

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับแหล่งจ่าย  
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

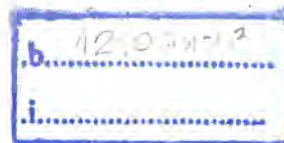
**A DC-DC MULTILEVEL CONVERTER FOR DC MICROGRID APPLICATIONS**



T104046



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....104046  
วัน,เดือน,ปี..... 28 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ปีการศึกษา 2551**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับแหล่งจ่าย  
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

A DC-DC MULTILEVEL CONVERTER FOR DC MICROGRID APPLICATIONS



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุรินทร์ คำฝอย

รศ. ประภาศ ไพรสุวรรณ

ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับ  
แหล่งจ่ายระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

- 
1. นายธนัท ยงวิจิตรกุล
  2. นายธันว์ วิตนากร
  3. นายชิต ไชยเทพ

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ประภาศ ไพรสุวรรณ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา )  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับแหล่งจ่าย  
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

นาย ธนัท ยงวิจิตรกุล

นาย ธีรวิ วิตนาการ

นาย ธิติ ไชยเทพ

รศ. ประภาศ ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์เสัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

**บทคัดย่อ**

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโดยปราศจากตัวเหนี่ยวนำ เป็นวงจรที่สามารถเพิ่ม/ลด ระดับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยเลือกวงจรแปลงผันหลายระดับชนิดแยกส่วน (โมดูล) ทำให้วงจรมีรูปแบบการสวิตช์ที่ง่าย ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา แต่วงจรจะใช้สวิตช์ในการทำงานจำนวนมาก โดยบทความนี้ได้ประยุกต์ใช้วงจรดังกล่าวให้เหมาะสมในการเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบดีซีไมโครกริด และได้ศึกษาวงจรจำลองการทำงานโดยอาศัยโปรแกรม Power Simulation เพื่อยืนยันหลักการที่ได้นำเสนอ

# A DC-DC MULTILEVEL CONVERTER FOR DC MICROGRID APPLICATIONS

Thanat Yongvijitkul

Than Wittanakorn

Thiti Chaitep

Assoc.Prof. Prapart Paisuwanna Advisor

Dr. Surin Khomfoi Advisor

Asst.Prof.Dr. Supat Kittiratsatcha Advisor

2008

## ABSTRACT

A 1.5 KW modular inductorless dc-dc converter is presented in this thesis. The proposed dc-dc converter can step up and step down output voltage as dc transformer function by using a duplicated switching module. This can lead to a simple switching function, compact design, and light weight; however, the proposed dc-dc converter consists of many power switching devices. The suitable application of the proposed dc-dc converter proposed in this thesis is a dc microgrid. The simulation study ,used Power Simulation, and experimental results are performed in order to confirm the proposed methodology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในโครงการฉบับนี้ เป็นโครงการที่ศึกษาเกี่ยวกับ วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยสมาชิกผู้จัดทำรู้สึก เป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้ ดร. สุรินทร์ คำฝอย และ รศ. ประภาศ ไพรสุวรรณ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำ แนวทางในการทำโครงการ แหล่งข้อมูล ทางด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนถามไถ่ถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และคอยให้คำปรึกษา มาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการขึ้นนี้ ซึ่งทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่งที่ให้โอกาสผู้จัดทำ ได้ทำโครงการขึ้นนี้ขึ้นมา และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรม และจริยธรรมให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ผู้จัดทำ ขอขอบคุณ นาย ฉัตรชัย เอมสะอาด (พีมีลค์) ที่คอยให้คำปรึกษาดีๆ แนะนำแนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนความรู้ใหม่ที่นอกเหนือจากภายในห้องเรียน ขอขอบคุณ คุณป้าแม่บ้านตึก ECC ทุกท่านที่ช่วยให้กำลังใจในการทำโครงการ โดยถามไถ่ถึงโครงการมาโดยตลอด ขอขอบคุณ เพื่อนๆกลุ่มโปรเจก Renewable Energy Application Laboratory (REAL LAB) ปีการศึกษา 2551 ทุกท่าน ที่สร้างบรรยากาศที่ดีในการทำโครงการ ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ต่างๆ และน้ำใจที่มีให้แกกัน ขอขอบคุณ เพื่อนๆกลุ่มโปรเจกพร้อมห้อง ECC-406 ที่ช่วยสร้างสีสันในการทำงานไม่ให้บรรยากาศตึงเครียด ขอขอบคุณ บริษัท สยามจีเอสเบตเตอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เบตเตอร์จำนวน 10 ลูก ในการทำโครงการ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับปริญญาดุษฎี (IRPUS) ประจำปี 2551 และ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยของผู้จัดทำมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลทั้งสองผู้มีพระคุณอันยิ่งใหญ่ คอยพร่ำสอนวิชาความรู้ คุณธรรม จริยธรรม การใช้ชีวิตในสังคม และให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 แผนผังโครงการที่ได้ดำเนินการ.....	4
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 วงจรแปลงแรงดันไฟตรง.....	6
2.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับ.....	11
2.3 หลักการทำงานของวงจร MMCCC.....	14
2.4 วงจร MMCCC โหมดแปลงแรงดันลง.....	16
2.5 วงจร MMCCC โหมดแปลงแรงดันขึ้น.....	19
2.6 การประยุกต์ใช้วงจร MMCCC สำหรับตีชีไม่โครกริด.....	23
บทที่ 3 บทบาทของอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อพลังงานไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงาน.....	25
3.1 บทนำ.....	25
3.1.1 ลดการใช้พลังงาน.....	25
3.1.2 การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ.....	26
3.1.3 การใช้พลังงานทดแทน.....	26
3.2 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	27
3.2.1 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	28
3.2.2 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบขับเคลื่อน.....	28
3.2.3 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	29
3.2.4 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า.....	29
3.2.5 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบขนส่ง.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.6 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบพลังงานทดแทน.....	32
3.2.7 อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	34
3.3 สรุป.....	34
บทที่ 4 การออกแบบและสร้าง.....	35
4.1 วงจรควบคุม.....	36
4.1.1. ไอซีเบอร์ TL494 (TL494).....	36
4.1.2. ไอซีเบอร์ TLP250 (TLP250).....	38
4.2 วงจรกำลัง.....	40
4.2.1. ตัวเก็บประจุ.....	41
4.2.2. อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง.....	42
4.2.3. รีเลย์กำลัง.....	44
4.3 วงจรเรียงกระแส.....	46
4.3.1. เบรกเกอร์ตัดไฟ.....	46
4.3.2. ไดโอดเรียงกระแส.....	47
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	49
5.1 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	49
5.1.1. โหมดแปลงแรงดันลง.....	49
5.1.2. โหมดแปลงแรงดันขึ้น.....	51
5.1.3. สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	52
5.2 ผลการทดลองวงจรจริง.....	53
5.2.1. ผลการทดลองสัญญาณควบคุม.....	54
5.2.2. ผลการทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะ No-Load.....	55
5.2.3. ผลการทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะมีภาระทางไฟฟ้า.....	56
5.2.4. สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2.5. ผลจากกระแสไฟฟ้ากระแสเพื่อม.....	59
5.2.6. สรุปผลจากกระแสไฟฟ้ากระแสเพื่อม.....	61
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	62
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65
TL494.....	66
CD4049UB,CD4050B.....	71
TLP250.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460PBF .....	82
HGTG20N60B3D .....	86
ULN2003AP .....	89
G8P-1A4P .....	94
HCGF5A .....	98
โปสเตอร์นำเสนอผลงาน .....	101
เอกสารการประชุมทางวิชาการ IRPUS ประจำปี 2551 .....	102
ประวัติผู้เขียน .....	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1	วงจรแปลงแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมป์ 5 ระดับ ..... 7
ภาพที่ 2.2	แผนผังเวลาการสวิตช์ซิงของวงจรแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมป์หลายระดับ ..... 8
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง ..... 11
ภาพที่ 2.4	วงจรอย่างง่ายของวงจร MMCCC ซึ่งใช้แผนผังการสวิตช์ซิงของวงจรชุดแปลงแรงดันไฟตรงชนิดทั่วไป ..... 13
ภาพที่ 2.5	แผนผังเวลาการสวิตช์ซิงของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับชนิดแยกส่วน ..... 15
ภาพที่ 2.6	โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันลง ..... 16
ภาพที่ 2.7	ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 1 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 1 ..... 17
ภาพที่ 2.8	ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 2 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 2 ..... 18
ภาพที่ 2.9	โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันขึ้น ..... 19
ภาพที่ 2.10	ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 1 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 1 ..... 20
ภาพที่ 2.11	ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 2 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 2 ..... 21
ภาพที่ 2.12	การประยุกต์ใช้ MMCCC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบดีซีไมโครกริด ..... 23
ภาพที่ 2.13	ตัวอย่างระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรง ..... 23
ภาพที่ 3.1	ภาพวาดรณรงค์การประหยัดพลังงาน ..... 25
ภาพที่ 3.2	ด้านขวาเป็น LED ที่ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดฮาโลเจน ที่ใช้กำลังเพียง 1.25 W จากเดิมที่หลอดฮาโลเจนใช้ 20 W ..... 26
ภาพที่ 3.3	เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม อุปกรณ์แปลงผันพลังงานธรรมชาติให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ..... 27
ภาพที่ 3.4	การแปลงผันพลังงานระหว่างรูปแบบต่าง ๆ ทางไฟฟ้า ..... 27
ภาพที่ 3.5	วงจรอย่างง่ายสำหรับหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ และหลอด CFL ..... 28
ภาพที่ 3.6	วงจรกำลังสำหรับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ..... 29
ภาพที่ 3.7	วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังและรูปคลื่นกระแส ..... 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3.8 ระบบไฟฟ้าที่ต่อวงจรรองรับแบบแอกตีฟขนานกับโหลด.....	30
ภาพที่ 3.9 รถยนต์แบบ Toyota Prius ที่เป็นรถยนต์แบบไฮบริดริคจ์.....	31
ภาพที่ 3.10 รถไฟฟ้า TGV และ Mag-lev.....	31
ภาพที่ 3.11 ระบบใบพัดเรือเดินทะเลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์.....	31
ภาพที่ 3.12 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ความคุมรณ Shinkansen.....	32
ภาพที่ 3.13 ระบบพลังงานแสงแดดที่ต่อเข้ากริด.....	32
ภาพที่ 3.14 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต่อกับเครื่องกำเนิดแรงดันแบบ Single Double Fed.....	33
ภาพที่ 3.15 เซลล์เชื้อเพลิงแหล่งพลังงานต้นทางในอนาคต.....	33
ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์กำลังที่แปลงผันแรงดันจาก FC.....	34
ภาพที่ 4.1 วงจร MMCCC เพิ่ม/ลดทอน แรงดันไฟฟ้าได้ภายในวงจรเดียวกัน โดยอาศัยการสับสวิตซ์รีเลย์.....	35
ภาพที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมวงจรไอซีเบอร์ TL494 และไอซี UN4049.....	36
ภาพที่ 4.3 แผนผังเวลาการทำงาน (Time Diagram) ของไอซีเบอร์ TL494.....	37
ภาพที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรไอซีเบอร์ TLP250.....	38
ภาพที่ 4.5 วงจรควบคุมจริง.....	39
ภาพที่ 4.6 วงจรควบคุมจริงต่อเข้ากับชุดวงจรกำลัง.....	39
ภาพที่ 4.7 การสับสวิตซ์รีเลย์ (K1 OFF, K2 ON) ในโหมดแปลงแรงดันลง.....	40
ภาพที่ 4.8 การสับสวิตซ์รีเลย์ (K1 ON, K2 OFF) ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....	40
ภาพที่ 4.9 ลักษณะตัวเก็บประจุที่ใช้ในโครงการ.....	41
ภาพที่ 4.10 ตัวเก็บประจุที่ต่อกับวงจรกำลังจริง.....	41
ภาพที่ 4.11 แผนผังวงจร IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D.....	42
ภาพที่ 4.12 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของวงจร IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D.....	43
ภาพที่ 4.13 IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D จากวงจรกำลังจริง.....	43
ภาพที่ 4.14 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของ รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P.....	44
ภาพที่ 4.15 รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P จากวงจรกำลังจริง.....	44
ภาพที่ 4.16 ชุดวงจรกำลังจริง.....	45
ภาพที่ 4.17 วงจรกำลังจริงเสร็จสมบูรณ์.....	45
ภาพที่ 4.18 บล็อกไดอะแกรมวงจรเรียงกระแส.....	46
ภาพที่ 4.19 เบรกเกอร์ตัดไฟ (Switch Breaker).....	46
ภาพที่ 4.20 ไตโอดเรียงกระแส (Bridge Rectifier).....	47
ภาพที่ 4.21 วงจรเรียงกระแสเสร็จสมบูรณ์.....	47

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.22 วงจร MMCCC จริงที่เสร็จสมบูรณ์.....	48
ภาพที่ 5.1 การจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM ในโหมดแปลงแรงดันลง.....	49
ภาพที่ 5.2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง.....	50
ภาพที่ 5.3 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง.....	50
ภาพที่ 5.4 การจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....	51
ภาพที่ 5.5 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง.....	51
ภาพที่ 5.6 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....	52
ภาพที่ 5.7 การทำงานของวงจรในสภาวะจริง.....	53
ภาพที่ 5.8 แรงดันไฟตรงอินพุต 104.8V ผ่านวงจร MMCCC ได้แรงดันไฟตรง เอาต์พุต 312.3V.....	53
ภาพที่ 5.9 สัญญาณควบคุมที่ได้จากไอซีเบอร์ CD4049 และสัญญาณควบคุมจาก ไอซีเบอร์ TLP250 ตามลำดับ (สัญญาณอินเฟส).....	54
ภาพที่ 5.10 สัญญาณควบคุมที่ได้จากไอซีเบอร์ CD4050 และไอซีเบอร์ CD4049 ตามลำดับ (สัญญาณกลับเฟส).....	54
ภาพที่ 5.11 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตในสภาวะ ไม่มีภาระทางไฟฟ้า (No-Load).....	55
ภาพที่ 5.12 สภาวะขณะจ่ายภาระทางไฟฟ้า.....	56
ภาพที่ 5.13 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 200W.....	56
ภาพที่ 5.14 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 400W.....	57
ภาพที่ 5.15 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 600W.....	57
ภาพที่ 5.16 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 800W.....	58
ภาพที่ 5.17 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมในแต่ละชุดวงจรกำลัง.....	59
ภาพที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลจากกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมในแต่ละชุดวงจรกำลัง .....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1	แนวทางในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน.....9
ตารางที่ 2.2	ตารางเปรียบเทียบแผนผังการสวิตช์ซึ่งในสภาวะคงตัว (Steady State)..... 13
ตารางที่ 2.3	ตารางแผนผังการสวิตช์ซึ่งในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร MMCCC..... 14
ตารางที่ 2.4	ตารางแสดงคุณสมบัติ และข้อเปรียบเทียบระหว่างวงจร FCMDC และวงจร MMCCC.....22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในพื้นที่ชนบทหรือพื้นที่ห่างไกลทำให้เกิดอุปสรรคในการติดตั้งการส่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบหรือไม่คุ้มค่าต่อลงทุนติดตั้งเพื่อไปป้อนให้กับพื้นที่ดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก (ไมโครกริด) ขึ้นเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพื้นที่นั้นๆ โดยอาศัยแหล่งพลังงานทดแทนตามความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เช่น แสงแดด, ลม, ความร้อน, น้ำตก และเขื่อนขนาดเล็ก เป็นต้น ซึ่งถ้าไม่สามารถหาแหล่งพลังงานทดแทนได้ก็ต้องอาศัยพลังงานจากเชื้อเพลิงเช่น ก๊าซ หรือน้ำมัน จึงจำเป็นจะต้องมีการเชื่อมโยงแหล่งพลังเหล่านั้นเข้าด้วยกัน ระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่าระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดีของระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงคือ มีความสะดวกในการเชื่อมโยง เนื่องจากไม่มีความถี่มาเกี่ยวข้อง เหมาะสมกับแหล่งพลังงานทดแทนที่มีการแกว่งตัวอยู่บ่อยๆ สามารถเก็บพลังงานสำรองได้โดยง่าย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานการจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้เซลล์พลังงานและเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ
2. ลดจำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องนำมาอนุกรมกันในระบบแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง
3. เพื่อเป็นแรงจูงใจในการใช้พลังงานทดแทนเนื่องจากการใช้ไฟฟ้าต้องเสาะหาหรือสร้างโรงจักรไฟฟ้าเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและมลภาวะทางอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้
4. ข้อมูลที่ได้จากการทำวิจัยนี้อาจจะนำไปสู่การสร้างมาตรฐานระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กในอนาคต
5. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่จะพัฒนาประเทศไทยต่อไปในอนาคต

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1. จัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด โดยงานวิจัยนี้จะเน้นวงจรแปรผกผันแรงดันไฟตรงเป็นไฟตรงหลายระดับแบบแยกส่วยใช้ตัวเก็บประจุเป็นหลัก รวมถึงการประยุกต์ใช้วงจรแปลงแรงดันไฟตรงเป็นไฟตรงหลายระดับโดยตัวเก็บประจุกับไมโครกริดด้วย
2. จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด รวมทั้งศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด
3. ทดสอบอุปกรณ์แปรผกผันแรงดันไฟตรงเป็นไฟตรงหลายระดับแบบแยกส่วนที่สร้างขึ้น
4. จัดทำสรุปขั้นตอนและการทำและสรุปผลการทดลองรวมทั้งบันทึกค่าที่ได้เพื่อนำเสนอต่ออาจารย์สำหรับวิชาโครงการนักศึกษาในระดับปริญญาตรีต่อไป

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

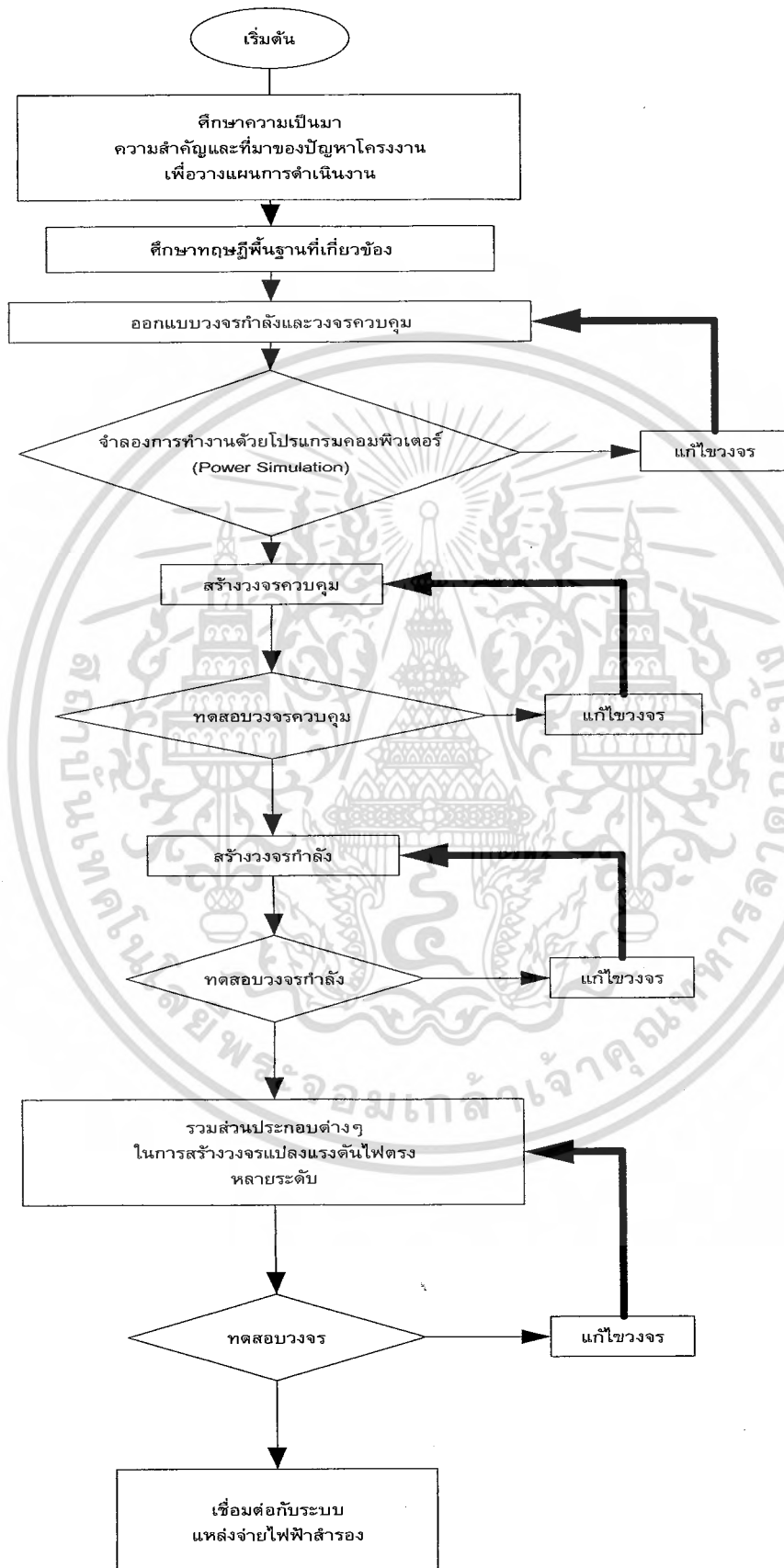
1. ศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาโครงการงาน วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของโครงการงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานในการสร้างวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ (Multilevel Modular Capacitor Clamp Convertor, MMCCC) ได้แก่ ทฤษฎีวงจรฟลายอิงคาปาซิเตอร์คอนเวอร์เตอร์ (Flying Capacitor Converter) ทฤษฎีการส่งผ่านพลังงาน 2 ทิศทาง (Bi-Directional Isolate DC/DC Converter) เป็นต้น
3. ทฤษฎีวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ (Multilevel Modular Capacitor Clamp Convertor, MMCCC) เป็นการอธิบายโครงสร้าง ลักษณะการทำงานของวงจรในโหมดแปลงแรงดันขึ้น และโหมดแปลงแรงดันลง
4. จำลองการทำงานของวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSIM (Power Simulation)
5. ออกแบบและสร้างวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ (Multilevel Modular Capacitor Clamp Convertor, MMCCC) เพิ่ม/ลดแรงดันไฟตรง 3 ระดับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบดีซีไมโครกริด
6. ผลการทดสอบการทำงานของวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ และประเมินผลการทดสอบที่ได้
7. สรุปผลการวิจัย หากจุดบกพร่องเพื่อการแก้ไขต่อไป

### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	เดือนที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. ศึกษาข้อมูลวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ	■	■								
2. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์ในงานวิจัย		■	■	■						
3. ออกแบบและสร้างวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ		■	■	■	■	■	■			
4. สร้างวงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุและบันทึกราคา		■	■	■	■	■	■	■	■	
5. บันทึกราคา สรุปผลงานวิจัย เสนอโครงการ		■	■	■						■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 แผนผังโครงการที่ได้ดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการโครงการ

1. โครงการวิจัยนี้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงแรงดันไฟตรงเป็นไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ และการออกแบบระบบการเก็บพลังงานที่เหมาะสมโดยพิจารณาถึงลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานและเซลล์แสงอาทิตย์ในการประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. โครงการวิจัยนี้จะส่งผลในการสร้างแรงจูงใจให้ผู้บริโภคไฟฟ้าหันมาใช้ระบบจ่ายไฟขนาดเล็กด้วยพลังงานทดแทน ระบบโดยรวมมีต้นทุนที่ต่ำลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อันเนื่องมาจากค่าที่เหมาะสมของระบบจะต้องเสถียรด้วย
3. โครงการวิจัยนี้เป็นบูรณาการของวิทยาการด้านต่าง ๆ คือ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ทฤษฎีทางระบบควบคุม, การประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงแรงดันไฟตรงเป็นไฟตรงหลายระดับโดยใช้ตัวเก็บประจุ และวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังเข้าด้วยกันซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ศึกษา และทำการวิจัยในสาขาดังกล่าว
4. ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยโครงการนี้จะนำไปสู่การสร้างมาตรฐานระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วงจรแปลงแรงดันไฟตรง (DC/DC Converter)

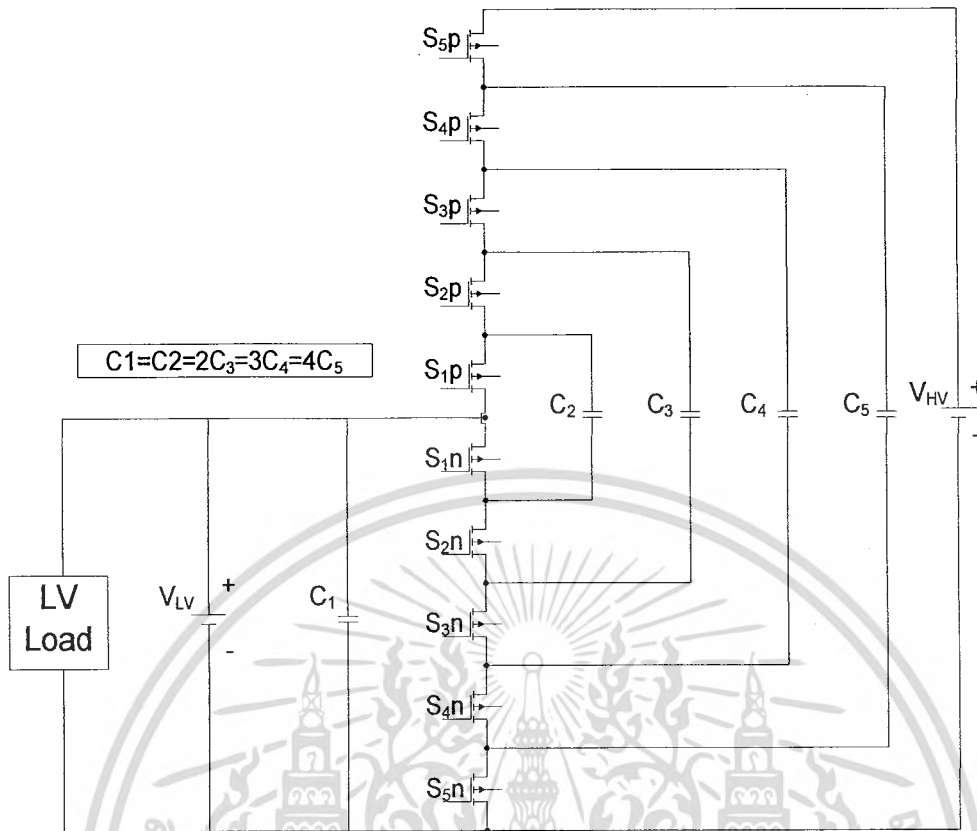
วงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับ (Multilevel DC/DC Converters) เป็นวงจรที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพในการแปลงรูปพลังงานสูง ข้อดีของวงจรแปลงหลายระดับ คือ ความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกต่ำ, การแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference ,EMI) ต่ำ และแรงดันไฟฟ้าดิ่งเครียดในอุปกรณ์ต่ำ โดยวงจรจะต้องมีเงื่อนไขที่ว่าวงจรต้องยกระดับมากกว่า 2 ระดับขึ้นไป วงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับ มีอยู่ด้วยกันหลายประเภทซึ่งได้รับการพัฒนาต่อกันมา เช่น วงจรควบคุมส่งผ่านกำลังสองทิศทาง (Bi-Directional DC/DC Converter) ซึ่งเป็นวงจรที่สร้างความสำเร็จให้กับระบบไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Electric) หรือ ระบบขับเคลื่อนกำลังไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell-Powered Automobile Power Systems)

วงจรแปลงแรงดันไฟตรงหลายระดับ ประเภทต่างๆ ก็มีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกันไป หนึ่งในนั้นที่จะกล่าวถึง คือ วงจรแปลงแรงดันโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมป์ (Capacitor-Clamped Converters) ซึ่งแบ่งเป็นหมวดใหญ่ๆได้ออกเป็น 2 หมวด ได้แก่

1. วงจรแปลงแรงดันอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel Converter ,SPC)
2. วงจรแปลงแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมป์หลายระดับ (Flying Capacitor Multilevel DC/DC Converter ,FCMDC)

ซึ่งโดยปกติแล้ววงจร SPC มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ความสมดุลระหว่างแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (Capacitors) ที่ใช้ในวงจร เมื่อตัวเก็บประจุทั้งหมดเชื่อมต่อกันเป็นอนุกรมในระหว่างช่วงเวลาชาร์จประจุ จำนวนของตัวเก็บประจุในวงจรจะแสดงถึงจำนวนระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และวงจรจะถูกควบคุมโดยอัตราส่วน เพิ่ม/ลด ตามที่ต้องการ ดังนั้นหากวงจรแปลงแรงดัน มี 5 ระดับ จะต้องมิตัวเก็บประจุอย่างน้อย 5 ตัว เชื่อมต่ออนุกรมกันในระหว่างช่วงชาร์จประจุ หากชาร์จประจุในสภาวะไม่คงตัว (Unstable) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์แต่ละตัวไม่เท่ากัน ในที่นี้ใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง ทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ตำแหน่งบนสุดจะได้รับแรงดันไฟฟ้ามากกว่าทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ตำแหน่งล่างสุด หากว่าเป็นวงจรแปลงแรงดัน 5 ระดับ ผลต่างแรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ตำแหน่งบนสุดมากกว่าทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ตำแหน่งล่างสุดอยู่เป็นจำนวน 4 เท่า ดังนั้น วงจร SPC จึงไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มตัวเก็บประจุเพื่อให้ช่วงชาร์จประจุคงที่

