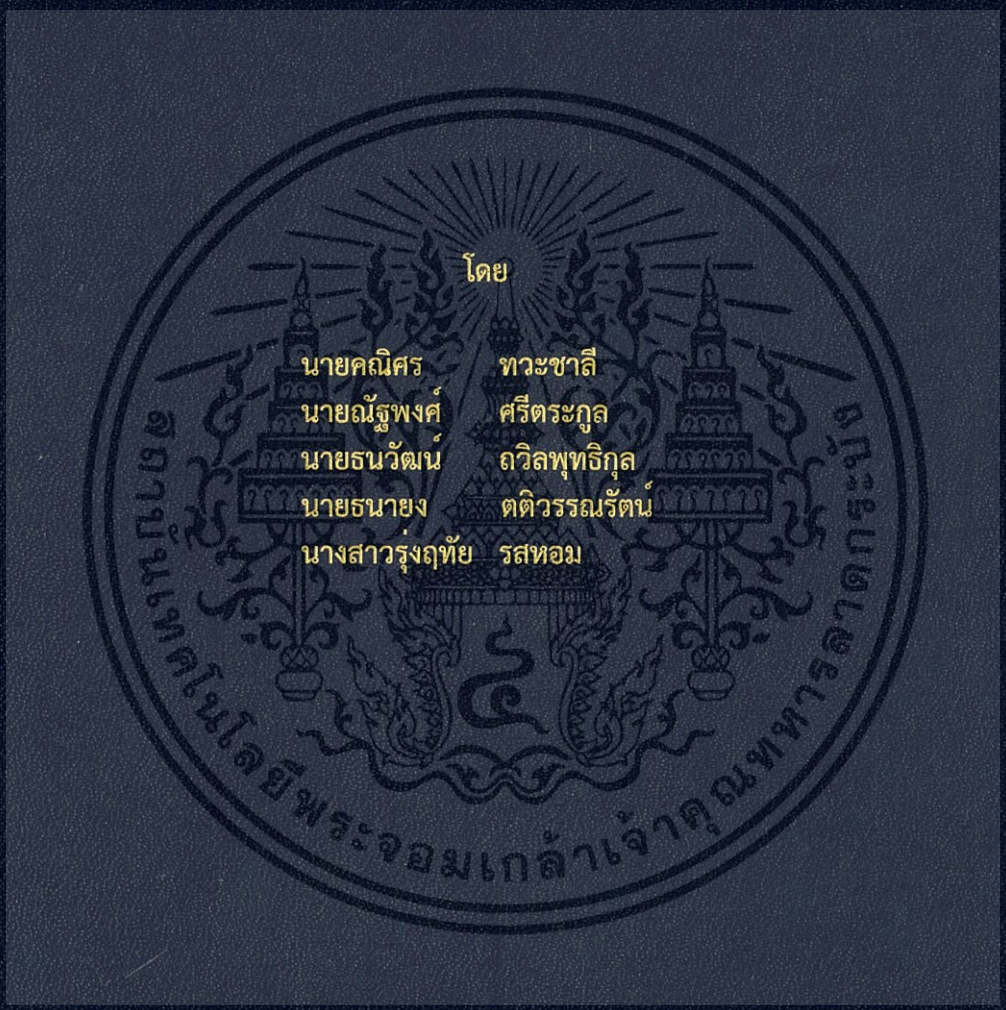
การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด
CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID



โดย

นายคณิศร ทวะชาลี
นายณัฐพงศ์ ศรีตระกูล
นายธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล
นายธนายง ตติวรรณรัตน์
นางสาวรุ่งฤทัย รสหอม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด

CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID

โดย

นายคณิศร ทวะชาลี

นายณัฐพงศ์ ศรีตระกูล

นายธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล

นายธนายง ตติวรรณรัตน์

นางสาวรุ่งฤทัย รสหอม

b.00216538

i.

TB00098

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID

KHANISORN THAWACHALEE

NATTHAPONG SRITRAKUL

TANAWAT TAWILPUTTIKUL

THANAYONG TATIVANNARAT

RUNGRUTHAI ROSHOM

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด

CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID

โดย

นาย คณิศร ทวะชาลี

นาย ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล

นาย ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล

นาย ธนายง ตติวรรณรัตน์

นางสาว รุ่งฤทัย รสหอม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด

ผู้จัดทำ

1. นาย คณิศร ทวะชาลี
2. นาย ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล
3. นาย ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล
4. นาย ธนายง ตติวรรณรัตน์
5. นางสาว รุ่งฤทัย รสหอม



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด

นาย คณิศร ทวะชาลี

นาย ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล

นาย ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล

นาย ธนายง ตติวรรณรัตน์

นางสาว รุ่งฤทัย รสหอม

ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อแสดงการสร้าง และควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบไมโครกริดแบบแยกอิสระ ระบบกักเก็บพลังงานนี้ ประกอบไปด้วยชุดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งถูกใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงชดเชยคุณภาพทางไฟฟ้าในเทอมของการผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในไมโครกริด และถูกใช้เพื่อประวิงความต้องการทางไฟฟ้าของโหลดที่ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าขาออกของระบบกักเก็บพลังงานนี้ถูกควบคุมด้วยกำลังผลิตของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานมีความราบเรียบเกิดขึ้น เพื่อยืนยันความถูกต้องของเทคนิคการควบคุมที่นำมาแสดงจึงได้ดำเนินการทดลองกับระบบไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบกักเก็บพลังงานสามารถลดการผันผวนของความถี่ลงได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID

Mr.Khanisorn	Thawachalee	
Mr.Natthapong	Sritrakul	
Mr.Tanawat	Tawilputtikul	
Mr.Thanayong	Tativannarat	
Ms.Rungruthai	Roshom	
Dr.Sompob	Polmai	Advisor
Assoc.Prof.Dr.Supat	Kittiratsatcha	Co-Advisor

ABSTRACT

This engineering project presented construction and control for energy storage system in a stand-alone microgrid. The energy storage system consisted of lead-acid battery bank, bidirectional dc to dc converter and dc to ac inverter. The energy storage system is utilized for power quality improvement in term of the frequency deviation by compensating fluctuated power of photovoltaic system in the microgrid and for generator's load demand shifting. The output power of the energy storage system is controlled to generate at design power. So that the combined power from the photovoltaic and the energy storage system is smooth. Experiment has been carried out of validate the proposed control technique with laboratory scale microgrid. The experimental results show that the energy storage system can reduce frequency deviation effectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธฉบับนี้สำเร็จลุลวงไปไดด้วยดี ด้วยการชวยเหลือจากหลายทาน โดยเฉพาะอยางยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ และรศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น และข้อแนะนำเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทำโครงงานวิศวกรรมนี้มาโดยตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขจนปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาผู้ถ่ายทอดความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำอย่างใกล้ชิด ให้มีความรู้ในการทำโครงงาน และมีทักษะที่ดีเพื่ออนาคตในภายภาคหน้าต่อไป

ขอขอบคุณคุณ Darith Leng พี่ปริญญาเอก คุณกิตติโชติ สุนทรทวีทรัพย์ พี่ปริญญาโททางวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานมาโดยตลอด ทั้งส่วนเนื้อหา การนำเสนอ อุปกรณ์ โปรแกรม และเป็นส่วนหนึ่งของกำลังใจให้คณะผู้จัดทำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ส่งเสริมสนับสนุนการศึกษา การวิจัย และการทำโครงงานของนักศึกษา

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการ Power Electronic Application and Energy Conversion Research Laboratory หรือ PEARL ที่คอยช่วยเหลือด้านต่างๆ และแนะนำการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

ขอขอบคุณโครงการ “MEIDENSHA CORPORATION ENDOWDED COURSE IN KMITL” ที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับโครงงานวิศวกรรมนี้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ซึ่งได้อบรมเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี และยังสนับสนุนทั้งด้านการศึกษา การเงิน และให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VII

สารบัญตาราง XI

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 แผนการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.6 โครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ 5

บทที่ 2 6

2.1 ระบบไมโครกริด 6

2.2 แบตเตอรี่ 8

2.2.1 โมเดลแบบจำลองแบตเตอรี่ 8

2.2.2 บล็อกไดอะแกรมของแบตเตอรี่ 9

2.2.3 สมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 9

2.3 การเชื่อมต่อกริดกับระบบกักเก็บพลังงาน 11

2.4 วงจรเรียงกระแส 14

2.4.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.4.1.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบครึ่งคลื่น 14

2.3.1.2 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น 16

2.4.1.3 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 17

2.4.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟส 19

2.4.2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด 19

2.4.2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส 20

2.4.3 การทำให้แรงดันด้านขาออกเรียบ 20

2.5 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง 22

2.5.1 เมื่อวงจรทำงานในโหมดบัค 23

2.5.2 เมื่อวงจรทำงานในโหมดบูส 26

2.6 อินเวอร์เตอร์ 29

2.6.1 วงจรพื้นฐานอินเวอร์เตอร์ 29

2.6.2 SPWM (Sinusoidal pulse width modulation) 29

2.6.2.1 มอดดูเลชั่นเชิงเส้น 30

2.6.2.2 โอเวอร์มอดดูเลชั่น 31

2.6.3 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว 31

2.6.4 การสวิตชิ่งแรงดันแบบยูนิโพลาร์ 32

2.7 เฟสล็อคลูป (Phase Locked Loop) 33

2.8 การควบคุมวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง 34

2.9 การควบคุมวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ 35

2.10 ระบบการควบคุมแบบ พีไอดี (PID Controller) 35

2.10.1 การควบคุมแบบพี (P controller) 36

2.10.2 การควบคุมแบบไอ (I controller) 36

2.10.3 การควบคุมแบบดี (D controller) 36

2.11 การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์ (Proportional plus Resonant Controller) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 39

3.1 ระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานสำหรับการทดลอง 39

3.2 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง 40

3.3 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 42

3.4 วงจรในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า 44

3.4.1 วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า 44

3.4.2 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 45

3.5 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในทางปฏิบัติ 46

บทที่ 4 52

4.1 ผลการทดลองวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง 54

4.2 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 56

4.3 ผลการจำลองจากวงจรต้นแบบ 57

บทที่ 5 65

5.1 สรุปผลการวิจัย 65

5.2 ข้อเสนอแนะ 66

5.2.1 อุปสรรค 66

5.2.2 แนวทางการแก้ไข 66

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก 69

ภาคผนวก ก บทความวิชาการ 70

ภาคผนวก ข Datasheet 76

ประวัติผู้เขียน 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปร่างโดยทั่วไปของแบบจำลองระบบไมโครกริด	7
รูปที่ 2.2 คุณลักษณะการดิสชาร์จ (Discharge) ของแบตเตอรี่	8
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของแบบแบตเตอรี่	9
รูปที่ 2.4 กราฟความผันผวนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาหนึ่ง	11
รูปที่ 2.5 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบก่อนมีระบบกักเก็บพลังงาน	12
รูปที่ 2.6 ความถี่ระบบก่อนมีระบบกักเก็บพลังงาน	12
รูปที่ 2.7 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน	13
รูปที่ 2.8 ความถี่ระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน	13
รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นแบบเฟสเดียว	14
รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่ใช้ไธริสเตอร์	16
รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น	17
รูปที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์	18
รูปที่ 2.13 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด	19
รูปที่ 2.14 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส	20
รูปที่ 2.15 วงจรกรองที่ใช้ตัวเก็บประจุ	21
รูปที่ 2.16 วงจรกรองที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	21
รูปที่ 2.17 ตัววอย่างการต่อใช้งาน	22
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง	22
รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง	23
รูปที่ 2.20 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	23
รูปที่ 2.21 วงจรขณะที่สวิตช์นำกระแส	24
รูปที่ 2.22 วงจรขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส	25
รูปที่ 2.23 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์	26
รูปที่ 2.24 วงจรขณะที่สวิตช์นำกระแส	27
รูปที่ 2.25 วงจรขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส	27
รูปที่ 2.26 การมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 0.8	30
รูปที่ 2.27 ผลของการมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 0.8	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.28 การมอดดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 1.2	31
รูปที่ 2.29 ผลของการมอดดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 1.2	31
รูปที่ 2.30 วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์	32
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการต่อใช้งานัญญาณเพื่อควบคุมสวิตช์ทั้งสี่	32
รูปที่ 2.32 สัญญาณแรงดันขาออกของการสวิตชิ่งแบบยูนิโพลาร์	32
รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบฮาร์มอนิกไซต์แบนระหว่างไบโพลาร์ กับ ยูนิโพลาร์	33
รูปที่ 2.34 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเฟสล็อคลูป	34
รูปที่ 2.35 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง	34
รูปที่ 2.36 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	35
รูปที่ 2.37 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรพีไอดี	35
รูปที่ 2.38 แสดง Bode plot ของการควบคุมแบบพีอาร์ที่กำหนดให้ค่า Kp คงที่	38
รูปที่ 3.1 โครงสร้างไมโครกริดในการทดลอง	39
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมโดยใช้กระแส	40
รูปที่ 3.3 วงจรการจำลองผลการทดลองในโปรแกรม PSIM	41
รูปที่ 3.4 กระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่โดยทดลองให้กระแสอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์เพื่อทดลองในโหมดการทำงานเพิ่มและลดแรงดัน	41
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมโดยใช้กระแสและนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันกริด	42
รูปที่ 3.6 การจำลองผลของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเฟสเดียว	43
รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสที่ไหลเข้าสู่กริดกับกระแสอ้างอิงและแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์กับแรงดันที่กริด	43
รูปที่ 3.8 แบบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าดีเอสพี	44
รูปที่ 3.9 แบบลายกัดปริ้นวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า	44
รูปที่ 3.10 วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า	45
รูปที่ 3.11 แบบวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าดีเอสพี	45
รูปที่ 3.12 แบบลายกัดปริ้นวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า	46
รูปที่ 3.13 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า	46
รูปที่ 3.14 แบบวงจรทั้งหมดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับกริด	46
รูปที่ 3.15 ชุด INTELLEGENT POWER MODULES PM50RLA120	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.16 แบบดาต้าชีทภายในของชุด INTELLEGENT POWER MODULES	47
รูปที่ 3.17 แบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแบตเตอรี่และกริดในทางปฏิบัติ	48
รูปที่ 3.18 ลายกัดปริ้นของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเข้าออกแบตเตอรี่	48
รูปที่ 3.19 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริด	49
รูปที่ 3.20 วงจรแหล่งจ่ายซึ่งแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 15 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์	49
รูปที่ 3.21 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าและวงจรแปลงผันกำลังเข้าออกแบตเตอรี่	50
รูปที่ 3.22 วงจรควบคุมร่วมกับตัวตรวจวัดค่าที่ใช้วัดกระแสและแรงดัน	50
รูปที่ 3.23 วงจรกำลังในส่วนของตัวเหนี่ยวนำ DC/DC DC/AC	51
รูปที่ 3.24 วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลองจริง	51
รูปที่ 4.1 วงจรกำลังที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM	52
รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM ในส่วนของวงจร dc to dc	53
รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM ในส่วนของวงจร dc to ac	53
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc	54
รูปที่ 4.5 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc (ต่อ)	55
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac	56
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac (ต่อ)	56
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวงจร dc to dc โหมด Boost	57
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจร dc to dc โหมด Buck	57
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวงจร ac to ac	58
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบแรงดันระหว่างกริดกับอินเวอร์เตอร์และกระแสอินเวอร์เตอร์	58
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง	59
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเพิ่มระดับแรงดันระหว่างแบตเตอรี่ (50V) และดีซีลิงค์ (200V)	59
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการซิงค์ระหว่างอินเวอร์เตอร์และกริด	60
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 200 วัตต์ไหลเข้ากริด	60
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 400 วัตต์ไหลเข้ากริด	61
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 600 วัตต์ไหลเข้ากริด	61
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 800 วัตต์ไหลเข้ากริด	61
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 1000 วัตต์ไหลเข้ากริด	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 200 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	62
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 400 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	62
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 600 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	63
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 800 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	63
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 1000 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
4.1 แสดงค่าที่ได้จากทดลองโดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้าไหลเข้ากริด	75
4.2 แสดงค่าที่ได้จากทดลองโดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้าไหลเข้าอินเวอร์เตอร์	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากช่วงเวลาที่ผ่านมาความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในขณะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลงทีละน้อย ถ้าหากนำพลังงานจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาทดแทนกับความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง เนื่องจากอาจทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรงคล้ายกับที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่นในปีที่ผ่านๆมา หลังจากที่เกิดเหตุการณ์นั้น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้ถูกระงับการสร้างในบางประเทศในโลก ทำให้ผู้คนหันมาเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อม และพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นในการผลิตไฟฟ้าเพื่อความต้องการของผู้ไฟฟ้าใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้าหันมาสนใจในด้านพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแทน ซึ่งนั่นคือ พลังงานหมุนเวียน [1]

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทั่วไปของกริดหลัก เมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่อง เช่น ฟ้าผ่าสายส่ง เป็นต้น ทำให้ไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบสูญหายไป ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในระบบ จึงจำเป็นต้องมีระบบไฟฟ้าที่สามารถทำงานอยู่ได้ โดยไม่จำเป็นต้องได้รับไฟฟ้าจากกริดหลัก ทำให้เกิดระบบไมโครกริดขึ้นมาใช้งานซึ่งเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและเป็นอิสระต่อกัน คือเมื่อกริดหลักมีปัญหาจะสามารถแยกตัวออกมาได้ และจ่ายกำลังไฟฟ้าในตัวเองได้ จะมาช่วยแก้ปัญหาเรื่องความผิดพร่องระบบไฟฟ้า เพราะสิ่งที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยไมโครกริด คือการรักษาสมดุลของความต้องการใช้ไฟฟ้ากับปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและรักษาคุณภาพทางไฟฟ้า

ระบบการผลิตไฟฟ้า และส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบไมโครกริด โดยทั่วไปจะใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นหลัก ซึ่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) จะมีปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่สม่ำเสมอ มีความไม่แน่นอน อาจมีความผันผวนสูง หรือแม้แต่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกริดหลักที่มาตามระยะของสายส่งนั้น ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานไปตามระยะของสายส่ง มีผลทำให้ใช้พลังงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จึงได้นำระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage) มาใช้งานซึ่งระบบกักเก็บพลังงานนี้สามารถทำการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรองให้แก่ระบบไมโครกริด ซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพทางไฟฟ้า โดยกักเก็บพลังงานมาสำรองไว้ก่อนที่จะจ่ายออกไปในช่วงที่พลังงานหมุนเวียน ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ไม่แน่นอน การมีระบบกักเก็บพลังงาน เปรียบได้กับการมีตัวรองรับหรือช่วยลดภาระในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กับไมโครกริดได้ ซึ่งโครงงานนี้จะนำระบบกักเก็บพลังงาน เข้ามาใช้เพื่อทำให้ระบบไมโครกริดมีความเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือมากขึ้นเพื่อใช้งานต่อไปได้

การควบคุมการทำงานของไมโครกริดด้วยระบบปฏิบัติการมัลติเอเจนท์ (Multi Agent) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ระหว่างคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน เพื่อให้เข้ากับแนวโน้มที่จะเป็นที่นิยมของทางด้านเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารในอนาคต ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการควบคุมและตรวจสอบผ่านระบบนี้ โดยจะติดต่อกันระหว่างเอเจนท์ของแต่ละเอเจนท์เพื่อให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มีความเหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการของภาระไฟฟ้า โดยปราศจากปัญหาด้านการเชื่อมต่อกับกริดหลัก และการแยกตัวออกมาของไมโครกริด รวมไปถึงสามารถแสดงผลออกมาผ่านหน้าจอเพื่อให้ทราบรายละเอียดที่เกิดขึ้น และสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงผ่านคอมพิวเตอร์ภายในระบบมัลติเอเจนท์นี้ได้อีกด้วย จึงมีความเหมาะสมในการนำมาช่วยในเรื่องการควบคุมระบบกักเก็บพลังงาน ให้เกิดประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานออกไปมากที่สุด เช่น พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาใช้ในช่วงเวลากลางวันเมื่อผลิตไฟฟ้าจากการหมุนเวียนได้สูงกว่าค่าความต้องการไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายพลังงานออกมาน้อยลงเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตได้ ซึ่งจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ได้จากพลังงานหมุนเวียนแทน และถ้าเหลือจากการกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ก็อาจนำมาใช้ได้ในเวลากลางคืนได้ [2]

การที่จะนำระบบกักเก็บพลังงาน เข้ามาภายในระบบไมโครกริดต้องใช้แบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงาน ซึ่งแบตเตอรี่ที่เอามาต่อในระบบต้องรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการกักเก็บพลังงาน แต่ระบบไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การที่จะนำมาต่อเข้ากับระบบกริดต้องมีวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เพื่อที่จะลดแรงดันในการเก็บเข้าแบตเตอรี่หรือจ่ายไฟออกจากแบตเตอรี่ ส่วนวงจรควบคุมการทำงานของวงจรแปรผันกำลังนั้นทำงานโดยผ่านภาษาที่เขียนขึ้นลงบนบอร์ด DSP โดยบอร์ด DSP จะรับค่ามาประมวลผลในโปรแกรม และสั่งขับสัญญาณให้วงจรกำลังทำงานตามที่ต้องการ จะทำให้สามารถช่วยกักเก็บพลังงานได้ตลอดเวลา โดยจะใช้อินเวอร์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรกำลังในการโอนถ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้าง และหลักการควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริด

1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการของวงจรแปลงผันกำลังสำหรับส่งผ่านกำลังในระบบไมโครกริด

1.2.3 เพื่อนำระบบกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

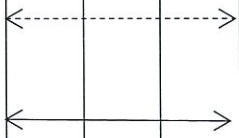
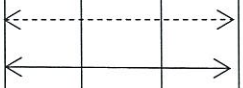
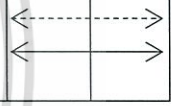
1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมไมโครกริดในระบบปฏิบัติการที่มีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง

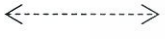
1.3.2 ออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะเชื่อมต่อระบบไมโครกริดเข้ากับระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า

1.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาหลักการทำงานของระบบไมโครกริด และศึกษาโปรแกรมการจำลองผล	← - - →									
	← ——— →									
ศึกษาคุณลักษณะพลังงานหมุนเวียน และหลักการของระบบกักเก็บพลังงาน			← ——— →							
		← - - →								
ศึกษาการทำงานของระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้งานร่วมกับไมโครกริด				← - - →						
				← ——— →						
ออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า และตัวตรวจวัดเพื่อใช้งานร่วมกับไมโครกริด				← - - →						
				← ——— →						
เตรียมนำเสนอ และจัดทำเอกสารทางวิชาการผลการศึกษาในภาคเรียนที่ 1				← - - →						
				← ——— →						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบวิธีการจำลองผลสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังและตัวตรวจวัด										
ทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังที่ออกแบบ										
ทดลองปฏิบัตินำ Energy Storage และวงจรแปลงผันกำลังมาเชื่อมต่อกับระบบจำลองไมโครกริดทั้งหมดในห้องปฏิบัติการ										
เตรียมนำเสนอ และจัดทำเอกสารทางวิชาการผลการศึกษาในภาคเรียนที่ 2										
ตรวจสอบและปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์										

 แสดงระยะเวลาที่วางแผนจะทำการปฏิบัติ

 แสดงระยะเวลาจริงที่ทำการปฏิบัติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจโครงสร้าง ทฤษฎี และหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบไมโครกริด และการควบคุมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน

1.5.2 สามารถเขียนและเข้าใจโครงสร้าง หลักการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเบื้องต้น เพื่อนำไปสู่การสร้างวงจรแปลงผันกำลังในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่

1.5.3 สามารถเข้าใจหลักการทำงานของระบบมัลติเอเจนท์ พัฒนาเพื่อให้เกิดการสื่อสารกันระหว่างเอเจนท์ได้ และนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นนอกเหนือจากระบบไมโครกริดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 โครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์ของโครงงาน, ขอบเขตการศึกษา และแผนการดำเนินงาน

บทที่ 2 เป็นการอธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างของไมโครกริด คุณลักษณะของแบตเตอรี่ ระบบการกักเก็บพลังงาน วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่โดยมีการใช้หลักการของวงจรเรียงกระแส วงจรลดและยกระดับแรงดันแบบสองทิศทาง และวงจรอินเวอร์เตอร์ รวมไปจนถึงเรื่องการควบคุมชุดขับโดยใช้วิธีควบคุมกระแส

บทที่ 3 เป็นการจำลองผลการทดลองในแบบจำลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นในโปรแกรมพีซิม (PSIM) มีการจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มาเชื่อมต่อร่วมกัน โดยมีการใช้การควบคุมกระแสมาควบคุมการสั่งทำงานของสวิตช์ มีวงจรการตรวจวัดกระแสและแรงดันเพื่อนำมาประมวลผล และการออกแบบสร้างวงจรแปลงผันกำลังออกมาเป็นรูปร่างบนบอร์ด พร้อมกับการใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบทอรอยด์มาร่วมฝั่งอินเวอร์เตอร์เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการทำงานร่วมกับแบตเตอรี่เอเจนท์ในการคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองที่ทำการ Simulation ผ่านโปรแกรมพีซิม (PSIM) โดยแบ่งเป็นผลที่ได้จากการจำลองบนโปรแกรม PSIM การเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์แล้วทดสอบผลของวงจรที่สร้างขึ้นโดยแบ่งเป็นทดสอบด้านวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสองทิศทาง ทดสอบการควบคุมอินเวอร์เตอร์ และทดสอบการเชื่อมต่อด้านอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบกริดในห้องปฏิบัติการแสดงออกมาเป็นกราฟซึ่งให้เห็นถึงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่กริด

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังมีความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าซึ่งมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา การกักเก็บพลังงานไว้ภายในแบตเตอรี่เพื่อใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูงจะสามารถเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครกริดได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเนื่องจากมีการถ่ายโอนพลังงานระหว่างแบตเตอรี่และกริดอยู่ตลอดเวลา โดยมีความแตกต่างระหว่างแหล่งจ่ายทั้งสองคือแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังแบบกริดเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จึงได้นำวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง, วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง (Bidirectional DC to DC converter) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยสามารถเพิ่มและลดแรงดันได้ในสองทิศทาง และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีความหมายและหลักการทำงานดังต่อไปนี้

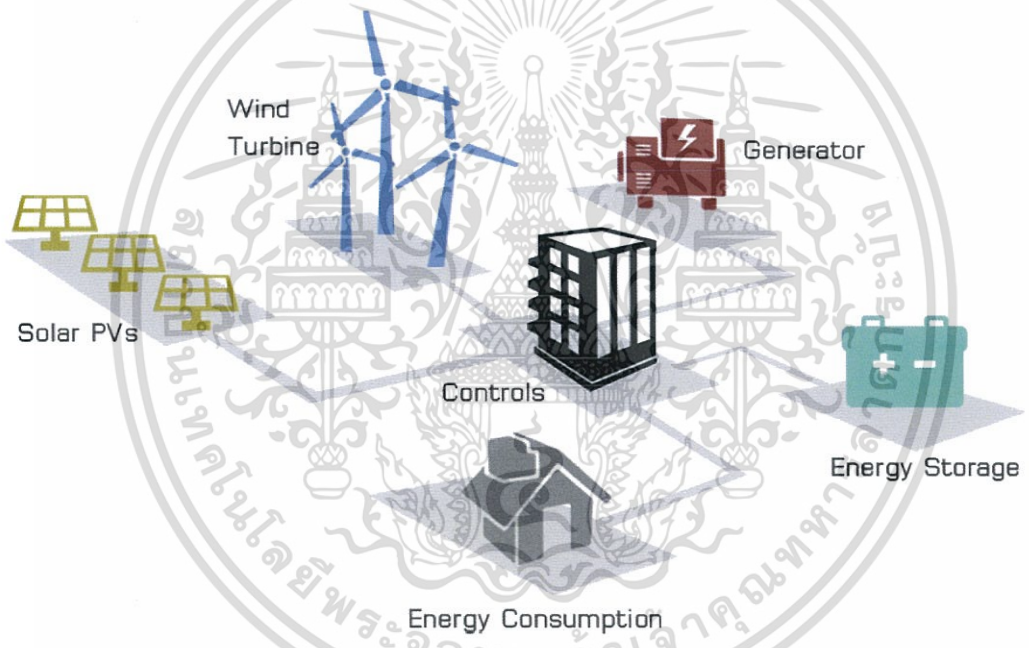
2.1 ระบบไมโครกริด

กริด (Grid) เป็นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งในปัจจุบันมีระบบส่งจ่ายอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดเป็นระบบกริดที่มีขนาดใหญ่และเมื่อระบบกริดขนาดใหญ่ร่วมกันมากๆ จะกลายเป็นโครงข่าย ด้วยระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นเทคโนโลยีเดิมที่ทำให้เกิดความสูญเสีย ในระบบไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งที่ผลิตไฟฟ้าซึ่งมีระยะทางที่ไกลจากแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความสูญเสียจากค่าความต้านทานภายในสายส่งโดยยิ่งระยะทางยาวค่าความสูญเสียยิ่งมีค่ามากตามไปด้วย และยังทำให้ใช้เวลาในการแก้ปัญหาไฟฟ้าขัดข้องนาน เนื่องจากตรวจจับตำแหน่งที่เกิดเหตุผิดพร่องทำได้ยาก จากสาเหตุทั้งหมดนี้ทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาระบบกริดให้ดียิ่งขึ้น โดยการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้งานร่วมกัน ทำให้เกิดระบบ กริดแบบต่างๆขึ้นมา เช่น ระบบไมโครกริด เป็นต้น [2]

ระบบไมโครกริด ซึ่งได้มีการรวบรวมระบบผลิตไฟฟ้า โหลดไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงาน และระบบการควบคุมอัตโนมัติเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งจะเป็นระบบสายส่งแรงดันต่ำ (Low Voltage) หรือแรงดันระดับกลาง (Medium Voltage) เพื่อจ่ายให้แหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกัน โดยมีหลักการสำคัญของการผลิตไฟฟ้า คือการสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าให้พอดีกับภาระทางไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริด ขณะเดียวกันระบบไมโครกริดก็ยังคงสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัก (Grid) เดิมได้ด้วย โดยถ้าหากในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังของกริดหลัก ระบบไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานโดยการผลิตกำลังไฟฟ้าและส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่ หรือคือการแยกตัวอิสระ (Islanding) ได้อย่างอัตโนมัติและสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไขแล้ว และการเพิ่มขึ้นของไมโครกริดจะไม่ก่อให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ในขณะเดียวกันกลับช่วยในการเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้าในระบบ รวมทั้งเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าได้อีก และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากเป็นการใช้แหล่งพลังงานในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, โรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นต้น [2]



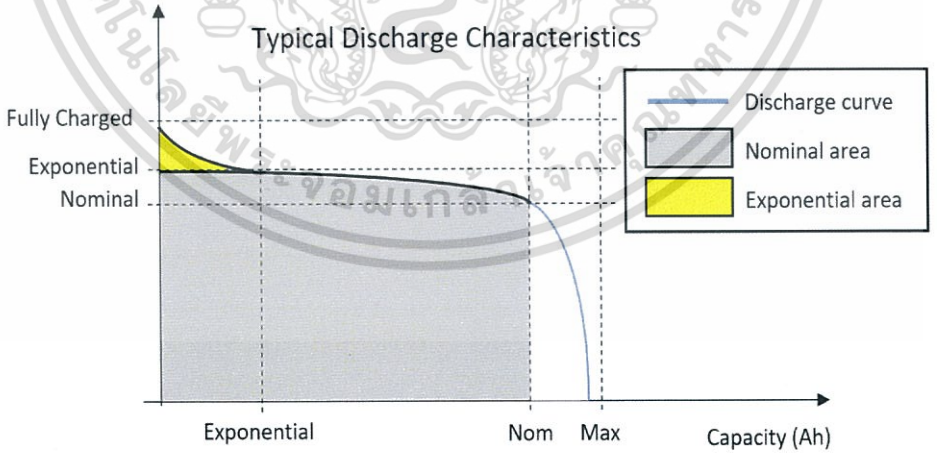
รูปที่ 2.1 รูปร่างโดยทั่วไปของแบบจำลองระบบไมโครกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แบตเตอรี่

2.2.1 โมเดลแบบจำลองแบตเตอรี่

โมเดลแบบจำลองแบตเตอรี่ เป็นการจำลองคุณลักษณะการดิสชาร์จ (Discharge) ประจุภายในแบตเตอรี่ โดยไม่คำนึงถึงอุณภูมิที่ทำงาน และจำนวนรอบ (Cycle) ที่ผ่านการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งจะแบ่งการทำงานเป็นสามย่าน ได้แก่ 1.ย่านเอกซ์โพเนนเชียล คือย่านที่ประจุภายในแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับค่าความจุพิกัดของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่จึงมีค่ามาก และเมื่อทำการดิสชาร์จ จะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในลักษณะของเอกซ์โพเนนเชียล 2.ย่านการทำงานแบบปกติ คือย่านที่ประจุภายในแบตเตอรี่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อทำการดิสชาร์จจะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งทำให้เป็นย่านที่นิยมไปใช้งานเนื่องจากมีค่าแรงดันค่อนข้างคงที่ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันเกินหรือแรงดันต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ 3.ย่านการดิสชาร์จ คือย่านที่ประจุภายในของแบตเตอรี่เหลือค่อนข้างน้อย ทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าน้อย และเมื่อทำการดิสชาร์จจะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว หากทำการดิสชาร์จจนประจุภายในของแบตเตอรี่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ไม่สามารถนำกลับมาชาร์จใหม่อีกได้ จึงไม่เป็นย่านที่นิยมใช้งาน ซึ่งจากคุณลักษณะของแบตเตอรี่นี้ จะสามารถนำมาใช้ออกแบบการจำลองในการกักเก็บแบตเตอรี่ได้ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ [2]

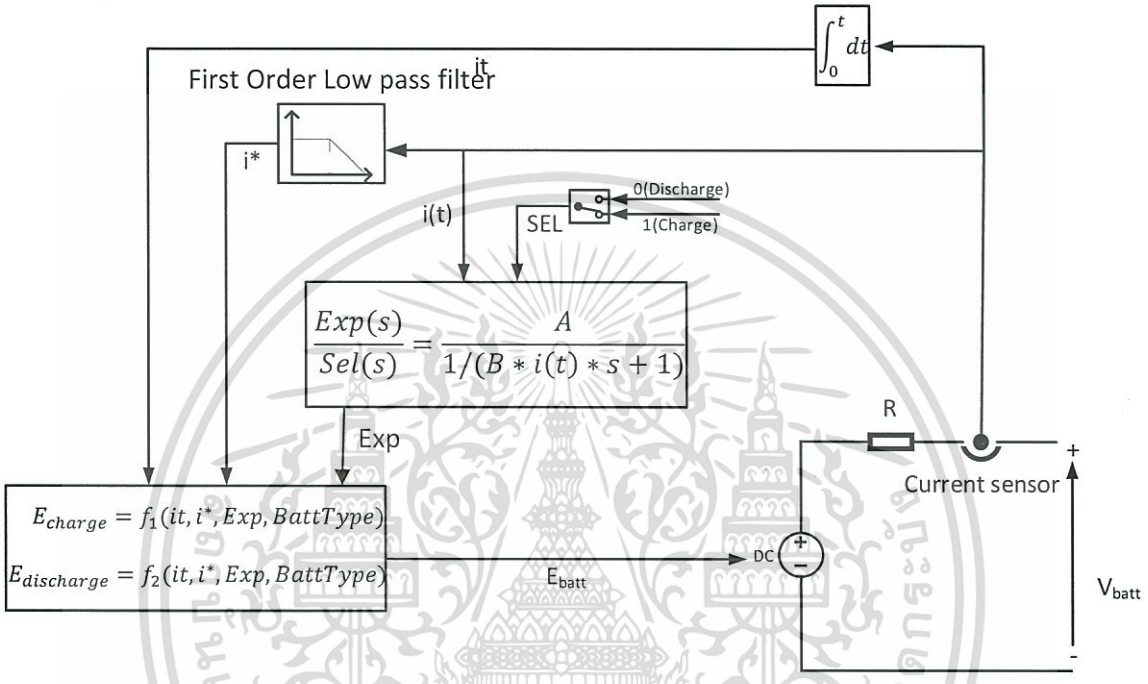


รูปที่ 2.2 คุณลักษณะการดิสชาร์จ (Discharge) ของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 บล็อกไดอะแกรมของแบตเตอรี่

ในการจำลองการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK สามารถทำได้โดยนำสมการทางคณิตศาสตร์มาเขียนอยู่ในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของแบบแบตเตอรี่

2.2.3 สมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

สมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด จะสามารถพฤติกรรมการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้ ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังต่อนี้

Discharge model *(i* > 0)*

$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K\frac{Q}{Q-it} \cdot (it + i^*) + Exp(t) \quad (2.1)$$

Charge Model *(i* < 0)*

$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K\frac{Q}{it+0.1\cdot Q} \cdot i^* - K\frac{Q}{Q-it} + Exp(t) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

V_{Batt} = ค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ ณ เวลานั้นๆ (V)

E_0 = ค่าคงที่แรงดันแบตเตอรี่ (V) (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)

Exp(s) = Exponential zone dynamics (V)

Sel(s) = โหมดการทำงานของแบตเตอรี่ หากแบตเตอรี่อยู่ในโหมดดิสชาร์จจะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ถ้าอยู่ในโหมดชาร์จจะมีค่าเท่ากับ1

K = ค่าความต้านทานโพลาไรเซชั่น *(Ω)* หรือค่าคงที่โพลาไรเซชั่น *(V/Ah)*
(ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)

i* = กระแสที่ผ่าน Low-pass Filter (A)

i = กระแสแบตเตอรี่ (A)

it = ค่าการประจุแบตเตอรี่ (Ah)

Q = ความจุสูงสุดแบตเตอรี่ (Ah)

A = Exponential voltage (V)

B = Exponential capacity (Ah)

จากสมการทั้งสองข้างต้นจะแสดงเพียงช่วงเอกซ์โพเนนเชียลโซน (exponential Zone) ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิส (Hyteresis) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในสมการข้างต้นจะสามารถนำมาได้จาก ข้อมูลจากผู้ผลิต (Data sheet) ที่กำหนดมากับแบตเตอรี่แต่ละรุ่น โดยจะประกอบด้วยค่า ฟูลลี่ชาร์จโวลเทจ (Fully Charged Voltage : V_{full}), ค่าพารามิเตอร์ในช่วงสิ้นสุดเอกซ์โพเนนเชียลโซน (Q_{exp},V_{exp}) ,ค่าพารามิเตอร์ในช่วงสิ้นสุดย่านการทำงานแบบปกติ (Q_{nom},V_{nom}) , ค่าความจุไฟฟ้าสูงสุด (Q) และค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Internal Resistance : R) โดยค่าพารามิเตอร์ข้างต้นจะสามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ A,E_o และ K ได้โดยกำหนดให้ใช้เมทริกซ์ i=0.2c [3] พร้อมกับสมการดังต่อไปนี้

สำหรับช่วงที่มีประจุอยู่เต็มแบตเตอรี่ (Fully Charge Voltage) จะทำให้ไม่เกิดการชาร์จ(it=0,i^*=0)

$$V_{full} = E_0 - R \cdot i + A \tag{2.3}$$

โดยในช่วงสิ้นสุดของเอกซ์โพเนนเชียลโซน (Exponential Zone) ค่า B จะมีค่าประมาณ $3/Q_{exp}$

$$V_{exp} = E_0 - K\frac{Q}{Q - Q_{exp}} \cdot \left(Q_{exp} + i\right) - R \cdot i + Aexp\left(\frac{-3}{Q_{exp}} \cdot Q_{exp}\right) \tag{2.4}$$

และค่าความต่างศักย์ที่ย่านการทำงานแบบปกติ (Normal Zone) คือ

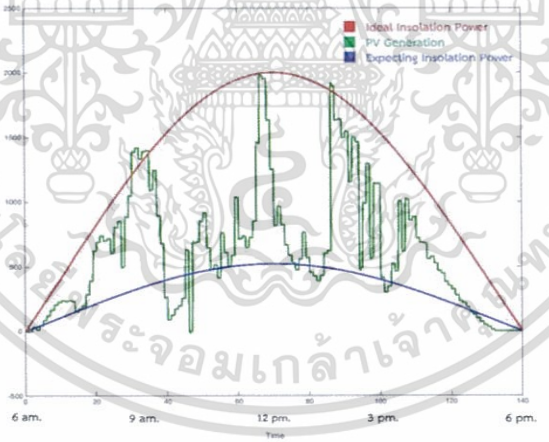
$$V_{nom} = E_0 - K\frac{Q}{Q - Q_{nom}} \cdot (Q_{nom} + i) - R \cdot i + Aexp\left(\frac{-3}{Q_{exp}} \cdot Q_{nom}\right) \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น เป็นสมการที่ให้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เป็นค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณภูมิการทำงาน การชาร์จ และดิสชาร์จ, ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่เปลี่ยนตามขนาดของกระแส และอุณหภูมิการทำงาน และแบตเตอรี่ไม่เกิดการดิสชาร์จด้วยตนเอง [3]

2.3 การเชื่อมต่อกริดกับระบบกักเก็บพลังงาน

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังมีความผันผวนของกำลังไฟฟ้ามากและระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอ ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้ามีความผันผวนมาก การนำพลังงานแสงอาทิตย์มากักเก็บไว้เพื่อใช้งานในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงจะสามารถช่วยลดความผันผวนในระบบไฟฟ้ากำลังได้ แต่การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จะมีความผันผวนอันเนื่องมาจากข้อจำกัดจากปัจจัยสองปัจจัยหลัก คือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิ ณ เวลานั้นๆ จึงต้องมีการออกแบบแผนการกักเก็บพลังงานที่เหมาะสม สามารถทำได้โดย ในช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมากักเก็บในแบตเตอรี่ และนำไปใช้ในช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้ามาก จะสามารถช่วยลดความผันผวนในระบบไฟฟ้ากำลังได้ โดยจะทำการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ไม่เกินร้อยละ 90 ของความจุพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานในย่านปกติ(Nominal Area)และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน [2]

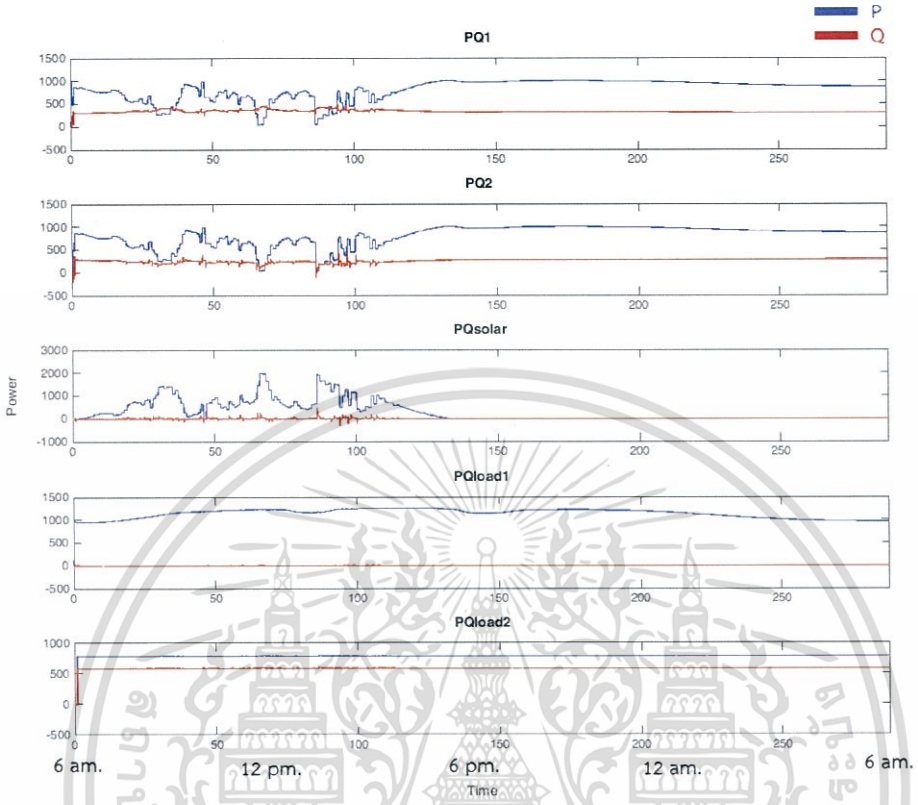


รูปที่ 2.4 กราฟความผันผวนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาหนึ่ง

ปัญหาของระบบไมโครกริดที่เกิดขึ้นมีทั้งปัญหาเรื่องสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์ เป็นต้น จะมีความผันผวนดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ซึ่งทำให้การควบคุมกำลังไฟฟ้าและความถี่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 หน่วย ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัวและเครื่องกำเนิดของพลังงานหมุนเวียน 1 ตัว มีความไม่สม่ำเสมอของทั้งกำลังไฟฟ้าและความถี่ ก่อนต่อระบบกักเก็บพลังงาน แสดงผลให้เห็นชัดเพื่อความเข้าใจ จากข้อมูล

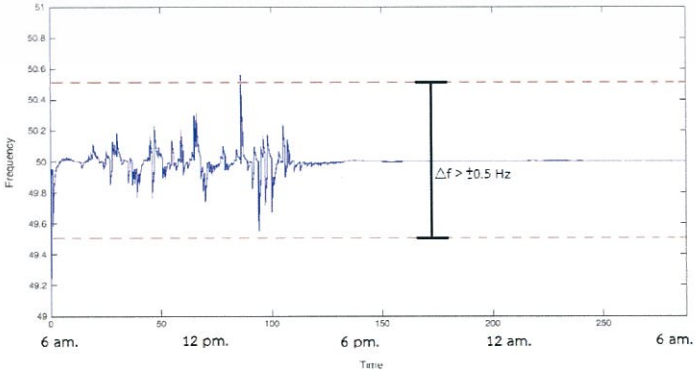
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองผลการทดลองในแมทแลป (MATLAB) ของปริญญานิพนธ์ปีก่อนหน้านี้ที่ต่อยอดมา [2] มีดังนี้



รูปที่ 2.5 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบก่อนมีระบบกักเก็บพลังงาน

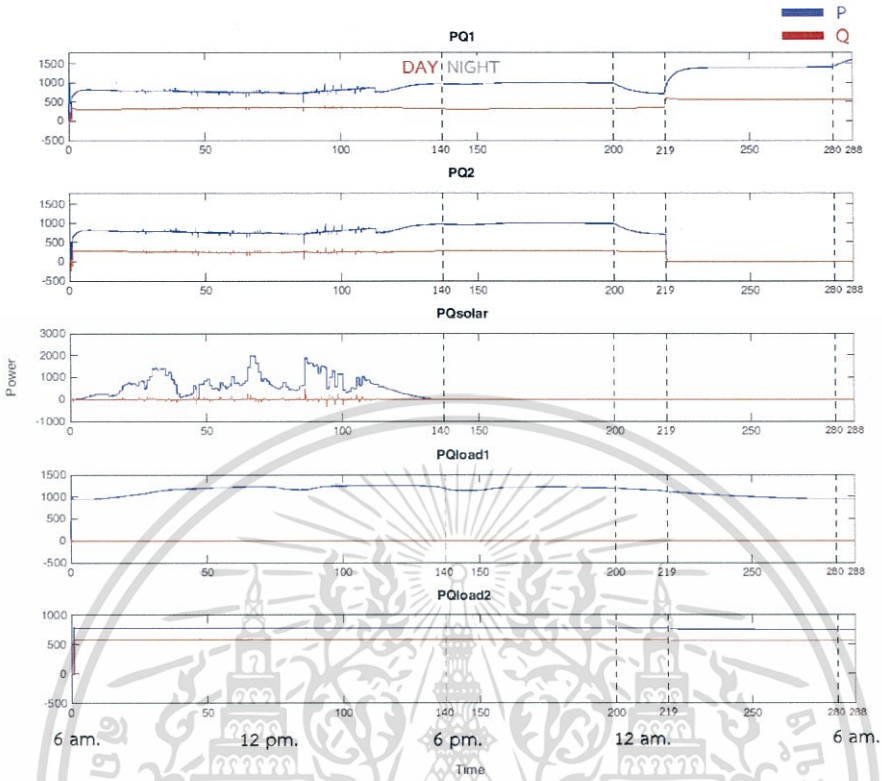
จะสังเกตได้ว่า ก่อนมีระบบกักเก็บพลังงาน เมื่อได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพลังงานหมุนเวียนต่อรวมกันจะทำให้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1(PQ1) และ 2(PQ2) จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยซึ่งเป็นผลจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าและความถี่แบบดรูป (P-f Droop) ซึ่งจะทำให้ความถี่กำลังไฟฟ้าของระบบมีการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นตามไปด้วย [2] ดังรูป จะเห็นได้ว่า กราฟมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.6 ความถี่ระบบก่อนมีระบบกักเก็บพลังงาน

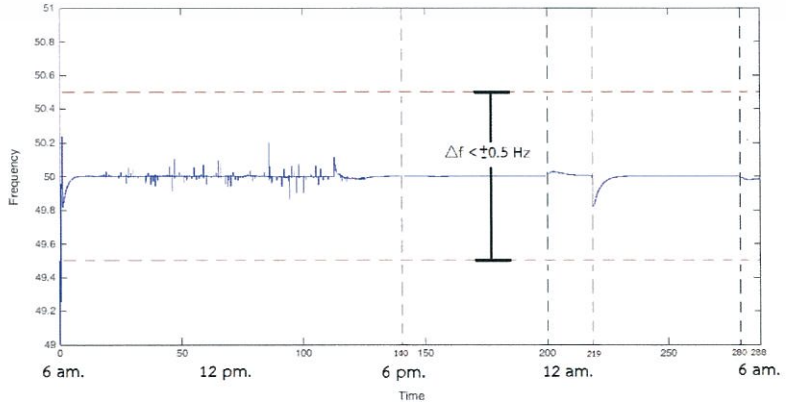
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมามีการจำลองผลการต่อเพิ่มของระบบกักเก็บพลังงานเข้ามาในระบบไมโครกริด



รูปที่ 2.7 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน

จะสังเกตว่า เมื่อเพิ่มระบบกักเก็บพลังงานเข้ามาจะทำให้กำลังไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอราบเรียบมากขึ้น ทำให้ความถี่ของระบบไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอมากขึ้นด้วย เนื่องจากการทดแทนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ทันทีในช่วงที่มีการตกของการผลิตกำลังไฟฟ้าเป็นผลอันเนื่องมากจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าและความถี่แบบดรูป (P-f Droop) ร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแสงอาทิตย์ ซึ่งการทดแทนด้วยพลังงานจากระบบกักเก็บพลังงาน [2]



รูปที่ 2.8 ความถี่ระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านขาเข้าไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออก วงจรภายในมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เรียงกระแสโดยชนิดของตัวเรียงกระแสที่ใช้มีทั้งแบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกโดยใช้ไดโอดกับแบบควบคุมเฟสโดยใช้ไธริสเตอร์ วงจรเรียงกระแสมีทั้งแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier Circuit) ซึ่งเหมาะใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ และแบบเต็มคลื่น (Full wave Rectifier Circuit) ซึ่งเหมาะกับใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูง นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสยังสามารถแบ่งออกได้เป็นวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวและวงจรเรียงกระแสสามเฟส [4]

2.4.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว

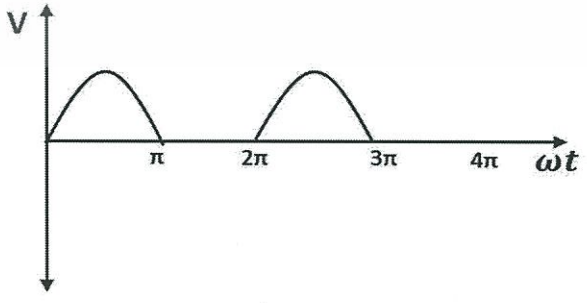
เป็นวงจรเรียงกระแสที่เหมาะกับโหลดที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำเพื่อแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีทั้งวงจรแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่นที่ควบคุมแรงดันขาออกโดยใช้ไดโอดกับแบบควบคุมมุมเฟสโดยใช้ไธริสเตอร์ [4]

2.4.1.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบครึ่งคลื่น

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เรียงกระแสเพียงตัวเดียว มีทั้งแบบควบคุมแรงดันขาออกโดยใช้ไดโอดกับแบบควบคุมเฟสโดยใช้ไธริสเตอร์



(ก) วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบครึ่งคลื่น



(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นแบบเฟสเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในครึ่งคลื่นที่เป็นบวก ขาหม้อแปลงด้านบนเป็นบวก ขาด้านล่างเป็นลบ ไดโอดจะถูกไบแอสทำให้กระแสไหลผ่านได้ แต่อีกครึ่งคลื่นที่เป็นลบ ขาบนจะเป็นลบ ขาล่างจะเป็นบวก ไดโอดจะถูกไบแอสกลับทำให้กระแสไหลไม่ได้ เอาต์พุตจึงมีแต่คลื่นที่มีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาล่างของหม้อแปลง ถ้าต้องการได้ค่าที่เป็นลบเอาต์พุตต้องเป็นคลื่นทางด้านลบจะต้องต่อไดโอดกลับข้างกัน วงจรเรียงกระแสจะให้เอาต์พุตเป็นกระแสตรงที่กระเพื่อม แบบครึ่งคลื่นจะมียอดคลื่นที่กระเพื่อมเรียกว่าริปเปิล (ripple) สูงกว่าแบบเต็มคลื่น แต่ทั้งสองแบบต้องใช้วงจรกรองเพื่อลดฮาร์มอนิกส์ของความถี่เอซีจากเอาต์พุต จากรูป 2.9 จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผลด้านออก [4] ดังนี้

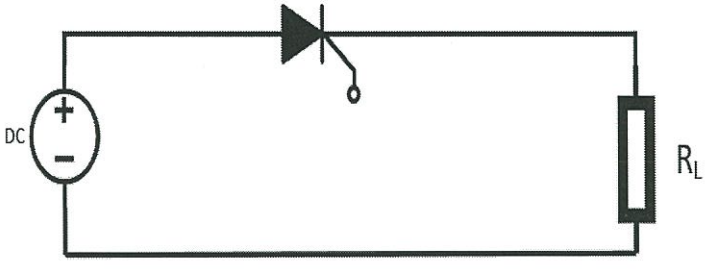
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \tag{2.6}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \tag{2.7}$$

วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่ใช้ไธริสเตอร์ จะช่วยให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่ามากน้อยตามความต้องการ โดยไธริสเตอร์จะเริ่มนำกระแสเมื่อมีกระแสเกตเกิดขึ้น หรือมุมจุดชนวน (delay angle, α) หากมุมจุดชนวนมีค่าเป็นศูนย์ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดทั่วไป เมื่อมุมจุดชนวนมีค่ามากขึ้นส่งผลให้แรงดันเฉลี่ยไฟฟ้าด้านออกมีค่าลดลงจนค่ามีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อมุมจุดชนวนเป็น 180° หรือ π ค่าของมุมจุดชนวนนี้จะสัมพันธ์กันกับแรงดันเฉลี่ยและแรงดันประสิทธิผลขาออก [4] ดังนี้

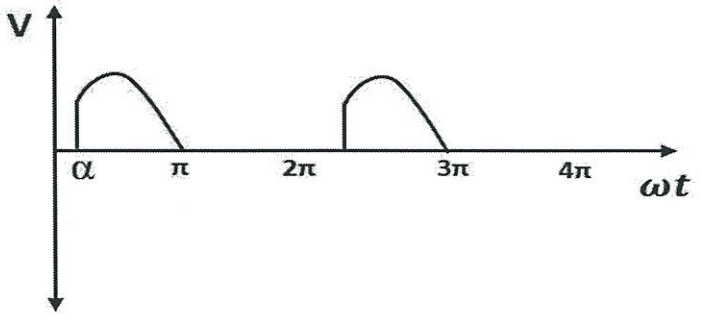
$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}(1 + cos\,\alpha) \tag{2.8}$$

$$V_{o,rms} = \frac{V_m}{2}\sqrt{\frac{1}{\pi}(\pi - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2})} \tag{2.9}$$



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่ใช้ไธริสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

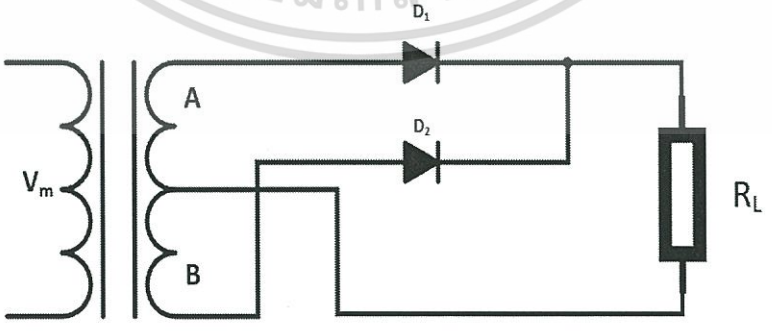


(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่ใช้ไธริสเตอร์

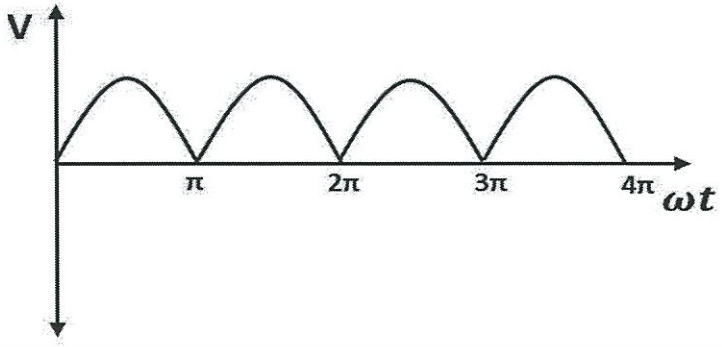
2.3.1.2 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอดอย่างน้อย 2 ตัวต่ออยู่ในวงจรเพื่อจะทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของกระแสสลับไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับความต้านทานโหลดตัวละครึ่งไซเคิลแต่ต้องจ่ายให้ทิศทางเดียวกันดังนั้นวงจรนี้จะทำให้ระลอกคลื่น (ripple factor) มีค่าต่ำกว่าแบบวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่นจึงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าขาออกได้สูงกว่า หม้อแปลงที่มีเซ็นเตอร์แทปซึ่งมีวงจรครึ่งคลื่น 2 วงจร คือเมื่อครึ่งคลื่นที่เป็นบวกจะได้ขาบนเป็นบวก ส่วนที่เซ็นเตอร์แทปเป็นลบเมื่อเทียบกับขาบนแต่จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาล่าง ขาล่างสุดจึงเป็นลบเมื่อเทียบกับขาบนสุดและเซ็นเตอร์แทป กระแสไหลผ่านไดโอด D1 กลับมาที่เซ็นเตอร์แทปแค่ครึ่งเดียวของแรงดันทั้งหมด ในทางกลับกันรูปคลื่นที่เป็นลบจะได้ขาบนสุดเป็นลบ ขาล่างสุดเป็นบวกกระแสไหลผ่านไดโอด D2 อีกครึ่งหนึ่งเกิดเป็นแรงดันเต็มคลื่น [4]



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น

2.4.1.3 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรแบบนี้จะใช้ไดโอด 4 ตัวในการเรียงกระแสมีการต่อวงจรเป็นดังรูป โดยการทำงานจะเริ่มจากแรงดันขาออกของหม้อแปลง เมื่อครึ่งไซเคิลบวกผ่านออกมาจากหม้อแปลง จะได้ขั้วบน หรือขั้ว A เป็นขั้วบวกและขั้วล่าง หรือขั้ว B เป็นขั้วลบ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอด D2 ผ่าน R_L กลับมาที่ไดโอด D3 ได้ครึ่งคลื่นลูกแรก เมื่อครึ่งไซเคิลลบผ่านออกมาจากหม้อแปลง จะได้ขั้วบน หรือขั้ว A เป็นขั้วลบและขั้วล่าง หรือขั้ว B เป็นขั้วบวก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไดโอด D4 ผ่าน R_L กลับมาที่ไดโอด D1 ได้ครึ่งคลื่นลูกที่สอง เกิดเป็นการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นขึ้น จากรูปจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผลด้านออกของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นดังนี้

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \tag{2.10}$$

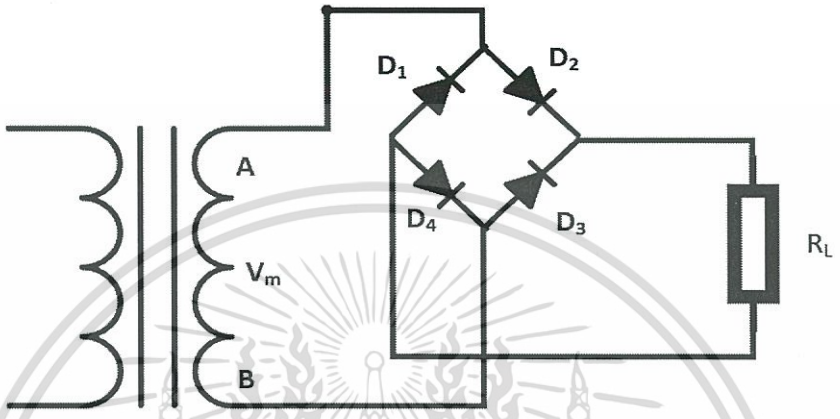
$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \tag{2.11}$$

วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟสที่สามารถควบคุมแรงดันขาออกได้ จะใช้ตัวไธริสเตอร์แทนไดโอดทั้ง 4 ตัว โดยการทำงานจะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบที่ใช้ไดโอด แต่ว่าตัวไธริสเตอร์จะยังไม่นำกระแสหากยังไม่มีกระแสป้อนเข้าขาเกต หากต้องการปรับแรงดันขาออกให้ลดลงจะต้องปรับมุมจุดชนวน (delay angle, α) ให้มากขึ้น ค่าของมุมจุดชนวนนี้จะสัมพันธ์กันกับแรงดันเฉลี่ยและแรงดันประสิทธิผลขาออก [4] ดังนี้

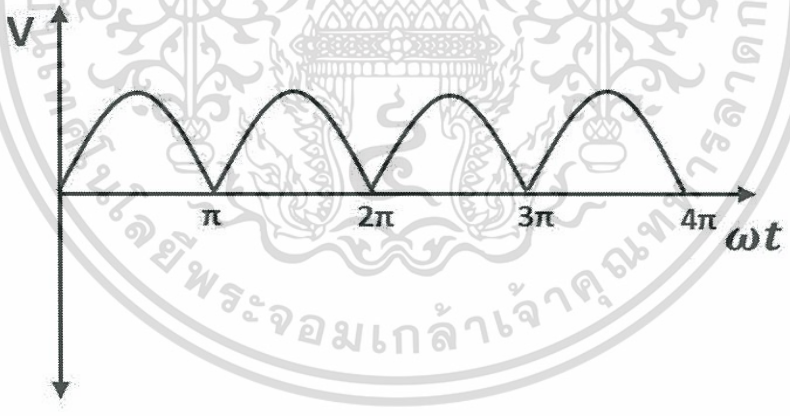
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}(1 + cos\,\alpha) \tag{2.12}$$

$$V_{o,rms} = v_m\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{sin(2\alpha)}{4\pi}} \tag{2.13}$$



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์



(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์

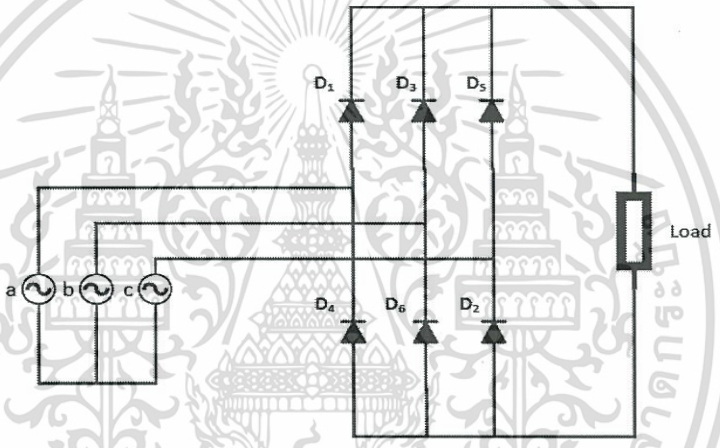
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟส

เป็นวงจรที่นิยมใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับโหลดขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมมีทั้งแบบไดโอดและแบบควบคุมเฟสโดยใช้ไธริสเตอร์ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวงจรเรียงกระแสสามเฟสกับวงจรเรียงกระแสเฟสเดียว จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากกว่า นอกจากนั้นฮาร์มอนิกลำดับสูงยังถูกกำจัดได้ดีกว่าวงจรเรียงกระแสเฟสเดียว [4]

2.4.2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด

เป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพื้นฐานที่สุดโดยจะใช้ไดโอด 6 ตัว ดังแสดงในรูป เมื่อเป็นระบบสามเฟสสมดุลและไดโอดเป็นแบบอุดมคติ



รูปที่ 2.13 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด

จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าแบบ line-to-line ดังนี้

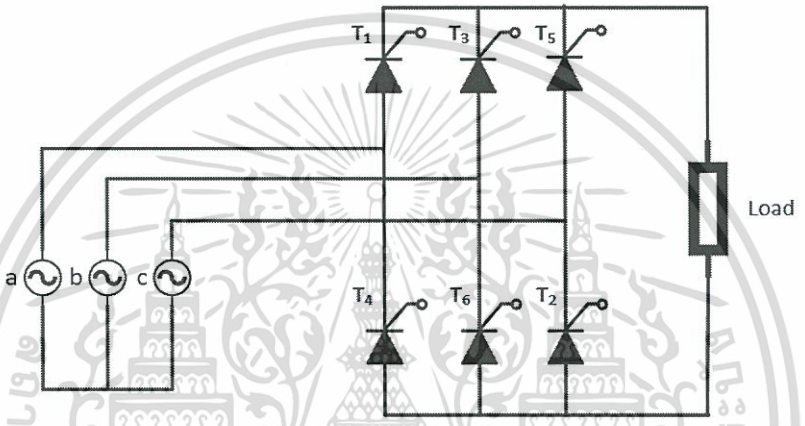
$$V_{dc} = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส

เป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสที่ใช้ไธริสเตอร์แทนไดโอด โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกจะสัมพันธ์กันกับมุมจุดชนวน (delay angle, α) และค่ายอดของแรงดันไฟฟ้า line-to-line สามารถควบคุมกระแสที่จ่ายเข้าที่ขาเกตของไธริสเตอร์เพื่อควบคุมแรงดันขาออกได้ ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออก [4] จะได้เป็นสมการดังนี้

$$V_{dc} = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi}\cos\alpha \tag{2.15}$$



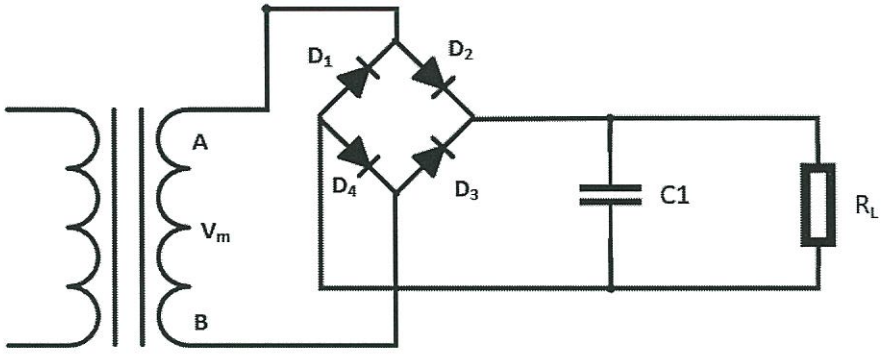
รูปที่ 2.14 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส

2.4.3 การทำให้แรงดันด้านขาออกเรียบ

แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรเรียงกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่เรียกว่า แรงดันกระเพื่อม (Ripple) เพื่อให้แรงดันด้านออกมีลักษณะไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้นจะต้องทำให้แรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยลงด้วยวงจรแบบต่างๆดังนี้

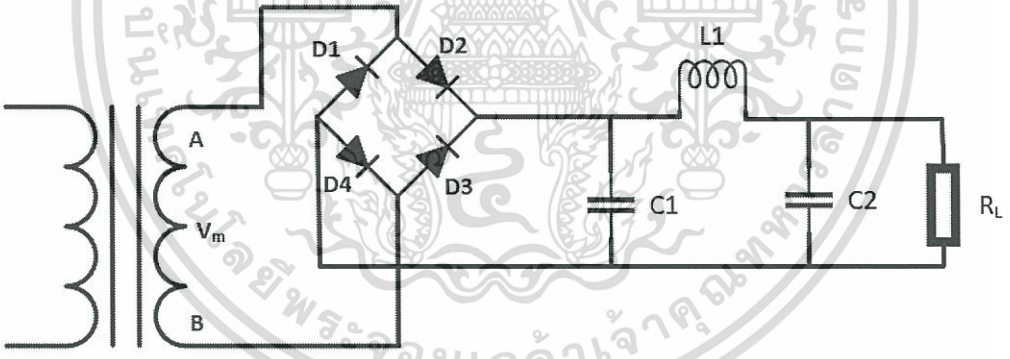
วงจรกรองที่ใช้ตัวเก็บประจุต่อหลังวงจรเรียงกระแสก่อนที่จะจ่ายให้โหลดเพื่อเป็นการจำกัดแรงดันกระเพื่อมให้มีค่าน้อยลงขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้จะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ใช้ในโหลดและผกผันกับความถี่ของแหล่งจ่าย หากขนาดของตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่จะช่วยลดการกระเพื่อมแต่ก็จะมีต้นทุนที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรกรองที่ใช้ตัวเก็บประจุ

วงจรกรองตัวแบบที่ใช้เหนี่ยวนำต่อหลังตัวเก็บประจุตัวที่หนึ่ง แล้วต่อเข้ากับตัวเก็บประจุตัวที่สอง โดยตัวเหนี่ยวนำที่ต่อเพิ่มเข้ามานี้จะกั้นไม่ให้กระแสกระเพื่อมที่มีความถี่สูงผ่าน ทำให้ได้กระแสไฟฟ้าด้านออกมีลักษณะใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น แต่ตัวเหนี่ยวนำจำเป็นต้องเป็นแกนเหล็ก หรือวัสดุแม่เหล็กอื่นๆทำให้วงจรที่ได้มีขนาดและน้ำหนักเพิ่มมาก



