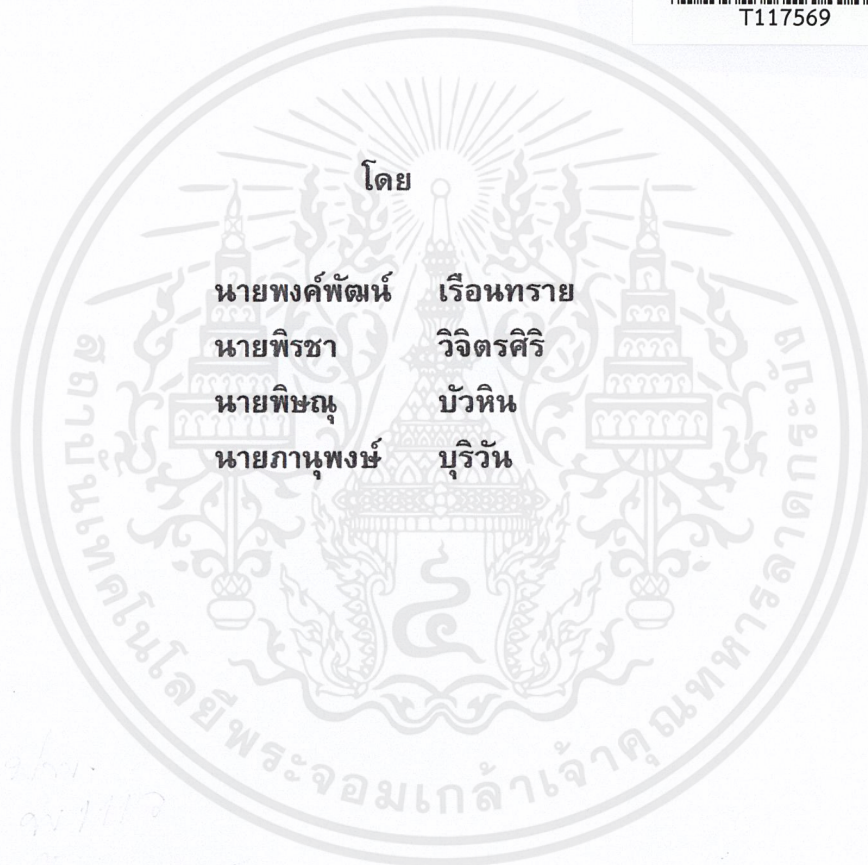
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ  
รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

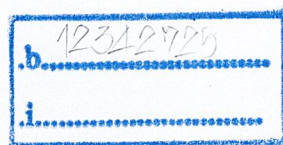
AC - DC CONVERTER FOR PLUG – IN HYBRID ELECTRIC  
VEHICLE CHARGER



T117569



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 117569  
วัน,เดือน,ปี... - 5 ต.ค. 2554



ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ  
รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

AC - DC CONVERTER FOR PLUG – IN HYBRID ELECTRIC  
VEHICLE CHARGER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ  
รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

ผู้จัดทำ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์  
ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

นายพงศ์พัฒน์ เรือนทราย

นายพิรชา วิจิตรศิริ

นายพิษณุ บัวหิน

นายภาณุพงษ์ บุรีวัน

ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

**บทคัดย่อ**

บทความฉบับนี้นำเสนองานวิจัยเรื่องวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก (Plug - in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) เพื่อเป็นการรองรับการใช้งาน PHEV ซึ่งจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยการประยุกต์ใช้งานวงจร Full-bridge inverter/rectifier ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถทำให้พลังงานไหลได้ทั้งสองทิศทาง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดชาร์จพลังงาน และ โหมดจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ ซึ่งจะอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบกระแสดังที่และแรงดันคงที่ในการชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 เพื่อจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง และจากผลการจำลองและผลการทดลองพบว่าสามารถควบคุมแรงดันคงที่ขณะชาร์จแบตเตอรี่ และสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบที่พิกัด 1 kVA สำหรับใช้งานจริงต่อไป

# AC - DC CONVERTER FOR PLUG - IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE CHARGER

Pongpat Ruansai  
Piracha Wichitrsiri  
Phitsanu Buahin  
Panupong Buriwan  
Asst. Prof. Dr. Surin Khomfoi adviser  
Mr.Chaitat Maneeinn adviser  
2010

## ABSTRACT

This paper presents an ac – dc converter for Plug – in Hybrid Electric Vehicle “(PHEV)” charger for supporting PHEV application which will be widely used in the future. An ac – dc converter using a full-bridge inverter/rectifier can also provide a bidirectional power flow. The charger can be divided into 2 modes: charging mode and discharging mode. This converter is controlled by constant current-constant voltage (CC-CV) for charging the battery. The simulation results from PSIM 9.0.1 software and experimental results indicate that the proposed technique can constantly control the voltage during charging mode and a bidirectional power flow can be achieved. Consequently, the 1kVA charger prototype is developed to apply for practical application.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะ รวมถึงการสนับสนุนจากบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายๆ ฝ่าย ซึ่งทางกลุ่มรู้สึกซาบซึ้งและเป็นเกียรติอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าวที่ช่วยทำให้โครงการวิจัยของคณะผู้จัดทำนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย และอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยทั้งสองท่าน ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ ประเมษฐ์ จิตเจนถาวร ผู้ที่ได้แนะนำและคอยช่วยเหลือในการทำโครงการ ตั้งแต่เริ่มทำโครงการ จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy Application Laboratory: REAL) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำโครงการ ตลอดจนพี่ๆ และเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษา

และท้ายที่สุดนี้ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมาทั้งทางด้านการเงิน คำปรึกษา และให้กำลังใจ จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	X
สารบัญตาราง.....	XIII
<b>บทที่ 1</b> บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	5
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	5
<b>บทที่ 2</b> ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่.....	7
2.2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่.....	7
2.2.2 ประเภทของแบตเตอรี่.....	7
2.3 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด.....	8
2.3.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรดชนิดนอนสปิล (Non spill lead-acid battery).....	8
2.3.1.1 แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery).....	8
2.3.1.2 แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery).....	8
2.3.2 แบตเตอรี่แบบผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Recombining sealed led-acid battery).....	8
2.3.2.1 แบตเตอรี่แบบ Non-recombining หรือ Partial recombining.....	8
2.3.2.2 แบตเตอรี่แบบ Fully recombining sealed.....	8
2.4 ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่.....	9
2.5 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด.....	9
2.5.1 ระดับแรงดันปกติ (Float Charge).....	9
2.5.2 ระดับแรงดันรูนแรง (Equalize Charge).....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2.1 สภาวะการทำงานของ Equalize Charge.....	11
2.5.2.2 ระยะเวลาในการทำ Equalize Charge.....	11
2.6 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่.....	11
2.6.1 Under Charge.....	11
2.6.2 Over Charge.....	12
2.7 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่.....	12
2.8 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่.....	14
2.8.1 การชาร์จแบบกระแสคงที่ (Constant current charging) .....	14
2.8.2 การชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charging).....	15
2.8.3 การชาร์จโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tappered current charging)....	16
2.8.4 การชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (Constant current - Constant voltage) .....	16
2.9 วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	17
2.9.1 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น.....	17
2.9.2 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่น แบบแท็ปกลางหม้อแปลง.....	17
2.9.3 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส แบบ 1 ชั้น (Single State Converter).....	18
2.9.4 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส แบบ 2 ชั้น (Two State Converter).....	19
2.10 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส.....	19
2.11 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่.....	20
2.11.1 การควบคุมโดยมีการควบคุมกระแสโดยมีการกำหนดขอบเขต.....	20
2.12 การควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์.....	22
2.12.1 การมอดดูเลชัน.....	22
2.12.1.1 การมอดดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM.).....	22
2.12.2 การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์.....	23
2.13 วงจรทอนระดับหรือวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	24
2.13.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	25
2.13.2 หลักการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	25

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส.....	25
2.13.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	26
2.13.3 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางต้านออก.....	29
2.14 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.14.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.14.2 หลักการทำงานของวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	32
2.14.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส.....	32
2.14.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	33
2.15 บทสรุป.....	36
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ.....</b>	<b>37</b>
3.1 บทนำ.....	37
3.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	37
3.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์.....	37
3.2.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $\pm 15$ โวลต์.....	38
3.3 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์ชัน.....	40
3.3.1 วงจรสำหรับการขับเคลื่อน (Gate-drive Circuit).....	40
3.3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit).....	41
3.3.3 วงจรสัญญาณส่งจ่าย (Signal Transmission Circuit).....	41
3.3.4 วงจรกู้คืนสัญญาณ (Signal Recovery Circuit).....	41
3.3.5 วงจรขยายกระแสไฟฟ้า (Current Amplification Circuit).....	42
3.3.6 วงจรป้องกันไฟฟ้ขาด (Under voltage lookout circuit).....	42
3.3.7 วงจรส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Transmission Circuit).....	42
3.3.8 วงจรกู้คืนกำลังไฟฟ้า (Power Recovery Circuit).....	42
3.4 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส.....	42
3.4.1 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์กำลัง.....	43
3.4.2 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	44
3.5 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์ – ดีซีคอนเวอร์เตอร์.....	45
3.5.1 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	46
3.5.2 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	48
3.6 การออกแบบวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์.....	50
3.6.1 การออกแบบ Hardware.....	50

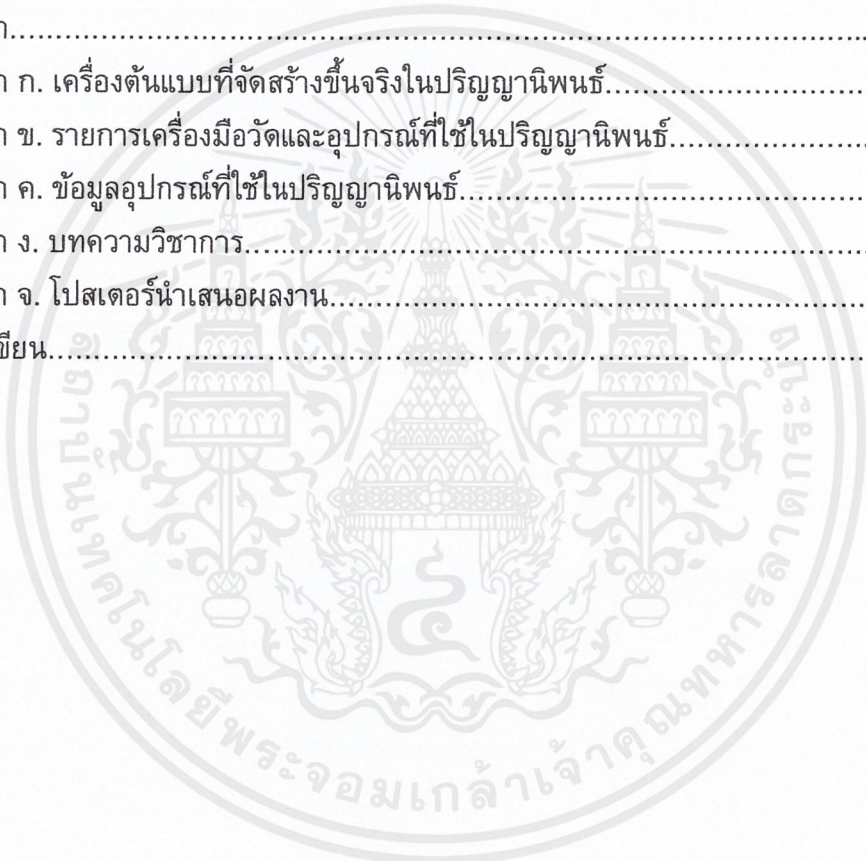
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ.....	50
3.6.1.2 วงจรเจตน์ไทย.....	51
3.6.2 การออกแบบ Software.....	53
3.6.2.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่.....	53
3.6.2.1 โหมดอินเวอร์เตอร์.....	53
3.7 บทสรุป.....	57
<b>บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....</b>	<b>58</b>
4.1 บทนำ.....	58
4.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	58
4.3 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	58
4.3.1 การจำลองการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่.....	59
4.3.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่.....	60
4.3.3 การจำลองการทำงานของวงจรในโหมดจ่ายพลังงานกลับคืน.....	64
4.3.4 ผลการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดจ่ายพลังงานกลับคืน.....	64
4.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	67
4.5 ผลการทดลองกับชุดต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพลังงานไหลสองทิศทาง...	68
4.5.1 วัตถุประสงค์.....	68
4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	68
4.5.3 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์.....	69
4.5.3.1 ผลการทดลอง.....	69
4.5.3.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่.....	71
4.5.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	73
4.5.4 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่กรด-ตะกั่วขนาด 24 โวลต์.....	74
4.5.4.1 ผลการทดลอง.....	74
4.5.4.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่.....	76
4.5.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	78
4.5.4 การทดลองโหมดอินเวอร์เตอร์.....	79
4.5.4.1 ผลการทดลอง.....	79
4.5.4.2 ผลการหาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	83
4.5.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 บทสรุป.....	87
<b>บทที่ 5</b> บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	88
5.1 บทสรุป.....	88
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง.....	89
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	89
บรรณานุกรม.....	91
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์.....	93
ภาคผนวก ข. รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	95
ภาคผนวก ค. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	99
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการ.....	110
ภาคผนวก จ. โพสต์ออร์นำเสนอผลงาน.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	117



## สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
1.1 ปริมาณการใช้รถยนต์ประเภทต่าง ๆ ในในอนาคตของแคลิฟอร์เนีย กรีนคาร์.....	1
2.1 แสดงทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ.....	12
2.2 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส.....	13
2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการชาร์จแบบกระแสคงที่.....	14
2.4 กระแสชาร์จเบตเตอร์ในการชาร์จแบบแรงดันคงที่.....	15
2.5 กระบวนการชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่.....	16
2.6 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น.....	17
2.7 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบแท็ปกลางหม้อแปลง.....	18
2.8 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 1 ชั้น.....	18
2.9 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น.....	19
2.10 (ก) อินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์.....	20
2.10 (ข) อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	20
2.11 (ก) รูปคลื่นแรงดันต้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์.....	20
2.11 (ข) รูปคลื่นแรงดันต้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	20
2.12 (ก) วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์อย่างง่าย.....	21
2.12 (ข) สัญญาณการสวิตชิ่งที่ได้จากฮิสเตอร์ซิส.....	21
2.13 การสวิตชิ่งแรงดันแบบไบโพลาร์.....	24
2.14 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	24
2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	26
2.16 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	26
2.17 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ.....	28
2.17 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	28
2.17 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ.....	29
2.18 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ก) กระแสตัวเก็บประจุ.....	30
2.18 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ข) คลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ.....	30
2.19 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	32
2.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	33
2.22 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ.....	35
3.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.2	38
3.3	39
3.4	39
3.5	40
3.6	41
3.7	42
3.8	44
3.9	45
3.10	45
3.11	46
3.12	46
3.13	47
3.14	50
3.15	51
3.16	52
3.17	52
3.18	54
3.19	55
3.20	56
4.1	59
4.2	60
4.3	60
4.4	61
4.5	62
4.6	62
4.7	63
4.8	63

## สารบัญญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในโหมดจ่ายพลังงานคืน.....	64
4.10 แรงดันไฟฟ้าที่ชั่วเบตเตอร์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ดีซีลิ่งค์.....	65
4.11 แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง.....	65
4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	66
4.13 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	66
4.14 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	67
4.15 จุดวัดแรงดันและกระแสชาร์จเบตเตอร์.....	69
4.16 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ (ชาร์จเบตเตอร์ 12 โวลต์).....	69
4.17 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่ (ชาร์จเบตเตอร์ 12 โวลต์).....	70
4.18 กราฟคุณลักษณะการชาร์จเบตเตอร์ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์ 100 Ah .....	72
4.19 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ (ชาร์จเบตเตอร์ 24 โวลต์).....	74
4.20 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่ (ชาร์จเบตเตอร์ 24 โวลต์).....	74
4.21 สัญญาณแรงดันดีซีลิ่งค์เทียบกับกระแสชาร์จในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่.....	75
4.22 กราฟคุณลักษณะการชาร์จเบตเตอร์ตะกั่ว-กรดขนาด 24 โวลต์ 100 Ah .....	78
4.23 แสดงจุดวัดแรงดันออกทางด้านหน้าอินเวอร์เตอร์.....	79
4.24 แรงดันออกทางด้านหน้าอินเวอร์เตอร์.....	79
4.25 แสดงจุดวัดกระแสและแรงดันออกทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	80
4.26 แรงดันและกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า.....	80
4.27 แรงดันและกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์...	81
4.28 แรงดันและกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์...	81
4.29 แรงดันและกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์.....	82
4.30 ค่าความผิดพลาดของแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า.....	83
4.31 ค่าความผิดพลาดของแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์.....	84
4.32 ค่าความผิดพลาดของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์.....	84
4.33 ค่าความผิดพลาดของแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์.....	85
4.34 ค่าความผิดพลาดของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์.....	85
4.35 ค่าความผิดพลาดของแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 300 วัตต์.....	86
4.36 ค่าความผิดพลาดของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 300 วัตต์.....	86

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	5
2.1 ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน.....	9
2.2 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด.....	10
4.1 ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร.....	59
4.2 ข้อมูลแรงดันและกระแสชาร์จที่เวลาต่างๆ (ชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์).....	71
4.3 ข้อมูลแรงดันและกระแสชาร์จที่เวลาต่างๆ (ชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์).....	76



# บทที่ 1

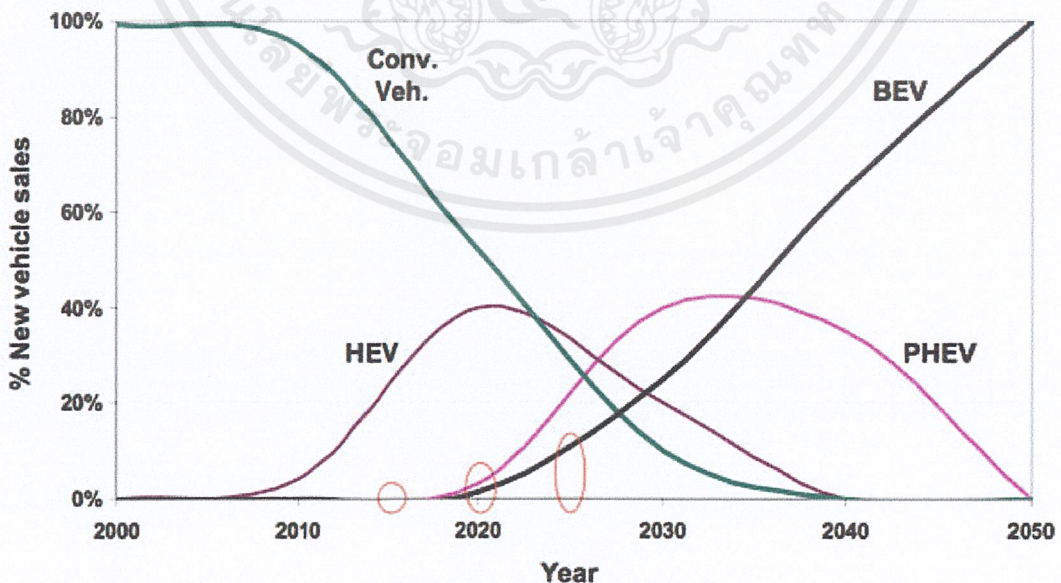
## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก (Plug-in Hybrid Electric Vehicles: PHEV) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศไทย เพราะสามารถตอบสนองความต้องการของคนในยุคสมัยปัจจุบัน ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนแบบปกติ และใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับน้ำมันในขณะที่ต้องการความเร็วมากกว่าปกติ ทำให้ลดปริมาณการใช้ น้ำมันที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) อันเป็นสาเหตุสำคัญที่นำไปสู่ภาวะโลกร้อน (Global Warming)

PHEV เป็นรถยนต์ที่ได้รับการพัฒนามาจากรถยนต์ไฮบริดจ์ (Hybrid Electric Vehicle: HEV) โดยมีการเพิ่มเติมปลั๊กเพื่อให้ชาร์จแบตเตอรี่ได้ แม้ในขณะที่ไม่ได้ขับเคลื่อนรถยนต์ ทำให้แนวโน้มของการใช้งาน PHEV เพิ่มขึ้นในอนาคตดังแสดงในภาพที่ 1.1 เป็นแนวทางการใช้รถยนต์ประเภทต่าง ๆ ในอนาคตของแคลิฟอร์เนีย กรีนคาร์ (California's Green Car) กล่าวไว้ว่า ปริมาณการใช้งานรถยนต์ประเภททั่วไป (Conventional Vehicles) มีแนวโน้มการใช้งานลดลง ตรงข้ามกับปริมาณการใช้งาน PHEV ที่แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงประมาณปี ค.ศ. 2025 และจะทำให้เกิดความต้องการอุปกรณ์เพื่อที่จะรองรับการใช้งาน PHEV ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งอุปกรณ์หลักหลักที่จะรองรับการใช้งานคือ “เครื่องชาร์จแบตเตอรี่” (Charger)

California's Green Car Roadmap to 2050



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการใช้งานรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ในในอนาคตของแคลิฟอร์เนีย กรีนคาร์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	Conv. Veh	คือ	รถยนต์ประเภททั่วไป (Conventional Vehicles)
	HEV	คือ	รถยนต์ไฮบริดจ์ (Hybrid Electric Vehicle)
	BEV	คือ	รถยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า (Battery Electric Vehicle)
	PHEV	คือ	รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก (Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่เป็นอุปกรณ์หลักในการรองรับการใช้งาน PHEV ที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคต และเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากับ PHEV จึงทำให้มีความสนใจที่จะทำโครงการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ โดยเลือกใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional Power Flow) มีลักษณะการทำงานแบ่งเป็นขณะที่ชาร์จแบตเตอรี่และขณะที่จ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ (Stand-alone) จากการศึกษาค้นคว้าทำให้ทราบถึงข้อดีของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ทั่วไป มีดังต่อไปนี้

- การควบคุมการทำงานเป็นแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (Constant Current – Constant Volt: CC - CV) ทำให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ไม่สูงกว่าข้อควรระวังของแบตเตอรี่ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

- สามารถชาร์จแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดัน 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ โดยที่สามารถเลือกพิกัดกระแสที่ต้องการชาร์จได้ตั้งแต่ 0 ถึง 20 แอมป์

- สามารถนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาจ่ายโหลดที่ต้องการได้ โดยเครื่องชาร์จจะทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเห็นได้ว่าสามารถนำวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง มาประยุกต์ใช้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ได้ และสามารถเพิ่มคุณสมบัติให้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่เพื่อรองรับการใช้งาน PHEV ที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคต ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นในการนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการสร้างเครื่องชาร์จแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางสำหรับชาร์จ PHEV ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาถึงลักษณะการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ PHEV
2. เพื่อศึกษาการทำงานและประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง
3. เพื่อเป็นการรองรับการใช้งาน PHEV ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต
4. เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้เป็นแนวทางศึกษาวิจัยในด้านอื่นๆต่อไป
5. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานจริงต่อไป

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง เพื่อใช้สำหรับชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ และสามารถให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระได้ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 ในการจำลองการทำงาน และโครงสร้างพื้นฐานประกอบไปด้วย วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge converter) และวงจรดีซี – ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC - DC converter) แบ่งการทำงานออกเป็น

1. ชาร์จแบตเตอรี่ 6 เซลล์ 1 ลูก ที่ขนาดพิกัดแรงดันเท่ากับ 12 โวลต์ และพิกัดกระแสเท่ากับ 10 แอมป์ และสามารถชาร์จแบตเตอรี่ 6 เซลล์ 2 ลูก ที่ขนาดพิกัดแรงดันเท่ากับ 24 โวลต์ และพิกัดกระแสเท่ากับ 8 แอมป์ โดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่
2. จ่ายพลังงานกลับด้วยแบตเตอรี่ 6 เซลล์ 2 ลูก ที่ขนาดพิกัดแรงดันเท่ากับ 24 โวลต์ และพิกัดกระแสเท่ากับ 20 แอมป์ โดยที่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ขณะมีภาระทางไฟฟ้า

### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลคุณลักษณะของแบตเตอรี่ วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ และตัวตรวจจับกระแสและแรงดันสำหรับการป้อนกลับ
3. จำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.1
4. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ออกแบบและทำการสร้างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง รวมถึงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และจุดเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า
6. ทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางในโหมดการชาร์จแบตเตอรี่ และเก็บผลการชาร์จแบตเตอรี่
7. ทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางในโหมดการจ่ายพลังงานกลับคืนและเก็บผลการทดลอง
8. รวบรวมข้อมูลผลการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และสรุปผล การทดลอง เตรียมนำเสนอโครงการ
9. รวบรวมข้อมูลและจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจัดสร้างชิ้นงาน ตลอดจนการทดสอบการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีแผนการดำเนินงาน ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่									
2. ศึกษาข้อมูลคุณลักษณะและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ และวงจรตรวจจับกระแสและแรงดันสำหรับการป้อนกลับ									
3. จำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทางด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.1									
4. ออกแบบและสร้างวงจรไฟเลี้ยงวงจรตรวจจับ และจุดเชื่อมต่อ									
5. ออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง									
6. เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์									
7. ทดสอบการทำงานโหมดการชาร์จแบตเตอรี่									
8. ทดสอบการทำงานโหมดจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ									
9. รวบรวมข้อมูล สรุปผลงานวิจัย นำเสนอโครงการและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. โครงการวิจัยนี้จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้งานจริงแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง
2. โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อรองรับการใช้งาน PHEV ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต
3. โครงการวิจัยนี้เป็นการบูรณาการระหว่างวิทยาการทางด้านต่าง ๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และระบบควบคุมเข้าด้วยกัน ซึ่งย่อมก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ศึกษาค้นคว้าวิจัยในสาขาดังกล่าว
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากโครงการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี หรือระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังอื่น ๆ
5. โครงการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นเครื่องชาร์จสำหรับ PHEV ซึ่งสามารถใช้ชาร์จพลังงานและสามารถจ่ายกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานพนธ์

ปฏิญานพนธ์ฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ PHEV ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทดังต่อไปนี้

**บทที่ 1 บทนำ** ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** ในบทนี้จะนำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด ข้อกำหนดการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีชาร์จแบตเตอรี่ ทฤษฎีสำหรับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง ได้แก่ คอนเวอร์เตอร์ วงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ และหลักการควบคุมการทำงานของวงจร

**บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ** ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง การทำงานในส่วนต่าง ๆ ของวงจร ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนของวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ วงจรสัญญาณชับเกต และวงจรควบคุม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการประมวลผล รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็นชิ้นงานต้นแบบขึ้นมา

**บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง** ในบทนี้จะนำเสนอผลการจำลองการทำงานขณะชาร์จแบตเตอรี่และขณะจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 และผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดัน 12 โวลต์

และ 24 โวลต์ รวมถึงผลการทดลองการจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระในสภาวะการทำงานเมื่อมีภาระทางไฟฟ้าที่พิกัดโหลด 100 วัตต์ 200 วัตต์ และ 300 วัตต์

**บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา** ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และจากการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

**ภาคผนวก** สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่าง ๆ ทั้งหมด รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนบทความวิชาการ ไปสเตอร์นำเสนอผลงาน และประวัติผู้เขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ และหลักการควบคุมการทำงานของวงจร ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ในบทนี้

#### 2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี แล้วค่อย ๆ ปล่อยพลังงานออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ [2]

##### 2.2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์แบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้สารละลายได้ แผ่นธาตุบวกและธาตุลบจะวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่ง ๆ อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลาย ๆ ชุด วางขนานกันเป็นคู่ ๆ เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่น ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Amperehour; Ah) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว

##### 2.2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน พรอท และลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไป ไม่สามารถชาร์จกลับเข้าไปเพื่อนำมาใช้ได้อีกครั้ง

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิกเกิลแคดเมียม และอัลคาไลน์บางชนิด แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถชาร์จเข้าไปใหม่เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว-กรด และแบบนิกเกิลแคดเมียมซึ่งมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด และอีกชนิดคือแบบเงิน-สังกะสี ราคาแพงมาก แต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเท่านั้น

## 2.3 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด

**2.3.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรดชนิดนอนสปิล (Non spill lead-acid battery)** แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

### 2.3.1.1 แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุขณะไร้ภาระ (Self-discharge) ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการชาร์จใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่าการคายประจุขณะไร้ภาระ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

### 2.3.1.2 แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือน โดยไม่ต้องการการดูแลรักษา และสามารถชาร์จแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุขณะไร้ภาระต่ำ เนื่องจากใช้โลหะตะกั่ว (Lead-alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้ในงานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบมาตรฐาน

## 2.3.2 แบตเตอรี่แบบผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Recombining sealed lead-acid battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จจนถึงระดับแรงดันพิกัด (Over charge) กรดซัลฟิวริกที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจน กับก๊าซออกซิเจน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเติมน้ำกลั่น จะได้ไม่เสียเวลาในการบำรุงรักษาจึงได้พัฒนาแบตเตอรี่ให้มีความสามารถในการใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

**2.3.2.1 แบตเตอรี่แบบ Non-recombining หรือ Partial recombining** ใช้วิธีการชาร์จที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในตัวแบตเตอรี่ได้

แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องชาร์จให้ถึงระดับแรงดันเกินพิกัดเพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันที และวาล์วจะปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ ภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซ อีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูง แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จและสามารถคายประจุได้ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิกเกิลแคดเมียม

**2.3.2.2 แบตเตอรี่แบบ Fully recombining sealed** โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการดีสชาร์จคือไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะรวมตัวกันเป็นน้ำทำให้ปริมาตรของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างคล้ายๆ กับแบบ Stand cylindrical Ni-Cd เหมาะสำหรับใช้งานแบบชั่วคราว (Standby) ใช้ Alloy plate grids ชนิดพิเศษ และมีการรวมตัวของก๊าซออกซิเจนที่ดี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการดิสชาร์จสูง การชาร์จส่วนใหญ่เป็นแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage) หรือกระแสคงที่ (Constant current) หรือการเปลี่ยนแท็ป (Tap changing) หรือการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ (Pulse changing) และอื่นๆ

## 2.4 ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มาตรฐาน จะมีแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าปกติ ประมาณ 2 โวลต์ต่อเซลล์

เราจะเห็นได้ว่าแรงดันขนาด 2 โวลต์นับว่าเป็นขนาดแรงดันที่น้อยมาก ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการที่เราจะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน ทำได้โดยการนำเอาแบตเตอรี่หลายๆ เซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรม (Series) โดยการต่อแบบขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 ต่อกับขั้วลบของเซลล์ที่ 2 และต่อกันในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนมีขนาดของแรงดันเพียงพอกับความ ต้องการ ผลสุดท้ายจะเหลือขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 และขั้วลบของเซลล์สุดท้าย ขั้วทั้งสองที่กล่าวมานี้เป็นจุดเป็นจุดต่อที่จะนำเอาพลังงานไปใช้งาน ขนาดของเซลล์และปริมาณของแรงดันดัง ตารางที่ 2.1

## 2.5 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

### 2.5.1 ระดับแรงดันปกติ (Float Charge)

คือ การชาร์จระดับนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่ออายุของแบตเตอรี่ การปรับระดับแรงดันที่ Float Charge ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะใช้แรงดันระหว่าง 2.15-2.20 โวลต์ต่อเซลล์ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12 เซลล์ แรงดันที่ใช้ในการชาร์จจะเท่ากับ  $2.15 \times 12$  เท่ากับ 25.8 โวลต์

ตารางที่ 2.1 ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน

จำนวนเซลล์	ขนาดของแรงดัน (โวลต์)
3	6
6	12
12	24
24	48
30	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาแรงดันในระดับ Float Charge ในแต่ละชุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับระดับแรงดันในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ในชุดนั้น

### 2.5.2 ระดับแรงดันรูนแรง (Equalize Charge)

การที่ชาร์จแบตเตอรี่ในระบบ Float Charge อย่างเดียวเป็นระยะเวลานานๆ ยังไม่เพียงพอที่จะรักษาแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งพอที่จะสรุปเหตุผลย่อๆ ได้ดังนี้

ในระดับแรงดันการชาร์จที่ Float Charge ไม่สามารถที่จะแก้ Self Discharge และ Local Action ได้ 100% ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมเซลล์เกิดความแตกต่างกัน

เซลล์บางเซลล์ของแบตเตอรี่ได้รับความร้อน และความเย็นจากอุณหภูมิโดยรอบเซลล์ แบตเตอรี่ไม่เท่ากันจะทำให้อุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ต่างๆ ต่างกัน ไม่เท่ากัน

ขั้วต่อแบตเตอรี่บางส่วนได้รับแรงดันที่ตกคร่อมไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากความแน่นไม่เท่ากัน

การทำ Equalize Charge คือ การเพิ่มระดับแรงดันในการชาร์จให้สูงกว่าระดับ Float Charge ซึ่งจะทำให้กระแสไหลในแบตเตอรี่สูงขึ้น เพื่อเป็นการแก้การสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลภายในวงจรแบตเตอรี่ทั้งหมดและจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุพร้อมที่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานในเวลาที่เราต้องการใช้งาน ระดับแรงดันที่เราใช้ในการทำ Equalize Charge ใช้แรงดันที่ 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ โดยแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะแสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

จำนวนเซลล์	ระดับแรงดันในการชาร์จ (โวลต์)	
	Float	Equalize
6	12.9	14.7
12	25.8	25.97
24	51.6	55.92
48	103.2	111.84
60	129.00	139.80
120	258.00	279.60

หมายเหตุ ระดับแรงดัน Float Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.15 โวลต์ต่อเซลล์  
ระดับแรงดัน Equalize Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.45 โวลต์ต่อเซลล์

### 2.5.2.1 สภาวะการทำงานของ Equalize Charge

- โดยจะทำการ Equalize Charge หลังจากที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ถูกตัดนานกว่า 3 ชั่วโมง ฉะนั้นหลังจากที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะปกติจะต้องทำการ Equalize Charge ทันที

- เมื่อตรวจพบว่าในจุดเซลล์ของแบตเตอรี่มีความแตกต่างในระดับแรงดันเกินกว่า 0.05 โวลต์หรือมากกว่านี้

- เมื่อตรวจพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในชุดแบตเตอรี่ มีความแตกต่างกันมากกว่า 0.02

### 2.5.2.2 ระยะเวลาในการทำ Equalize Charge

1. ระยะเวลาในการทำ Equalize Charge ขึ้นอยู่กับสภาวะของแบตเตอรี่และสามารถสังเกตได้ดังต่อไปนี้

- มีฟองอากาศผุดขึ้นภายในชุดเซลล์ของเซลล์ทุก ๆ เซลล์ใกล้เคียงกัน
- ระดับแรงดันที่ตกคร่อมเซลล์แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 โวลต์
- แผ่นเพลทลบของเซลล์แบตเตอรี่มีสีส้ม

2. การทำ Equalize Charge ในทุกๆครั้งควรจะต้องใช้เวลาในการชาร์จให้เหมาะสมโดยระมัดระวังอย่าให้การทำ Equalize Charge นานเกินไปเพราะจะทำให้แผ่นเพลทของแบตเตอรี่เกิดการคดงอ ตลอดจนจนเป็นการเปลืองน้ำโดยเปล่าประโยชน์ด้วยระบบ Electrolysis หรือการแยกน้ำออกเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน

## 2.6 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับแรงดันในการชาร์จไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการชาร์จปกติทุกวันแบตเตอรี่จะได้รับแรงดันในการชาร์จโดยตรง จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

**2.6.1 Under Charge** คือ การใช้แรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับ Float Charge ต่ำกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ถ้าหากใช้แรงดันในการชาร์จระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่บริเวณแผ่นเพลททั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้นจนเป็นสาเหตุทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นเพลทบวกและลบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทั้งการชาร์จและดีสชาร์จเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานจะส่งผลกระทบต่ออายุของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากพบว่าแบตเตอรี่เกิดอันเดอร์ชาร์จขึ้นต้องรีบแก้ไข การเกิดอันเดอร์ชาร์จสังเกตได้ดังนี้

- มีการปรับระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนาน หรือไม่มีการเติมน้ำกลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของเพลทแบตเตอรี่ที่แผ่นเพลทลบมีสีขาวเกาะจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.18
- วัตต์แรงดันตกคร่อมในแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 โวลต์
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

**2.6.2 Over Charge** คือการใช้แรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับ Float Charge สูงกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูง ทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นเพลทเป็นไปอย่างรุนแรงและรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นเพลททั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อายุการใช้งานลดลง

## 2.7 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการคายประจุ ในการชาร์จแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่โดยกระแสที่ทำการชาร์จจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงในภาพที่ 2.1