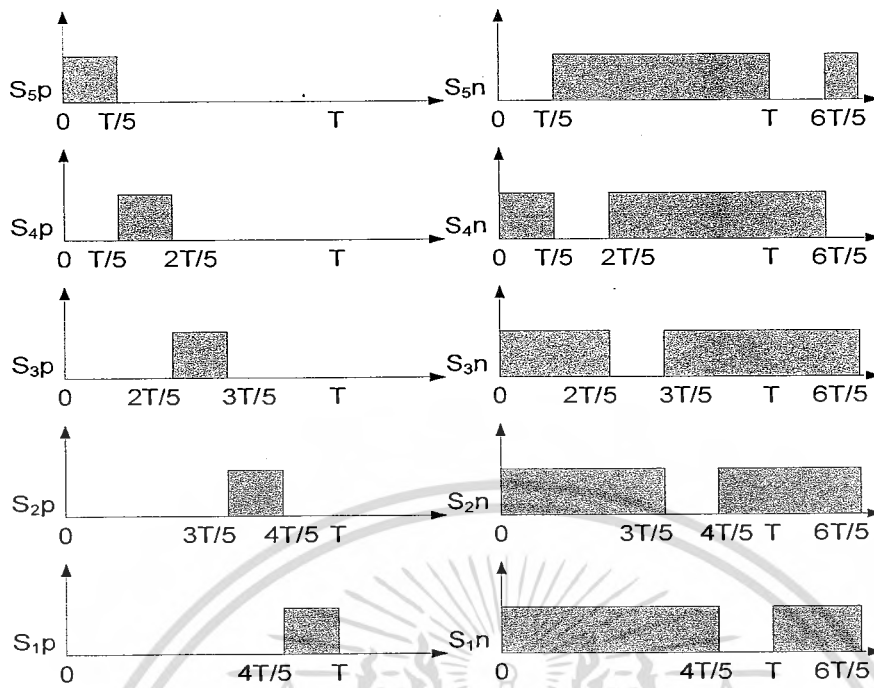
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 วงจรแปลงแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมปี 5 ระดับ (Flying Capacitor 5 level DC/DC)

ภาพที่ 2.1 แสดงวงจรแปลงแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมปี 5 ระดับ ซึ่งได้ใช้วงจร FCMDC ในงานระบบขับเคลื่อนยานพาหนะให้เห็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น ยานพาหนะระบบไฟฟ้าแบบไฮบริด (Hybrid Electric Vehicles) เพื่อควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสแรงดันไฟฟ้า (Bus Voltage) ที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกัน แต่วงจร FCMDC มีข้อจำกัดบางอย่าง เช่น วงจรไม่มีโครงสร้างที่สามารถแยกออกจากกันได้ (Modular) ด้วยเหตุนี้วงจร FCMDC จึงไม่สามารถขยายหรือลดจำนวนระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างสะดวก นอกจากนี้วงจรยังมีความซับซ้อนในการควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง (ทรานซิสเตอร์)

เพื่อความเข้าใจง่ายในการอธิบายการทำงานของวงจร จะพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage) ไปยังแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low Voltage) และ ภาระทางไฟฟ้า (Load) ที่เชื่อมต่ออยู่



ภาพที่ 2.2 แผนผังเวลาการสวิตช์ซึ่งของวงจรแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อ  
แคลมป์หลายระดับ (Flying Capacitor Multilevel DC/DC Converter ,FCMDC)

ภาพที่ 2.2 แสดงแผนผังเวลาการสวิตช์ซึ่งของวงจรแรงดันฟลายอิงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อแคลมป์หลายระดับ โดยการทำงานในเวลา 1 ไซเคิล (Cycle Time) ในทุกๆช่วงเวลาตัวเก็บประจุทุกตัวจะมีการสะสมพลังงาน โดยอาศัยวงจรภาพที่ 2.1 ในการอธิบาย แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะปล่อยพลังงานเข้ามาสะสมในตัวเก็บประจุ  $C_5$  และหลังจากนั้นตัวเก็บ-ประจุ  $C_5$  ปล่อยพลังงานเข้ามาสะสมในตัวเก็บประจุ  $C_4, C_3, C_2, C_1$  ตามลำดับสุดท้ายพลังงานสะสมถูกปล่อยออกทางด้านเอาต์พุต (Output) ของวงจร FCMDC ซึ่งการส่งถ่ายพลังงานเข้าตัวเก็บประจุแต่ละตัว สุดท้ายที่ไหลลงจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะอาศัยเวลาในการสวิตช์ซึ่งดังแสดงในภาพที่ 2.2

จากรูปวงจรที่ 2.1 ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์  $S_{np}$  และ ทรานซิสเตอร์  $S_{nn}$  โดยทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะมีโหมดการสวิตช์ที่แตกต่างกัน ดูได้จากเวลาขาขึ้นและเวลาขาลงเทียบกับเวลาที่อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งทำงานและไม่ทำงาน (Time ON, OFF) หากวงจรแปลงแรงดันไฟตรง N ระดับ อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งก็จะทำงานที่เวลา  $1/N$  สังเกตได้จากทรานซิสเตอร์  $S_{np}$  เวลาขาลงจะเป็นเวลาขาขึ้นให้กับทรานซิสเตอร์  $S_{np}$  อีกตัวตามลำดับไปเรื่อยๆจนครบเวลา 1 ไซเคิล ส่วนทรานซิสเตอร์  $S_{nn}$  จะมีโหมดการสวิตช์ซึ่งตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์  $S_{np}$  ( $S_{np}$  ON  $S_{nn}$  OFF ,  $S_{np}$  OFF  $S_{nn}$  ON)

ผลจากการสวิตช์ซึ่งที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะทำให้ความถี่กระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันไฟตรงด้านเอาต์พุต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery) เกิดความร้อนสะสมภายใน

เซลล์สุ่งขึ้น ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง นี่คือนสาเหตุสำคัญที่ทำให้วงจร FCMDC ไม่สามารถทำงานที่สวิตช์ซึ่งความถี่สูงได้เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนั้น ยังมีผลที่เกิดจากแรงดันไฟตก (Voltage Drop) ที่อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งหรือไดโอด (Diode) ภายในวงจรแปลงแรงดันไฟตรง

จากตัวอย่างวงจรในภาพที่ 2.1 วงจร FCMDC 5 ระดับนี้ อุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง/ไดโอด จะแสดงถึงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และบ่งบอกว่าอุปกรณ์สามารถที่จะรับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมมากน้อยเพียงใด หากใช้งานในสภาวะที่ต้องจ่ายภาระไฟฟ้ากำลังสูง ดังนั้น สิ่งที่ต้องแก้ไขในเบื้องต้น คือ วงจร เช่น ความสำคัญในต่ออุปกรณ์ที่จะส่งผลต่อเสถียรภาพแรงดันไฟตรง เพื่อลดกำลังความสูญเสีย (Power Loss) ภายในวงจรลงได้

ข้อเสียของวงจร FCMDC ในกรณีที่ไม่สามารถทนต่อความล้มเหลวของระบบที่เกิดขึ้น (Fault) จากรูปวงจรภาพที่ 2.1 เป็นวงจร FCMDC 5 ระดับ ประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์จำนวน 10 ตัว หากว่าทรานซิสเตอร์บางตัวในจำนวนเกิดความเสียหาย วงจร FCMDC นี้ก็จะไม่สามารถทำงานต่อได้ เนื่องจากโครงสร้างภายนอกของวงจรไม่สามารถแยกส่วนออกจากกันได้

ตารางที่ 2.1 แนวทางในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน

กรณี	อัตราส่วนของแรงดันไฟแบตเตอรี่	ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า	ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากด้านสูงไปด้านต่ำ	ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากด้านต่ำไปด้านสูง
1	>5	สูงไปหาต่ำ	เป็นไปไม่ได้	เป็นไปไม่ได้
2	<5	ต่ำไปหาสูง	เป็นไปไม่ได้	เป็นไปไม่ได้

จากตารางที่ 2.1 แสดงการตอบสนองเมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟสูงไปยังแบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟต่ำ ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จุดสิ้นสุดทั้ง 2 ตำแหน่ง ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟสูงมากกว่า 5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟต่ำ กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านจากด้านแรงดันไฟสูงไปสู่ด้านแรงดันไฟต่ำ ในลักษณะเดียวกัน ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟสูงต่ำกว่า 5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟต่ำ กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านจากด้านแรงดันไฟต่ำไปสู่ด้านแรงดันไฟสูง จากคุณสมบัติของทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถทำนายความสามารถของระบบการจัดการควบคุมการส่งผ่านกำลังสองทิศทาง (Bidirectional Power Management System) เมื่อทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ดังเช่น ตารางที่ 2.1 เป็นการรวมเอากรณีที่เป็นไปไม่ได้เมื่อวงจรแปลงแรงดันไฟตรงด้วยอัตราส่วนการแปรรูปพลังงาน โดยการพิสูจน์ข้อเท็จจริงในการควบคุมการส่งผ่านกำลังสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

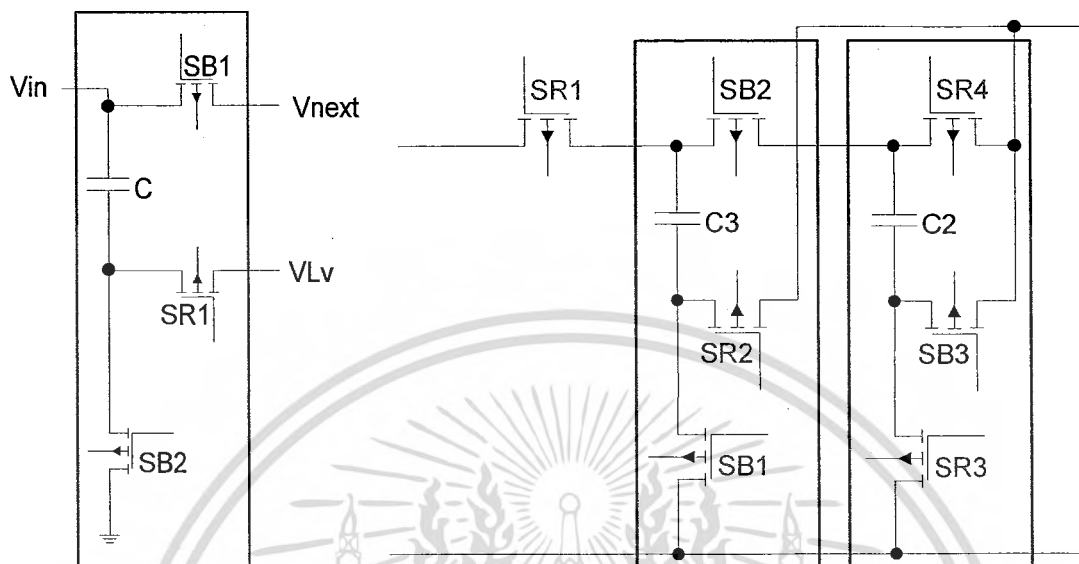
ในการทำงานของระบบขับเคลื่อนยานพาหนะ แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จุดสิ้นสุด 2 ตำแหน่ง สามารถเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการแปรรูปพลังงานได้ในขอบเขตที่กว้าง การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอาจส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเป็นไปในทางเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

ดังนั้น ข้อจำกัดโดยทั่วไปของวงจร (Flying Capacitor Multilevel DC/DC Converter ,FCMDC) สามารถสรุปได้ดังนี้ :

1. โครงสร้างวงจรไม่สามารถแยกส่วนจากกันได้
2. แผนผังเวลาการสวิตช์ซึ่งทำได้ยากและมีความซับซ้อน
3. การทำงานช่วงความถี่สูงทำได้ยากเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟกระเพื่อม (Ripple)
4. แรงดันไฟตกคร่อมใน อุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง/ไดโอด มากเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมในแบตเตอรี่ ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง
5. ปราศจากการจัดการควบคุมการส่งผ่านกำลังสองทิศทาง
6. ไม่มีความสามารถในการกำจัดความล้มเหลวของระบบ (Fault) โดยอ้อม (By Pass)

วงจรแปลงแรงดันไฟตรงที่ใช้ตัวเก็บประจุต่อแบบแคลมป์ (Capacitor-Clamped Converter) หรือ วงจรแปลงแรงดันไฟตรงที่ใช้ไดโอดต่อแบบแคลมป์ (Diode Clamped Converter) ชนิดอื่นๆ ก็มีลักษณะเดียวกันกับวงจร FCMDC เช่น วงจร Neutral Point Clamped Converter (NPC) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ทฤษฎีวงจร NPC โดยแท้จริงแล้ว คือ วงจร Inverters และไม่ใช่วงจร DC/DC Converter หลังจากที่ได้ตรวจสอบ และศึกษาในรายละเอียด ทำให้ได้พบทฤษฎีของวงจรแปลงแรงดันไฟตรงที่ใช้ตัวเก็บประจุต่อแบบแคลมป์ ต่างๆมากมาย ที่ไม่เป็นไปตามอุดมคติสำหรับการใช้งานในกำลังไฟฟ้าสูง ทำให้ทราบว่าวงจร FCMDC มีความเหมาะสมกว่าสำหรับการใช้งานในกำลังไฟฟ้าต่ำ

## 2.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับ (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC)



(ก) โครงสร้างที่สามารถแยกส่วน

(ข) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) โดยทั่วไปมีโครงสร้างแบบแยกส่วนจากกันได้ (Modular) และสามารถที่ออกแบบวงจรโดยไม่จำกัดอัตราการผลิตรูปพลังงานในโครงสร้างที่สามารถแยกส่วนแต่ละบล็อกมีตัวเก็บประจุ 1 ตัว และอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง 3 ตัว ทำให้เกิดตำแหน่งร่วมกัน 3 ตำแหน่ง โดยแสดงดังภาพที่ 2.3 (ก) ตำแหน่งร่วม  $V_{in}$  เชื่อมต่อกับกันกับแบตเตอรี่ด้านแรงดันไฟสูง หรือที่ตำแหน่งเอาต์พุตในสภาวะก่อนหน้านี้ ด้านหนึ่งของตำแหน่งร่วมทางด้านเอาต์พุต  $V_{next}$  จะเชื่อมต่อกับตำแหน่งด้านอินพุต (Input) ในสภาวะถัดไปตำแหน่งร่วมด้านเอาต์พุตตำแหน่งที่เหลือ คือ  $V_{Lv}$  ที่เชื่อมต่อกับตำแหน่งร่วมด้านแรงดันไฟต่ำ ด้านฝั่งขั้วบวก (Positive) ของแบตเตอรี่

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมกับงานในหลายๆด้าน เช่น

1. ไม่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
2. สามารถควบคุมการไหลของพลังงานได้ 2 ทิศทาง
3. ช่วงเวลาการสวิตซ์ซึ่งทำงานในสภาวะ 2 ช่วงเวลา ทำให้วงจรสามารถทำงานที่

ความถี่สูง และมีแผนผังง่ายต่อการสวิตซ์ซึ่ง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วนเป็นการนำตัวเก็บประจุ 1 ตัว และอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง 3 ตัว มาต่อกันเป็นชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า (Converter) หรือโมดูล ซึ่งจำนวนชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ในวงจรเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$V_{High} = (N+1)V_{Low} \quad (1)$$

เมื่อ  $V_{High}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟสูง  
 $V_{Low}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟต่ำ  
 $N$  คือ จำนวนชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า

ดังนั้น วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วนระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 เท่า จะประกอบด้วยชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า 2 ชุด ตามสมการที่ (1) โดยโครงสร้างของชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ข)

จากภาพที่ 2.3 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วนระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 เท่า โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าประกอบด้วยชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่เหมือนกัน 2 ชุด ชุดแรกจะมีแรงดันไฟตรงขนาดเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟตรงด้านอินพุต และชุดที่ต่อกับระบบไฟฟ้าแบบกริดหรือต่อกับโหลดภาระทางไฟฟ้า จะมีขนาดแรงดันไฟตรงเป็น 3 เท่าของแรงดันไฟตรงด้านอินพุต ซึ่งความสามารถในแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าภายใน ซึ่งถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟได้ 5 เท่า ชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าภายในจะต้องมีถึง 4 ชุดวงจรด้วยเช่นกัน

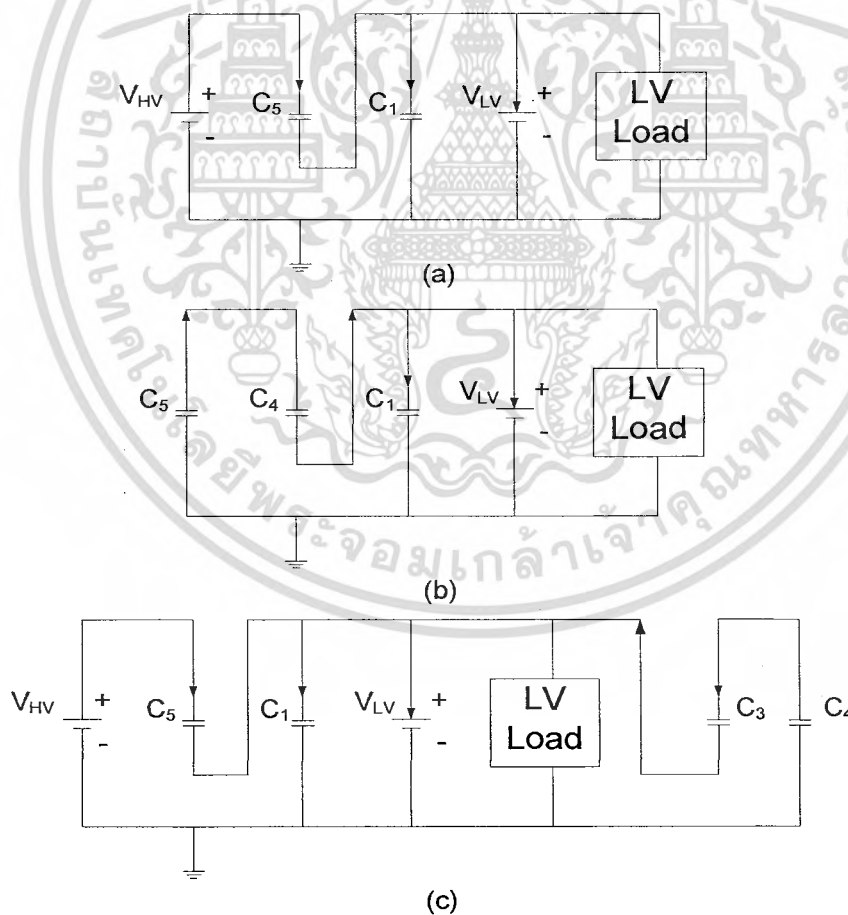
จากหัวข้อที่ 2.1 กล่าวถึงวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ายิ่งโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อเคลมบีหลายระดับ (Flying Capacitor Multilevel DC/DC Converter ,FCMDC) หากวงจร FCMDC มีอัตราการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5 ช่วงเวลาไซเคิลในการทำงานสภาวะคงตัว (Steady State) ทั้งหมดจะทำให้เกิด 5 ช่วงเวลาสวิตช์ซึ่งซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.2 ดังนั้น การชาร์จประจุ/คายประจุ แต่ละครั้งของตัวเก็บประจุแสดงถึงการทำงานในหนึ่งช่วงเวลาที่หนึ่งไซเคิล แต่สำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) เมื่อเทียบกับวงจร FCMDC ที่มีอัตราการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเท่ากัน วงจร MMCCC จะมีช่วงเวลาไซเคิล 2 ช่วงเวลาสวิตช์ซึ่งในการทำงานสภาวะคงตัว ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของวงจร MMCCC เมื่อเทียบกับวงจร FCMDC ทำให้วงจร MMCCC สามารถทำงานที่ความถี่สวิตช์ซึ่งสูงกว่าวงจร FCMDC ไม่ทำให้เกิดความร้อนสะสมในแบดเดอวีร์ แบดเดอวีร์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ซึ่งแสดงตารางช่วงเวลาไซเคิลการสวิตช์ซึ่งของวงจร FCMDC และ วงจร MMCCC ในเงื่อนไขอัตราการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5 มีการชาร์จประจุ/คายประจุ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบแผนผังการสวิตซ์ซิ่งในสภาวะคงตัว (Steady State)

ของวงจร FCMDC และ MMCCC โดย  $\uparrow$  = ชาร์จประจุ,  $\downarrow$  = คายประจุ

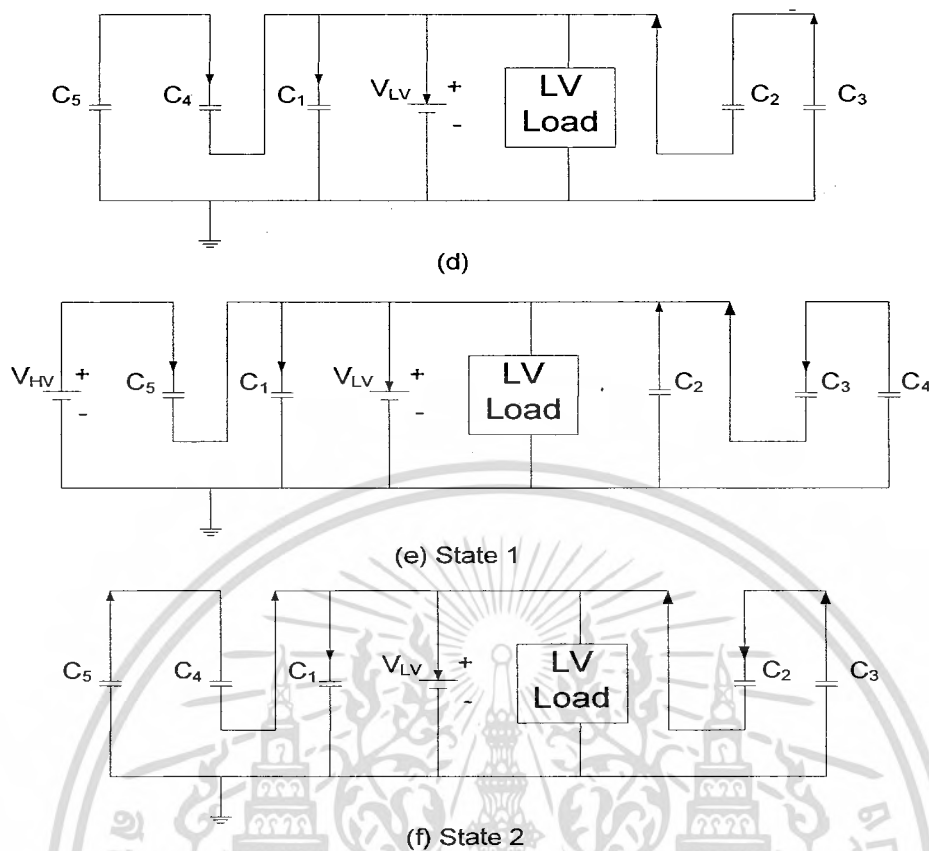
FCMDC		MMCCC	
ช่วงเวลาสวิตซ์ซิ่ง	สภาวะการทำงาน	ช่วงเวลาสวิตซ์ซิ่ง	สภาวะการทำงาน
1	$V_{HV} \rightarrow C_5 \uparrow + C_1 \uparrow$	1	$V_{HV} \rightarrow C_5 \uparrow + C_1 \uparrow$
2	$C_5 \downarrow \rightarrow C_4 \uparrow + C_1 \uparrow$		$C_4 \downarrow \rightarrow C_3 \uparrow + C_1 \uparrow$
3	$C_4 \downarrow \rightarrow C_3 \uparrow + C_1 \uparrow$	2	$C_2 \downarrow \rightarrow C_1 \uparrow$
4	$C_3 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow + C_1 \uparrow$		$C_5 \downarrow \rightarrow C_4 \uparrow + C_1 \uparrow$
5	$C_2 \downarrow \rightarrow C_1 \uparrow$		$C_3 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow + C_1 \uparrow$



ภาพที่ 2.4 วงจรอย่างง่ายของวงจร MMCCC ซึ่งใช้แผนผังการสวิตซ์ซิ่งของ

วงจรชุดแปลงแรงดันไฟตรงชนิดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 (ต่อ) วงจรรายง่ายของวงจร MMCCC ซึ่งใช้แผนผังการสวิตช์ของ วงจรชุดแปลงแรงดันไฟตรงชนิดทั่วไป

2.3 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับ

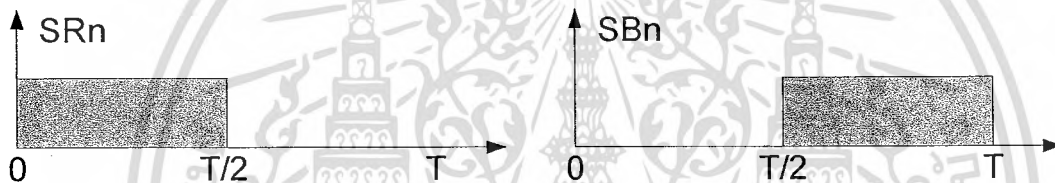
ตารางที่ 2.3 ตารางแผนผังการสวิตช์ซึ่งในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร MMCCC โดย ↑ = ชาร์จประจุ, ↓ = คายประจุ

ช่วงเวลาสวิตช์ซึ่ง	การชาร์จประจุ/คายประจุ ของตัวเก็บประจุ
$S_{Rn}$ ON $S_{Bn}$ OFF	$V_{HV} \rightarrow C_5 \uparrow + C_1 \uparrow$ $C_4 \downarrow \rightarrow C_3 \uparrow + C_1 \uparrow$ $C_2 \downarrow \rightarrow C_1 \uparrow$
$S_{Rn}$ OFF $S_{Bn}$ ON	$C_5 \downarrow \rightarrow C_4 \uparrow + C_1 \uparrow$ $C_3 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow + C_1 \uparrow$

ตารางที่ 2.3 แสดงแผนผังลำดับการสวิตช์ของวงจร MMCCC อัตราส่วนการแปรรูปแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 เท่า ซึ่งมี 2 สภาวะคงตัวเวลาในการทำงาน จากภาพที่ 2.3 (ข) แสดงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะแรก สวิตช์  $S_{R1}$ ,  $S_{R2}$ ,  $S_{R3}$  ไปจนถึง  $S_{R4}$  จะทำงานที่สภาวะเวลาสวิตซ์ซึ่งเดียวกัน ในส่วนการทำงานในสภาวะเวลาสวิตซ์ซึ่งที่ 2 สวิตซ์  $S_{B1}$ ,  $S_{B2}$  ไปจนถึง  $S_{B3}$  จะทำงานในเวลาเดียวกันได้ในสภาวะที่ 2

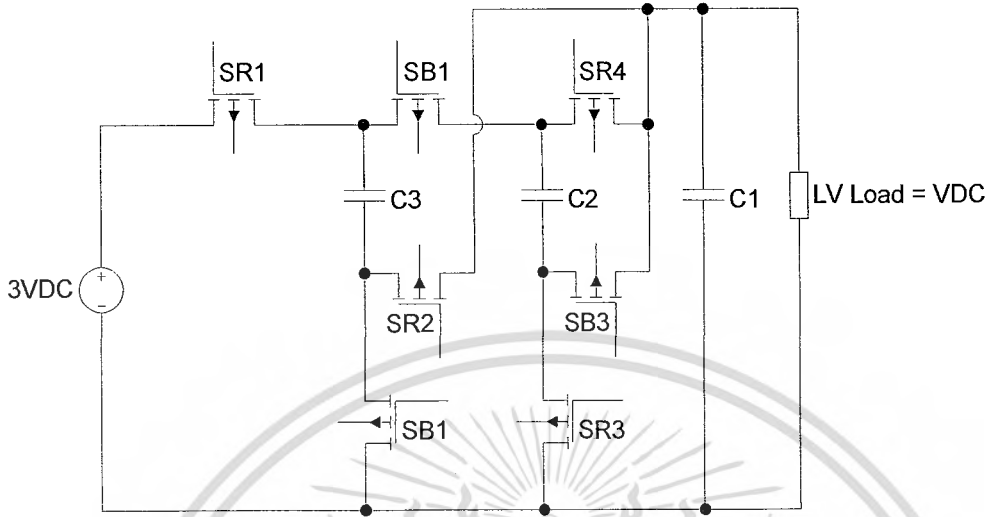
อัตราส่วนดิวตี้ไซเคิล (Duty Ratio หรือ Duty Cycle) ของสัญญาณขับขาเกต (Gate Drive) ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งของวงจร MMCCC สามารถที่จะลดลงเป็นอัตราส่วนการแปลงรูปพลังงานจำนวนน้อยได้ เพื่อที่จะควบคุมกระแสไฟฟ้าจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสอื่นๆได้ จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าวงจร MMCCC มีอัตราส่วนดิวตี้ไซเคิล 50% นั้นเป็นการควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งให้ทำงาน 2 สภาวะเท่านั้น ทำให้วงจร MMCCC มีเทคนิคการสวิตซ์ซึ่งที่ง่ายกว่าวงจรชุดแปลงแรงดันไฟตรงชนิดอื่น เทคนิคในการลดอัตราส่วนดิวตี้ไซเคิล (Duty Ratio หรือ Duty Cycle) ลงนี้ คือ พื้นฐานในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการจัดการควบคุมส่งผ่านกำลังสองทิศทาง (Bidirectional Power Management) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสภาวะคงตัวทั้ง 2 สภาวะต้องไม่ทำงานในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 2.5 แผนผังเวลาการสวิตซ์ซึ่งของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC)

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) แบ่งการทำงานได้ 2 โหมดดังนี้