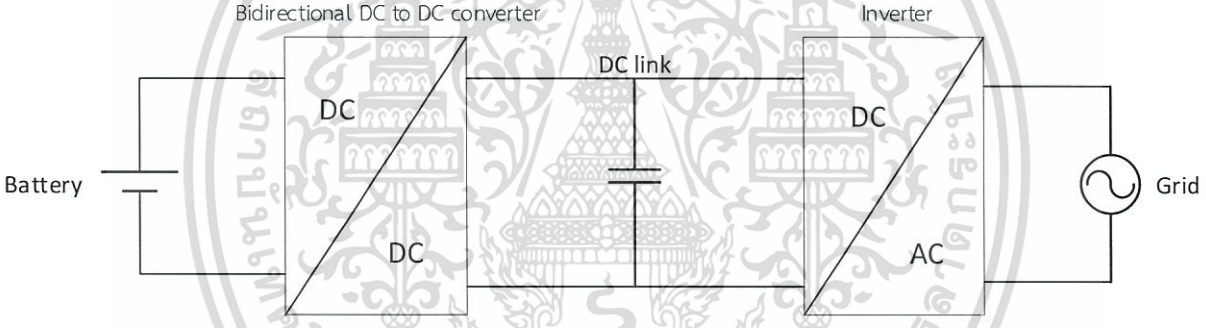
รูปที่ 2.16 วงจรกรองที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้า (Regulator) สำหรับโหลดที่ต้องการแรงดันกระเพื่อมต่ำๆ วงจรนี้จะต่อหลังตัวเก็บประจุ โดยที่ตัวเก็บประจุที่ใช้นั้นจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะป้องกันไม่ให้แรงดันกระเพื่อมตกลงต่ำกว่าแรงดันขั้นต่ำที่กับกำหนดไว้ในวงจรรักษาแรงดัน ผลที่ได้คือแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีลักษณะใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาก แต่จะมีข้อเสียคือวงจรจะมีขนาดและน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น รวมถึงทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

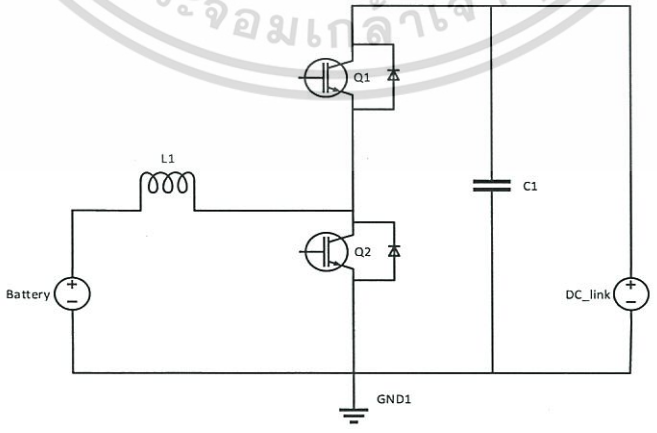
2.5 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง (Bidirectional DC to DC converter) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับกรณีที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าสองทิศทางตัวอย่างเช่นมีกำลังไฟฟ้าไหลเข้ามาเพื่อชาร์จแบตเตอร์รี่และไหลออกจากแบตเตอร์รี่เพื่อไปใช้งานซึ่งอาจจะประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า, การเก็บและจ่ายพลังงานของโซลาร์เซลล์ เป็นต้น ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะมีการทำงานเป็น 2 โหมดการทำงานนั่นคือ โหมดบัค และโหมดบูส ซึ่งโหมดบัค จะทำงานเหมือนวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) ในทำนองเดียวกันโหมดบูส ก็จะทำงานเหมือนวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost converter) ยกตัวอย่างเช่นการนำมาใช้จริงในระบบโซลาร์เซลล์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำการลดแรงดันของโซลาร์เซลล์เพื่อมาชาร์จแบตเตอรี่ที่แรงดันต่ำ (LV) (12,24 VDC) นั่นคือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดบัค และจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟออกไปสู่ดีซีลิงค์ (DC link) ที่แรงดันสูง (HV) (400,600 VDC) นั่นคือจะทำงานที่โหมดบูส



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการต่อใช้งาน

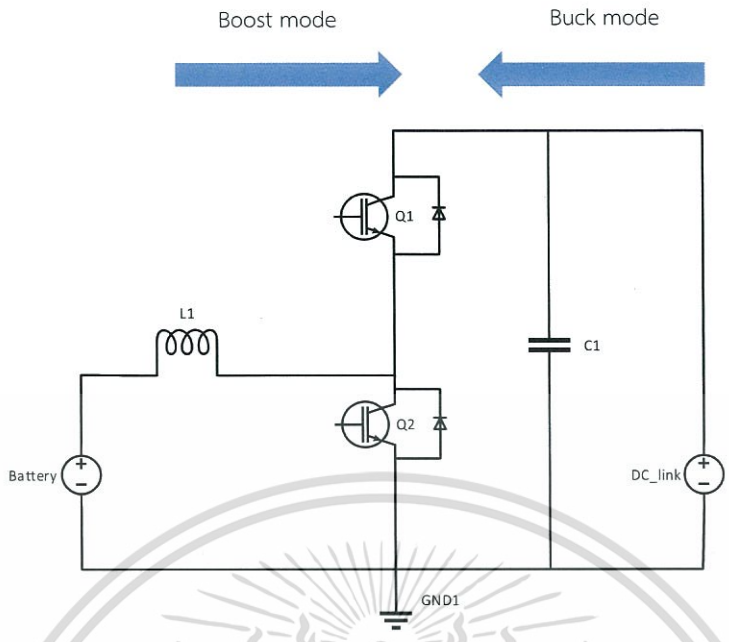
โดยวงจรวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะมีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

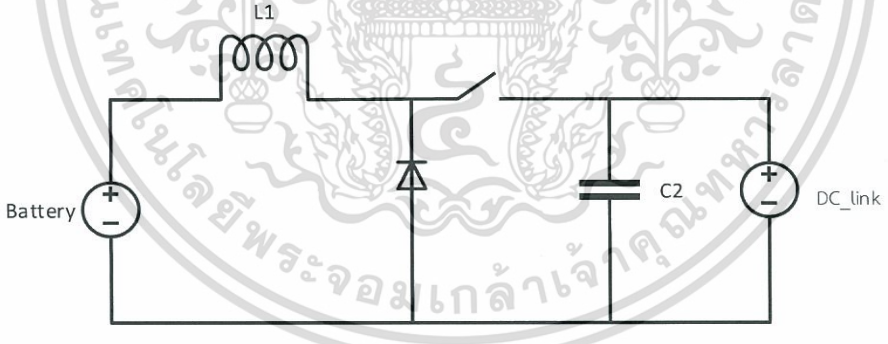
ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ, อุปกรณ์สวิตชิ่ง (IGBT,Mosfet), ตัวเก็บประจุ, ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

2.5.1 **เมื่อวงจรทำงานในโหมดบัค** จะให้ IGBT1 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์และ IGBT2 จะทำหน้าที่เป็นไดโอด ซึ่งจะทำให้ได้เป็นวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ [4] ดังนี้



รูปที่ 2. 20 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ คือ

1.กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากันทุกคาบที่ตำแหน่งเดียวกัน

$$i_L(t+T) = i_L(t) \tag{2.16}$$

2.แรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ในแต่ละคาบเวลา

$$V_L = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} i_c(t)\, d\lambda \tag{2.17}$$

3.ประจุที่ชาร์จเข้าและคายออกของตัวเก็บประจุแต่ละคาบเวลาจะต้องเท่ากัน

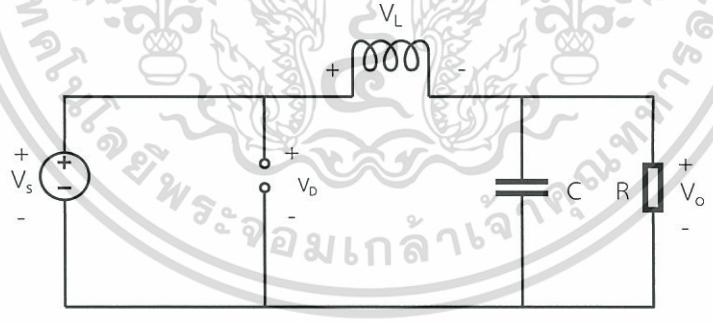
$$I_c = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} i_c(t)\, dt \tag{2.18}$$

4.กำลังไฟฟ้าขาเข้าวงจรต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออกจากวงจร

$$P_S = P_o$$

จะทำการแยกพิจารณาในช่วงที่สวิตช์นำและไม่นำกระแส

ช่วงที่สวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.21 วงจรขณะที่สวิตช์นำกระแส

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

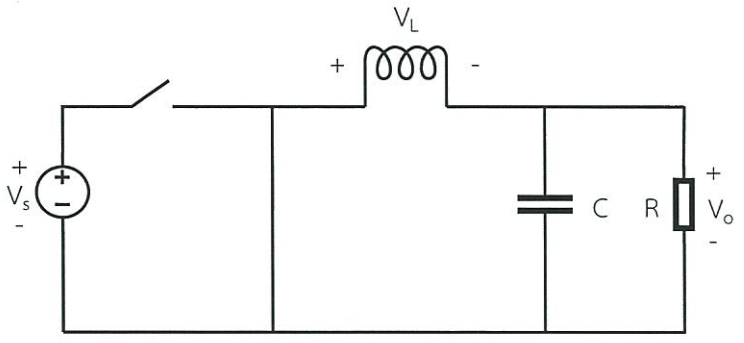
$$-V_S + V_L + V_o = 0 \tag{2.19}$$

จะทำให้ได้กระแสในช่วงที่สวิตช์นำกระแสคือ

$$\Delta I_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.22 วงจรขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

$$V_L + V_o = 0 \tag{2.21}$$

จะทำให้ได้กระแสในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแสคือ

$$\Delta I_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T \tag{2.22}$$

และจากข้อที่ 1. กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับ 0 จะได้

$$\Delta I_{L,on} + \Delta I_{L,off} = 0 \tag{2.23}$$

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

โดยจะได้อัตราขยายแรงดันของวงจรบัค คือ $\left(\frac{V_o}{V_s}\right) = D$

ซึ่งจะทำการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ โดยจะพิจารณาในช่วงที่อยู่ตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านโหลดทำให้จะได้สมการดังนี้

$$I_L = I_o = \left(\frac{V_o}{R}\right) \tag{2.24}$$

และจะสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากการพิจารณาในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta I_{L,off}}{2} \quad (2.25)$$

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta I_{L,off}}{2} \quad (2.26)$$

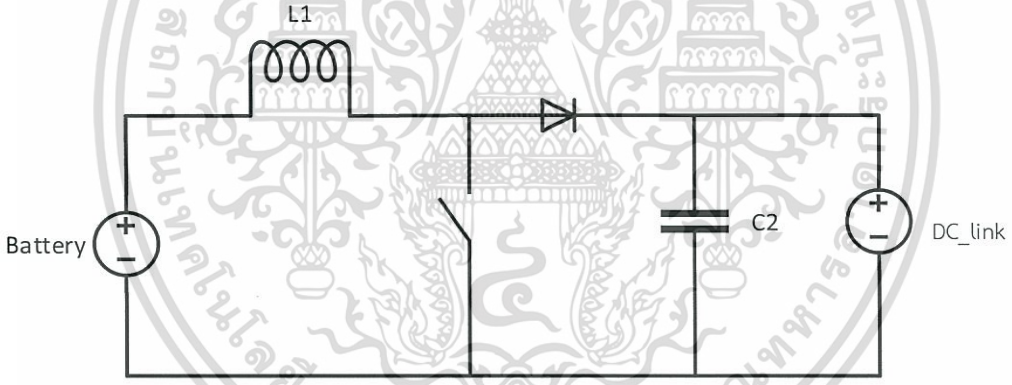
ซึ่งค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจะหาได้จากค่า $I_{L,min} = 0$

$$I_{L,min} = \left(\frac{V_o}{\mathrm{R}}\right) - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0$$

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

โดยจะได้ $$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.27)$$

2.5.2 เมื่อวงจรทำงานในโหมดบูส จะให้ IGBT2 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์และ IGBT1 จะทำหน้าที่เป็นไดโอด ซึ่งจะทำให้ได้เป็นวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ [4] ดังนี้



รูปที่ 2.23 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์

โดยเงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ คือ

1.กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากันทุกคาบที่ตำแหน่งเดียวกัน

$$i_L(\mathrm{t+T}) = i_L(\mathrm{t}) \quad (2.28)$$

2.แรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ในแต่ละคาบเวลา

$$V_L = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} i_c(t)\, d\lambda \quad (2.29)$$

3.ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้แรงดันขาออกคงที่

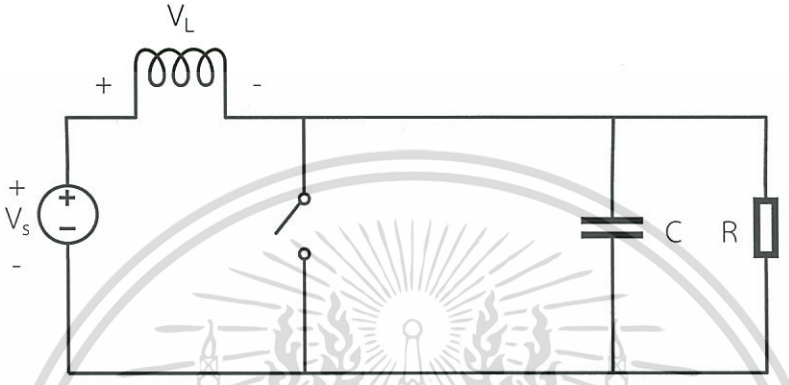
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.กำลังไฟฟ้าขาเข้าวงจรต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออกจากวงจร

$$P_S = P_o$$

จะทำการแยกพิจารณาในช่วงที่สวิตช์นำ และไม่นำกระแส

ในช่วงที่สวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.24 วงจรขณะที่สวิตช์นำกระแส

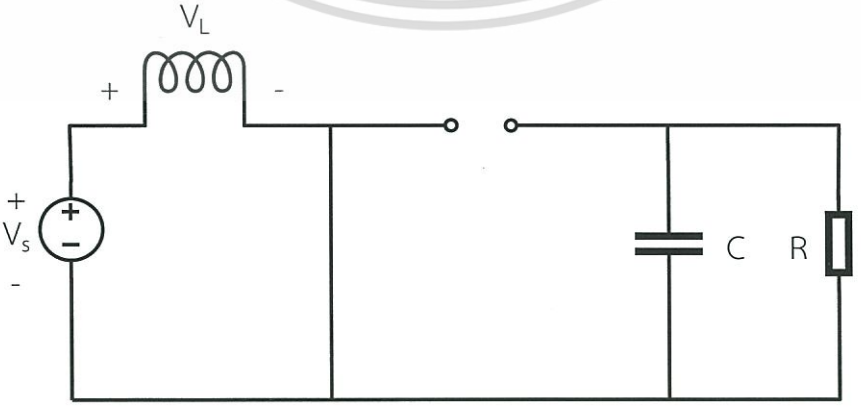
จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

$$-V_s + V_L = 0 \tag{2.30}$$

จะทำให้ได้กระแสในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแสคือ

$$\Delta I_{L,on} = \left(\frac{V_s\, DT}{L}\right) \tag{2.31}$$

ช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.25 วงจรขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

$$V_S + V_L + V_o = 0 \tag{2.32}$$

จะทำให้ได้กระแสในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแสคือ

$$\Delta I_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)(1 - D)T \tag{2.33}$$

และจากข้อที่ 1. กระไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเท่ากับ 0 จะได้

$$\Delta I_{L,on} + \Delta I_{L,off} = 0$$

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

โดยจะได้อัตราขยายแรงดันของวงจรบูส คือ $\left(\frac{V_o}{V_s}\right) = \frac{1}{1-D}$ (2.34)

ซึ่งจะทำการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่เข้าวงจรจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ออกจากวงจรจะได้

$$P_S = P_o = \left(\frac{{V_o}^2}{\mathrm{R}}\right)$$

$$P_S = V_s I_s = V_s I_L = \left(\frac{{V_o}^2}{\mathrm{R}}\right)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \tag{2.35}$$

และจะสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากพิจารณาในช่วงที่สวิตช์นำกระแส

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta I_{L,on}}{2} \tag{2.36}$$

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

ซึ่งค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจะหาได้จากค่า $I_{L,min} = 0$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \left(\frac{V_s\, DT}{L}\right) = 0$$

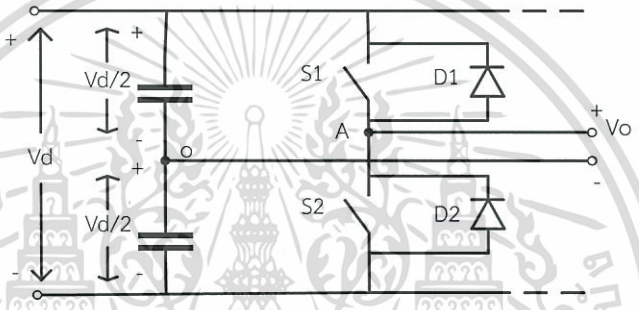
โดยจะได้ $$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์(inverter) เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้อุปกร์การสวิตชิ่งควบคุมการทำงาน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันและความถี่ตามที่ต้องการและยังสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ1เฟส เป็น3เฟสได้ โดยนำแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ1เฟส ผ่านวงจรเรียงกระแส (rectifier) และนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนั้นส่งต่อเข้าไปยังอินเวอร์เตอร์3เฟสได้อีกด้วย โดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้เทคนิคการสวิตชิ่งแบบ PWM (Pulse width modulation) [4]

2.6.1 วงจรพื้นฐานอินเวอร์เตอร์



หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์พื้นฐานคือ การสวิตชิ่งระหว่างอุปกรณ์สวิตชิ่ง 2 ตัว ซึ่งจะไม่ทำงานพร้อมกัน และนำจุดที่แบ่งแยกแรงดัน (จุดo) มาเป็นจุดอ้างอิงของสัญญาณขาออก ซึ่งจากรูปข้างต้นหากพิจารณาเมื่อ S1 มีสถาเป็น on และ S2 สถานะเป็น off จะได้แรงดันขาออก (Vo)เท่ากับ Vd/2 และถ้าหาก S1 มีสถานะเป็น off และ S2มีสถานะเป็น on จะได้แรงดันขา (Vo)เท่ากับ –Vd/2 แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีการหน่วงเวลา (delay) ออกไป เพื่อไม่ให้สวิตช์ S1 และS2 ทำงานพร้อมกัน เนื่องจากจะส่งผลให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้

2.6.2 SPWM (Sinusoidal pulse width modulation)

PWM เป็นหลักการสวิตชิ่งซึ่งใช้สัญญาณรูปคลื่น2สัญญาณ คือ สัญญาณรูปคลื่นไซน์ตามความถี่ที่ต้องการและสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมตามความถี่ของการสวิตชิ่ง (f_s) นำมาเปรียบเทียบกันหรือที่เรียกว่ามอตดูเลชั่น (Modulation) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น2ย่านการใช้งาน คือ ย่านมอตดูเลชั่นเชิงเส้นและย่านโอเวอร์มอตดูเลชั่น [4] โดยมีค่าตัวแปรที่สำคัญดังนี้

v_{sin} คือ สัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่นำมามอตดูเลต

v_{tri} คือ สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่นำมามอตดูเลต

$V_{m,sin}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่นำมามอตดูเลต

$V_{m,tri}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่นำมามอตดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{m,o}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณที่ถูกมอตดูเลต

$(V_{m,o})_1$ คือ ค่ายอดที่ความถี่หลักมูลของสัญญาณที่ถูกมอตดูเลต

m_a คือ อัตราส่วนแอมพลิจูดของมอตดูเลชั่น

m_f คือ อัตราส่วนความถี่ของมอตดูเลชั่น

f_o คือ ความถี่มูลฐานของสัญญาณขาออกของอินเวอร์เตอร์

f_s คือ ความถี่การสวิตชิ่งของอินเวอร์เตอร์

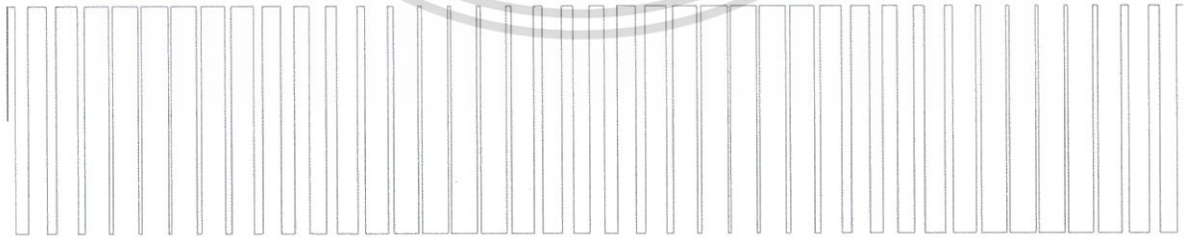
โดยค่า m_a,m_f สามารถหาได้จาก $m_a = V_{m,sin}/ V_{m,tri}$ และ $m_f = f_s/f_o$ ตามลำดับ

2.6.2.1 มอตดูเลชั่นเชิงเส้น

มอตดูเลชั่นเชิงเส้นเป็นการมอตดูเลตระหว่างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีค่ายอดของสัญญาณ ($V_{m,sin}$) สูงกว่าหรือเท่ากับค่ายอดของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ($V_{m,tri}$) ส่งผลให้มีค่า m_a อยู่ในช่วงของ $0 \leq m_a \leq 1$ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าของแรงดันขาออกของการมอตดูเลตมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่า m_a ในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นและมีค่ายอดที่ความถี่หลักมูลของการมอตดูเลต $(V_{m,o})_1 = m_a * (Vd/2)$ [4]



รูปที่ 2.26 การมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 0.8

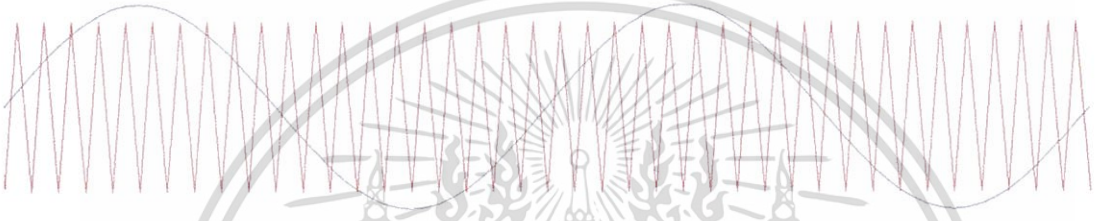


รูปที่ 2.27 ผลของการมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 0.8

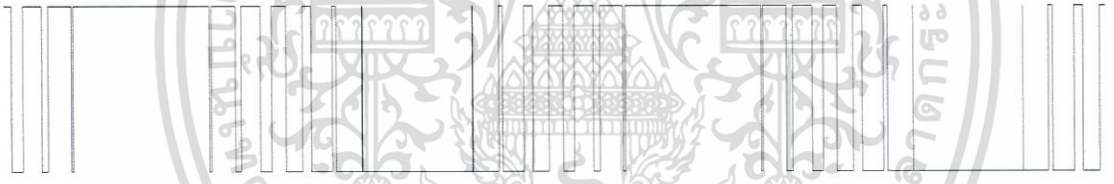
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 โอเวอร์มอตดูเลชั่น

โอเวอร์มอตดูเลชั่นเป็นการมอตดูเลตระหว่างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีค่ายอดของสัญญาณ ($V_{m,sin}$) มากกว่าค่ายอดของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ($V_{m,tri}$) ส่งผลให้มีค่า m_a มีค่ามากกว่าหนึ่ง แรงดันขาออกเมื่อผ่านการมอตดูเลตมีค่าเปลี่ยนไปตามค่า m_a ในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อค่า m_a มากขึ้นค่ายอดที่ความถี่หลักมูลของการมอตดูเลต ($V_{m,o}$) จะมากขึ้นแต่จะมีค่าลู่เข้าสู่ $4/\pi$ และเป็นไปตามสมการ $(V_{m,o})_1 = 1.273*(Vd/2)$ เมื่อพิจารณาขนาดของแรงดัน จะมีขนาดของแรงดันมากกว่ามอตดูเลชั่นเชิงเส้น แต่อาจมีปัญหาในเรื่องของฮาร์มอนิกที่มากกว่ามอตดูเลชั่นเชิงเส้น [4]



รูปที่ 2.28 การมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 1.2

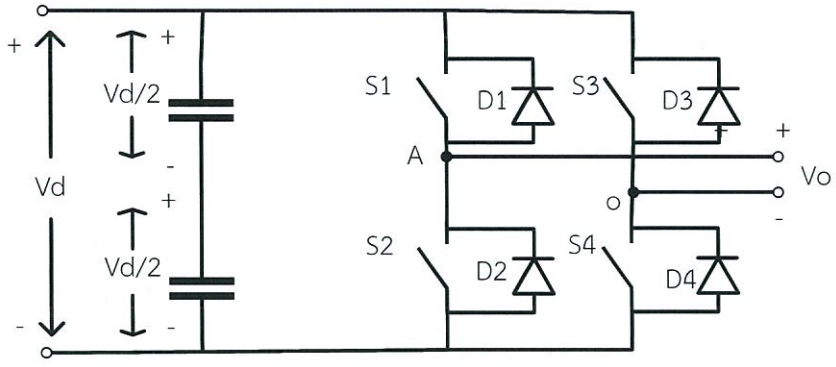


รูปที่ 2.29 ผลของการมอตดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสามเหลี่ยมที่ค่า ma = 1.2

2.6.3 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส โดยแบ่งแยกออกเป็นสองแบบคือ แบบฮาล์ฟบริดจ์ (Half-bridge) และแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge) โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มากกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์แต่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สวิตชิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องการแรงดันขาออกที่มีค่าเท่ากับ Vd ซึ่งต่างจากวงจรฮาล์ฟบริดจ์ที่มีค่าแรงดันขาออกเท่ากับ Vd/2 [4] โดยมีวงจรพื้นฐานดังต่อไปนี้

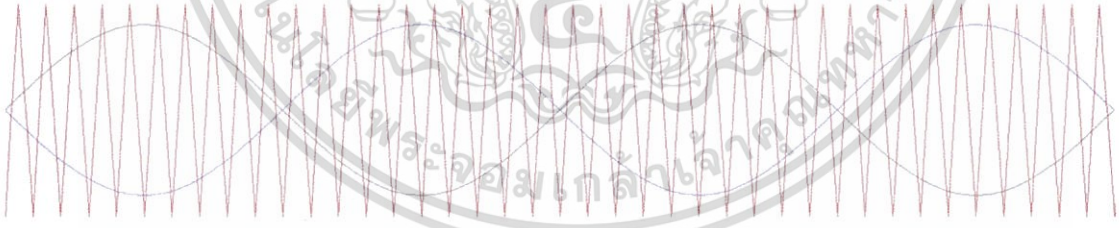
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



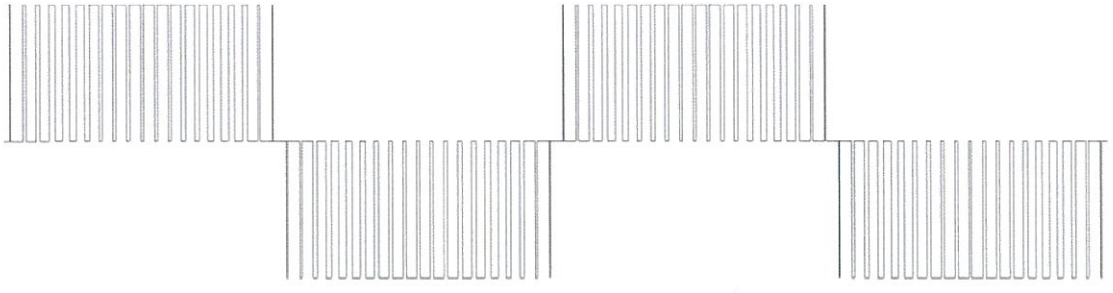
รูปที่ 2.30 วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์

2.6.4 การสวิตชิ่งแรงดันแบบยูนิโพลาร์

การสวิตชิ่งแรงดันแบบยูนิโพลาร์ เป็นการสวิตชิ่งโดยแยกสัญญาณควบคุมระหว่าง S1,S2 และS3,S4 ออกจากกัน โดยที่ S1,S2 จะถูกควบคุมโดย สัญญาณไซน์เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม หากค่าสัญญาณไซน์มีค่ามากกว่าสามเหลี่ยมจะทำให้ S1 นำกระแส S2 ไม่นำกระแสและหากค่าสัญญาณไซน์มีค่าน้อยกว่าสามเหลี่ยมจะทำให้ S1 ไม่นำกระแส S2 นำกระแส ส่วนที่S3,S4 จะถูกควบคุมโดย สัญญาณไซน์ที่มุมเฟสเคลื่อนไป180° เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม หากค่าสัญญาณไซน์ที่มุมเฟสเคลื่อนไป180°มีค่ามากกว่าสามเหลี่ยมจะทำให้ S3 นำกระแส S4 ไม่นำกระแส และหากค่าสัญญาณไซน์ที่มุมเฟสเคลื่อนไป180°มีค่าน้อยกว่าสามเหลี่ยมจะทำให้ S3ไม่นำกระแส S4 นำกระแส จึงทำให้ได้แรงดันขาออกมีค่าจากศูนย์ไปบวกและจากศูนย์ไปลบ [4]



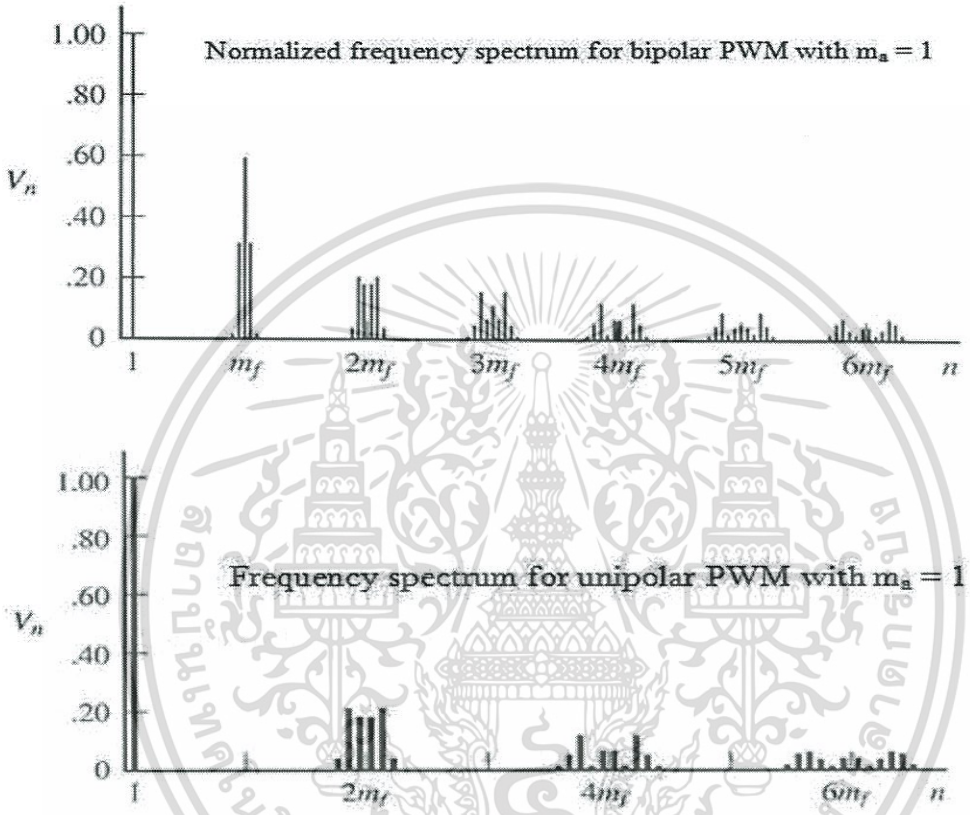
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการต่อใช้งานัญญาณเพื่อควบคุมสวิตช์ทั้งสี่



รูปที่ 2.32 สัญญาณแรงดันขาออกของการสวิตชิ่งแบบยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตชิ่งแบบยูนิโพลาร์นี้ทำให้มีจุดเด่นที่ดีกว่าการสวิตชิ่งแบบไบโพลาร์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านออกจากศูนย์ไปบวกหรือศูนย์ไปลบ ทำให้แรงดันด้านออกมีความถี่เป็นสองเท่าได้ไซด์แบนฮาร์มอนิกเป็น $2m_f$, $4m_f$, $6m_f$ เป็นต้น การออกแบบวงจรกรองความถี่จึงทำได้ง่ายขึ้น ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดเล็กลง ทำให้วงจรรวมเบาและประหยัด [5]



รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบฮาร์มอนิกไซต์แบนระหว่างไบโพลาร์ กับ ยูนิโพลาร์

2.7 เฟสล็อคลูป (Phase Locked Loop)

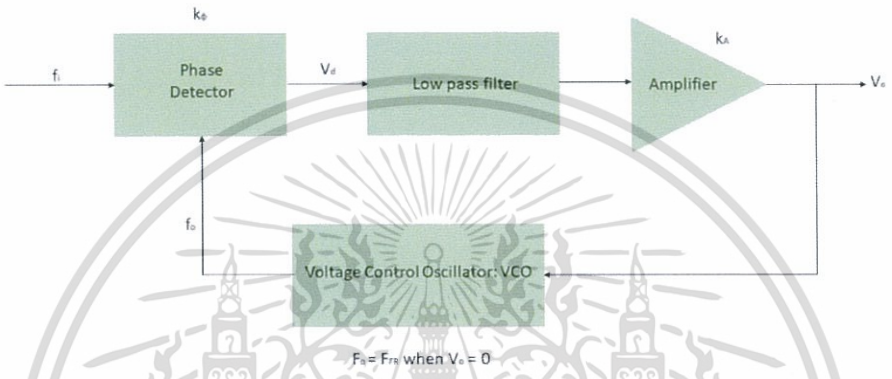
เฟสล็อคลูปเป็นระบบที่สามารถสร้างสัญญาณขาออกให้มีความถี่ที่สอดคล้องกับสัญญาณขาเข้า โดยที่ระบบยังสามารถสร้างสัญญาณขาออกให้สามารถติดตามความถี่ของสัญญาณขาเข้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง เฟสล็อคลูปประกอบไปด้วยสามส่วนหลักคือ ตรวจจับเฟส (Phase Detector) ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter) และวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator; VCO) เฟสล็อคลูปนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

1. ตัวตรวจจับเฟส (Phase detector; PD) ทำหน้าที่ตรวจจับความต่างเฟสของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณที่ได้จากออสซิลเลเตอร์ สัญญาณความต่างเฟสที่ได้นั้นจะมีองค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter; LF) ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณความถี่สูง และกรองสัญญาณความถี่ต่ำจากบล็อกตัวตรวจจับเฟสผ่าน ซึ่งนิยมใช้ตัวกรอง ความถี่ต่ำอันดับหนึ่งหรือตัวควบคุมพีไอ

3. ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator; VCO) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ขึ้นอยู่กับแรงดันด้านขาเข้า