โดยที่  $E$  คือ แรงดันที่ทำการชาร์จ

$E_c$  คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

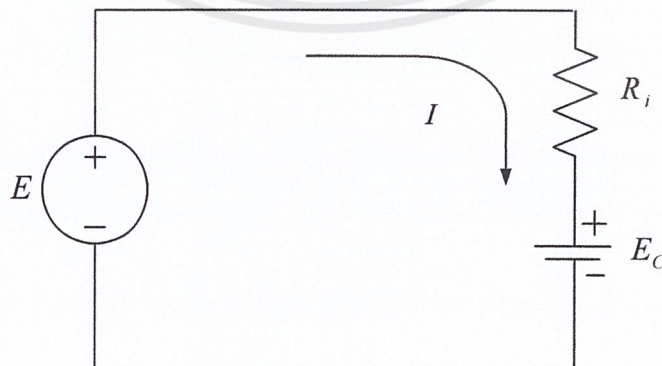
$R_i$  คือ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

$I$  คือ กระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการ

$$E = E_c + IR_i \quad (2.1)$$

$$I = \frac{E - E_o}{R_i} \quad (2.2)$$



ภาพที่ 2.1 แสดงทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

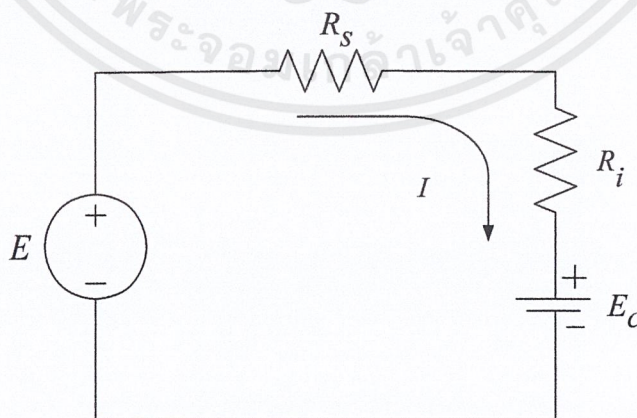
เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ ( $E_c$ ) มีค่าเท่ากับแรงดันที่ชาร์จ จะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปชาร์จให้แบตเตอรี่ แต่ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้กระแสนอนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงในขณะที่มีการชาร์จแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในการชาร์จมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การจะลดปริมาณกระแสชาร์จแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.2

จากรูปที่ 2.2 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ

$$I = \frac{(E - E_0)}{R_i + R_s} \quad (2.3)$$

$$R_s = \frac{E - E_c}{I} - R_i \quad (2.4)$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการชาร์จหรือดิสชาร์จจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ พิกัดของกระแสชาร์จแบตเตอรี่บอกไว้เป็นชั่วโมง ฉะนั้นค่าของกระแสหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) หากด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแส จำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ (Ah) หากด้วยกระแสจะได้จำนวนชั่วโมง แต่ทั้งนี้และทั้งนี้ค่าความสัมพันธ์ของกระแสและชั่วโมงในการชาร์จนี้จะไม่แปรผันตามตลอด เช่น แบตเตอรี่ 100 Ah จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ ในเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่ายกระแส 10 แอมแปร์ อาจจะจ่ายได้ในเวลาเพียง 7 ชั่วโมง หรืออาจจะจ่ายกระแส 20 แอมแปร์ ได้ในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส

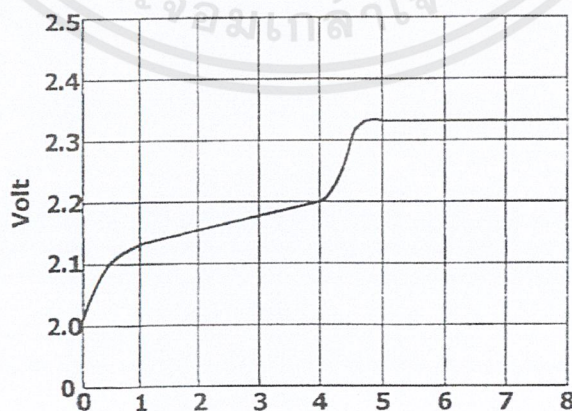
## 2.8 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธี ดังนี้

### 2.8.1 การชาร์จแบบกระแสคงที่ (Constant current charging)

การชาร์จแบบกระแสคงที่ที่นับว่าเป็นการชาร์จที่มีประสิทธิภาพว่าการชาร์จแบบแรงดันคงที่ แต่การชาร์จแบบกระแสคงที่นี้จะใช้ระยะเวลาในการชาร์จนานกว่าแบบแรงดันคงที่ เพราะการชาร์จแบบกระแสคงที่ จะถูกจำกัดปริมาณการชาร์จของกระแสจากเครื่องชาร์จเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสในการชาร์จเป็นไปตามที่กำหนด ถ้ากระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการชาร์จน้อยลง แต่ถ้าหากกระแสในการชาร์จสูงเกินไป จะเกิดผลเสียร้ายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการชาร์จ และในที่สุดแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคอง แดกหรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมากๆ จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดระเบิดได้ การชาร์จแบบกระแสคงที่มีข้อดีคือ จะทำให้เซลล์ทุกเซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ได้รับการชาร์จกระแสในสัดส่วนเท่า ๆ กันทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการชาร์จด้วยกระแสคงที่ทำให้การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวก เช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 34 Ah ต้องการชาร์จในเวลา 5 ชั่วโมง จะต้องใช้กระแสในการชาร์จเท่ากับ 6.8 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นเราพอจะสรุปได้ว่าเหตุผลที่ทำให้การชาร์จแบบกระแสคงที่ใช้เวลานานหรือช้าด้วยเหตุผลดังนี้

1. ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ
2. ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จ
3. ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะทำการชาร์จ

จากการชาร์จแบบกระแสคงที่ ไม่ได้กล่าวถึงแรงดันที่ชาร์จแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่อยู่นั้น ระดับแรงดันที่เซลล์ของแบตเตอรี่จะเริ่มจาก 2.00 โวลต์ต่อเซลล์ จนถึง 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการชาร์จแบบกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

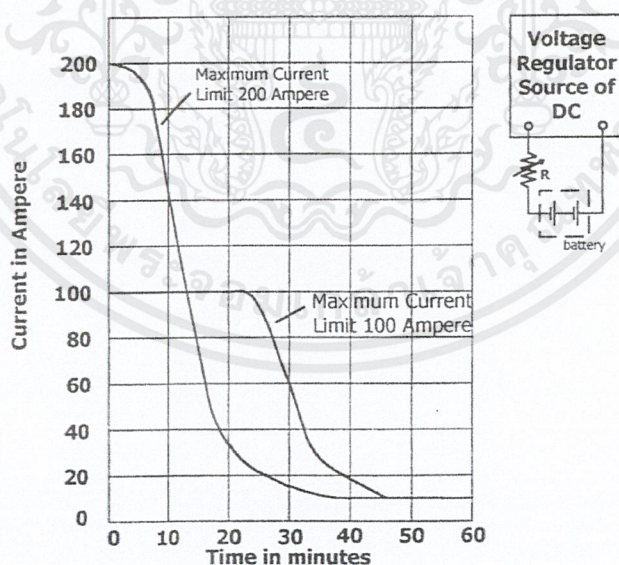
ดังนั้นการชาร์จด้วยกระแสคงที่ สรุปลงได้ดังนี้คือ

การชาร์จจะช้าลงอย่างรวดเร็วไม่ได้ เพราะจะต้องถูกจำกัดปริมาณของกระแสในการชาร์จที่คงตัวตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนดมา และอีกประการหนึ่งจะต้องคำนึงถึง คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ ตลอดจนค่าความจุของแบตเตอรี่ด้วย

### 2.8.2 การชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charging)

ในการชาร์จแบบแรงดันคงที่ จะใช้เวลาในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบแรก ระยะเวลาในการชาร์จจะเร็วเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องชาร์จว่าจ่ายกระแสออกมาถึงวงจร แบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องชาร์จจะต้องจ่ายกระแสออกมาได้ 50 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการชาร์จ

การชาร์จแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องชาร์จเป็นตัวกำเนิดแรงดันขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันจากเครื่องชาร์จอาจมีแรงดันที่ไม่คงที่ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่จะต้องมีความควบคุมแรงดันให้คงที่ เรียกว่า วงจรเรกกูเลเตอร์แรงดัน (Voltage regulator) ถ้าหากวงจรเรกกูเลเตอร์เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันที่ไม่ถูกต้องเกิดความเสียหายได้ ในการชาร์จโดยทั่วไปนั้น การตั้งวงจรเรกกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าใด ให้อายุของแบตเตอรี่นั้นๆเป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือข้อมูลให้ใช้หลักการดังนี้ คือ ให้ใช้จำนวนแรงดันในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์ จะปรับแต่งแรงดันของเครื่องชาร์จเท่ากับ  $2.15 \times 24$  เท่ากับ 51.6 โวลต์ ขณะที่ทำการชาร์จปกติ โดยกระแสที่ใช้ในการชาร์จเป็นดังภาพที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระแสชาร์จแบตเตอรี่ในการชาร์จแบบแรงดันคงที่

### 2.8.3 การชาร์จโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapped current charging)

เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูก วงจรการชาร์จประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรียงกระแส และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้ชาร์จจะกระเพื่อมซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่สามารถลดผลอันนี้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันต้านทานหุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับกระแส การชาร์จชนิดนี้สามารถใช้แทนการชาร์จแบบกระแสคงที่ได้ ไม่เฉพาะชาร์จแบตเตอรี่หลายๆลูกในครั้งเดียวเท่านั้น ยังสามารถใช้ในระบบการชาร์จแบบทริกเกิล (Trickle charging) ได้ด้วย

โดยวิธีการชาร์จที่ใช้ที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้การชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ ซึ่งมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

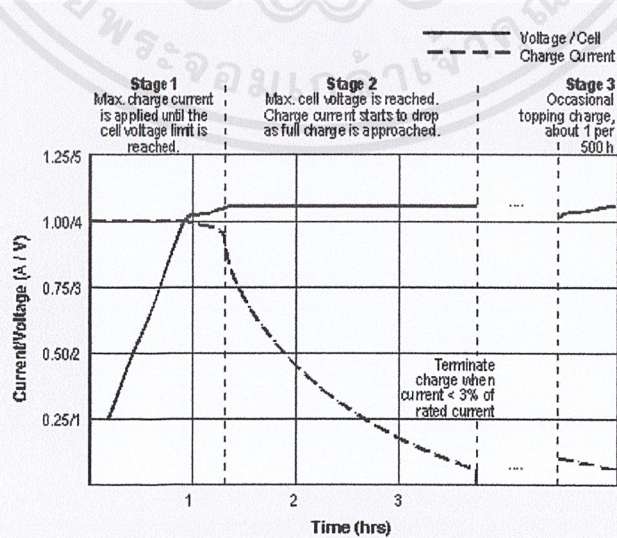
### 2.8.4 การชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (Constant current - Constant voltage)

วิธีนี้บางทีเรียกว่า Two-step หรือ Two-rate เกิดจากการรวม 2 วิธี คือการชาร์จแบบกระแสคงที่กับการชาร์จแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยกระบวนการชาร์จ จะแบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1: การชาร์จด้วยกระแสเต็มที (current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ (เกือบเต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการชาร์จในอัตราเร่ง ดังภาพที่ 2.5

ระยะที่ 2: การชาร์จให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) คล้ายๆกับการค่อยๆเติมประจุ ในระยะนี้กระแสของเครื่องชาร์จที่เข้าเซลล์จะลดลง และจะตัดการชาร์จเมื่อกระแสต่ำกว่า 3% ของอัตรากระแสเฉลี่ย

การสวิตช์จากขั้นแรกไปขั้นที่ 2 อาจทำได้หลายวิธี เช่นตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่หรือควบคุมเวลาในการชาร์จหรือตรวจสอบกระแสในการชาร์จเป็นต้น



ภาพที่ 2.5 กระบวนการชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

สำหรับวงจรที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่นั้น มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนี้

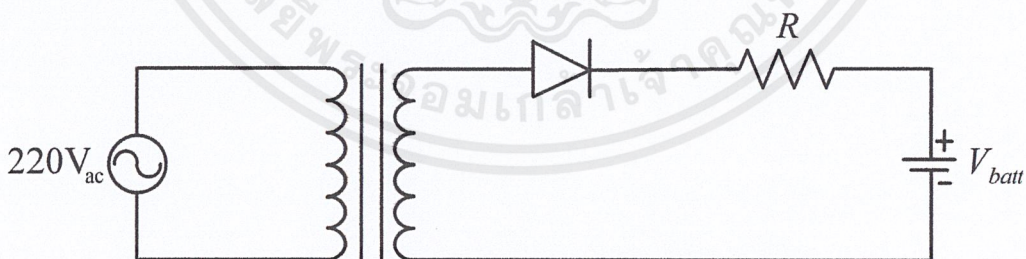
### 2.9.1 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น

วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่นนี้ เป็นวงจรที่นิยมใช้กันตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งวงจรจะแสดงดังภาพที่ 2.6 โดยประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าลดทอนระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ต่ำลง ผ่านไดโอดแปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ โดยในวงจรนี้จะมีตัวต้านทานมาต่ออนุกรมไว้เพื่อเป็นตัวจำกัดกระแสไม่ให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จมีค่ามาก ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

สำหรับข้อดีของวงจรชาร์จแบบนี้ คือ เป็นวงจรที่สร้างได้ง่าย ต้นทุนในการสร้างต่ำ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่หลายประการ อาทิเช่น เกิดความสูญเสียขึ้นในวงจรเนื่องจากตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไป ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำ เกิดการสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ แรงดันและกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่มีการกระเพื่อมค่อนข้างสูง ทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนขึ้น และส่งผลต่ออายุของแบตเตอรี่ ทำให้มีอายุการใช้งานที่สั้นลงอีกด้วย

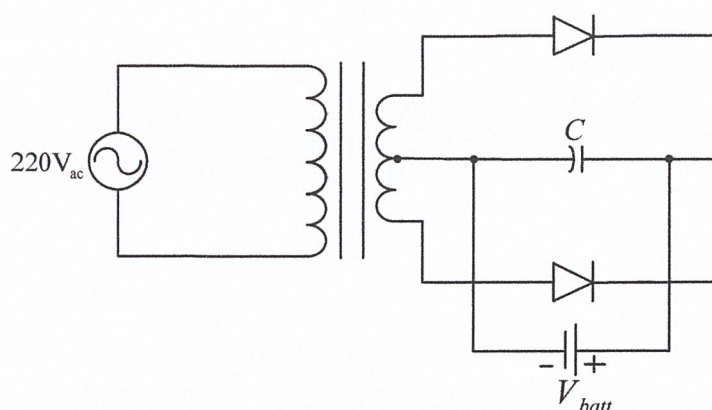
### 2.9.2 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบแท็ปกลางหม้อแปลง

วงจรนี้เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ถือว่าประกอบง่ายมาก โดยมีส่วนประกอบดังภาพที่ 2.7 โดยมีเพียงหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแท็ปกลาง, ไดโอด 2 ตัว และตัวเก็บประจุ โดยวงจรนี้แตกต่างจากวงจรแบบแรกตรงที่วงจรนี้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แรงดันที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่มีการกระเพื่อมน้อยกว่า โดยเกือบเป็นกระแสตรง เหมาะสำหรับการใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำและกระแสไฟฟ้าสูงแต่ข้อเสียคือ วงจรนี้ต้องต่อตัวต้านทานเข้าไปเพื่อจำกัดกระแส ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียตามมา และมีข้อจำกัดในการใช้งานเฉพาะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำเท่านั้น



ภาพที่ 2.6 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น

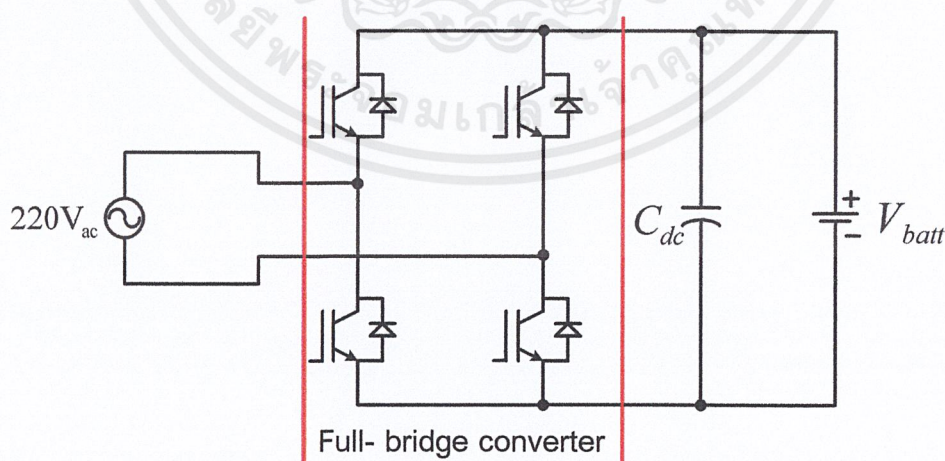
117569



ภาพที่ 2.7 วงจรซาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบแท็บกลางหม้อแปลง [5]

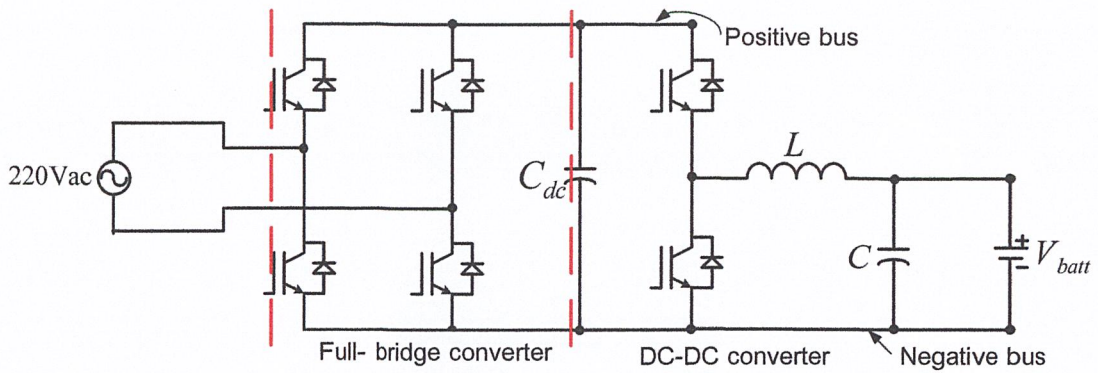
### 2.9.3 วงจรซาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 1 ชั้น (Single State Converter)

โครงสร้างวงจรแสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นวงจรที่ทำงานแบบ Bidirectional power flow โดยคอนเวอร์เตอร์แบบชั้นเดียวนี้เมื่อทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไม่มีการจัดการพลังงานที่ด้านไฟฟ้ากระแสตรงก่อน หรือไม่มีวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ในการควบคุมให้อินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานได้สูงสุด ข้อดีของวงจรแบบนี้คือ พลังงานสามารถไหลได้สองทิศทาง ที่ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์มีค่าต่ำ เพราะมีจำนวนอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำงานที่ความถี่สูงน้อย แต่มีข้อเสียในส่วนการควบคุมที่ยุ่งยากเนื่องจากอินเวอร์เตอร์นอกจากทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์แล้วยังต้องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ให้จ่ายพลังงานได้สูงสุดอีกด้วย



ภาพที่ 2.8 วงจรซาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 1 ชั้น [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น [7]

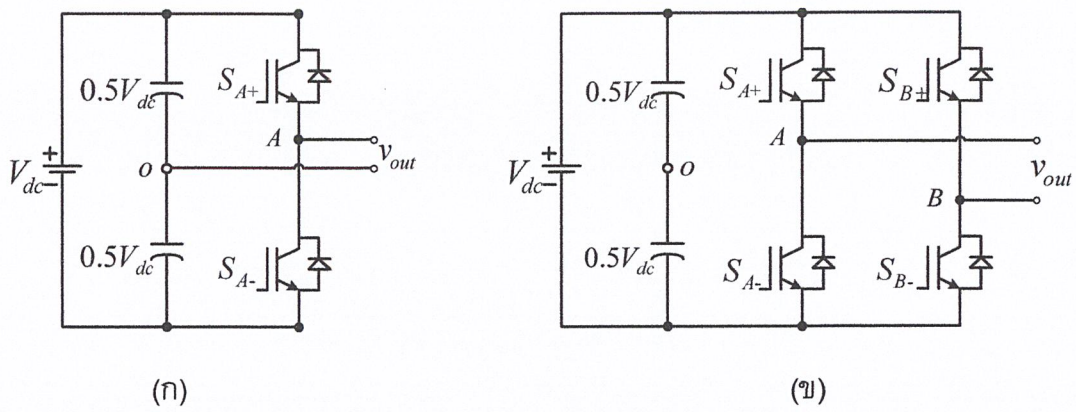
### 2.9.4 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น (Two State Converter)

โครงสร้างวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยคอนเวอร์เตอร์แบบนี้จะประกอบด้วยดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เมื่อวงจรทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมให้วงจรจ่ายกำลังได้สูงสุดและปรับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ส่วนอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในโครงงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรชาร์จที่ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น โดยวงจรนี้มีข้อดีในส่วนการควบคุมที่ทำได้ง่ายกว่า มีการแยกหน้าที่ในการทำงานกันอย่างชัดเจน และสามารถหาซื้ออุปกรณ์ได้ง่าย เนื่องจากทางการค้านิยมผลิตออกมาเป็นโมดูล ซึ่งภายในโมดูลมีสวิตช์จำนวน 6 ตัว จึงเหมาะกับการใช้งานในวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 2 ชั้น แต่ก็มีข้อเสียคือ วงจรมีการจัดการพลังงาน 2 ครั้งทำให้ค่าสูญเสียที่เกิดจากอุปกรณ์สวิตช์จึงสูงกว่าใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบ 1 ชั้น เนื่องจากจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานที่ความถี่สูงมากกว่าชั้นเดียว

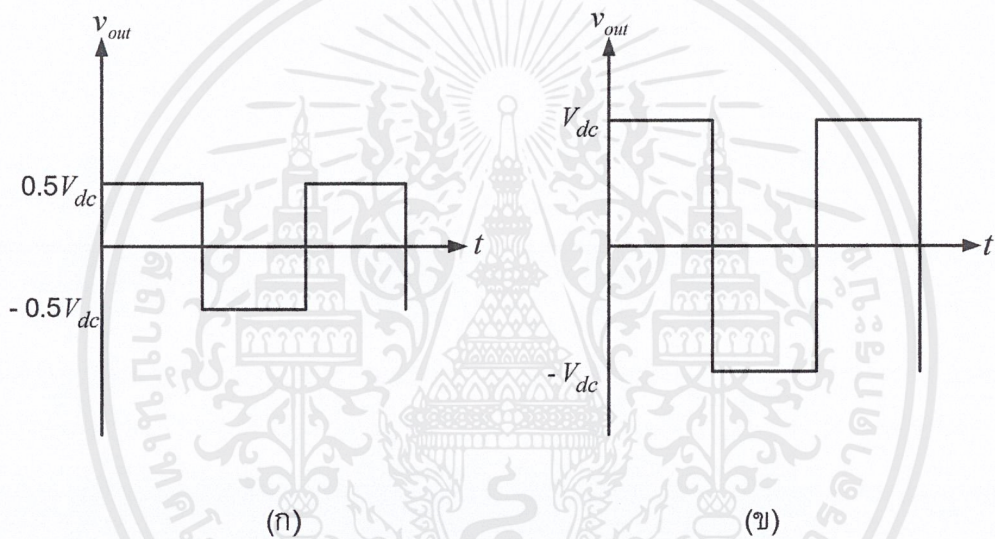
### 2.10 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ได้ตามต้องการ ทั้งนี้โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วยดีซีลิงค์ (dc link) และอุปกรณ์สวิตชิง (Switching device) 2 ตัว สำหรับแบบฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge) หรืออุปกรณ์สวิตชิง 4 ตัว สำหรับแบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge) ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์จะเป็นรูปคลื่นแรงดันแบบสี่เหลี่ยม (Square wave) ดังภาพที่ 2.11 โดยในโครงงานนี้ใช้อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฟูลบริดจ์ เพราะทำให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์สองเท่า จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 (ก) อินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์  
(ข) อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์



ภาพที่ 2.11 (ก) รูปคลื่นแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบฮาฟบริดจ์  
(ข) รูปคลื่นแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

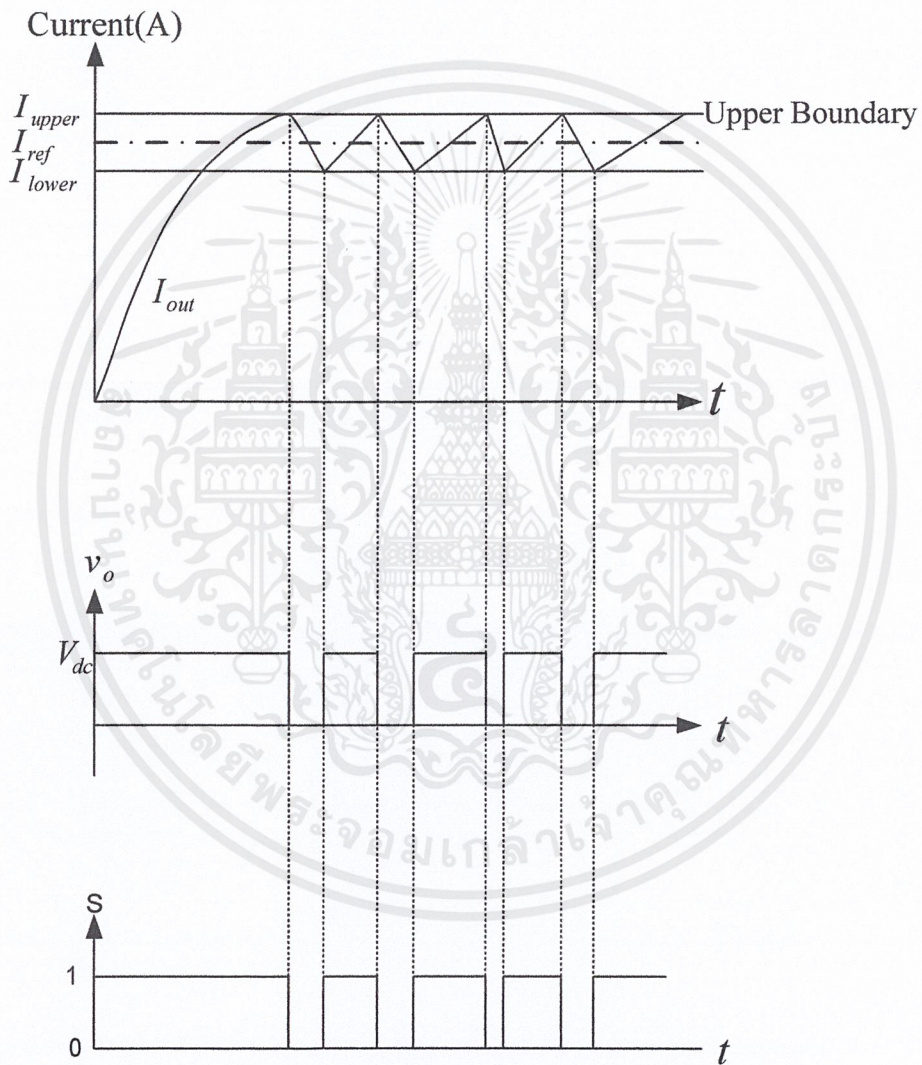
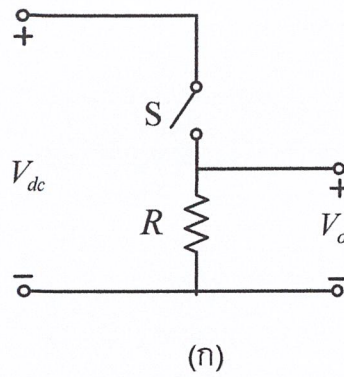
## 2.11 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

สำหรับในการชาร์จแบตเตอรี่จะทำการชาร์จด้วยกระแสคงที่ โดยในการควบคุมวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.12 (ก) แสดงวงจรตีซี-ตีซีคอนเวอร์เตอร์อย่างง่าย จะควบคุมกระแสให้คงที่ จะใช้เทคนิคการควบคุมโดยการกำหนดขอบเขต (Tolerance band control, Hysteresis band control)

### 2.11.1 การควบคุมโดยมีการควบคุมกระแสโดยมีการกำหนดขอบเขต

การควบคุมโดยการกำหนดขอบเขต จะใช้สัญญาณกระแสผิดพลาด (Error) บังคับค่าเฉลี่ยของกระแสซึ่งความถี่สวิตช์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ  $\Delta I_L$  , พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์และสภาวะการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบนี้จะใช้ได้ในโหมดของกระแสต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

ภาพที่ 2.12 (ก) วงจรตีซี-ตีซีคอนเวอร์เตอร์อย่างง่าย

(ข) สัญญาณการสวิตชิ่งที่ได้จากฮิสเตอร์ซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 (ข) มีการกำหนดขอบเขตบนและล่างของกระแสไหลต ให้กระแสไหลต เกาะตามกระแสอ้างอิง เมื่อกระแสไหลตชนขอบเขตบนของฮีสเตอร์รีซิสจะทำให้เกิดแรงดัน เท่ากับศูนย์ในส่วนเอาต์พุตของฮีสเตอร์รีซิส เมื่อกระแสไหลตชนขอบเขตล่างของฮีสเตอร์รีซิส จะทำให้เกิดแรงดันบวกที่เอาต์พุตของฮีสเตอร์รีซิสและนำสัญญาณนี้ไปขับสวิทช์

## 2.12 การควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

ในการควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ จะใช้การควบคุม PWM แบบไบโพลาร์ (bipolar) ซึ่งมีทฤษฎีพื้นฐานดังนี้

### 2.12.1 การมอดดูเลชัน

#### 2.12.1.1 การมอดดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

การที่อินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สามารถปรับขนาดและ ความถี่ที่ต้องการได้นั้น ไม่เพียงแต่ใช้วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น แต่ยังต้องอาศัยวงจร ควบคุมมาคอยควบคุมการสวิตช์ซึ่งอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ด้วย โดยวงจรควบคุมจะใช้ สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal Control Signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับ รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Waveform) ความถี่ของการสวิตช์ ( $f_s$ ) จะเท่ากับความถี่ ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณภายใต้เงื่อนไข คือ หาก  $v_{\text{control}} > v_{\text{tri}}$  จะได้ สัญญาณพัลส์เป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก  $v_{\text{control}} < v_{\text{tri}}$  จะได้พัลส์เป็นลบ คำย่อและ ความหมายที่สำคัญของการสวิตช์แบบพีดับเบิลยูเอ็มมีดังนี้

$v_{\text{control}}$	สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ทางด้าน ออก
$v_{\text{tri}}$	สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตช์
$f_1$	ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
$f_s$	ความถี่ของการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์
$m_a$	อัตราการมอดดูเลททางด้านแอมพลิจูด
$m_f$	อัตราการมอดดูเลททางด้านความถี่

ค่า  $m_a$  และ  $m_f$  จะนิยามจากสมการที่ (2.5) และ (2.6) ตามลำดับ

$$m_a = \frac{\hat{V}_{\text{control}}}{\hat{V}_{\text{tri}}} \quad (2.5)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\hat{V}_{\text{control}}$  คือ ค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\hat{V}_{tri}$  คือ ค่ายอดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

ถ้า  $0 \leq m_a \leq 1.0$  จะเป็นช่วงการมอดดูเลทเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (fundamental – frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า  $m_a$

ในกรณี  $m_a > 1.0$  จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดดูเลท ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์สูงกว่าช่วงการมอดดูเลทเชิงเส้น [8]

### 2.12.2 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์

การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ (Bipolar voltage switching) คือการควบคุมให้สวิตช์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ เช่นในภาพที่ 2.10 (ข) การทำงานของสวิตช์  $S_{A+}$  และ  $S_{B-}$  จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตช์  $S_{A-}$  และ  $S_{B+}$  ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง A จะเท่ากับ

$$v_{Ao} = \frac{1}{2}V_{dc} \quad \text{เมื่อ } v_{control} > v_{tri} \quad \text{สวิตช์ } S_{A+} \text{ และ } S_{B-} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.7)$$

$$v_{Ao} = -\frac{1}{2}V_{dc} \quad \text{เมื่อ } v_{tri} > v_{control} \quad \text{สวิตช์ } S_{A-} \text{ และ } S_{B+} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.8)$$

เมื่อคิดจากหนึ่งกิ่งของอินเวอร์เตอร์หนึ่งบริดจ์ แรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง B จะเท่ากับค่าลบของแรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง A คือ  $v_{Bo} = v_{Ao}$  ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันไฟฟาระหว่างกิ่ง A กับกิ่ง B คือ

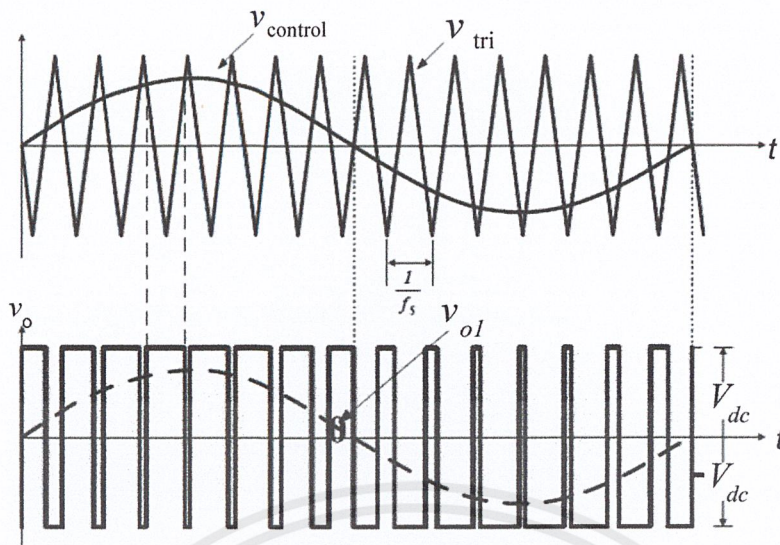
$$v_o = v_{Ao} - v_{Bo} = 2v_{Ao} \quad (2.9)$$

$$\hat{V}_{o1} = m_a V_{dc} \quad \text{เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.10)$$

$$V_{dc} < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi}V_{dc} \quad \text{เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.11)$$

หรืออาจจะสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ (2.10) เมื่อ  $m_a$  อยู่ในย่านเชิงเส้น และแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ (2.11) เมื่อ  $m_a$  อยู่ในช่วงโอเวอร์มอดดูเลชัน

โดยที่แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะสวิตช์อยู่ระหว่าง  $+V_{dc}$  กับ  $-V_{dc}$  ดังแสดงในภาพที่ 2.13 ส่วนไซด์แบนฮาร์มอนิกจะเกิดขึ้นรอบๆ  $m_f$ ,  $2m_f$ ,  $3m_f$  ... เช่น หากความถี่สวิตชิงเท่ากับ 20 kHz ไซด์แบนฮาร์มอนิกก็จะเกิดขึ้นที่ 20 kHz, 40 kHz และ 60 kHz



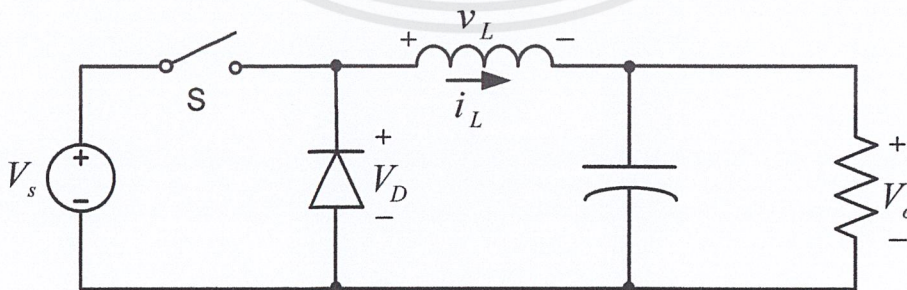
ภาพที่ 2.13 การสวิตซ์เชิงแรงดันแบบไปโพลาร์

สิ่งที่ระบุว่าเป็นการสวิตซ์เชิงแบบไปโพลาร์ คือ

1. มีการสวิตซ์ของแรงดันระหว่างสายระหว่างขั้วหรือบัสบวกกับลบ
2. ความถี่ของพัลส์ที่ไหลจะเท่ากับความถี่ของ  $v_{tri}$
3. จะเกิดความถี่จากสเปกตราคือ เริ่มต้นที่รอบๆ  $f_s$  และจำนวนเท่าของ  $f_s$

### 2.13 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ดังภาพที่ 2.14 คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรงมากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งเพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนกับกำลังสองของความถี่ [9]