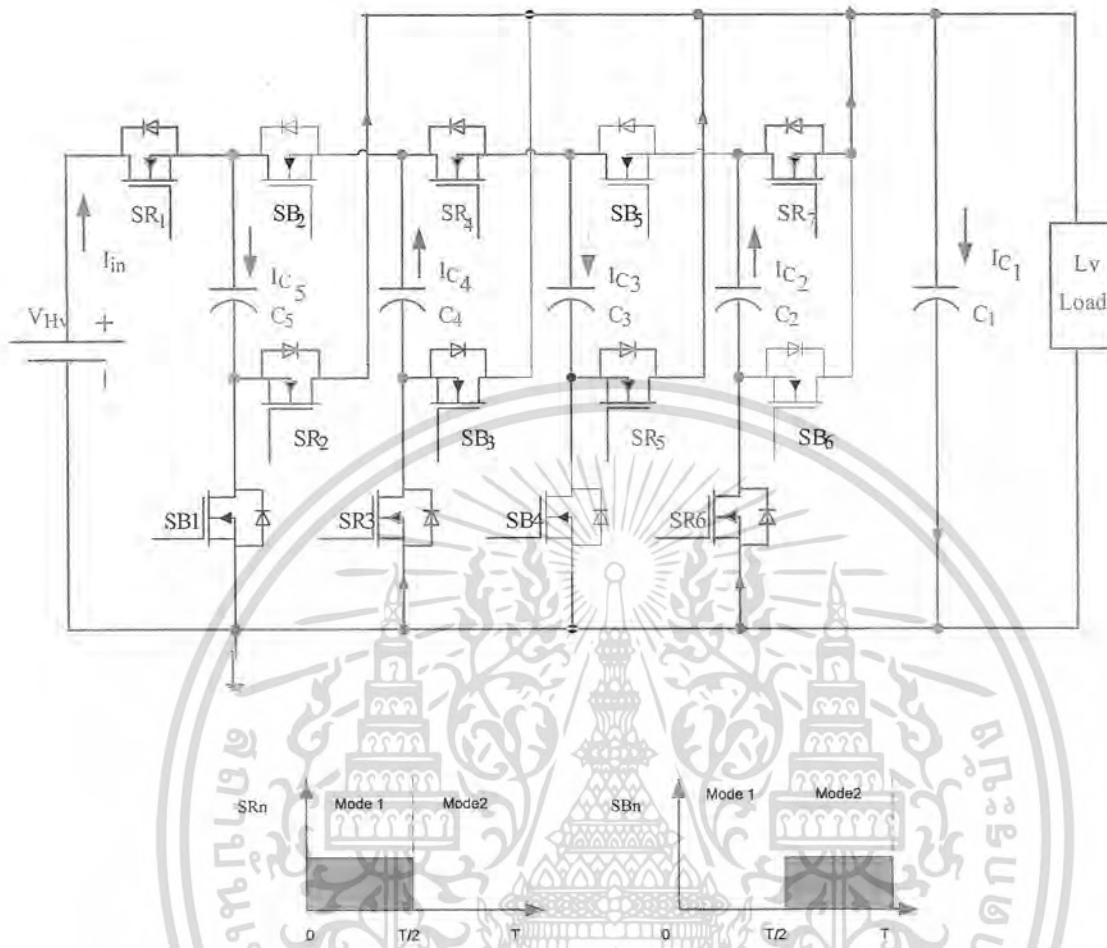
## 2.4 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับชนิดแยกส่วน โหมดแปลงแรงดันลง (MMCCC Step Down DC Voltage)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันลง

จากภาพที่ 2.6 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโหมดแรงดันลง หรือช่วงที่ใช้ในการเก็บสะสมพลังงาน ในสถานะสวิตช์  $S_{RN}$  ทำงาน สวิตช์  $S_{BN}$  ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จ่ายเข้า  $C_3$  และ  $C_1$  เพื่อชาร์จประจุ เมื่อกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟตรง 3VDC จะมีแรงดันตกคร่อม  $C_3$  เท่ากับ 2VDC และ แรงดันตกคร่อม  $C_1$  เท่ากับ VDC ต่อมาในสถานะสวิตช์  $S_{BN}$  ทำงาน สวิตช์  $S_{RN}$  ไม่ทำงาน  $C_3$  ซึ่งมีแรงดัน 2VDC จะทำหน้าที่เป็นคายประจุให้กับ  $C_2$  และ  $C_1$  เพื่อชาร์จประจุ ทำให้  $C_2$  มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC และ  $C_1$  มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC เมื่อนำโหลดมาต่อตกคร่อม  $C_1$  ทำให้โหลดมีแรงดันเท่ากับ VDC

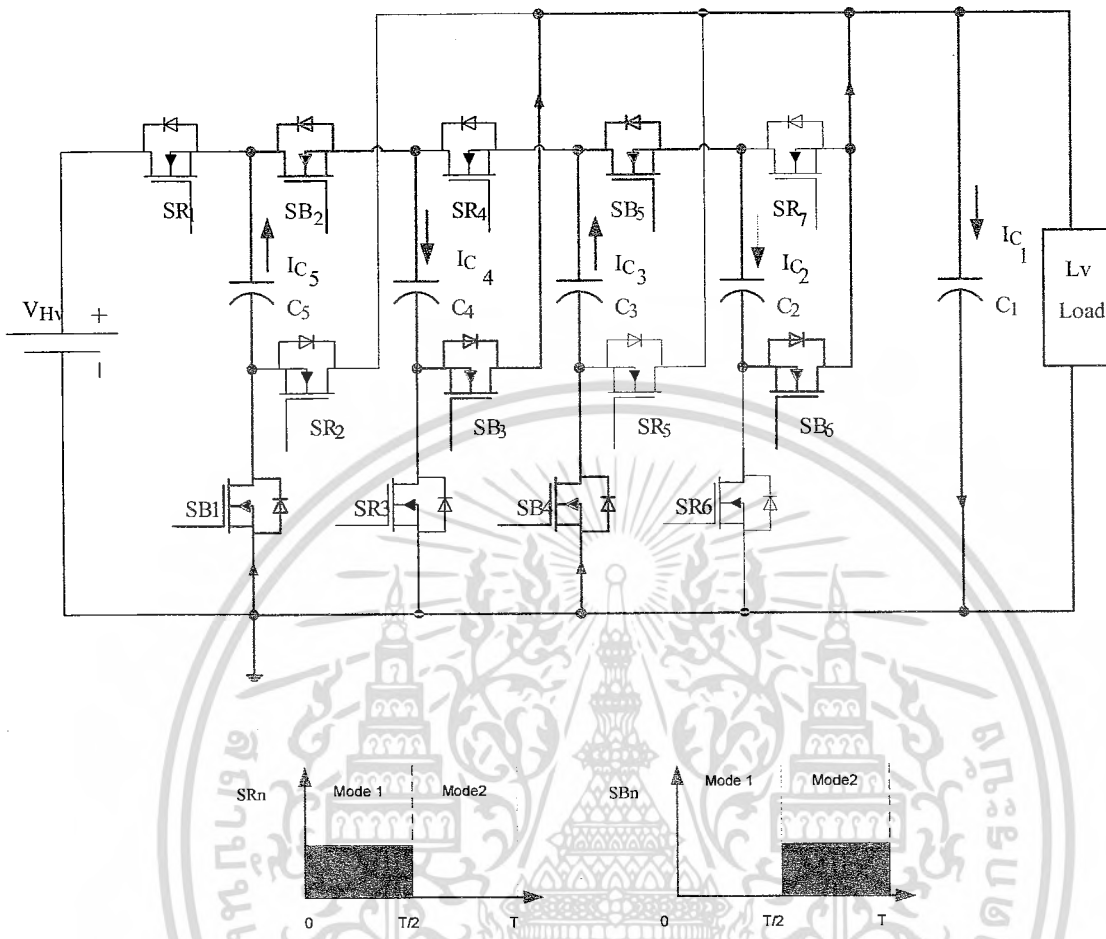
ตัวอย่างการทำงานวงจร MMCCC (Step Down DC Voltage) โหมดที่ 1



ภาพที่ 2.7 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 1 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 1

การทำงานของวงจร MMCCC (Step Down DC Voltage) โหมดที่ 1 สวิตช์  $S_{RN}$  Turn-ON และ สวิตช์  $S_{BN}$  Turn OFF ทำให้กระแสไหลตามภาพที่ 2.7 คือ กระแสไหลเข้า  $C_5$ ,  $C_3$  และ  $C_1$  เป็นการชาร์จประจุ  $C_5$ ,  $C_3$  และ  $C_1$  กระแสที่ไหลออกจาก  $C_2$  และ  $C_4$  เป็นการคายประจุ ซึ่งใน โหมดที่ 1  $V_{LV}$  มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 5V คายประจุ และชาร์จประจุให้กับ  $C_5$  และ  $C_1$  ทำให้  $C_5$  และ  $C_1$  มีแรงดันประมาณ 4V และ 1V ตามลำดับ และในขณะเดียวกัน  $C_4$  มีแรงดันไฟฟ้า 3V คายประจุ และเข้าชาร์จประจุ  $C_3$  ทำให้  $C_3$  มีแรงดันประมาณ 2V และ  $C_2$  ที่มีแรงดันไฟฟ้า 1V คายประจุออกไปที่  $C_1$  และโหลด ทำให้มีแรงดันไฟตรง  $C_1$  ประมาณ 1V

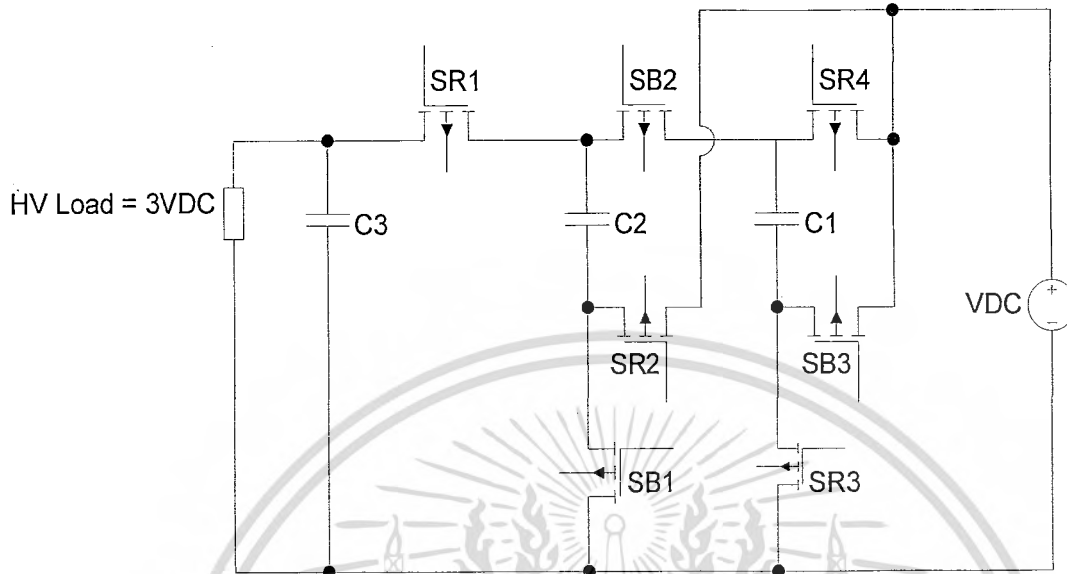
## ตัวอย่างการทำงานวงจร MMCCC (Step Down DC Voltage) โหมดที่ 2



ภาพที่ 2.8 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 2 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 2

การทำงานของวงจร MMCCC (Step Down DC Voltage) โหมดที่ 2 สวิตช์  $S_{BN}$  Turn-ON และ สวิตช์  $S_{RN}$  Turn OFF ทำให้กระแสไหลตามภาพที่ 2.8 คือ กระแสไหลออก  $C_1$  เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ  $C_2$  และ  $C_5$  เป็นการชาร์จประจุให้กับ  $C_2$  และ  $C_5$  ซึ่งในการทำงาน  $C_5$  ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ มีแรงดันไฟตรง 4V ชาร์จประจุให้กับ  $C_4$  และ  $C_1$  ทำให้  $C_4$  มีแรงดันประมาณ 3V และ 1V ตามลำดับและในขณะเดียวกัน  $C_3$  ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ มีแรงดันประมาณ 2V คายประจุและชาร์จประจุให้กับ  $C_2$  และ  $C_1$  ทำให้  $C_2$  และ  $C_1$  มีแรงดันไฟตรงประมาณ 1V

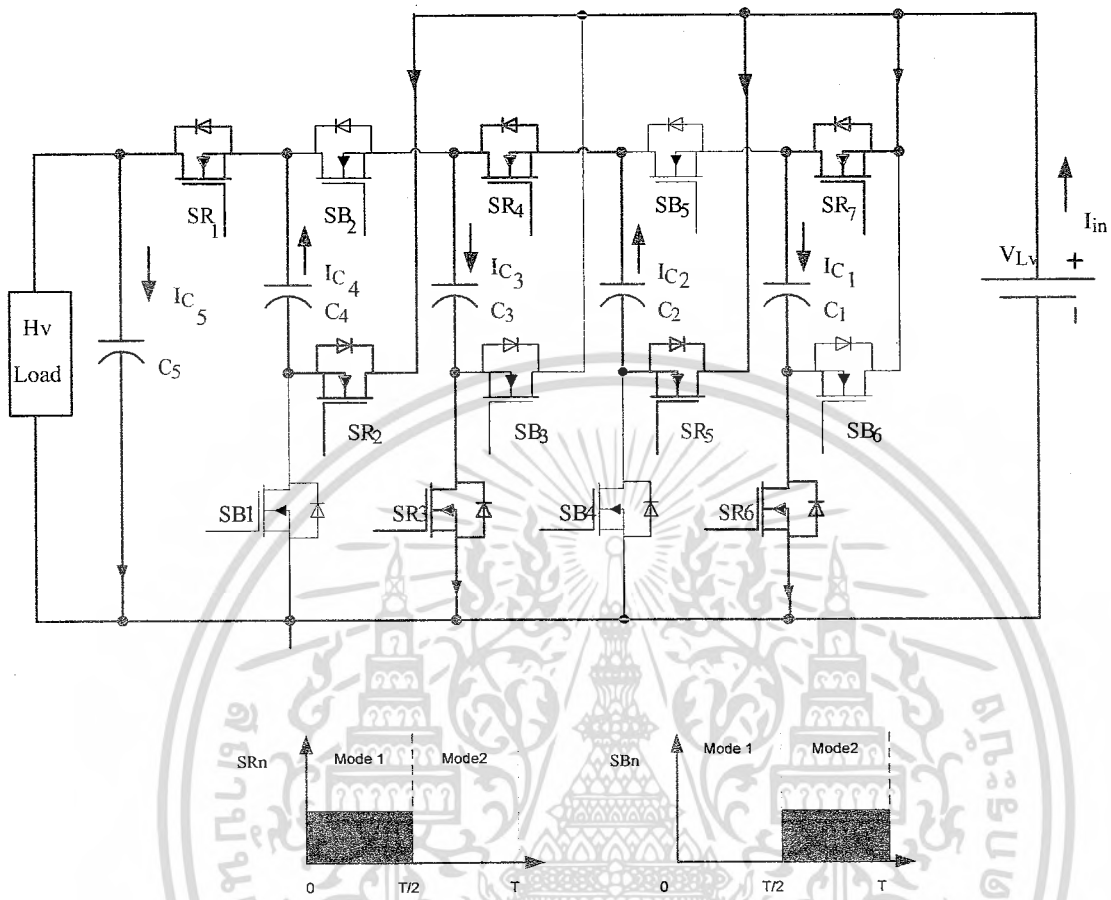
## 2.5 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับชนิดแยกส่วน โหมดแปลงแรงดันขึ้น (MMCCC Step Up DC Voltage)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันขึ้น

จากภาพที่ 2.9 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโหมดแปลงแรงดันขึ้น หรือช่วงที่ใช้ในการจ่ายพลังงาน ในสภาวะสวิตช์  $S_{RN}$  ทำงาน สวิตช์  $S_{BN}$  ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จ่ายเข้า  $C_1$  เพื่อชาร์จประจุ เมื่อกำหนดให้ป้อนแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จะมีแรงดันตกคร่อม  $C_1$  เท่ากับ VDC จากนั้น  $C_1$  จะคายประจุให้กับ  $C_2$  ทำให้  $C_2$  มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2VDC และ  $C_2$  จะคายประจุให้  $C_3$  มีแรงดันตกคร่อมเป็น 3VDC ต่อมาในสภาวะสวิตช์  $S_{BN}$  ทำงาน สวิตช์  $S_{RN}$  ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC และ  $C_1$  ที่มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC ร่วมกันจ่ายประจุให้กับ  $C_2$  ทำให้  $C_2$  มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2VDC จากนั้น  $C_2$  คายประจุให้  $C_3$  มีแรงดันตกคร่อมเป็น 3VDC

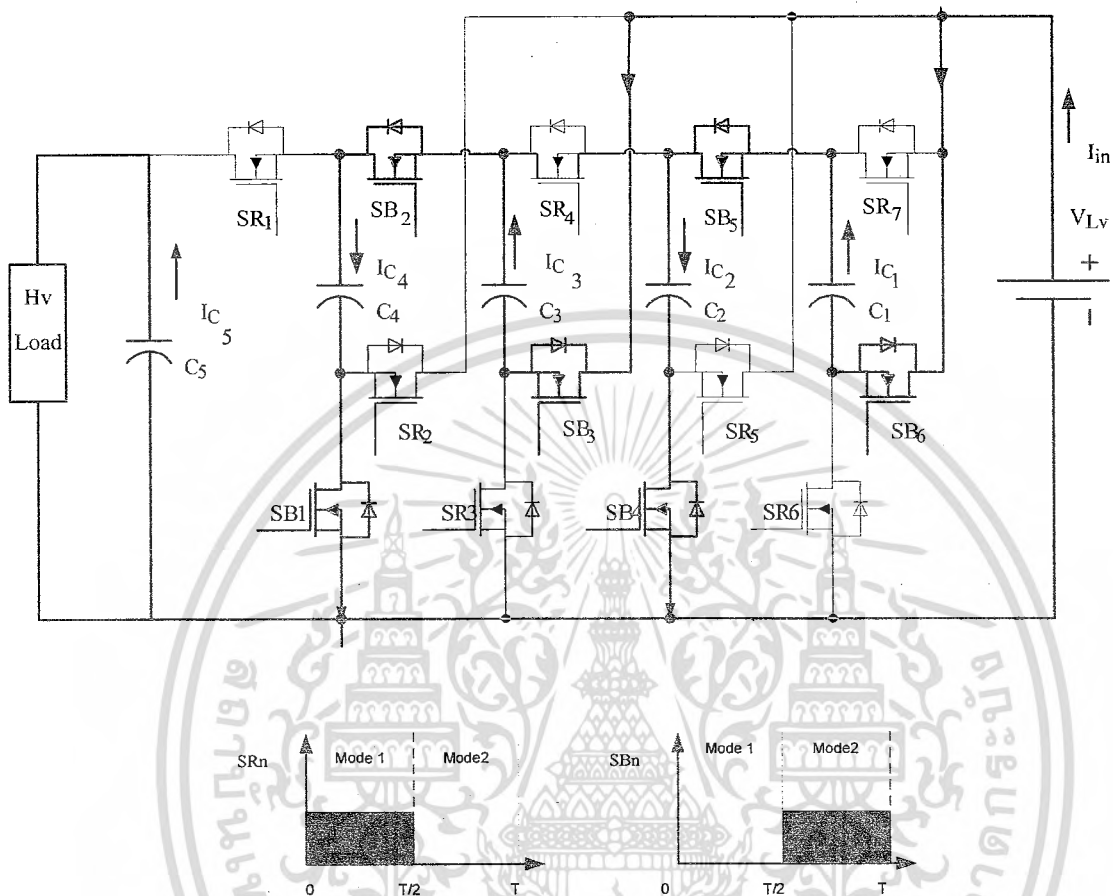
## ตัวอย่างการทำงานวงจร MMCCC (Step Up DC Voltage) โหมดที่ 1



ภาพที่ 2.10 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 1 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 1

การทำงานของวงจร MMCCC (Step Up DC Voltage) โหมดที่ 2 สวิตช์  $S_{RN}$  Turn ON และ สวิตช์  $S_{BN}$  Turn OFF ทำให้กระแสไหลตามทิศทางในภาพที่ 2.10 คือ กระแสไหลเข้า  $C_5$ ,  $C_3$  และ  $C_1$  เป็นการชาร์จประจุให้กับ  $C_5$ ,  $C_3$  และ  $C_1$  กระแสที่ไหลออกจาก  $C_2$  และ  $C_4$  เป็นการคายประจุ ซึ่งใน โหมดที่ 1  $V_{LV}$  มีค่าเท่ากับ 1V คายประจุและชาร์จประจุให้กับ  $C_1$  ทำให้  $C_1$  มีแรงดันไฟตรงประมาณ 1V และในขณะเดียวกัน  $V_{LV}$  กับ  $C_2$  ที่มีแรงดันไฟตรงประมาณ 2V ร่วมกันคายประจุและชาร์จประจุเข้า  $C_3$  ทำให้แรงดันไฟตรงที่  $C_3$  มีค่าประมาณ 3V และภายในช่วงเวลาเดียวกัน  $V_{LV}$  ร่วมกับ  $C_4$  มีแรงดันไฟตรงประมาณ 4V คายประจุและชาร์จประจุเข้า  $C_5$  ทำให้มีแรงดันไฟตรงประมาณ 5V

ตัวอย่างการทำงานของวงจร MMCCC (Step Up DC Voltage) โหมดที่ 2



ภาพที่ 2.11 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรโหมดที่ 2 และแสดงสัญญาณการ Turn ON, Turn OFF ในโหมดที่ 2

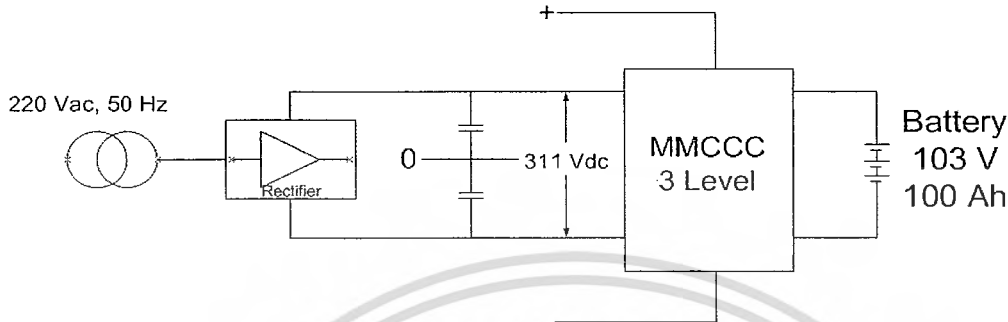
การทำงานของ MMCCC (step up dc voltage) โหมดที่ 2 สวิตช์  $S_{BN}$  Turn ON และสวิตช์  $S_{RN}$  Turn OFF ทำให้กระแสไหลตามภาพที่ 2.11 คือ กระแสไหลออก  $C_3$  และ  $C_1$  เปรียบเสมือนแหล่งจ่ายไฟ และคายประจุให้กับ  $C_2$  และ  $C_4$  เป็นการชาร์จประจุให้กับ  $C_2, C_4$  และ  $C_5$  ซึ่งในโหมดที่ 2  $V_{LV}$  มีค่าเท่ากับ 1V ร่วมกับ  $C_1$  ที่มีแรงดันประมาณ 1V คายประจุและชาร์จประจุให้กับ  $C_2$  ทำให้มี  $C_2$  แรงดันไฟตรงประมาณ 2V ในขณะเดียวกัน  $V_{LV}$  กับ  $C_3$  ที่แรงดันไฟตรงประมาณ 3V คายประจุและชาร์จประจุให้กับ  $C_4$  ทำให้แรงดันไฟตรงที่  $C_4$  มีแรงดันไฟตรงประมาณ 4V และมี  $C_5$  โดยมีแรงดันไฟตรงประมาณ 5V

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงคุณสมบัติ และข้อเปรียบเทียบระหว่างวงจร FCMDC และวงจร MMCCC

Flying Capacitor Multilevel DC/DC Converter ,FCMDC	Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC
1. โครงสร้างวงจรไม่สามารถแยกส่วนจากกันได้	1. โครงสร้างวงจรสามารถแยกส่วนจากกันได้ (Modular)
2. แผนผังช่วงเวลาการสวิตช์ซึ่งทำได้ยากและมีความซับซ้อน เนื่องจากมีช่วงเวลาสวิตช์ซึ่งเท่ากับ $N/2$ ของช่วงเวลา โดยที่ $N$ คือจำนวนอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง	2. แผนผังเวลาการสวิตช์ซึ่งทำได้ง่าย ไม่มี ความซับซ้อน ช่วงเวลาสวิตช์ซึ่งเท่ากับ 2 ช่วงเวลาการสวิตช์ซึ่งเท่านั้น
3. การทำงานช่วงความถี่สูงทำได้ยาก เนื่องจากจะส่งผลต่อแรงดันไฟกระเพื่อม (Ripple)	3. วงจรสามารถทำงานที่ความถี่สูงๆได้ ไม่ส่งผลต่อแรงดันไฟกระเพื่อม (Ripple)
4. แรงดันไฟตกตกคร่อมใน อุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง/ ไดโอด มากเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมในแบดเดอริ์ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบดเดอริ์สั้นลง	4. แรงดันไฟตกตกคร่อมใน อุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง/ ไดโอด มากเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมในแบดเดอริ์ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบดเดอริ์สั้นลง (เช่นเดียวกับ FCMDC)
5. ปราศจากการจัดการควบคุมการส่งผ่านกำลังสองทิศทาง	5. สามารถควบคุมทิศทางไหลของพลังงานได้ สองทิศทาง
6. ไม่มีความสามารถในการกำจัดความล้มเหลวของระบบ (Fault) โดยอ้อม (By-Pass)	6. ไม่มีความสามารถในการกำจัดความล้มเหลวของระบบ (Fault) โดยอ้อม (By-Pass) (เช่นเดียวกับ FCMDC)

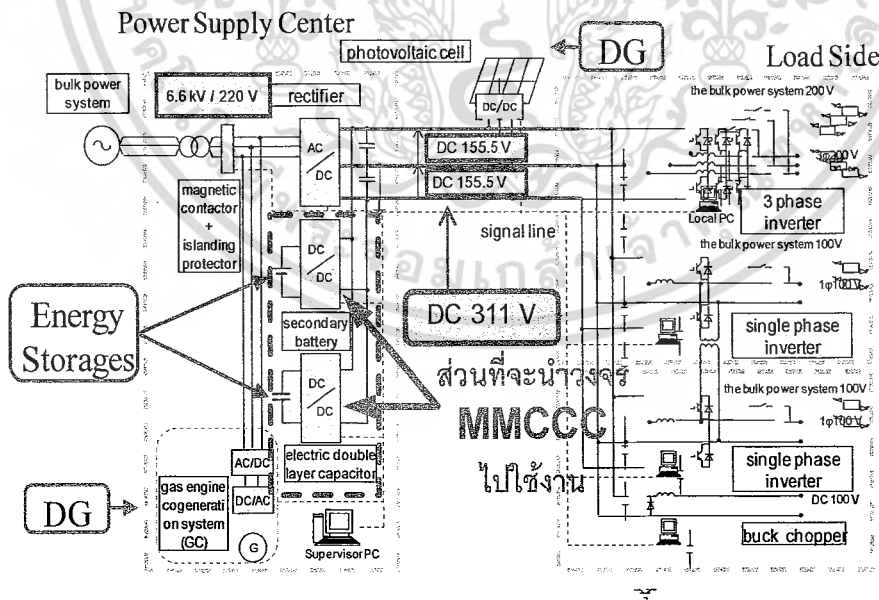
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วนสำหรับดีซีไมโครกริด (Multilevel DC/DC Capacitor Clamped Converter for DC Microgrid Application)



ภาพที่ 2.12 การประยุกต์ใช้ MMCCC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบดีซีไมโครกริด

ดีซีไมโครกริดหรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่นิยมใช้พลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์, ลม ฯลฯ ในการผลิตไฟฟ้า มีข้อจำกัดที่พลังงานทดแทนเหล่านี้มีไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบเก็บสะสมพลังงาน เช่น Battery Bank, Fly Wheel ฯลฯ ในโครงงานนี้เรานำวงจร MMCCC ซึ่งมีคุณสมบัติ เพิ่ม/ลด แรงดันไฟตรง และส่งถ่ายพลังงานได้ 2 ทิศทาง ไปใช้ประโยชน์กับ Battery Storage ยกตัวอย่างระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรง

ซึ่งแสดงให้เห็นถึงส่วนที่นำวงจร MMCCC ไปใช้งานในโครงงานชิ้นนี้

(อ้างอิง : [http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/14-magazine/log/2006/2006\\_12b\\_03.pdf](http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/14-magazine/log/2006/2006_12b_03.pdf))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีแรก เมื่อระบบพลังงานไฟฟ้าทดแทนผลิตไฟฟ้าเกินความต้องการของผู้ใช้ จะนำพลังงานส่วนที่เหลือนี้ (220 Vac , 50 Hz) มาเก็บสะสมพลังงานในรูปเซลล์พลังงานเคมี (Battery 1.5 kW) โดยใช้วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เรียงกระแสเป็นไฟตรงแล้วกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วยตัวเก็บประจุ (C Filter) เพื่อให้ได้แรงดันไฟตรง 311 Vdc แล้วจึงแปลงแรงดันไฟตรงลงโดยอาศัยวงจร MMCCC ในโหมดการทำงาน Step Down Voltage เพื่อให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่ เป็นการชาร์จเข้าแบตเตอรี่

ในกรณีที่สอง เมื่อขาดแหล่งพลังงานไฟฟ้าทดแทน เช่น ในสภาวะกลางคืนจะปราศจากแสงอาทิตย์, ลม ฯลฯ ภาระทางไฟฟ้าจะดึงพลังงานที่เก็บสะสมในรูปของเซลล์เคมีแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายไฟตรงแทนได้ แต่ต้องเพิ่มระดับแรงดันไฟตรงให้ใกล้เคียง 311 Vdc มากที่สุด



### บทที่ 3

## บทบาทของอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อพลังงานไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงาน

### 3.1 บทนำ

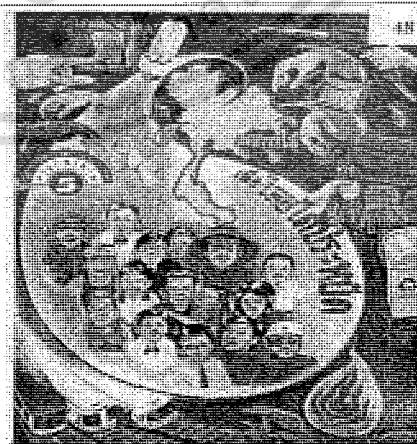
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ผลิตจากแหล่งผลิตกำลังงานหลากหลายชนิด เช่น จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ความร้อนร่วม กังหันแก๊ส ดีเซล และพลังรูปแบบอื่น ๆ โดยที่พลังงานส่วนใหญ่มาจากพลังงานความร้อน สถิติการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณเพิ่มขึ้น 3.43 % (4874.39 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง) เมื่อเทียบกับปี 2549 การเพิ่มขึ้นของความต้องการการใช้พลังงานมีผลโดยตรงกับการใช้เชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ลิกไนต์ พลังน้ำ หรือแหล่งต้นทางพลังงานอื่น ๆ รวมถึงความจำเป็นที่ต้องสร้างโรงจักรเพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเอง และของเอกชนทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และอาจจะรวมไปถึงการต้องนำพลังงานนิวเคลียร์เข้ามาใช้ในประเทศไทยในอนาคต จากความจำกัดของแหล่งพลังงานฟอสซิล ทำให้ราคาของการผลิตพลังงานเพิ่มขึ้น อีกทั้งพลังงานจากแหล่งพลังงานเหล่านี้มีผลที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้นวิธีที่จะลดผลกระทบและเพื่อให้มีพลังงานใช้อย่างพอเพียงและยาวนานนั้นอาจทำได้หลายวิธี

#### 3.1.1. ลดการใช้พลังงาน

วิธีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด คือใช้ไฟฟ้าเท่าที่จำเป็น ใช้ ณ จุดที่ต้องการ ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม ไม่เปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้เมื่อไม่ได้ใช้งาน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำได้โดยจิตสำนึกของผู้ใช้ไฟฟ้าเอง ซึ่งภาครัฐได้ทำการรณรงค์อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างดังภาพที่ 3.1 ที่กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการ นอกเหนือจากนี้อาจใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงานมาใช้ควบคุมและจัดการการใช้พลังงาน (Demand side management) เพื่อลดค่าพลังงานได้อีกด้วย แต่ต้องมีการลงทุนเกี่ยวกับระบบการควบคุมและการติดตั้งอุปกรณ์



รางวัลชนะเลิศ ศิลปิน "สามใบลดการใช้ เพื่อไม่ได้อัพเกรด" ผลงานของนายชวกร กิ่งแก้ว โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพฯ



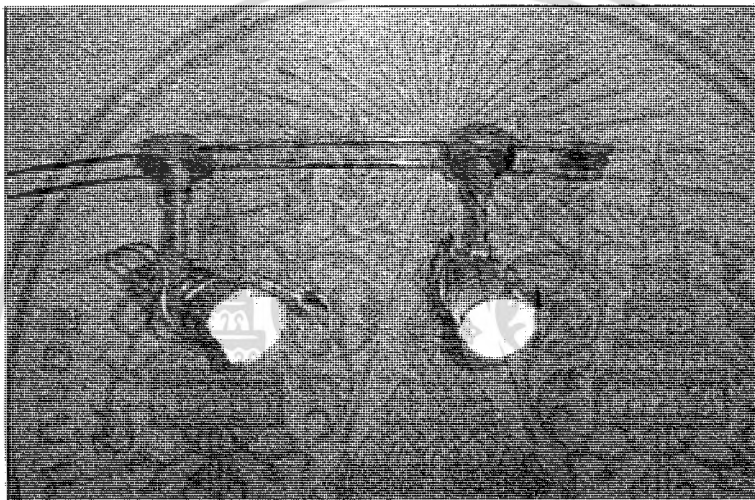
รางวัลชนะเลิศ ศิลปิน "หลอดไฟของชาวไทยทุกคน" ผลงานของนางสาวดวงกมล ทองบริสุทธิ โรงเรียนราชินี กรุงเทพมหานคร

ภาพที่ 3.1 ภาพวาดรณรงค์การประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2. การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

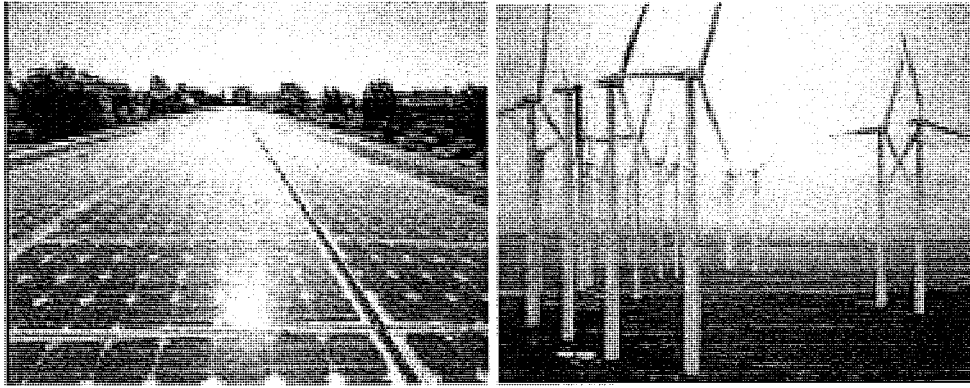
การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเริ่มได้จากใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ในระบบแสงสว่างเปลี่ยนจากการใช้หลอดเผาไส้มาเป็นหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กที่มีค่าสูญเสียต่ำ (Low Loss) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ค่าตัวประกอบกำลังสูง หรือเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่ติดฉลากเบอร์ 5 เป็นต้น หรือใช้อุปกรณ์ส่องสว่างใหม่ เช่น LED เพื่อมาทดแทนหลอดแบบเดิม ดังภาพที่ 3.2 ที่ให้ความสว่างเท่ากันแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า การประหยัดพลังงานในส่วนหนึ่งของระบบขับเคลื่อนสามารถทำได้โดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ใช้ระบบควบคุมความเร็วและกำลังของมอเตอร์ด้วยวงจรมอเตอร์เพื่อปรับให้ใช้กำลังเหมาะสมตามที่ต้องการใช้งาน เป็นต้น



ภาพที่ 3.2 ด้านขวาเป็น LED ที่ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดฮาโลเจน ที่ใช้กำลังเพียง 1.25 W จากเดิมที่หลอดฮาโลเจนใช้ 20 W

### 3.1.3. การใช้พลังงานทดแทน

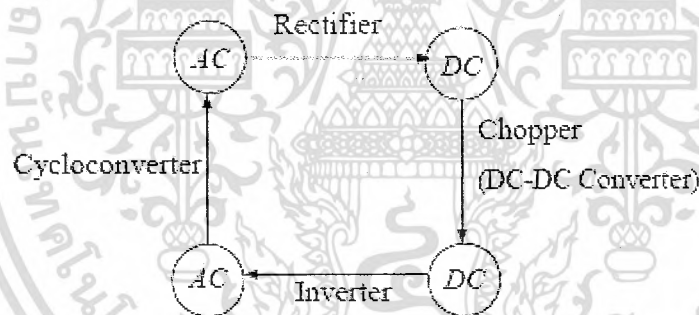
พลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงแดด พลังงานลม เป็นพลังงานทดแทน (Alternative หรือ Renewable Energy) ที่สามารถแปลงรูปมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) กังหันลมที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานคลื่น พลังงานปฏิกิริยาของเซลล์พลังงาน (Fuel cell) พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานต้นทางเหล่านี้ ต้องมีกระบวนการแปลงผันพลังงานและปรับแต่งให้อยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการใช้งานทั้งขนาดของแรงดัน ความถี่ โดยใช้วงจรมอเตอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นอุปกรณ์หลักในกระบวนการ พลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะช่วยลดสภาวะการเกิดโลกร้อนได้



ภาพที่ 3.3 เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม อุปกรณ์แปลงผันพลังงานธรรมชาติให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

### 3.2 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเชื่อมต่อและแปลงผัน (Converter) กำลังไฟฟ้าระหว่างรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ดังภาพที่ 3.4 โดยที่วงจรแปลงผันจะทำหน้าที่หลักในการแปลงผันระดับแรงดัน และความถี่



ภาพที่ 3.4 การแปลงผันพลังงานระหว่างรูปแบบต่าง ๆ ทางไฟฟ้า

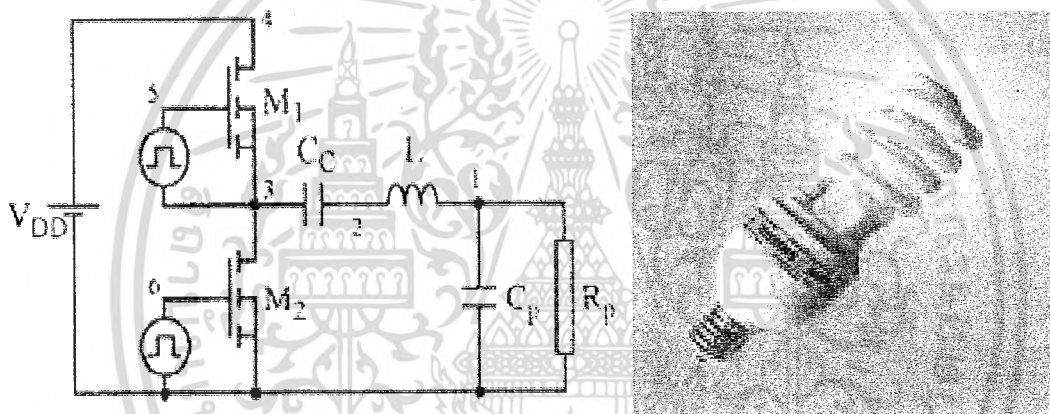
ระดับกำลังของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีขนาดตั้งแต่มิลลิวัตต์สำหรับชาร์จโทรศัพท์มือถือ จนถึงระดับเมกะวัตต์สำหรับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งแรงสูง ทั้งนี้เกิดเนื่องจากความก้าวหน้าของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง ที่พัฒนาจากหลอดสุญญากาศ เป็นสารกึ่งตัวนำ พร้อมทั้งเพิ่มความสามารถด้านอัตรากำลัง ความคงทน ความเร็วในการสวิตช์ เทคโนโลยีในการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ราคาในการผลิตที่ลดลง ดังนั้น ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังจึงถูกนำมาใช้สำหรับการควบคุมพลังงานในทุกะดับของเครื่องใช้ไฟฟ้า ทั้งในบ้าน ในสำนักงาน ในอุตสาหกรรม และในระบบการผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า และเป็นที่คาดการณ์ว่าอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า ในทุก ๆ ระดับ เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ให้ดีที่สุด ในส่วนต่อไปจะยกตัวอย่างของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อพลังงานไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงาน

### 3.2.1. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

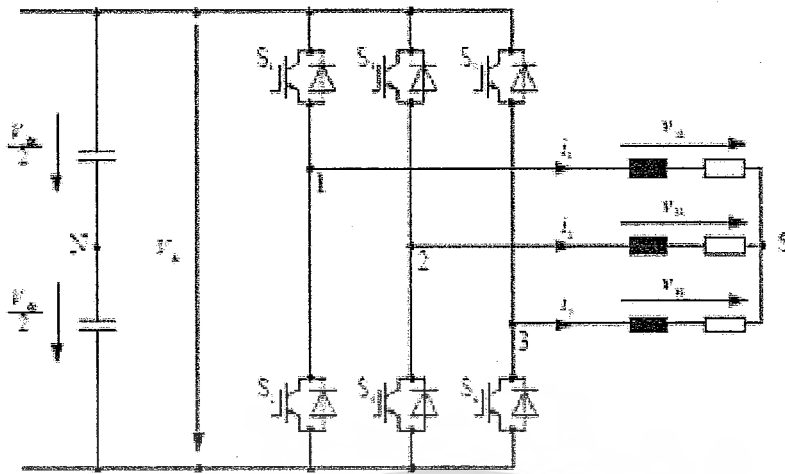
หลอดเผาไส้ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดที่มีราคาต่ำ แต่อายุการใช้งานสั้นสิ้นเปลืองพลังงานมาก ภาครัฐมีนโยบายที่จะทดแทนหลอดนี้ด้วยหลอดคอมแพคฟลูออโรเรสเซนต์ (CFL) ที่ควบคุมการทำงานด้วยบัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่หลอดฟลูออโรเรสเซนต์แบบกระบอก เปลี่ยนจาก แบบ T12 เป็น T8 และ T5 ในขณะที่เดียวกันก็เปลี่ยนบัลลาสต์จากบัลลาสต์แกนเหล็ก ที่มีกำลังสูญเสีย ประมาณ 10 -20 W เป็นบัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีกำลังสูญเสียประมาณ 4 W สำหรับหลอด 36 W ตัวอย่างของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังอย่างพื้นฐานสำหรับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ และหลอดคอมแพคฟลูออโรเรสเซนต์ แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 วงจรอย่างง่ายสำหรับหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ และหลอด CFL

### 3.2.2. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบขับเคลื่อน

ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Industrial Automation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (Variable Speed Drive) และการควบคุมแรงบิดให้เป็นไปตามที่ภาระต้องการ เพื่อให้มอเตอร์ขับโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดพลังงานสูญเสียที่ต้องส่งกำลังผ่านระบบทางกลอื่น ๆ มีการประมาณว่าการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นจาก 40 % ในปี ค.ศ. 2000 เป็น 80 % ในปี 2015 การควบคุมความเร็วรอบ วงจรภาคกำลังพื้นฐานที่เป็น Voltage source inverter สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส แสดงดังภาพที่ 3.6 มีเทคโนโลยีในการควบคุมมากมายหลายแบบ



ภาพที่ 3.6 วงจรกำลังสำหรับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

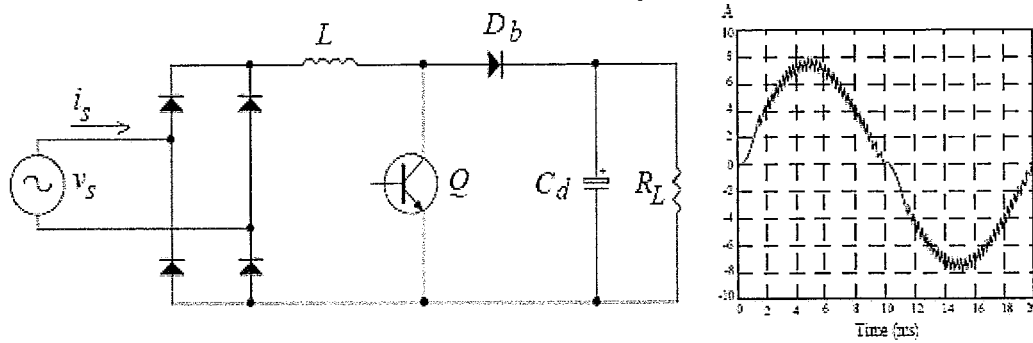
### 3.2.3. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) เป็นอุปกรณ์หลักในการจ่ายพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง แหล่งจ่ายกำลังนี้เปลี่ยนจากการทำงานแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่งและแบบเรโซแนนซ์ (Switched Mode and Resonant Mode) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง การสูญเสียต่ำกว่ามาก และทำงานที่ความถี่สูงทำให้ขนาดของวงจรเล็ก มีความหนาแน่นของกำลัง (Power density) สูง โดยมีการวางเป้าหมายว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพและความหนาแน่นของกำลังจาก 80-88% 6W/cinch ในปี 2005 เป็น 90-99% 28 W/cinch ในปี 2020 และราคาลดลง 50 %

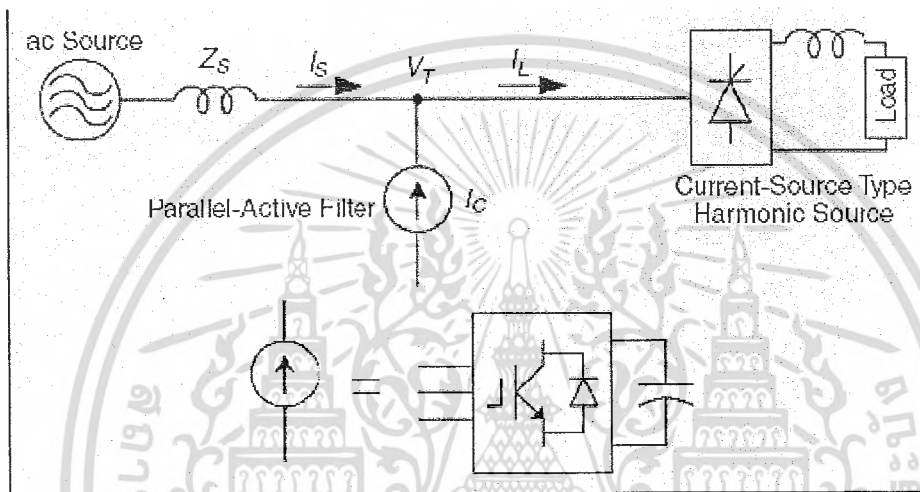
### 3.2.4. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ว่าในครัวเรือน หรือในอุตสาหกรรมที่ คุณลักษณะสมบัติของโหลดเป็นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Load) ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิก โหลดในระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันที่จุดต่อร่วมใช้งาน (Point of Common Coupling, PCC) เกิดความผิดเพี้ยน ค่าตัวประกอบกำลังของระบบต่ำ เกิดความสูญเสียในสายส่งมากขึ้น เนื่องจากกระแส rms ของระบบสูงขึ้น เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพดีขึ้น และไม่มีหรือลดระดับของกระแสฮาร์มอนิก อาจทำได้โดยออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ดึงกระแสจากระบบเป็นรูปคลื่นไซน์ใกล้เคียงกับแรงดัน โดยใช้วงจรตัวอย่างดังภาพที่ 3.7 ซึ่งเรียกว่าวงจร Active Power Factor Correction (APFC) ซึ่งวงจรลักษณะนี้เป็นที่ต้องการเนื่องจากความจำเป็นที่ต้อง ทำให้รูปคลื่นกระแสต้านเข้ามีสัญญาณฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด การลดกระแสฮาร์มอนิกของโหลดที่ต่อในระบบอยู่แล้ว สามารถทำได้โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองแบบแอคทีฟ (Active Power Filter) ดังภาพที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังและรูปคลื่นกระแส



ภาพที่ 3.8 ระบบไฟฟ้าที่ต้องวงจรกรองแบบแอคทีฟขนานกับโหลด

ถ้าสามารถควบคุมให้กระแสด้านเข้าของโหลดเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีเฟสตรงกันกับแรงดัน ก็จะทำให้ระบบไฟฟ้าจ่ายกำลังให้กับโหลดได้อย่างเต็มที่ มีค่า PF = 1 และไม่มีสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำ

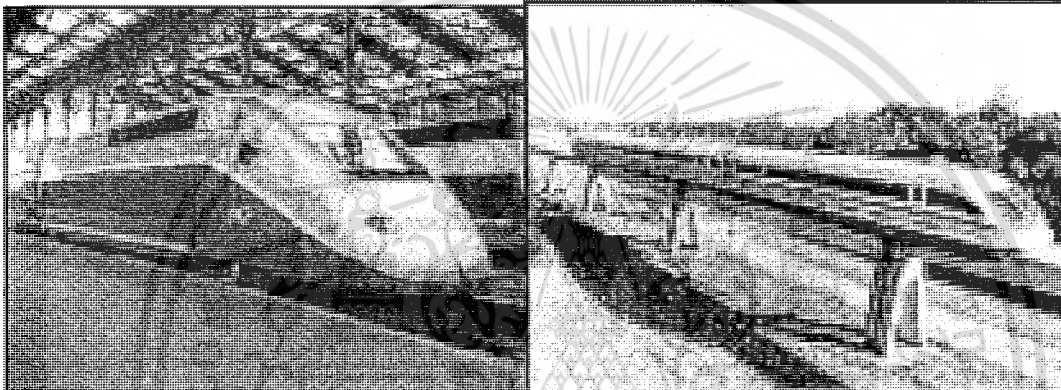
### 3.2.5. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบขนส่ง

การคมนาคมขนส่งทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้เข้ามามีบทบาทในการประหยัดพลังงานและความสะดวกในการควบคุมการทำงาน ในรถยนต์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid Vehicle) ที่ใช้ทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ร่วมกันกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นจนทำให้ผู้ผลิตเช่น Toyota เพิ่มความสามารถในการผลิต รถรุ่น Prius มากขึ้นในขณะเดียวกันรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า (Electric Vehicle) โดยตรงก็มีบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้ให้ความสนใจและผลิตมากขึ้นเช่นกัน รถไฟฟ้าความเร็วสูง ไม่ว่าจะเป็น TGV, Euro Star ในยุโรป หรือ Shinkansen ของญี่ปุ่น รวมถึงรถไฟไฟฟ้า Mag-lev และเรือดำน้ำ ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการขับเคลื่อนทั้งสิ้น ตัวอย่างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังขับเคลื่อนรถไฟไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3.12

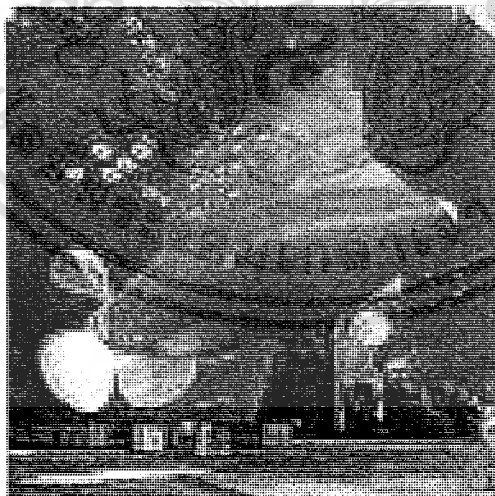
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 รถยนต์แบบ Toyota Prius ที่เป็นรถยนต์แบบไฮบริดจ์

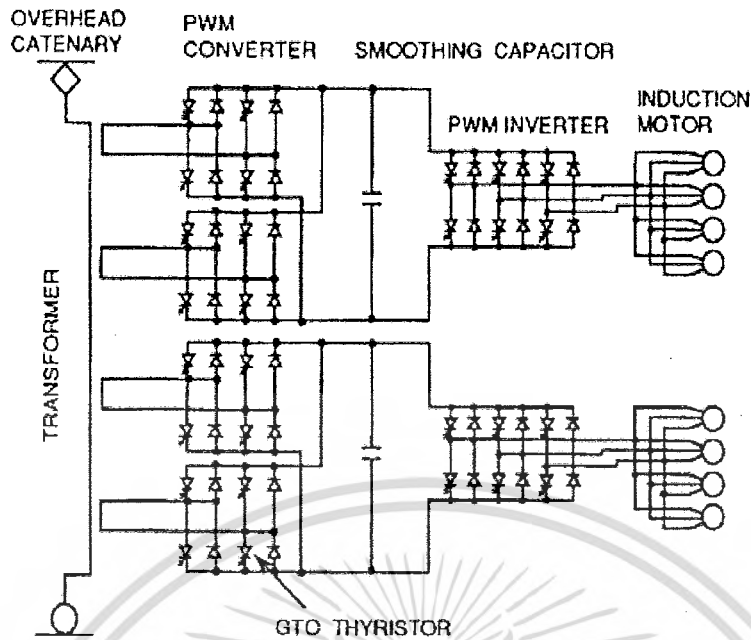


ภาพที่ 3.10 รถไฟฟ้า TGV และ Mag-lev



ภาพที่ 3.11 ระบบไบพัตเรือเดินทะเลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์

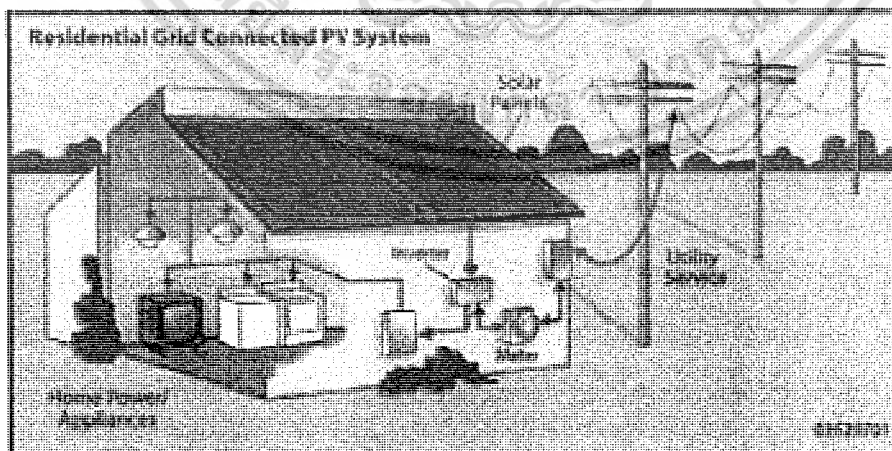
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ความคุมรูด Shinkansen

### 3.2.6. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบพลังงานทดแทน

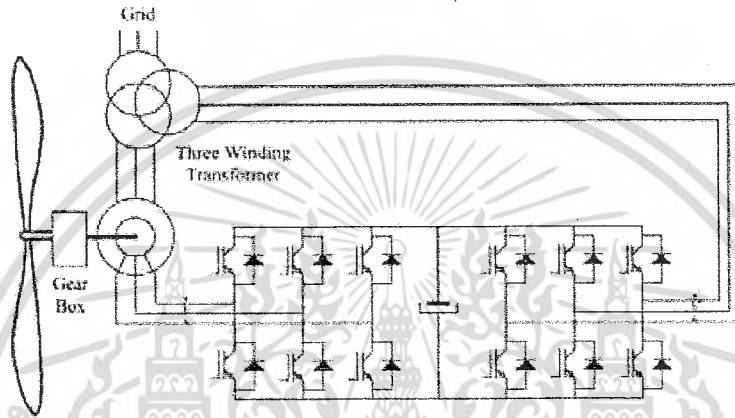
พลังงานทดแทนที่ไม่ใช่พลังงานจากฟอสซิล และกำลังได้รับการพัฒนาศึกษาอย่างมาก คือ พลังงานที่ได้จากแสงแดด (Solar Energy) และพลังงานลม (Wind Energy) พลังงานนี้เป็นพลังงานที่สะอาดและยั่งยืน การแปลงพลังงานที่ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการใช้งาน จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงผันกำลังงานที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่นพลังงานแสงแดดที่ต้องแปลงกำลังไฟฟ้า DC ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เป็น AC ที่แรงดันและความถี่ที่ต้องการ และที่กัลังไฟฟ้าสูงสุด



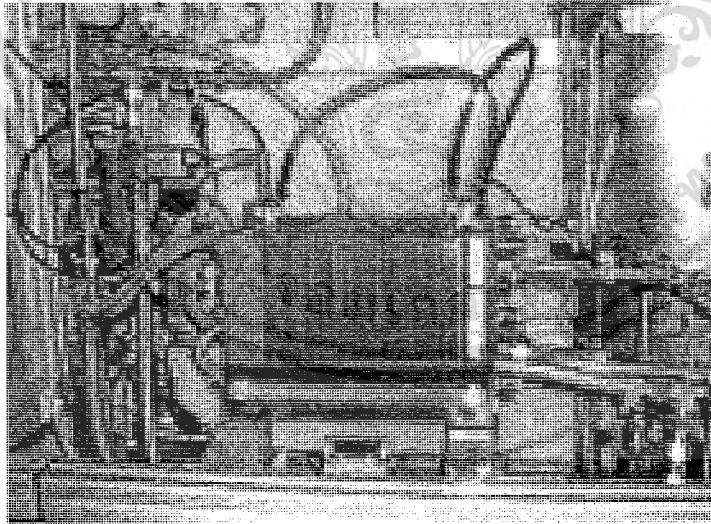
ภาพที่ 3.13 ระบบพลังงานแสงแดดที่ต่อเข้ากริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

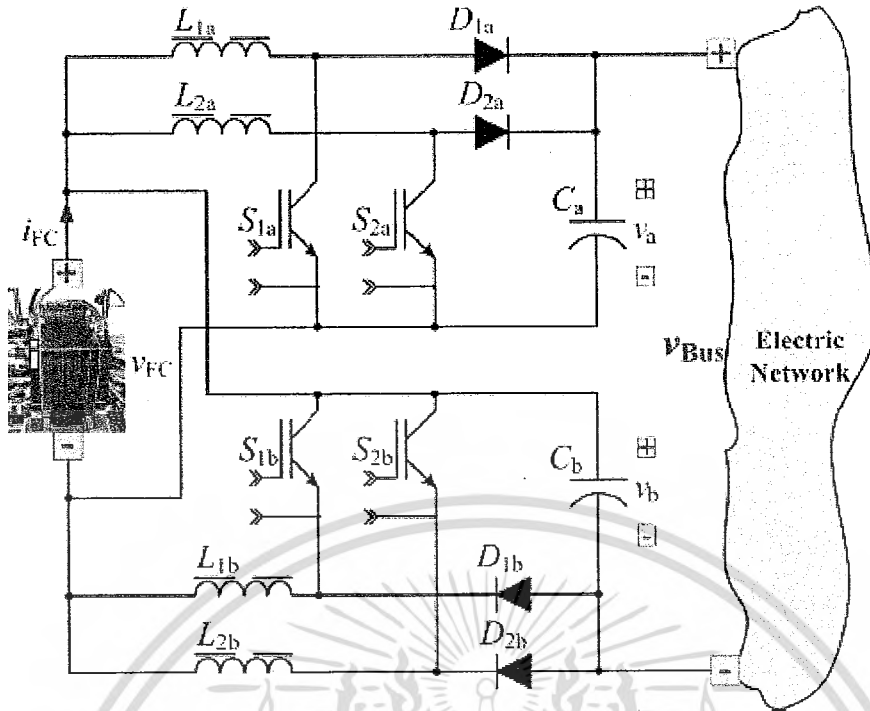
ระบบควบคุมพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของลม เพื่อหมุนกังหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีวิธีการหลายรูปแบบ ซึ่งล้วนแล้วแต่ต้องใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังร่วมกับระบบควบคุมที่ก้าวหน้า เพื่อปรับให้ได้แรงดันและความถี่ที่เหมาะสมในการป้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าสายประธาน ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างหนึ่งของวงจรที่นำพลังงานที่ได้ป้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบหนึ่ง นอกจากนี้พลังงานจากแหล่งอื่นเช่น เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell, FC) ดังภาพที่ 3.15 และตัวอย่างการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.14 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต่อกับเครื่องกำเนิดแรงดันแบบ Single Double Fed