รูปที่ 2.34 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเฟสล็อคลูป

2.8 การควบคุมวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

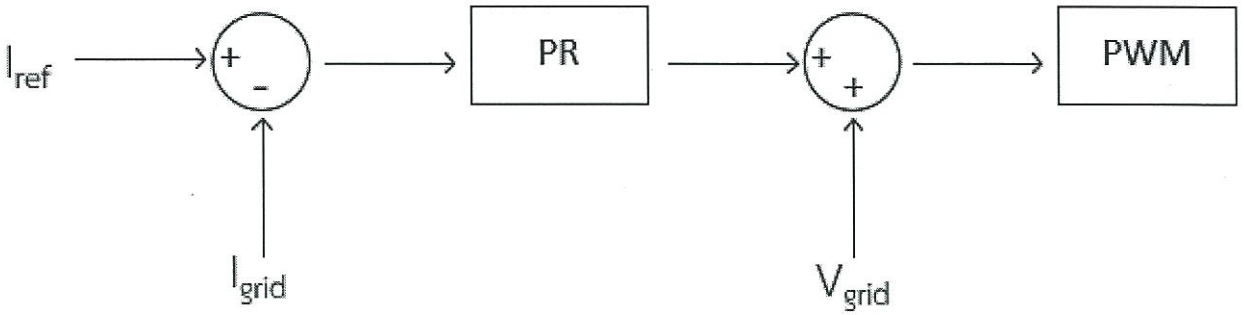


รูปที่ 2.35 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

อาศัยการทำงานโดยใช้ค่ากระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ภายในวงจรแปรผันกำลังกระแสตรงแบบสองทิศทางซึ่งจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าบล็อกการควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Controllers) และนำค่าออกมาได้ไปใช้เพื่อเป็นอัตราส่วนดิวตี้ในการขับสวิตช์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การควบคุมวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

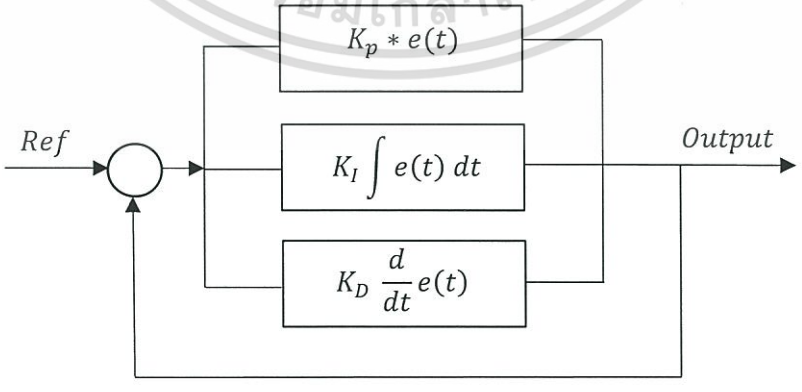


รูปที่ 2.36 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

อาศัยการทำงานโดยใช้ค่ากระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระแสที่ไหลผ่านเข้าไปในระบบกริดซึ่งจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าบล็อกการทำงานแบบ PR (Proportional-Resonant Controllers) แล้วนำค่าที่ออกมาจากบล็อกไปบวกเข้ากับแรงดันที่รับค่ามาจากกริดเพื่อจะได้นำค่าที่ได้ไปสร้างสัญญาณไซน์อ้างอิงในการไปตัดกับสัญญาณฟันปลาเพื่อสร้าง PWM ไปใช้ในการขับ IGBT ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป

2.10 ระบบการควบคุมแบบ พีไอดี (PID Controller)

เป็นระบบการควบคุมแบบป้อนกลับโดยเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่เราต้องการโดยจะทำให้ได้ค่าคาวามผิดพลาดและนำค่าความผิดพลาดที่ได้นั้นไปใช้ในการควบคุมโดยตัววงจรจะพยายามทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงต่ำที่สุดโดยในการควบคุมพีไอดีจะเป็นการควบคุมค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต และค่าการแกว่งของระบบ



รูปที่ 2.37 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การควบคุมแบบพี (P controller)

จะเป็นการควบคุมแบบใช้สัดส่วนคูณเข้าไปดังสมการ 2.37 โดยการควบคุมนี้จะเป็นการขยายค่าความผิดพลาดซึ่งถ้าหากมีค่ามากเกินไปจะทำให้ระบบไม่เสถียรได้แต่ในทางกลับกันถ้ามีค่าน้อยเกินไประบบก็ช้าตามไปด้วย

$$P_{out} = K_p * e(t) \tag{2.37}$$

เมื่อ P_{out} คือ สัญญาณขาออกจากการควบคุมแบบพี

K_p คือ ค่าอัตราส่วน

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

2.10.2 การควบคุมแบบไอ (I controller)

จะเป็นการควบคุมโดยใช้หลักการปริพันธ์โดยจะเป็นผลร่วมของความผิดพลาด ดังสมการ 2.38 โดยการควบคุมจะเป็นการกำจัดค่าความผิดพลาดให้หมดไปแต่อาจจะทำให้ระบบเกิดโอเวอร์ชูตได้

$$I_{out} = K_I \int e(t)\, dt \tag{2.38}$$

เมื่อ I_{out} คือ สัญญาณขาออกจากการควบคุมแบบไอ

K_I คือ ค่าอัตราส่วนปริพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

T คือ เวลา

2.10.3 การควบคุมแบบดี (D controller)

จะเป็นการควบคุมโดยใช้หลักการอนุพันธ์โดยจะเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ดังสมการ 2.39 โดยการควบคุมนี้จะช่วยให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็วขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดโอเวอร์ชูตที่เกิดจากการควบคุมแบบไอได้อีกด้วย แต่ในทางกลับกันถ้าระบบมีสัญญาณรบกวนสัญญาณรบกวนก็จะถูกขยายเข้าไปด้วยทำให้เกิดผลเสียแก่การทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{out} = K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.39)$$

เมื่อ D_{out} คือ สัญญาณขาออกจากการควบคุมแบบดี

K_D คือ ค่าอัตราส่วนอนุพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

2.11 การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์ (Proportional plus Resonant Controller)

การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์หรือแบบพีอาร์เป็นเทคนิคการควบคุมกระแสอินเวอร์เตอร์ที่สามารถลดความผิดเพี้ยนของกระแส (THD_i) จากการใช้อินเวอร์เตอร์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานทดแทนลงได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการควบคุมกระแสอินเวอร์เตอร์แบบพีไอที่ใช้แกนอ้างอิงซิงโครนัส (Synchronously reference frame, I_{dq}) แต่การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์จะใช้การควบคุมกระแสบนแกนอ้างอิงนิ่ง(stationary reference frame,$i_{\alpha\beta}$) ทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าแบบพีไอ นอกจากนั้นการควบคุมแบบพีอาร์ยังสามารถติดตามสัญญาณแรงดันและความถี่ได้ดีกว่าแบบพีไอ ซึ่งอัตราขยายตัวควบคุมแบบพีอาร์จะขยายเป็นอนันต์ที่ความถี่มูลฐานของระบบ สมการอุดมคติของตัวควบคุมแบบพีอาร์ดังสมการ

$$G_{PR}(s) = K_p + \frac{2K_i s}{S^2+\omega^2} \quad (2.40)$$

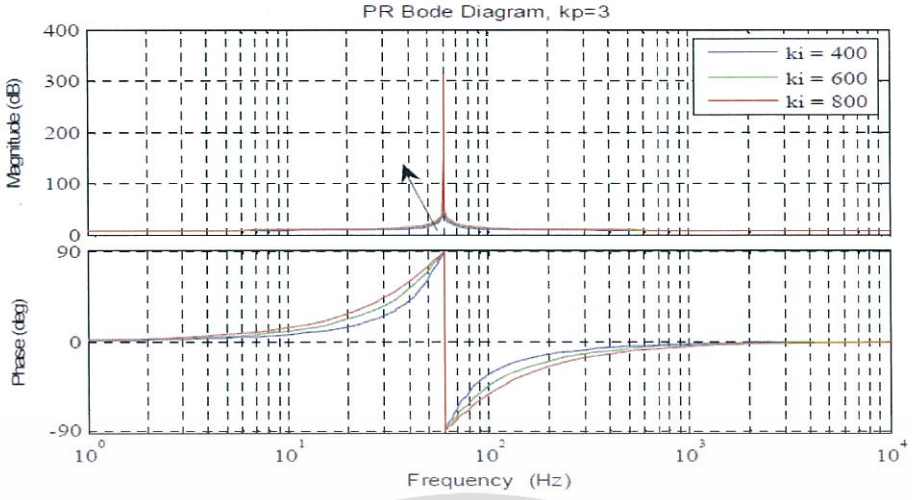
เมื่อ K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

K_i คือ อัตราขยายปริพันธ์

ω คือ ความถี่เชิงมุมเรโซแนนซ์

จากรูปที่ 2.38 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ด้วยแผนภาพโบเดที่กำหนดให้ค่า K_p คงที่ โดยเปรียบเทียบค่าอัตราขยาย K_i พบว่าเมื่อค่า K_i มีค่าเพิ่มมากขึ้นผลตอบสนองทางเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์และอัตราขยายการควบคุมแบบพีอาร์ในทางอุดมคติจะขยายเป็นอนันต์ที่ความถี่มูลฐานของระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบพีอาร์สามารถขจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่สภาวะคงตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 แสดง Bode plot ของการควบคุมแบบพีอาร์ที่กำหนดให้ค่า Kp คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

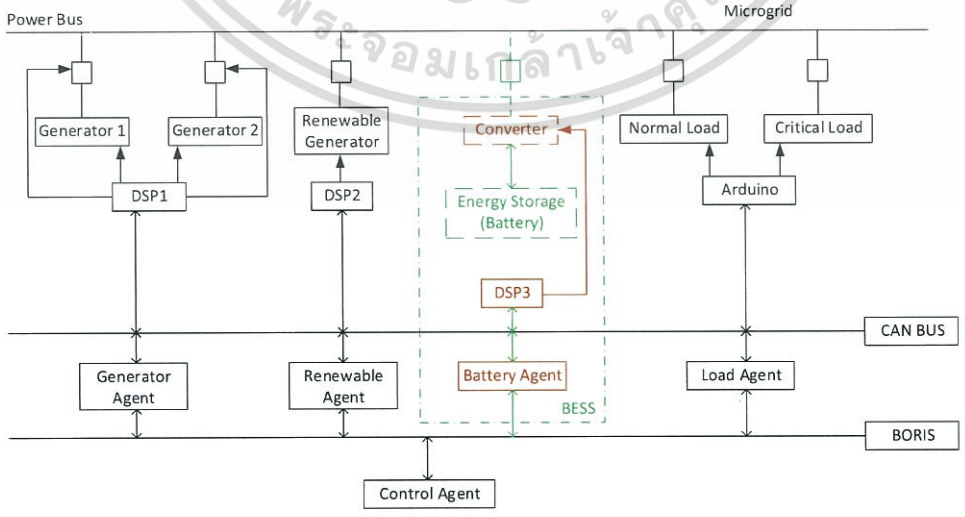
บทที่ 3

ออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมสำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

ในระบบควบคุมของไมโครกริดที่จะเชื่อมต่อกับส่วนของระบบกักเก็บพลังงานนั้น จะต้องมีตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เนื่องจากระบบที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนระบบในกริดจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ต้องมีตัวแปลงผันกำลังในส่วนนี้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงผันเข้ากับระบบกริด และใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางปรับแรงดันไฟฟ้าเข้าออกแบบเตอรี่เพื่อทำให้เกิดความเสถียรภาพของระบบ และสามารถจัดการกำลังไฟฟ้าที่ไปยังโหลดได้ผ่านโปรแกรมควบคุมการส่งจ่ายที่อยู่ในดีเอสพี (DSP) ซึ่งจะตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันมาประมวลผลในโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมการทำงาน

3.1 ระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานสำหรับการทดลอง

ระบบไมโครกริดสำหรับการทดลองเป็นระบบจะสามารถแยกตัวเป็นอิสระออกจากระบบกริดหลักได้ ในการที่จะให้ระบบของการทดลองมีการทำงานประสานงานกัน จะต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์และโปรแกรมเข้าด้วยกันนั่นคือ ฮาร์ดแวร์ที่เป็นส่วนของอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆเชื่อมต่อกับซอฟแวร์ที่เป็นส่วนของระบบปฏิบัติการชุดคำสั่ง เพื่อให้ทั้งสองอย่างสามารถทำงานร่วมกันครบวงจร โดยจะมีตัวควบคุมการทำงานเป็นพวกโบริส (Boris) หรือมัลติเอเจนท์ (Multi Agent) ร่วมกันทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ผ่านลุล่วง ซึ่งจะแสดงผลการทำงานและควบคุมผ่านหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมได้อีกด้วย เช่น เปลี่ยนแปลงสถานการณ์ในการจ่ายโหลด ตรวจดูกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป เป็นต้น ส่วนระบบกักเก็บพลังงานก็มีลักษณะการควบคุมเช่นเดียวกันจะมีการเพิ่มเติมในโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของชุดทดลองดังนี้

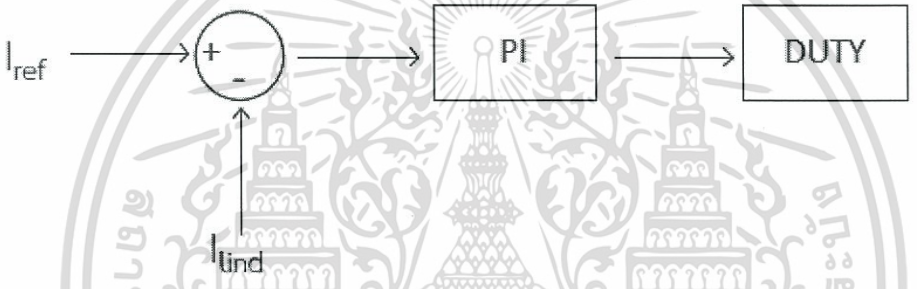


รูปที่ 3.1 โครงสร้างไมโครกริดในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

การจำลองผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง ในการควบคุมจะสามารถควบคุมได้ 2 วิธีคือ 1.ควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่าคงที่ 2.ควบคุมให้แรงดันที่ดีซีลิงค์ (DC link) มีค่าคงที่ โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างดังนี้คือ ถ้าหากเราควบคุมให้แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าคงที่จะส่งผลให้แรงดันที่ดีซีลิงค์มีค่ากระเพื่อมซึ่งจะส่งผลให้การควบคุมอินเวอร์เตอร์ทำได้ยากแต่แบตเตอรี่ก็จะรับภาระน้อยลง แต่ถ้าหากควบคุมให้แรงดันที่ดีซีลิงค์คงที่ก็จะง่ายในการควบคุมอินเวอร์เตอร์ แต่แบตเตอรี่ก็จะรับภาระหนักยิ่งขึ้นแทนไปด้วย ซึ่งในทีนี้จะเลือกวิธีที่ควบคุมแรงดันที่ดีซีลิงค์ให้มีค่าคงที่และทำการจำลองผลการทดลองในโปรแกรม PSIM โดยใช้หลักการการควบคุมกระแส(Current control) ซึ่งจะมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมโดยใช้กระแส

ซึ่งในการจำลองผลการทดลองจะกำหนดให้แรงดันดีซีลิงค์ มีค่าเท่ากับ 400 โวลต์ ซึ่งในช่วงคงที่จะมีค่าแรงดันที่แบตเตอรี่เท่ากับ 100 โวลต์ และกำหนดให้ประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1 จะได้

$$P_{Batt} = P_{DC}$$

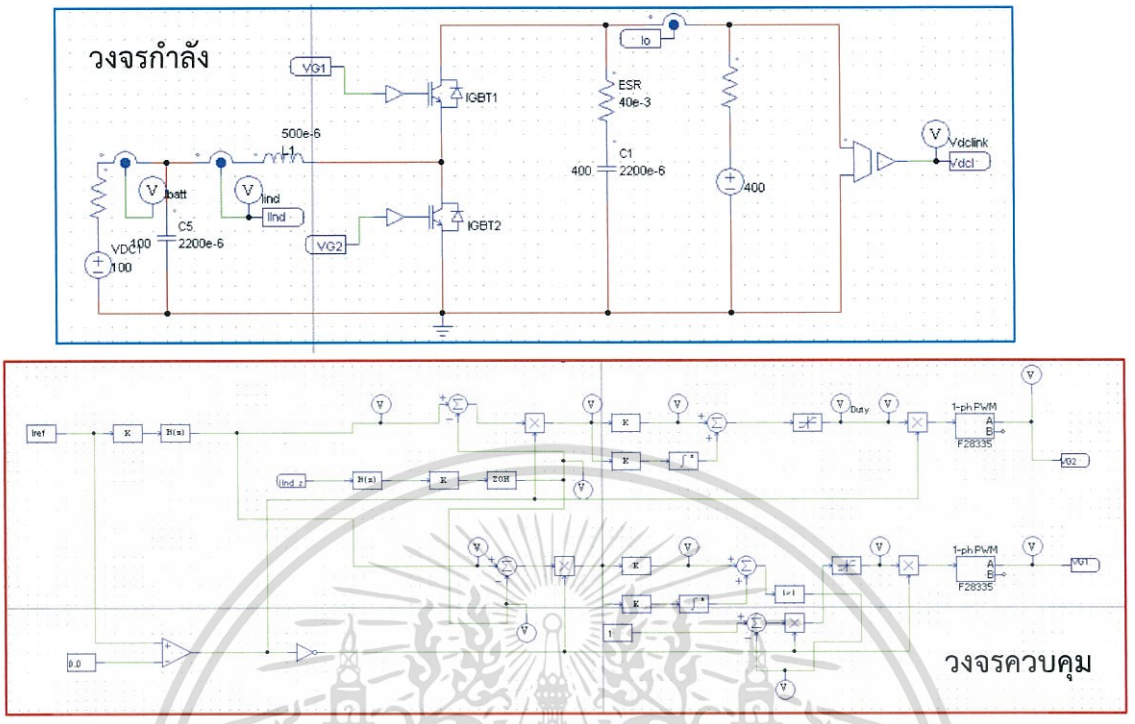
$$V_{Batt} I_{Batt} = V_{DC} I_{DC} \quad (3.1)$$

$$I_{Batt} = 4I_{DC} \quad (3.2)$$

จะได้ว่าค่ากระแสที่แบตเตอรี่มีค่าเป็น4เท่าของกระแสที่ดีซีลิงค์โดยในรูปที่ 3.4 ในส่วนโปรแกรมควบคุมจึงกำหนดค่า K เท่ากับ1/4 เพื่อในการเอาไปคำนวณค่ากระแสที่ดีซีลิงค์จะเท่ากับกระแสที่แบตเตอรี่ เพื่อจะได้ส่งผลให้แรงดันที่ดีซีลิงค์เป็นไปตามเงื่อนไขการควบคุมที่อธิบายข้างต้นและจะได้ค่าที่ส่งเข้าวงจรควบคุมต่อไป

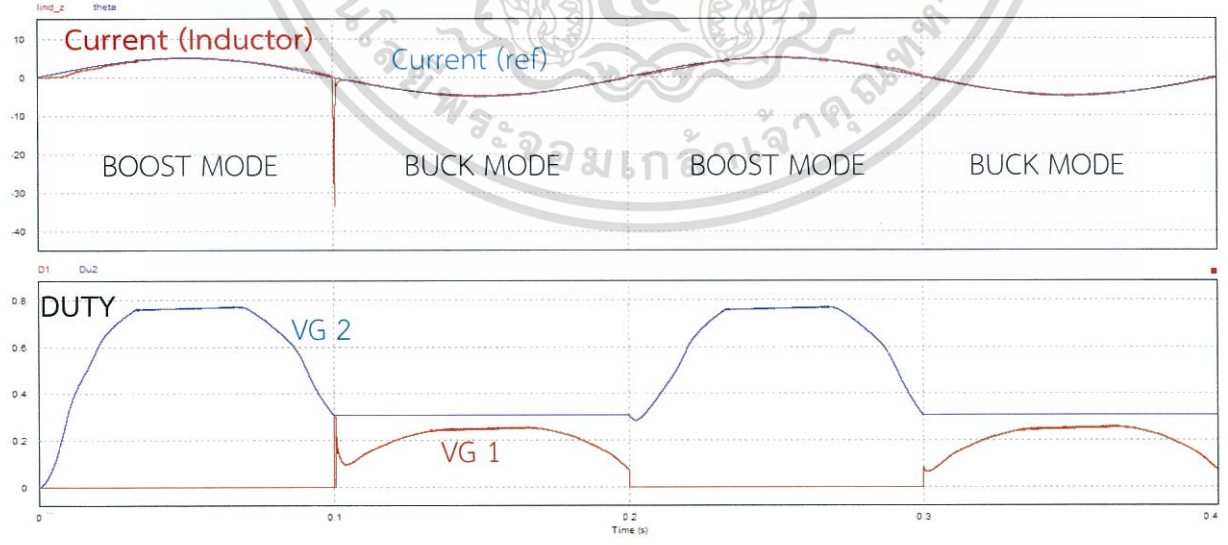
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองผลโดยใช้โปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.3 วงจรการจำลองผลการทดลองในโปรแกรม PSIM

โดยภายในวงจรจะใช้หลักการในการเปรียบเทียบกระแสอ้างอิงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโดยนำค่าที่ได้ไปใช้ลูปการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมค่ากระแสได้ดังรูป



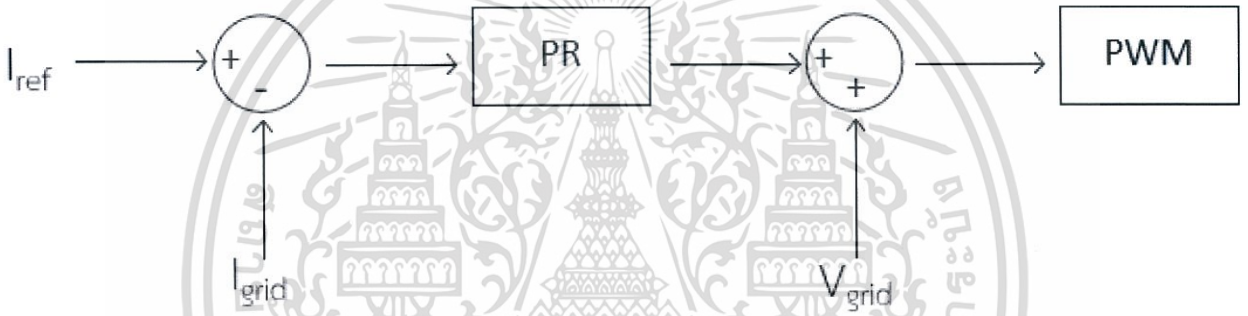
รูปที่ 3.4 กระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่โดยทดลองให้กระแสอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์เพื่อทดลองในโหมดการทำงานเพิ่มและลดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

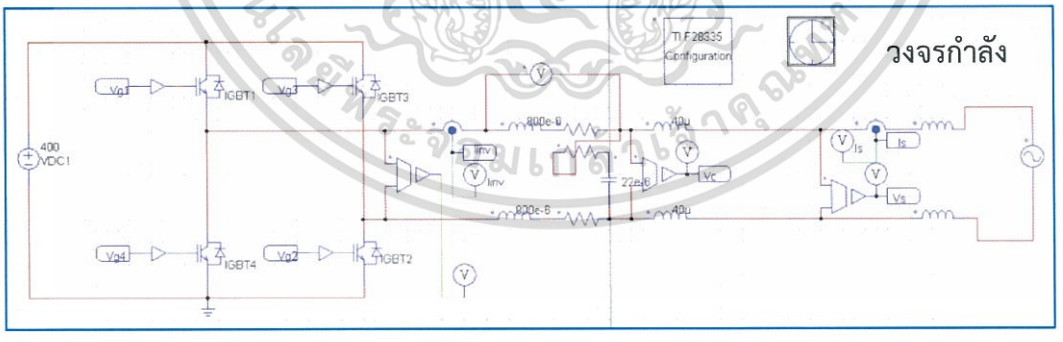
จากรูปแสดงผลการทดลองข้างต้นเป็นการควบคุมโดยใช้กระแสอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์เพื่อว่าในช่วงที่รูปคลื่นไซน์มีค่ามากกว่า 0 จะจำลองให้วงจรทำงานในโหมดเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และในช่วงที่รูปคลื่นไซน์มีค่าน้อยกว่า 0 จะจำลองให้วงจรทำงานในโหมดลดแรงดันไฟฟ้าดังแสดงในรูป 3.4 แล้วจะพบว่าค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสามารถเกาะไปกับค่ากระแสอ้างอิงได้ดังรูป 3.4

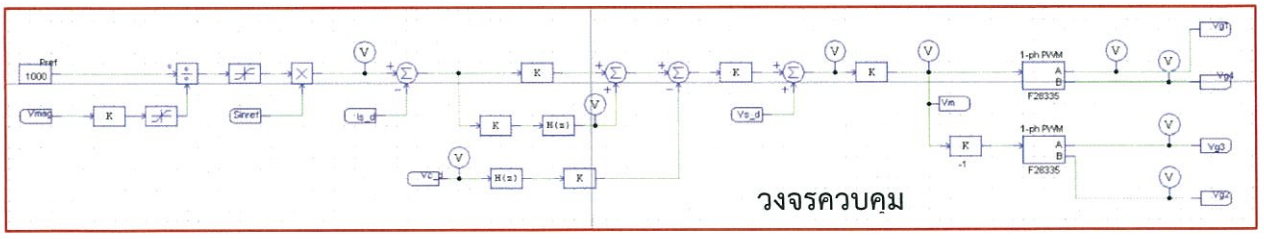
3.3 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองผล โดยจะใช้หลักการควบคุมกระแสในการควบคุม ซึ่งหลักการจำลองผลจะคล้ายกับการจำลองผลของงวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางนั่นคือการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างกระแสอ้างอิงกับค่ากระแสที่ที่ไหลสู่กริดซึ่งจะได้ผลการจำลองดังนี้

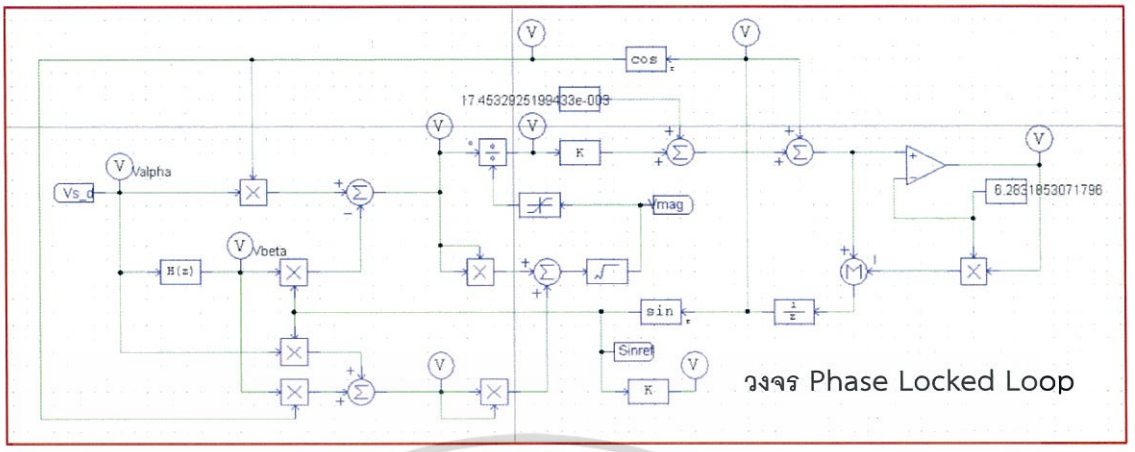


รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมโดยใช้กระแสและนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันกริด

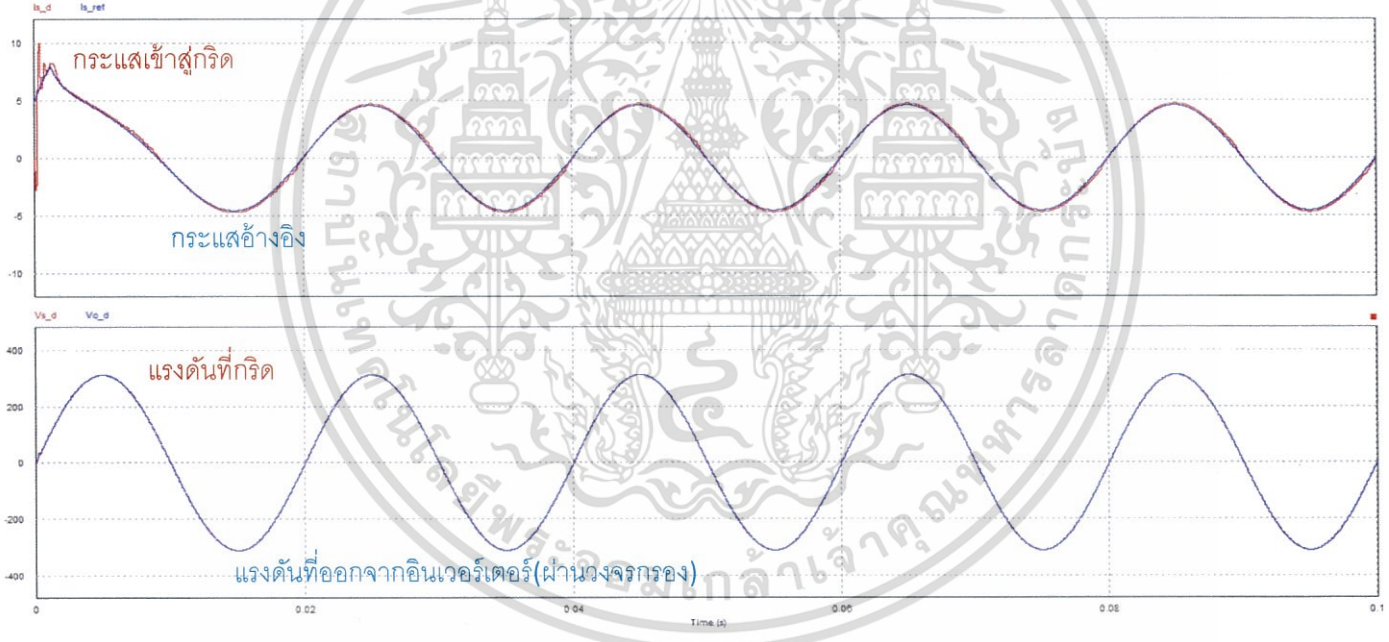




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การจำลองผลของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเฟสเดียว



รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสที่ไหลเข้าสู่กริดกับกระแสอ้างอิงและแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์กับแรงดันที่กริด

จากรูปแสดงผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้สามารถควบคุมให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าสู่กริดเกาะกับค่ากระแสอ้างอิงที่ต้องการได้

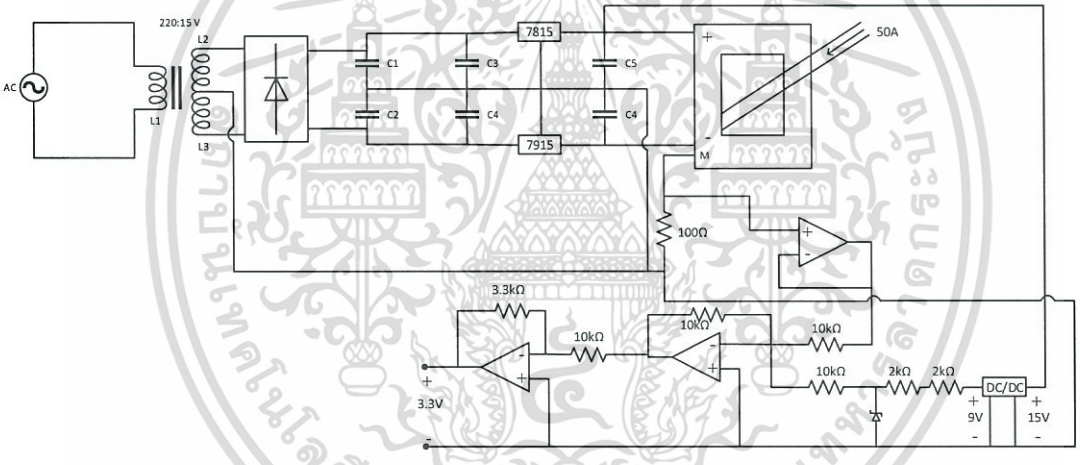
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า

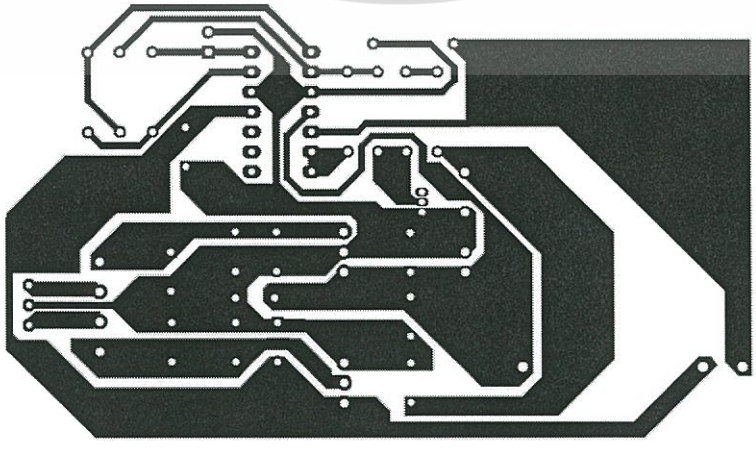
วงจรในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจะทำหน้าที่ตรวจวัดค่าแล้วส่งค่าไปยังบอร์ดดีเอสพี เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลแล้วส่งสัญญาณจากบอร์ดดีเอสพีไปขับเกตวงจร สั่งสวิตช์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าให้ทำงาน เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ถูกต้องตามความต้องการ แต่ละวงจรจะมีการใช้หม้อแปลงแปลงจากแรงดันไฟฟ้า220โวลต์ ผ่านแล้วเข้าวงจรตรวจวัดมาเป็นแหล่งจ่าย 15 โวลต์ และ -15 โวลต์ โดยผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันและวงจรเรียงกระแส แล้วนำมาเลี้ยงออปแอมป์เพื่อช่วยให้วงจรตรวจนี้สามารถส่งค่าเข้าบอร์ดดีเอสพีได้

3.4.1 วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่บอร์ดดีเอสพี โดยใช้ LEM รหัส LA 55-P ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดกระแส และมีออปแอมป์ OP482 ปรับเกรนเพื่อปรับแรงดันเข้าดีเอสพี