ภาพที่ 2.14 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (Steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t+T) = i_L(t) \quad (2.12)$$

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda \quad (2.13)$$

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(t) dt \quad (2.14)$$

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_s = P_o \quad (2.15)$$

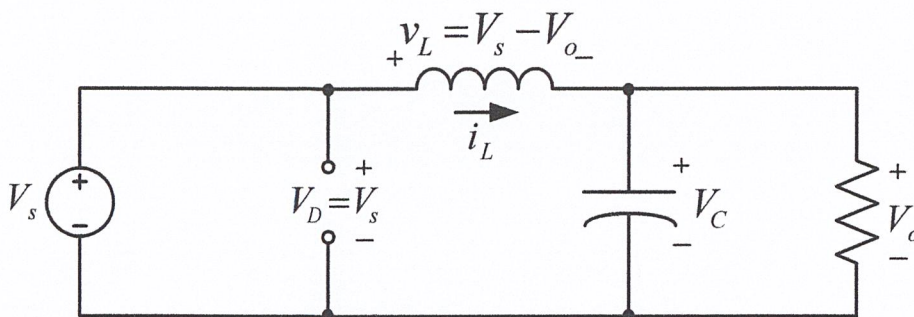
กรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจรประสิทธิภาพของวงจรจึงเท่ากับ 100%

### 2.13.2 หลักการทำงานของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ เพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการคือต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ (2.19) การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

#### 2.13.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.15 กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด จากกฎของเคอร์ชอฟสามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้



ภาพที่ 2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L + V_o = 0$$

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.16)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.17)$$

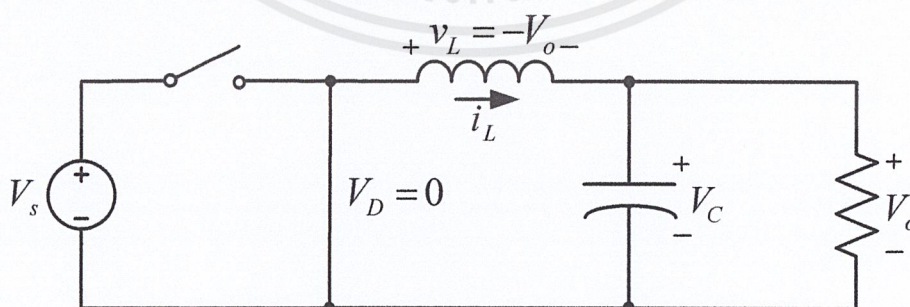
$$\frac{di_L}{dt} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) \quad (2.18)$$

$dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ  $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.19)$$

### 2.13.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากภาพที่ 2.16 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้างดังนี้



ภาพที่ 2.16 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_L = -v_o \quad (2.20)$$

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.21)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.22)$$

ความหมายของสมการที่ (2.22) คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

$dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแสคือ  $dt = (1-D)T$  ดังนั้นจากสมการที่ (2.22) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.23)$$

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงสุทธิของกระแส  $i_L$  ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.24)$$

แทนสมการที่ (2.19) และ (2.23) ลงในสมการที่ จะได้

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.25)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.26)$$

จากสมการที่ (2.26) จะเห็นว่าแรงดันด้านออกของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันด้านเข้าและค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle:  $D$ ) โดยแรงดันด้านออกจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันด้านเข้าเสมอ เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ค่ากระแสของตัวเก็บประจุเฉลี่ย ( $I_C$ ) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์ ( $T$ ) มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย ( $I_L$ ) จะเท่ากับค่ากระแสด้านออกเฉลี่ย ( $I_o$ ) ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.27)$$

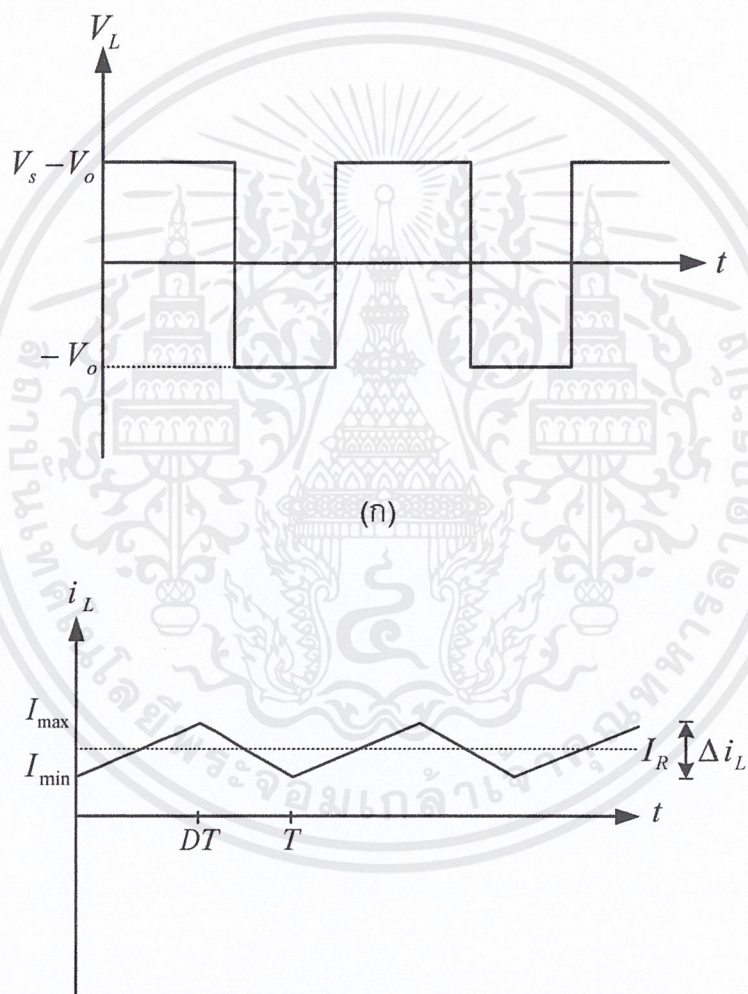
การเปลี่ยนแปลงของกระแส หาได้จากสมการที่ (2.19) และ (2.23) ดังนั้นค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดที่ตัวเหนี่ยวนำได้รับคือ

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

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

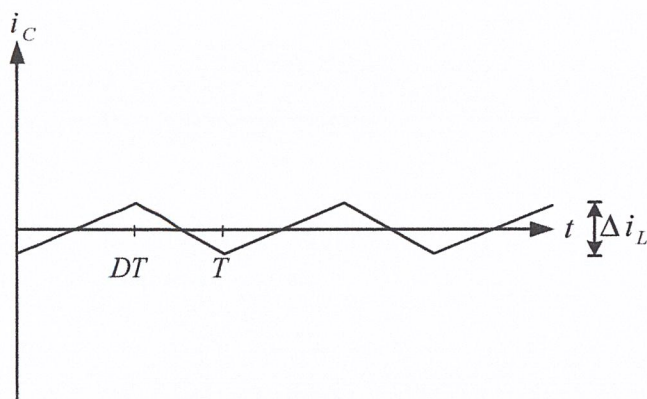
เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$I_{L,\max} = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.29)$$



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

ภาพที่ 2.17 รูปคลื่นการทำงานของวงจรมอเตอร์

(ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

(ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

(ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

ดังนั้นกระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1-D) T \right] \quad (2.30)$$

$$I_{L,\min} = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.31)$$

จากสมการที่ (2.31) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด ( $L_{\min}$ ) ที่ยังคงทำให้วงจรมอเตอร์ทำงานในโหมด CCM โดยกำหนดให้  $I_{L,\min}$  มีค่าเท่ากับศูนย์

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.32)$$

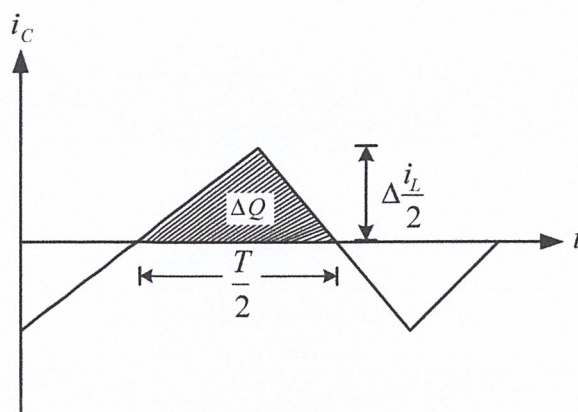
เมื่อ  $R$  คือ ค่าความต้านทานของโหลด

### 2.13.3 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก

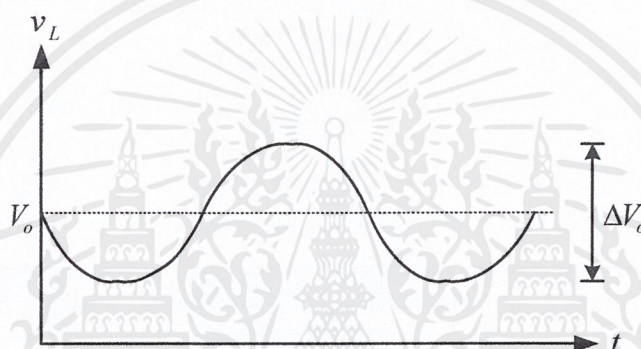
สำหรับการคำนวณหาอัตราระลอกคลื่นของแรงดันด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุดังแสดงในภาพที่ 2.18 กระแสในตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$i_C = i_L - i_R \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.18 รูปคลื่นการทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์

(ก) กระแสตัวเก็บประจุ

(ข) ะลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณจาก

$$Q = CV_o \quad (2.34)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_o$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.35)$$

เมื่อ  $\Delta Q$  คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

$\Delta V_o$  คือ ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าต้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ ระหว่างยอดถึงยอด

หาค่า  $\Delta Q$  ได้จากพื้นที่แรเงาในรูปที่ ดังสมการ (2.36)

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.37)$$

จากสมการที่ (2.24) แทนค่า  $\Delta i_{L,off}$  ลงในสมการที่ (2.37) จะได้ว่า

$$\Delta V_o = \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D)T \quad (2.38)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T}{8C} \frac{1}{L} (1-D)T \quad (2.39)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T^2}{8C} \frac{1}{L} (1-D)$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.40)$$

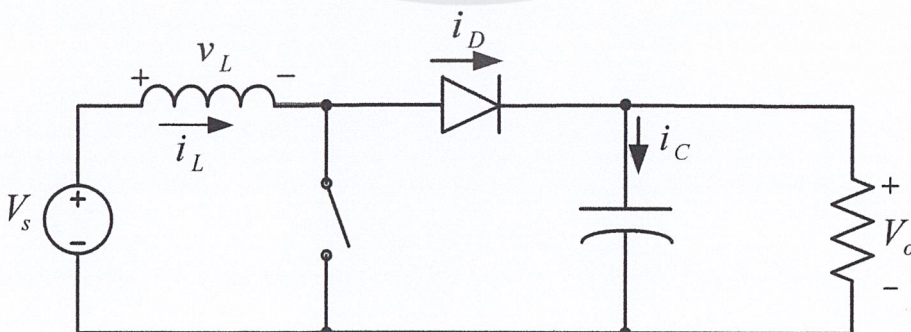
## 2.14 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ดังภาพที่ 2.19 คือวงจรที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า

### 2.14.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก



ภาพที่ 2.19 วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.14.2 หลักการทำงานของวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออก ตามที่ต้องการคือต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

#### 2.14.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกรีเวิร์สไบอัสทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในภาพที่ 2.20 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.41)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.42)$$

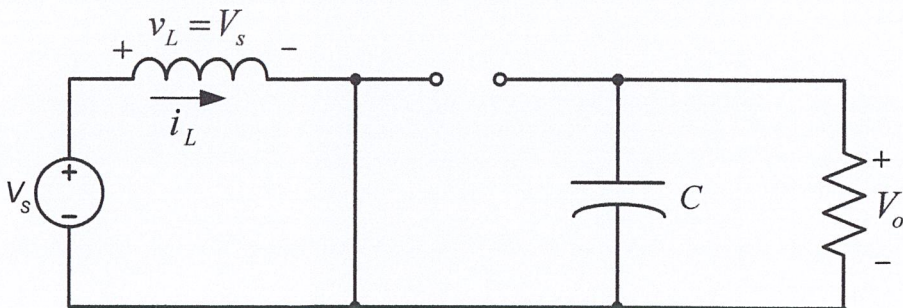
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะได้ว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.43)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.44)$$

$\Delta i_{L,on}$  หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



ภาพที่ 2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.14.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากภาพที่ 2.21 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัสให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.45)$$

$$v_L = V_s - V_o$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.46)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1-D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.47)$$



ภาพที่ 2.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงสุทธิของกระแส  $i_L$  ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.48)$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.49)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.50)$$

สมมติการสูญเสียภายในวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.51)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.52)$$

$$i_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.53)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการที่ (2.44)

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.54)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_s DT}{L} \right] \quad (2.55)$$

จากสมการที่ (2.55) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด ( $L_{min}$ ) ที่ยังคงทำให้วงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด CCM โดยกำหนดให้  $I_{L,min}$  มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.14.3 ค่าอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก

การคำนวณหาค่าอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังภาพที่ 2.22

$$\Delta Q = C\Delta V_o = I_o\Delta t_{on} \quad (2.57)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

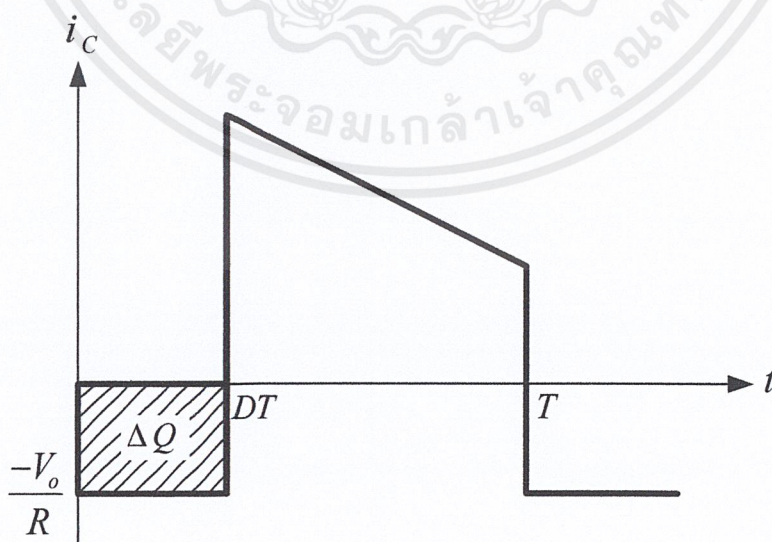
$$\Delta t_{on} = DT$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o\Delta t_{on}}{C} = \frac{V_oDT}{RC} \quad (2.58)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.59)$$

เมื่อต้องการลดอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก สามารถทำได้โดย

1. การลดค่า  $D$  ให้เข้าใกล้ศูนย์
2. การเพิ่มค่าโหลด
3. การเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุ
4. เพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น



ภาพที่ 2.22 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ และหลักการควบคุมการทำงานของวงจร ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานจริงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

#### 3.1 บทนำ

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่จะนำมาประกอบเข้ารวมกัน บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบและการทำงานในส่วนต่างๆ ของวงจร ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนของวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ วงจรสัญญาณขับเคลื่อน และวงจรควบคุม โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็นชิ้นงานต้นแบบขึ้นมา

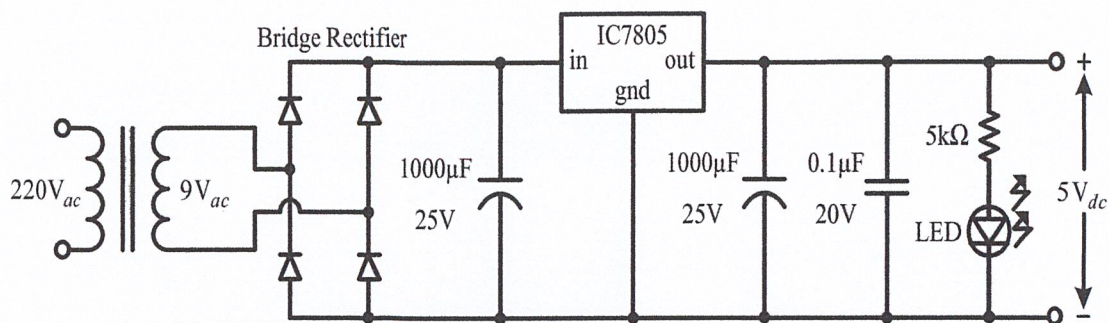
#### 3.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแรงดัน 220 โวลต์ ลดระดับแรงดันลงมาให้เหมาะสม ผ่านบริดจ์เรกติไฟเออร์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อมีการต่อตัวเก็บประจุที่เหมาะสม จะได้ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบและมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากหม้อแปลง ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณดังสมการที่ 3.1 และเพื่อต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกที่มีค่าที่ถูกต้อง และคงที่ตลอดเวลาจึงต้องมีการใช้ไอซีรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator) ด้วย

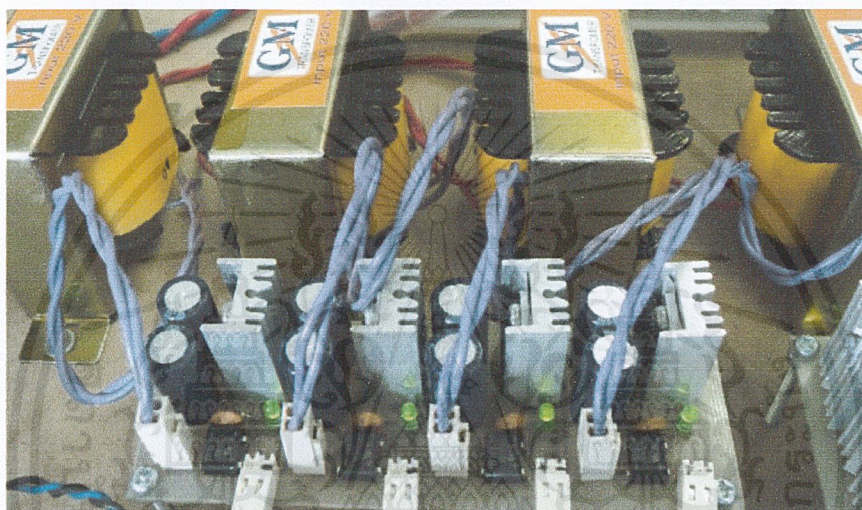
$$V_{\max} = \sqrt{2}V_{\text{rms}} \quad (3.1)$$

##### 3.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดวงจรควบคุมและวงจรสัญญาณขับเคลื่อน ได้เลือกใช้หม้อแปลงที่มีขนาดพิกัดกระแสเท่ากับ 1 แอมป์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็น 9 โวลต์ ผ่านบริดจ์เรกติไฟเออร์โดยใช้ไอซีเบอร์ DB104G สำหรับทำหน้าที่เรียงกระแส ซึ่งจะต้องมีการลดค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้า โดยใช้การต่อตัวเก็บประจุทั้งก่อน และหลังไอซีรักษาระดับแรงดัน โดยที่จะต้องมีการคำนึงถึงพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุด้วย ในที่นี้จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 1000 ไมโครฟารัด พิกัด 25 โวลต์เหมือนกันทั้งก่อนและหลังไอซีรักษาระดับแรงดัน ไอซีรักษาระดับแรงดันนี้จะใช้เบอร์ 78XX เลข 2 ตัวท้ายนั้นเป็นเลขที่บ่งบอกถึงค่าแรงดันไฟตรงที่ต้องการ ซึ่งก็คือไอซีเบอร์ 7805 สำหรับรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าคงที่ +5 โวลต์



ภาพที่ 3.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์



ภาพที่ 3.2 ชิ้นงานแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

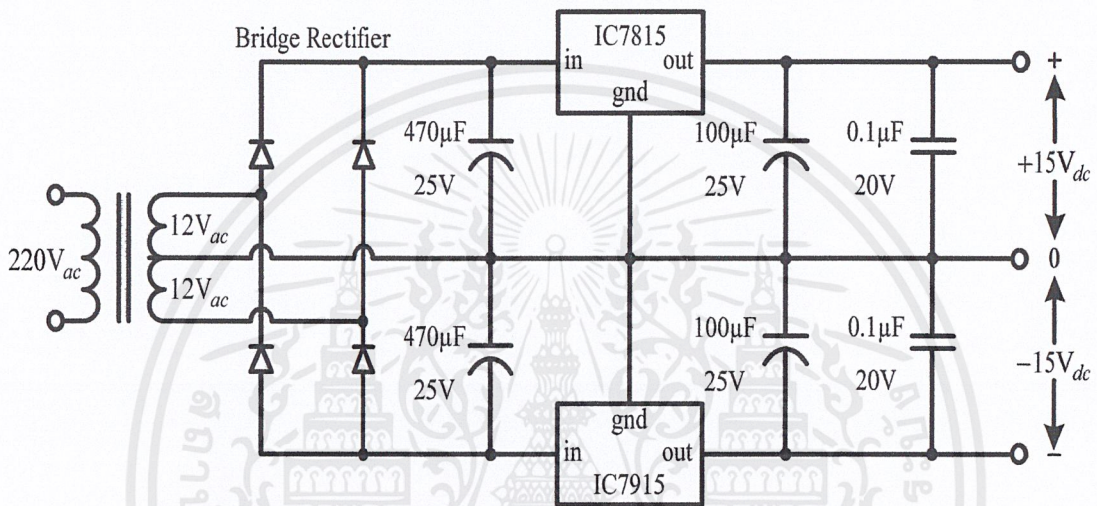
โดยจะมีการต่อตัวเก็บประจุแบบมัลติเลเยอร์ไว้ที่ขาออกของไอซีรักษาระดับแรงดัน เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวน ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และมีไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่แสดงถึงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ ดังวงจรในภาพที่ 3.1 ส่วนชิ้นงานที่สร้างขึ้นจริงของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ นั้นจะแสดงดังภาพที่ 3.2

### 3.2.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $\pm 15$ โวลต์

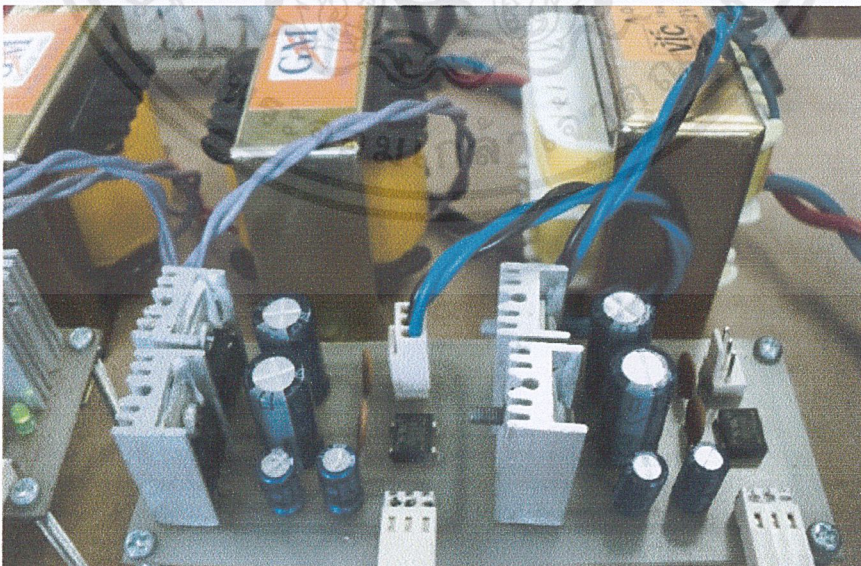
สำหรับการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 15$  โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรตรวจจับกระแสและวงจรตรวจจับแรงดัน ได้เลือกใช้หม้อแปลงที่มีแท็ปกลาง ขนาดพิกัดกระแสเท่ากับ 2 แอมป์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็น  $\pm 12$  โวลต์ ผ่านบริดจ์เรกติไฟเออร์โดยใช้ไอซีเบอร์ DB104G สำหรับทำหน้าที่เรียงกระแส ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด  $\pm 12\sqrt{2}$  โวลต์ เข้าสู่วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสองชุด ซึ่งมีการต่อตัวเก็บประจุขนาด 1000 ไมโครฟารัด พิกัด 25 โวลต์ ทั้งก่อนและหลังไอซีรักษาระดับแรงดัน เช่นเดียวกันกับการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 โวลต์ โดยที่ชุดแรกเป็นวงจรสร้าง

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ 7815 ส่วนชุดที่สองเป็นวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -15 โวลต์ ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ 7915 และมีการต่อตัวเก็บประจุแบบมัลติเลเยอร์ไว้ที่ด้านออกของไอซีรักษาระดับแรงดัน เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกัน ดังวงจรในภาพที่ 3.3 ส่วนชิ้นงานที่สร้างขึ้นจริงของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 15$  โวลต์ นั้นจะแสดงดังภาพที่ 3.4

ข้อควรระวังของการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง คือ ควรระวังในการนำไปใช้เรื่อง ขั้วบวกและขั้วลบ โดยอาจทำเครื่องหมายกำกับไว้



ภาพที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 15$  โวลต์



ภาพที่ 3.4 ชิ้นงานแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 15$  โวลต์

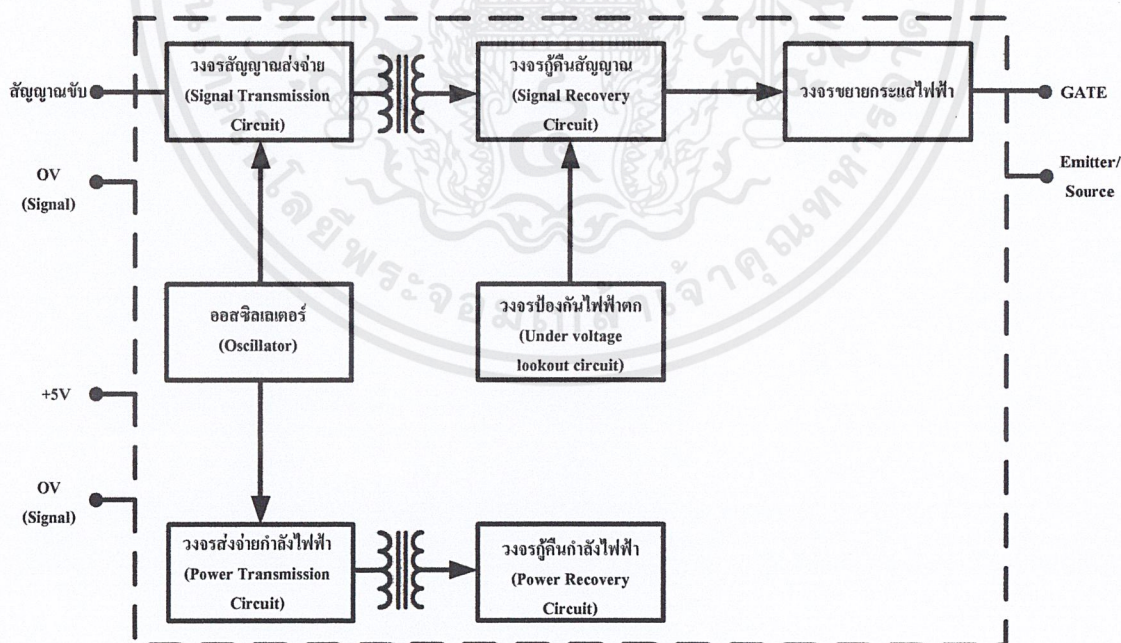
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบวงจรสัญญาณขับเคลื่อน

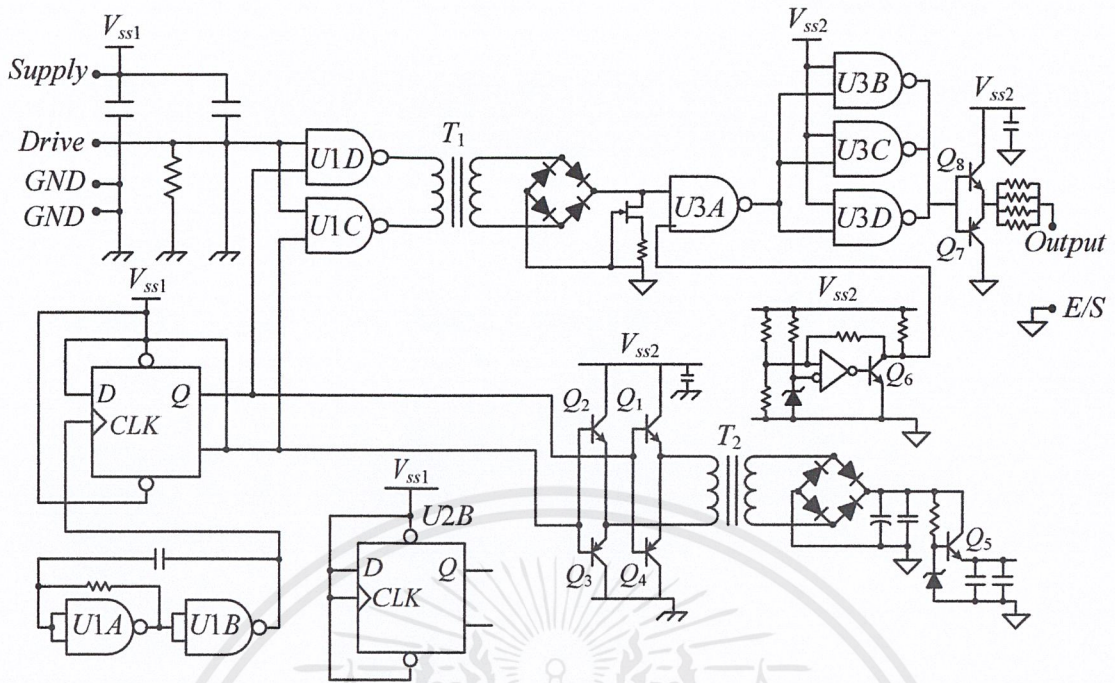
วงจรขับเคลื่อนเป็นวงจรที่จำเป็นสำหรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ เนื่องจากสัญญาณที่จะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์นั้นต้องมีแรงดันตั้งแต่ 7 ถึง 24 โวลต์ แต่สัญญาณที่ออกจากรวมมีเพียง +5 โวลต์เท่านั้น จึงต้องออกแบบวงจรสัญญาณขับเคลื่อนขึ้นมา โดยลำดับขั้นของการออกแบบเป็นดังภาพที่ 3.5 เป็นบล็อกไดอะแกรมของชุดวงจรสัญญาณขับเคลื่อนที่แสดงลำดับขั้นการทำงานต่างๆ จนได้สัญญาณแรงดันดันออก และภาพที่ 3.6 เป็นรูปวงจรของวงจรสัญญาณขับเคลื่อนที่ได้ใช้ในโครงงาน โดยการออกแบบวงจรขับเคลื่อนจะประกอบไปด้วย 8 ส่วนด้วยกันดังนี้

#### 3.3.1 วงจรสำหรับการขับเคลื่อน (Gate-drive Circuit)

วงจรสำหรับการขับเคลื่อน มีหน้าที่สำหรับการแยกสัญญาณระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณเกิดของอุปกรณ์สวิตช์ (มอสเฟต) เพื่อไปยังหม้อแปลงทั้งสองตัว โดยหม้อแปลงตัวแรกจะเป็นหม้อแปลงสำหรับการส่งจ่ายกำลังเพื่อเป็นไฟเลี้ยงวงจร และหม้อแปลงตัวที่สองสำหรับการส่งจ่ายสัญญาณขับเคลื่อน เพื่อที่จะยกระดับแรงดันของสัญญาณควบคุมให้ได้ +15 โวลต์ โดยที่ชุดสัญญาณขับเคลื่อนนี้มีหม้อแปลงที่แยกกราวด์ในตัว (แยกวงจรควบคุมกับวงจรกำลังออกจากกัน) ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุม เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น จะสามารถทำให้สัญญาณไม่ย้อนกลับมาทางด้านวงจรควบคุม



ภาพที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของชุดวงจรสัญญาณขับเคลื่อน



ภาพที่ 3.6 วงจรชุดสัญญาณขับเกด

### 3.3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit)

สัญญาณขาเกิดของ U1A และ U1B จากตัวออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานที่ความถี่ประมาณ 4 เมกกะเฮิร์ต ที่ด้านขาออกของตัวออสซิลเลเตอร์นี้จะถูกแบ่งครึ่งความถี่โดยตัว U2A เพื่อที่จะสร้างสัญญาณสำหรับขับ

### 3.3.3 วงจรสัญญาณส่งจ่าย (Signal Transmission Circuit)

สัญญาณขับ (active-high) ถูกใช้เพื่อที่จะสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 2 เมกกะเฮิร์ตของสัญญาณขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงตัวที่สอง เพื่อใช้ในการยกระดับของสัญญาณควบคุม

### 3.3.4 วงจรกู้คืนสัญญาณ (Signal Recovery Circuit)

สัญญาณที่ความถี่ 2 เมกกะเฮิร์ต จากวงจรสัญญาณส่งจ่ายจะถูกจัดเรียงเพื่อที่จะได้ระดับแรงดัน 15 โวลต์และเข้าไปที่ขา 1 ของ U3A ส่องวงจรทรานซิสเตอร์ JFET ทำหน้าที่เหมือนความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นกับสัญญาณควบคุม ซึ่งการไม่เป็นเชิงเส้นนี้ทำให้หนตอสัญญาณรบกวน และทำให้ตัวเก็บประจุใน U3A คายประจุได้อย่างรวดเร็วขณะหยุดการทำงาน (Turn Off) ส่งผลให้ค่าความสูญเสียในช่วงสถานะคงตัว (Steady-State) ตัวมีค่าน้อยกว่าการใช้ตัวต้านทานแบบเชิงเส้น

### 3.3.5 วงจรขยายกระแสไฟฟ้า (Current Amplification Circuit)

U3A, U3B, U3C, U3D และตัว ZTX651/751 ทำงานรวมกัน เพื่อรับและจ่ายกระแสสูงเพื่อทำให้ตัวเก็บประจุของอุปกรณ์สวิตช์ชาร์จ และดีสชาร์จเร็วขึ้นทำให้สวิตช์มอสเฟตทำงานและหยุดทำงานได้เร็วขึ้นและต่อตัวต้านเพิ่มที่ด้านออก เพื่อลดความร้อนในตัว ZTX651 เนื่องจากการรับและจ่ายกระแสสูง

### 3.3.6 วงจรป้องกันไฟฟ้าดก (Under voltage lookout circuit)

U4 จะยับยั้งการส่งจ่ายแรงดันของสัญญาณขับเคลื่อน ถ้าแรงดัน ( $V_{ss2}$ ) ต่ำกว่าประมาณ 11.6 โวลต์ ซึ่งจะก่อให้เกิด ฮีสเตอร์เรซิส (Hysteresis) จากการทดสอบทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ร้อน

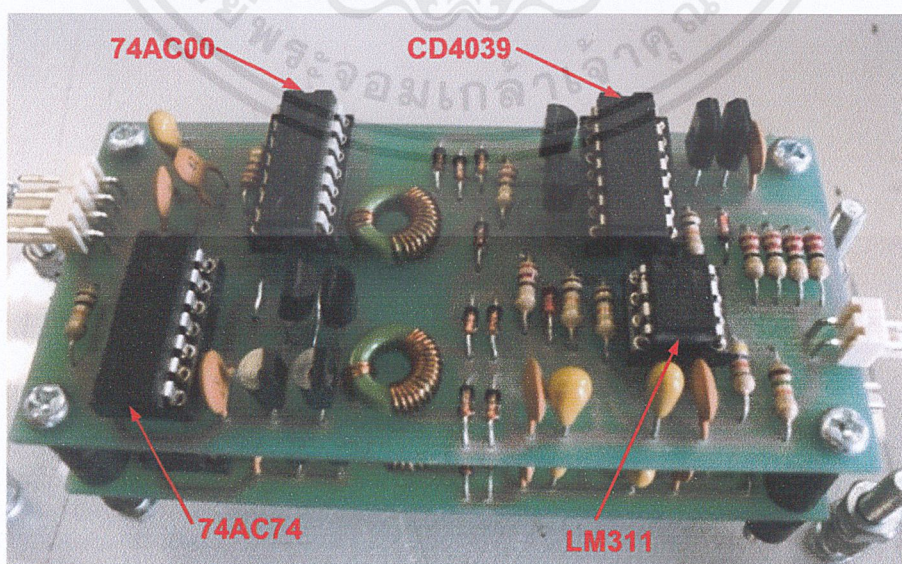
### 3.3.7 วงจรส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Transmission Circuit)

สัญญาณที่สมบูรณ์แล้วจากตัวขับออสซิลเลเตอร์ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงส่งจ่ายกำลังจะผ่านทางตัวทรานซิสเตอร์ที่ขยายกระแสไฟฟ้า