ภาพที่ 3.15 เซลล์เชื้อเพลิงแหล่งพลังงานต้นทางในอนาคต



ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่แปลงผันแรงดันจาก FC

### 3.2.7. อิเล็กทรอนิกส์กำลังในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแบบเดิมที่ยังนิยมใช้อยู่ปัจจุบันเป็นระบบสายส่งแบบ AC แรงดันสูง และส่งจ่ายมาจากโรงผลิตกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ และเมื่อส่งในระยะทางไกล ๆ จะเกิดความสูญเสีย ดังนั้นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบแรงดันสูง DC (HVDC) ที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น และยังมีประโยชน์ในการส่งจ่ายกำลังเมื่อความถี่ของระบบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ เพื่อรวบรวมนำมาใช้งานสามารถต่อเข้าเป็นวงจรกริดขนาดเล็ก (Micro grid) โดยที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นอุปกรณ์ในการแปลงไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งระบบนี้เหมาะกับพื้นที่ที่อยู่ห่างจากระบบไฟฟ้าหลัก

### 3.3 สรุป

ข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการประยุกต์ใช้งาน มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นแวดวงวิศวกรรมควรเพิ่มความสนใจและส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยด้านนี้ให้สูงขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์หนึ่งเพื่อการประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงการพัฒนาพลังงานทดแทนที่จะเป็นประโยชน์ต่อระบบพลังงานโดยรวมในอนาคต

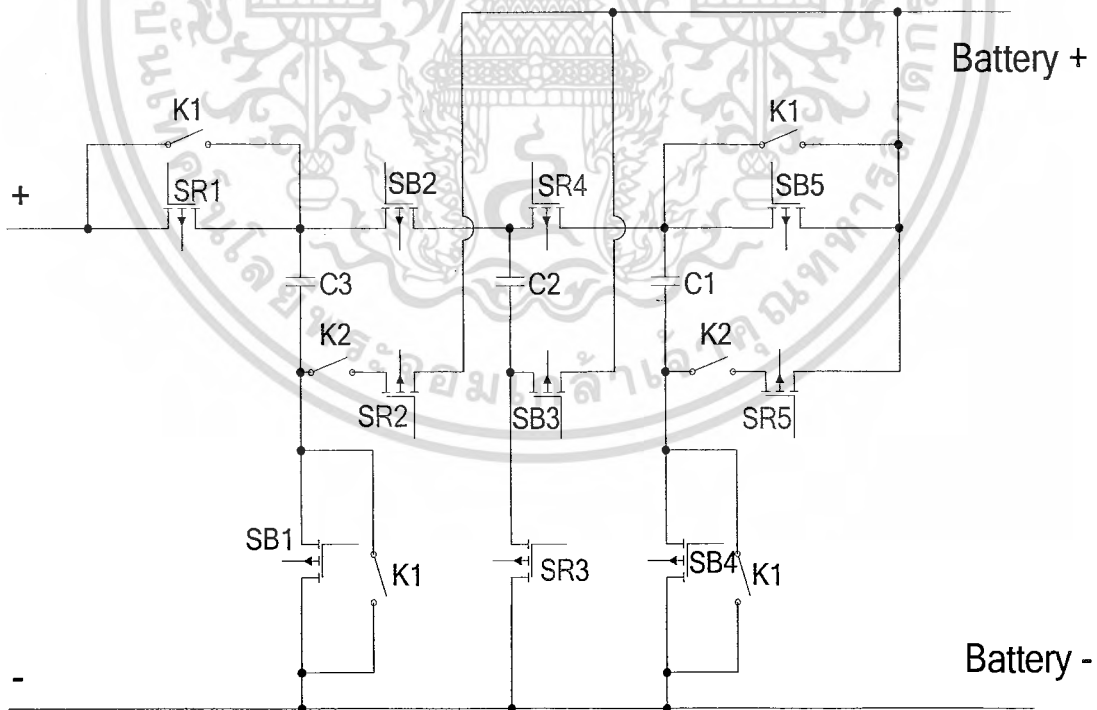
เอกสารอ้างอิง : วิบูลย์ ชื่นแขก , “บทบาทของอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อพลังงานไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงาน”, เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31),มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และมหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบและสร้าง

ในการออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) โดยทั่วไปมีโครงสร้างแบบแยกส่วนจากกันได้ (Modular) และสามารถที่ออกแบบวงจรโดยไม่ต้องจำกัดอัตราการแปลงรูปพลังงาน ในโครงงานชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบวงจร MMCCC ระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 เทา (เพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟตรงได้ 3 ระดับ) ซึ่งวงจร MMCCC ที่ทำการออกแบบจะประกอบด้วยวงจรสำคัญโดยหลัก 2 วงจร ได้แก่ วงจรควบคุมและกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยมีอัตราส่วนดิวตีไซเคิล 50% เพื่อนำขับสัญญาณเข้าขาเกต (Gate Drive) ของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง, อุปกรณ์แยกขาดทางไฟฟ้าด้วยแสง (Opto Isolate) และวงจรกำลัง ซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ, อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง, รีเลย์กำลัง ฯลฯ นอกจากนั้นวงจร MMCCC ยังต้องการการแหล่งจ่ายไฟตรง จึงต้องสร้างวงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier) เพื่อจ่ายไฟให้กับวงจร โดยสรุปวงจรที่ออกแบบให้สามารถเพิ่ม/ลดทอน แรงดันไฟฟ้าได้ภายในวงจรเดียวกันโดยอาศัยการสับสวิตซ์รีเลย์ในการสับเปลี่ยนโหมดแรงดันไฟตรงได้ดังแสดงในภาพที่ 4.1



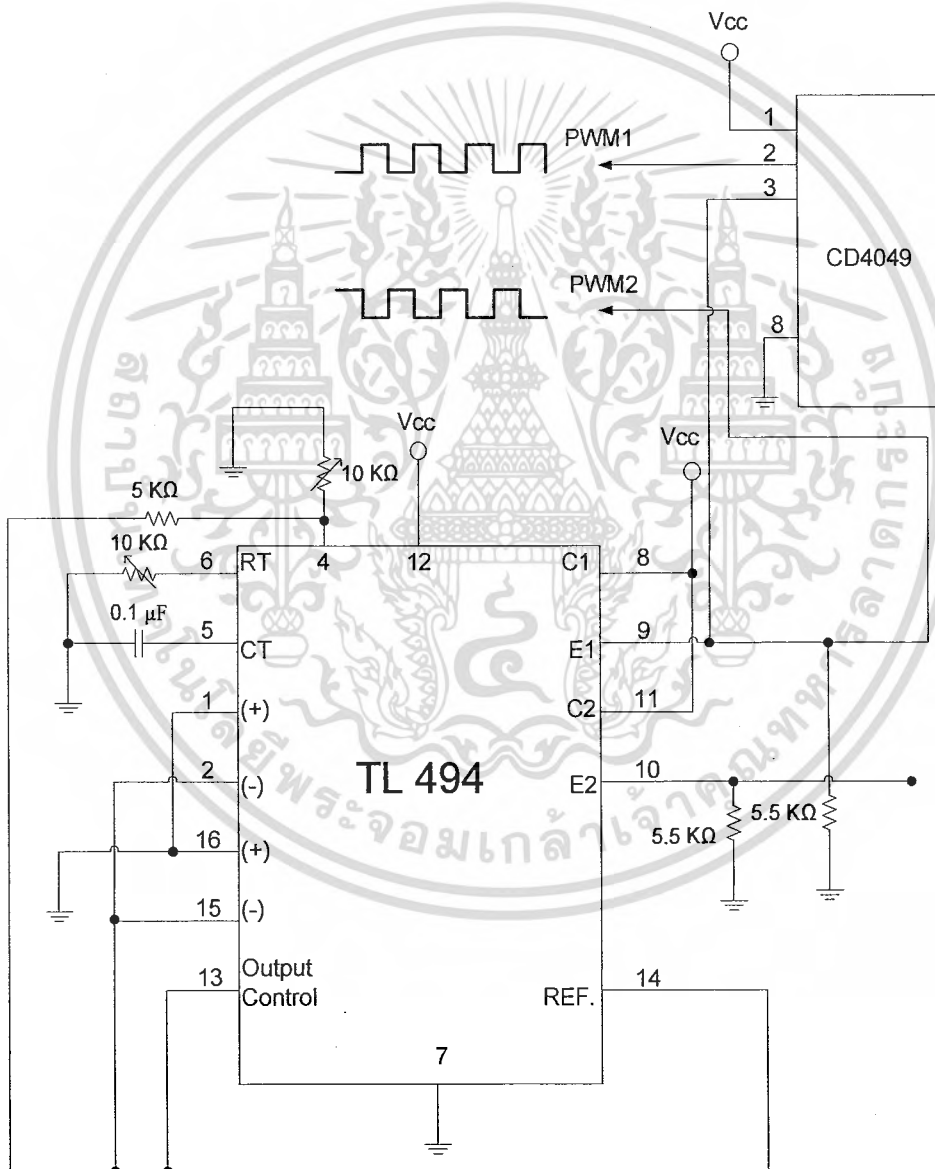
ภาพที่ 4.1 วงจร MMCCC ที่ออกแบบให้สามารถเพิ่ม/ลดทอน แรงดันไฟฟ้าได้ภายในวงจรเดียวกันโดยอาศัยการสับสวิตซ์รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 วงจรควบคุม (Control Circuit)

วงจรควบคุมและกำเนิดสัญญาณพัลส์ซึ่งแสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ทั้งหมดให้เห็นดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนดิวตี้ไซเคิล 50% เพื่อนำขับสัญญาณเข้าขาเกต (Gate Drive) ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเพื่อควบคุมช่วงเวลาการสวิตช์ซึ่งให้ตัวเก็บประจุมีการชาร์จประจุ/คายประจุ ในโหมดแรงดันไฟตรงที่ต่างกันได้ ต่อไปจะกล่าวถึงวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์และวงจรแยกขาดทางไฟฟ้าโดยอาศัยแสง

##### 4.1.1. ไอซีเบอร์ TL494 (TL494)



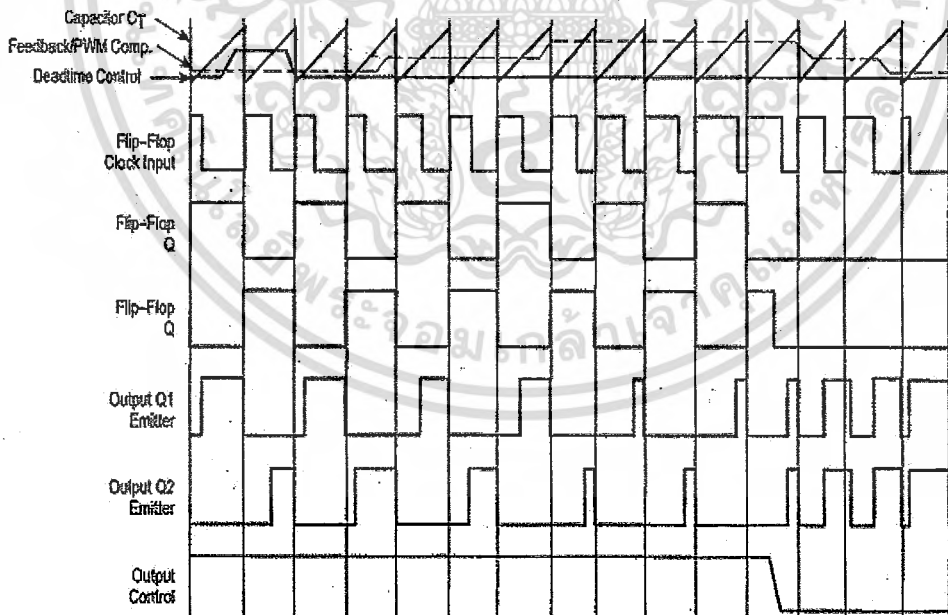
ภาพที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมวงจรไอซีเบอร์ TL494 และไอซี UN4049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.2 แสดงวงจรไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นไอซีที่กำเนิดสัญญาณพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) โดยการควบคุมสัญญาณความถี่ดังกล่าวเกิดจากการสร้างสัญญาณฟันปลา (Saw Tooth) ตัดกับสัญญาณไซน์ (Sine Wave) เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์ โดยการควบคุมความถี่ออสซิลเลชัน (Oscillation Frequency) จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสำคัญ 2 ตำแหน่งของไอซีเบอร์ TL494 คือ ที่ตำแหน่งขา 5 และขา 6 ของ TL494 โดยขา 5 คือ  $C_T$  และขา 6 คือ  $R_T$  ตามลำดับ ซึ่งความถี่ออสซิลเลชันสามารถหาได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$F_{osc} = 1.1 / (R_T + C_T) \quad (2)$$

แรงดันที่ตกคร่อม  $C_T$  จะมีสัญญาณฟันปลา หรือ สัญญาณแรมป์ (Ramp) สัญญาณฟันปลานี้จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มาจาก Error Amplifier และสัญญาณ Dead Time Control Nor Gate เป็นสัญญาณนำขั้วขาเกตที่เอาท์พุท  $Q_1$  และ  $Q_2$  ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งเอาท์พุททั้งสองจะทำงานก็ต่อเมื่อสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่สัญญาณอินพุทเข้า Flip-Flop อยู่ในสถานะต่ำ ซึ่งในกรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อแรงดันสัญญาณฟันปลามีแอมพลิจูด (Amplitude) มากกว่าสัญญาณ Error Amplifier และสัญญาณ Dead Time Control Nor Gate ดังนั้นการเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณควบคุมทั้งสองนี้จะทำให้คาบเวลาของสัญญาณพัลส์ที่เอาท์พุทลดลงดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผนผังเวลาการทำงาน (Time Diagram) ของไอซีเบอร์ TL494

(อ้างอิง : ปริญญาณีพนธ์ สจล .ปีการศึกษา 2550 A MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR

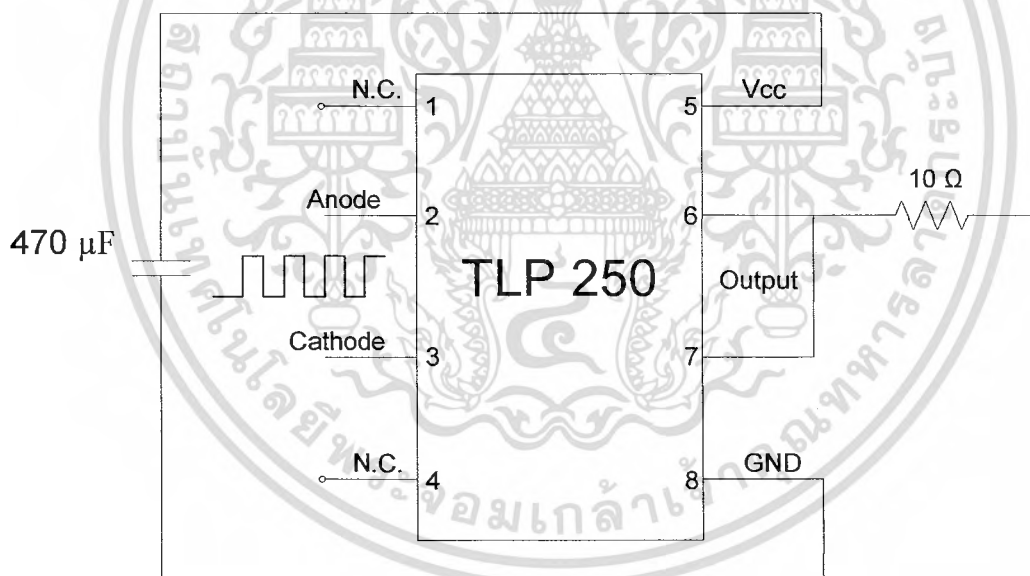
CLAMPED DC-DC CONVERTER ภาคผนวก ก. หน้า 47)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ออกมาจาก Dead Time Control Nor Gate มีแรงดันประมาณ 0.1 V แรงดัน Off Set นี้จะป้อนเข้าที่ขา Inverter ของอินพุตวงจร Dead Time Control Comparator  $C_T$  สูงกว่า 0.1 V วงจร Dead Time Control Comparator จะส่งเอาต์พุตเป็น High และในทุก ๆ ช่วงเวลาไซเคิลการออสซิลเลต (Oscillate)  $C_T$  จะทำให้เกิดการคายประจุ และหากว่าแรงดันที่มาจากสัญญาณ Dead Time Control Nor Gate ต่ำกว่า 0.1 V ในช่วงตอนต้นของสัญญาณฟันปลาในทุกๆลูกคลื่น เอาต์พุตของสัญญาณ Dead Time Control Comparator จะส่งเอาต์พุตเป็น Low เสมอ ทำให้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งไม่ทำงาน (Dead Time)

จากภาพที่ 4.2 ตำแหน่งขาที่ 9 (E1) ของไอซีเบอร์ TL494 จะเป็นสัญญาณอินพุตให้กับ ไอซีเบอร์ CD4049 (CMOS) ซึ่งเป็นสัญญาณ PWM ที่มาจากไอซีเบอร์ TL494 เข้าขา 3 ของ ไอซีเบอร์ CD4049 เพื่อรักษาแอมพลิจูดและความถี่ให้คงที่ หากต้องการกลับเฟสพัลส์สัญญาณ PWM ดังกล่าวก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน โดยต้องเปลี่ยนจากไอซีเบอร์ CD4049 เป็น ไอซีเบอร์ CD4050

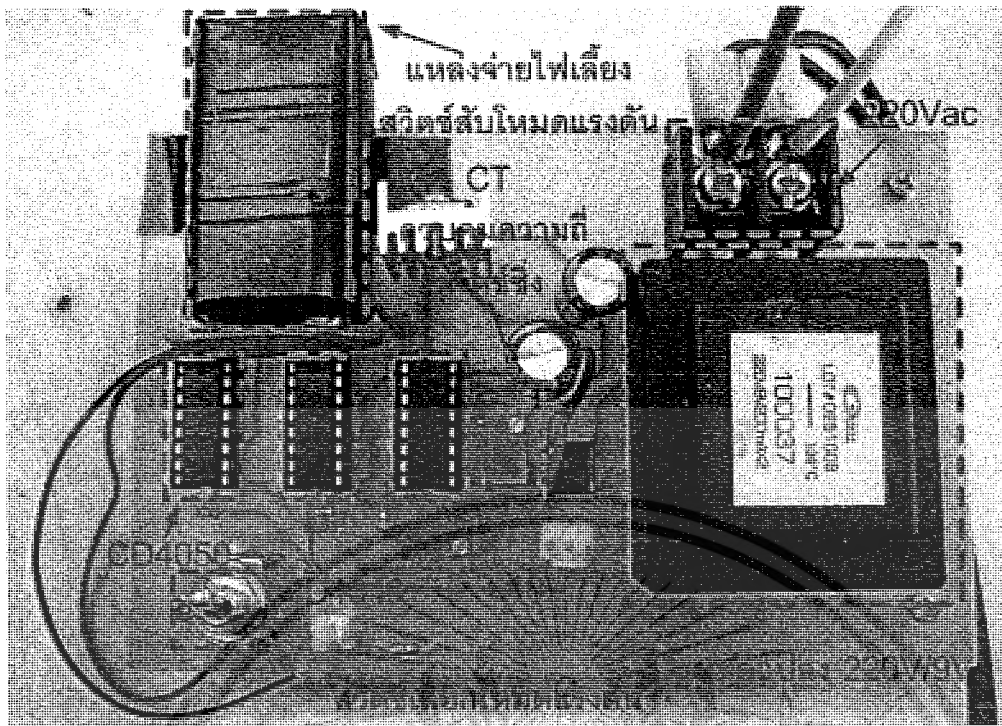
#### 4.1.2. ไอซีเบอร์ TLP250 (TLP250)



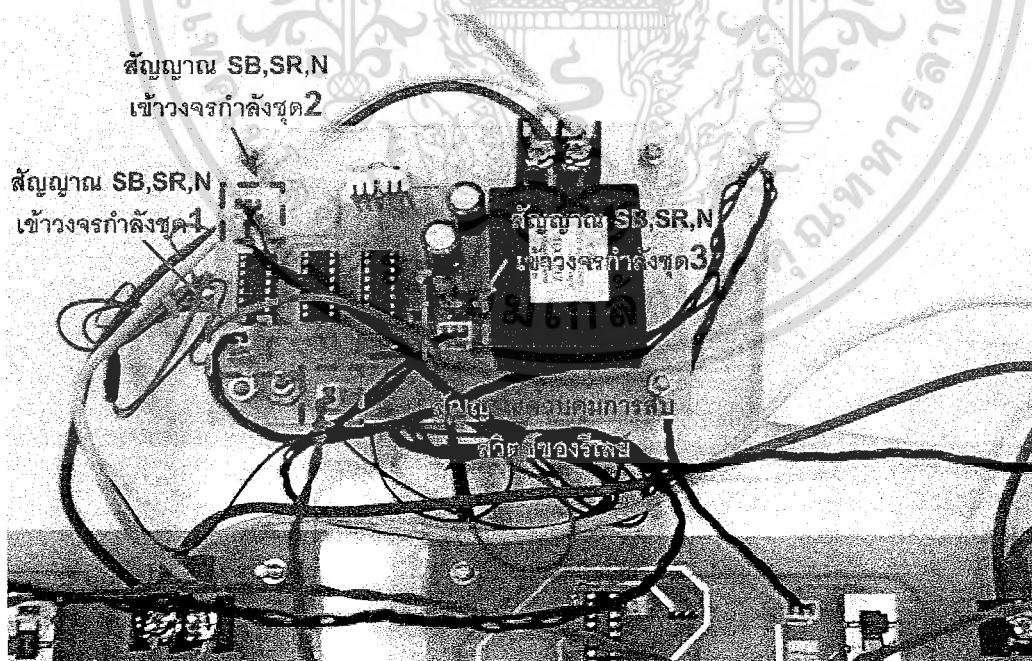
ภาพที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรไอซีเบอร์ TLP250

จากภาพที่ 4.4 แสดงวงจรไอซีเบอร์ TLP250 ซึ่งเป็นวงจรแยกขาดทางไฟฟ้าด้วยแสง (Opto Isolate) ซึ่งรับอินพุตสัญญาณ PWM จากไอซีเบอร์ CD4049 หรือไอซีเบอร์ CD4050 เข้าตำแหน่งขา 2 และขา 3 และเอาต์พุตสัญญาณในตำแหน่งขา 6 และขา 7 จากภาพที่ 4.4 ต้องต่อความต้านทาน (Resistance) ขนาด 10  $\Omega$  เพื่อต้านกระแสไหลย้อนกลับ ทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์อื่นๆ แต่ไอซีเบอร์ TLP250 จะไม่สามารถทำงานได้หากไม่ได้ป้อนแหล่งจ่ายไฟเข้าขา 5 และขา 8 โดยต้องต่อตัวเก็บประจุขนาด 470  $\mu F$  ก่อนเข้าขา 5 และขา 8

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 วงจรควบคุมจริงซึ่งอาศัย TL4974 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมการสวิตช์ซึ่ง โดยรับแรงดันไฟ 220Vac แล้วแปลงแรงดันผ่านหม้อแปลง 9Vac เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ TL494, CD4049 และ CD4050 โดย ขา 6 ของ TL494 สามารถควบคุมความถี่สวิตช์ซึ่ง ตาม สมการที่(2) ที่ได้กล่าวไว้ เชื่อมต่อกับสวิตช์เลือกโหมดแรงดัน

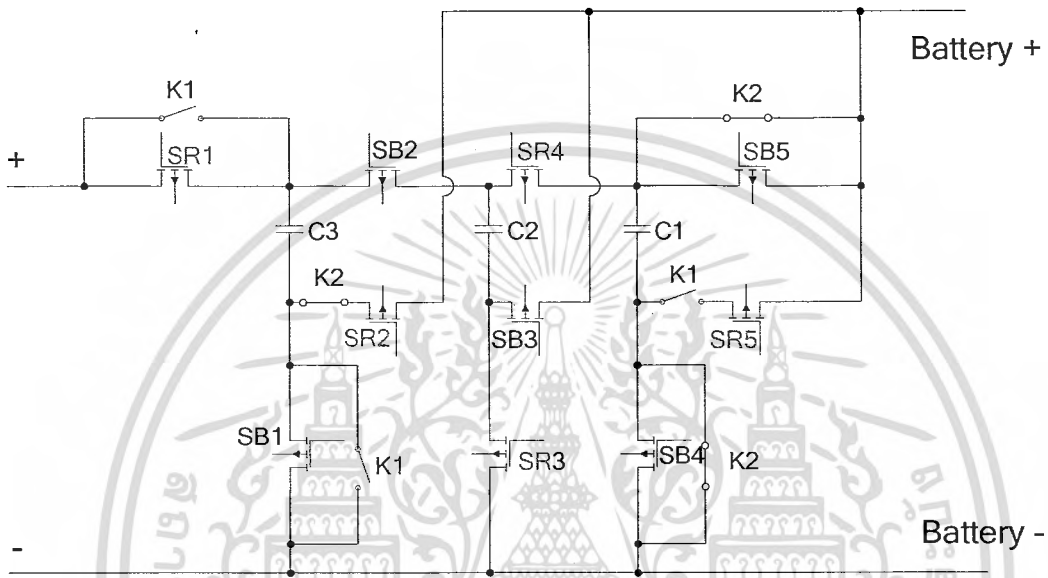


ภาพที่ 4.6 วงจรควบคุมจริงต่อเข้ากับชุดวงจรกำลัง โดยต่อชุดสัญญาณ SB,SR,N เข้าวงจร กำลังทั้ง 3 ชุดวงจร และต่อสัญญาณควบคุมการสวิตช์ของรีเลย์ในการเปลี่ยนโหมด

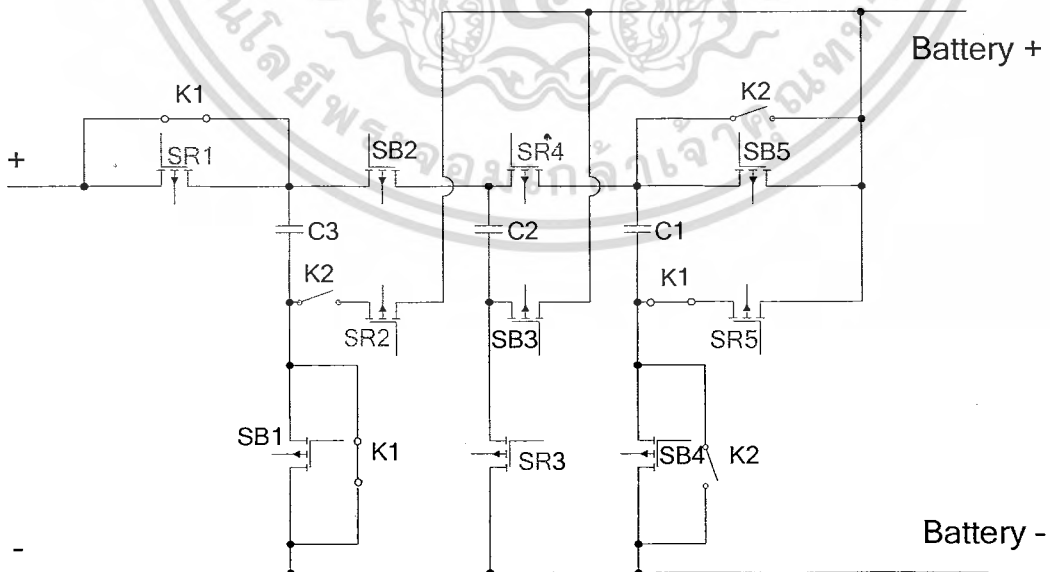
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 วงจรกำลัง (Power Circuit)

วงจรกำลังแสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ, อุปกรณ์สวิตซ์ซีง, รีเลย์กำลัง โดยต่อกันเป็นวงจร MMCCC ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 4.1 ออกแบบให้สามารถเพิ่ม/ลดทอน แรงดันไฟฟ้าได้ภายในวงจรเดียวกันโดยอาศัยการสับสวิตซ์รีเลย์ โหมดการเพิ่ม/ลดทอน แรงดันไฟฟ้า แสดงให้เห็นในภาพที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 การสับสวิตซ์รีเลย์ (K1 OFF, K2 ON) ในโหมดแปลงแรงดันลง



ภาพที่ 4.8 การสับสวิตซ์รีเลย์ (K1 ON, K2 OFF) ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

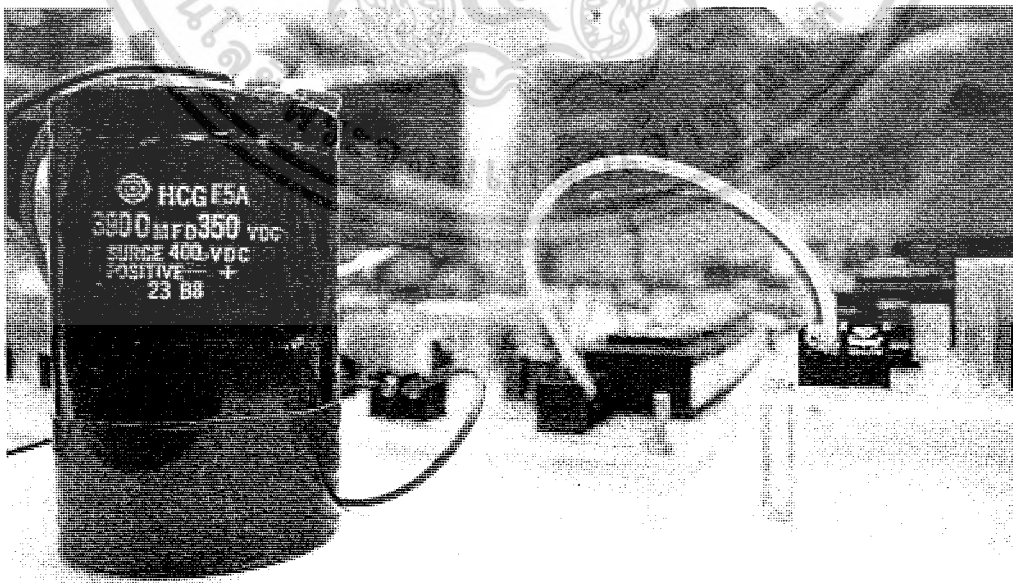
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ในโครงการชิ้นนี้ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เบอร์ HCGF5A ความจุ 3900  $\mu\text{F}$  ทนพิกัดแรงดันไฟตรง 350 VDC ทนแรงดันเซอร์จ (Voltage Surge) พิกัด 400 VDC จากวงจร MMCCC ในภาพที่ 4.1 จะใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 3 ตัว แสดงลักษณะภายนอกให้เห็นดังภาพที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.9 ลักษณะตัวเก็บประจุที่ใช้ในโครงการ  
( อ้างอิง : <http://gzlce.blog.163.com> )