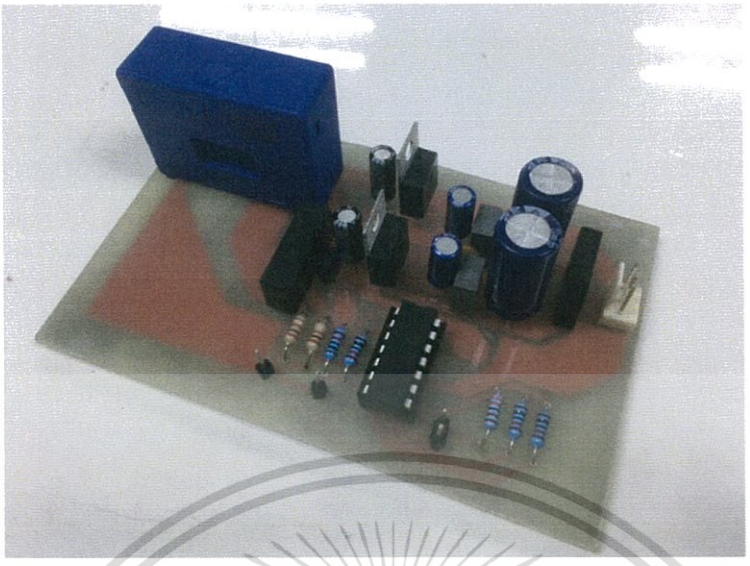


รูปที่ 3.8 แบบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าดีเอสพี



รูปที่ 3.9 แบบลายกัดปริ้นวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

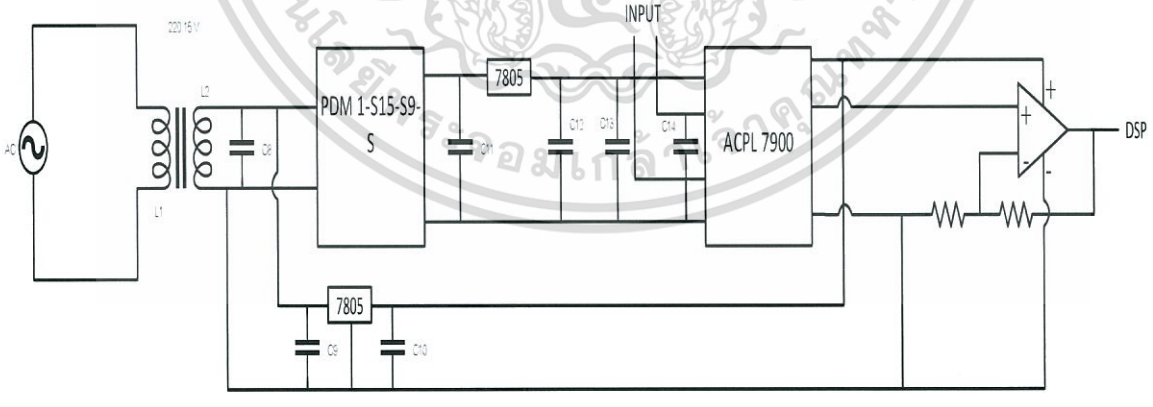
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

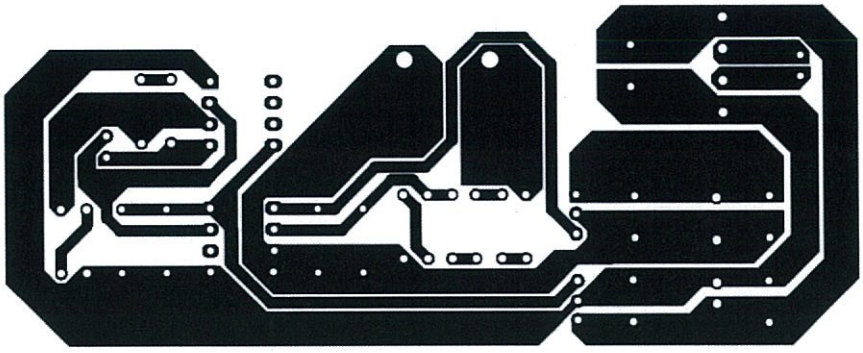
3.4.2 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่บอร์ดดีเอสพีโดยใช้ IC LM7805, ACPL 7900, PDM 1-S15-S9-S โดย ACPL 7900 ทำหน้าที่แยกกราวด์, PDM1-S15-S9-S ทำหน้าที่ขยายแรงดันอินพุต โดยแรงดันอินพุตคือแรงดันที่ได้มาจากการแบ่งแรงดันของความต้านทานที่นำไปต่อขนานกับดีซีลิงค์, LM 7805 คือเรกกูเลเตอร์ทำหน้าแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดมากกว่า 5 โวลต์ ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์

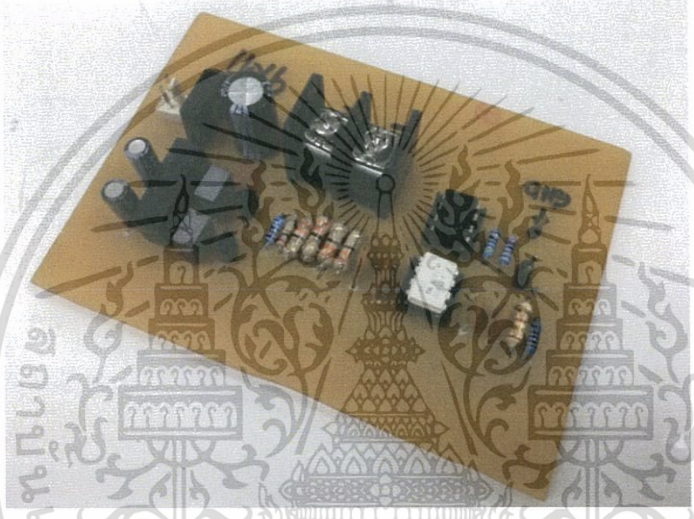


รูปที่ 3.11 แบบวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าดีเอสพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



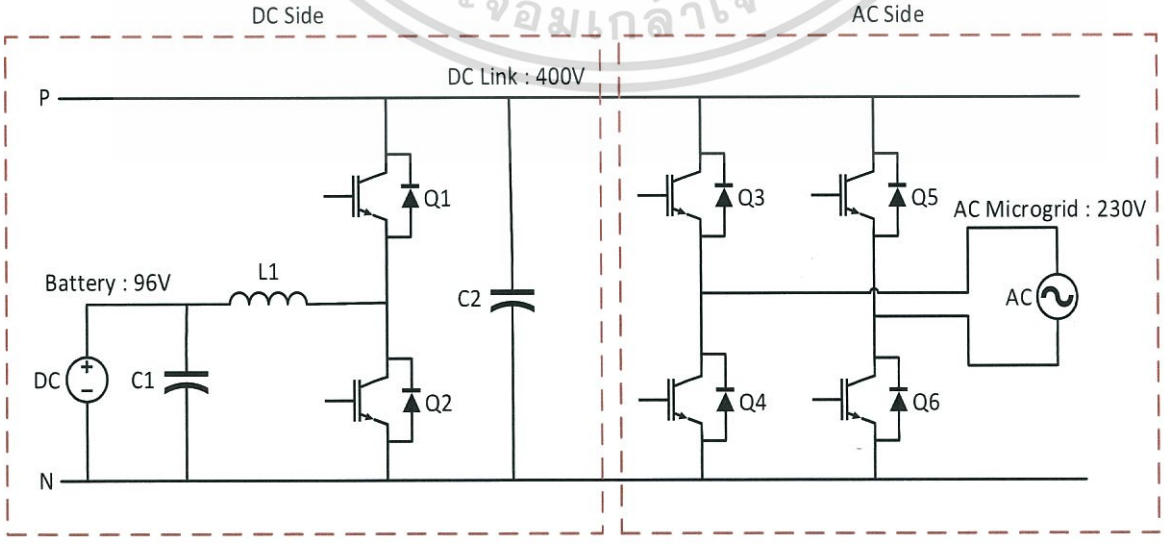
รูปที่ 3.12 แบบลายกัดปริ้นวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.13 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

3.5 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในทางปฏิบัติ

วงจรส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้าและออกของแบตเตอรี่โดยรวมมีลักษณะดังรูปนี้



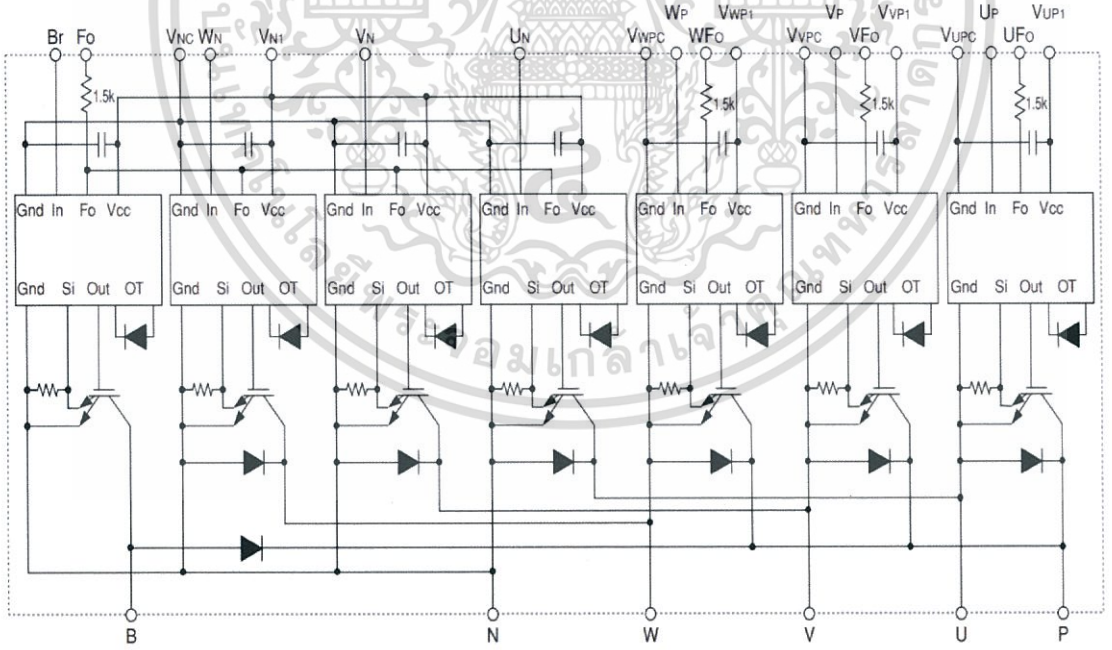
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 แบบวงจรทั้งหมดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับกริด

ในทางปฏิบัติเราสามารถนำมาออกแบบเป็นบอร์ดหรือฮาร์ดแวร์ เพื่อไปใช้ทดสอบจริงได้ โดยเราจะใช้ PM50RLA120 ยี่ห้อมิตซูบิชิอิเล็กทริกซ์ซึ่งมีตัวขับเกต IGBT อยู่ภายใน 7 ตัวเพื่อไปสั่งให้วงจรสามารถสั่งสวิตช์ทำงานได้ ซึ่งตัวหนึ่งมีไว้สำหรับเบรค อีกหกตัวโดยปกติจะนำไปใช้งานเป็นอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส แต่จะนำมาใช้เป็นทั้งอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสและวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางในตัว จะมีรูปของอุปกรณ์ดังนี้



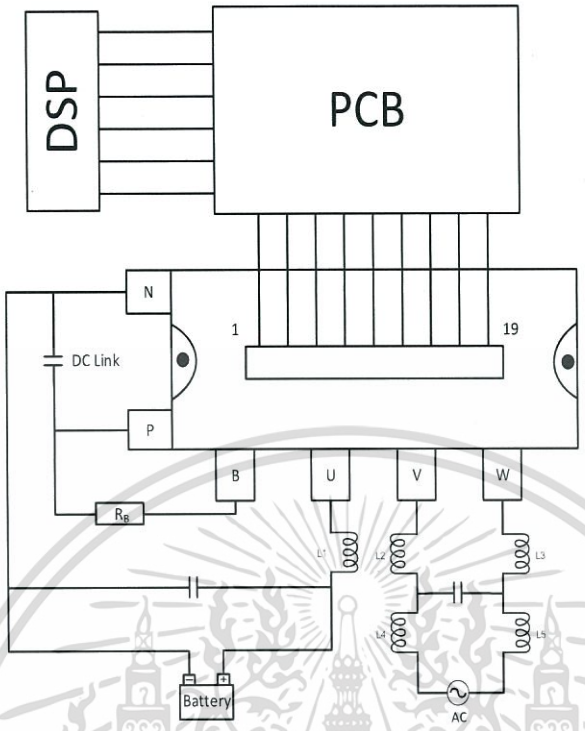
รูปที่ 3.15 ชุด INTELLEGENT POWER MODULES PM50RLA120



รูปที่ 3.16 แบบดาต้าชีทภายในของชุด INTELLEGENT POWER MODULES

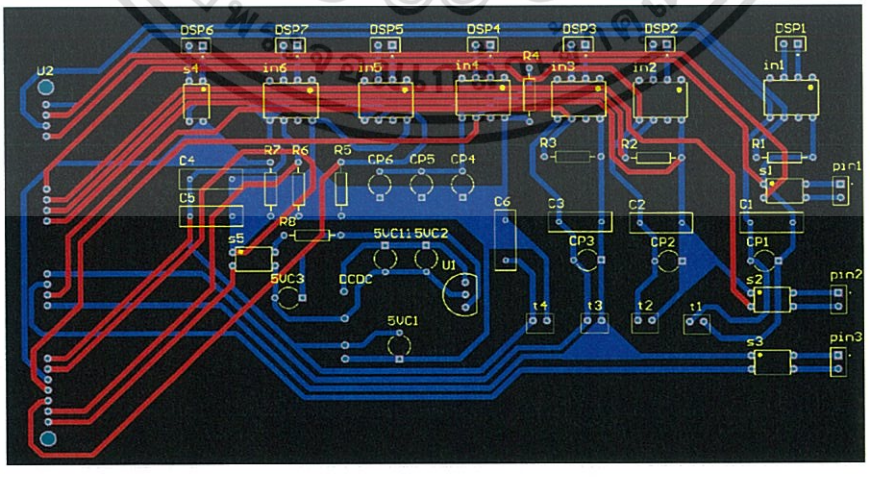
นำมาออกแบบลายวงจรตามดาต้าชีทและการใช้งานตามที่เราต้องการเพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้าได้ มีแบบแปลนการเชื่อมต่อเป็นรูปภาพดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแบตเตอรี่และกริดในทางปฏิบัติ

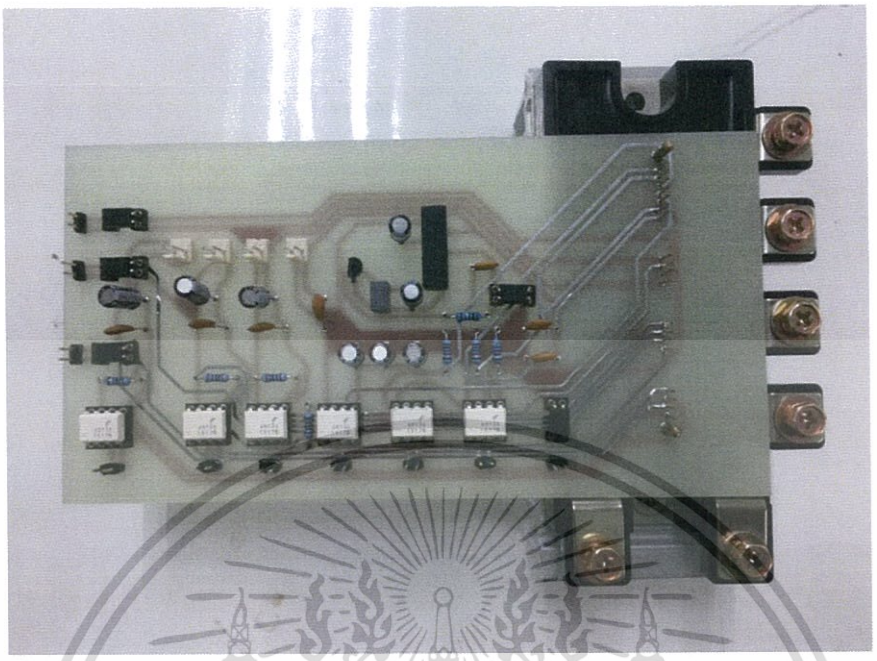
แล้วนำลายวงจรไปกัดปริ้นซึ่งจะใช้โปรแกรมออเต้ียม (Altium) ในการเขียนลายกัดปริ้น จะได้รูปวงจรเป็นสองด้านสำหรับบอร์ดพีซีบีดังนี้ โดยสีแดงจะเป็นด้านบนบอร์ด และสีน้ำเงินจะเป็นด้านล่างบอร์ด เนื่องจากลายวงจรมีความซับซ้อนจึงต้องทำการออกแบบบอร์ดเป็น2ด้าน เพื่อหลีกเลี่ยงการซ้อนทับกันของลายวงจร



รูปที่ 3.18 ลายกัดปริ้นของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเข้าออกแบตเตอรี่

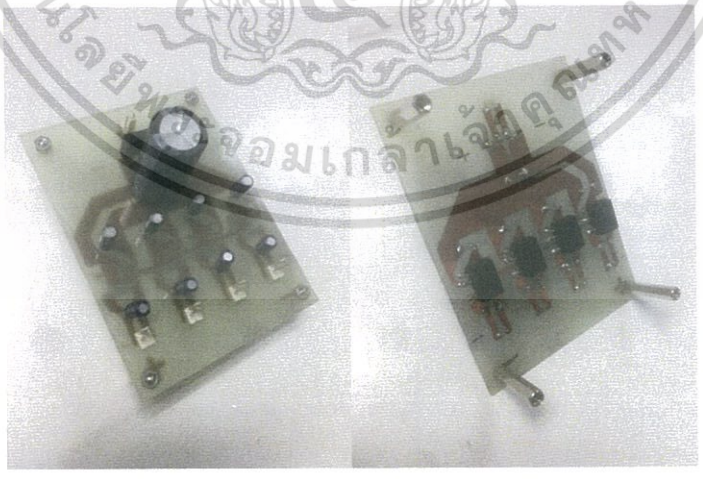
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ลายวงจร ก็จะนำไปทำการกัดปริ้นจนได้บอร์ดสำเร็จออกมาเพื่อใช้งานดังรูป



รูปที่ 3.19 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริด

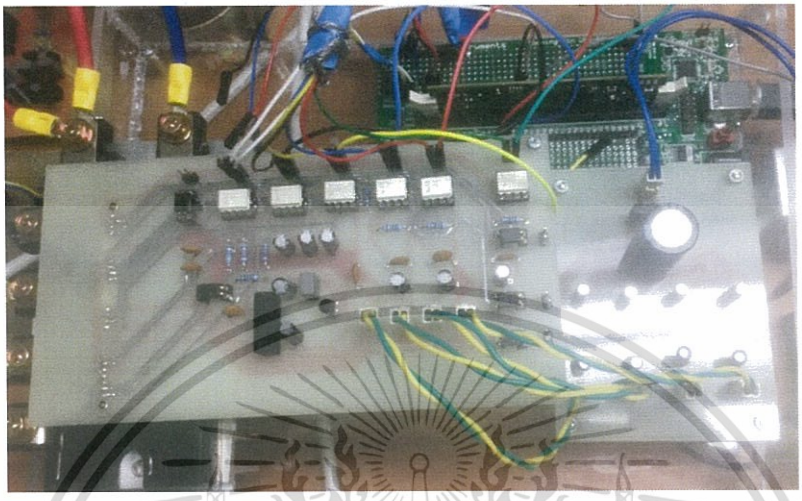
ซึ่งจะมีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงตามวงจรที่ออกแบบมาเพื่อต่อเข้าระบบจำลองในไมโครกริดได้ แหล่งจากที่จะนำไปต่อมาจากไฟบ้านผ่านหม้อแปลงลดระดับแรงดันไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ ลงเป็น 15 โวลต์ ผ่านอุปกรณ์จำพวกวงจรเรียงกระแส รักษาระดับแรงดัน และตัวเก็บประจุออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความสม่ำเสมอของแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์เท่าเดิม มีลักษณะวงจรที่ทำออกมาดังนี้



รูปที่ 3.20 วงจรแหล่งจ่ายซึ่งแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 15 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ามาเป็นไฟเลี้ยงโดยมาต่อร่วมกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อชาร์จเข้าหรือดิสชาร์จออกแบตเตอรี่ดังรูป เพื่อนำไปทดสอบการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบกริด



รูปที่ 3.21 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าและวงจรแปลงผันกำลังเข้าออกแบตเตอรี่

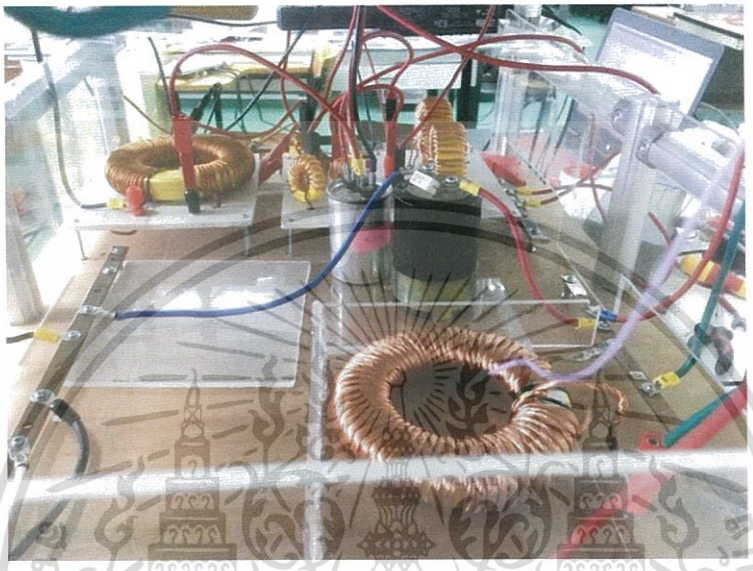
นำไปเชื่อมต่อตามแผนผังวงจรการทำงาน โดยต่อร่วมกับตัวตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะอ่านค่าที่วัดได้เข้าไปยังดีเอสพี เพื่อใช้ในการประมวลผลการของวงจรควบคุมต่อไป



รูปที่ 3.22 วงจรควบคุมร่วมกับตัวตรวจวัดค่าที่ใช้วัดกระแสและแรงดัน

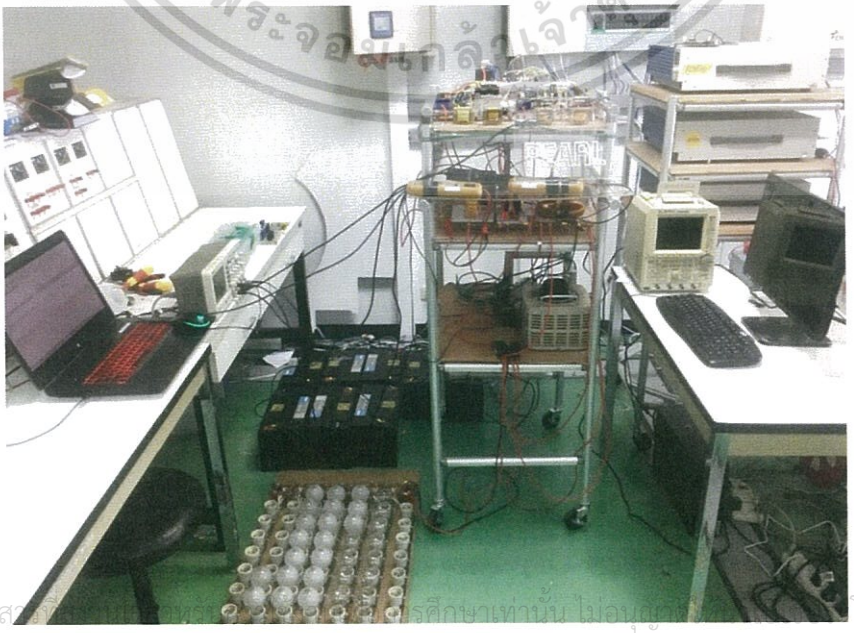
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเหนี่ยวนำที่เลือกจากผลการจำลองในโปรแกรมมาเลือกขนาดแกนเหล็กและพันขดลวดให้มีขนาดตามที่ได้จากการจำลองทั้งด้านวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสองทิศทางและด้านอินเวอร์เตอร์ แล้วนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันตามแผนผังการทำงานของวงจร ซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนของวงจรกำลัง



รูปที่ 3.23 วงจรกำลังในส่วนของตัวเหนี่ยวนำ DC/DC DC/AC

จากรูป 3.25 แสดงการเชื่อมต่อระบบทั้งหมดตามวงจรที่ได้จำลองผลในโปรแกรม PSIM โดยได้ทำการต่อเชื่อมเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจำลองทั้งที่เป็นเจนเนอร์เรเตอร์และที่เป็นพลังงานทดแทน อีกทั้งยังต่อเข้ากับแบตเตอร์รี่ ภายในห้องทดลอง



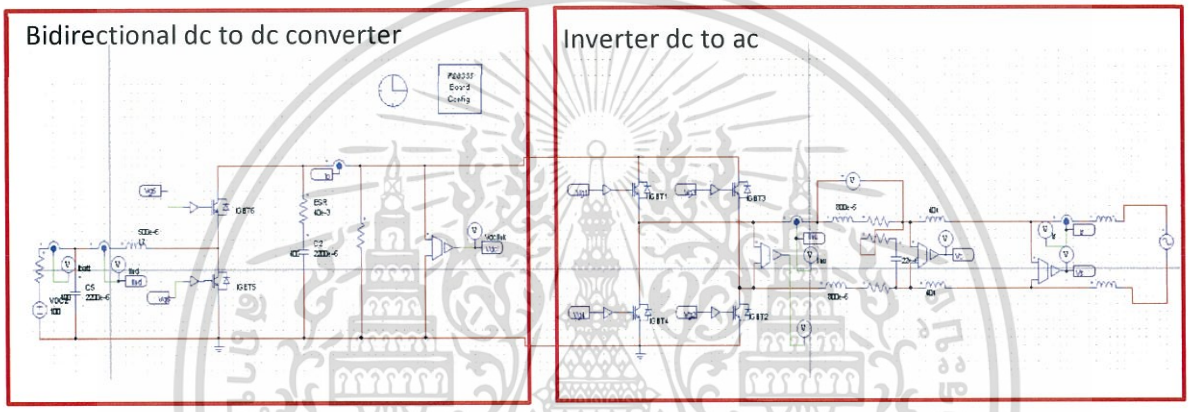
เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้[illegible]ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.24 วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลองจริง

บทที่ 4

ผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมสำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

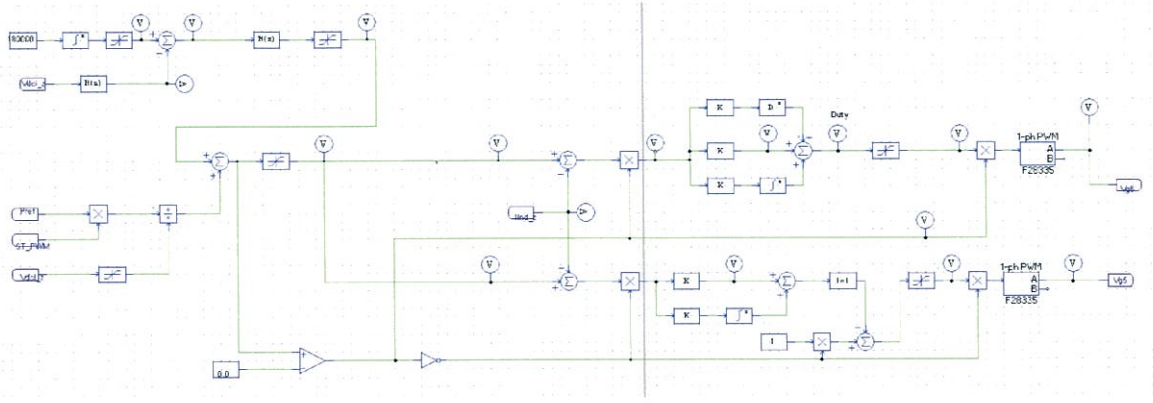
การจำลองการทดลองจากโปรแกรม PSIM เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นตามพารามิเตอร์ที่ได้จำลองผลขึ้นมา โดยจะทำการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงและวงจรแปลง ผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งวงจรในการจำลองในโปรแกรม PSIM จะแสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรกำลังที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM

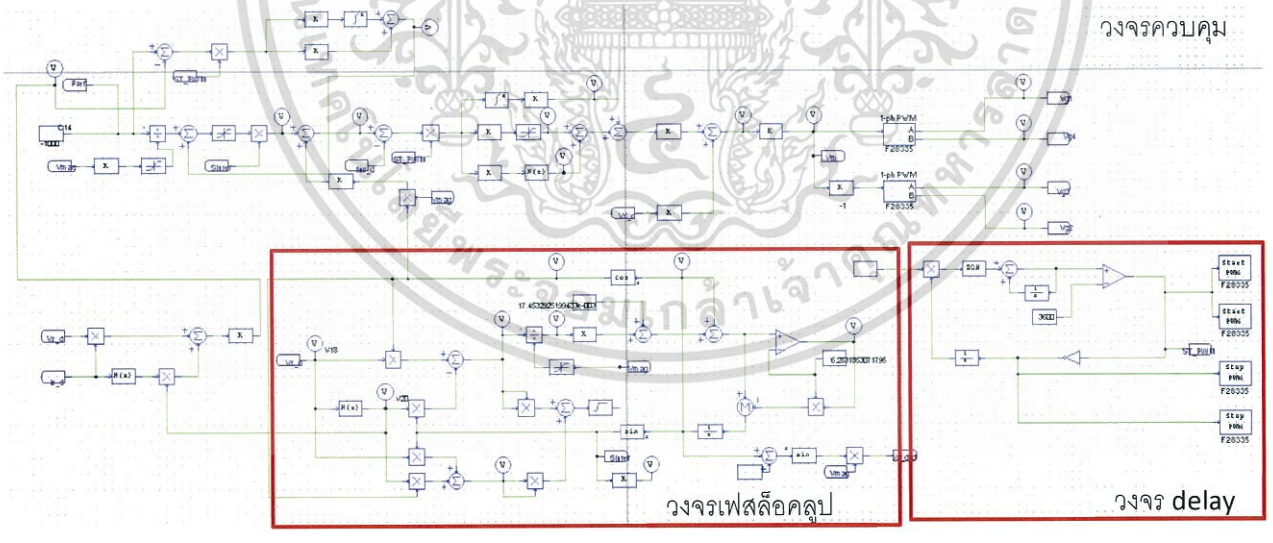
แบตเตอรี่กับกริด โดยถ้าหากถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่ไปกริดวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดบูสแรงดันไฟฟ้าขึ้นจาก 100Vdc ไปที่ 400Vdc ตรงดีซีลิงค์ และหลังจากนั้นอินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและผ่านวงจรกรองเพื่อเข้าสู่กริด 240 Vac ในทางตรงข้ามกันถ้าหากจะถ่ายโอนพลังงานจากกริดไปสู่แบตเตอรี่ก็จะให้อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกริดที่ 240Vac เข้าสู่ดีซีลิงค์ 400Vdc และหลังจากนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแกระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดบัคเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงเหลือ 100Vdc เพื่อไปชาร์จเก็บในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM ในส่วนของวงจร dc to dc

จากรูปที่ 4.2 แสดงวงจรควบคุมโดยในวงจรควบคุมนี้จะใช้หลักการสร้างแรงดันอ้างอิงเพื่อเทียบกับแรงดันที่ดีซีลิ้งค์เพื่อจะได้ค่าความผิดพลาด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปบวกเข้ากับค่ากระแสป้อนกลับที่ได้มาจากการนำกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจากการคำนวณค่าของเซ็นเซอร์มาหารด้วยแรงดันไฟฟ้าของดีซีลิ้งค์ จากนั้นนำไปเข้าวงควบคุมแบบพีไอและจะได้อัตราส่วนดิวตี้ออกมาเพื่อเอาไปใช้สร้างสัญญาณ ขับเกตสำหรับโหมดบูสและโหมดบัคต่อไป

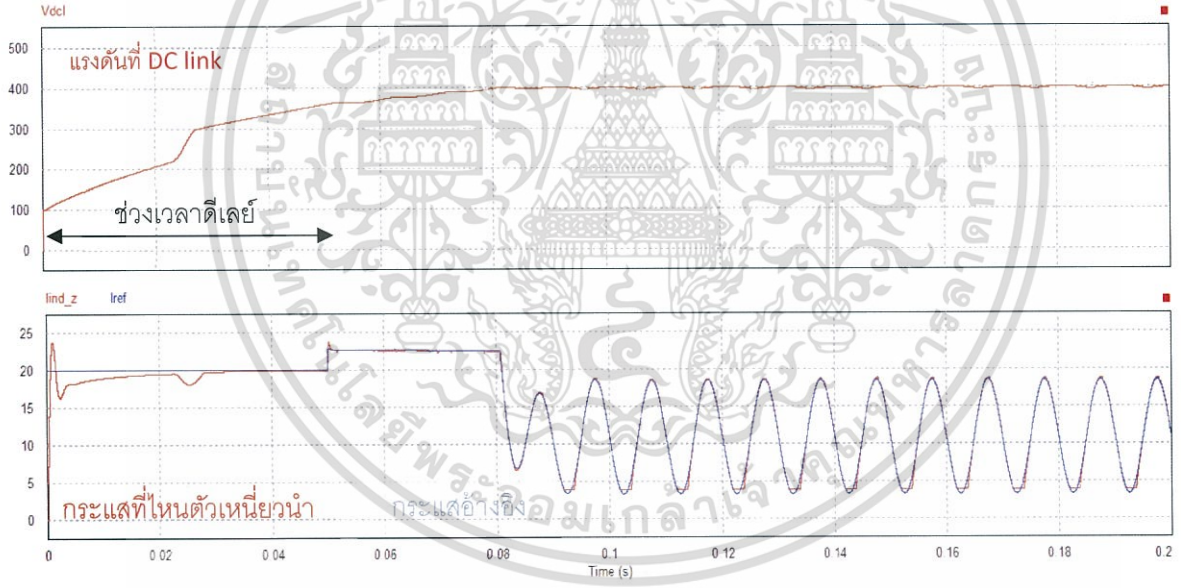


รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM ในส่วนของวงจร dc to ac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