### 3.3.8 วงจรกู้คืนกำลังไฟฟ้า (Power Recovery Circuit)

สัญญาณที่ความถี่ 2 เมกกะเฮิร์ต จากวงจรส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะถูกเรียงกระแสเพื่อได้แรงดันโดยประมาณที่ 18 โวลต์ ตัวตรวจจับแบบเชิงเส้นจะทำหน้าที่ลดแรงดันนี้ไปอยู่ที่ 15 โวลต์

ในภาพที่ 3.7 แสดงชิ้นงานจริงของวงจรสัญญาณขับเคลื่อนที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งจะนำมาประกอบกันสองชุด เพื่อให้ง่ายต่อการขับสวิตช์มอสเฟต



ภาพที่ 3.7 ชิ้นงานวงจรสัญญาณขับเคลื่อนที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

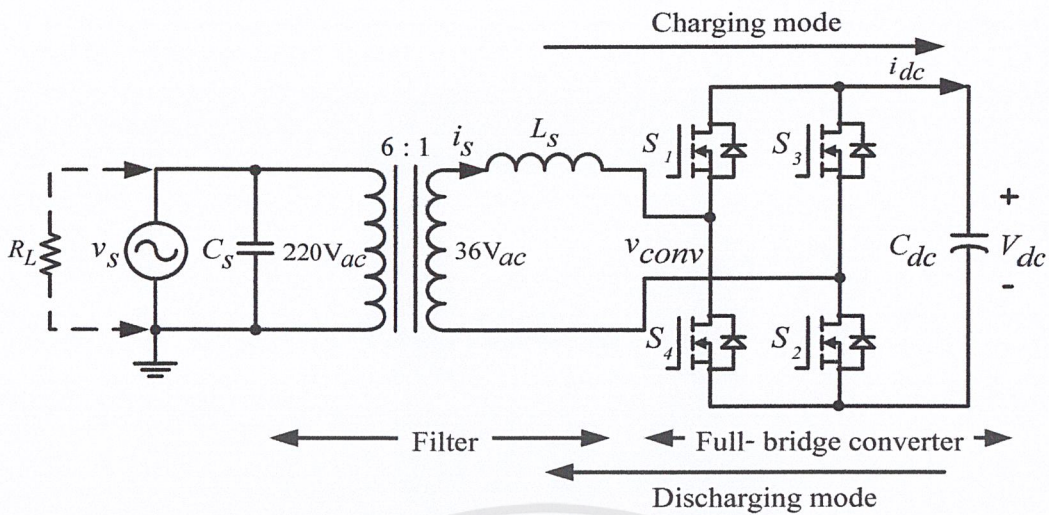
### 3.4 การออกแบบวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสทำหน้าที่ในการส่งจ่ายพลังงานแบบสองทิศทาง นั่นคือทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับซาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ และทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับจ่ายคืนพลังงานจากแบตเตอรี่ไปสู่โหลด ซึ่งการออกแบบวงจรสวิตช์กำลังและวงจรกรองจะแสดงดังหัวข้อต่อไป

#### 3.4.1 การออกแบบวงจรสวิตช์กำลัง

วงจรสวิตช์กำลังเป็นส่วนที่ใช้ในการทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางตามที่ได้ออกมาแล้วข้างต้น โดยการสวิตช์นั้นจะถูกควบคุมจากส่วนของวงจรควบคุมที่ได้กำหนดไว้จากตัวประมวลผล โดยอุปกรณ์กำลังที่ทำหน้าที่ในการสวิตช์นั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ดังนั้นอุปกรณ์สวิตช์ที่นำมาใช้นี้ต้องคำนึงถึงพิกัดของขนาดแรงดันกระแสและความถี่ในการสวิตช์สูงสุดที่สามารถรองรับได้ วงจรสวิตช์กำลังในวิทยานิพนธ์นี้จะประกอบด้วยตัวเก็บประจุชนิดไบโพลาร์ (Bipolar Capacitor) ขนาด 2.2 ไมโครฟารัด จำนวน 4 ตัว สวิตช์มอสเฟต (MOSFET) เบอร์ IRFP3710 ขนาดพิกัดกระแส 57 แอมป์ แรงดัน 100 โวลต์ จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยเริ่มจากสวิตช์มอสเฟตทั้ง 4 ตัว รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้า ผ่านมาทางหม้อแปลงไฟฟ้าที่ลดระดับแรงดันลงมาเหลือประมาณ 36 โวลต์ แล้วทำการเรียงกระแสได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกมา โดยบริเวณดีซีลิงค์ (DC Link) จะมีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ นอกจากนี้วงจรสวิตช์กำลังทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเริ่มจากสวิตช์มอสเฟตทั้ง 4 ตัว รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากดีซีลิงค์ แล้วทำการควบคุมการทำงานของสวิตช์ตามสัญญาณขั้วเกตที่ได้รับมาจากชุดวงจรควบคุม ซึ่งจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับออกมาผ่านวงจรกรอง และหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการจ่ายโหลดต่อไป

ฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ทั้งเป็นเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยการใช้สวิตช์กำลังทั้งหมด 4 ตัว ดังภาพที่ 3.8 เป็นรูปของวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ในวงจร ซึ่งชิ้นงานจริงและลักษณะการยึดติดสวิตช์มอสเฟตกับแผ่นระบายความร้อนแสดงดังภาพที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.8 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

### 3.4.2 การออกแบบวงจรกรอง

การออกแบบวงจรกรองสัญญาณด้านออกของอินเวอร์เตอร์นั้นจะใช้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการขับสวิตช์กำลังนั้น เป็นการควบคุมด้วยเทคนิคที่ดับเบิลยูเอ็มซิด SPWM แบบไบโพลาร์ สัญญาณด้านออกจะมีความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) ดังนั้นจึงต้องทำการกรองความถี่ดังกล่าวออก โดยใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำซึ่งควรออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยค่าของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้ดังสมการ

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (3.2)$$

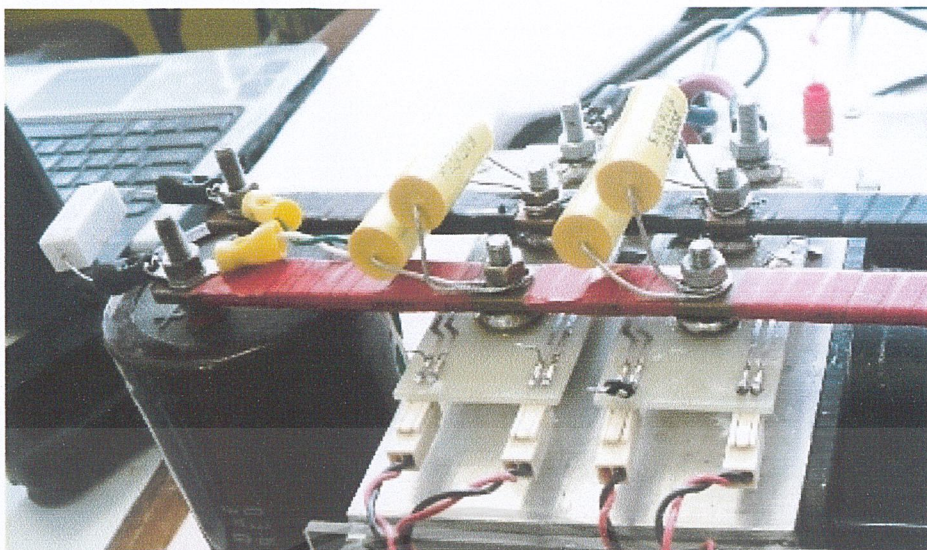
โดยที่  $f_{cutoff}$  คือ ความถี่คัตออฟ  
 $L_s$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่จะใช้ในวงจรกรอง  
 $C_s$  คือ ขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ในวงจรกรอง

ความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์เท่ากับ 6.25 กิโลเฮิร์ต ดังนั้น ให้ความถี่คัตออฟเท่ากับ 6 กิโลเฮิร์ต และให้ขนาดของตัวเก็บประจุเท่ากับ 3 ไมโครฟารัด หากค่าตัวเหนี่ยวนำจากสมการที่ 3.2 จะได้

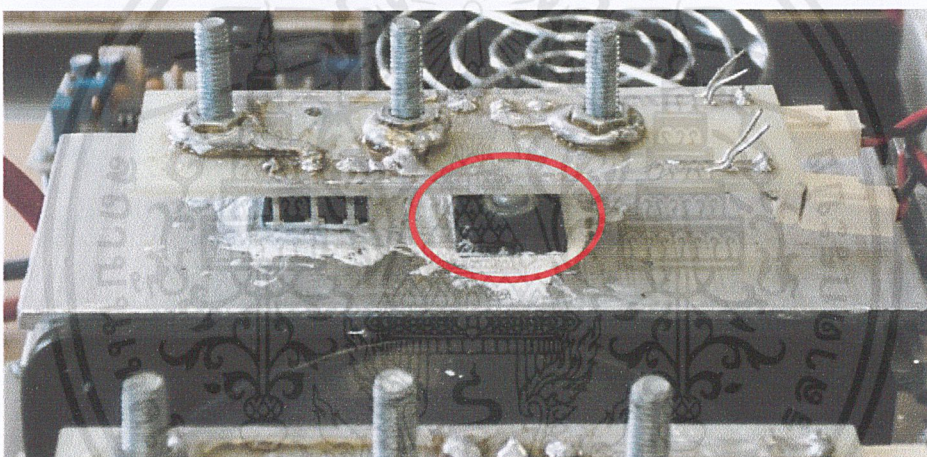
$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \\ &= \frac{1}{(2\pi \times 6 \times 10^3)^2 \times 3 \times 10^{-6}} \\ &= 234.54 \text{ ไมโครเฮนรี่} \end{aligned}$$

ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงเลือกตัวเหนี่ยวนำขนาด 250 ไมโครเฮนรี่ เพื่อให้ได้วงจรกรองที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 ชิ้นงานวงจรพลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

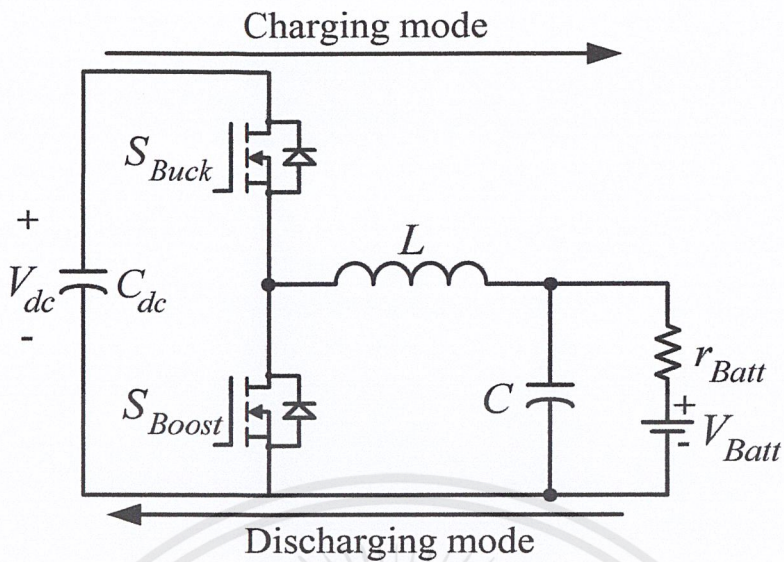


ภาพที่ 3.10 แสดงการยึดติดสวิตช์มอสเฟตกับแผ่นระบายความร้อน

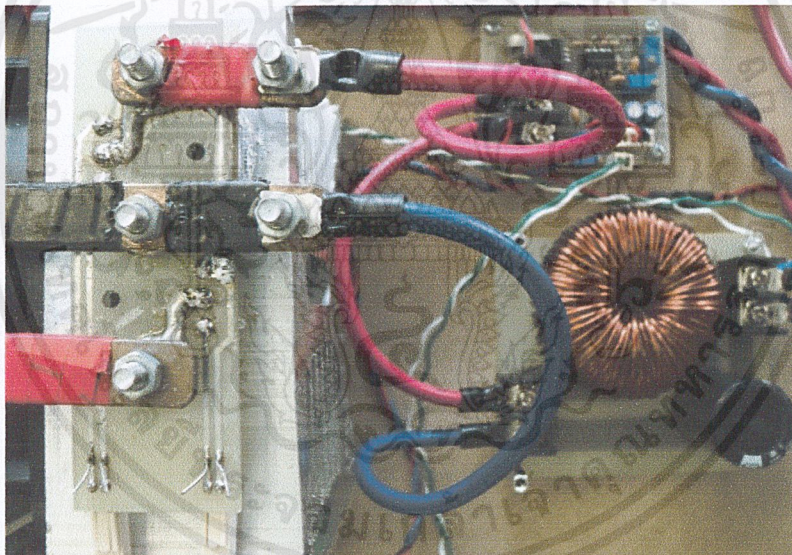
### 3.5 การออกแบบวงจรดีซี - ดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจรดีซี - ดีซีคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมด ในโหมดแรกจะทำหน้าที่เป็นวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากดีซีลิงค์ลงมาให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับโหมดที่สองจะทำหน้าที่เป็นวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปสู่ดีซีลิงค์สำหรับเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป ดังภาพที่ 3.11 แสดงวงจรดีซี - ดีซีคอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรบัค/บูสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์มอสเฟตเบอร์ IRFP4710 ขนาดพิกัดกระแส 73 แอมป์ แรงดัน 100 โวลต์ 2 ตัว โดยที่สวิตช์ตัวบนจะทำงานเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นบัคคอนเวอร์เตอร์ และสวิตช์ตัวล่างจะทำงานเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นบูสคอนเวอร์เตอร์ ชิ้นงานจริงของวงจรดีซี - ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ได้สร้างขึ้นได้แสดงไว้ดังภาพที่ 10.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 วงจรตีชี – ตีชีคอนเวอร์เตอร์

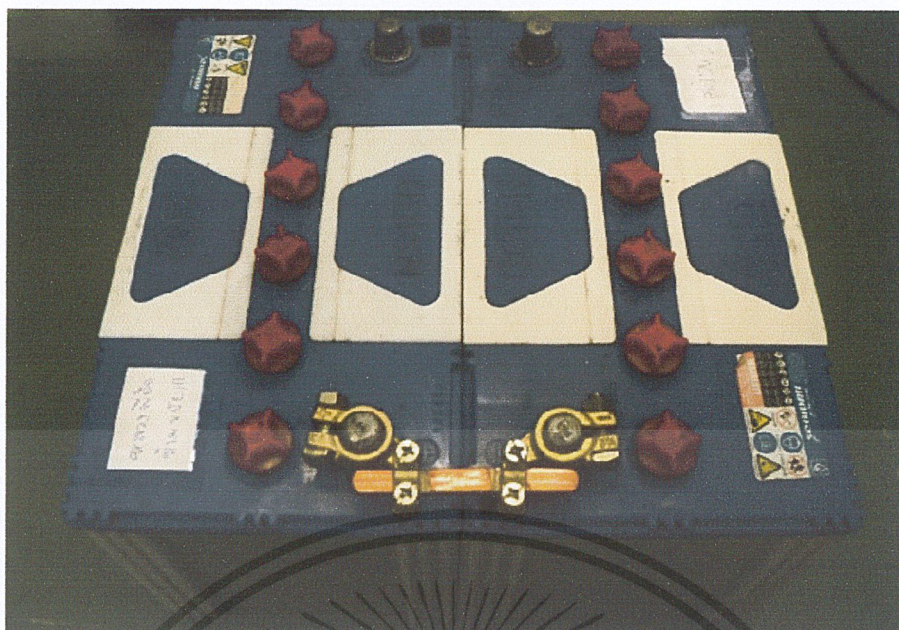


ภาพที่ 3.12 ชิ้นงานจริงวงจรถีชี – ตีชีคอนเวอร์เตอร์

### 3.5.1 การออกแบบวงจรถักคอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบวงจรให้แรงดันด้านเข้าเท่ากับแรงดันที่ตีชีลิงค์นั้นคือ 48 โวลต์ และต้องการแรงดันด้านออกสำหรับชาร์จ 27 โวลต์ เนื่องจากในโครงการนี้จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์ โดยการนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ 6 เซลล์ 2 ลูกมาต่ออนุกรมกัน รวมเป็น 24 โวลต์ 12 เซลล์ดังแสดงในภาพที่ 10.13 ซึ่งแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 2.15 ถึง 2.45 โวลต์ต่อเซลล์ ในที่นี้เลือกใช้ 2.25 โวลต์ต่อเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ 6 เซลล์ 2 ลูก ต่อกันแบบอนุกรม

ดังนั้นแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์จึงเท่ากับ  $2.25 \times 12 = 27$  โวลต์ ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์จะมีค่าไม่คงที่ อยู่ระหว่าง 5 ถึง 20 กิโลเฮิร์ต การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่กระแสไหลลดต่ำสุด จะใช้ความถี่การสวิตช์ที่ 5 กิโลเฮิร์ต อัตราการลอกคลื่น 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำการจำกัดกระแสที่ใช้ในการชาร์จไว้ที่ 10 แอมป์

จากสมการที่ 2.26

$$D = \frac{V_o}{V_s}$$

จะได้

$$D = \frac{27V}{48V}$$

$$D = 0.56$$

จากสมการที่ 2.32 จะได้ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด  $L_{\min}$

$$\begin{aligned} L_{\min} &= \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \\ &= \frac{(1-0.56)}{2 \times (5 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{27V}{10A} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } L_{\min} = 118.8 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

ในการเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำจะต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน นั่นคือจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับทั้งวงจรบักคอนเวอร์เตอร์และวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากในวงจรนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ตัวเหนี่ยวนำตัวเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณได้ในวงจรบัสด้วย ซึ่ง จะแสดงการคำนวณในหัวข้อต่อไป

หาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้อัตราการลอคคลื่นเท่ากับ 0.5 % จากสมการที่ 2.40

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

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

$$= \frac{(1-0.56)}{8 \times (200 \times 10^{-6} \text{ F}) \times (5 \times 10^3 \text{ Hz})^2 \times 0.5\%}$$

ดังนั้น  $C = 2200$  ไมโครฟารัด

ในทางปฏิบัติควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 2200 ไมโครฟารัด อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุขนาด 2200 ไมโครฟารัด เป็นตัวที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดอยู่แล้ว ในการออกแบบจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุแบบมีขั้ว ขนาด 2200 ไมโครฟารัด พิกัดแรงดัน 100 โวลต์

### 3.5.2 การออกแบบวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์จะให้แรงดันด้านเข้าเท่ากับแรงดันที่แบตเตอรี่นั้นคือ 24 โวลต์ และต้องการยกระดับแรงดันขึ้นไปทีดีซีลิ้งค์ซึ่งจะให้มีความแรงดันด้านออกเท่ากับ 48 V ความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ 20 กิโลเฮิร์ต อัตราลอคคลื่นระลอก 0.5 เปอร์เซ็นต์ คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่กระแสไหลต่ำสุด ในที่นี้จะสมมติให้ไหลตึงกระแส้น้อยมาก เพื่อต้องการหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังทำให้กระแสไหลต่อเนื่องได้เมื่อมีการต่อโหลดขนาดต่ำๆ จึงกำหนดให้กระแสด้านออกมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิแอมป์

จากสมการที่ 2.50

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

$$\frac{48\text{V}}{24\text{V}} = \frac{1}{1-D}$$

$$1-D = \frac{24\text{V}}{48\text{V}}$$

จะได้

$$D = 0.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.56 จะได้ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$$

$$L_{\min} = \frac{0.5(1-0.5)^2}{2 \times (20 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{48 \text{ V}}{0.1 \text{ A}}$$

$$L_{\min} = 1.50 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังทำให้กระแสไหลต่อเนื่อง ในการพิจารณาต้องพิจารณาทั้งในวงจรบั๊กและวงจรมอเตอร์ ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่า 1.50 มิลลิเฮนรี่ ในโครงการนี้จะเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 5 มิลลิเฮนรี่ เพื่อให้มั่นใจว่าวงจรทำงานในโหมดที่กระแสไหลต่อเนื่อง โดยที่สามารถคำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการ

$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{desired } L'(\mu\text{H})}{A_L(\mu\text{H}/100 \text{ turns})}} \quad (3.3)$$

โดยที่  $N$  = จำนวนรอบที่พัน  
 $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำ ( $\mu\text{H}$ )  
 $A_L$  = ดัชนีค่าความเหนี่ยวนำ ( $\mu\text{H}/100 \text{ turns}$ )

โดยจะเลือกใช้แกนชนิดเทอร์อยด์ชนิดผงเหล็กอัดเบอร์ T201 ซึ่งมีค่า  $\mu\text{H}/\text{turns} = 755$  เพราะจะทำให้ค่าของความเหนี่ยวนำต่อพื้นที่ใช้งานสูงที่สุด และมีค่าอัตราระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรในการแพร่กระจายความร้อนดีที่สุด นอกจากนี้การออกแบบด้วยแกนชนิดเทอร์อยด์มีข้อดีคือ ลักษณะของแกนจะมีการซีลด์สนามแม่เหล็กด้วยตนเอง ซึ่งมีผลอย่างดียิ่งในการช่วยลดผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะออกมารบกวนภายนอก และยังมีผลของฟลักซ์รั่วไหลต่ำ เมื่อคำนวณหาจำนวนรอบที่ต้องพันแกนตามสมการที่ 3.3 จะได้

$$N = 100 \times \sqrt{\frac{5 \times 10^3}{755}} = 257.34 \text{ รอบ}$$

จากการคำนวณจะทำให้ทราบว่าจะต้องพันแกนประมาณ 258 รอบ ถึงจะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ 5 มิลลิเฮนรี่

ส่วนการหาค่าตัวเก็บประจุของวงจรมอเตอร์นั้น จะใช้ตัวเดียวกันกับตัวเก็บประจุที่ตีซิลิ่งค์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4700 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจากไดโอดให้มีความเรียบมากขึ้น

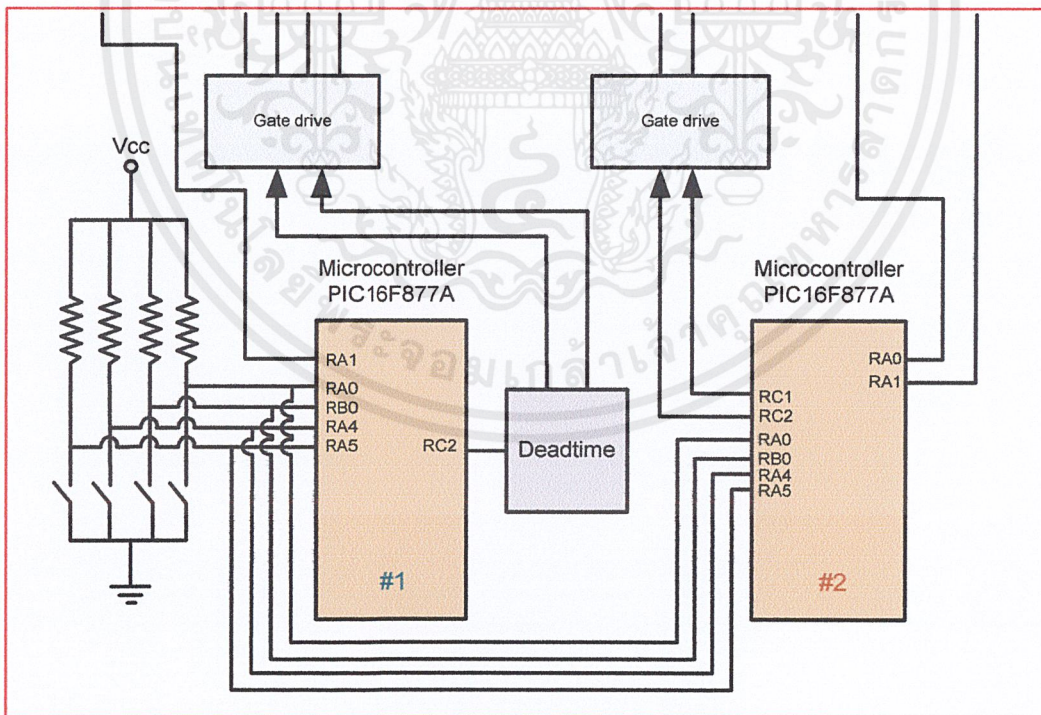
### 3.6 การออกแบบวงจรควบคุม

#### 3.6.1 การออกแบบ Hardware

##### 3.6.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ

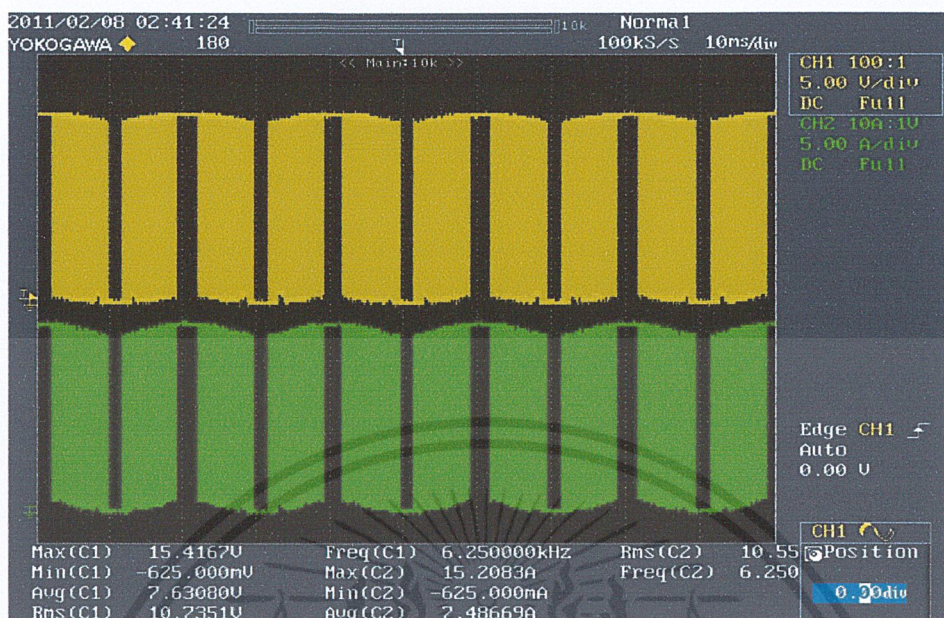
การออกแบบวงจรจะต้องให้มีความสัมพันธ์กับตัวโปรแกรม ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ที่ใช้งาน โดยในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด PIC16F877A ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
- คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle
- มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) ขนาด 368 Byte
- สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ถึง 100,000 ครั้ง
- มีพอร์ตให้ใช้งานทั้งหมด 5 พอร์ต
- ทำงานได้สูงสุดที่ 20 MHz



ภาพที่ 3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

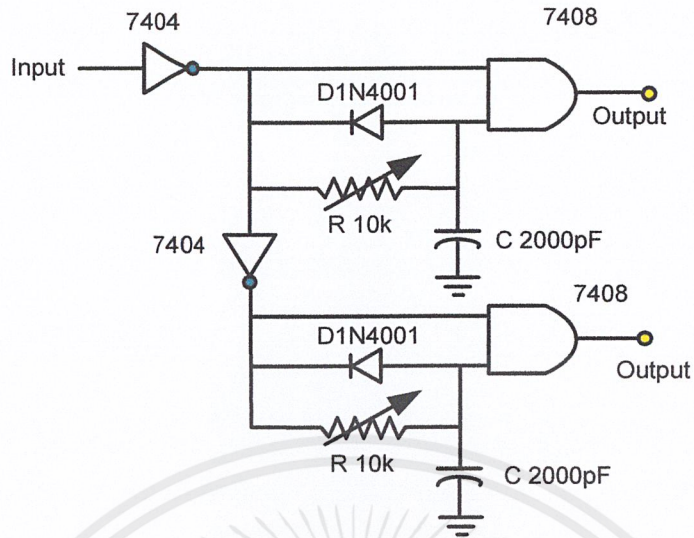


ภาพที่ 3.15 สัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุม

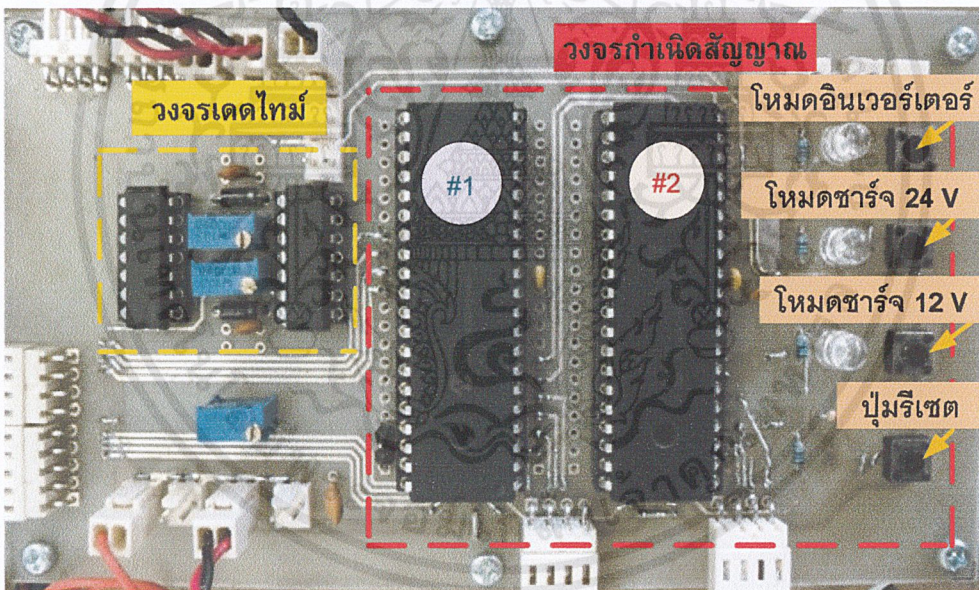
จากภาพที่ 3.15 สัญญาณที่สร้างออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 จะเป็นสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มชนิดไบโพลาร์และใช้ขับสวิตช์วงจรถักอินเวอร์เตอร์ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะเป็นสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและใช้ขับสวิตช์วงจรมอเตอร์/บูสต์คอนเวอร์เตอร์

### 3.6.1.2 วงจรเดดไทม์

เดดไทม์เป็นวงจรหน่วงเวลาไม่ให้สัญญาณที่ไปขับสวิตช์ตัวบนกับสวิตช์ตัวล่างในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจร อุปกรณ์หลักที่ใช้คือ ไอซีเบอร์ HD74LS04P (นอตเกต) และ HD74LS08P (แอนด์เกต) โดยต้องใช้ไฟเลี้ยงกระแสตรงขนาด 5 โวลต์จ่ายให้กับวงจรเพื่อให้สามารถทำงานได้



ภาพที่ 3.16 วงจรเดดไทม์



ภาพที่ 3.17 ชิ้นงานจริงของวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 การออกแบบ firmware

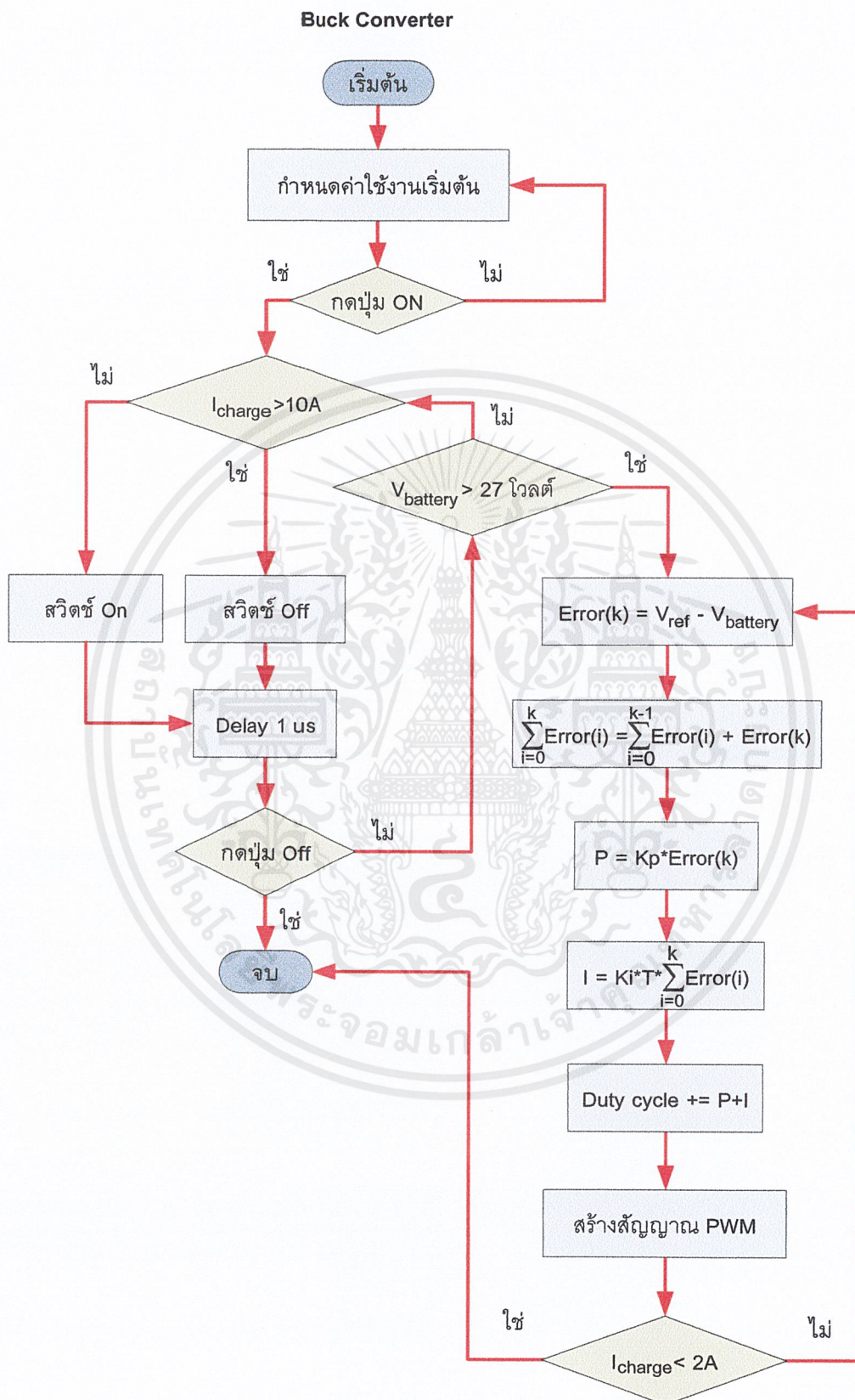
ในการออกแบบได้เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A สร้างสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็มออกมาใช้งานในแต่ละโหมดดังนี้

#### 3.6.2.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่

- ชาร์จแบบกระแสคงที่ จะสร้างสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็มแบบความถี่ไม่คงที่เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้การเทคนิคควบคุมกระแสโดยกำหนดขอบเขต (Hysteresis band control) ในการสร้างสัญญาณและควบคุมค่ากระแสชาร์จให้คงที่ ซึ่งหลักการก็คือการนำสัญญาณกระแสที่วัดได้หรือกระแสจริงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสอ้างอิงที่เป็นเส้นตรง
- ชาร์จแบบแรงดันคงที่ จะสร้างสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็มแบบความถี่คงที่ที่ 20 kHz เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ โดยอาศัยโมดูลของ TIMER2 ในการสร้างสัญญาณ ส่วนการควบคุมให้แรงดันคงที่จะใช้การควบคุมแบบ PI Control ในการปรับค่า Duty Cycle ซึ่งมี flowchart diagram แสดงในรูปที่ 3.18