ภาพที่ 4.10 ตัวเก็บประจุที่ต่อเข้ากับวงจรกำลังจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

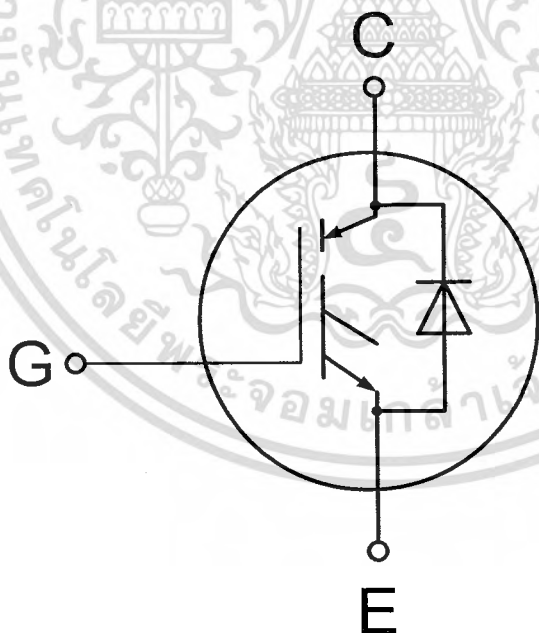
#### 4.2.2. อุปกรณ์สวิตช์ซิ่ง (Switching Device)

ในโครงการชิ้นนี้ได้ใช้อุปกรณ์สวิตช์ซิ่งซึ่งเป็น IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) เบอร์ HG2G20N60B3D ของบริษัท Fairchild Semiconductor จำกัด ด้วยคุณสมบัติที่สามารถทนแรงดันในการสวิตช์ซิ่งสูง ซึ่งรวมเอาข้อดีของ MOSFETs และ Bipolar Transistor

ในสภาวะทำงานอุปกรณ์มีค่าอิมพีแดนซ์อินพุตสูง และมีค่าความสูญเสียเหนี่ยวนำต่ำ (Low Conduction Loss) แรงดันไฟตกตกคร่อมต่ำ สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ( $25^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่ง IGBT เบอร์ HG2G20N60B3D มีคุณสมบัติ ดังนี้

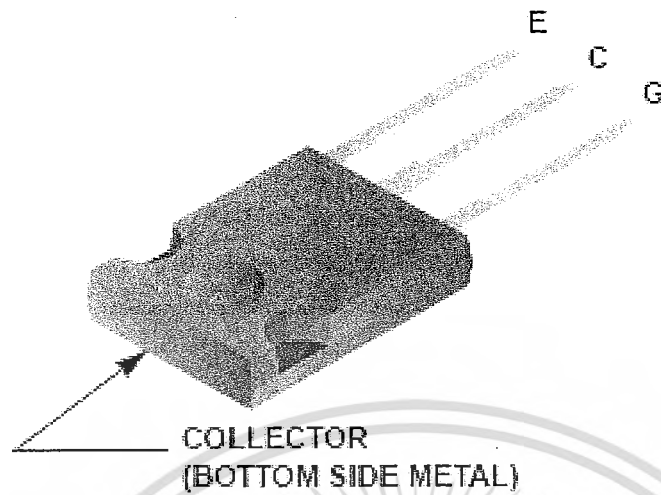
1. ทนกระแสสูงสุด 40A แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 600V ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$
2. เวลาขาลง (Fall Time) 140ns ที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$
3. ทนพิกัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Rated)
4. ค่าความสูญเสียเหนี่ยวนำต่ำ (Low Conduction Loss)
5. ความเร็วในการ Anti-Parallel Diode สูง

แสดงแผนผังวงจร และลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของ IGBT เบอร์ HG2G20N60B3D ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และ ภาพที่ 4.12 ตามลำดับ

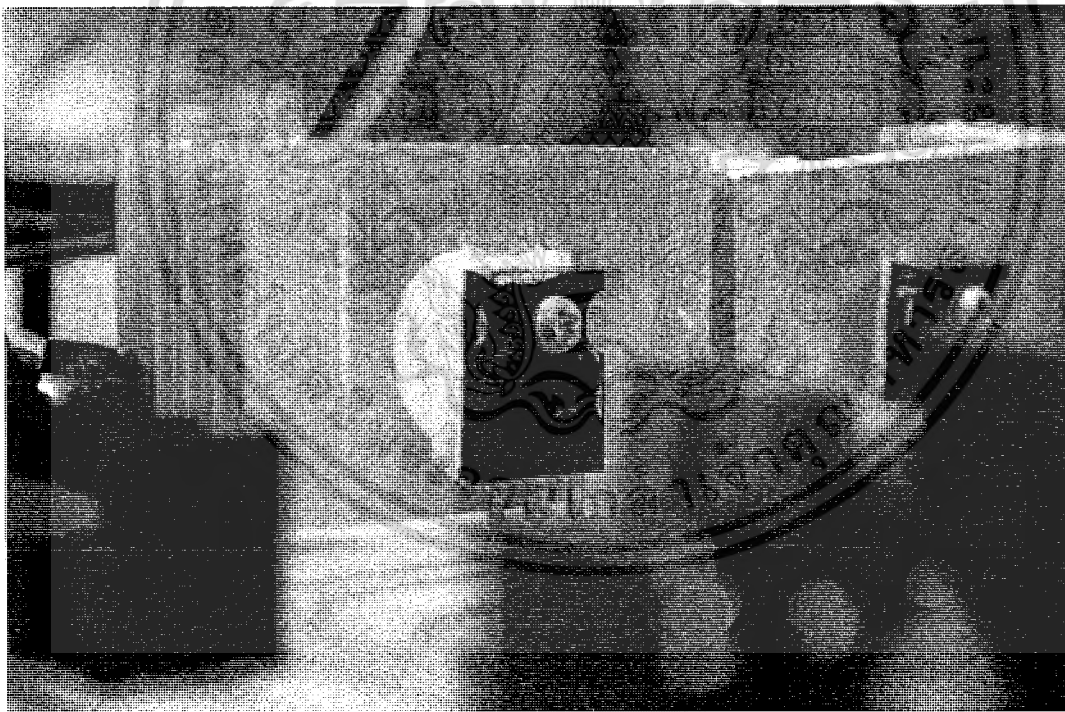


ภาพที่ 4.11 แผนผังวงจร IGBT เบอร์ HG2G20N60B3D

(อ้างอิง : <http://www.es.co.th/Schematic/PDF/HG2G20N60B3D-FSC.PDF>)



ภาพที่ 4.12 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของวงจรถวาย IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D  
(อ้างอิง : <http://www.es.co.th/Schematic/PDF/HGTG20N60B3D-FSC.PDF>)



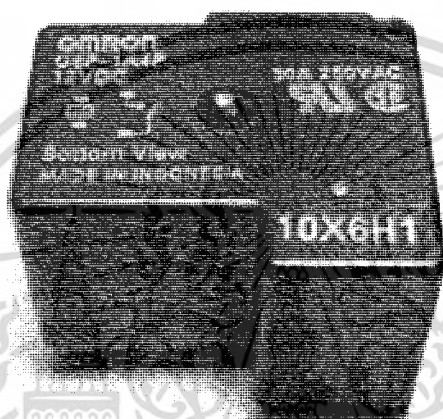
ภาพที่ 4.13 IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D จากวงจรถวายจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 รีเลย์กำลัง (Power Relay)

ในโครงการชิ้นนี้ได้ใช้รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P ของบริษัท OMRON จำกัด เป็นรีเลย์กำลังที่ใช้สำหรับลงบอร์ดแผ่นปริ้นท์ลายวงจร (Print Circuit Board Power Relay) ด้วยคุณสมบัติกระแสในการสวิตช์สูงสุดถึง 30A ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเลี้ยงรีเลย์กำลัง 12 VDC มีหน้าสัมผัส (Contact) แบบ SPDT และ SPST ในสภาวะปกติเปิด (NO, Normally Open)

แสดงลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของ รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ดังนี้

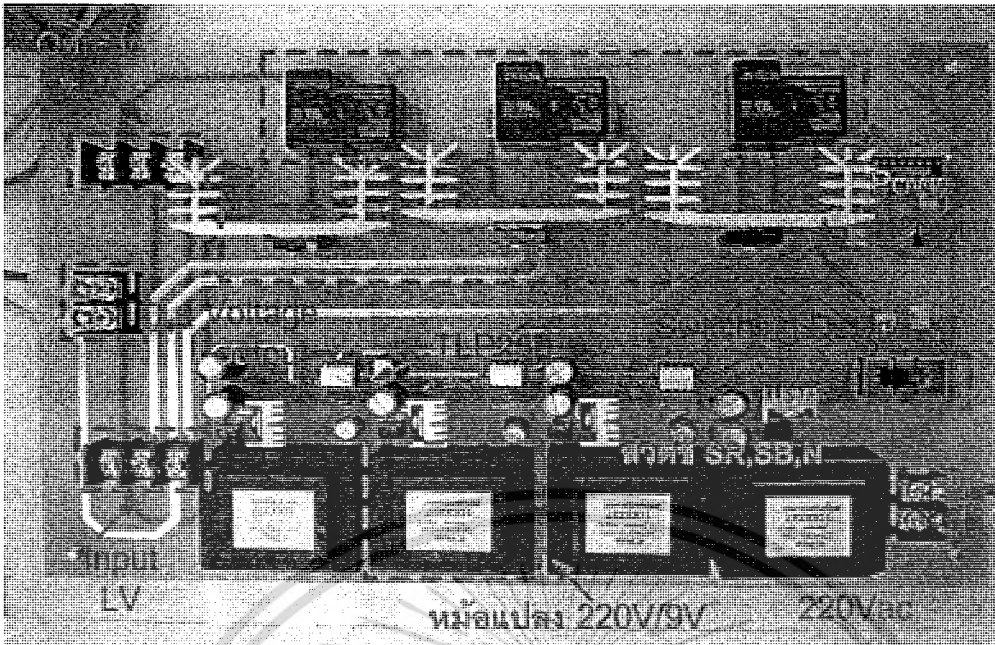


ภาพที่ 4.14 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของ รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P  
(อ้างอิง : <http://www.es.co.th/Schematic/PDF/G8P-OR.PDF>)

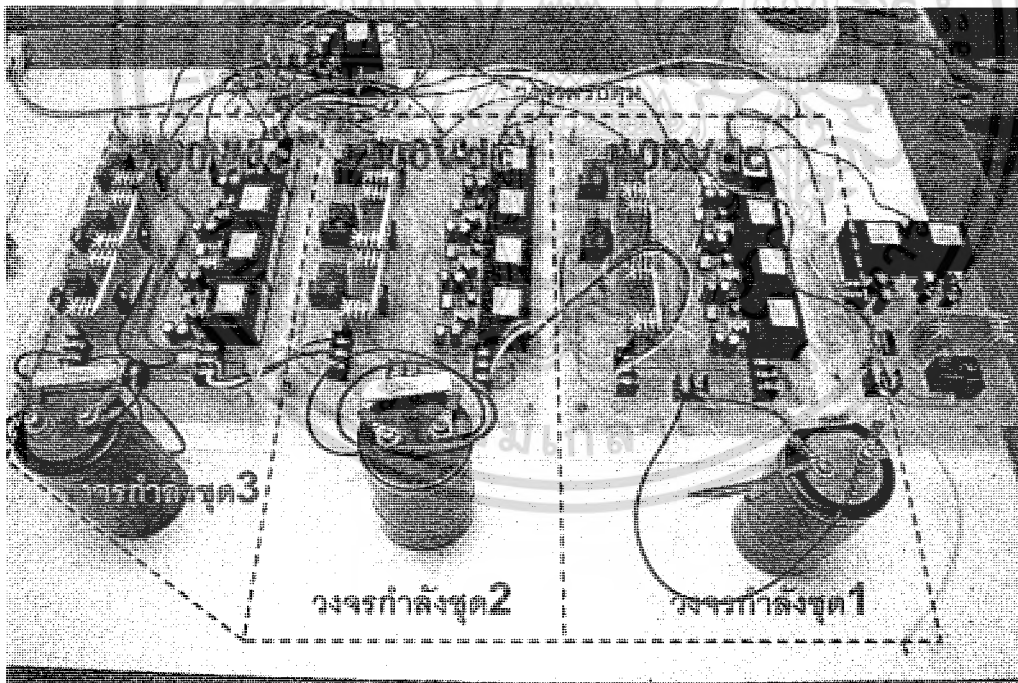


ภาพที่ 4.15 รีเลย์กำลัง เบอร์ G8P-1A4P จากวงจรกำลังจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ชุดวงจรกำลังจริงรับแหล่งจ่ายไฟ 220Vac ผ่านหม้อแปลงแรงดัน 9Vac เพื่อแปลงเข้า Regulator 7818 เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับ TLP250 ในการรับสัญญาณสวิทช์ SR,SB,N เพื่อส่งเข้าขั้วขาเกิดของอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งต่อไป

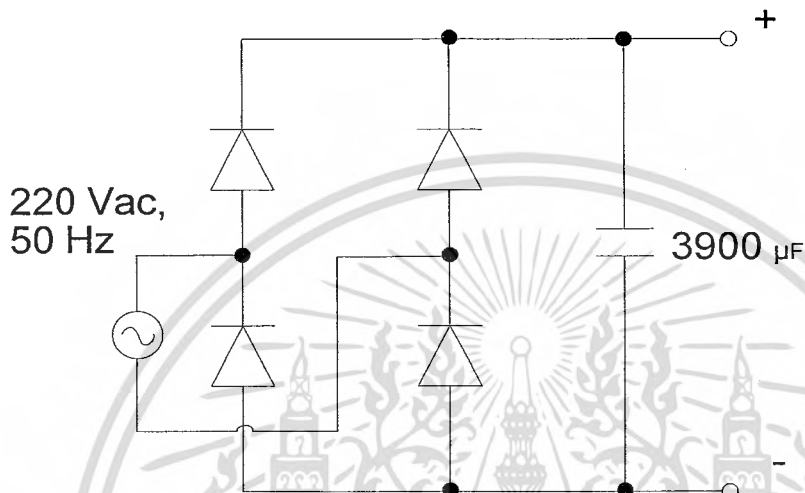


ภาพที่ 4.17 วงจรกำลังจริงเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมเพื่อส่งให้ตัวเก็บประจุมีการชาร์จประจุ/คายประจุ ในการเพิ่ม/ลดทอนแรงดันไฟตรง ซึ่งหากป้อนแหล่งจ่ายไฟตรงจากวงจรเรียงกระแสเข้าวงจรกำลังชุด 1 แรงดันไฟตรง 100Vdc วงจรกำลังชุด 2 และ ชุด 3 จะมีแรงดันไฟตรงตกคร่อมตัวเก็บประจุ 200Vdc และ 300Vdc ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier Circuit)

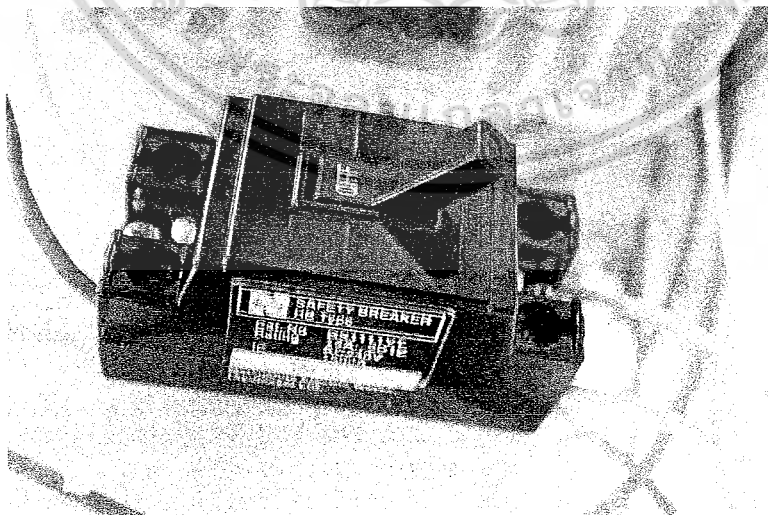
วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (AC/DC Voltage) ซึ่งวงจรประกอบด้วย Switch Breaker, Bridge Diode และตัวเก็บประจุ เพื่อนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจร MMCCC



ภาพที่ 4.18 บล็อกไดโอดะแกมวงจรเรียงกระแส

#### 4.3.1. เบรกเกอร์ตัดไฟ (Switch Breaker)

เบรกเกอร์ตัดไฟเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ตัดไฟจากแหล่งจ่ายไฟ เพื่อไม่ให้เข้าอุปกรณ์, วงจร หรือภาระทางไฟฟ้า ให้ขาดออกจากกัน ซึ่งลักษณะภายนอกโดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 4.19

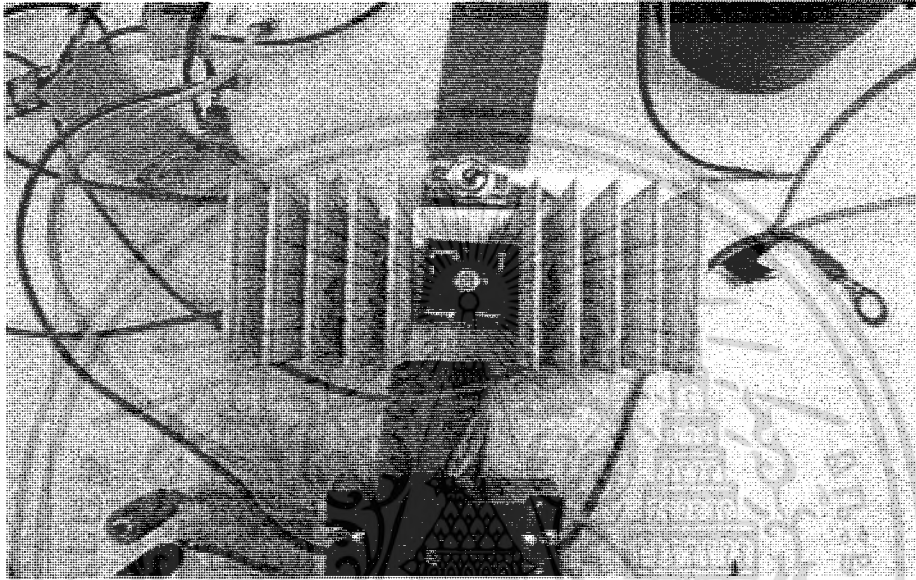


ภาพที่ 4.19 เบรกเกอร์ตัดไฟ (Switch Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2. ไดโอดเรียงกระแส (Bridge Rectifier)

ไดโอดเรียงกระแสเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเรียงกระแสจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในโครงงานได้ใช้วงจรเรียงกระแสเป็นแบบครึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Rectifier) และต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด  $\mu\text{F}$  เพื่อเรียงกระแสให้ราบเรียบมากขึ้น (ไม่มีผลของรูปคลื่นไซน์)

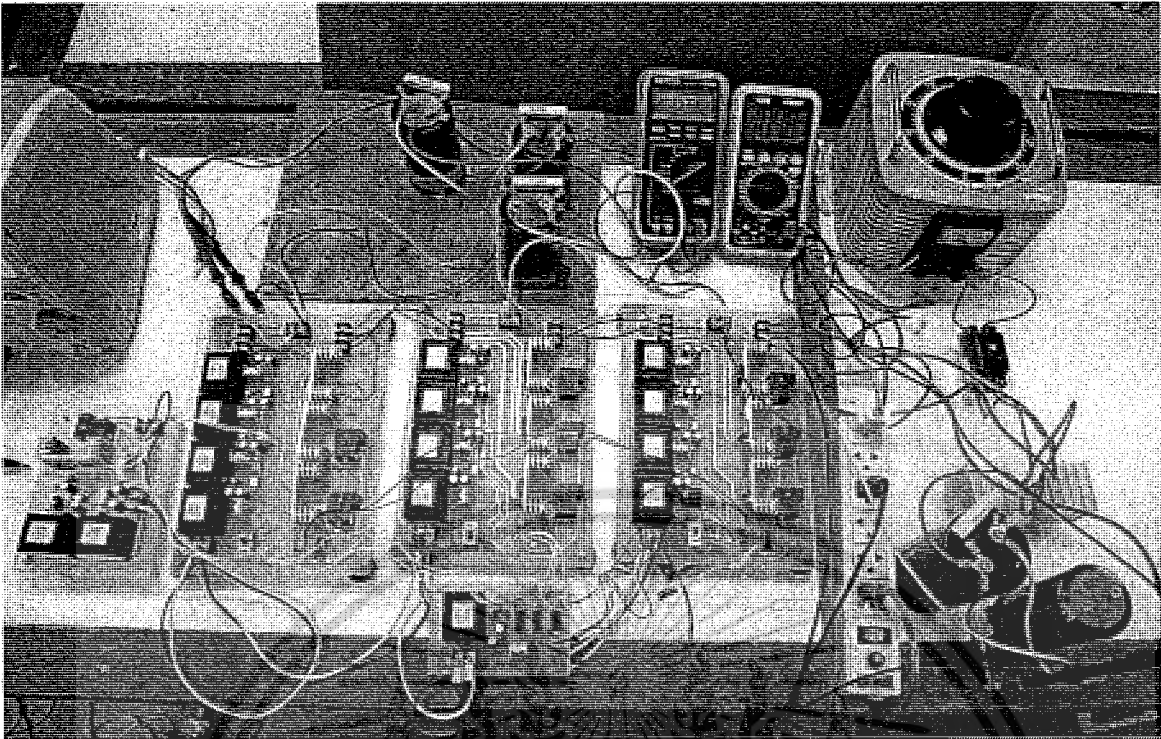


ภาพที่ 4.20 ไดโอดเรียงกระแส (Bridge Rectifier)



ภาพที่ 4.21 วงจรเรียงกระแสเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 วงจร MMCCC จริงที่เสร็จสมบูรณ์ขณะทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองในโหมดแรงดันขึ้น (Step Up DC Voltage) โดยทำการป้อนแรงดันไฟตรง 104.8Vdc เข้าวงจรกำลังชุด 1 ผลจากการสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 10Khz ทำให้ได้แรงดันในวงจรกำลังชุด 2 และชุดที่ 3 ได้แรงดันไฟตรง 205.6Vdc และแรงดันไฟตรง 312.1Vdc ตามลำดับ

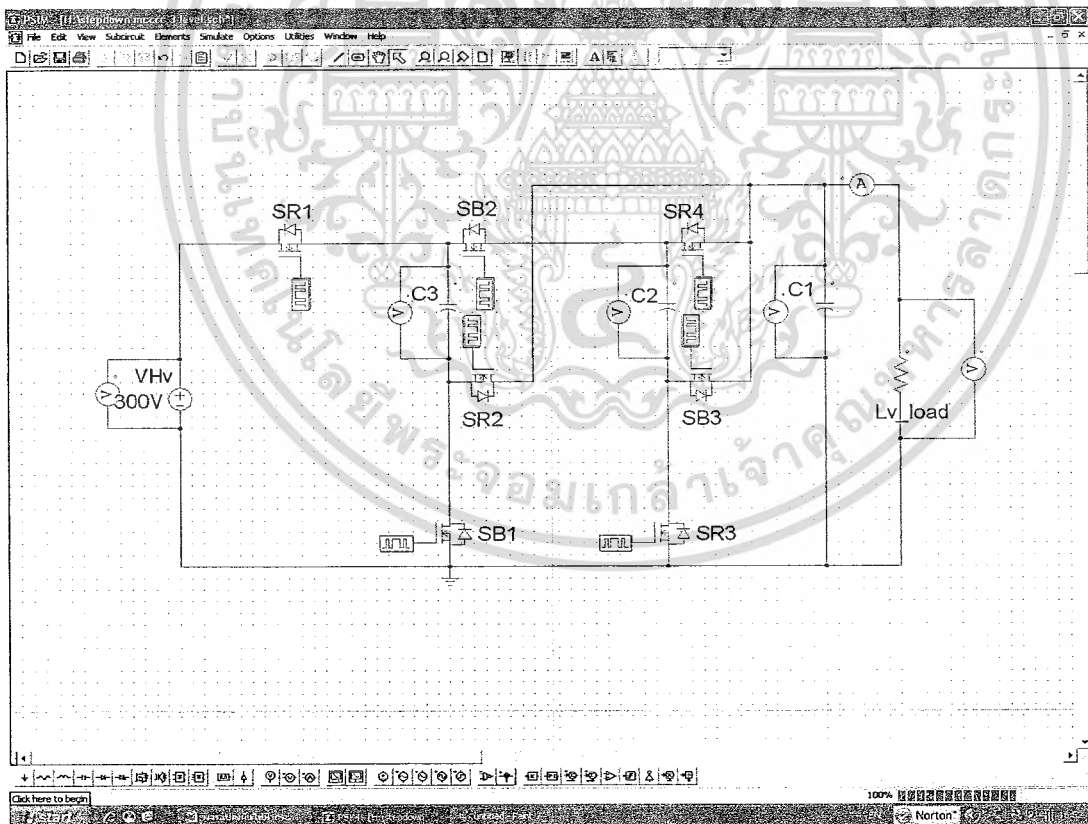
## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

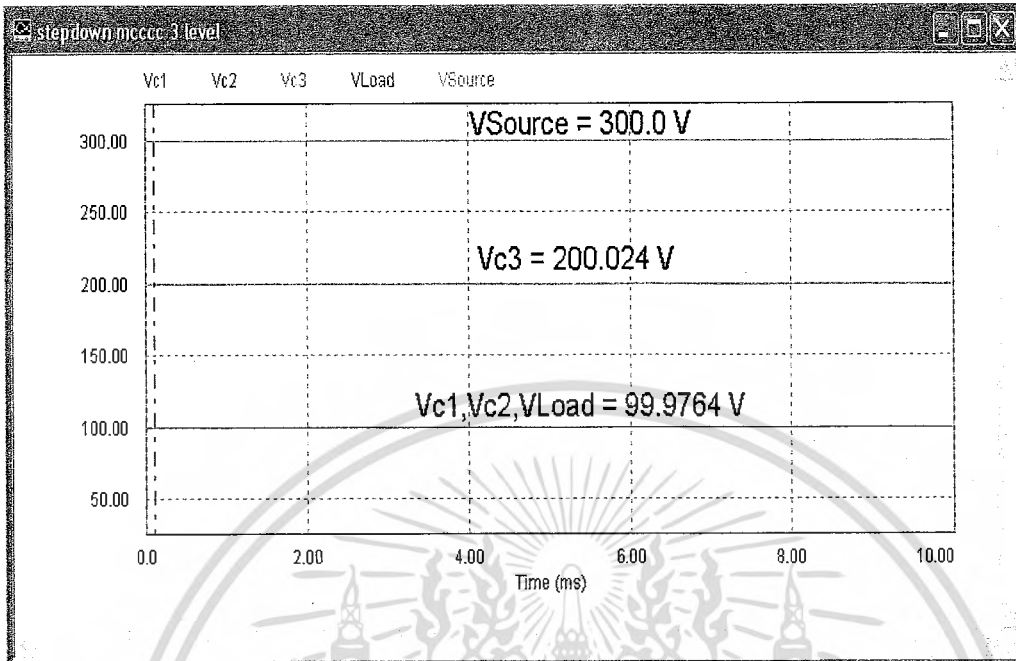
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้า กระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) ในสภาวะโหมดแปลงแรงดันลง และโหมดแปลงแรงดันขึ้น ด้วยโปรแกรม PSIM (Power Simulation) เพื่อพิสูจน์ว่าวงจรทั้งสองโหมดสามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จริง โดยทำการจำลองหารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าได้

##### 5.1.1. การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโหมดแปลงแรงดันลง

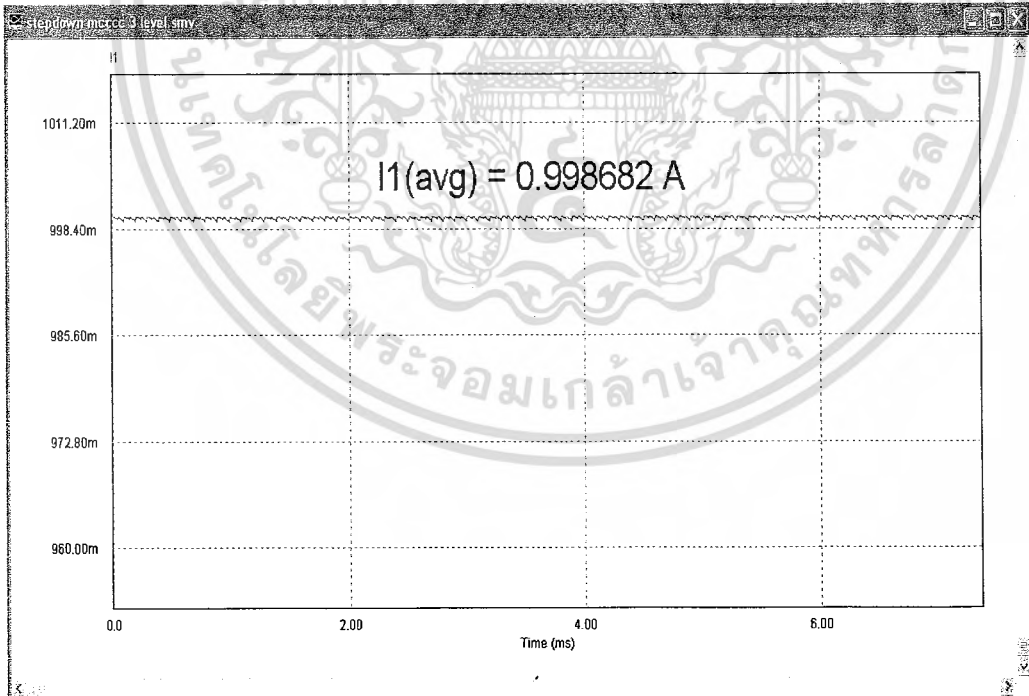


ภาพที่ 5.1 การจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM ในโหมดแปลงแรงดันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