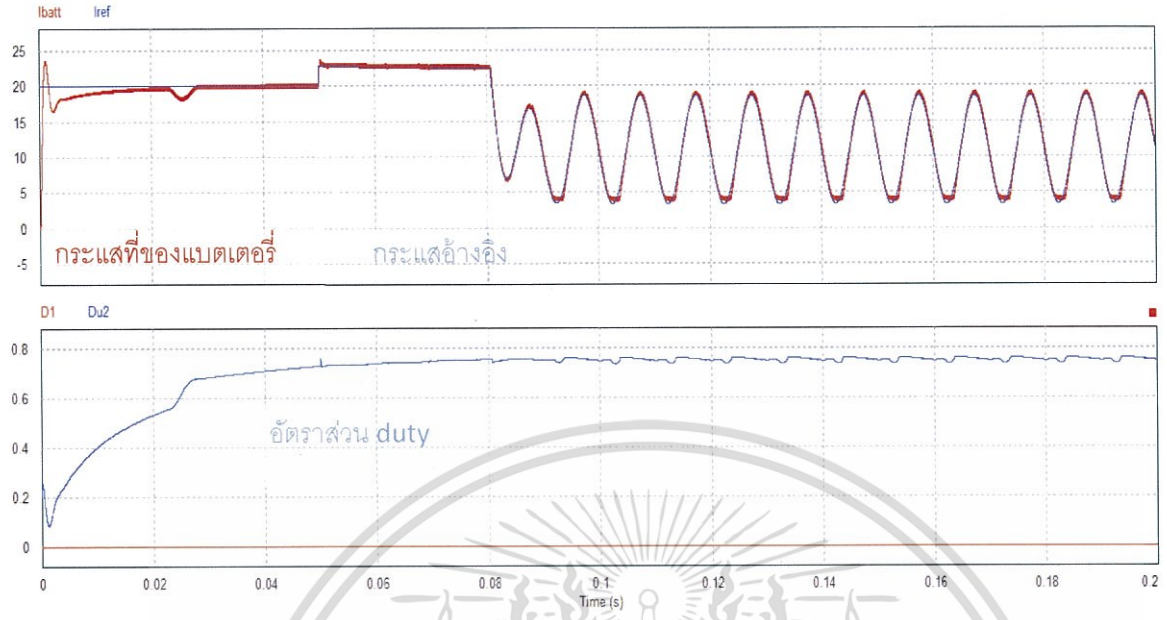
จากรูปที่ 4.3 แสดงวงจรควบคุมโดยในวงจรควบคุมนี้จะให้หลักการเช่นเดียวกับรูปที่ 4.2 นั่นคือจะนำค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณมาจากเซ็นเซอร์ไปหารด้วยแรงดันไฟฟ้าของแรงดันขาออกเพื่อจะได้ค่ากระแสสำหรับมาใช้ในวงจรควบคุมมการนั้นนำไปบวกกับค่ากระแสชดเชยที่ได้จากตัวเก็บประจุเพื่อไปเข้าวงจรควบคุมแบบพีอาร์ และหลังจากนั้นจะได้ค่าเพื่อมาใช้ในการสร้างสัญญาณพีดับบิวเอ็มเพื่อใช้ในการขับสวิตช์ของวงจรกำลังต่อไป และในส่วนต่อไปจะเป็นวงจรเฟสล็อคลูปซึ่งจะเป็นการควบคุมให้เฟสของแรงดันขาออกตรงกับเฟสของแรงดันที่กริดเพื่อใช้ในการซิงค์กันระหว่างอินเวอร์เตอร์กับกริด โดยในวงจรเฟสล็อคลูปจะเป็นการนำค่าแรงดันจากกริดมาแปลงเป็นแกนดีและแกนคิวโดยใช้หลักการของสเปซเวกเตอร์ และใช้ค่าที่ได้จากการแปลงมาเพื่อหาค่าแอมพิจูดของแรงดันมาเพื่อใช้ในการควบคุมให้เฟสของแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ตรงกับแรงดันที่กริด และส่วนต่อไปเป็นส่วนของวงจรดีเลย์ซึ่งทำหน้าที่ดีเลย์รอเพื่อให้เฟสของแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ตรงกับเฟสของแรงดันที่กริดก่อนจากนั้นค่อยรันให้อินเวอร์เตอร์ต่อเข้ากับกริดต่อไป

4.1 ผลการทดลองวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

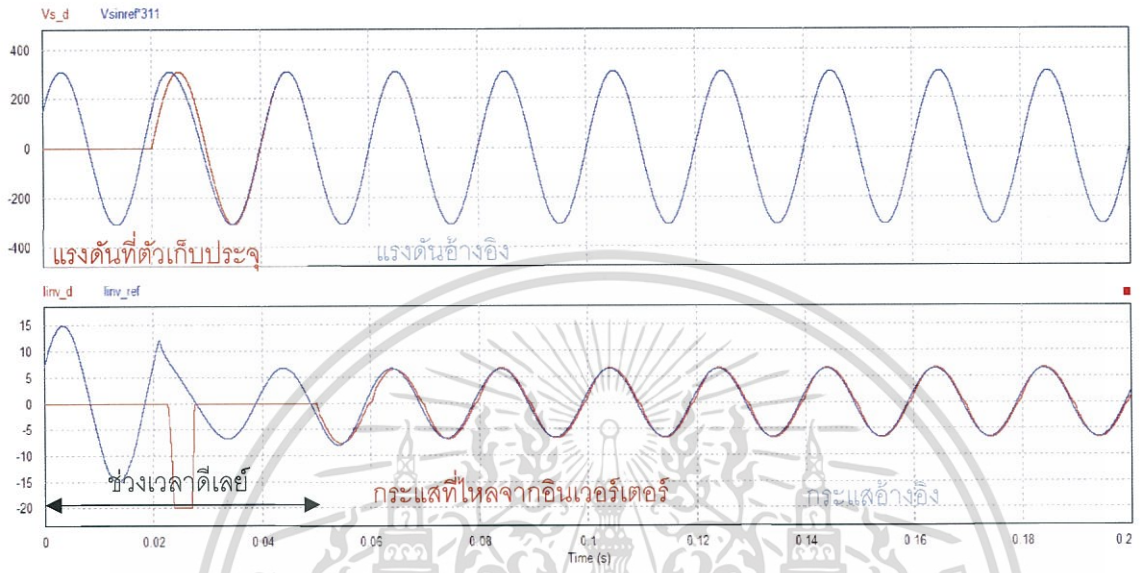


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc (ต่อ)

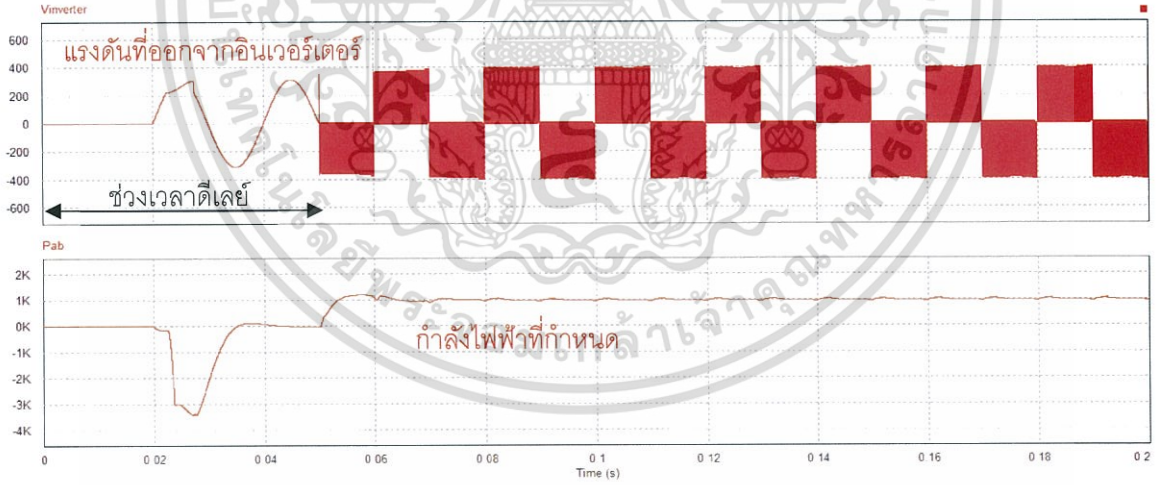
จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงผลการจำลองผลในโปรแกรม PSIM ซึ่งจำลองในกรณีถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่เข้าสู่กริด โดยจะเห็นได้ว่าสามารถรักษาระดับแรงดันที่ดีซีลิงค์ไว้ที่ 400Vdc และสามารถควบคุมให้กระแสสามารถเกาะกับกระแสอ้างอิงที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac



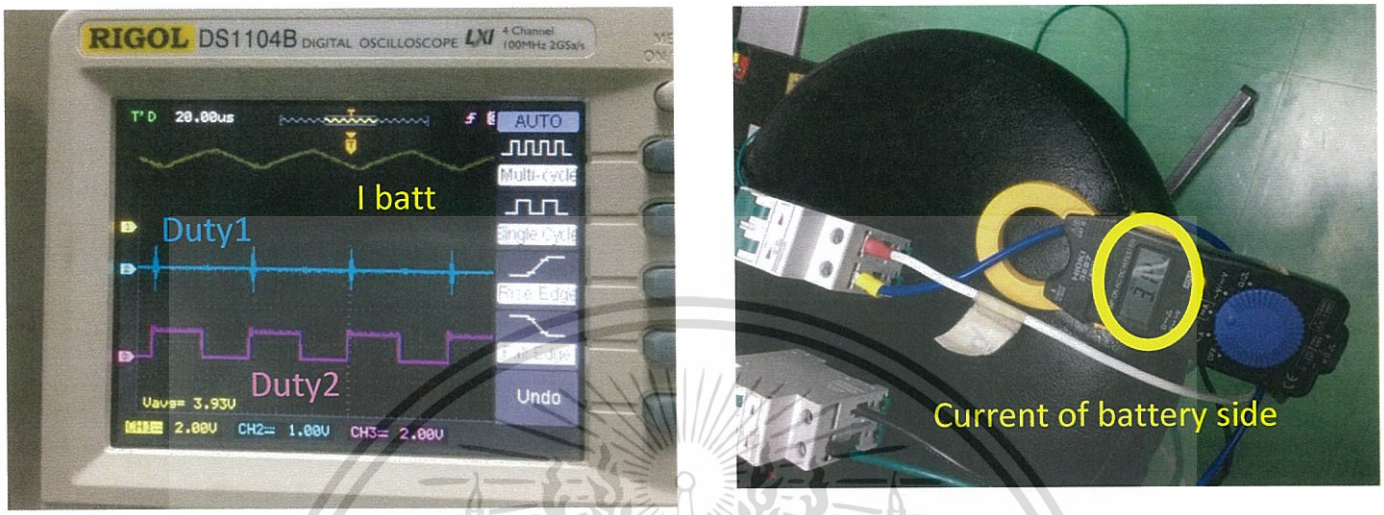
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac (ต่อ)

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลการจำลองในส่วนของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยแสดงการควบคุมเฟสที่สามารถควบคุมให้ซิงค์เข้ากับกริดด้วย และแสดงกระแสที่อินเวอร์เตอร์ว่าสามารถควบคุมให้เกาะกับกระแสอ้างอิงได้ อีกทั้งยังสามารถควบคุมให้กำลังไฟฟ้าที่ออกมาเป็นไปตามที่กำหนดได้

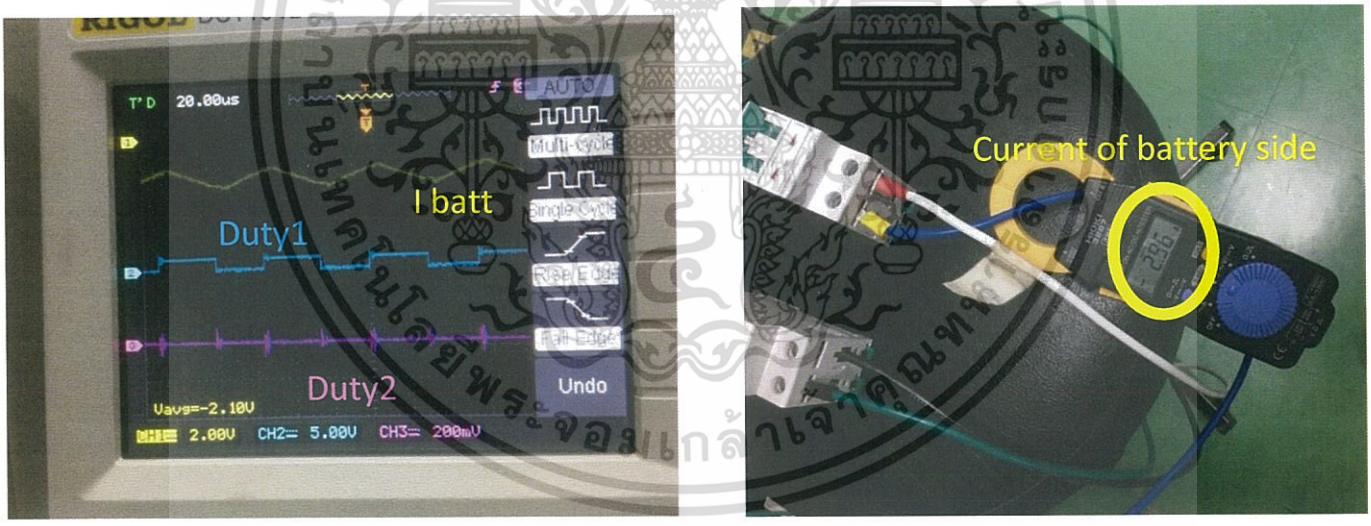
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองจากวงจรต้นแบบ

รูปแสดงผลการทดลองจากวงจรต้นแบบซึ่งทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางโดยสามารถควบคุมค่ากระแสได้ตามที่ควบคุมได้



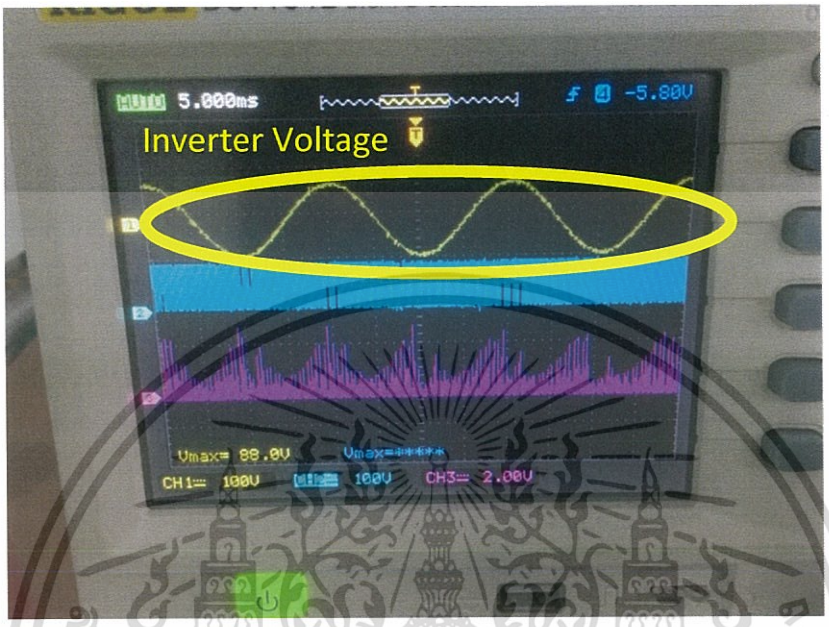
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวงจร dc to dc โหมด Boost



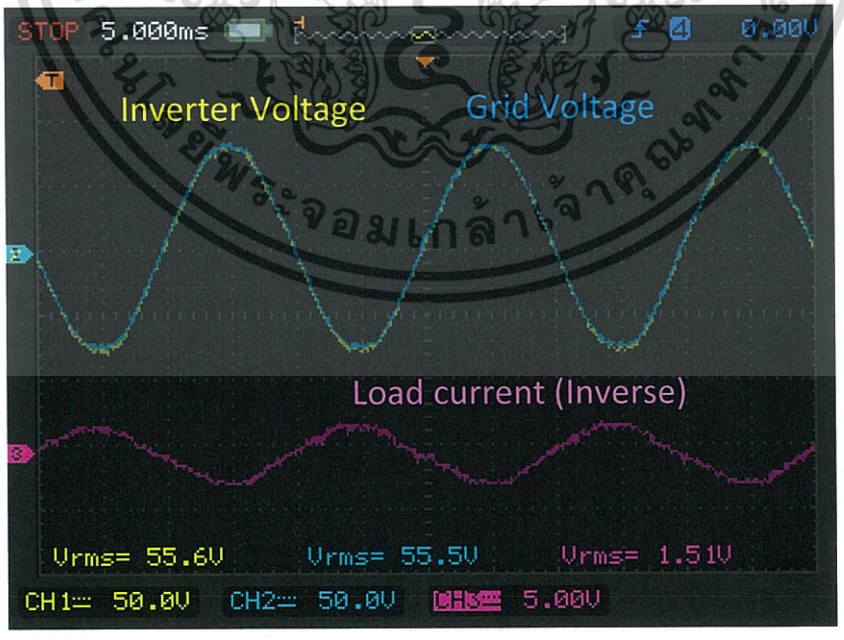
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจร dc to dc โหมด Buck

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงผลการทดลองจากวงจรต้นแบบซึ่งทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวงจร ac to ac

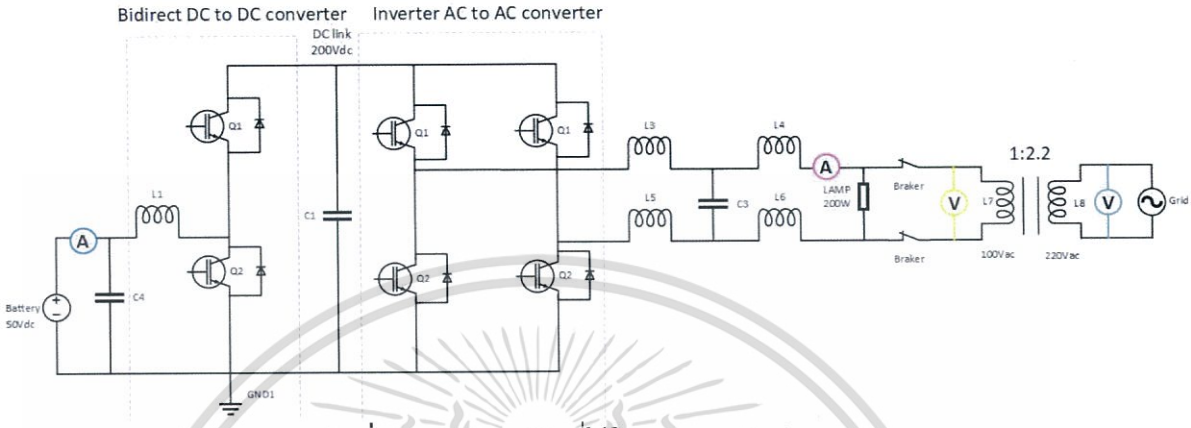


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบแรงดันระหว่างกริดกับอินเวอร์เตอร์และกระแสอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

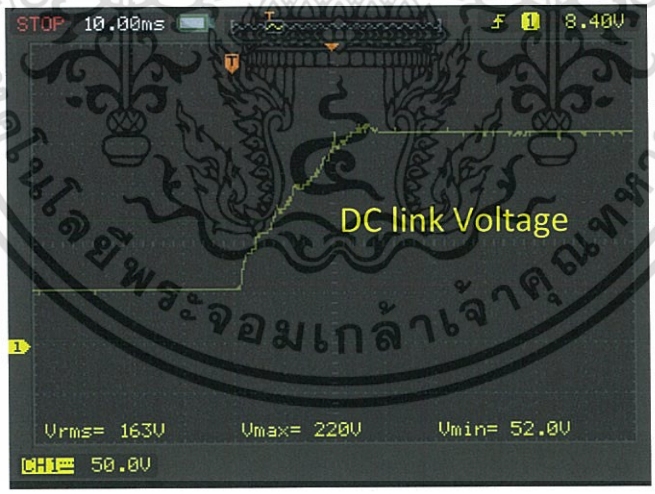
4.4 การทดลองวงจรโดยมีการซิงค์เข้ากับกริด

ไดอะแกรมการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เพื่อโอนถ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ และจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ออกไปยังกริด



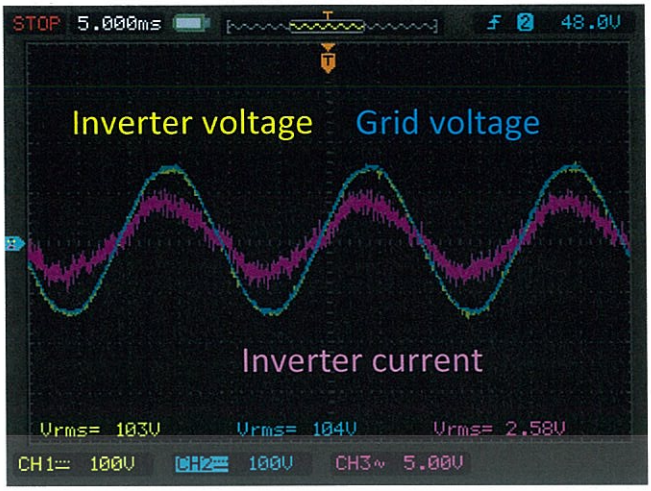
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง

กราฟแสดงผลการทดลองในการซิงค์แรงดันระหว่างอินเวอร์เตอร์และกริด ซึ่งกราฟจะแสดงการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ประมาณ 50V ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ดีซีลิงค์ประมาณ 200V เพื่อเข้าสู่อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเพิ่มระดับแรงดันระหว่างแบตเตอรี่ (50V) และดีซีลิงค์ (200V)

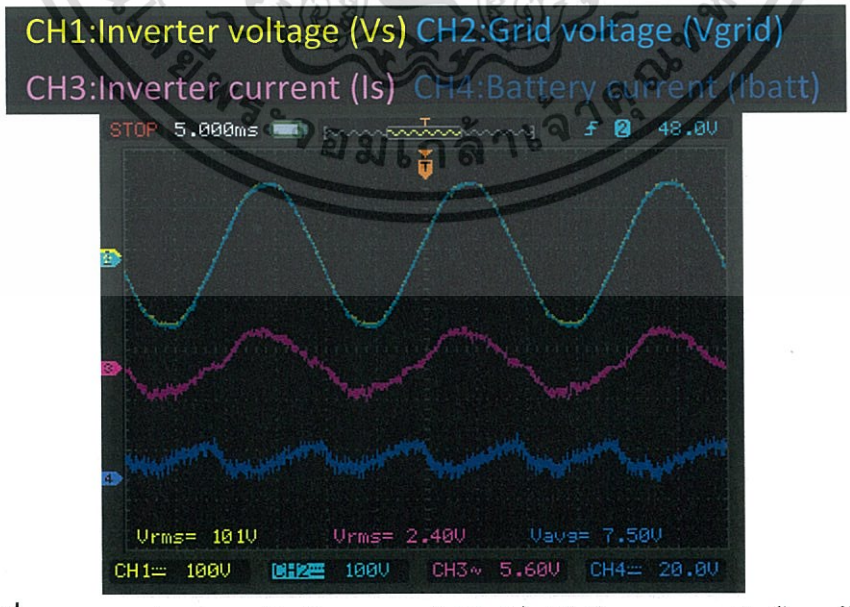
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการซิงค์ระหว่างอินเวอร์เตอร์และกริด

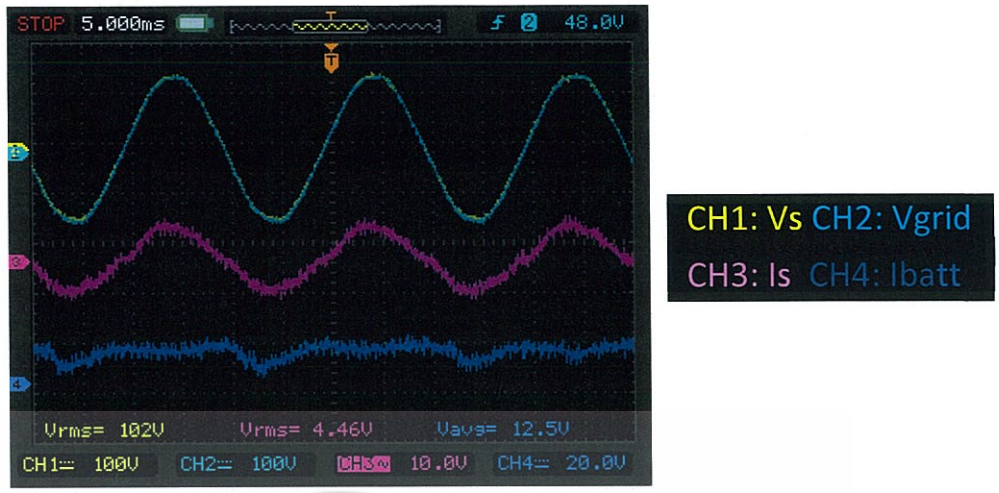
โดยในการทดลองจริงจะทำการต่อวงจรดังรูปที่4.12 ซึ่งระหว่างจุดที่เชื่อมระหว่างอินเวอร์เตอร์กับกริดจะมีโหลดหลอดไฟขนาด 200 วัตต์เพื่อใช้ตรวจสอบการซิงค์ระหว่างอินเวอร์เตอร์และกริดซึ่งจะได้กราฟที่แสดงข้างต้นเป็นการแสดงการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าในการไหลเข้ากริดและไหลเข้าอินเวอร์เตอร์โดยมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ค่าต่างๆดังแสดงไว้ใต้รูป โดยกราฟสีเหลืองคือแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ , สีฟ้าคือแรงดันที่กริด , สีม่วงคือกระแสที่อินเวอร์เตอร์ , สีน้ำเงินคือกระแสที่แบตเตอรี่

เริ่มจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าผ่านวงจรควบคุมในโปรแกรมที่ป้อนให้กับดีเอสพีในค่าต่างๆ เช่น 200 วัตต์ เป็นต้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าในการเข้าออกของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเริ่มจากการควบคุมกำลังจากแบตเตอรี่เข้ากริด

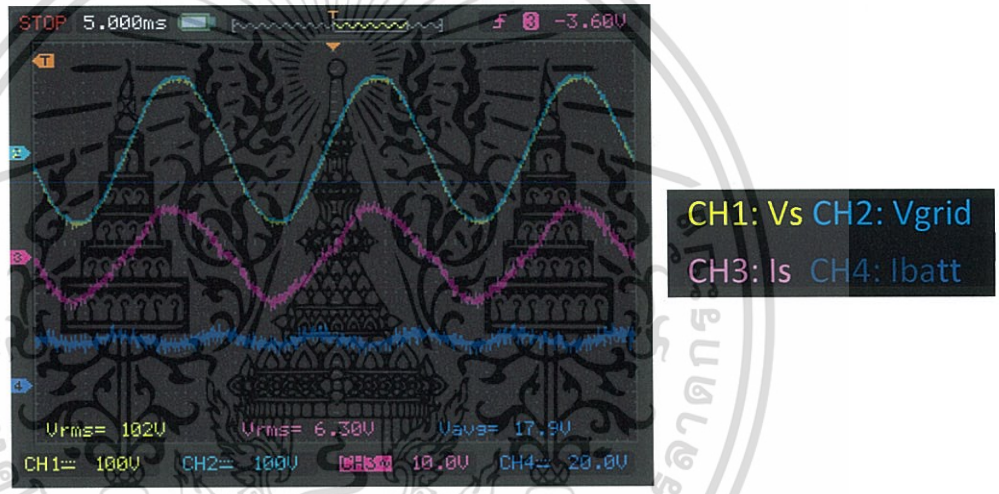


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 200 วัตต์ไหลเข้ากริด

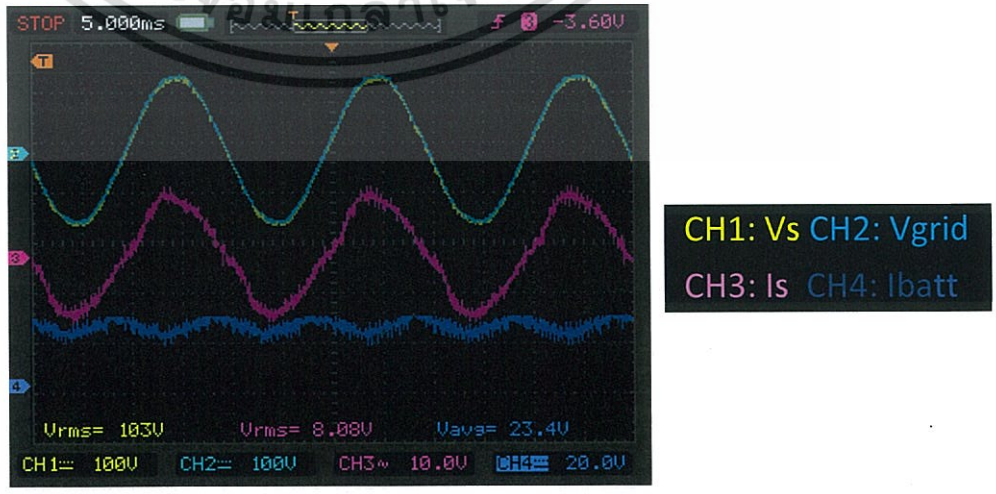
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการชิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 400 วัตต์ไหลเข้ากริด

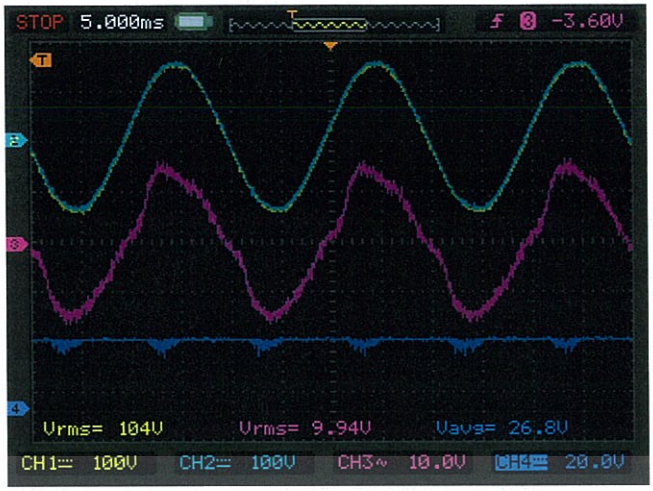


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการชิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 600 วัตต์ไหลเข้ากริด



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการชิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 800 วัตต์ไหลเข้ากริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

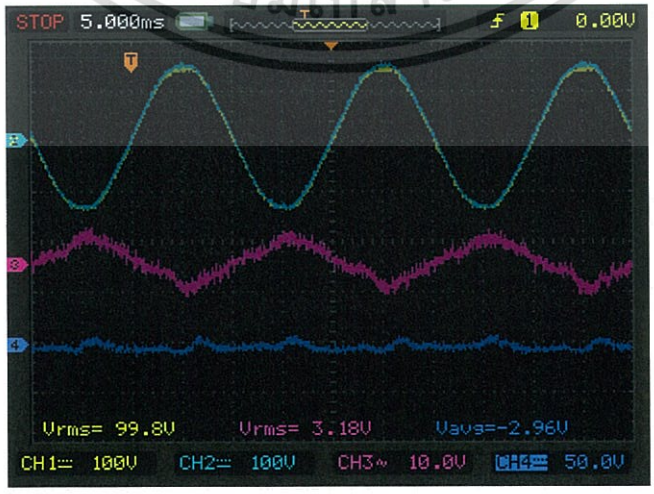


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 1000 วัตต์ไหลเข้ากริด

ต่อมาเป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยโอนถ่ายกำลังจากกริดเข้าสู่แบตเตอรี่

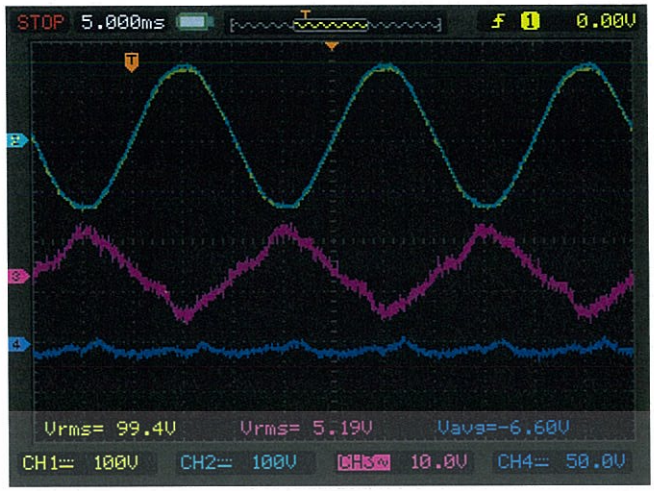


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 200 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

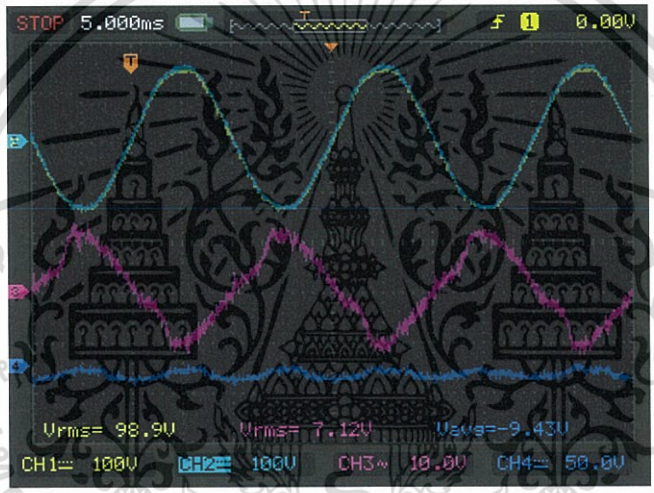


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 400 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

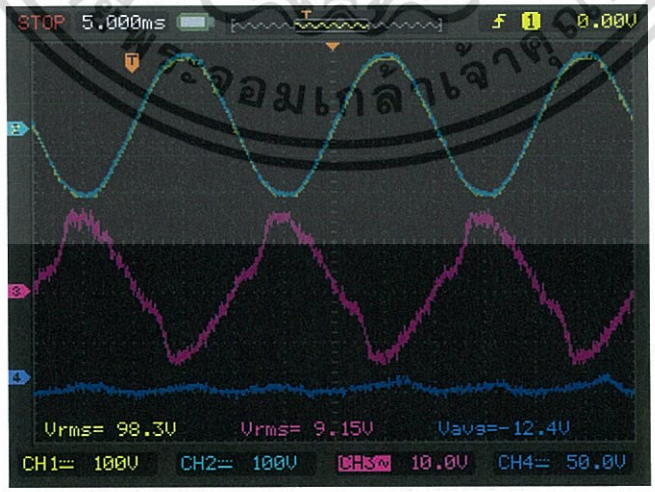
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 600 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 800 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการซิงค์โดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีขนาด 1000 วัตต์ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากกราฟและมิเตอร์มาคำนวณ และสรุปลงเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากทดลองโดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้าไหลเข้ากริด

Power Control	Vbatt (Vdc)	Ibatt (A)	Power Batteries	Vdclink (Vdc)	Vs=Vgrid (Vac) (Synchronize)	Is (A)	Power Inverter
200	47.5	7.5	356.25	209.5	101	2.4	242.4
400	46.5	12.5	581.25	207.12	102	4.46	454.92
600	45.7	17.9	818.03	201.62	102	6.3	642.6
800	45.1	23.4	1055.34	194.81	103	8.08	832.24
1000	44.4	26.8	1189.92	187.82	104	9.94	1033.76

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากทดลองโดยควบคุมให้กำลังไฟฟ้าไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

Power Control	Vbatt (Vdc)	Ibatt (A)	Power Batteries	Vdclink (Vdc)	Vs=Vgrid (Vac) (Synchronize)	Is (A)	Power Inverter
-200	48.1	-1.36	-65.416	209.52	102	1.20	122.4
-400	48.8	-2.96	-144.45	208.95	99.8	3.18	317.36
-600	49.9	-6.60	-329.34	209.52	99.4	5.19	515.89
-800	50.2	-9.43	-474.9	209.89	98.9	7.12	704.17
-1000	51.1	-12.4	-633.64	207.24	98.3	9.15	899.45

ตารางเปรียบเทียบค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองดังแสดงไว้ด้านล่าง โดยจะเห็นแนวโน้นคือเมื่อกำลังไฟฟ้าไหลเข้ากริดที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แรงดันที่แบตเตอร์รี่และดีซีลิงค์จะลดลงแต่กระแสขาออกอินเวอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และในทางตรงข้าม ถ้ากำลังไฟฟ้าไหลเข้าอินเวอร์เตอร์ที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แรงดันที่แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนแรงดันที่ดีซีลิงค์จะรักษาให้คงที่ และกระแสขาออกอินเวอร์เตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาโครงสร้าง ออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานกับระบบไมโครกริด เพื่อที่จะนำระบบกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะทำให้ระบบไมโครกริดมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนจะมีการผลิตไฟฟ้าที่ผันผวนเป็นอย่างมากในแต่ละวันตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง โดยระบบกักเก็บพลังงานที่เพิ่มเข้ามานี้จะสามารถแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนได้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของระบบและทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งในที่นี้ การเชื่อมต่อระหว่างการส่งถ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ต้องใช้ตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้าซึ่งถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเป็นชิ้นงาน เพื่อเชื่อมต่อกับระบบจำลองไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ โดยใช้การควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่า ดีเอสพี (F28335) ซึ่งมีการจำลองผล และแปลงคำสั่งผ่านโปรแกรมพีซิม (PSIM) ให้รับค่ามาประมวลผลและทำงานอย่างอัตโนมัติ

ในการออกแบบระบบเชื่อมต่อระหว่างระบบกักเก็บพลังงานกับระบบไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ เริ่มจากการศึกษาชนิดของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริดเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งวิเคราะห์และคำนวณขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ แล้วจึงนำค่ามาจำลองผลลงบนโปรแกรม PSIM เพื่อสร้างคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานลงบนบอร์ด DSP รุ่น F28335 ผ่านโปรแกรม CCS (Code Composer Studio) และสร้างในส่วนชิ้นงานที่เป็นฮาร์ดแวร์เพื่อใช้ในการต่อร่วมกับ Power Intelligence Module ซึ่งใช้ DSP เป็นตัวสั่งการทำงาน รวมถึงสร้างระบบตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจร และตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ เพื่อให้ทุกส่วนในวงจรสามารถเชื่อมถึงกันและทำงานไปด้วยกันได้อย่างเป็นระบบ แล้วจึงนำไปทดสอบผ่านคำสั่งควบคุมการทำงานที่สร้างขึ้นโดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) และแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์ (Proportional plus Resonant Controller) ซึ่งทั้งหมดนี้จะสามารถทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริด โดยจะมีการควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด สามารถแก้ปัญหาในช่วงเวลาที่พลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าแล้วมีการเปลี่ยนแปลงกำลังที่ผลิตได้ซึ่งจะส่งผลทำให้ระบบไมโครกริดเกิดความผันผวนขึ้น โดยให้มีการกักเก็บพลังงานในช่วงที่กำลังผลิตไฟฟ้าสูงกว่าที่ต้องการเอาไว้ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปล่อยพลังงานในช่วงที่กำลังผลิตลดลงกว่าความต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ความผันผวนของความถี่ระบบลดลง ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือมากขึ้น

จากการทดลองในการต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเข้ากับไมโครกริดจำลองนี้ เป็นการสร้างฮาร์ดแวร์ และจำลองผลผ่านโปรแกรม PSIM ซึ่งมีการออกแบบและสร้างวิธีการควบคุมการเชื่อมต่อของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างกริดกับแบตเตอรี่ โดยสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่กริด และกริดกลับมายังแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำงานได้อัตโนมัติตามที่ออกแบบตัวควบคุมไว้ เมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ระบบสามารถลดความผันผวนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ระบบมีความสม่ำเสมอ และเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปสรรค

การจำลองผลผ่านโปรแกรม PSIM กราฟแสดงการส่งผ่านพลังงานเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ แต่ในทางปฏิบัติกับการทดลองผ่านวงจรจริง มีผลการทดลองที่เป็นปัญหาเนื่องจากช่วงเวลาของสัญญาณที่จำลอง การรบกวนสัญญาณของวงจรกำลังและวงจรควบคุม ทำให้ระบบไม่สามารถส่งสัญญาณในการควบคุมได้

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

เมื่อทำการทดลองแล้วไม่ได้ตามเป้าหมายใช้วิธีการปรับเปลี่ยนการควบควบคุมสัญญาณ หรือทดลองซ้ำ และตรวจสอบจุดที่เป็นปัญหานำมาวิเคราะห์แก้ไขหาความเป็นไปได้ เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมไปถึงการใส่ฉนวนหรือตัวป้องกันสัญญาณรบกวนเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Darith Leng, "Study of a Multi-agent System for a Single-phase Microgrid", **Thesis for the degree of master in engineering computing system**, International College, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2015.