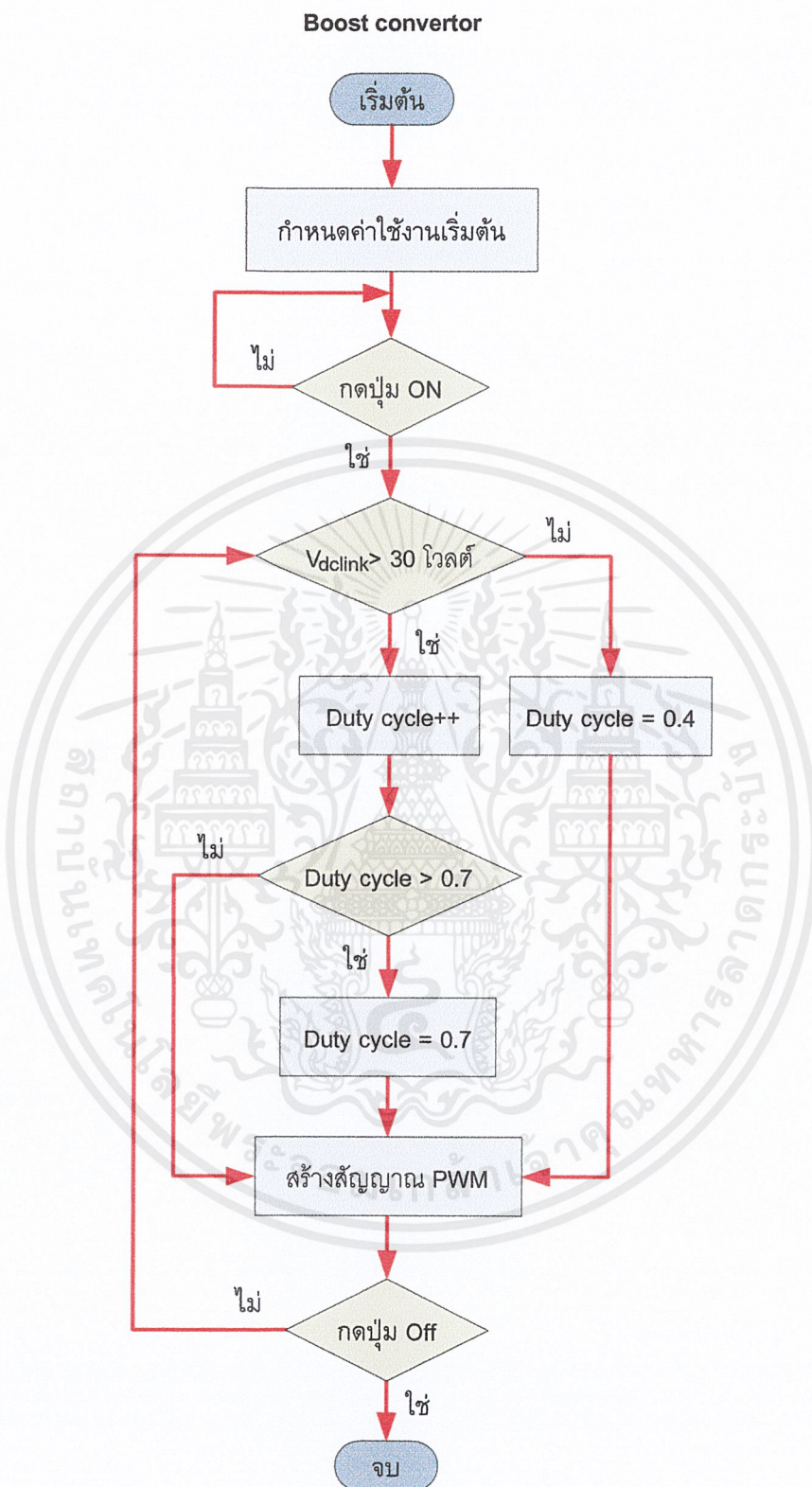
#### 3.6.2.2 โหมดอินเวอร์เตอร์

- สร้างสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็มแบบความถี่คงที่ที่ 20 kHz เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยอาศัยโมดูลของ TIMER2 ในการสร้างสัญญาณ ส่วนการควบคุมในการบัสแรงดันเริ่มต้นจะปรับค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.4 เพื่อลดกระแสกระชากในการสวิตช์ครั้งแรกและหลังจากนั้นจะปรับค่า Duty Cycle เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง 0.7 และคงที่ที่ 0.7 ดังแสดงในภาพที่ 3.19
- สร้างสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็มแบบไบโพลาร์ความถี่สวิตซ์ที่ 6.25 kHz เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยอาศัยโมดูลของ TIMER2 ในการสร้างสัญญาณ ส่วนการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ จะใช้การควบคุมแบบ PI Control ในการปรับค่า Modulation index ดังแสดงในภาพที่ 3.20



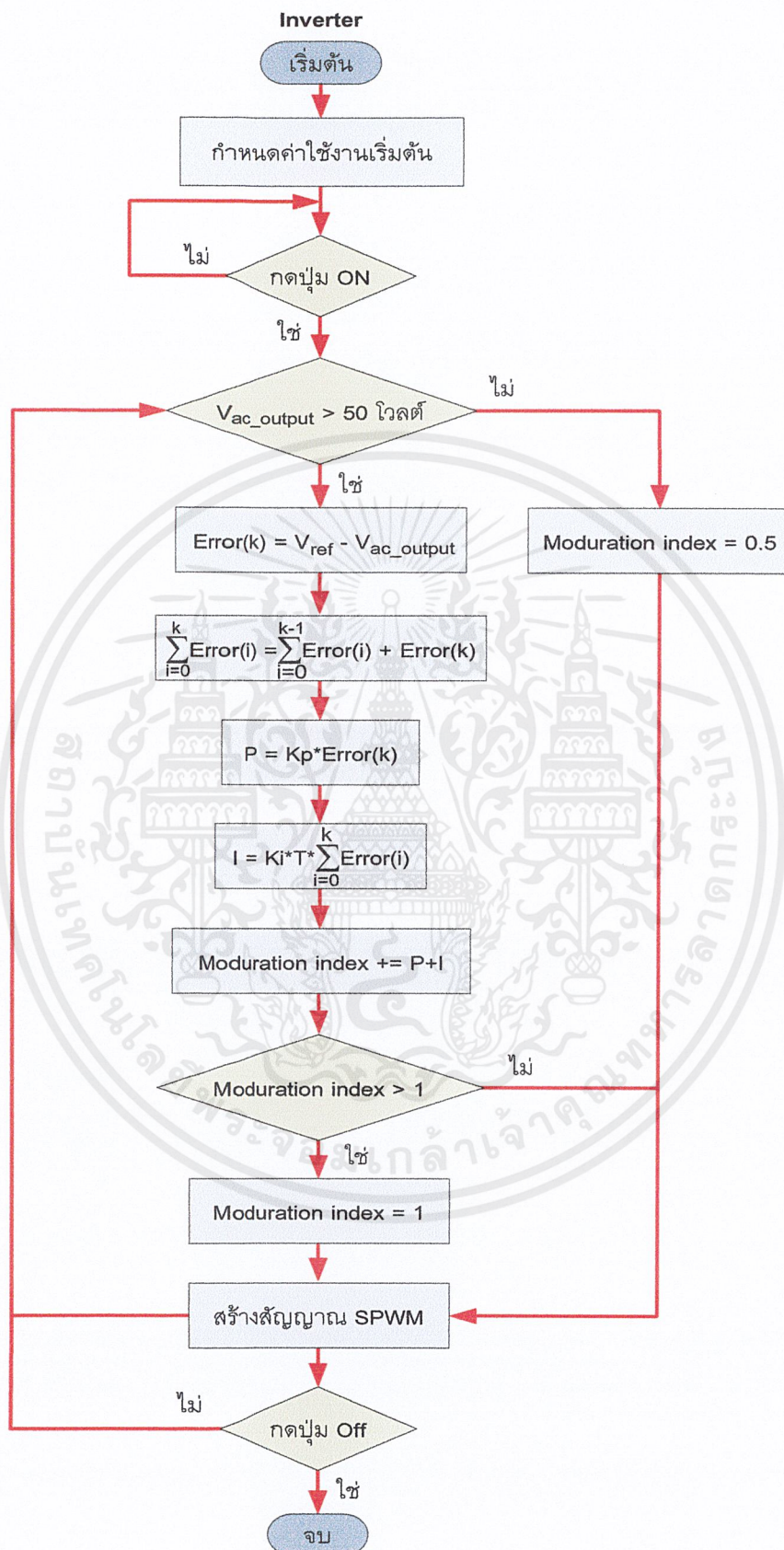
ภาพที่ 3.18 ไตอะแกรมของโปรแกรมโหมดชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.19 ไลออะแกรมของโปรแกรมบู้สคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 ไตอะแกรมของโปรแกรมโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 บทสรุป

การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางนั้น มีพื้นฐานมาจากการประยุกต์ใช้วงจรฟลูบรีตจ์คอนเวอร์เตอร์และวงจรดีซี – ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป เพียงแต่มีการประยุกต์ใช้ทั้งสองวงจรมารวมกันโดยผ่านตัวเก็บประจุที่ดีซีลิงค์ ซึ่งจะมีอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ใช้เป็นมอสเฟตรวมกันทั้งหมด 6 ตัว โดยมีการควบคุมการทำงานของสวิตช์แต่ละตัวด้วยวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ในการสร้างสัญญาณขับสวิตช์ผ่านวงจรขับเกต ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดการทำงานในส่วนต่างๆ การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ รวมทั้งการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบให้เกิดเป็นชิ้นงานจริงขึ้นมา



## บทที่ 4

### ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 เพื่อตรวจสอบการทำงานที่สภาวะต่างๆ และหาค่าพารามิเตอร์ของวงจร ก่อนที่จะสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นงานจริง เพื่อที่จะทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากชิ้นงานจริง โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองตอน ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรในขณะที่ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับในตอนที่ 2 จะเป็นการศึกษาการทำงานของวงจรในขณะที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ

#### 4.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อเป็นการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่และในขณะที่ทำการจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 ซึ่งจะเป็นการยืนยันถึงแนวความคิดว่าถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎี และเป็นแนวทางการดำเนินงานก่อนที่จะไปทำการจัดสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นงานจริงต่อไป ซึ่งการทดลองจะแบ่งเป็นสองตอนดังนี้

##### ตอนที่ 1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่

1. เพื่อศึกษาอัตราการลอคลิ้นของแรงดันและกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแรงดันและกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่

##### ตอนที่ 2 โหมดอินเวอร์เตอร์

1. เพื่อศึกษาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านนอกของอินเวอร์เตอร์ที่ภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านนอกของอินเวอร์เตอร์เมื่อมีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า

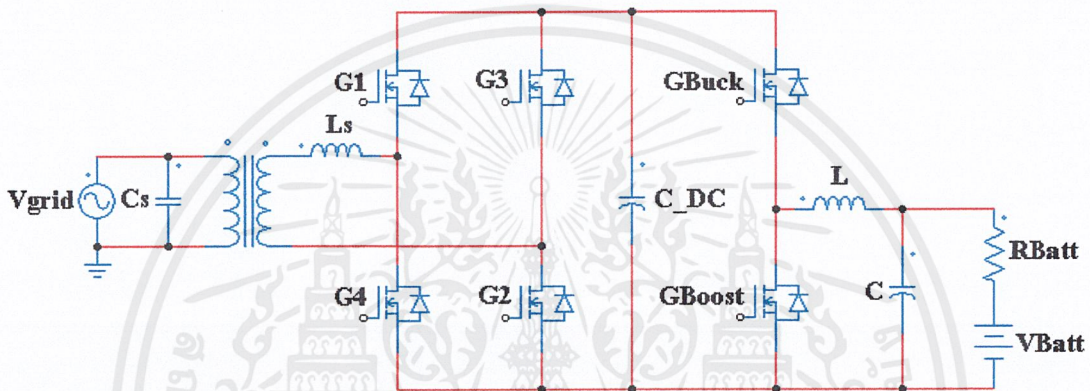
#### 4.3 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางคือ โปรแกรม PSIM 9.0.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดอินเวอร์เตอร์เป็นดังในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.9 ตามลำดับ สำหรับส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางจะอยู่ในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 การจำลองการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยทำการต่อไฟจากการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันลงมาแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตีซีลิ่งค์ จากนั้นทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ตีซีลิ่งค์ลงมาให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณ 27 โวลต์ โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

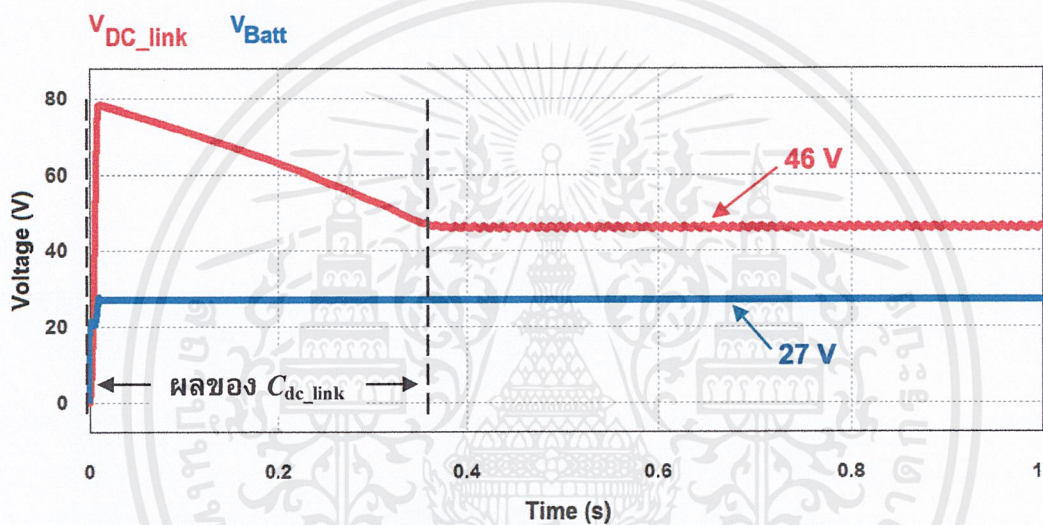
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร

ตัวแปร	ค่าของตัวแปร
ความถี่ในการ Switching - G1,G2,G3 และ G4 - GBuck - GBoost	6.25 kHz ไม่คงที่ จะมีค่าอยู่ในช่วง 5 - 20 kHz 20 kHz
หม้อแปลงไฟฟ้า	220/36 V
$C_s$	3 $\mu\text{F}$
$L_s$	250 $\mu\text{H}$
$C_{DC}$	4700 $\mu\text{F}$
Inductance L	5 mH
Capacitance C	2200 $\mu\text{F}$
แรงดันแบตเตอรี่ ( $V_{Batt}$ )	24 V
ความต้านทานแบตเตอรี่ ( $R_{Batt}$ )	0.3 $\Omega$

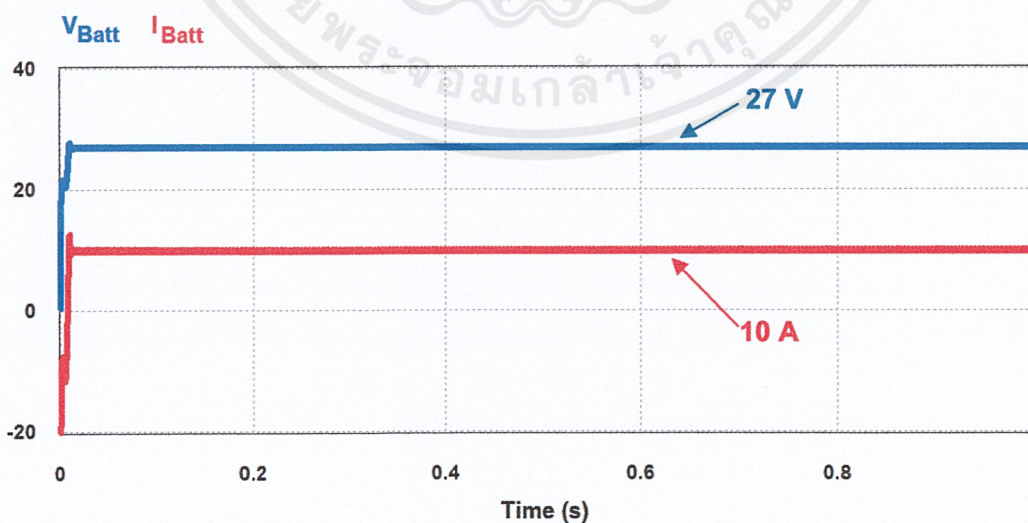
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

การจำลองการชาร์จแบตเตอรี่ จะจำลองให้รับไฟจากการไฟฟ้าเพื่อชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ โดยจะทำการนำเสนอรูปสัญญาณต่างๆ ดังภาพที่ 4.2 ถึง 4.8 แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตีซีลิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ อัตราการลอคคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งแสดงสเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำหรือทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ ตามลำดับ

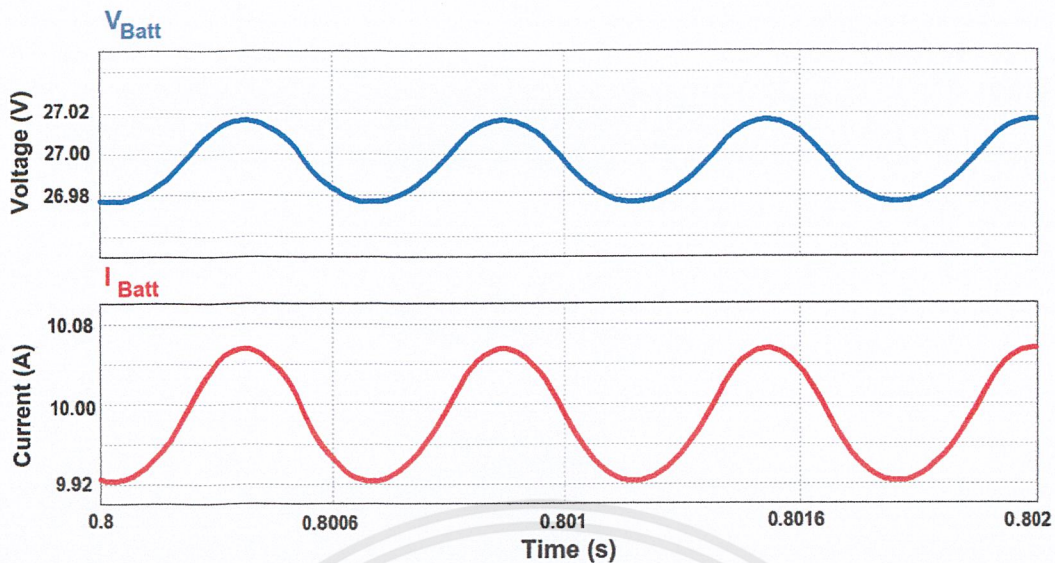


ภาพที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าที่ตีซีลิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

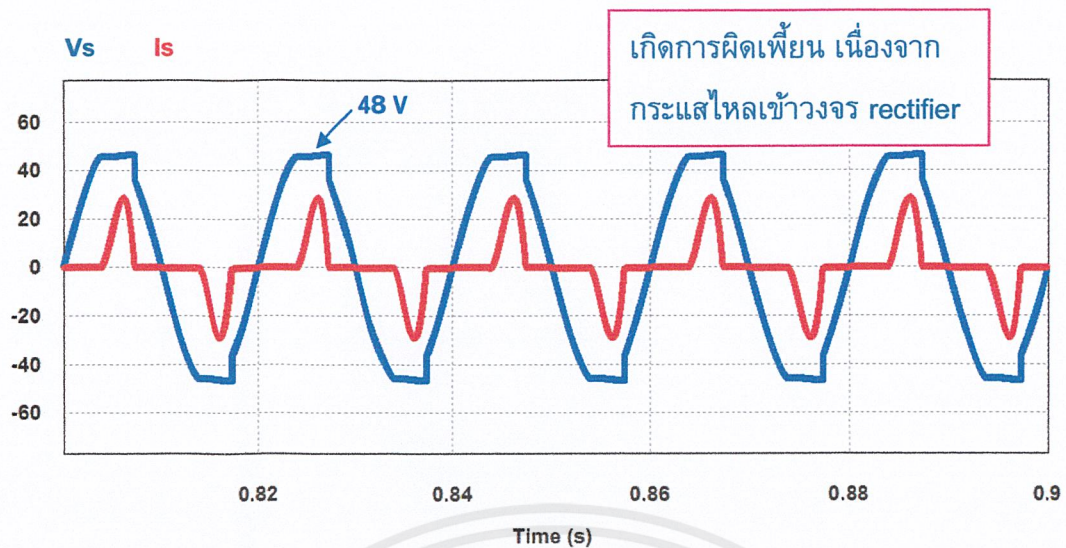


ภาพที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เมื่อขยายดูการกระเพื่อม

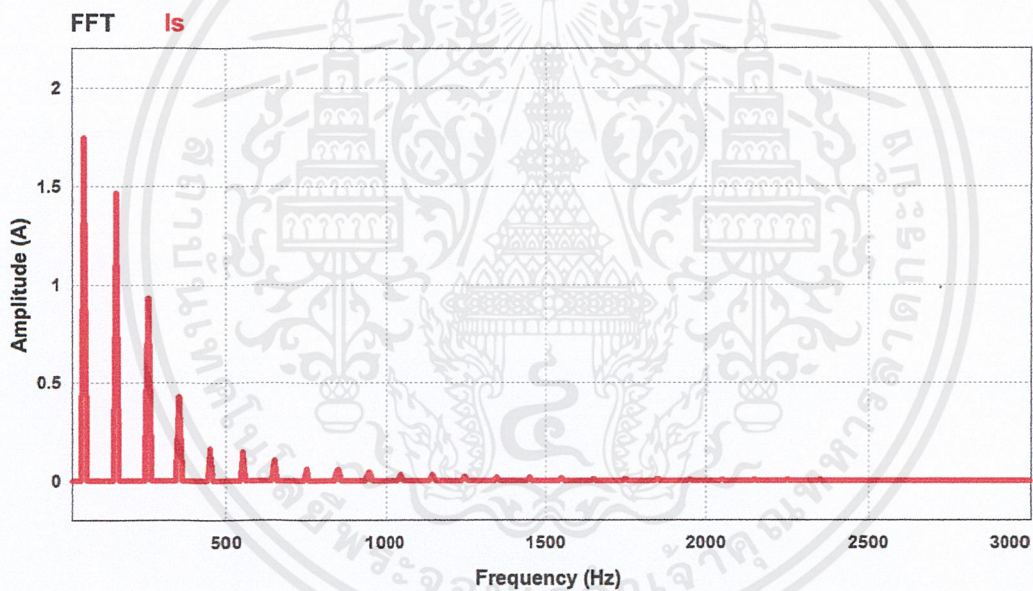
จากภาพที่ 4.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าดกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิ่งค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าดกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิ่งค์ในช่วงแรกจะเกิดเป็นลักษณะแรงดันเกินขึ้นไปที 80 โวลต์แล้วลดระดับลงมาจนถึง 46 โวลต์เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งเกิดจากผลของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ดีซีลิ่งค์ เมื่อผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดระดับแรงดันจากดีซีลิ่งค์ลงมา จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เท่ากับ 27 โวลต์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 12 เซลล์ โดยที่จะทำการชาร์จโดยใช้แรงดัน 2.25 โวลต์ต่อเซลล์ ส่วนในภาพที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะเริ่มชาร์จแบตเตอรี่ที่แรงดันประมาณ 27 โวลต์จะทำการรักษาระดับกระแสสูงสุดไว้ที่ 10 แอมป์ เมื่อทำการขยายสัญญาณแรงดันและกระแสออกมาเพื่อดูการกระเพื่อมของสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 4.4 พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันและกระแสโดยใช้ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square : rms) และค่าเฉลี่ย (Average : avg) ในการคำนวณ เนื่องจากจะเป็นการใช้ทุกค่าของข้อมูลในการคำนวณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\%V_{ripple} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{avg}^2}}{V_{avg}} \times 100 \quad (4.1)$$

จะได้ว่า อัตราระลอกคลื่นของแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.0544 เปอร์เซ็นต์ และอัตราระลอกคลื่นของกระแสมีค่าเท่ากับ 0.487 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าน้อยมาก



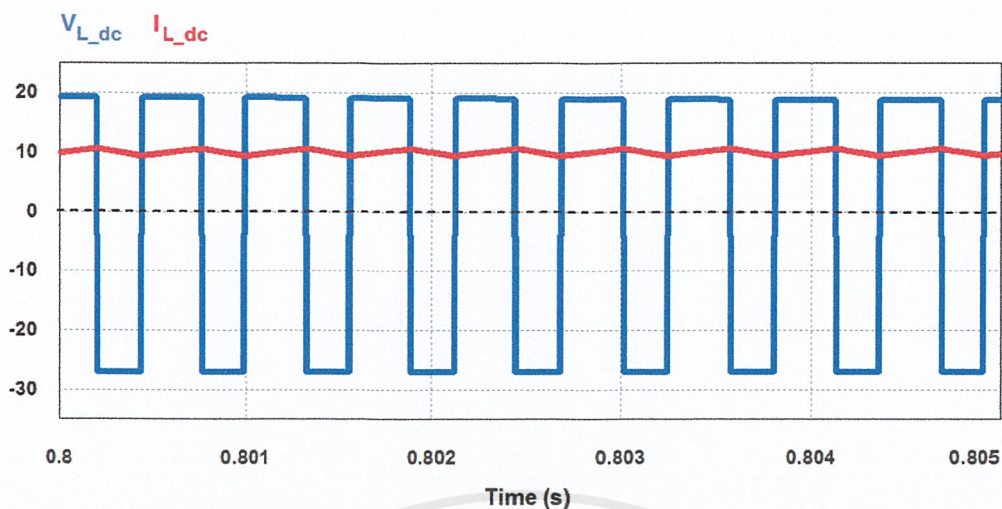
ภาพที่ 4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า



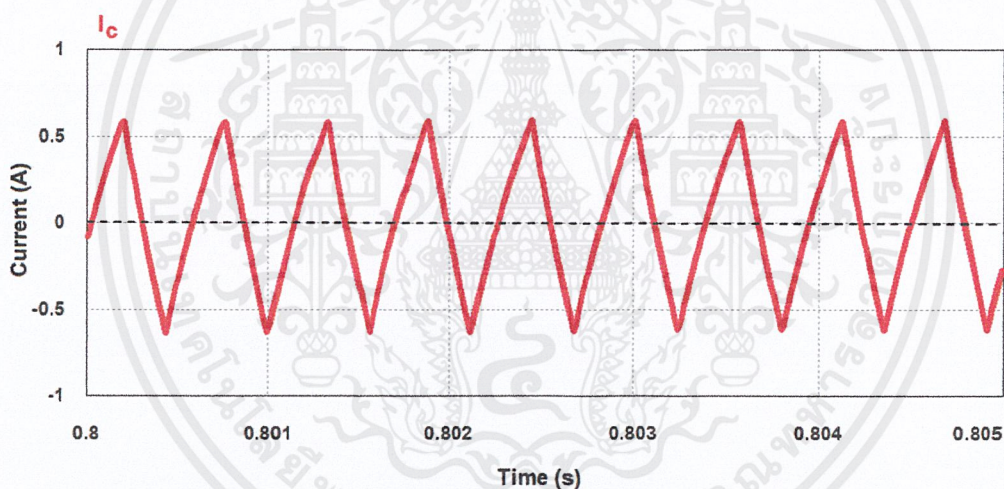
ภาพที่ 4.6 สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า

จากภาพที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทางด้านเข้า ก่อนเข้าวงจรฟลูบริดจ์เรกติไฟล์ 1 เฟส จะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสมีความผิดเพี้ยนค่อนข้างสูง เป็นผลมาจากการใช้ไดโอดในการเรียงกระแสทำให้ภาระของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Load) รูปคลื่นแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายจึงเกิดการผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ เมื่อทำการแตกสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าดังภาพที่ 4.6 จะพบว่านอกจากมีค่าแอมพลิจูดเกิดที่ความถี่มูลฐานแล้วยังพบว่ามีฮาร์มอนิกส์ที่ 3 5 7 9... ซึ่งเป็นเลขคี่เกิดขึ้นอีกด้วย เนื่องจากมีสิ่งทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 4.8 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

ภาพที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากพื้นที่ทางด้านซีกบวกและซีกลบของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นผลคูณระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบมีค่าเท่ากัน นั่นหมายความว่าเมื่อทำการหาผลรวมแล้วจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากันและมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่าวงจรที่ใช้ในการจำลองทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ส่วนภาพที่ 4.8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

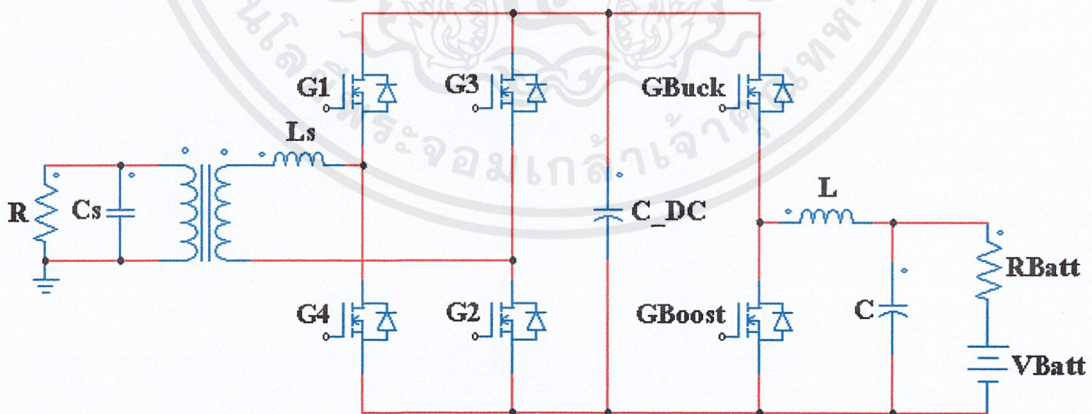
ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือประจุที่ถูกชาร์จและคายออกมาของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

### 4.3.3 การจำลองการทำงานของวงจรในโหมดจ่ายพลังงานกลับคืน

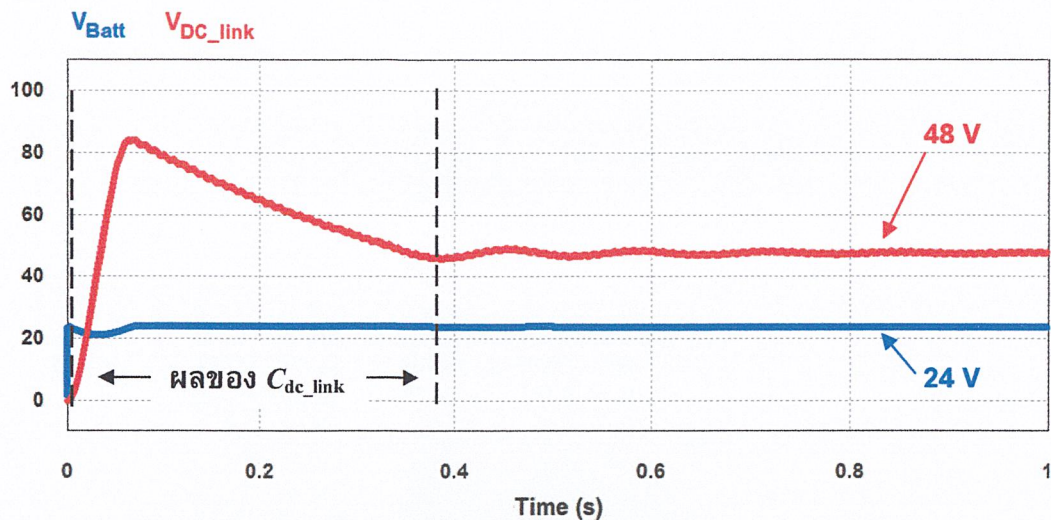
ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในขณะที่ทำการจ่ายพลังงานกลับคืน โดยจะทำการยกระดับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ จากแบตเตอรี่ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าตกรวมตัวเก็บประจุที่ตีซิงค์ด้วยวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะมีค่าประมาณ 48 โวลต์ เพื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรถูกปรับอัตราคอนเวอร์เตอร์ ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและหม้อแปลงไฟฟ้า จ่ายสู่ภาระทางไฟฟ้าต่อไป โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปดังตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานภาระทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 484 โอห์มซึ่งจะจำลองการจ่ายพลังงานคืนสู่ภาระไฟฟ้า 100 วัตต์

### 4.3.4 ผลการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดจ่ายพลังงานกลับคืน

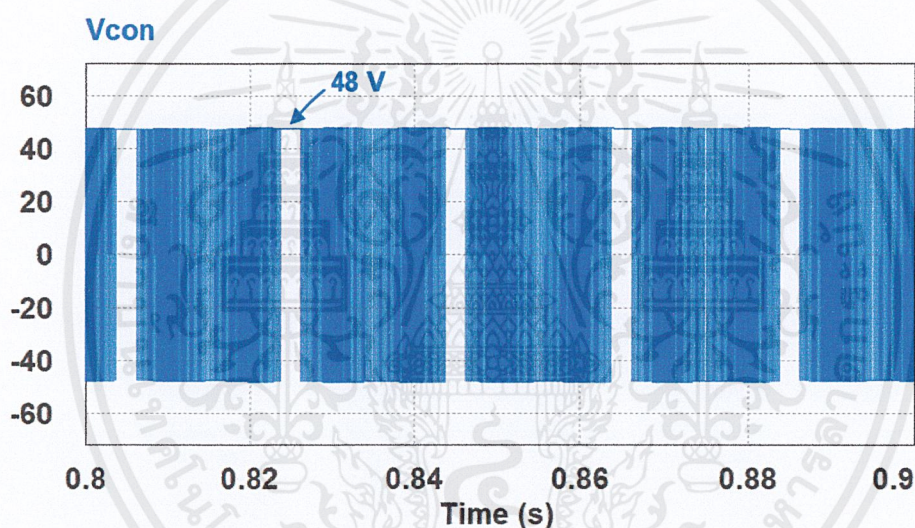
การจำลองการจ่ายพลังงานกลับคืน จะทำการจำลองด้วยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปสู่ภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ โดยจะทำการนำเสนอรูปสัญญาณต่างๆ ดังภาพที่ 4.10 ถึง 4.14 แสดงรูปแรงดันไฟฟ้าที่ตีซิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ รูปของแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกเมื่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกและสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านออกที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในโหมดจ่ายพลังงานกลับคืน

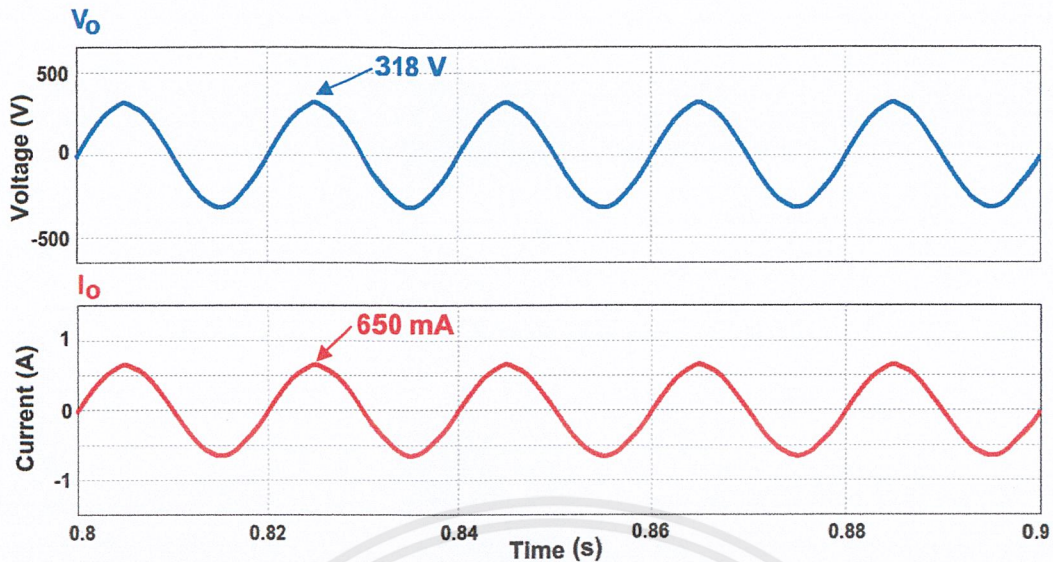


ภาพที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ดีซีลิงค์

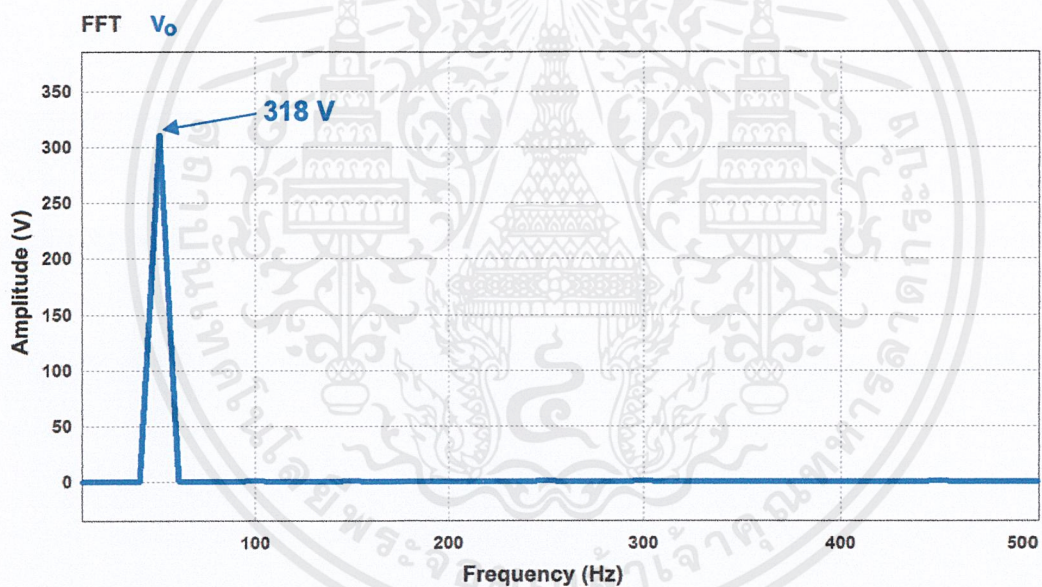


ภาพที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง

ภาพที่ 4.10 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ เทียบกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิงค์ จะเห็นได้ว่าวงจรที่ใช้ในการจำลองสามารถยกระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดัน 24 โวลต์ที่ขั้วแบตเตอรี่ ผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ เป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิงค์ได้ และมีค่าประมาณ 48 โวลต์ที่สภาวะอยู่ โดยที่ในช่วงแรกจะมีผลของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ดีซีลิงค์อยู่เช่นเดียวกับในตอนเริ่มชาร์จแบตเตอรี่ จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีซีลิงค์เข้าสู่วงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จะได้รูปแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์หรือรูปแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรองดังภาพที่ 4.11 ซึ่งจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 48 โวลต์