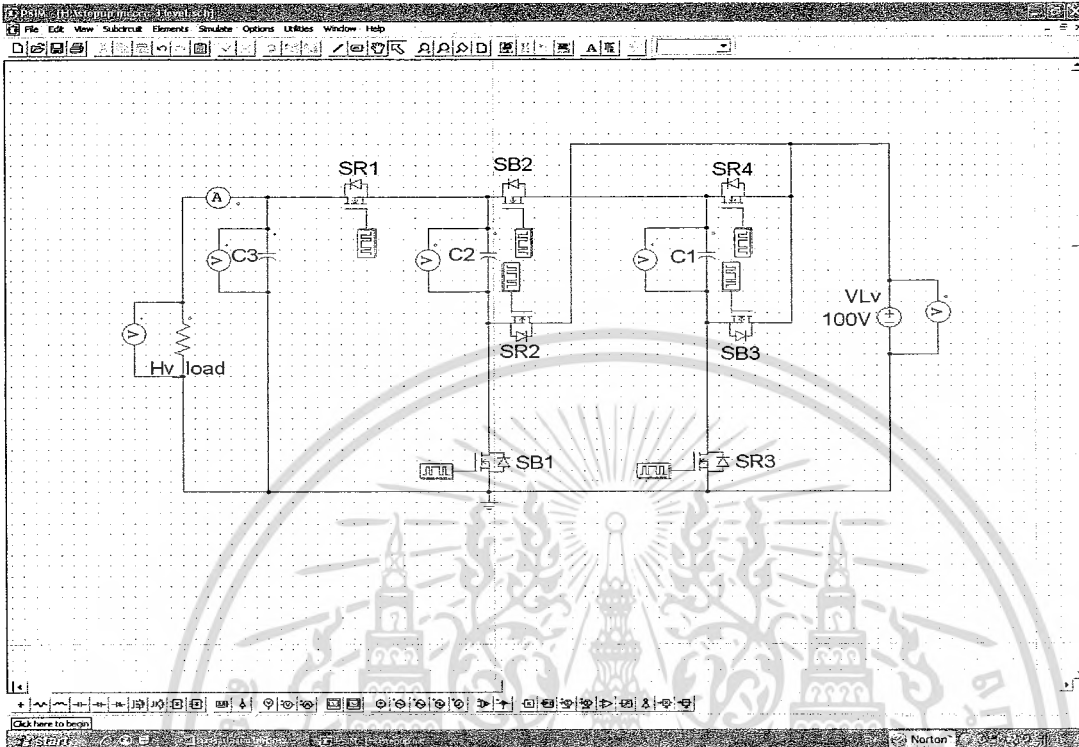
ภาพที่ 5.2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง



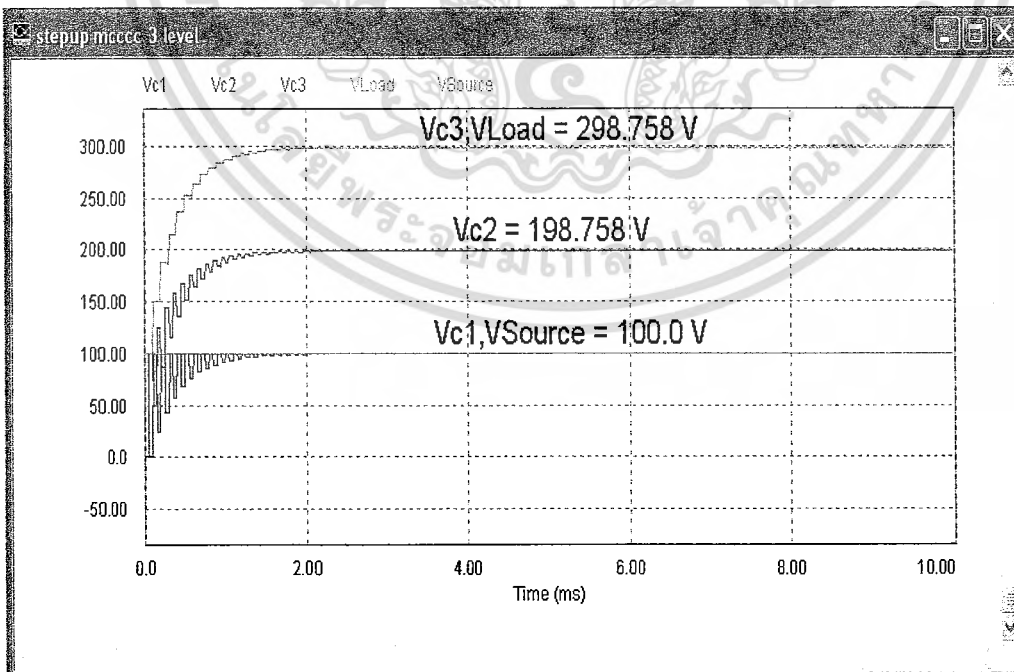
ภาพที่ 5.3 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2. การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

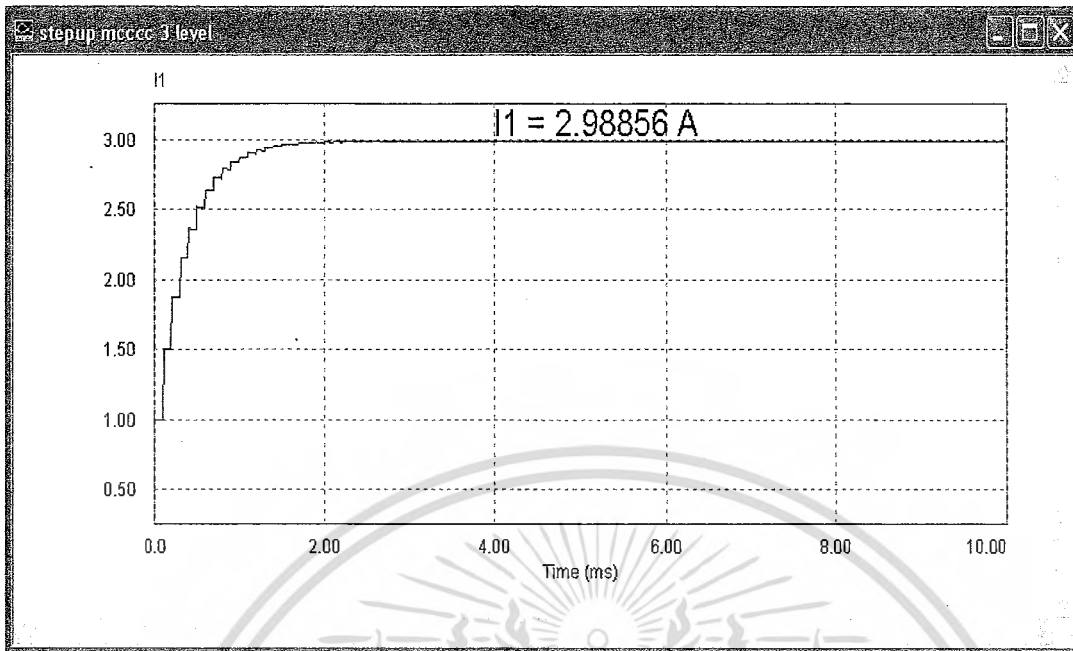


ภาพที่ 5.4 การจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น



ภาพที่ 5.5 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



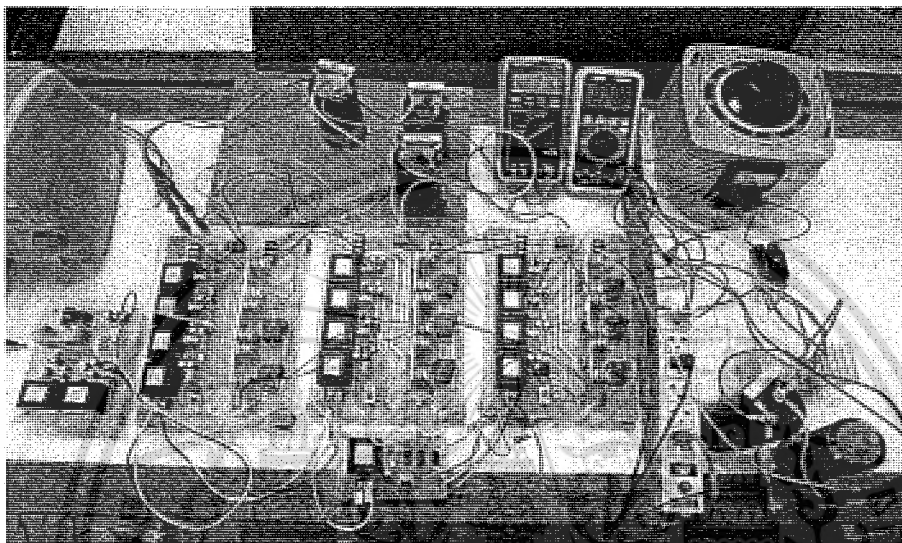
ภาพที่ 5.6 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

### 5.1.3. สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการจำลองวงจร MMCCC ซึ่งประกอบด้วยวงจรส่วนที่แยกออกจากกัน 3 ชุดวงจร จากสมมติฐานวงจร MMCCC จะต้องสามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยอัตราส่วนการแปลงรูปพลังงาน 3 เท่า ทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM (Power Simulation) เพื่อพิสูจน์ว่า วงจรทั้งสองโหมดสามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยทำการจำลองหา รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าพบว่าวงจร MMCCC สามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จริง ในโหมดแปลงแรงดันลงทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟตรง 300Vdc จะได้แรงดันที่ตกคร่อม  $C_1$  และ  $C_2$  เท่ากับ 99.9764Vdc ส่วนในโหมดแปลงแรงดันขึ้นได้ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟตรง 100Vdc จะได้แรงดันที่ตกคร่อม  $C_3$  เท่ากับ 298.758Vdc จึงสรุปได้ว่า วงจร MMCCC สามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ได้ตามอัตราส่วนการแปลงรูปจริง เพื่อนำข้อมูลจากการจำลองไปใช้ในออกแบบและทดลองวงจร MMCCC จริง

## 5.2 ผลการทดลองวงจรจริง

การทดลองวงจรจริงโดยการป้อนอินพุตแรงดันไฟตรง 100V เข้าวงจรแปลงผันไฟฟ้า กระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) ด้วยอัตราส่วนการแปลงรูปพลังงานเท่ากับ 3 เท่า ดังนั้นแรงดันไฟตรงเอาต์พุตจึงเท่ากับ 300V เพื่อไปจ่ายภาระทางไฟฟ้า (หลอดไฟ 220VAC 100W) ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.7 การทำงานของวงจรในสภาวะจริงในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า (No-Load) ซึ่งต่อวงจรกำลังและวงจรควบคุมดังภาพที่ 5.7 โดยทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟตรงจาก Variac ผ่านเข้าวงจรเรียงกระแสเพื่อให้ได้แรงดันไฟตรงป้อนเข้าวงจร MMCCC เท่ากับ 104.8Vdc ผลปรากฏว่าแรงดันเอาต์พุตที่ดักคร่อมตัวเก็บประจุในชุดวงจรกำลัง 3 เท่ากับ 312.7Vdc ซึ่งมีอัตราส่วนการแปลงรูปพลังงาน 3 เท่าจริง ต่อไปจึงทำการต่อภาระทางไฟฟ้าเพื่อดูผลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

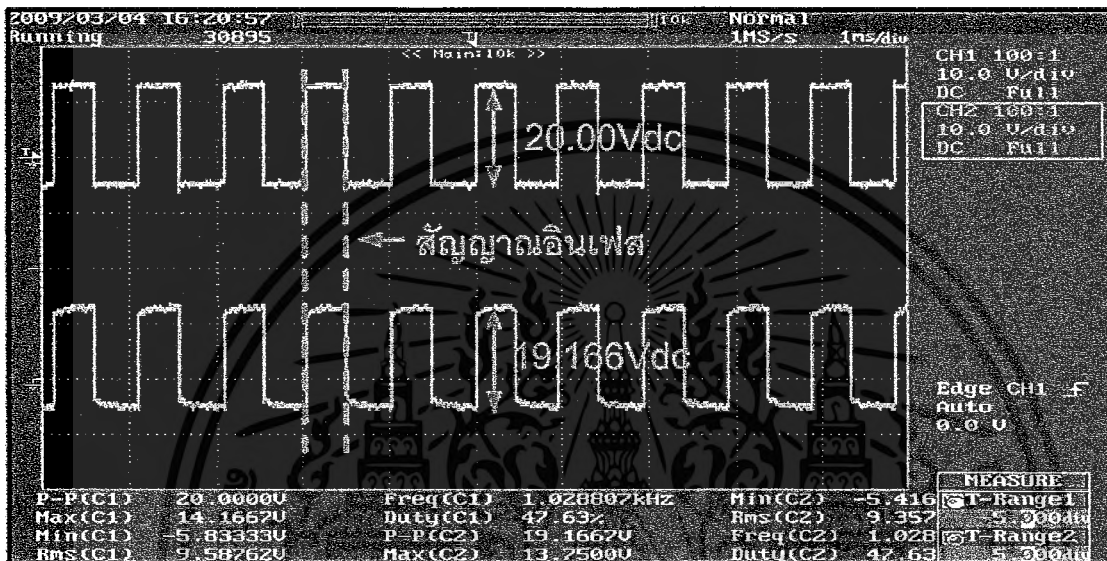


ภาพที่ 5.8 แรงดันไฟตรงอินพุต 104.8Vdc ผ่านวงจร MMCCC ได้แรงดันไฟตรงเอาต์พุต 312.3Vdc จริง

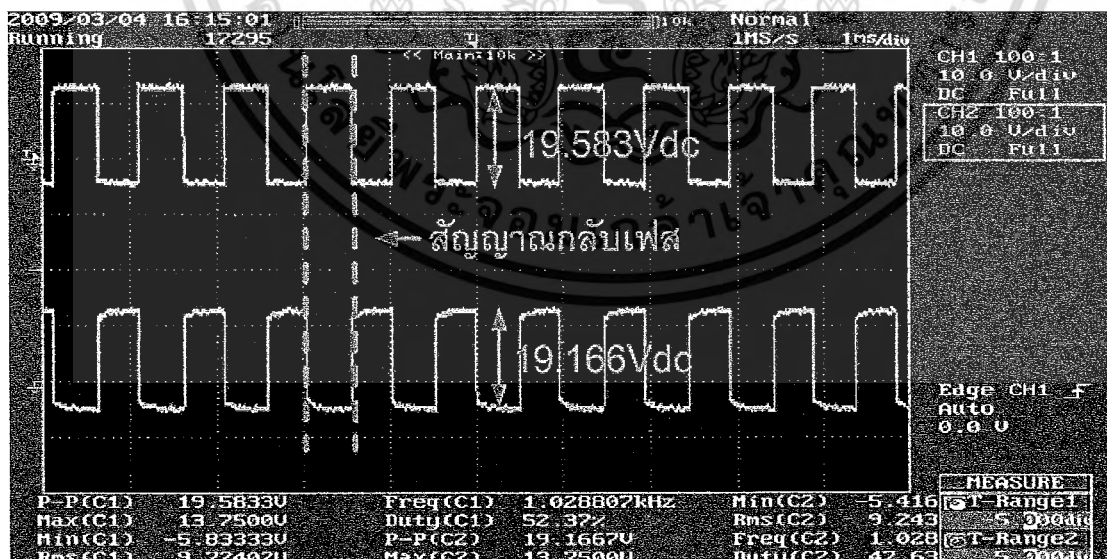
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.1. ผลการทดลองสัญญาณควบคุม

การทดลองวงจรควบคุมโดยต้องการสัญญาณพัลส์ที่มีอัตราส่วนดิวตีไซเคิล 50% เพื่อนำขับสัญญาณเข้าขาเกต (Gate Drive) ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ใช้ TL494 เป็นไอซีตัวกำเนิดสัญญาณ และใช้ CMOS ในการคงสภาพแรงดันสัญญาณให้สามารถจ่ายสัญญาณได้โดยใช้เบอร์ CD4049 และ CD4050 สำหรับกลับเฟสสัญญาณจาก CD4049 ซึ่งใช้ Oscilloscope ในการวัดสัญญาณได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.9 สัญญาณควบคุมที่ได้จากไอซีเบอร์ CD4049 และสัญญาณควบคุมจากไอซีเบอร์ TLP250 ตามลำดับ (สัญญาณเฟสเดียวกัน)

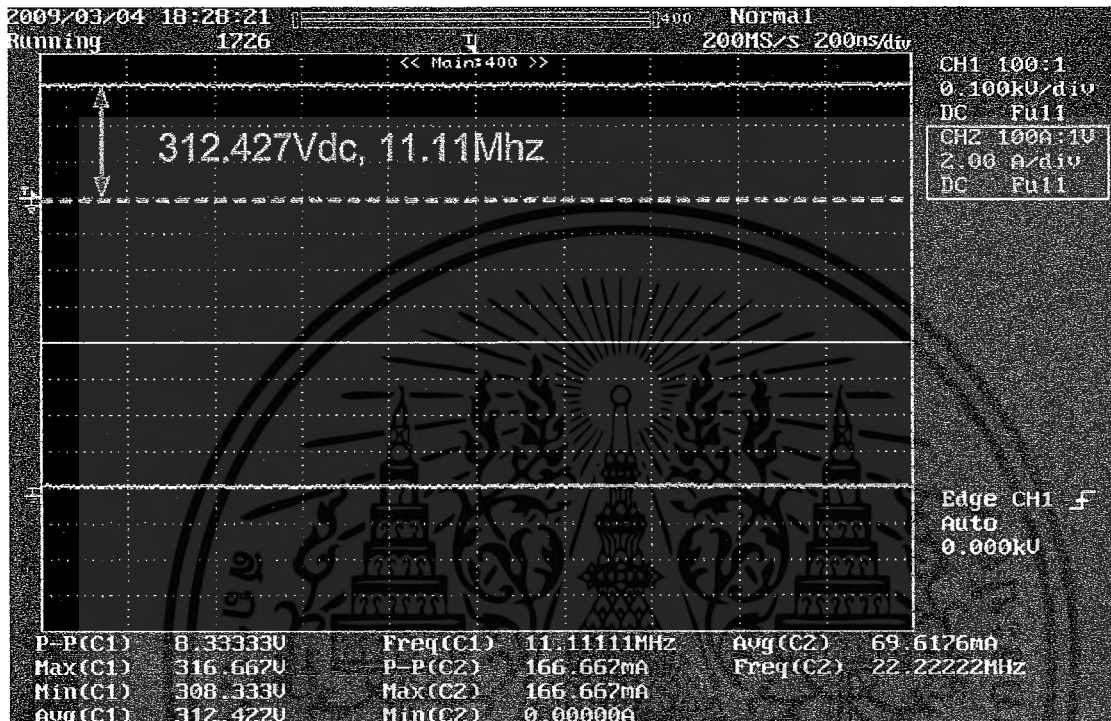


ภาพที่ 5.10 สัญญาณควบคุมที่ได้จากไอซีเบอร์ CD4050 และไอซีเบอร์ CD4049 ตามลำดับ (สัญญาณกลับเฟส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.2. ผลการทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะ No-Load

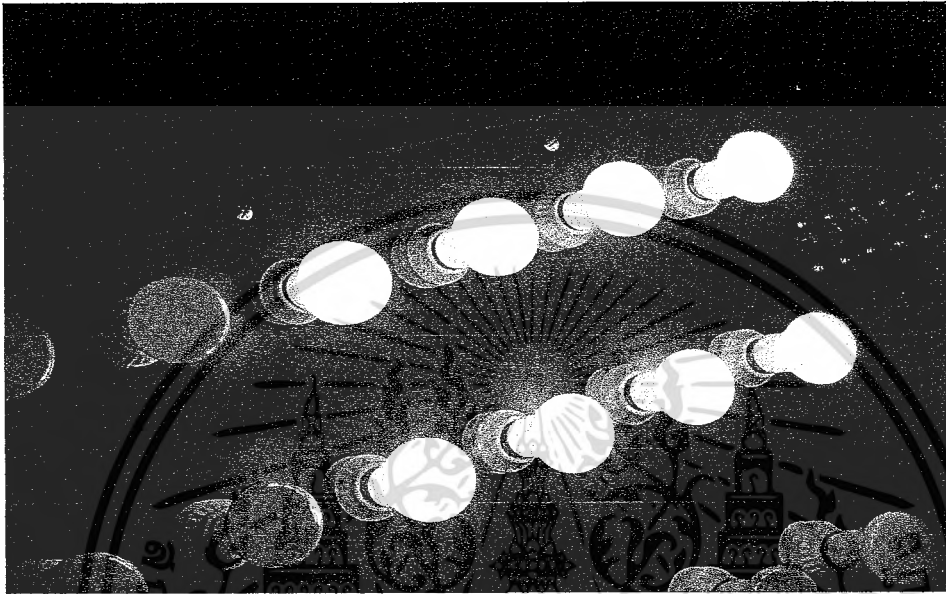
การทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า (No-Load) โดยทำการป้อนแรงดันไฟตรง 100Vdc ผ่านวงจร MMCCC ทำให้ได้แรงดันไฟตรงเอาต์พุต 312.427Vdc ดังภาพที่ 5.12



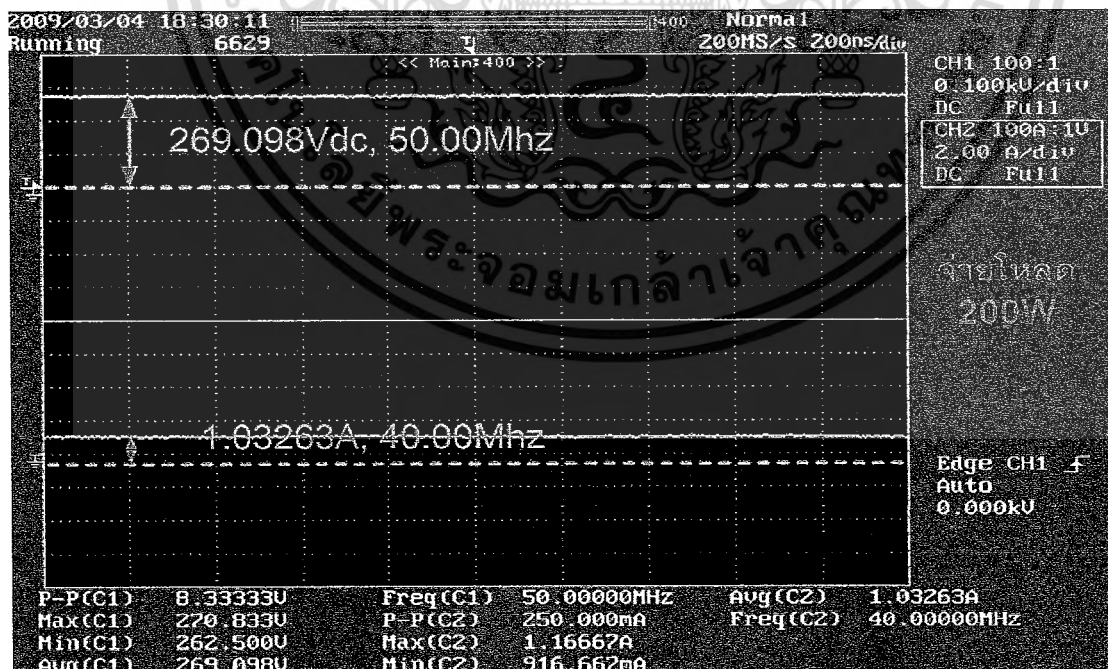
ภาพที่ 5.11 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า (No-Load) ) โดยทำการป้อนแรงดันไฟตรง 100Vdc ผ่านวงจร MMCCC ทำให้ได้แรงดันไฟตรงเอาต์พุต 312.427Vdc ซึ่งเป็นจริงตามอัตราส่วนการแปลงรูปพลังงาน 3 เท่า

### 5.2.3. ผลการทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะมีภาระทางไฟฟ้า

การทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะมีภาระทางไฟฟ้า โดยยังคงป้อนแรงดันไฟตรง อินพุตเท่ากับ 100Vdc เข้าวงจร MMCCC เพื่อแปลงแรงดันขึ้นเป็น 312.427Vdc ตามหัวข้อที่ 5.2.2. โดยจ่ายเข้าภาระไฟฟ้า (โหลดหลอดไฟเผาไส้ หลอดละ 100W) ได้ผลดังนี้

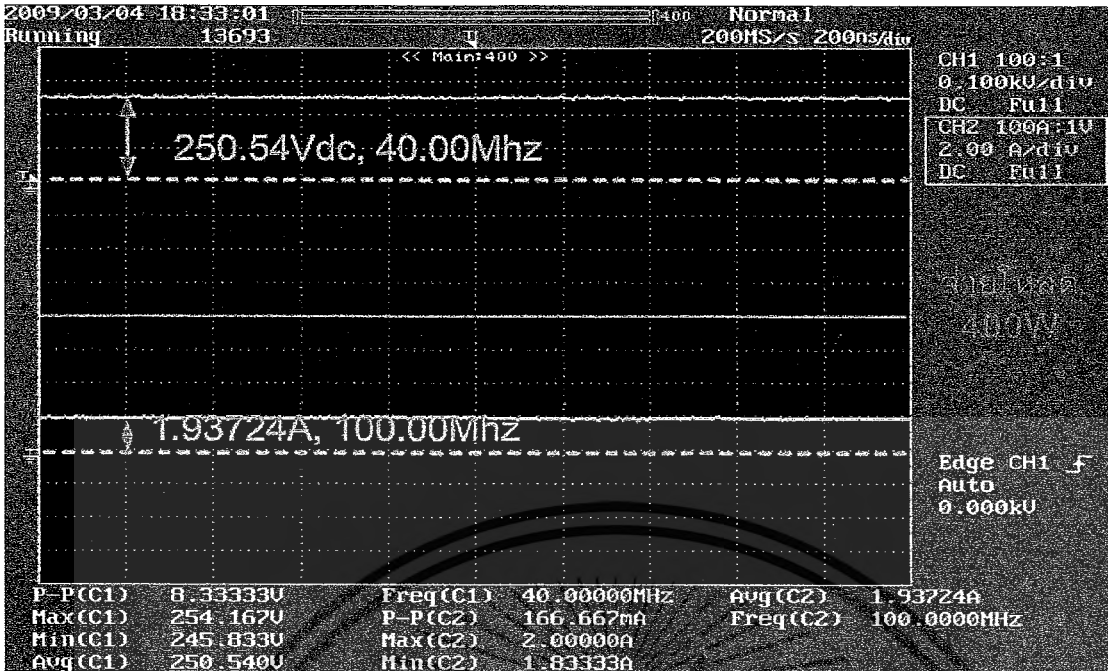


ภาพที่ 5.12 สภาวะขณะจ่ายภาระทางไฟฟ้า

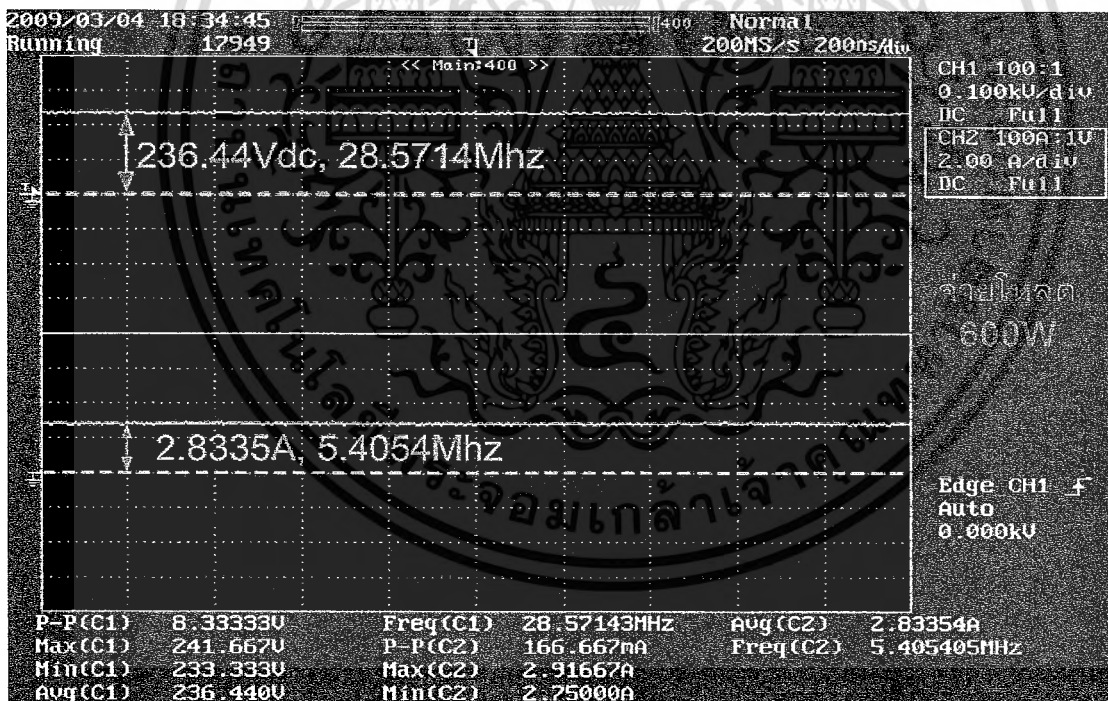


ภาพที่ 5.13 แรงดันไฟตรงเอาท์พุท และกระแสเอาท์พุทโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 200W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