[2] นายมงคล มณีเนตร, นางสาวรัชดาภรณ์ แตงสุข และ นายรัชตพงศ์ คาระวะวัฒนา, "การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ", **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.

[3] Olvier Trembley,Louis-A Dessaint,"Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Application", **World Electric Vehicle Journal**, Vol.3, ISSN 2032-6653, May 2009, pp.0289-0298.

[4] รศ.ดร.วีรเชษฐ์ ขันเงิน และ ดร.วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง, 2557.

[5] Nidhi Gupta and Ashish Chonbey, "Comparative Performance Analysis of Bipolar and Unipolar Single Phase Full Bridge Inverter", **International Journal of Recent Research in Electrical and Electronics Engineering**, Vol.3 Issue2, 2016, pp.39-45.

[6] Rikiya Abe and Kenji Tanaka, "A Digital Hysteresis Current Control for Half-Bridge Inverters with Constrained Switching Frequency", **Energies of Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, No.1610, Oct 2017, pp.1-13.

[7] Haoyan Liu, "Control Design of a Single-Phase DC/AC Inverter for PV Applications", **Thesis for the degree of master in electrical engineering**, International College, University of Arkansas, May 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด

CONTROL OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A MICROGRID

คณิศร ทวะชาลี ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล ธนายง ตติวรรณรัตน์ และ รุ่งฤทัย รสหอม
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ถนนฉลองกรุง 1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 0-2739-2478

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อแสดงการสร้าง และควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบไมโครกริดแบบแยกอิสระ ระบบกักเก็บพลังงานนี้ ประกอบไปด้วยชุดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งถูกใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงชดเชยคุณภาพทางไฟฟ้าในเทอมของการผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในไมโคร กริด และถูกใช้เพื่อประวิงความต้องการทางไฟฟ้าของโหลดที่ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าขาออกของระบบกักเก็บพลังงานนี้ถูกควบคุมด้วยกำลังผลิตของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานมีความราบเรียบเกิดขึ้น เพื่อยืนยันความถูกต้องของเทคนิคการควบคุมที่นำมาแสดงจึงได้ดำเนินการทดลองกับระบบ ไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบกักเก็บพลังงานสามารถลดการผันผวนของความถี่ลงได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไมโครกริด, ระบบกักเก็บพลังงาน, จำลองระบบ

Abstract

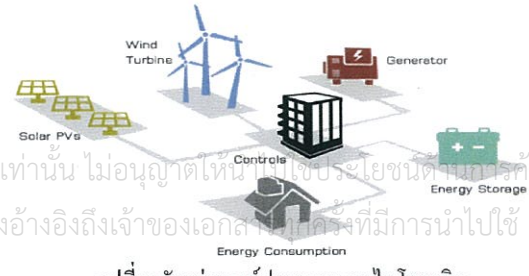
This engineering project presented construction and control for energy storage system in a stand-alone microgrid. The energy storage system consisted of lead-acid battery bank, bidirectional dc to dc converter and dc to ac inverter. The energy storage system is utilized for power quality improvement in term of the frequency deviation by compensating fluctuated power of photovoltaic system in the microgrid and for generator's load demand shifting. The output power of the energy storage system is controlled to generate at design power. So that the combined power from the photovoltaic and the energy storage system is smooth. Experiment has been carried out of validate the proposed control technique with laboratory scale microgrid. The experimental results show that the energy storage system can reduce frequency deviation effectively.

Keyword: Microgrid, Energy Storage, Simulation

1.บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทั่วไปของกริดหลัก เมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่อง เช่น ฟ้าผ่าสายส่ง ทำให้ไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบสูญหายไป ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในระบบ จึงจำเป็นต้องมีระบบไฟฟ้าที่สามารถทำงานอยู่ได้ โดยไม่จำเป็นต้องได้รับไฟฟ้าจากกริดหลัก ทำให้เกิดระบบไมโครกริดขึ้นมาใช้งานซึ่งเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและเป็นอิสระต่อกัน คือเมื่อกริดหลักมีปัญหาจะสามารถแยกตัวออกมาได้ และจ่ายกำลังไฟฟ้าในตัวเองได้ จะมาช่วยแก้ปัญหาเรื่องความผิดพร่องระบบไฟฟ้า เพราะสิ่งที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยไมโครกริด คือการรักษาสมดุลของความต้องการใช้ไฟฟ้ากับปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและรักษาคุณภาพทางไฟฟ้า

ระบบการผลิตไฟฟ้า และส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบไมโคร กริด โดยทั่วไปจะใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นหลัก ซึ่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) จะมีปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่สม่ำเสมอ มีความไม่แน่นอน อาจมีความผันผวนสูง หรือแม้แต่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกริดหลักที่มาตามระยะของสายส่งนั้น ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานไปตามระยะของสายส่ง มีผลทำให้ใช้พลังงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จึงได้นำระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage) มาใช้งานซึ่งระบบกักเก็บพลังงานนี้สามารถทำการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรองให้แก่ระบบไมโคร กริด ซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพทางไฟฟ้า โดยกักเก็บพลังงานมาสำรองไว้ก่อนที่จะจ่ายออกไปในช่วงที่พลังงานหมุนเวียน ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ไม่แน่นอน การมีระบบกักเก็บพลังงาน เปรียบได้กับการมีตัวรองรับหรือช่วยลดภาระในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับไมโครกริดได้ ซึ่งโครงงานนี้จะนำระบบกักเก็บพลังงาน เข้ามาใช้เพื่อทำให้ระบบไมโคร กริดมีความเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือมากขึ้นเพื่อใช้งานต่อไปได้



รูปที่ 1 ตัวอย่างองค์ประของกอบไมโครกริด

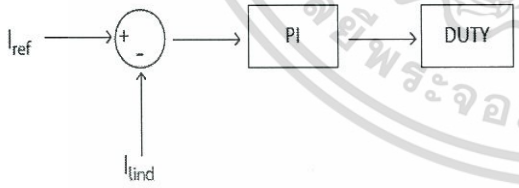
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรพื้นฐานสำหรับการส่งถ่ายพลังงาน

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังมีความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าซึ่งมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา การกักเก็บพลังงานไว้ภายในแบตเตอรี่เพื่อใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูงจะสามารถเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครกริดได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเนื่องจากมีการถ่ายโอนพลังงานระหว่างแบตเตอรี่และกริดอยู่ตลอดเวลา โดยมีความแตกต่างระหว่างแหล่งจ่ายทั้งสองคือแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง แบบกริดเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จึงได้นำวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง, วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง (Bidirectional DC to DC converter) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยสามารถเพิ่มและลดแรงดันได้ในสองทิศทาง และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

3. การควบคุมวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

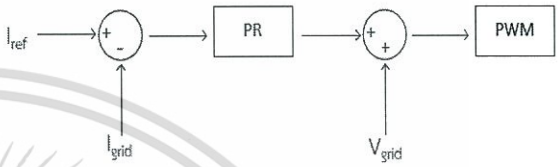
อาศัยการทำงานโดยใช้ค่ากระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ภายในวงจรแปรผันกำลังกระแสตรงแบบสองทิศทางซึ่งจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าบล็อคการควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Controllers) และนำค่าออกมาได้ไปใช้เพื่อเป็นอัตราส่วนดิวตี้ในการขับสวิตช์



รูปที่ 2 บล็อคไดอะแกรมการควบคุมวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

4. การควบคุมวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

อาศัยการทำงานโดยใช้ค่ากระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระแสที่ไหลผ่านเข้าไปในระบบกริดซึ่งจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าบล็อคการทำงานแบบ PR (Proportional-Resonant Controllers) แล้วนำค่าที่ออกมาจากบล็อคไปบวกเข้ากับแรงดันที่รับค่ามาจากกริดเพื่อจะได้นำค่าที่ได้ไปสร้างสัญญาณไซน์อ้างอิงในการไปตัดกับสัญญาณฟันปลาเพื่อสร้าง PWM ไปใช้ในการขับ IGBT ในวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปรผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

5. ระบบการควบคุมแบบพีไอดี

เป็นระบบการควบคุมแบบป้อนกลับโดยเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่เราต้องการโดยจะทำให้ได้ค่าคาวามผิดพลาดและนำค่าความผิดพลาดที่ได้นั้นไปใช้ในการควบคุมโดยตัววงจรจะพยายามทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงต่ำที่สุดโดยในการควบคุมพีไอดีจะเป็นการควบคุมค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต และค่าการแกว่งของระบบ

6. การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์

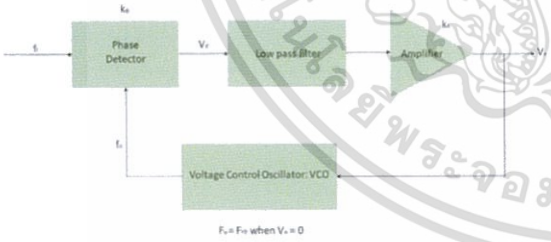
การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์หรือแบบพีอาร์เป็นเทคนิคการควบคุมกระแสอินเวอร์เตอร์ที่สามารถลดความผิดเพี้ยนของกระแส (THD_i) จากการใช้อินเวอร์เตอร์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานทดแทนลงได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการควบคุมกระแสอินเวอร์เตอร์แบบพีไอที่ใช้แกนอ้างอิงซิงโครนัส (Synchronously reference frame, I_{dq}) แต่การควบคุมแบบสัดส่วนบวกรีโซแนนซ์จะใช้การควบคุมกระแสบนแกนอ้างอิงนิ่ง (stationary reference frame,$i_{\alpha\beta}$) ทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าแบบพีไอ นอกจากนั้นการควบคุมแบบพีอาร์ยังสามารถติดตามสัญญาณแรงดันและความถี่ได้ดีกว่าแบบพีไอ ซึ่งอัตราขยายตัวควบคุมแบบพีอาร์จะขยายเป็นอนันต์ที่ความถี่มูลฐานของระบบ สมการอุดมคติของตัวควบคุมแบบพีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การเชื่อมต่อเข้าระบบ

เนื่องจากการเชื่อมต่อเข้าระบบระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับมีความแตกต่างของมุมเฟสทางไฟฟ้า ทำให้จำเป็นต้องมีระบบการควบคุมที่ทำให้ขนาดของมุมเฟสทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน ซึ่งการควบคุมที่นำมาใช้คือ เฟสล็อคลูป ซึ่งเป็นระบบที่สามารถสร้างสัญญาณขาออกให้มีความถี่ที่สอดคล้องกับสัญญาณขาเข้า โดยที่ระบบยังสามารถสร้างสัญญาณขาออกให้สามารถติดตามความถี่ของสัญญาณขาเข้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง เฟสล็อคลูปประกอบไปด้วยสามส่วนหลักคือ ตรวจจับเฟส (Phase Detector) ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter) และวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator; VCO) เฟสล็อคลูปนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

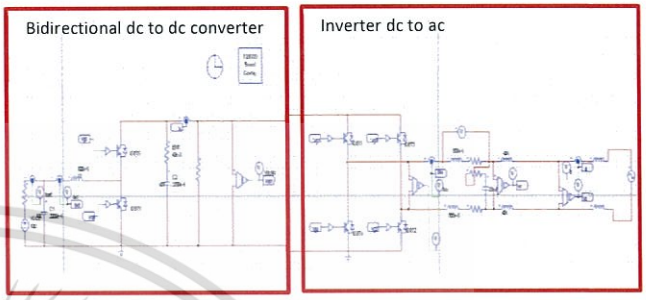
1. ตัวตรวจจับเฟส (Phase detector; PD) ทำหน้าที่ตรวจจับความต่างเฟสของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณที่ได้จากออสซิลเลเตอร์ สัญญาณความต่างเฟสที่ได้นั้นจะมีองค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง
2. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter; LF) ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณความถี่สูง และกรองสัญญาณความถี่ต่ำจากบล็อคตัวตรวจจับเฟสผ่าน ซึ่งนิยมใช้ตัวกรอง ความถี่ต่ำอันดับหนึ่งหรือตัวควบคุมพีไอ
3. ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator; VCO) ทำหน้าที่สร้าง สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ขึ้นอยู่กับแรงดันด้านขาเข้า



รูปที่ 4 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของเฟสล็อคลูป

8. ผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมสำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

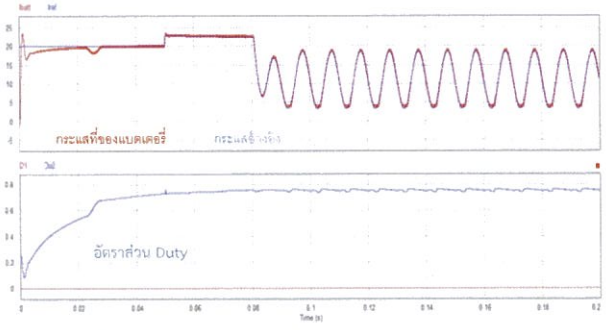
วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงและวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับในการจำลองจากโปรแกรม PSIM จะแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรกำลังที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรม PSIM

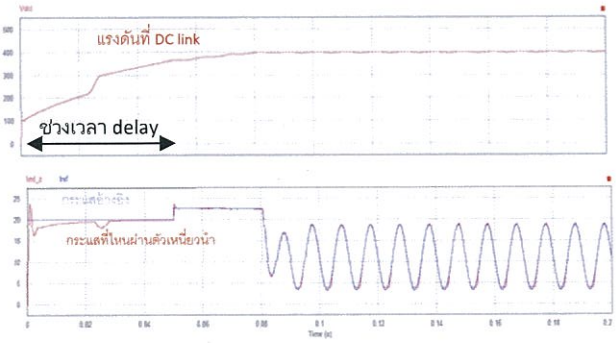
ถ้าหากถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่ไปกริดวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดบูสต์แรงดันไฟฟ้าขึ้นจาก 100Vdc ไปที่ 400 Vdc ตรงดีซีลิงค์ และหลังจากนั้นอินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและผ่านวงจรกรองเพื่อเข้าสู่กริด 240Vac ในทางตรงข้ามกันถ้าหากจะถ่ายโอนพลังงานจากกริดไปสู่แบตเตอรี่ก็จะให้อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกริดที่ 240Vac เข้าสู่ดีซีลิงค์ 400Vdc และหลังจากนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแกระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดบั๊กเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงเหลือ 100Vdc เพื่อไปชาร์จเก็บในแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงผลการจำลองในโปรแกรม PSIM ซึ่งจำลองในกรณีถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่เข้าสู่กริด โดยจะเห็นได้ว่าสามารถรักษาระดับแรงดันที่ดีซีลิงค์ไว้ที่ 400 Vdc และสามารถควบคุมให้กระแสสามารถเกาะกับกระแสอ้างอิงที่ต้องการได้



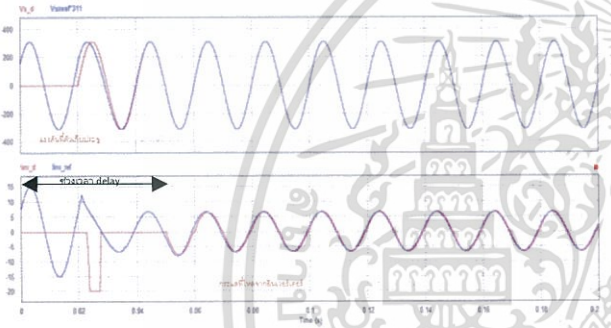
รูปที่ 6 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

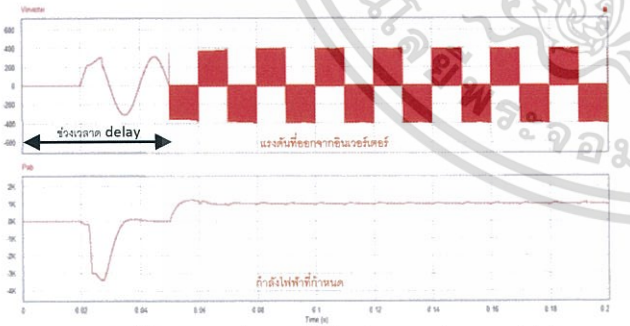


รูปที่ 7 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to dc (ต่อ)

จากรูปที่ 8 และ 9 แสดงผลการจำลองผลในโปรแกรม PSIM ซึ่งจำลองในกรณีถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่เข้าสู่กริด โดยจะเห็นได้ว่าสามารถรักษาระดับแรงดันที่ดีซีลิงค์ไว้ที่ 400 Vdc และสามารถควบคุมให้กระแสสามารถเกาะกับกระแสอ้างอิงที่ต้องการได้



รูปที่ 8 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac



รูปที่ 9 ผลการจำลองวงจรในส่วนของ dc to ac (ต่อ)

9. สรุป

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาโครงสร้าง ออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานกับระบบไมโครกริด เพื่อที่จะนำระบบกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะทำให้ระบบไมโครกริดมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนจะมีการผลิตไฟฟ้าที่ผันผวนเป็นอย่างมากในแต่ละวันตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

ในการออกแบบระบบเชื่อมต่อระหว่างระบบกักเก็บพลังงานกับระบบไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ เริ่มจากการศึกษาชนิดของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริดเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งวิเคราะห์และคำนวณขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ แล้วจึงนำค่ามาจำลองผลลงบนโปรแกรม PSIM เพื่อสร้างคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานลงบนบอร์ด DSP รุ่น F28335 ผ่านโปรแกรม CCS (Code Composer Studio) และสร้างในส่วนชิ้นงานที่เป็นฮาร์ดแวร์เพื่อใช้ในการต่อร่วมกับ Power Intelligence Module ซึ่งใช้ DSP เป็นตัวสั่งการทำงาน รวมถึงสร้างระบบตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจร และตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ เพื่อให้ทุกส่วนในวงจรสามารถเชื่อมถึงกันและทำงานไปด้วยกันได้อย่างเป็นระบบ แล้วจึงนำไปทดสอบผ่านคำสั่งควบคุมการทำงานที่สร้างขึ้นโดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) และแบบลัดส่วนบวกรีโซแนนซ์ (Proportional plus Resonant Controller) ซึ่งทั้งหมดนี้จะสามารถทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริด โดยจะมีการควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด สามารถแก้ปัญหาในช่วงเวลาที่พลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าแล้วมีการเปลี่ยนแปลงกำลังที่ผลิตได้ซึ่งจะส่งผลทำให้ระบบไมโครกริดเกิดความผันผวนขึ้น โดยให้มีการกักเก็บพลังงานในช่วงที่กำลังผลิตไฟฟ้าสูงกว่าที่ต้องการเอาไว้ แล้วปล่อยพลังงานในช่วงที่กำลังผลิตลดลงกว่าความต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ความผันผวนของความถี่ระบบลดลง ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือมากขึ้น

จากการทดลองในการต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเข้ากับไมโครกริดจำลองนี้ เป็นการสร้างฮาร์ดแวร์ และจำลองผลผ่านโปรแกรม PSIM ซึ่งมีการออกแบบและสร้างวิธีการควบคุมการเชื่อมต่อของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างกริดกับแบตเตอรี่ โดยสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่กริด และกริดกลับมายังแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำงานได้อัตโนมัติตามที่ออกแบบตัวควบคุมไว้ เมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ระบบสามารถลดความผันผวนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ระบบมีความสม่ำเสมอ และเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Darith Leng, "Study of a Multi-agent System for a Single-phase Microgrid", Thesis for the degree of master in engineering computing system, International College, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2015.

[2] นายมงคล มณีเนตร, นางสาวรัชดาภรณ์ แตงสุข และ นายรัชตพงศ์ คาระวะวัฒนา, "การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.

[3] Olvier Tremblay, Louis-A. Dessaint, "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", World Electric Vehicle Journal Vol.3, ISSN 2032-6653, May 2009, pp.0289-0298.

ประวัติผู้เขียน



นาย คณิศร ทวะชาลี
วัน/เดือน/ปีเกิด 30 มิถุนายน 2538
3/51 ถ.บรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล
Email: karnmavev36@gmail.com



นาย นัฐพงศ์ ศรีคระกูล
วัน/เดือน/ปีเกิด 12 สิงหาคม 2539
1449 ม.6 ต.สำโรงเหนือ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวชิรธรรมสาธิต
Email: nattahaphong@hotmail.com



นาย ธนวัฒน์ กวิลพุทธิกุล
วัน/เดือน/ปีเกิด 17 มีนาคม 2539
59/209 ถ.รามอินทรา103/1 เขต/แขวง คันนายาว กรุงเทพมหานคร 10230
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒
Email: tanawat3962@gmail.com



นาย ธนายง คติวรรณรัตน์
วัน/เดือน/ปีเกิด 7 กุมภาพันธ์ 2539
11 ซ.6 ถ.ศรีสมุทร ต.ปากน้ำ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 12700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีสมุทรปราการ
Email: thanayong.t@hotmail.com



นางสาว รุ่งฤทัย รสหอม
วัน/เดือน/ปีเกิด 21 มีนาคม 2538
19/3 ม.7 ถ.เลียบคลองแปด ต.ลำลูกกา อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบวิทยาลัย
Email: roshom_thaieye@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BSB VRLA Battery

Solar 12-65 12V65Ah

Solar Series SLA Battery

Range Summary

By combining the newly developed nano gel electrolyte with high density paste, BSB created an innovative range of Solar batteries. The range offers high recharge efficiency at the very low charge current. The acid stratification is highly depressed by adding of gel. This range battery is highly suited to energy storage for renewable energy such as PV and wind turbine power systems applications.



Application

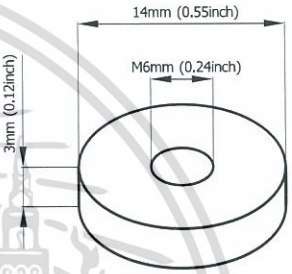
- Photovoltaic system
- Renewable Energy System
- Electric Utility
- Outdoor control Equipment
- Railroad Utility

General Features

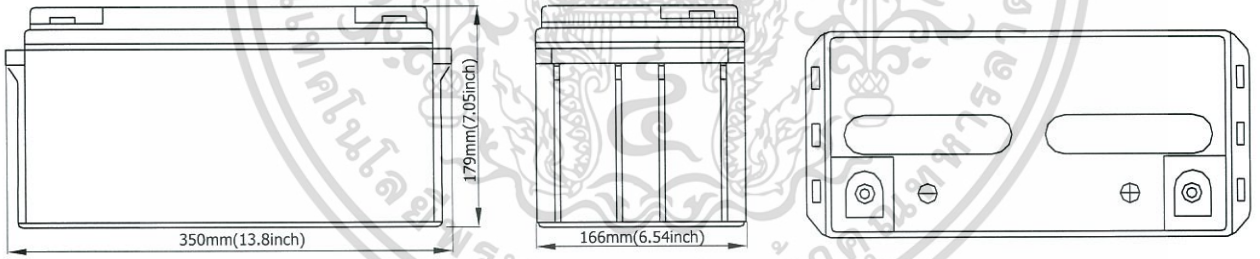
- 12 years float life at 20°C
- Up to 5 years design life at renewable energy applications
- Wide operating temperature range of -15 to 60°C
- Nano gel electrolyte eliminate the acid stratification and prolong cycle life
- Round trip efficiency as high as 85%
- Thick positive flat plate with high density paste
- Low self-discharge rate and long shelf life(1 year at 25°C)
- Excellent deep discharge recovery capability

Construction

- Positive ..... Lead dioxide
- Negative ..... Lead
- Container ..... ABS
- Cover ..... ABS
- Sealant ..... Epoxy Resin
- Safety valve ..... EPDR
- Terminal ..... Copper
- Separator ..... AGM
- Electrolyte ..... Acid with gel



Terminal Dimensions



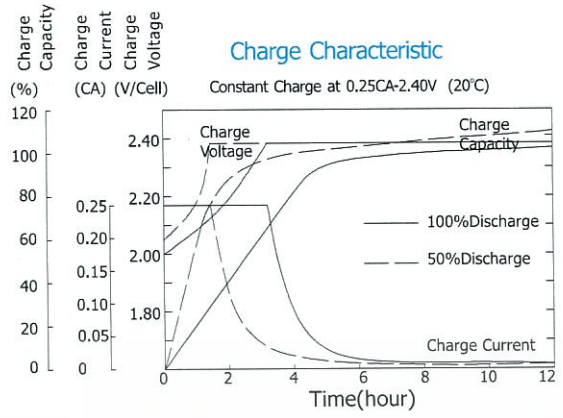
Battery Model	Solar 12-65			
Designed Floating Life	12 Years			
Designed Cycle Life (According to IEC61427)	5 Years			
Capacity(20°C)	10HR(6.5A,1.80V)	24HR(2.88A,1.80V)	48HR(1.52A,1.80V)	100HR(0.78A,1.80V)
	65Ah	69Ah	73Ah	78Ah
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	350mm(13.8inch)	166mm(6.54inch)	179mm(7.05inch)	179mm(7.05inch)
Approx. Weight	21.2Kg (46.7 lbs)			
Internal Resistance	Full charged at 20°C: 0.006 Ohm			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (20°C)			
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40°C	20°C	0°C	-15°C
	109%	100%	85%	65%
Charge Voltage(20°C)	Cycle use		Float use	
	14.4-14.8V(-30mV/ °C), max. Current: 16.25A		13.6-13.8V(-18mV/ °C)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

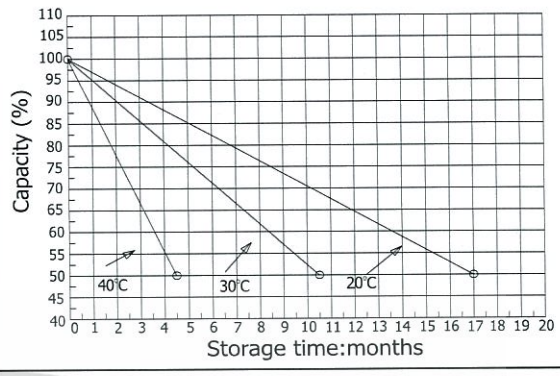
Solar 12-65 12V65Ah

Solar Series SLA Battery

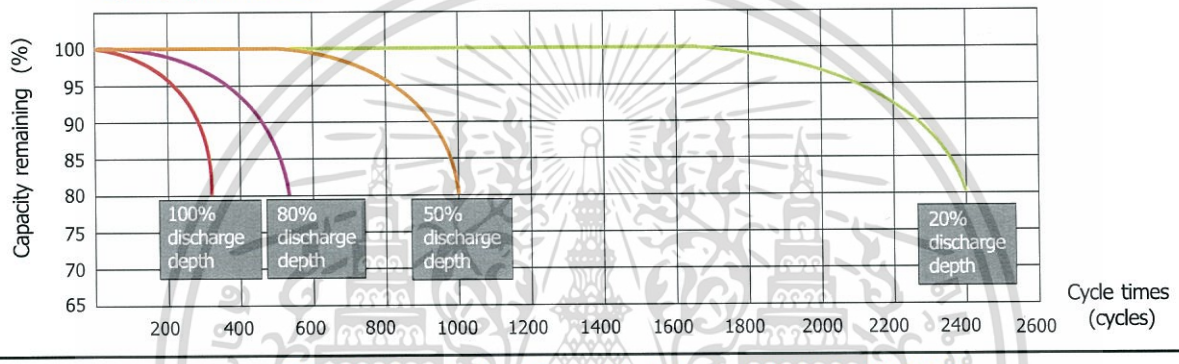
Charge Characteristic



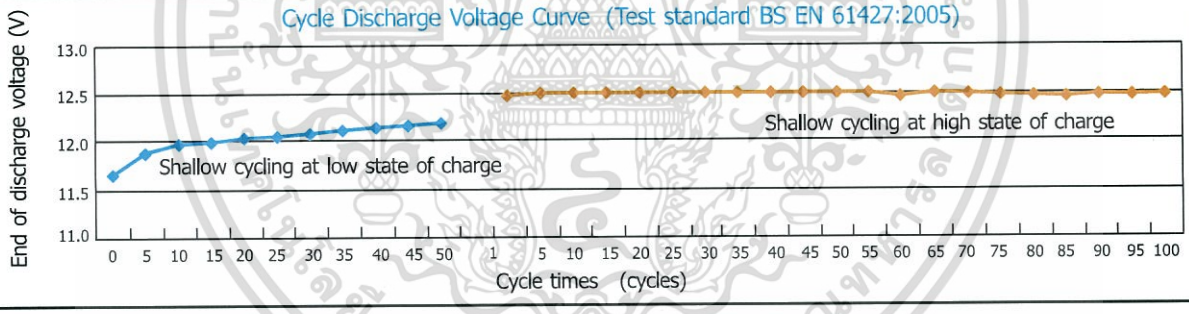
Self Discharge Characteristics



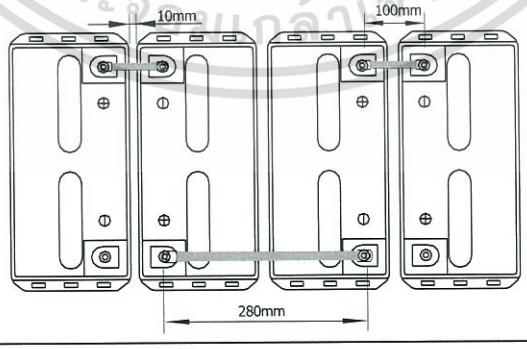
Cycling ability (20°C)



Cycle Discharge Voltage Curve (Test standard BS EN 61427:2005)



Solar 12-65 General Installation Drawing



Constant current discharge ratings-amperes at 20°C

TIME	1h	3h	5h	10h	24h	48h	72h	100h	120h
CUT-OFF VOLTAGE	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
CAPACITY(Ah)	41	49	56	65	69	73	76	78	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO9001
COPYRIGHT BSB POWER COMPANY LIMITED

(Updated: 1-Nov-2010)

PM50RL1A120

FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE

PM50RL1A120



FEATURE

Inverter + Brake + Drive & Protection IC

a) Adopting new 5th generation Full-Gate CSTBT™ chip
b) The over-temperature protection which detects the chip surface temperature of CSTBT™ is adopted.
c) Error output signal is possible from all each protection upper and lower arm of IPM.
d) Compatible L-series package.