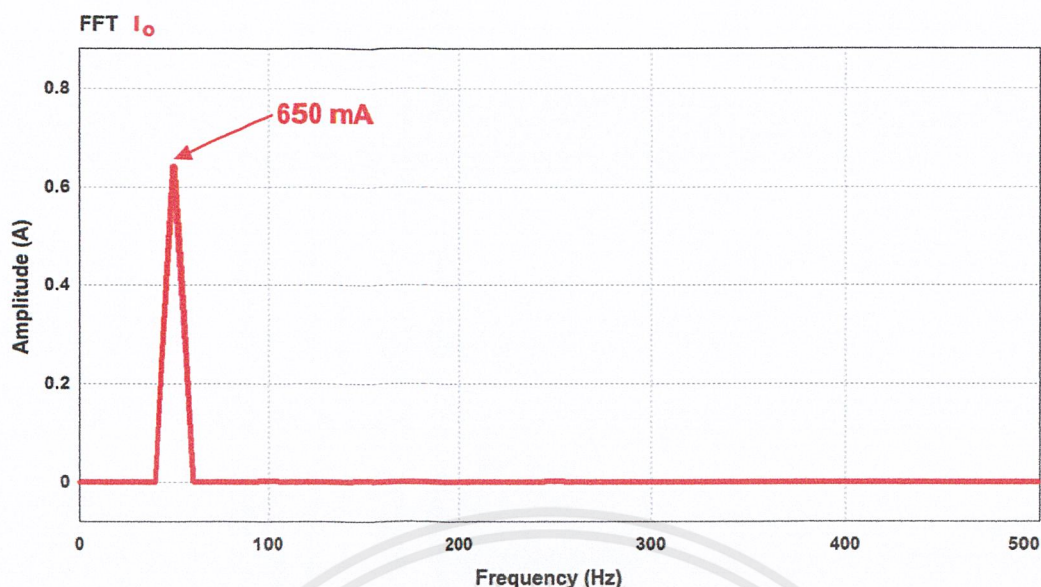
ภาพที่ 4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 4.13 สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

ภาพที่ 4.12 แสดงแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจรรองและหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อทำการป้อนเข้าสู่ภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ พบว่ารูปคลื่นของแรงดันและกระแสมีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยที่มีค่าสูงสุดของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 318 โวลต์ 650 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ จะได้ค่า rms ของแรงดันและกระแสเท่ากับ 224.86 โวลต์ 460 มิลลิแอมป์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อทำการแตกสเปกตรัมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านนอกที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า ดังภาพที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ พบว่าจะเกิดค่าแอมพลิจูดที่ความถี่ 50 เฮิร์ตที่เดียว ซึ่งเป็นความถี่มูลฐานของระบบ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสไฟฟ้า พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

#### 4.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 จะเห็นได้ว่าในขณะที่วงจรทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จให้คงที่ได้โดยมีการจำกัดกระแสสูงสุดไว้ที่ 10 แอมป์ อัตราการลอคคลื่นของแรงดันและกระแสมีค่าต่ำ แสดงถึงความเหมาะสมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ และในขณะที่วงจรทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานคืนสู่ภาระทางไฟฟ้า รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้มีความใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามียังมีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่ทำการจำลองนี้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้สองทิศทางได้ และสามารถนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการทดลองและใช้งานจริงต่อไป

## 4.5 ผลการทดลองกับชุดต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพลังงานไหลสองทิศทาง

### 4.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพลังงานไหลสองทิศทาง ในขณะที่ทำงานเป็นโหมดชาร์จและโหมดอินเวอร์เตอร์

### 4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

โหมดชาร์จ

- ต่อสายชาร์จเข้ากับขั้วแบตเตอรี่และต่อแรงดันไฟฟ้าจากกริดเข้ากับเครื่องชาร์จ
- จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณขนาด  $5 V_{dc}$  และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรขับเคลื่อน วงจรตรวจจับแรงดัน วงจรตรวจจับกระแส ขนาด  $15 V_{dc}$
- กดปุ่ม โหมดชาร์จ เพื่อกำเนิดสัญญาณขับเคลื่อนในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
- ใช้ Digital Oscilloscope ยี่ห้อโยโกกาวา (YOKOGAWA) วัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสในขณะที่ชาร์จแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่
- บันทึกผลและรูปที่ได้จากการทดลอง

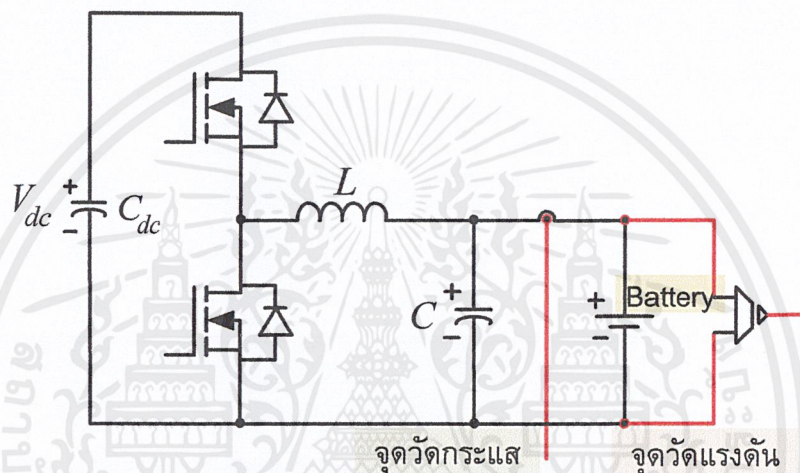
โหมดจ่ายพลังงานกลับคืน

- ต่อสายชาร์จเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ 24 โวลต์ โดยนำแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์มาต่ออนุกรมกัน 2 ลูก
- ต่อโหลดหลอดไฟทางด้านหน้าของหม้อแปลงไฟฟ้า
- จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณขนาด  $5 V_{dc}$  และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรขับเคลื่อน วงจรตรวจจับแรงดัน วงจรตรวจจับกระแส ขนาด  $15 V_{dc}$
- กดปุ่ม โหมดอินเวอร์เตอร์ เพื่อกำเนิดสัญญาณขับเคลื่อนในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์
- ใช้ Digital Oscilloscope วัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าและขณะที่มีภาระไฟฟ้า
- บันทึกผลและรูปที่ได้จากการทดลอง

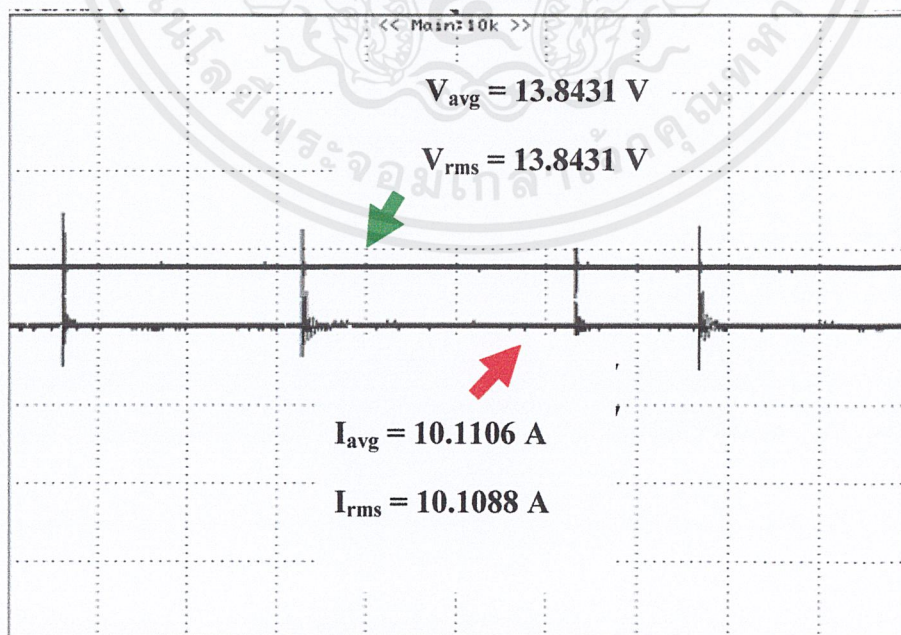
### 4.5.3 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์

#### 4.5.3.1 ผลการทดลอง

สำหรับการเริ่มต้นทดลองชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์ แรงดันแบตเตอรี่ก่อนชาร์จที่วัดได้เท่ากับ 11.2 โวลต์ และการชาร์จจะแบ่งเป็นสองโหมดด้วยกันคือโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ โดยจะคงที่กระแสชาร์จที่ประมาณ 10 แอมป์ไปเรื่อยๆจนกว่าแรงดันแบตเตอรี่จะมีค่าประมาณ 14 โวลต์ จึงจะเปลี่ยนการชาร์จเป็นโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่ โดยจะคงที่แรงดันชาร์จที่ประมาณ 14 โวลต์ไปเรื่อยๆจนกว่ากระแสชาร์จจะลดลงเหลือประมาณ 2 แอมป์ จึงจะหยุดการชาร์จแบตเตอรี่ ในการทดลองนี้ได้ใช้เวลาในการชาร์จทั้งหมดประมาณ 11 ชั่วโมง

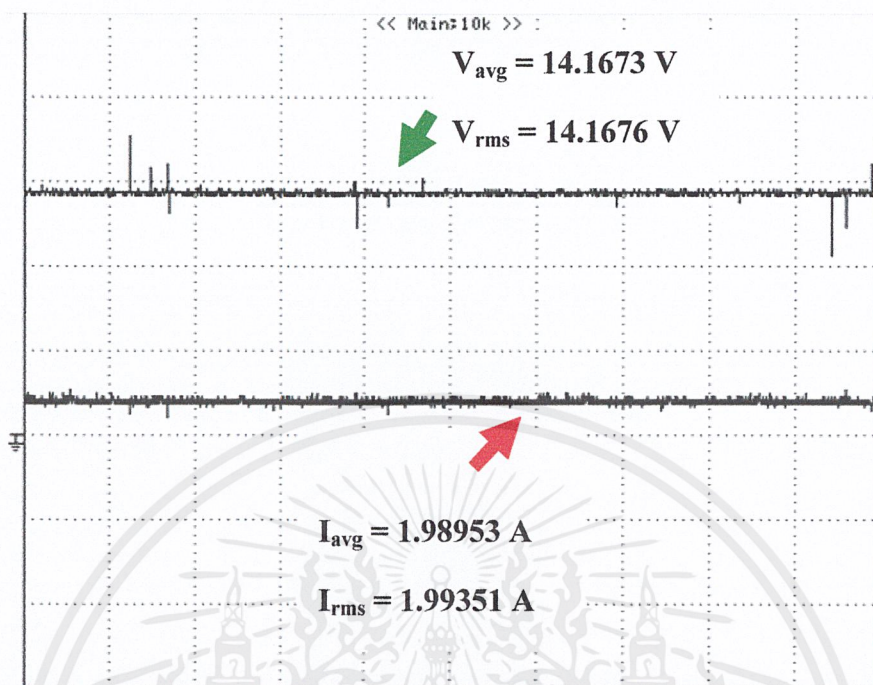


ภาพที่ 4.15 จุดวัดแรงดันและกระแสชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.16 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ (ชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 แรงดันและกระแสในโหมตชาร์จแบบแรงดันคงที่ (ชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์)

จากภาพที่ 4.15 เป็นการแสดงจุดวัดแรงดันและกระแสชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจะได้ผลของการวัดดังนี้

ภาพที่ 4.16 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จของโหมตชาร์จแบบกระแสคงที่ จากการทดลองพบว่าสัญญาณแรงดันมีลักษณะค่อนข้างเรียบ และมีสัญญาณสไปก์เกิดขึ้นในช่วงที่มีการสวิตช์เล็กน้อย ส่วนสัญญาณกระแสชาร์จก็มีลักษณะเช่นเดียวกับกับแรงดันและเป็นโหมตกระแสต่อเนื่องด้วย ซึ่งสามารถคำนวณอัตราระลอกคลื่นแรงดันและกระแสชาร์จได้ตามสมการที่ (4.1) จะได้ค่าอัตราระลอกคลื่นแรงดันเท่ากับ 1.08% และอัตราระลอกคลื่นกระแสเท่ากับ 1.89%

ภาพที่ 4.17 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จของโหมตชาร์จแบบแรงดันคงที่ จากการทดลองพบว่าสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จที่วัดได้ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับของโหมตชาร์จแบบกระแสคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณค่าอัตราระลอกคลื่นแรงดันได้เท่ากับ 1.98% และค่าอัตราระลอกคลื่นกระแสได้เท่ากับ 0.65%

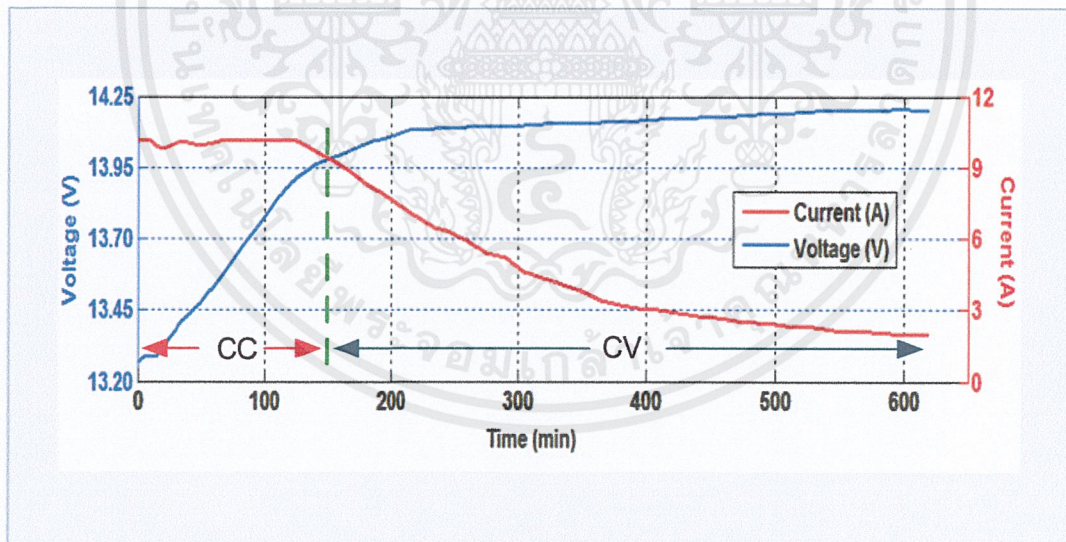
### 4.5.3.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแรงดันและกระแสชาร์จที่เวลาต่างๆ (ชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์)

เวลา (Min)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
0	13.270	10.100
5	13.283	10.100
10	13.290	10.090
15	13.284	9.900
20	13.314	9.790
35	13.414	10.140
50	13.474	9.880
65	13.564	10.130
80	13.657	10.140
95	13.745	10.140
110	13.836	10.140
125	13.915	10.120
140	13.959	9.710
155	13.985	9.250
170	14.013	8.720
185	14.041	8.100
200	14.061	7.630
215	14.081	7.120
235	14.086	6.470
245	14.088	6.300
260	14.091	5.930
275	14.093	5.420
290	14.094	5.200
305	14.096	4.610
320	14.101	4.320
350	14.105	3.800
365	14.107	3.420
380	14.109	3.220
395	14.114	3.050
410	14.118	3.020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (Min)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
425	14.120	2.910
440	14.125	2.750
455	14.128	2.660
470	14.131	2.580
485	14.134	2.490
500	14.137	2.390
515	14.144	2.320
530	14.145	2.260
545	14.148	2.180
560	14.149	2.110
575	14.150	2.070
590	14.152	2.010
605	14.154	1.950
620	14.148	2.010



ภาพที่ 4.18 กราฟคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์ 100 Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 เป็นข้อมูลของแรงดันและกระแสชาร์จที่เก็บค่าทุกๆ 15 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟแรงดันและกระแสชาร์จที่เทียบกับเวลา ซึ่งจะได้เป็นกราฟคุณลักษณะของการชาร์จแบตเตอรี่ดังภาพที่ 4.18 และจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกเป็นการชาร์จแบบกระแสคงที่ ส่วนแรงดันแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึงจุดที่ชาร์จแบบแรงดันคงที่ ค่ากระแสชาร์จก็จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่หยุดการชาร์จ

#### 4.5.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์ 100 Ah พบว่า โหมดการชาร์จแบบกระแสคงที่และโหมดการชาร์จแบบแรงดันคงที่จะเกิดค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันและกระแสชาร์จที่ต่างกัน เนื่องจากทั้งสองโหมดมีรูปแบบการควบคุมการสวิตซ์ที่ไม่เหมือนกัน โดยโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่จะใช้ค่าของกระแสเป็นตัวกำหนดการสวิตซ์ซึ่งจึงทำให้เกิดค่าอัตราการลอกคลื่นกระแสมากกว่าแรงดัน ส่วนโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่จะใช้ค่าของแรงดันเป็นตัวกำหนดการสวิตซ์ซึ่งจึงทำให้เกิดค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันสูงกว่ากระแส

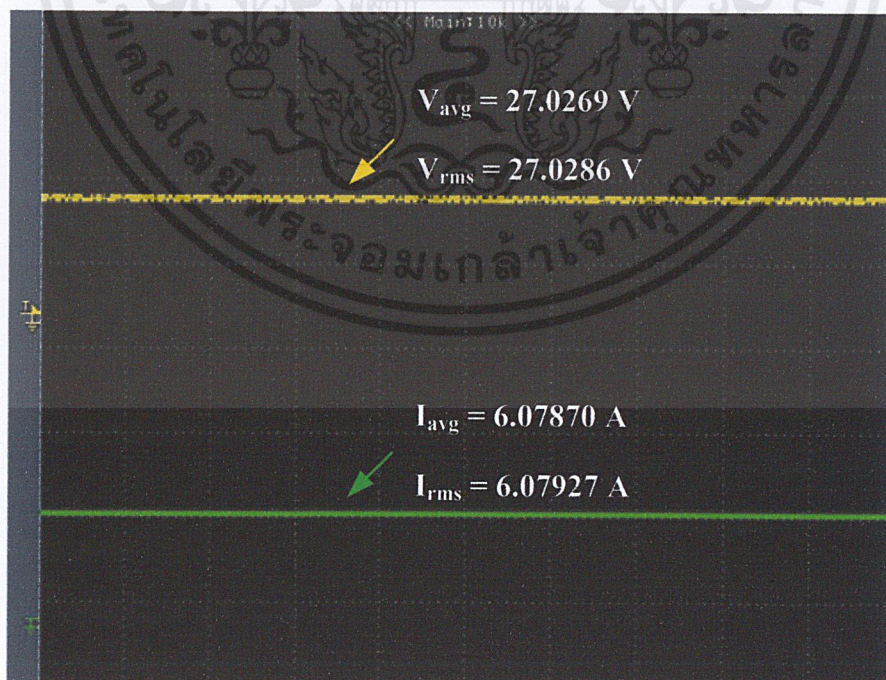
สำหรับคุณลักษณะของการชาร์จของแบตเตอรี่ พบว่าแรงดันของแบตเตอรี่ในช่วงเริ่มต้นประมาณ 20 นาทีแรกจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงแรกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับเครื่องชาร์จจะมีอยู่มาก จึงทำให้กระแสชาร์จไหลผ่านแบตเตอรี่ได้สูงและเกิดการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ ทำให้แรงดันแบตเตอรี่ค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงแรกหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นช่วงที่ยังไม่อิ่มตัว ส่วนช่วงที่สองจากนาทีที่ 20 ถึง 125 จะเป็นช่วงที่แรงดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับช่วงแรก เนื่องจากเป็นช่วงที่แบตเตอรี่มีความหนาแน่นของประจุไฟฟ้ามากขึ้นประกอบกับกระแสชาร์จยังคงเท่าเดิมกับตอนเริ่มต้น จึงทำให้แรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงที่สามเป็นช่วงคงที่แรงดัน ค่ากระแสชาร์จก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากแรงดันของเครื่องชาร์จถูกคงที่ไว้และเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงเพราะแรงดันของแบตเตอรี่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่ากระแสชาร์จจะค่อยๆลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่แบตเตอรี่ใกล้จะเต็มนั่นเอง

#### 4.5.4 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่กรด-ตะกั่วขนาด 24 โวลต์

##### 4.5.4.1 ผลการทดลอง



ภาพที่ 4.19 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ (ชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์)



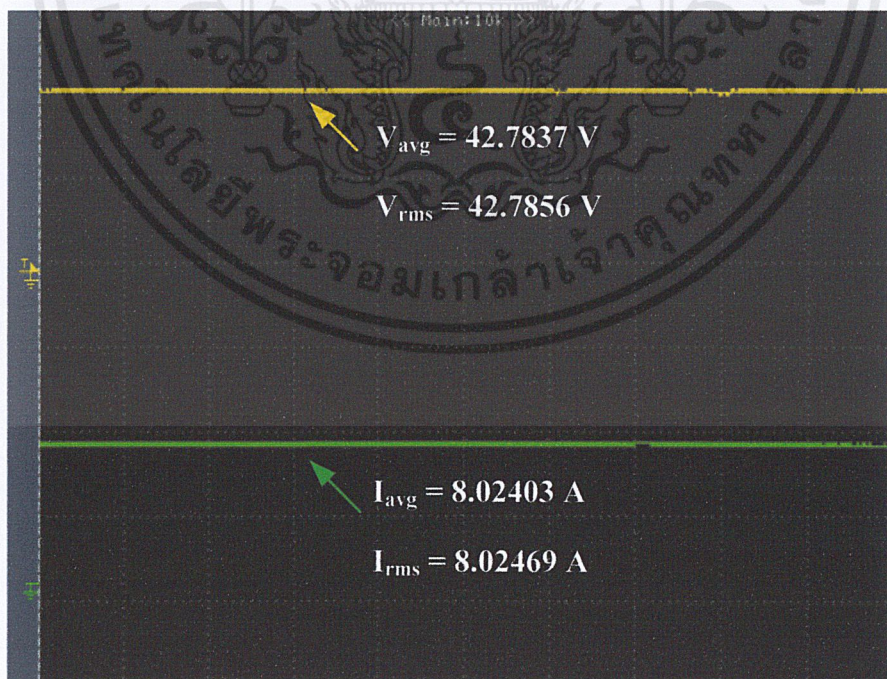
ภาพที่ 4.20 แรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่ (ชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จะทำการทดลองชาร์จเหมือนกับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เพียงแต่เปลี่ยนขนาดกระแสและแรงดันอ้างอิงในการชาร์จเท่านั้น โดยโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่จะทำการชาร์จที่กระแสประมาณ 8 แอมป์ ส่วนโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่จะทำการชาร์จที่แรงดันประมาณ 27 โวลต์และจะหยุดชาร์จเมื่อกระแสลดลงเหลือประมาณ 1.6 แอมป์ ในการทดลองนี้ได้ใช้เวลาในการชาร์จทั้งหมดประมาณ 20 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.19 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จของโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่จากการทดลองพบว่าสัญญาณแรงดันมีลักษณะค่อนข้างเรียบและกระแสชาร์จเป็นโหมดกระแสต่อเนื่องค่อนข้างเรียบเช่นเดียวกับแรงดัน ซึ่งสามารถคำนวณค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันได้เท่ากับ 1.44% และค่าอัตราการลอกคลื่นกระแสได้เท่ากับ 1.98% ส่วนภาพที่ 4.20 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จของโหมดชาร์จแบบแรงดันคงที่ จากการทดลองพบว่าสัญญาณแรงดันและกระแสชาร์จจะมีลักษณะเช่นเดียวกับของโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันได้เท่ากับ 1.12% และค่าอัตราการลอกคลื่นกระแสได้เท่ากับ 1.37%

จากภาพที่ 4.21 เป็นสัญญาณแรงดันดีซีลิงค์เทียบกับกระแสชาร์จในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่ จะเห็นได้ว่าแรงดันดีซีลิงค์มีลักษณะค่อนข้างเรียบในขณะที่ชาร์จแบบกระแสคงที่ซึ่งคำนวณค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันได้เท่ากับ 0.94% นอกจากนี้แล้วค่าแรงดันดีซีลิงค์ขณะที่ยังไม่ได้ชาร์จจะอยู่ที่ประมาณ 49 โวลต์และขณะที่ชาร์จจะลดลงเหลือประมาณ 42 โวลต์



ภาพที่ 4.21 สัญญาณแรงดันดีซีลิงค์เทียบกับกระแสชาร์จในโหมดชาร์จแบบกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่

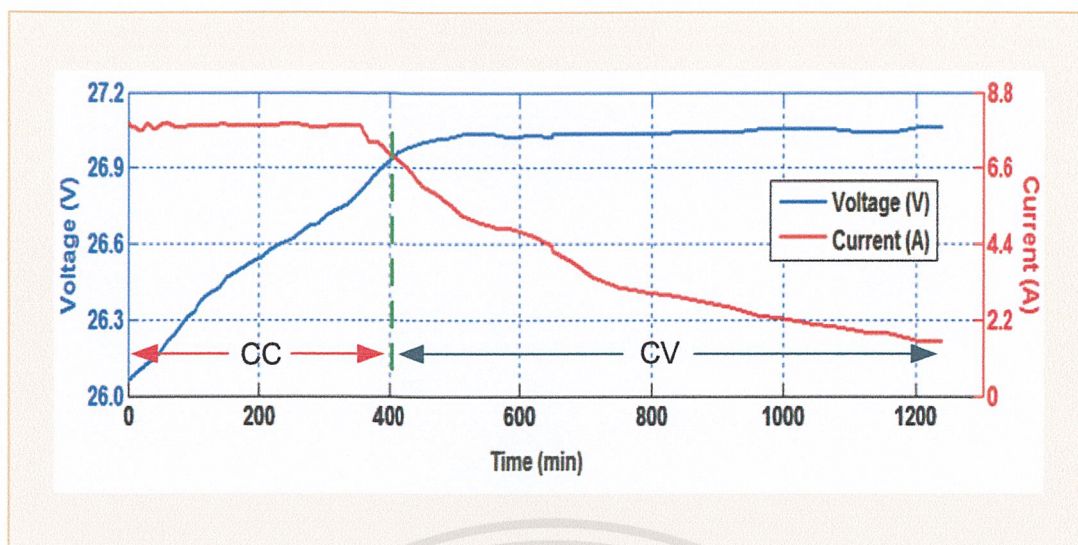
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลแรงดันและกระแสชาร์จที่เวลาต่างๆ (ชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์)

เวลา (Min)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
0	26.06	7.92
5	26.07	7.81
12	26.09	7.78
20	26.11	7.65
30	26.13	7.89
40	26.15	7.70
50	26.18	7.85
60	26.21	7.90
70	26.24	7.83
80	26.27	7.77
90	26.31	7.82
100	26.33	7.83
110	26.37	7.85
120	26.40	7.82
140	26.43	7.87
150	26.47	7.84
165	26.49	7.82
185	26.52	7.82
205	26.55	7.82
218	26.58	7.82
232	26.60	7.85
252	26.62	7.90
277	26.67	7.83
290	26.68	7.77
308	26.72	7.82
337	26.76	7.83
357	26.81	7.80
372	26.85	7.35
385	26.89	7.31
400	26.93	7.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (Min)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
412	26.96	6.87
430	26.98	6.62
453	27.00	6.07
475	27.01	5.84
495	27.02	5.54
515	27.03	5.23
540	27.04	5.01
565	27.03	4.90
590	27.02	4.81
620	27.03	4.64
650	27.02	4.33
650	27.03	4.19
680	27.04	3.88
710	27.03	3.43
750	27.03	3.15
790	27.03	3.01
830	27.04	2.92
870	27.04	2.78
920	27.04	2.55
960	27.05	2.31
1000	27.06	2.26
1040	27.05	2.07
1080	27.05	2.01
1120	27.04	1.85
1160	27.04	1.78
1200	27.06	1.61
1240	27.06	1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 กราฟคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 24 โวลต์ 100 Ah

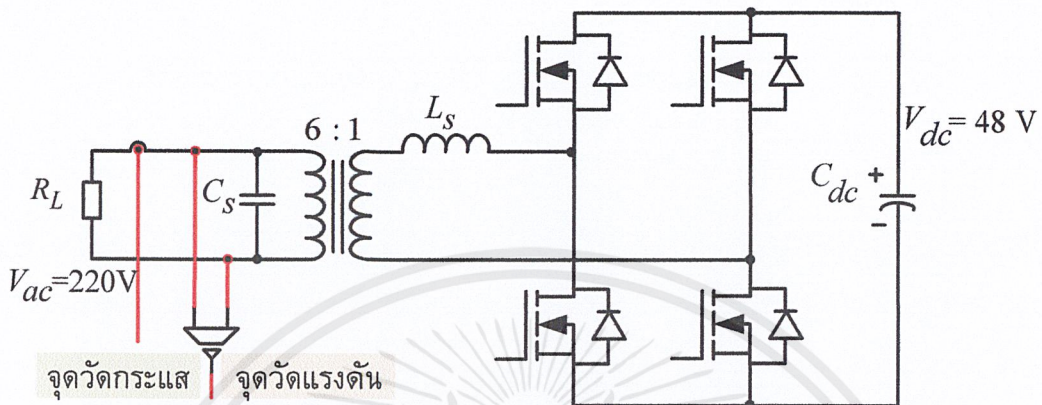
จากตารางที่ 4.3 เป็นข้อมูลของแรงดันและกระแสชาร์จที่เก็บค่าทุกๆ 40 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟแรงดันและกระแสชาร์จที่เทียบกับเวลา ซึ่งจะได้เป็นกราฟคุณลักษณะของการชาร์จแบตเตอรี่ดังภาพที่ 4.22 และจะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะคล้ายกับกราฟคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์เพียงแต่จะแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการชาร์จเท่านั้น โดยที่แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์จะใช้เวลาในการชาร์จมากกว่าแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ประมาณ 10 ชั่วโมง

#### 4.5.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

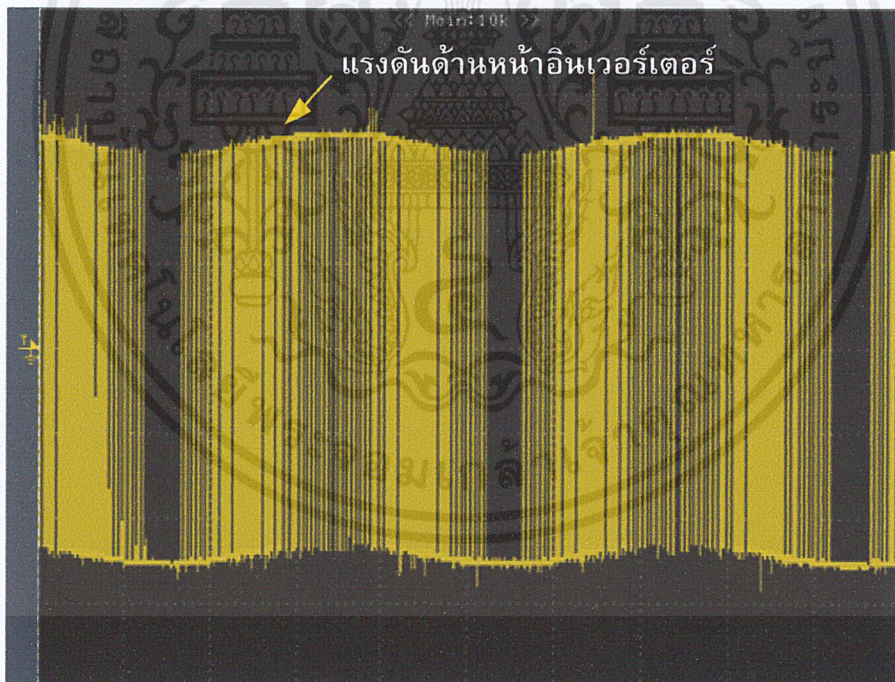
จากการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 24 โวลต์ 100 Ah พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาด 12 โวลต์ แต่จะมีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาของการชาร์จ ขนาดแรงดันและกระแสชาร์จเท่านั้น ซึ่งการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์จะใช้เวลานานกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เนื่องจากกระแสชาร์จเริ่มต้นมีค่าน้อย ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเครื่องชาร์จกับแบตเตอรี่ไม่มากเท่าที่ควร จึงทำให้กระแสชาร์จที่ไหลเข้าแบตเตอรี่น้อยลง ดังนั้นการสะสมประจุไฟฟ้าหรือการเพิ่มแรงดันของแบตเตอรี่จะใช้เวลานานกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์นั่นเอง

## 4.5.5 การทดลองโหมตอินเวอร์เตอร์

### 4.5.5.1 ผลการทดลอง



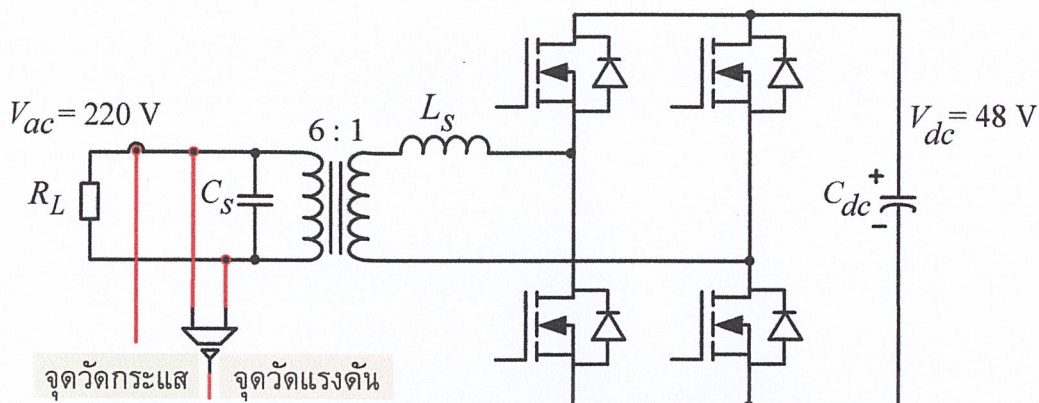
ภาพที่ 4.23 แสดงจุดวัดแรงดันออกทางด้านหน้าอินเวอร์เตอร์



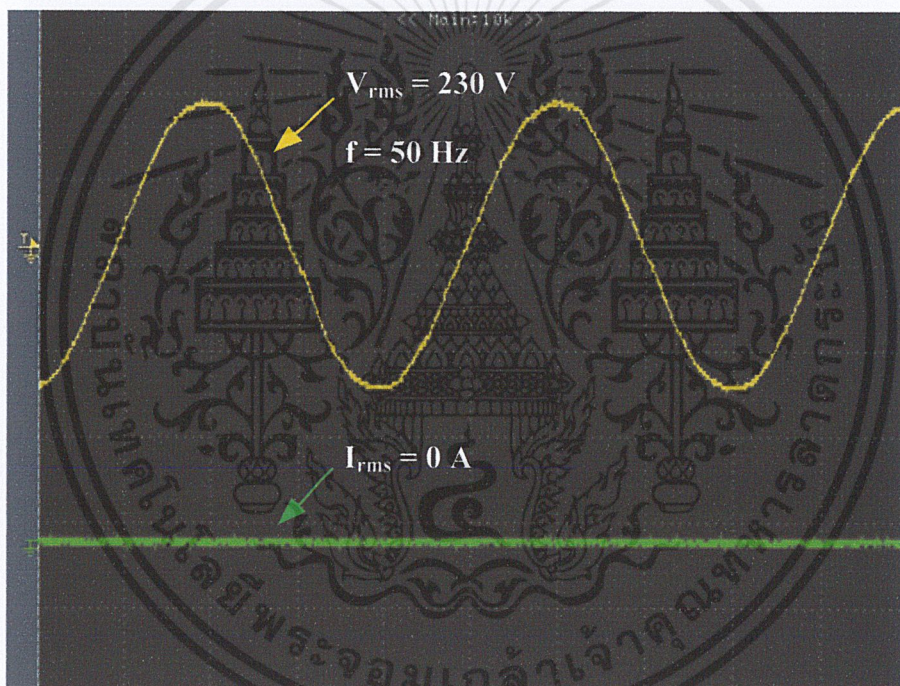
ภาพที่ 4.24 แรงดันออกทางด้านหน้าอินเวอร์เตอร์

จากภาพที่ 4.23 แสดงจุดวัดแรงดันออกทางด้านหน้าอินเวอร์เตอร์ ส่วนรูปสัญญาณแรงดันที่วัดได้จะเป็นดังภาพที่ 4.24 ซึ่งเป็นลักษณะของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบ โดยมีความถี่สวิตชิ่งที่ 6.25 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

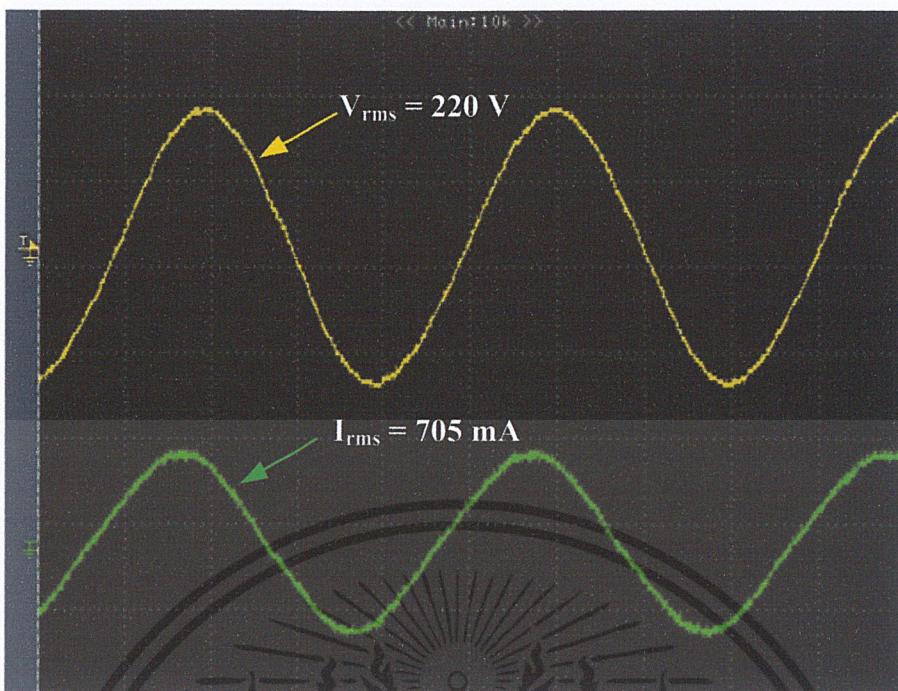


ภาพที่ 4.25 แสดงจุดวัดแรงดันและกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

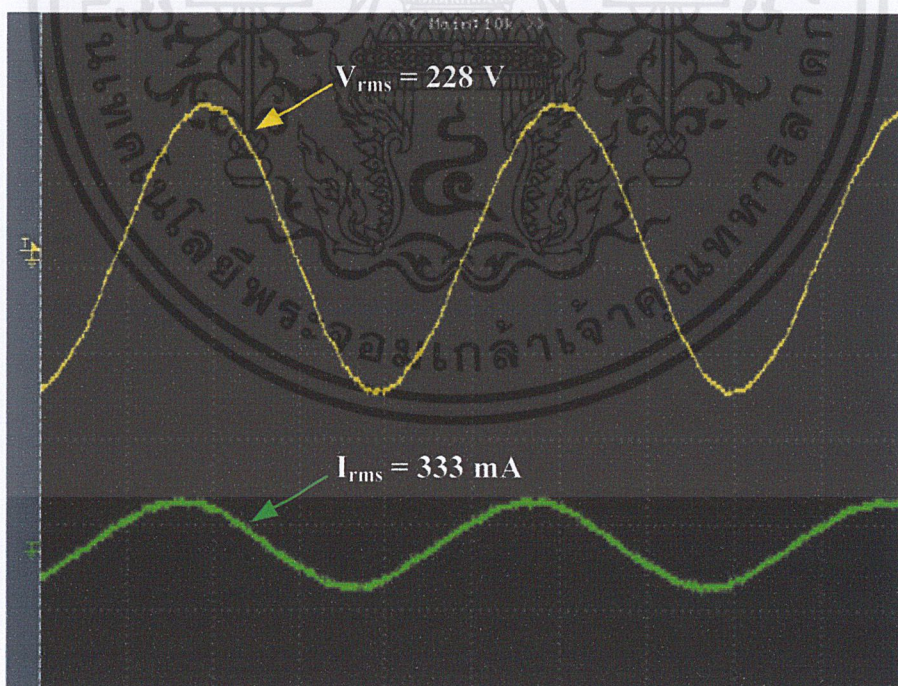


ภาพที่ 4.26 แรงดันและกระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.25 แสดงจุดวัดกระแสและแรงดันทางด้านหน้าหม้อแปลง ส่วนภาพที่ 4.26 เป็นสัญญาณแรงดันกระแสสลับที่ผ่านวงจรกรองความถี่ (filter) และได้เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยแรงดันที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 230 โวลต์ (rms) ในกรณีที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

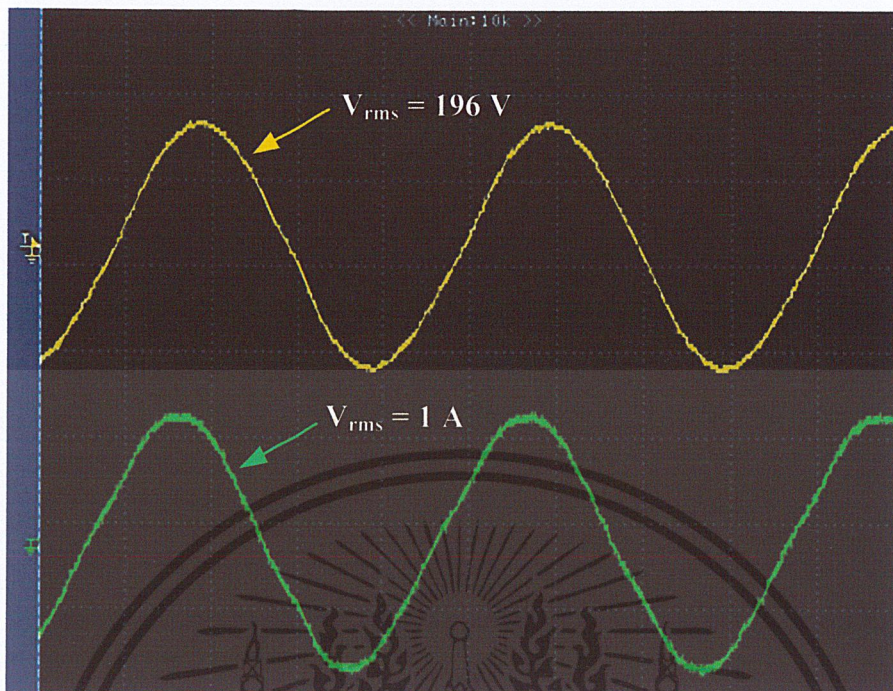


ภาพที่ 4.28 แรงดันและกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์



ภาพที่ 4.27 แรงดันและกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



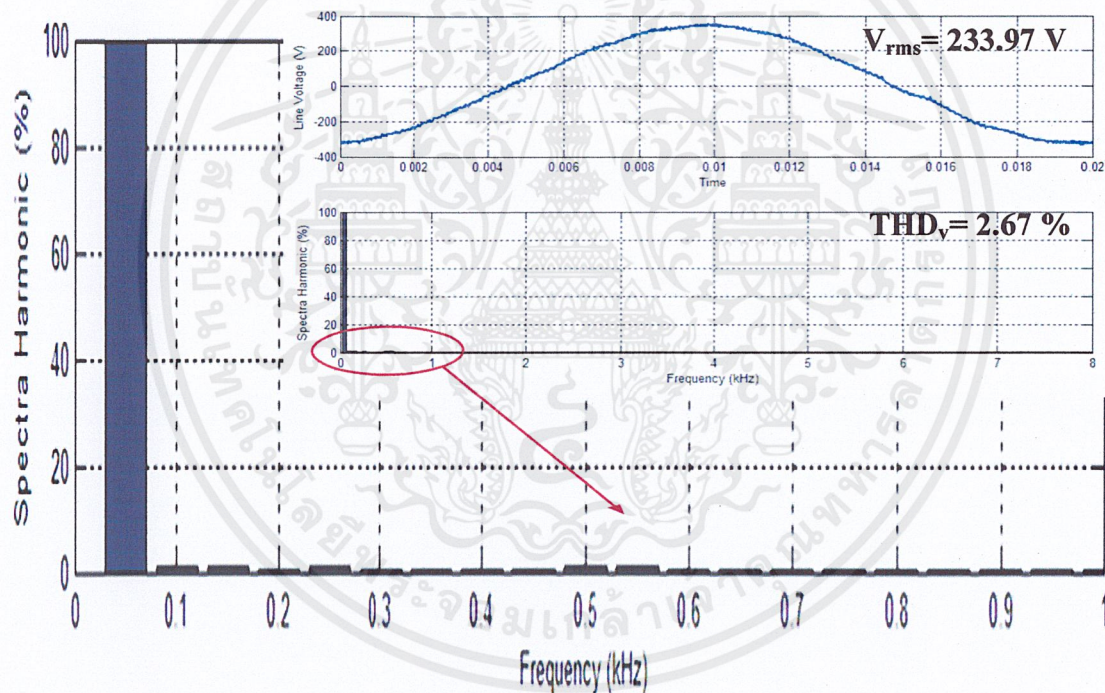
ภาพที่ 4.29 แรงดันและกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์

จากภาพที่ 4.27 ถึงภาพที่ 4.29 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสที่วัดได้ขณะต่อภาระทางไฟฟ้าที่เป็นหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ 200 วัตต์และ 300 วัตต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้ามากขึ้นตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะลดลงจาก 230 โวลต์เป็น 228 โวลต์ 220 โวลต์ จนถึง 200 โวลต์และกระแสจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระทางไฟฟ้าจาก 0 แอมป์ 333 มิลลิแอมป์ 705 มิลลิแอมป์จนถึง 1 แอมป์ ส่วนไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าวัดได้ 1.2 แอมป์และขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้าวัดได้ 6 แอมป์ 12 แอมป์และ 17 แอมป์ตามลำดับ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพลังงานไหลสองทิศทางที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ สามารถแปลงผันแรงดันกระแสตรงขนาด 24 โวลต์เป็นแรงดันกระแสสลับขนาด 230 โวลต์ได้ขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า และขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้าเครื่องชาร์จก็จะพยายามรักษาแรงดันให้คงที่หรือให้แรงดันดริอปลงน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งในการทดลองนี้สามารถรักษาแรงดันที่อยู่ในช่วง 230-220 โวลต์ได้ที่ภาระไฟฟ้า 200 วัตต์

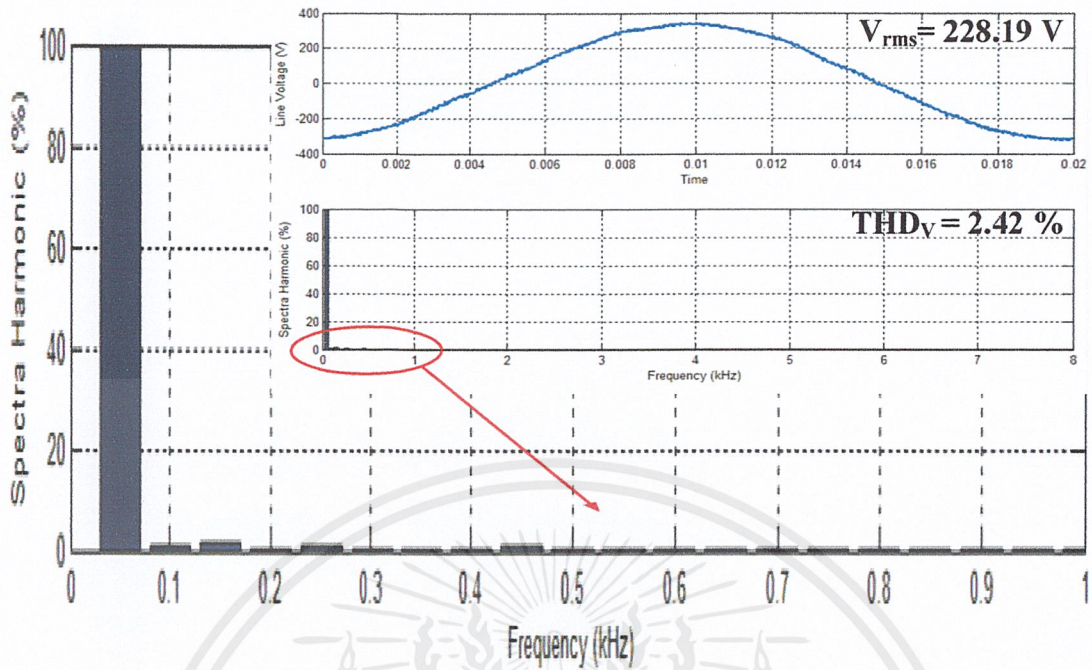
#### 4.5.5.2 ผลการหาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

สำหรับการทดลองหาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแส นั้น จะทำการวัดและเก็บข้อมูลรูปคลื่นของแรงดันและกระแสด้วยออสซิลโลสโคปยี่ห้อโยโกกาวา (YOKOGAWA) โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่วัดได้เป็นไฟล์แอสกี (ASCII) หลังจากนั้นก็นำข้อมูลไปคำนวณสเปกตรัมฮาร์มอนิกในโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ฟังก์ชัน FFT เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแส ว่ามีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์กี่เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางภาระไฟฟ้า ซึ่งเริ่มจากขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าเป็น 100 วัตต์ 200 วัตต์ และ 300 วัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.30 - 4.36 ตามลำดับ

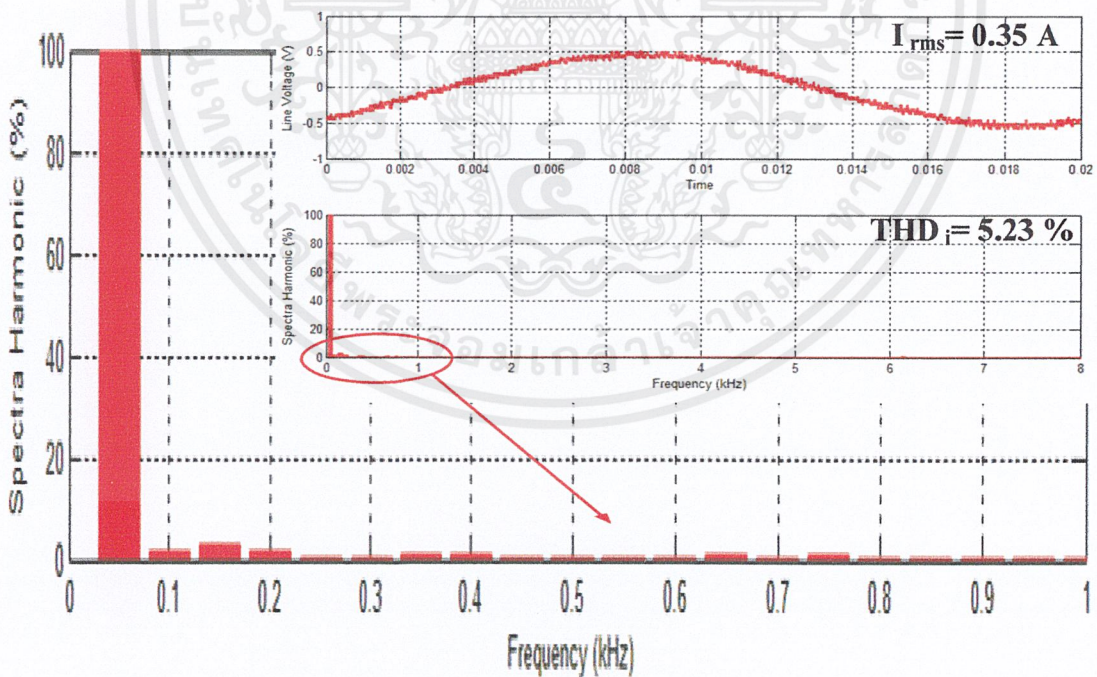


ภาพที่ 4.30 ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

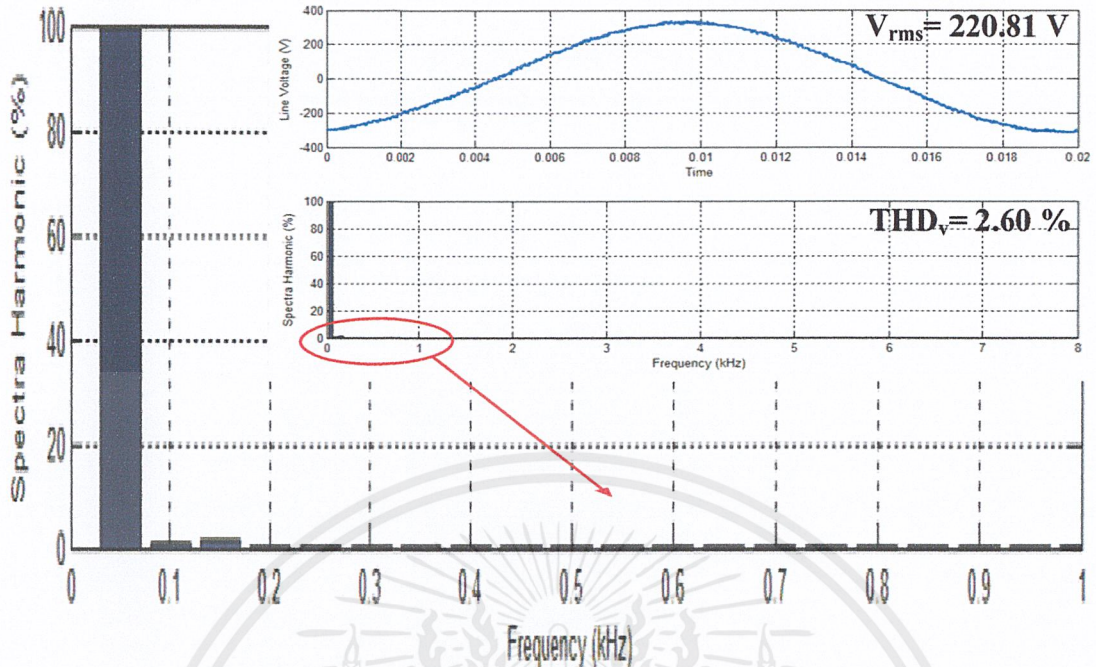


ภาพที่ 4.31 ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์

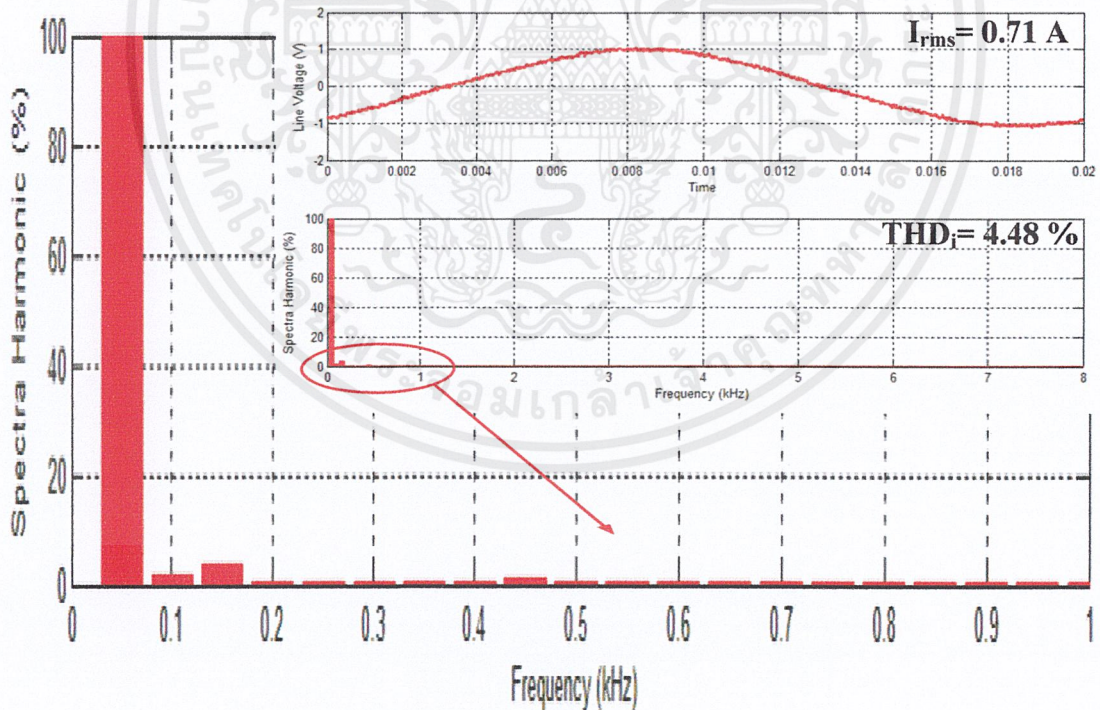


ภาพที่ 4.32 ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

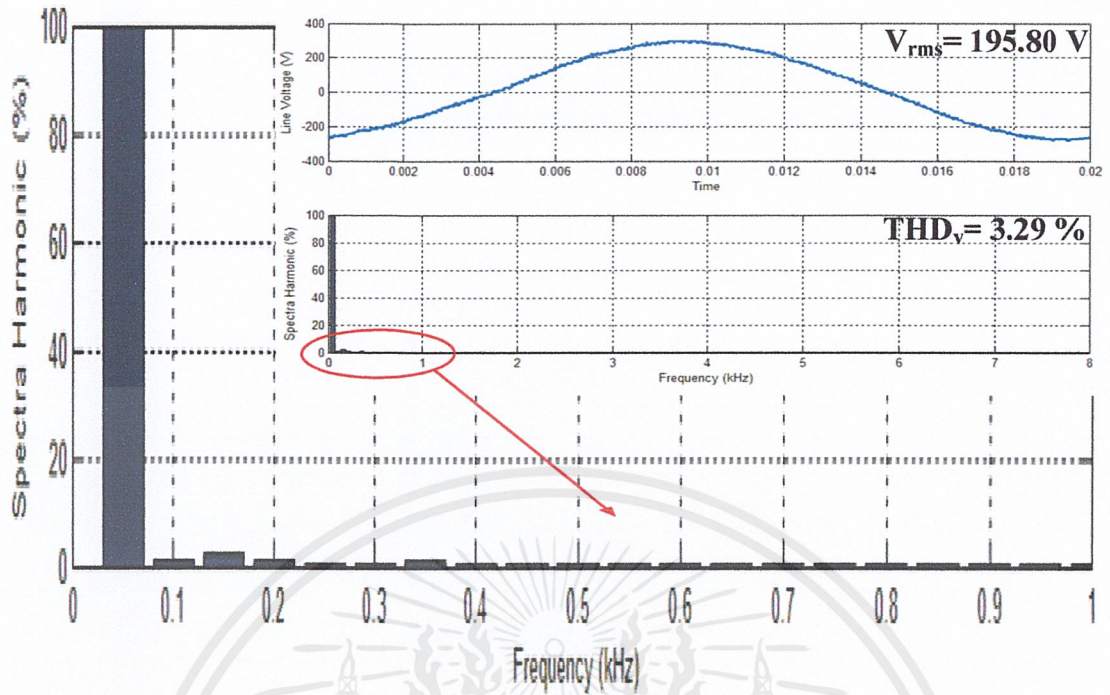


ภาพที่ 4.33 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์

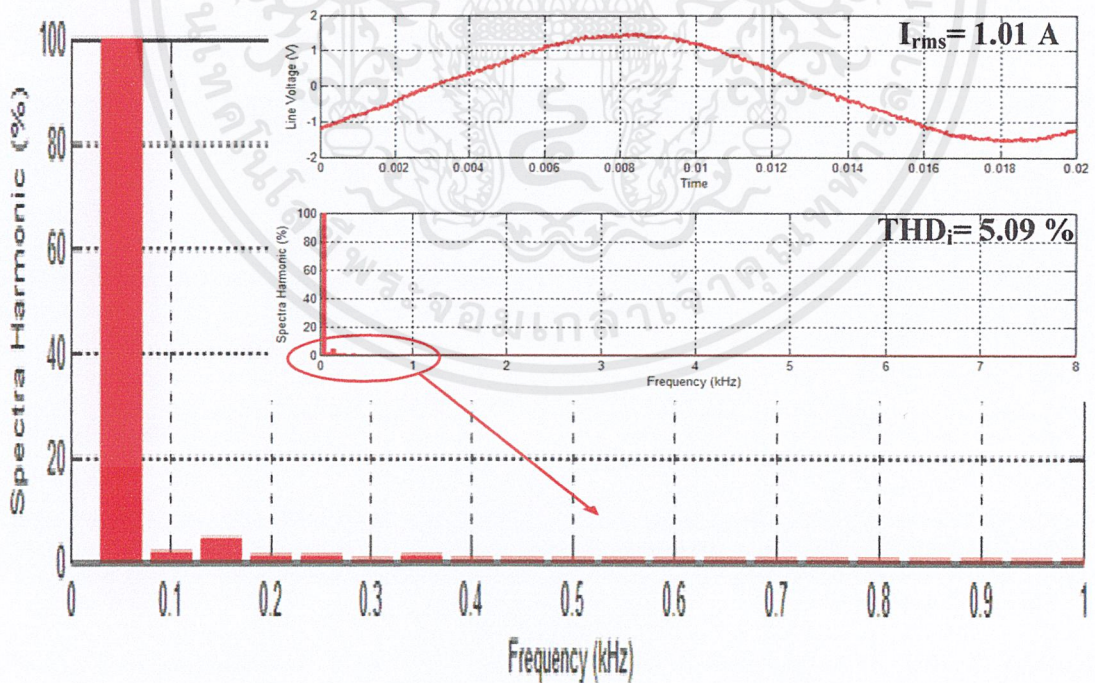


ภาพที่ 4.34 ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.35 ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 300 วัตต์



ภาพที่ 4.36 ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสขณะต่อภาระทางไฟฟ้า 300 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องซาร์จที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ สามารถแปลงผันแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับและจ่ายภาระทางไฟฟ้า โดยสัญญาณแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ เมื่อนำไปต่อภาระทางไฟฟ้าที่เป็นโหลดไฟขนาด 100 วัตต์ 200 วัตต์ และ 300 วัตต์ จะพบว่าค่าความผิดเพี้ยนแรงดันจะมีค่ามากในขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า แต่จะมีค่าความผิดเพี้ยนแรงดันลดลงเมื่อต่อภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ และจากนั้นค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสก็จะมีค่ามากขึ้นตามภาระทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองวิเคราะห์ได้ว่าในขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าค่าความผิดเพี้ยนอาจเกิดขึ้นจากค่าเดดไทม์ของวงจร และเมื่อมีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าทำให้ค่าความผิดเพี้ยนลดลง อาจเป็นเพราะการปรับค่า Modulation index ที่เพิ่มขึ้นของวงจร ส่วนการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าที่มากขึ้นก็อาจทำให้มีค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสเพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงผลการจำลองการทำงานของเครื่องซาร์จแบบเตอรีแบบพลังงานไหลสองทิศทาง ด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.1 ทั้งโหมดซาร์จและโหมดอินเวอร์เตอร์ ในสถานะที่ยังไม่จ่ายภาระทางไฟฟ้าและจ่ายภาระทางไฟฟ้า ซึ่งถูกต้องตามหลักการและทฤษฎีที่ได้ศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้กับวงจร นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลการทดลองกับเครื่องซาร์จแบบเตอรีแบบพลังงานไหลสองทิศทาง ที่เป็นชิ้นงานจริงที่ได้จัดทำขึ้น โดยสามารถซาร์จแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ได้ด้วยแรงดันและกระแสซาร์จที่มีคุณภาพ นอกจากนั้นยังสามารถทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์สำหรับจ่ายภาระทางไฟฟ้าทั่วไปได้ เครื่องซาร์จแบบเตอรีแบบพลังงานไหลสองทิศทางนี้อาจมีประโยชน์เกี่ยวกับรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก และการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบ โดยจะนำเสนอไว้ในบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาต่อไป

## บทที่ 5

### บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ทำให้ทราบถึงความสำคัญของหลักการและข้อควรระวังของการชาร์จแบตเตอรี่ คุณลักษณะของแบตเตอรี่ การทำงานของวงจรตีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง เพื่อรองรับการใช้งาน PHEV ที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งอุปกรณ์หลักที่จะรองรับการใช้งานคือ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เพราะเครื่องชาร์จจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากับ PHEV โดยแบ่งการทำงานเป็นขณะที่ชาร์จแบตเตอรี่และขณะที่จ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ จากการศึกษาว่าข้อมูลได้ทราบถึงแนวทางในการนำวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางมาประยุกต์ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ จึงได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับในโครงงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 และจากการจำลองด้วยโปรแกรมหดกล่าว ทำให้ทราบว่า วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางสามารถควบคุมกระแสคงที่และแรงดันคงที่ขณะชาร์จแบตเตอรี่ และสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระได้ ดังนั้นจึงทำการออกแบบและดำเนินการสร้างเป็นชิ้นงานจริง

จากการทำการทดลองพบว่า วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงที่ได้จัดสร้างขึ้น สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น

1. ชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ โดยชาร์จแบตเตอรี่ 1 ลูก ที่พิกัดกระแสเท่ากับ 10 แอมป์ ในการควบคุมแบบกระแสคงที่ และพิกัดแรงดันเท่ากับ 14.1 โวลต์ ในการควบคุมแบบแรงดันคงที่ รูปคลื่นกระแสและรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการชาร์จแบตเตอรี่มีค่าอัตราการลอคคลื่นอยู่บ้างเล็กน้อย และใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ทั้งหมดประมาณ 10 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถชาร์จแบตเตอรี่ 2 ลูก ที่ขนาดพิกัดกระแสเท่ากับ 8 แอมป์ ในการควบคุมแบบกระแสคงที่ และพิกัดแรงดันเท่ากับ 27 โวลต์ ในการควบคุมแบบแรงดันคงที่

2. จ่ายพลังงานกลับด้วยแบตเตอรี่ 2 ลูก ที่ขนาดพิกัดแรงดันเท่ากับ 24 โวลต์ และพิกัดกระแสไม่เกิน 20 แอมป์ ที่ด้านแรงดันกระแสตรง เมื่อผ่านวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางที่ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์และถูกยกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลง ทำให้ได้แรงดันเท่ากับ 230 โวลต์ ขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า โดยที่รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสที่ได้มีลักษณะคล้ายรูปคลื่นไซน์ และทดลองต่อภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ และ 200 วัตต์ สามารถรักษาแรงดันอยู่ในช่วง 230 ถึง 220 โวลต์ แต่เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าเป็น 300 วัตต์ ทำให้แรงดันที่ได้เหลือประมาณ 200 โวลต์ เนื่องจากวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ไม่สามารถยกระดับแรงดันที่สูงกว่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงมีความสามารถในการที่จะนำมาใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดัน 12 โวลต์ และพิกัดแรงดัน 24 โวลต์ และยังสามารถที่จะจ่ายภาระทางไฟฟ้า โดยรักษาแรงดันอยู่ในช่วง 230 ถึง 220 โวลต์ได้ที่ภาระไฟฟ้า 200 วัตต์ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับการใช้งานจริงในการชาร์จ PHEV ต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวัง ดังต่อไปนี้

1. ควรตรวจสอบสัญญาณจากชุดขับเคลื่อนก่อนทำการจ่ายไฟฟ้าเสมอ เพราะถ้าไม่มีสัญญาณจากชุดขับเคลื่อนจะทำให้อุปกรณ์ในการสวิตช์เสียหาย เนื่องจากสวิตช์ตัวบนและตัวล่างทำงานพร้อม จึงทำให้เกิดการลัดวงจร

2. สำหรับค่าตัวเหนี่ยวนำที่นำมาใช้เป็น Series Inductor ( $L_s$ ) ในการใช้งานเป็นตัวกรองขณะที่จ่ายพลังงานกลับคืน เพื่อให้รูปคลื่นแรงดันเป็นรูปคลื่นไซน์ควรเลือกขนาดให้เหมาะสม เพราะหากมีขนาดน้อยเกินไปจะไม่สามารถกรองรูปคลื่นแรงดันให้เป็นรูปคลื่นไซน์ได้ แต่ถ้าหากมีขนาดใหญ่เกินไปก็จะทำให้แรงดันตกในขณะที่จ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ

3. เพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเต็มสามารถ จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนอย่างเหมาะสมให้กับวงจรไฟเลี้ยง และตัวเหนี่ยวนำ

4. การทำงานของมอสเฟตในวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงและในวงจรแปลงผันแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสตรงจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนอย่างเหมาะสม เพื่อรักษาอายุการใช้งานของวงจรให้ยาวนานยิ่งขึ้น

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ และความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้น ดังต่อไปนี้

1. วงจรกำลัง และวงจรขับสัญญาณเกิดของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ในโครงการวิจัยนี้มักจะเสียหายบ่อยครั้ง จึงควรทำการพัฒนาออกแบบวงจรกำลัง และวงจรขับสัญญาณเกิดให้มีเสถียรภาพ และความคงทนในการทำงานเพิ่มมากขึ้น รวมถึงพิกัดการทำงานที่สูงขึ้นด้วย เพื่อที่จะสามารถนำไปชาร์จแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือ

2. การทำงานขณะชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มไม่สามารถตัดการทำงานของวงจรได้ ทำให้เกิดเป็นความสูญเสียในวงจร ดังนั้นจึงควรติดตั้งรีเลย์ (Relay) เพื่อใช้ในการตัดวงจรเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม

3. ในขณะชาร์จแบตเตอรี่ วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะใช้ไดโอดภายในมอสเฟตเป็นตัวทำหน้าที่เรียงแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง ทำให้กระแสด้านเข้ามีความผิดเพี้ยนขึ้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรพัฒนาให้สามารถแก้ไขกระแสด้านเข้าที่มีความผิดเพี้ยนได้

4. โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาให้มีการควบคุมแบบป้อนกลับได้ ทั้งในการทำงานขณะชาร์จแบตเตอรี่ และขณะจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ

5. โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาให้จ่ายพลังงานกลับคืนสู่ระบบได้



## บรรณานุกรม

- [1] California's Green Car, "California's Green Car Roadmap to 2050," [online] Available: <http://www.hybridcars.com/incentives-laws/california-green-car-roadmap-2050-26231.html>
- [2] วรรัตน์ สีกระจ่าง และคณะ, "การแสดงผลของแบตเตอรี่", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [3] พาโชค เข้มเพ็ชร และคณะ, "เครื่องประจุไฟฟ้าชนิดสวิตช์โหมด", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [4] Battery University, "Charging lithium-ion batteries", [online] Available: <http://www.batteryuniversity.com/partone-12.htm>
- [5] แบบจักรยานสามล้อไฟฟ้า, "วงจรชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์อย่างง่าย," [online] Available: [http://diyevev.thaiza.com/blog\\_view.php?blog\\_id=8704](http://diyevev.thaiza.com/blog_view.php?blog_id=8704)
- [6] วิดิษฐ์ ชูรักษ์, "ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [7] M. C. Kisacikoglu, B. Ozpineci, L. M. Tolbert, "Examination of a PHEV Bidirectional Charger System for V2G Reactive Power Compensation", 978-1-4244-4783-1/10IEEE2010, pp. 458-465.
- [8] B.K. BOSE, "Modern Power Electronics, Evolution, Technology and Applications," The Institute of Electrical and Electronics Engineer Inc, 2002, Ch.5, pp. 211 – 218.
- [9] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins, "Power Electronic Converter, Application and Design" John Wiley & Sons Inc, 1995, Ch 18, pp. 161 – 178.