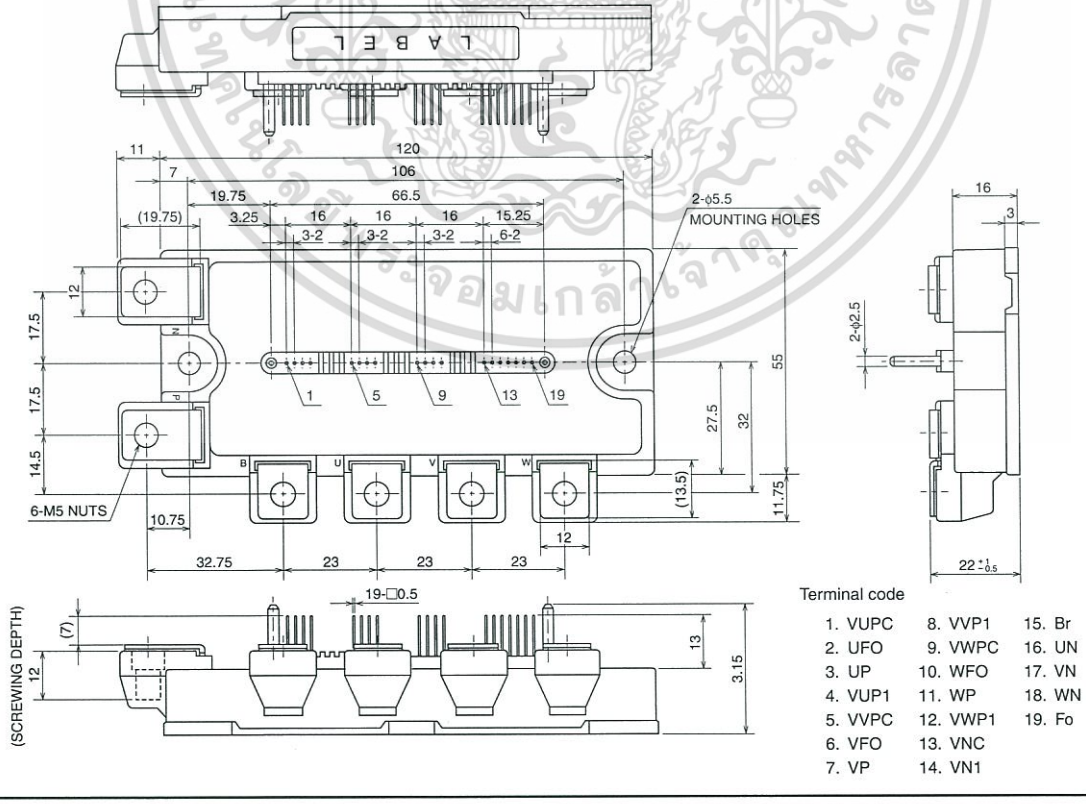
- 3ϕ 50A, 1200V Current-sense and temperature sense IGBT type inverter
- Monolithic gate drive & protection logic
- Detection, protection & status indication circuits for, short-circuit, over-temperature & under-voltage (P-Fo available from upper arm devices)
- UL Recognized

APPLICATION

General purpose inverter, servo drives and other motor controls

PACKAGE OUTLINES

Dimensions in mm



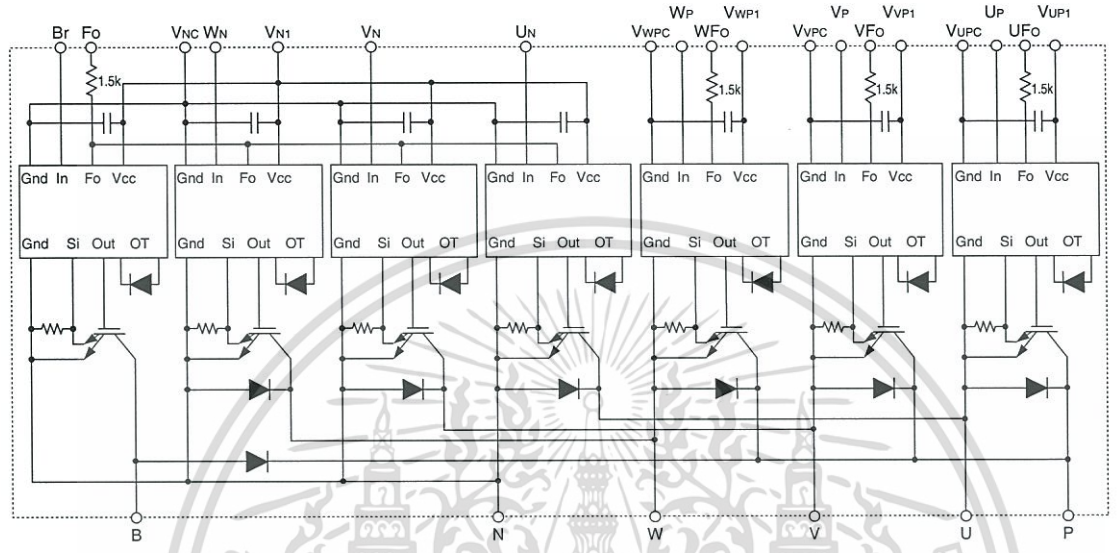
Terminal code

1. VUPC	8. VVP1	15. Br
2. UFO	9. VWPC	16. UN
3. UP	10. WFO	17. VN
4. VUP1	11. WP	18. WN
5. VVPC	12. VWP1	19. Fo
6. VFO	13. VNC	
7. VP	14. VN1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI ELECTRIC

INTERNAL FUNCTIONS BLOCK DIAGRAM



MAXIMUM RATINGS (T_j = 25°C, unless otherwise noted)

INVERTER PART

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage	V_D = 15V, V_{CIN} = 15V	1200	V
±I_C	Collector Current	T_C = 25°C (Note-1)	50	A
±I_{CP}	Collector Current (Peak)	T_C = 25°C	100	A
P_C	Collector Dissipation	T_C = 25°C (Note-1)	462	W
T_j	Junction Temperature		–20 ~ +150	°C

*: T_C measurement point is just under the chip.

BRAKE PART

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage	V_D = 15V, V_{CIN} = 15V	1200	V
I_C	Collector Current	T_C = 25°C (Note-1)	25	A
I_{CP}	Collector Current (Peak)	T_C = 25°C	50	A
P_C	Collector Dissipation	T_C = 25°C (Note-1)	320	W
I_F	FWDi Forward Current	T_C = 25°C	25	A
$V_{R(DC)}$	FWDi Rated DC Reverse Voltage	T_C = 25°C	1200	V
T_j	Junction Temperature		–20 ~ +150	°C

CONTROL PART

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V_D	Supply Voltage	Applied between : U_{P1}-U_{PC}, V_{P1}-V_{PC} W_{P1}-W_{PC}, V_{N1}-V_{NC}	20	V
V_{CIN}	Input Voltage	Applied between : U_P-U_{PC}, V_P-V_{PC}, W_P-W_{PC} U_N • V_N • W_N • Br-V_{NC}	20	V
V_{FO}	Fault Output Supply Voltage	Applied between : U_{FO}-U_{PC}, V_{FO}-V_{PC}, W_{FO}-W_{PC} Fo-V_{NC}	20	V
I_{FO}	Fault Output Current	Sink current at U_{FO}, V_{FO}, W_{FO}, Fo terminals	20	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOTAL SYSTEM

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
$V_{CC(PROT)}$	Supply Voltage Protected by SC	V_D = 13.5 ~ 16.5V Inverter Part, T_j = +125°C Start	800	V
$V_{CC(surge)}$	Supply Voltage (Surge)	Applied between : P-N, Surge value	1000	V
T_{stg}	Storage Temperature		–40 ~ +125	°C
V_{iso}	Isolation Voltage	60Hz, Sinusoidal, Charged part to Base, AC 1 min.	2500	V_{rms}

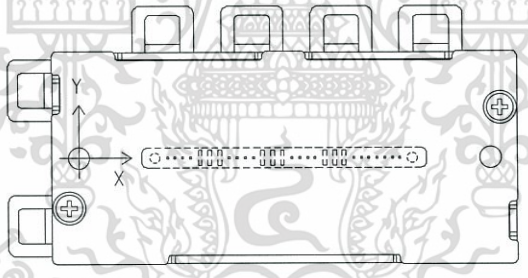
THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter	Condition		Limits			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
$R_{th(j-c)Q}$	Junction to case Thermal Resistances	Inverter IGBT part (per 1 element)	(Note-1)	—	—	0.27	°C/W
$R_{th(j-c)F}$		Inverter FWDi part (per 1 element)	(Note-1)	—	—	0.47	
$R_{th(j-c)Q}$		Brake IGBT part	(Note-1)	—	—	0.39	
$R_{th(j-c)F}$		Brake FWDi upper part	(Note-1)	—	—	0.67	
$R_{th(c-f)}$	Contact Thermal Resistance	Case to fin, (per 1 module) Thermal grease applied	(Note-1)	—	—	0.038	

* If you use this value, $R_{th(f-a)}$ should be measured just under the chips.

(Note-1) T_C (under the chip) measurement point is below. (unit : mm)

arm / axis	UP		VP		WP		UN		VN		WN		BR	
	IGBT	FWDi	IGBT	FWDi	IGBT	FWDi	IGBT	FWDi	IGBT	FWDi	IGBT	FWDi	IGBT	Di
X	28.6	28.6	65.4	65.4	87.4	87.4	38.6	38.6	54.6	54.6	76.6	76.6	18.0	19.3
Y	–8.4	0.2	–8.4	0.2	–8.4	0.2	6.8	–1.8	6.8	–1.8	6.8	–1.8	–8.9	5.0



Bottom view

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_j = 25°C, unless otherwise noted)

INVERTER PART

Symbol	Parameter	Condition		Limits			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	V_D = 15V, I_C = 50A V_{CIN} = 0V, Pulsed (Fig. 1)	T_j = 25°C	—	1.65	2.15	V
			T_j = 125°C	—	1.85	2.35	
V_{EC}	FWDi Forward Voltage	–I_C = 50A, V_D = 15V, V_{CIN} = 15V (Fig. 2)		—	2.3	3.3	V
t_{on}	Switching Time	V_D = 15V, V_{CIN} = 0V↔15V V_{CC} = 600V, I_C = 50A T_j = 125°C Inductive Load (Fig. 3,4)		0.3	0.8	2.0	µs
t_{rr}				—	0.3	0.8	
$t_{c(on)}$				—	0.4	1.0	
t_{off}				—	1.2	2.8	
$t_{c(off)}$				—	0.4	1.2	
I_{CES}	Collector-Emitter Cutoff Current	V_{CE} = V_{CES}, V_D = 15V (Fig. 5)	T_j = 25°C	—	—	1	mA
			T_j = 125°C	—	—	10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRAKE PART

Symbol	Parameter	Condition		Limits			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	V_D = 15V, I_C = 25A	T_j = 25°C	—	1.65	2.15	V
		V_{CIN} = 0V, Pulsed (Fig. 1)	T_j = 125°C	—	1.85	2.35	
V_{EC}	FWDi Forward Voltage	$-I_C$ = 25A, V_{CIN} = 15V, V_D = 15V (Fig. 2)		—	2.3	3.3	V
I_{CES}	Collector-Emitter Cutoff Current	$V_{CE} = V_{CES}$, V_D = 15V (Fig. 5)	T_j = 25°C	—	—	1	mA
			T_j = 125°C	—	—	10	

CONTROL PART

Symbol	Parameter	Condition		Limits			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
I_D	Circuit Current	V_D = 15V, V_{CIN} = 15V	V_{N1}-V_{NC}	—	8	16	mA
			V^*_{P1}-V^*_{PC}	—	2	4	
$V_{th(ON)}$	Input ON Threshold Voltage	Applied between : U_P-V_{UPC}, V_P-V_{VPC}, W_P-V_{WPC}		1.2	1.5	1.8	V
$V_{th(OFF)}$	Input OFF Threshold Voltage	U_N • V_N • W_N • Br-V_{NC}		1.7	2.0	2.3	
SC	Short Circuit Trip Level	−20 ≤ T_j ≤ 125°C, V_D = 15V (Fig. 3,6)	Inverter part	100	—	—	A
			Brake part	50	—	—	
$t_{off(SC)}$	Short Circuit Current Delay Time	V_D = 15V (Fig. 3,6)		—	0.2	—	µs
OT	Over Temperature Protection	Detect Temperature of IGBT chip	Trip level	135	—	—	°C
$OT_{(hys)}$			Hysteresis	—	20	—	
UV	Supply Circuit Under-Voltage Protection	−20 ≤ T_j ≤ 125°C	Trip level	11.5	12.0	12.5	V
UV_r			Reset level	—	12.5	—	
$I_{FO(H)}$	Fault Output Current	V_D = 15V, V_{CIN} = 15V (Note-2)		—	—	0.01	mA
$I_{FO(L)}$				—	10	15	
t_{FO}	Minimum Fault Output Pulse Width	V_D = 15V (Note-2)		1.0	1.8	—	ms

(Note-2) Fault output is given only when the internal SC, OT & UV protections schemes of either upper or lower arm device operate to protect it.

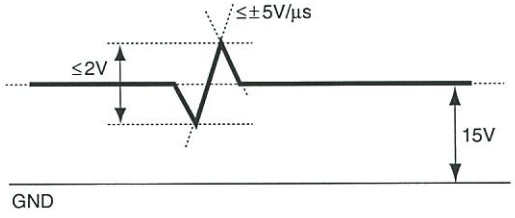
MECHANICAL RATINGS AND CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Condition		Limits			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
—	Mounting torque	Mounting part	screw : M5	2.5	3.0	3.5	N • m
		Main terminal part	screw : M5	2.5	3.0	3.5	N • m
—	Weight	—		—	380	—	g

RECOMMENDED CONDITIONS FOR USE

Symbol	Parameter	Condition	Recommended value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	Applied across P-N terminals	≤ 800	V
V_D	Control Supply Voltage	Applied between : V_{UP1}-V_{UPC}, V_{VP1}-V_{VPC}, V_{WP1}-V_{WPC}, V_{N1}-V_{NC} (Note-3)	15.0 ± 1.5	V
$V_{CIN(ON)}$	Input ON Voltage	Applied between : U_P-V_{UPC}, V_P-V_{VPC}, W_P-V_{WPC}	≤ 0.8	V
$V_{CIN(OFF)}$	Input OFF Voltage	U_N • V_N • W_N • Br-V_{NC}	≥ 9.0	
f_{PWM}	PWM Input Frequency	Using Application Circuit of Fig. 8	≤ 20	kHz
t_{dead}	Arm Shoot-through Blocking Time	For IPM's each input signals (Fig. 7)	≥ 2.5	µs

(Note-3) With ripple satisfying the following conditions: dv/dt swing ≤ ±5V/µs, Variation ≤ 2V peak to peak



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRECAUTIONS FOR TESTING

1. Before applying any control supply voltage (V_D), the input terminals should be pulled up by resistors, etc. to their corresponding supply voltage and each input signal should be kept off state.
   After this, the specified ON and OFF level setting for each input signal should be done.
2. When performing "SC" tests, the turn-off surge voltage spike at the corresponding protection operation should not be allowed to rise above V_{CES} rating of the device.
   (These test should not be done by using a curve tracer or its equivalent.)

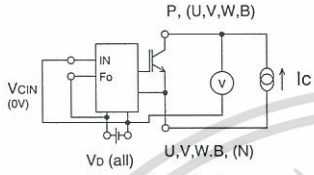


Fig. 1 $V_{CE(sat)}$ Test

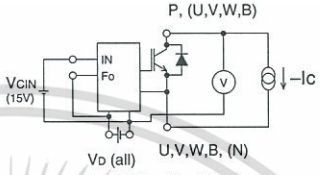


Fig. 2 V_{EC}, (V_{FM}) Test

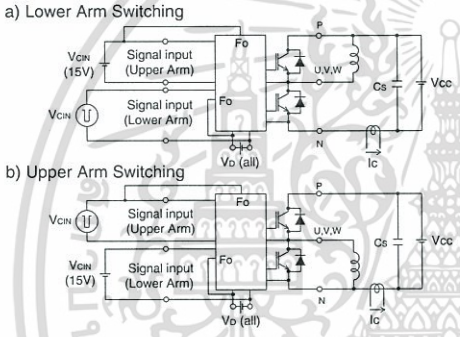


Fig. 3 Switching Time and SC Test Circuit

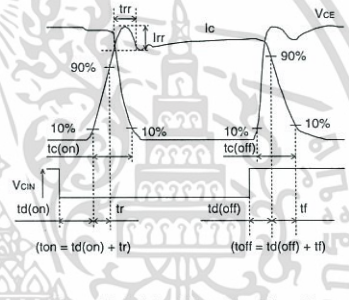


Fig. 4 Switching Time Test Waveform

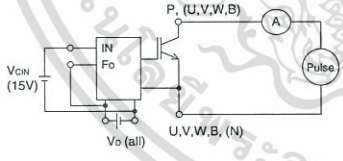


Fig. 5 I_{CES} Test

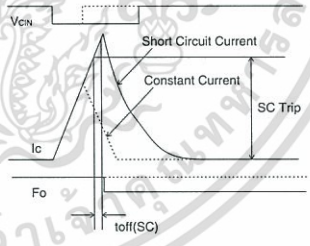
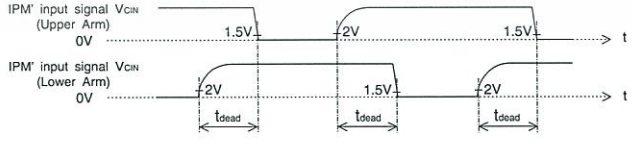


Fig. 6 SC Test Waveform



1.5V: Input on threshold voltage Vth(on) typical value, 2V: Input off threshold voltage Vth(off) typical value

Fig. 7 Dead time measurement point example

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

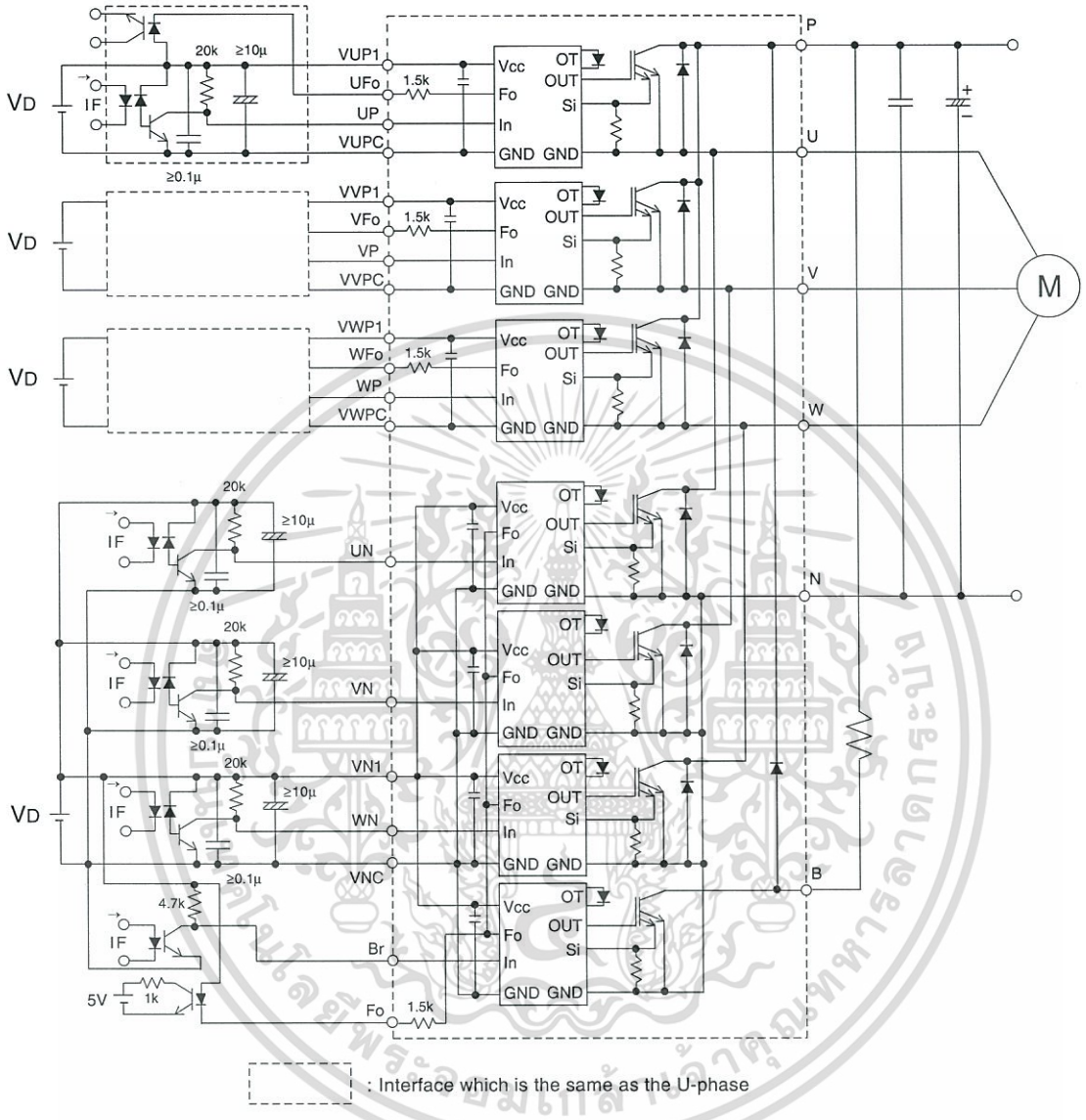


Fig. 8 Application Example Circuit

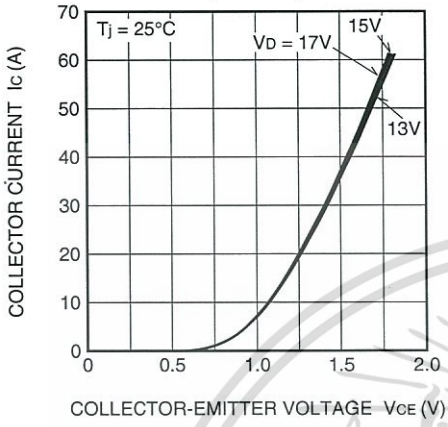
NOTES FOR STABLE AND SAFE OPERATION ;

- Design the PCB pattern to minimize wiring length between opto-coupler and IPM's input terminal, and also to minimize the stray capacity between the input and output wirings of opto-coupler.
- Connect low impedance capacitor between the Vcc and GND terminal of each fast switching opto-coupler.
- Fast switching opto-couplers: t_{PLH}, $t_{PHL} \leq 0.8\mu s$, Use High CMR type.
- Slow switching opto-coupler: CTR > 100%
- Use 4 isolated control power supplies (V_D). Also, care should be taken to minimize the instantaneous voltage charge of the power supply.
- Make inductance of DC bus line as small as possible, and minimize surge voltage using snubber capacitor between P and N terminal.
- Use line noise filter capacitor (ex. 4.7nF) between each input AC line and ground to reject common-mode noise from AC line and improve noise immunity of the system.

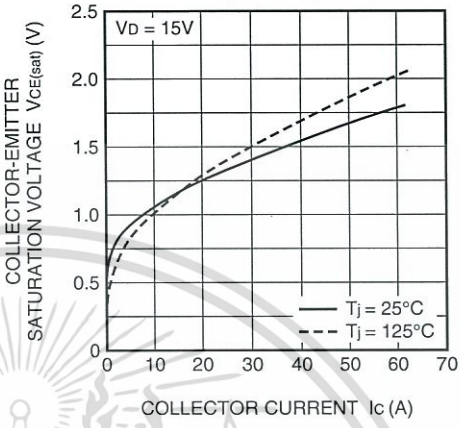
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE CURVES
(Inverter Part)

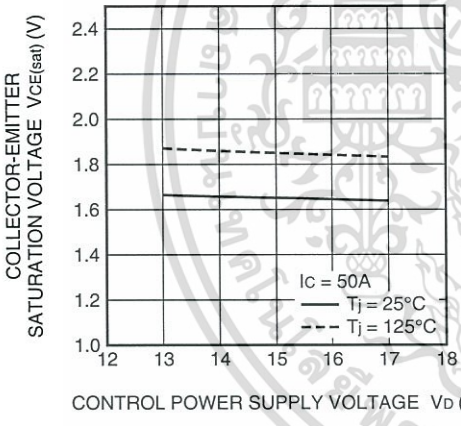
OUTPUT CHARACTERISTICS (TYPICAL)



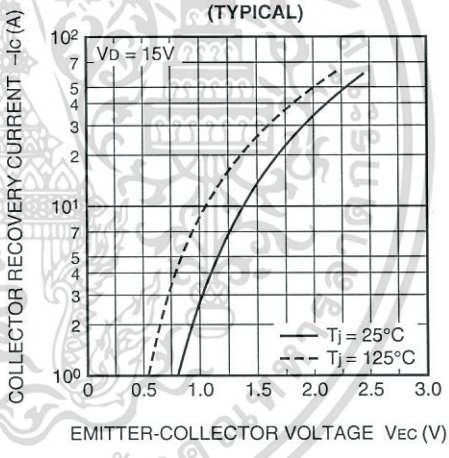
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE (VS. IC) CHARACTERISTICS (TYPICAL)



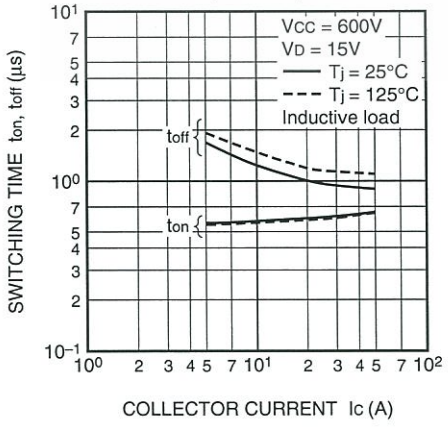
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE (VS. VD) CHARACTERISTICS (TYPICAL)



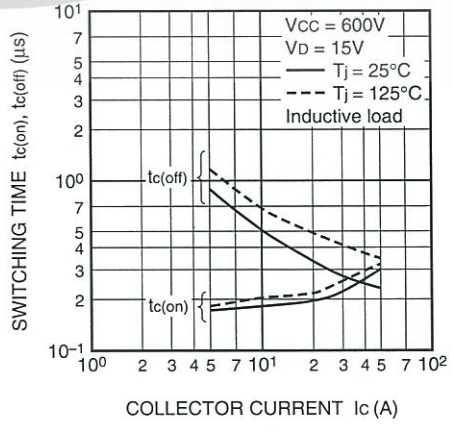
DIODE FORWARD CHARACTERISTICS (TYPICAL)



SWITCHING TIME (ton, toff) CHARACTERISTICS (TYPICAL)

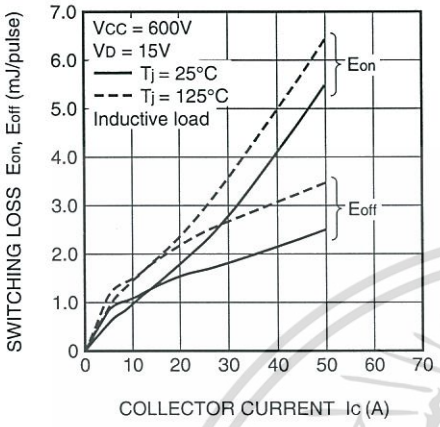


SWITCHING TIME (tc(on), tc(off)) CHARACTERISTICS (TYPICAL)

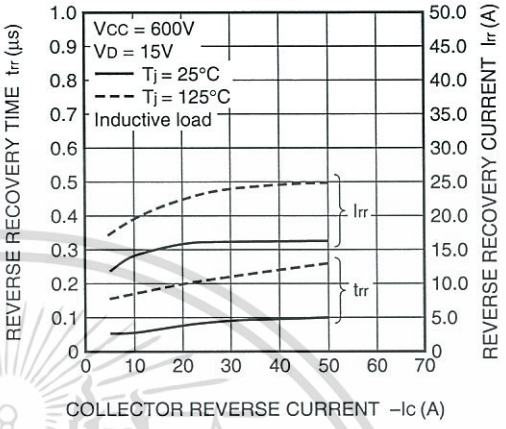


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

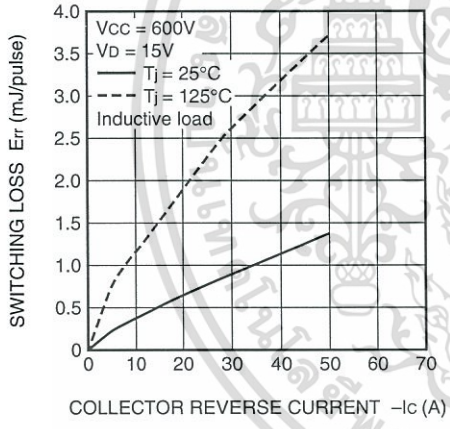
SWITCHING LOSS CHARACTERISTICS (TYPICAL)



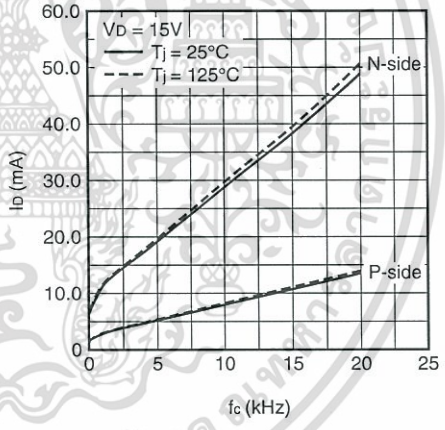
DIODE REVERSE RECOVERY CHARACTERISTICS (TYPICAL)



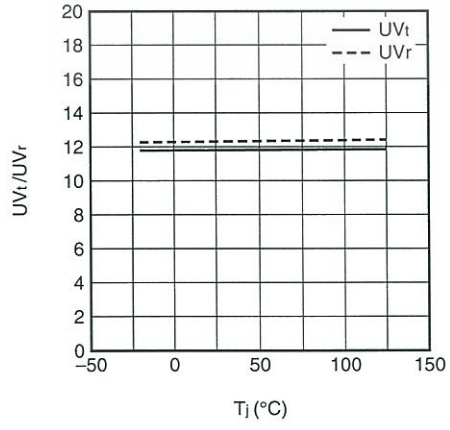
SWITCHING RECOVERY LOSS CHARACTERISTICS (TYPICAL)



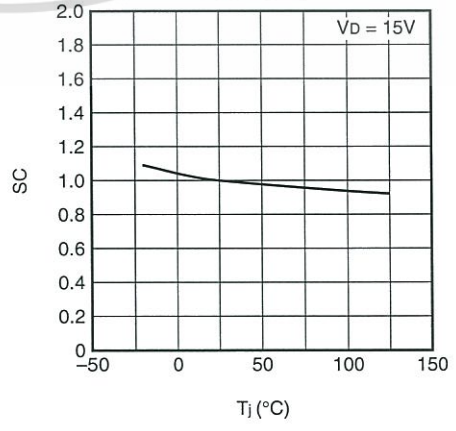
ID VS. fc CHARACTERISTICS (TYPICAL)



UV TRIP LEVEL VS. Tj CHARACTERISTICS (TYPICAL)



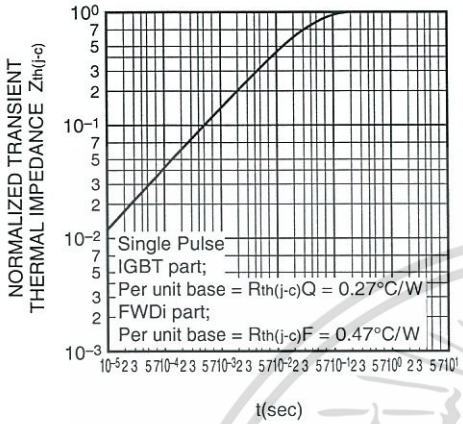
SC TRIP LEVEL VS. Tj CHARACTERISTICS (TYPICAL)



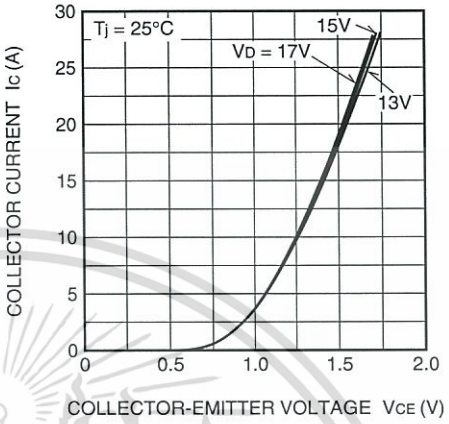
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Brake Part)

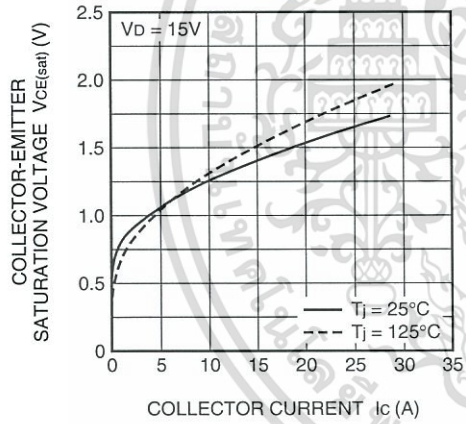
TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



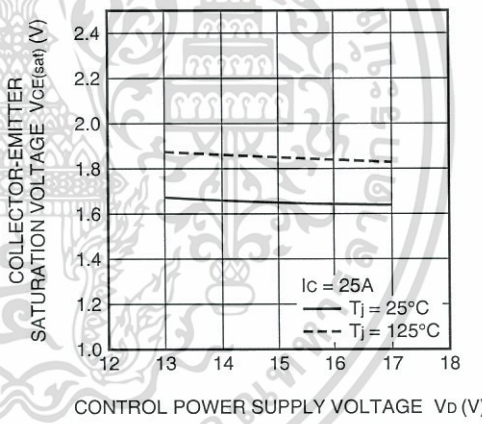
OUTPUT CHARACTERISTICS (TYPICAL)



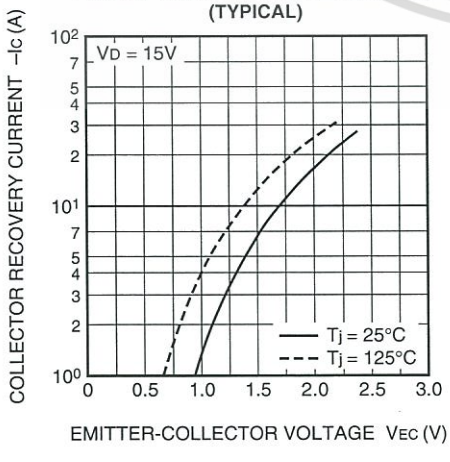
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE (VS. Ic) CHARACTERISTICS (TYPICAL)



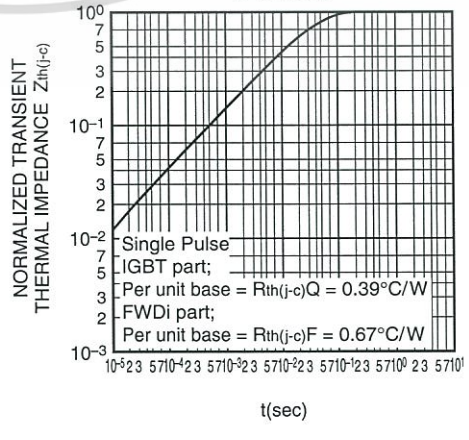
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE (VS. VD) CHARACTERISTICS (TYPICAL)



DIODE FORWARD CHARACTERISTICS (TYPICAL)



TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย คณิศร ทวะชาลี
วัน/เดือน/ปีเกิด 30 มิถุนายน 2538
3/51 ถ.บรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล
Email: karnmavev36@gmail.com



นาย ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล
วัน/เดือน/ปีเกิด 12 สิงหาคม 2539
1449 ม.6 ต.สำโรงเหนือ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวชิรธรรมสาธิต
Email: nattahaphong@hotmail.com



นาย ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล
วัน/เดือน/ปีเกิด 17 มีนาคม 2539
59/209 ถ.รามอินทรา103/1 เขต/แขวง คันนายาว กรุงเทพมหานคร 10230
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒
Email: tanawat3962@gmail.com



นาย ธนายง ตติวรรณรัตน์
วัน/เดือน/ปีเกิด 7 กุมภาพันธ์ 2539
11 ซ.6 ถ.ศรีสมุทร ต.ปากน้ำ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 12700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีสมุทรปราการ
Email: thanayong.t@hotmail.com



นางสาว รุ่งฤทัย รสหอม
วัน/เดือน/ปีเกิด 21 มีนาคม 2538
19/3 ม.7 ถ.เลียบคลองแปด ต.ลำลูกกา อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบวิทยาลัย
Email: roshom_thaieye@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้