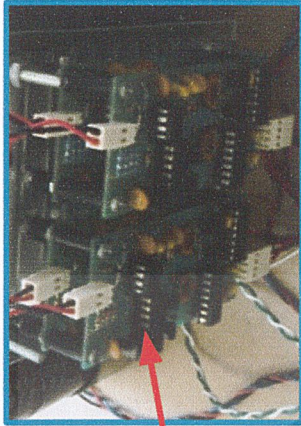
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



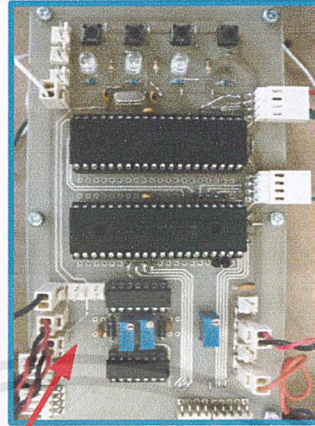
**ภาคผนวก ก.**  
**เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

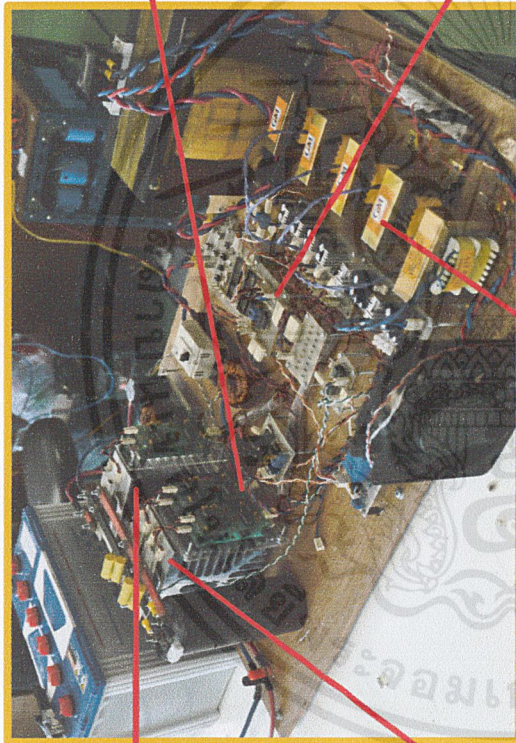
## เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาโท



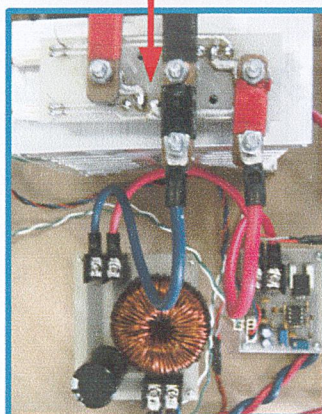
**Drive board**



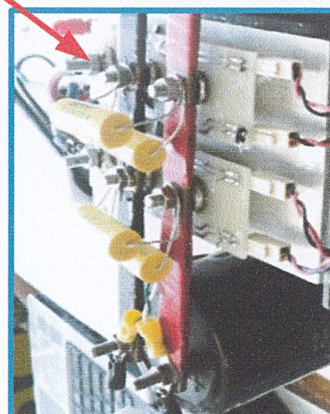
**Control board**



**Supply**



**DC-DC converter**



**Full-bridge converter**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ข.**  
**รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ใน**  
**ปริญาานิพนธ์**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Digital Multimeter รุ่น 73402</p>
	<p>Digital Oscilloscope (DL 1620)</p>
	<p>Clamp Meter</p>

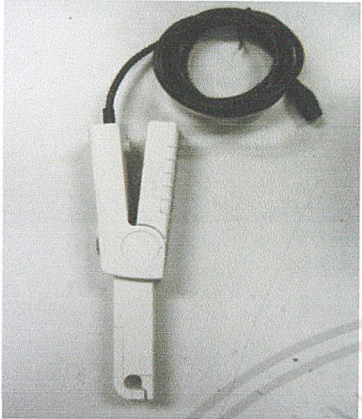


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>หม้อแปลง 1 : 1</p>
	<p>Universal LCR Meter</p>
	<p>AC Current Probe (MN600)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>AC/DC Current Probe</p>
	<p>Probe รุ่นHP 9258</p>
	<p>Probe รุ่น 700960</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ค.**  
**ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริยญาานิพนธ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International  
**IOR** Rectifier

PD - 95053A

**IRFP3710PbF**

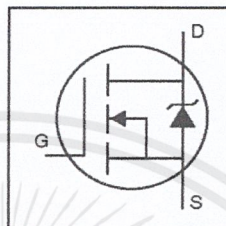
HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Lead-Free

**Description**

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

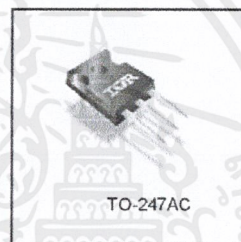
The TO-247AC package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-247AC contribute to its wide acceptance throughout the industry.



$V_{DS} = 100V$

$R_{DS(on)} = 0.025\Omega$

$I_D = 57A$



TO-247AC

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	57	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	40	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	180	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	530	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	28	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N·m)	

**Thermal Resistance**

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

5/26/05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IRFP3710PbF

International  
IOR RectifierElectrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.025	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 28A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	20	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 28A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	190	nC	$I_D = 28A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	26		$V_{DS} = 80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	82		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13 ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	$V_{DD} = 50V$
$t_r$	Rise Time	—	59	—		$I_D = 28A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	58	—		$R_G = 2.5\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	48	—		$R_D = 1.7\Omega$ , See Fig. 10 ③
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{ISS}$	Input Capacitance	—	3000	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{OSS}$	Output Capacitance	—	640	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{RSS}$	Reverse Transfer Capacitance	—	330	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	57	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	180		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 28A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	210	320	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 28A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	1.7	2.6	$\mu C$	$di/dt = 100A/\mu s$ ③
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

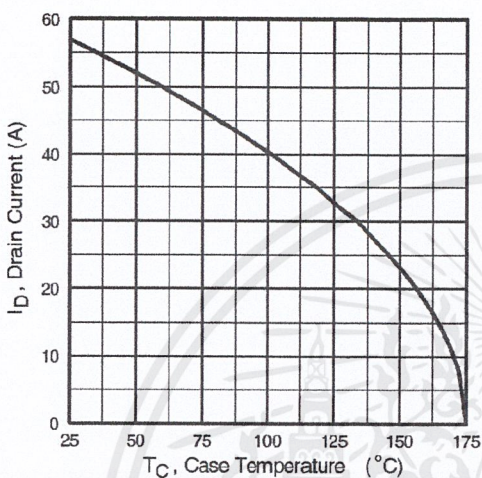
## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 1.4mH$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 28A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 28A, di/dt \leq 460A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

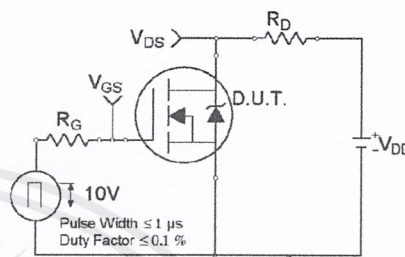
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International  
**IGAR** Rectifier

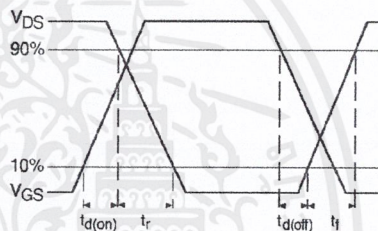
# IRFP3710PbF



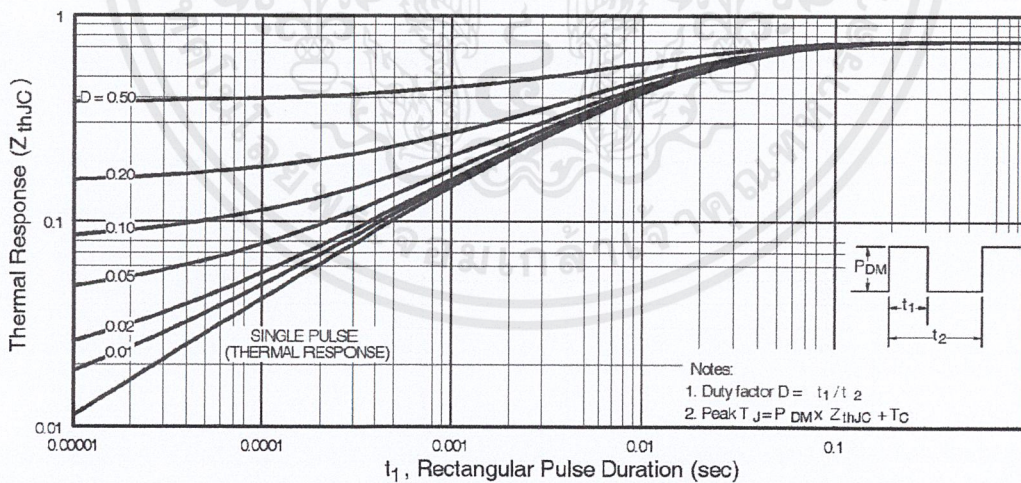
**Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature**



**Fig 10a. Switching Time Test Circuit**



**Fig 10b. Switching Time Waveforms**

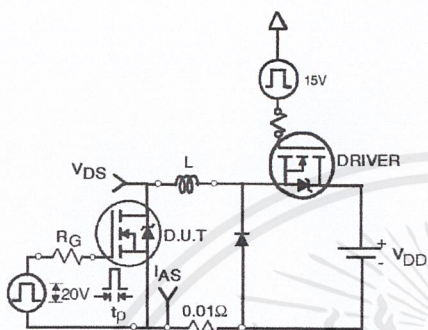


**Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case**

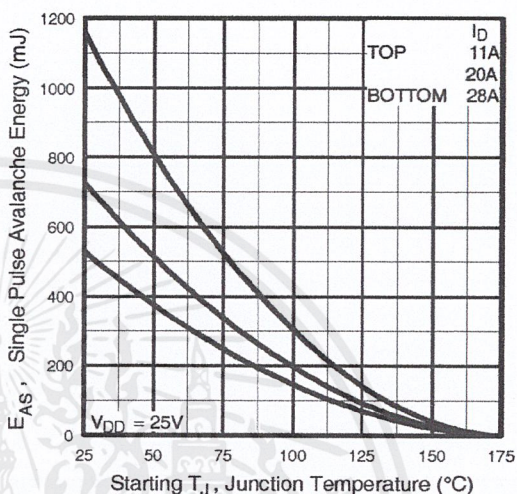
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP3710PbF

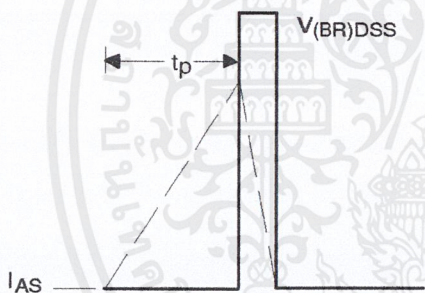
International  
**IR** Rectifier



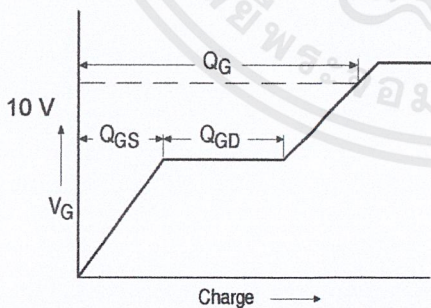
**Fig 12a.** Unclamped Inductive Test Circuit



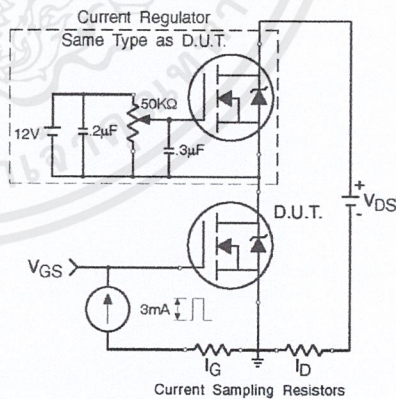
**Fig 12c.** Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current



**Fig 12b.** Unclamped Inductive Waveforms



**Fig 13a.** Basic Gate Charge Waveform



**Fig 13b.** Gate Charge Test Circuit

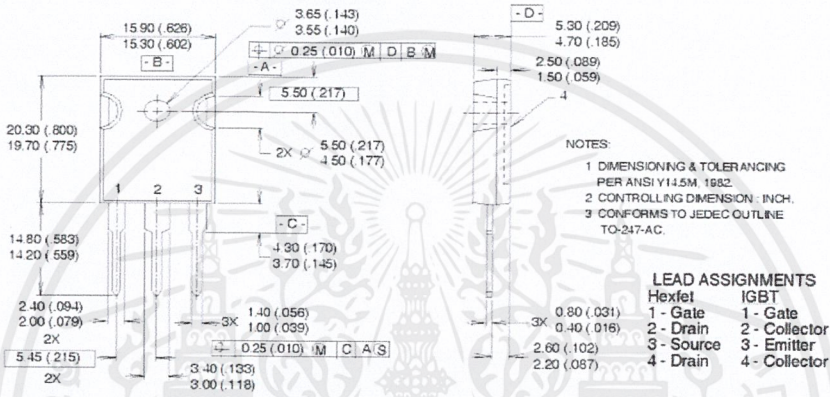
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP3710PbF

International  
**IR** Rectifier

## TO-247AC Package Outline

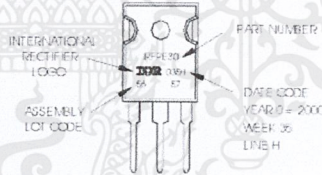
Dimensions are shown in millimeters (inches)



## TO-247AC Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IREPE30 WITH ASSEMBLY LOT CODE 6567 ASSEMBLED ON 11/26/2000 IN THE ASSEMBLY LINE 1111

**Note:** Pin assembly line position indicates Lead-Free



Data and specifications subject to change without notice.

International  
**IR** Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105

TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.05/05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

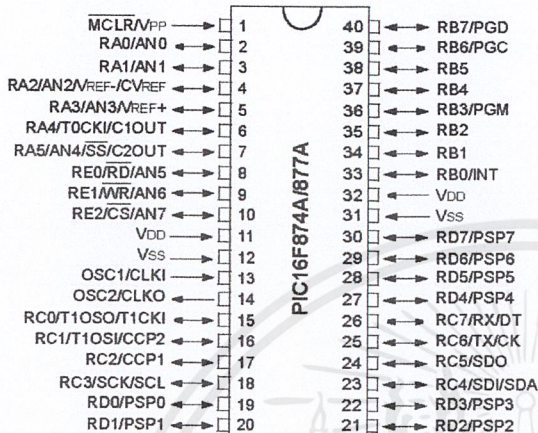
Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

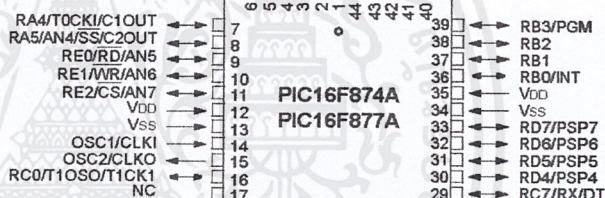
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams (Continued)

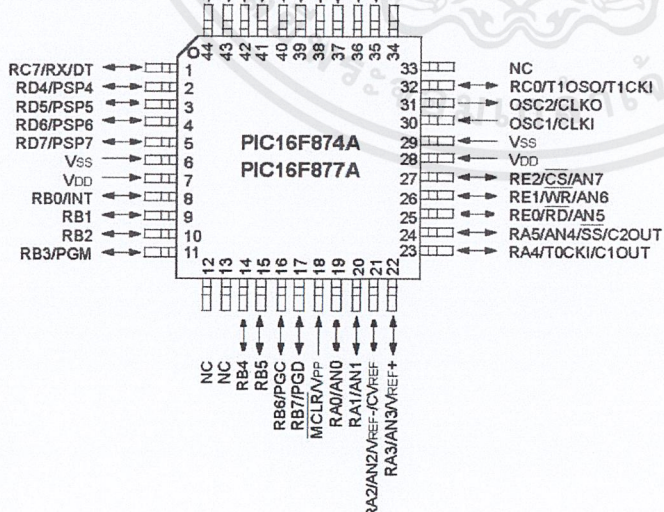
### 40-Pin PDIP



### 44-Pin PLCC



### 44-Pin TQFP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

**TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES**

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ง.**

**บทความวิชาการ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

## AC – DC Converter for Plug – in Hybrid Electric Vehicle Charger

พงศ์พัฒน์ เรือนทราย พิธา วิจิตรศิริ พิษณุ บัวหิน และ กานุพงษ์ บุรีวัน

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนองานวิจัยเรื่องวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก (Plug - in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) เพื่อเป็นการรองรับการใช้งาน PHEV ซึ่งจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยการประยุกต์ใช้งานวงจร Full-bridge inverter/rectifier ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถทำให้พลังงานไหลได้ทั้งสองทิศทาง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดชาร์จพลังงาน และ โหมดจ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ ซึ่งจะอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ในการชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0.1 เพื่อจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง และจากผลการจำลองและผลการทดลองพบว่าสามารถควบคุมแรงดันคงที่ขณะชาร์จแบตเตอรี่ และสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบที่พิกัด 1 kVA สำหรับใช้งานจริงต่อไป

คำสำคัญ: การควบคุมแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่, รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก, เครื่องชาร์จพลังงาน

### Abstract

This paper presents an ac – dc converter for Plug – in Hybrid Electric Vehicle (“PHEV”) charger for supporting PHEV application which will be widely used in the future. An ac – dc converter using a full-bridge inverter/rectifier can also provide a bidirectional power flow. The charger can be divided into 2 modes: charging mode and discharging mode. This converter is controlled by constant current-constant voltage (CC-CV) for charging the battery. The simulation results from PSIM 9.0.1 software and experimental results indicate that the proposed technique can constantly control the voltage during charging mode and a bidirectional power flow can be achieved. Consequently, the 1kVA charger prototype is developed to apply for practical application.

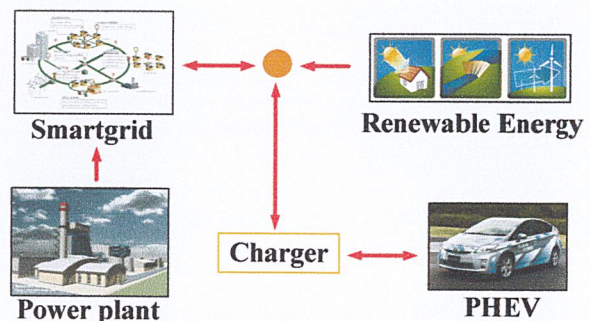
Keyword: Constant current-constant voltage control, PHEV, Charger

### บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานหลักของการคมนาคมคือน้ำมัน ซึ่งใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการใช้พลังงานอื่น ๆ แทนการใช้น้ำมัน ในรถยนต์ส่วนบุคคล จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้า แทนการใช้ น้ำมัน เพราะต้นทุนด้านเชื้อเพลิงถูกกว่าน้ำมัน และยังเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ทำให้รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊กได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในประเทศไทย เพราะสามารถตอบสนองความต้องการของคนในยุคสมัยปัจจุบัน ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า จากแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนแบบปกติ และใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับน้ำมันในขณะที่ต้องการความเร็วมากกว่าปกติ ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับความนิยมมากขึ้น และแนวโน้มการใช้งาน PHEV ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดความต้องการอุปกรณ์ที่จะรองรับการใช้งาน PHEV ซึ่งอุปกรณ์หลักที่จะรองรับการใช้งานคือ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

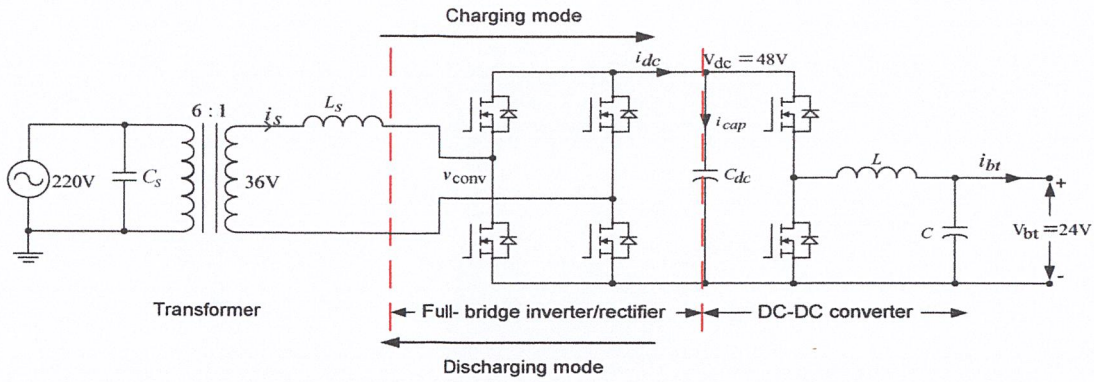
เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบสร้างขึ้นเลือกใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ซึ่งทำให้สามารถควบคุมการไหลของพลังงานในขณะที่ชาร์จ และขณะที่จ่ายพลังงานกลับคืนแบบอิสระ โดยสามารถแสดงรูปแบบการเชื่อมต่อ PHEV กับระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 1

สำหรับทฤษฎีของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ PHEV ได้นำเสนอไว้แล้วใน [1] ซึ่งเครื่องชาร์จจะประกอบไปด้วย หม้อแปลง วงจรฟัลด์ไดโอด วงจร Full-bridge inverter/rectifier และวงจร dc - dc converter โดยลักษณะของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ PHEV แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อ PHEV กับระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ PHEV

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็น

$$m_f = \frac{f_{carrier}}{f_{sin}} \tag{2}$$

แรงดันกระแสตรง

สำหรับการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงแบบสองทิศทางสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นสองโหมดดังนี้

โหมดรีคิฟเฟอร์หรือ charging mode พลังงานจากแหล่งจ่ายไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยฟริววลิ่งไดโอดในวงจรอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเข้าสู่ตัววงจรแปลงผันแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC converter) ซึ่งวงจร DC-DC converter จะทำหน้าที่เป็นบักคอนเวอร์เตอร์ ลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงตามที่ต้องการแล้วชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้เทคนิคการชาร์จแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (constant current-constant voltage: CC-CV)

โหมดอินเวอร์เตอร์หรือ discharging mode วงจร DC-DC converter จะทำหน้าที่เป็นบูสคอนเวอร์เตอร์ ยกแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และเข้าสู่หม้อแปลงยกแรงดันสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมสวิตช์จะใช้การควบคุม PWM แบบไบโพลาร์ (bipolar)

2.2 การมอดูเลตสัญญาณ PWM [2]

การสร้างสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับขาคง จะใช้สัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณไซน์ (sine wave) ตัดกับสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม (carrier) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_a = \frac{A_{sin}}{A_{carrier}} \tag{1}$$

- เมื่อ  $m_a$  คือ ดัชนีขนาดมอดูเลชัน
- $A_{sin}$  คือ ขนาดสัญญาณอ้างอิง
- $A_{carrier}$  คือ ขนาดสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม

- เมื่อ  $m_f$  คือ ดัชนีความถี่มอดูเลต
- $f_{sine}$  คือ ความถี่สัญญาณอ้างอิง
- $f_{carrier}$  คือ ความถี่สัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม

ถ้า  $0 \leq m_a \leq 1$  จะเป็นช่วงการมอดูเลชันเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันด้านออกจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า  $m_a$

ในกรณี  $m_a > 1$  จะเป็นการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น

3. การออกแบบวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรง [3]

แบตเตอรี่มีพิกัด 100 Ah 0.1 C สามารถหากระแสสูงสุดที่ใช้ได้เท่ากับ 10 A

การออกแบบวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าเท่ากับ 27 V โดยแรงดันไฟตรงที่ดิซคิปลิ่งมีค่าเท่ากับ 48 V สามารถคำนวณค่าตัวไอซเคิล (D) ได้ตามสมการ

$$\frac{V_{out}}{V_{dc}} = D \tag{3}$$

แทนค่าได้  $D = 0.56$

กำหนดให้ความถี่ในการสวิตช์ ( $f_s$ ) เท่ากับ 5 kHz สามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ( $L_{min}$ ) ที่ทำให้วงจรสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ดังนี้

$$L_{min} = \frac{V_{out} (1 - D)}{2I_{out} f_s} \tag{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าได้ 118.8  $\mu\text{H}$  จากนั้นกำหนดให้อัตราระลอกคลื่นของแรงดันด้านออกเท่ากับ 0.5% คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุจากสมการ

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (5)$$

แทนค่าหาค่าตัวเก็บประจุได้เท่ากับ 2200  $\mu\text{F}$

**การออกแบบวงจรมอสคอนเวอร์เตอร์**

ให้แรงดันด้านเข้าเท่ากับแรงดันที่แบตเตอรี่ ( $V_{dc}$ ) คือ 24 V ต้องการยกระดับแรงดันขึ้นไปทีสิซิลิกต์เป็น 48 V โดยคำนวณค่า  $D$  จาก

$$\frac{V_{out}}{V_{dc}} = \frac{1}{1-D} \quad (6)$$

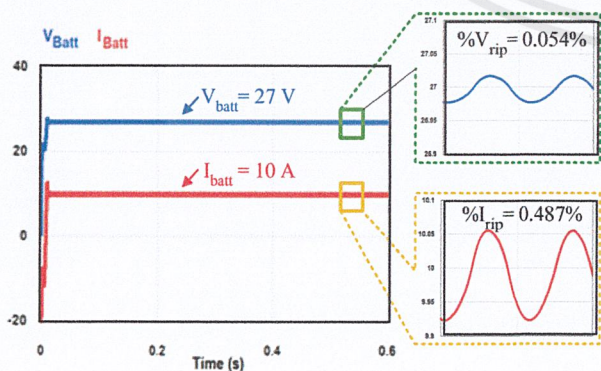
กำหนดให้ความถี่ในการสวิตช์ ( $f_s$ ) เท่ากับ 20 kHz ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันด้านออกเท่ากับ 0.5% สามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด โดยกำหนดให้กระแสด้านออกมีค่าเท่ากับ 100 mA จากสมการ

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 V_{out}}{2f_{out}} \quad (7)$$

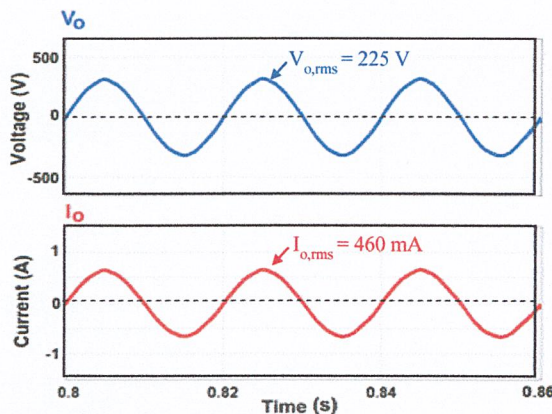
แทนค่าได้  $L_{min}$  เท่ากับ 1.5 mH โดยในโครงงานนี้จะเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 5 mH เพื่อให้มั่นใจว่าวงจรจะยังทำงานอยู่ในโหมดกระแสต่อเนื่องตลอด

**4. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (PSIM)**

การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรงสำหรับการชาร์จ PHEV รูปที่ 3 แสดงแรงดันและกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่าระลอกคลื่นของแรงดันและกระแสเท่ากับ 0.0544 % และ 0.487% ตามลำดับ สำหรับการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ ทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยการสวิตช์แบบไบโพลาร์ที่ความถี่ 6.25 kHz ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านออก ดังรูปที่ 4 ซึ่งมีค่า



รูปที่ 3 แรงดันและกระแสชาร์จแบตเตอรี่



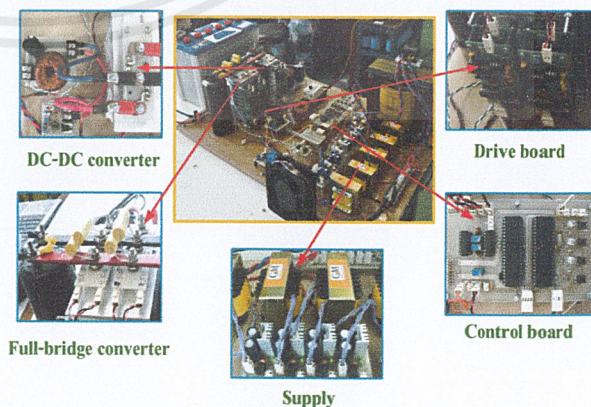
รูปที่ 4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านออกในขณะที่จ่ายโหลดขนาด 100 W กรณีทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

เปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของแรงดันเท่ากับ 2.18% และเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของกระแสเท่ากับ 2.18%

**5. การทดลองและผลการทดลอง**

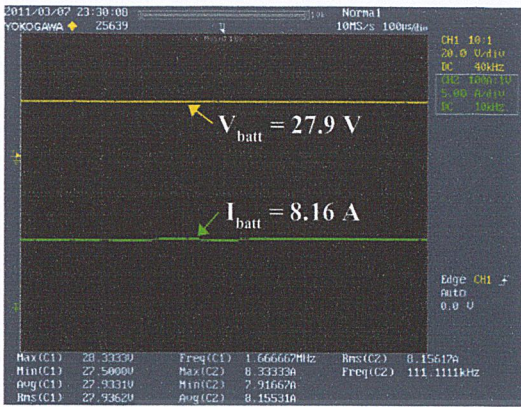
เมื่อประกอบชิ้นงานต่างๆ เข้าด้วยกัน ดังโครงสร้างพื้นฐานในรูปที่ 2 จะได้เครื่องต้นแบบดังรูปที่ 5 คือเชื่อมต่อฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และ dc-dc converter เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านเบรกเกอร์ พิวต์แรงดันด้านออกของวงจร dc-dc converter ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ แบ่งการทดลองออกเป็น การทดลองโหมดเรกติไฟเออร์ และการทดลองโหมดอินเวอร์เตอร์

การทดลองโหมดเรกติไฟเออร์ รูปที่ 6 แสดงกระแสและแรงดันด้านออกที่ออกจากวงจรมอสคอนเวอร์เตอร์ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ในโหมดกระแสสลับที่ เมื่อทำการศึกษาคูณลักษณะของรูปสัญญาณกระแสและแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จนแบตเตอรี่เต็ม ดังรูปที่ 7 จะเห็นว่าในระยะแรกเป็นการชาร์จด้วยกระแสสลับที่ ส่วนระยะที่สองจะเป็นการชาร์จด้วยแรงดันคงที่

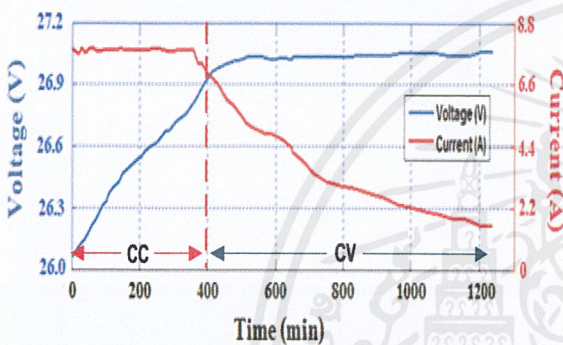


รูปที่ 5 เครื่องต้นแบบและระบบทดสอบที่ใช้ในการทดลอง

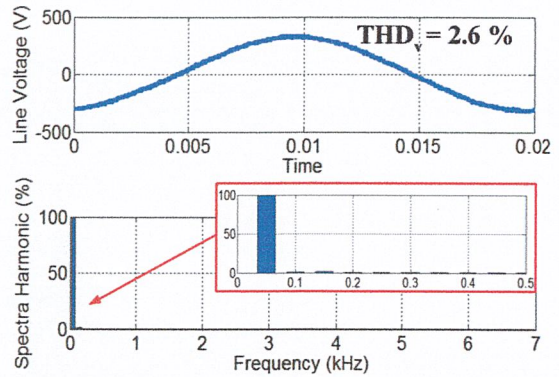
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



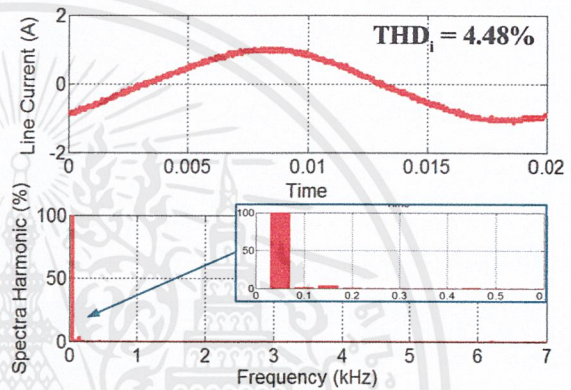
รูปที่ 6 Constant current charging mode



รูปที่ 7 คุณลักษณะของแรงดันและกระแสที่ใช้ในการชาร์จ



รูปที่ 9 รูปคลื่นสเปกตรัมฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าด้านออก



รูปที่ 10 รูปคลื่นสเปกตรัมฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านออก

## 6. สรุป

โครงการวิจัยนี้นำเสนอวงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงแบบสองทิศทาง สามารถทำงานได้ทั้งโหมดการชาร์จแบบเตอริ์และ โหมดอินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานกลับคืน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของคลื่นแรงดันและกระแสอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ซึ่งสามารถนำไปสู่การเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและรองรับการใช้งาน PHEV ในอนาคตต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] M. C. Kisacikoglu, B. Ozpıneci, L. M. Tolbert, "Examination of a PHEV Bidirectional Charger System for V2G Reactive Power Compensation", 978-1-4244-4783-1/10IEEE2010, pp. 458-465.
- [2] B.K. BOSE, "Modern Power Electronics, Evolution, Technology, and Applications", The Institute of Electrical and Electronics Engineer Inc, 2002, Ch. 5, pp. 211 – 218.
- [3] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins, Power Electronic Converter, Application and Design" John Wiley & Sons Inc, 1995, Ch 18, pp. 483 – 504.

รูปที่ 8 แรงดันไฟฟ้าด้านออกในสภาวะจ่ายโหลด 100 วัตต์ ขณะทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

การทดลองในโหมดอินเวอร์เตอร์ ทำการทดลองจ่ายโหลด ดังรูปที่ 8 แสดงแรงดันและกระแสทางด้านออกขณะจ่ายโหลดที่  $m_a = 1.0$  ที่ภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์ (โหลดหลอดไฟ) จะได้แรงดัน 220.4 V กระแส 0.706 A ซึ่งได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสทางด้านออกเท่ากับ 2.6% และ 4.48% (รูปที่ 9 และรูปที่ 10) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก จ.**  
**โปสเตอร์นำเสนอผลงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก

## AC – DC Converter for Plug – in Hybrid Electric Vehicle Charger



พงศ์พัฒน์ เรือนทราย พิศชา วิจิตรศิริ พิษณุ บัวหิน และภานุพงษ์ บุรีวัน

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)



### วัตถุประสงค์

- ❖ เพื่อศึกษาการทำงานและประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง
- ❖ เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรองรับการใช้งาน PHEV ที่เพิ่มขึ้น
- ❖ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ (Battery Charger) สำหรับการใช้งานจริงต่อไป

1

### โครงสร้างของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

2

### การจำลองโดยคอมพิวเตอร์

3

### ชิ้นงานจริง

4

### ผลการทดลองโหมดรีคตีไฟเออร์

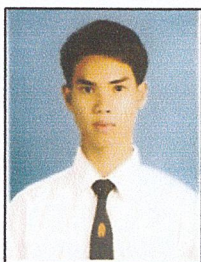
5

### ผลการทดลองโหมดอินเวอร์เตอร์

6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

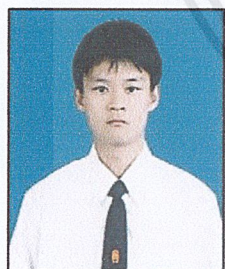
## ประวัติผู้เขียน



**ชื่อ - นามสกุล** นายพงศ์พัฒน์ เรือนทราย  
**วัน เดือน ปีเกิด** 9 มกราคม พ.ศ. 2532  
**ที่อยู่** 82 หมู่ที่ 8 ตำบลสันตันทมื่อ อำเภอแม่เมาะ  
จังหวัดเชียงใหม่ 50280

### ประวัติการศึกษา

**ปีการศึกษา 2549** สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
จากโรงเรียนฝางชนูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่  
**ปีการศึกษา 2553** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
**ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่** บริษัท เคมีแมน จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง  
29 พฤษภาคม 2553



**ชื่อ - นามสกุล** นายพิรชา วิจิตรศิริ  
**วัน เดือน ปีเกิด** 4 ธันวาคม พ.ศ. 2531  
**ที่อยู่** 52/73 ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมืองระยอง  
จังหวัดระยอง 21000

### ประวัติการศึกษา

**ปีการศึกษา 2549** สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสาธิต  
“พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี  
**ปีการศึกษา 2553** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
**ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่** บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (โรงงานหัวหมาก) ระหว่างวันที่  
1 เมษายน 2553 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ชื่อ - นามสกุล นายพิษณุ บัวหิน  
 วัน เดือน ปีเกิด 2 สิงหาคม พ.ศ. 2531  
 ที่อยู่ 50/3 หมู่ที่ 3 ตำบลมะขามสูง อำเภอเมืองพิษณุโลก  
 จังหวัดพิษณุโลก 65000

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
 จากโรงเรียนพุทธชินราชพิทยาล จังหวัดพิษณุโลก  
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัทสุวิศว์ จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง  
 29 พฤษภาคม 2553



ชื่อ - นามสกุล นายภานุพงษ์ บุรีวัน  
 วัน เดือน ปีเกิด 6 มกราคม พ.ศ. 2531  
 ที่อยู่ 129 หมู่ที่ 1 ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย  
 จังหวัดมหาสารคาม 44140

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
 จากโรงเรียนโกสุมพิทยาสรรค์ จังหวัดมหาสารคาม  
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัทสุวิศว์ จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง  
 29 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้