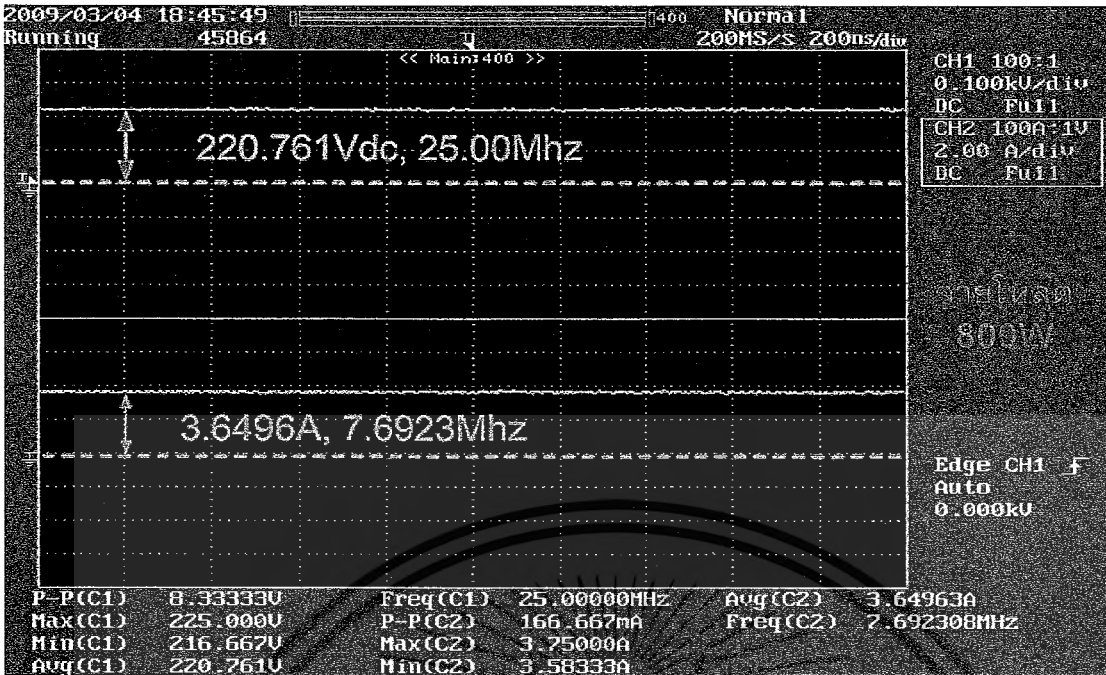


ภาพที่ 5.14 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 400W



ภาพที่ 5.15 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 600W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



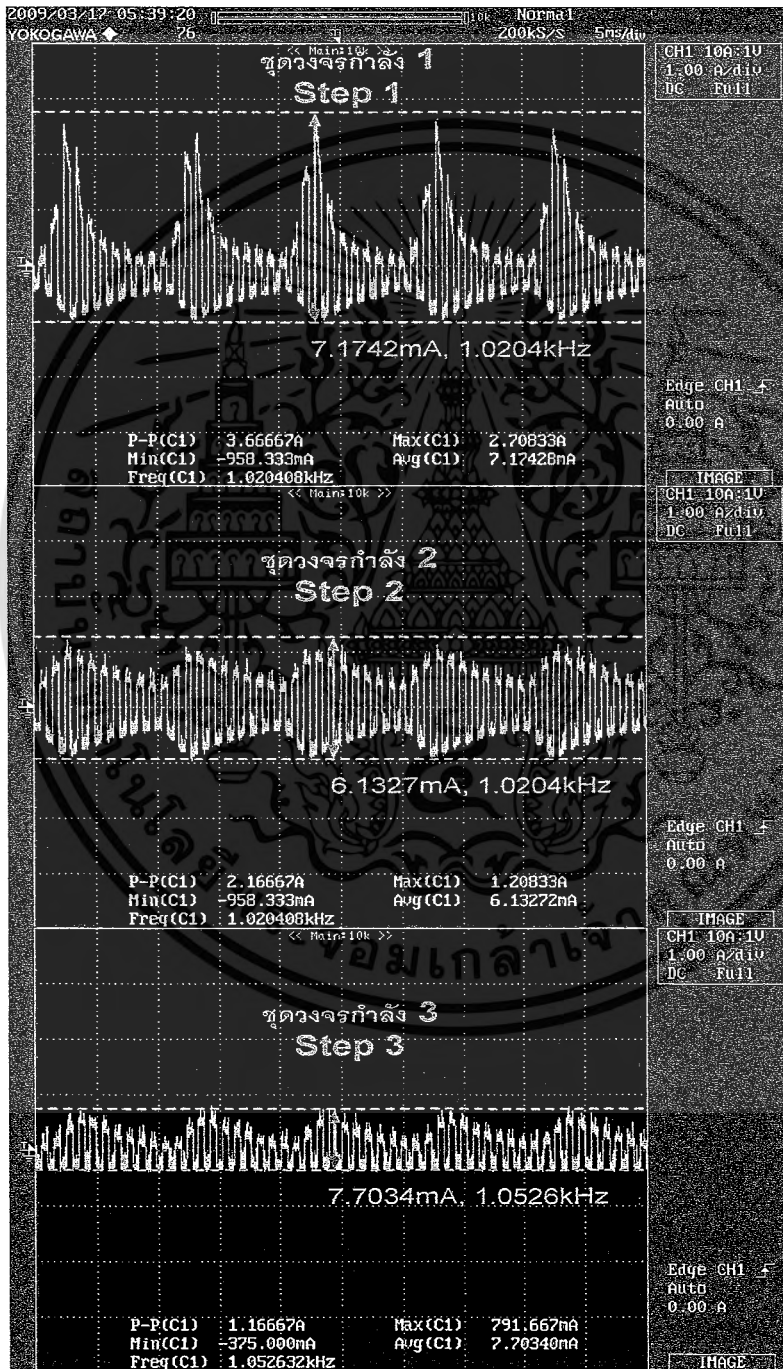
ภาพที่ 5.16 แรงดันไฟตรงเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตโดยใส่ภาระทางไฟฟ้า 800W

#### 5.2.4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวงจร MMCCC ในสภาวะมีภาระทางไฟฟ้า โดยยังคงป้อนแรงดันไฟตรงอินพุตเท่ากับ 100Vdc เข้าวงจร MMCCC ในสภาวะมีภาระทางไฟฟ้าพบว่าเมื่อใส่ภาระทางไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟตรงเอาต์พุตต่ำลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวงจร MMCCC เป็นวงจรที่มีลักษณะเป็นวงเปิด (Open Loop) ทำให้ไม่มีแรงดันไฟตรงป้อนกลับ (Feedback) อ้างอิง ส่วนกระแสไฟฟ้าไฟฟ้านั้นหากใส่ภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสย่อมเพิ่มขึ้นตามภาระทางไฟฟ้า

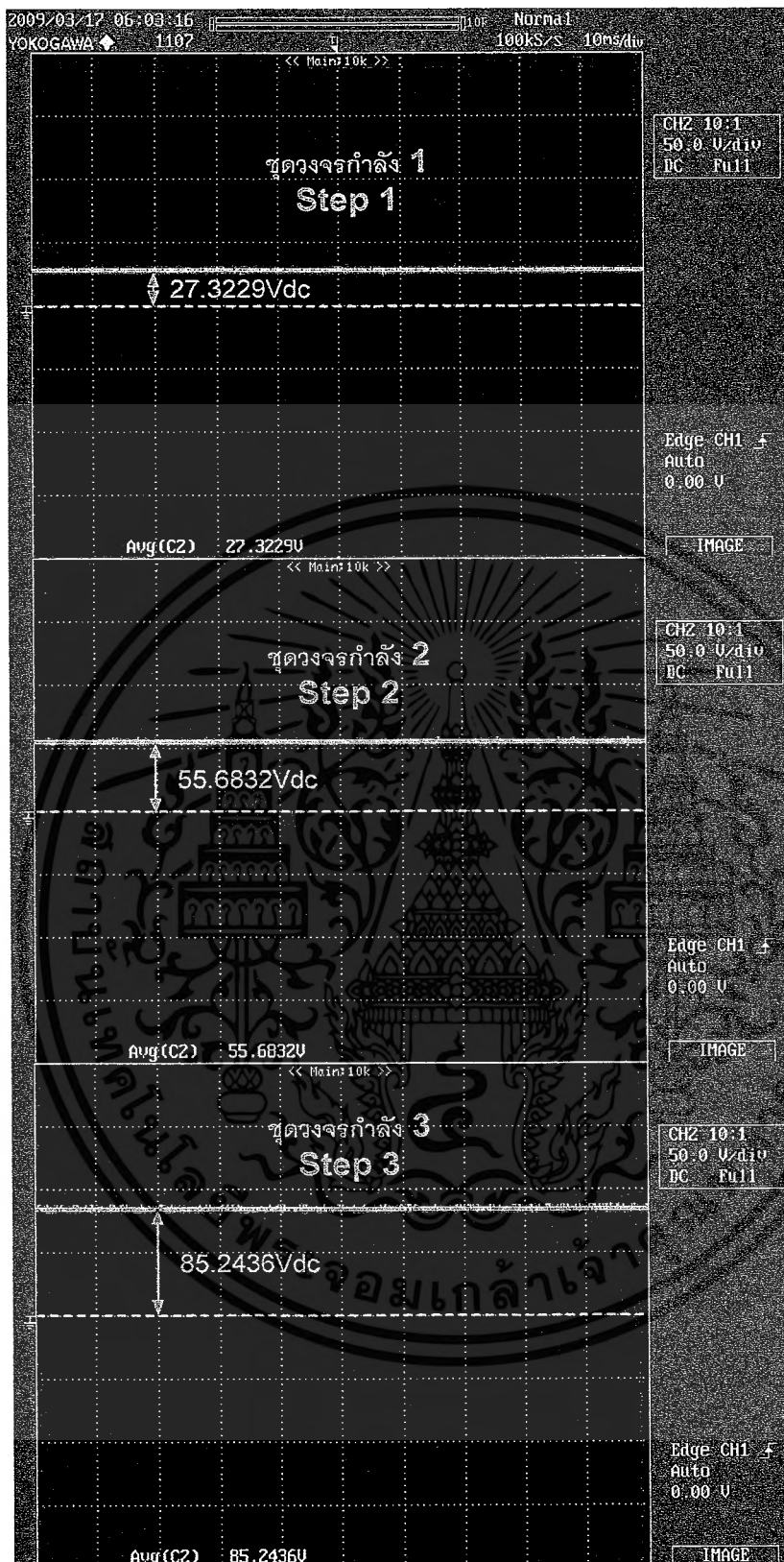
### 5.2.5. ผลจากกระแสไฟฟ้ากระแสเพื่อง (Ripple Current)

วงจร MMCCC มีจุดเด่น คือ ปราศจากตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา แต่ผลจากการใช้ตัวเก็บประจุในการชาร์จประจุ/คายประจุที่ความถี่สวิตช์ซึ่งสูง และการทำงานในโหมดแปลงแรงดันขึ้น ทำให้เกิดผลจากกระแสไฟฟ้ากระแสเพื่อง (Ripple Current) ขึ้นในตัวเก็บประจุ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของตัวเก็บประจุ จากผลการทดลองได้รูปคลื่นกระแสกระแสเพื่องในแต่ละชุดวงจรกำลัง ดังนี้



ภาพที่ 5.17 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้ากระแสเพื่องในแต่ละชุดวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลจากกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมในแต่ละชุดวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.6. สรุปผลจากกระแสไฟฟ้ากระแสเพิ่ม

จากข้อมูลภาคผนวกอุปกรณ์ของตัวเก็บประจุ HCGF5A ซึ่งในโครงการนี้ใช้ขนาดพิกัด 3900  $\mu\text{F}$  ที่พิกัดแรงดันไฟตรง 350Vdc พบว่ามีกระแสไฟฟ้ากระแสเพิ่มเท่ากับ 24.2A ในสภาวะอุณหภูมิ 40° C 120Hz แต่ในการทดลองเราใช้ความถี่สวิตซ์ซึ่งที่ 1.0kHz จากข้อมูลของตัวเก็บประจุมีสัมประสิทธิ์ค่าแก้ตัวคูณที่ 1.0 kHz เท่ากับ 1.3 ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสเพิ่มที่ขนาดพิกัด 3900  $\mu\text{F}$  ที่พิกัดแรงดันไฟตรง 350Vdc ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 1.0kHz ในสภาวะอุณหภูมิ 40° C เท่ากับ  $24.2 \times 1.3 = 31.46\text{A}$  ดังนั้นจึงสรุปว่าความถี่สวิตซ์ซึ่งสูงขึ้นจะทำให้ rated ของกระแสไฟฟ้ากระแสเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง และจากข้อมูลตัวเก็บประจุชนิดที่ใช้ในโครงการนี้มีอายุการใช้งานสูงสุดที่ 4000 ชม. ในสภาวะอุณหภูมิ 85° C (ประมาณ 166 วัน) และรับประกันการใช้งานที่ 2000 ชม. ในสภาวะอุณหภูมิ 85° C (ประมาณ 83 วัน) นอกจากผลของกระแสไฟฟ้ากระแสเพิ่มจะมีผลกระทบต่อตัวเก็บประจุแล้ว สภาวะอุณหภูมิลบข้างยังมีผลต่ออายุการใช้งานของตัวเก็บประจุด้วยเช่นเดียวกัน หากใช้งานวงจร MMCCC โดยเฉลี่ยวันละ 10 ชม. แสดงว่าตัวเก็บประจุมีอายุการใช้งานประมาณ 400 วัน (1ปี 1เดือน) ดังนั้นเพื่อให้วงจร สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจึงควรเปลี่ยนตัวเก็บประจุทุก 1ปี 1เดือน เป็นอย่างน้อย

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการจำลองโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์ PSIM (Power Simulation) และการออกแบบสร้างชุดวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter ,MMCCC) ซึ่งลักษณะเด่นของวงจร MMCCC คือ

1. ไม่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
2. สามารถควบคุมการไหลของพลังงานได้ 2 ทิศทาง
3. ช่วงเวลาการสวิตช์ซึ่งทำงานในสภาวะ 2 ช่วงเวลา ทำให้วงจรสามารถทำงานที่ความถี่สูง และมีแผนผังง่ายต่อการสวิตช์ซึ่ง

จากลักษณะเด่นดังกล่าวผู้จัดทำจึงเลือกศึกษาทดลองวงจร MMCCC โดยใช้โปรแกรม PSIM พบว่าวงจร MMCCC สามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟตรงได้จริงตามที่ศึกษาจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และได้ศึกษาวงจรสร้างสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งจากชิ้นงานปริญญาโท นพรัตน์ สจล. ปีการศึกษา 2550 A MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED DC-DC CONVERTER ซึ่งเป็นการศึกษาชั้นเบื้องต้นในวิชาโครงงาน1 (Project 1) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551

ในวิชาโครงงาน2 (Project 2) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551 หลังจากที่ได้ทดลองจากชิ้นงานปริญญาโท นพรัตน์ สจล. ปีการศึกษา 2550 A MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED DC-DC CONVERTER จึงได้ทำการออกแบบสร้างวงจร MMCCC ลงวงจรลายปริ้นท์ (PCB : Print Circuit Board) ซึ่งใช้โปรแกรม Protel 99 SE ในการเขียนลายปริ้นท์ วงจร MMCCC 3 ระดับ และทำการทดลองวงจรที่สร้างจริงพบว่าวงจรสามารถเพิ่ม/ลดทอนระดับแรงดันไฟตรงได้จริง แต่ยังคงเกิดปัญหาแรงดันไฟตรงเอาท์พุทตกลง (Voltage Drop) ประมาณ 1%

สรุปแล้ววงจร MMCCC สามารถเพิ่ม/ลดทอนแรงดันไฟตรงได้จริงตามสมการข้างต้น

$$V_{High} = (N+1)V_{Low} \quad (3)$$

เมื่อ  $V_{High}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟสูง

$V_{Low}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟต่ำ

N คือ จำนวนชุดวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาวงจร MMCCC จริง พบปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนี้

1. การออกแบบวงจรให้ทำงานได้ 2 โหมด โดยใช้รีเลย์กำลังช่วยตัดต่อ ทำให้วงจรยุ่งยากซับซ้อนขึ้นมาก เมื่อต้องการเพิ่ม/ลดทอนแรงดันไฟตรง 3 เท่า โดยใช้ 2 ส่วนย่อยวงจรที่แยกจากกัน (โมดูล) แต่การประยุกต์แบบใหม่ใช้ถึง 3 โมดูล ทำให้วงจรสามารถทำงานได้สะดวก แต่ผลเสีย คือ ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น
2. เนื่องจากวงจรมีค่าความเก็บประจุมาก การเริ่มทำงานจึงมีกระแสพุ่งเข้าสูง ทำให้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเสียหาย สามารถแก้ไขได้โดยใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแสเริ่มเข้า หรือปรับแหล่งจ่ายแรงดันขึ้นไม่เร็วมาก
3. การรวมวงจรขับ วงจรกำลัง และวงจรควบคุมเข้าด้วยกันให้เป็นหนึ่งโมดูลในหนึ่งแผ่นวงจร ต้องเดินลายวงจร 2 ด้าน และวงจรยุ่งยากซับซ้อนจึงทำให้เกิดความผิดพลาดของลายวงจรบางเส้น ต้องแก้ไขและตัดแปลงใหม่
4. ถ้าต้องการให้วงจรทำงานในโหมดที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติ เพื่อรักษาสมดุลของพลังงานทั้งด้าน DC Bus (ด้านแรงดันไฟสูง) กับด้านเก็บพลังงาน (ด้านแรงดันไฟต่ำ) ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ควรศึกษาเงื่อนไขการไหลของพลังงานเพิ่มขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," **Power Electronics Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition Elsevier, 2007**, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [2] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, " A Multilevel Modular Capacitor Clamped DC-DC Converter," **IEEE Industry Applications Annual Meeting(IAS)**, Oct. 2006.
- [3] H.Kakigano, Y. Miura, T.Ise, and R. Uehida, "DC voltage Control of the DC Micro-grid for Super High Quality Distribution", **1-4244-0844-X/07/2007 IEEE**, pp. 518-525
- [4] วิบูลย์ ชื่นแขก, "บทบาทของอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อพลังงานไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงาน", เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และมหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2548
- [5] ชัยวัฒน์ ตั้งควัฒนภักดี, ทวีศักดิ์ ช่างสลัก และ สุรศิลป์ จาดเปรม, "วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบหลายระดับ," **ปริญญาทิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, 2550



# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



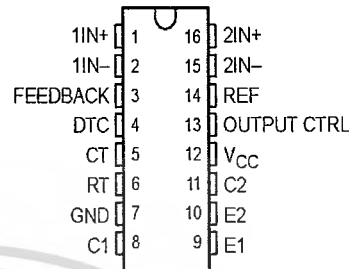
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS0748 – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, N, NS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)

### description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from  $-0.3\text{ V}$  to  $V_{CC} - 2\text{ V}$ . The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The TL494I is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ .

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS**  
**INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

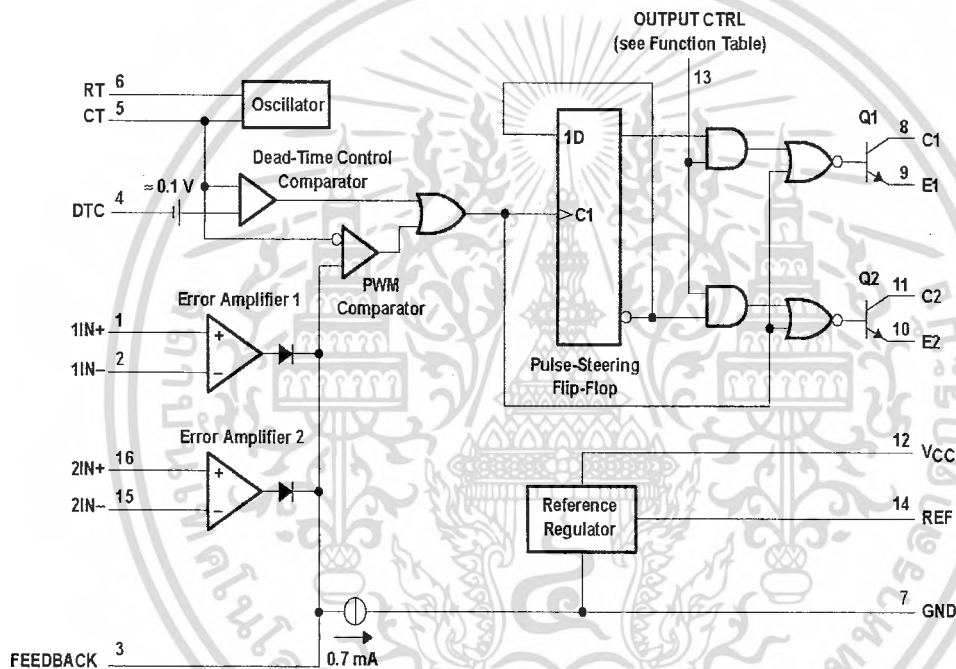
SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

### AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGED DEVICES				CHIP FORM (Y)
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)	
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

### functional block diagram

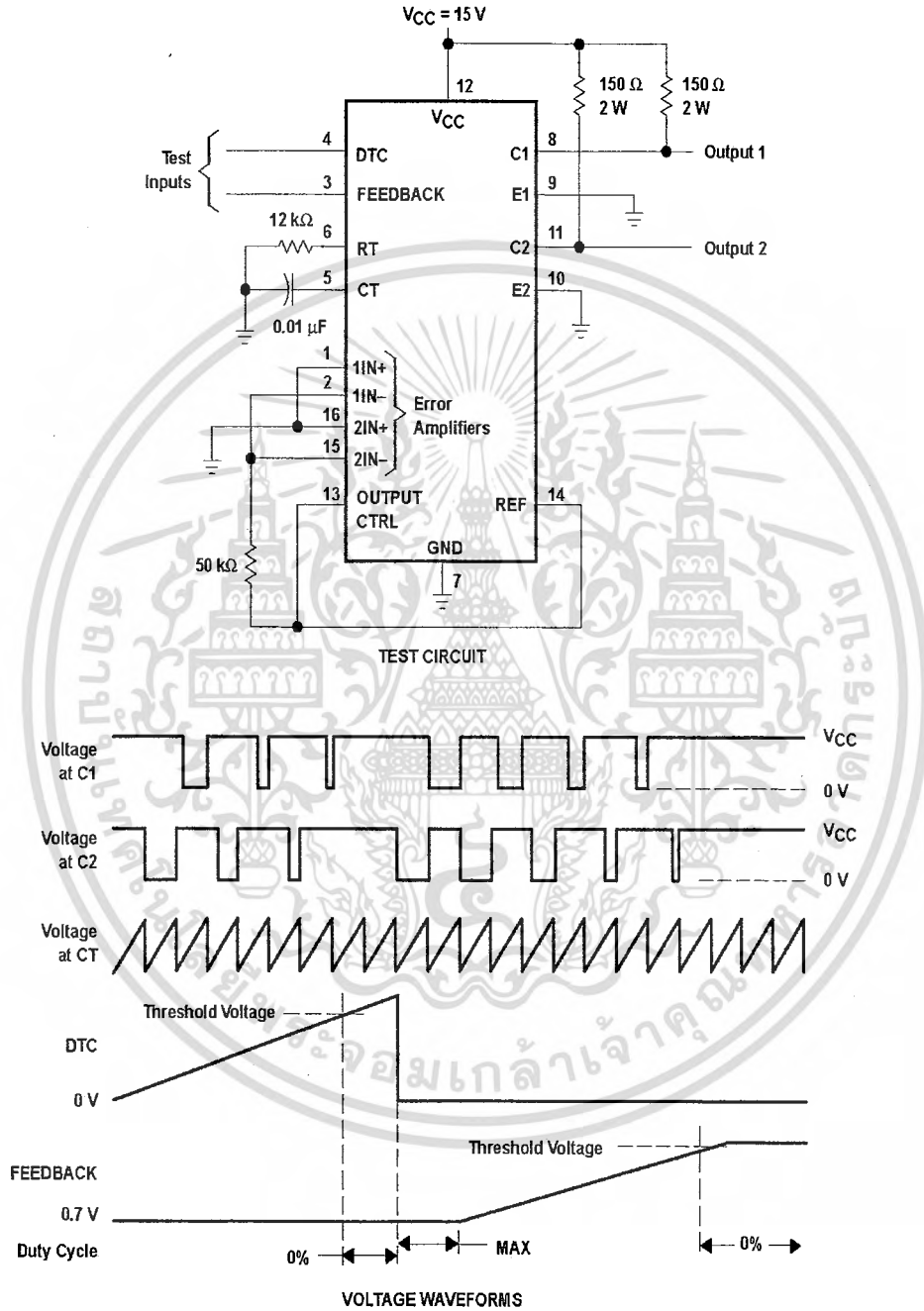


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL494**  
**PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS**

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**



**Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms**



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

### PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

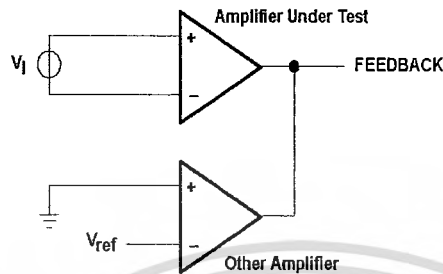
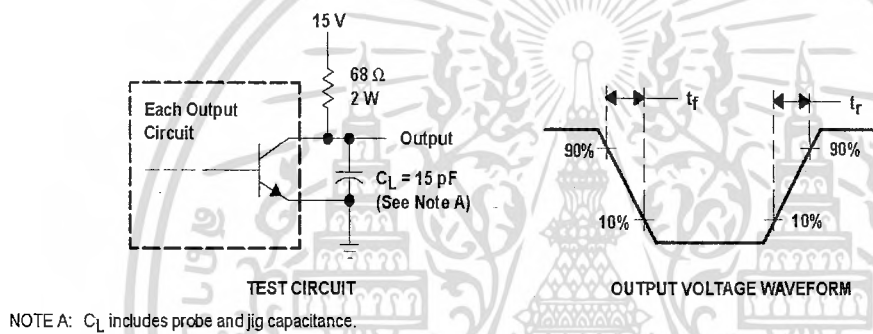
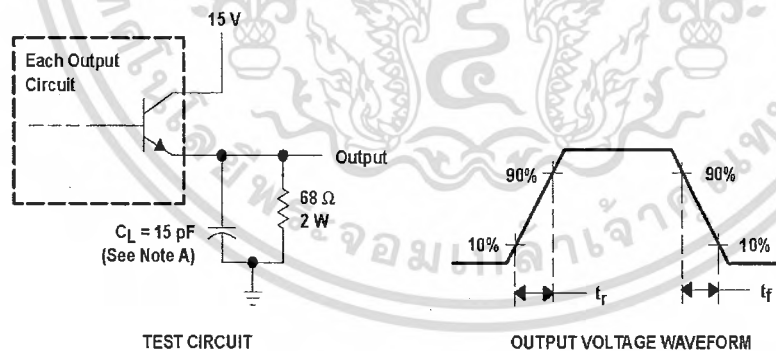


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration



The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two smaller parasols and is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Prachonkiet Rajabhat Buriram) at the bottom.

**CD4049UB,CD4050B**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### CMOS Hex Buffer/Converters

The CD4049UB and CD4050B devices are inverting and non-inverting hex buffers, respectively, and feature logic-level conversion using only one supply voltage ( $V_{CC}$ ). The input-signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{CC}$  supply voltage when these devices are used for logic-level conversions. These devices are intended for use as CMOS to DTL/TTL converters and can drive directly two DTL/TTL loads. ( $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{OL} \leq 0.4V$ , and  $I_{OL} \geq 3.3mA$ .)

The CD4049UB and CD4050B are designated as replacements for CD4009UB and CD4010B, respectively. Because the CD4049UB and CD4050B require only one power supply, they are preferred over the CD4009UB and CD4010B and should be used in place of the CD4009UB and CD4010B in all inverter, current driver, or logic-level conversion applications. In these applications the CD4049UB and CD4050B are pin compatible with the CD4009UB and CD4010B respectively, and can be substituted for these devices in existing as well as in new designs. Terminal No. 16 is not connected internally on the CD4049UB or CD4050B, therefore, connection to this terminal is of no consequence to circuit operation. For applications not requiring high sink-current or voltage conversion, the CD4069UB Hex Inverter is recommended.

### Features

- CD4049UB Inverting
- CD4050B Non-Inverting
- High Sink Current for Driving 2 TTL Loads
- High-To-Low Level Logic Conversion
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of 1 $\mu$ A at 18V Over Full Package Temperature Range; 100nA at 18V and 25°C
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings

### Applications

- CMOS to DTL/TTL Hex Converter
- CMOS Current "Sink" or "Source" Driver
- CMOS High-To-Low Logic Level Converter

### Ordering Information

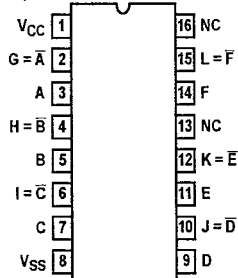
PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD4049UBF3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD4050BF3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD4049UBD	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDW	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDWR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4049UBNSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD4049UBPW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4049UBPWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4050BD	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDW	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDWR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4050NSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD4050BPW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4050BPWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix R denotes tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

### Pinouts

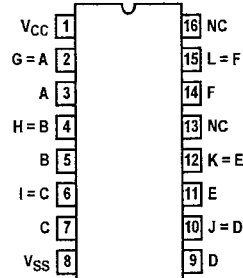
CD4049UB (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP, TSSOP)

TOP VIEW



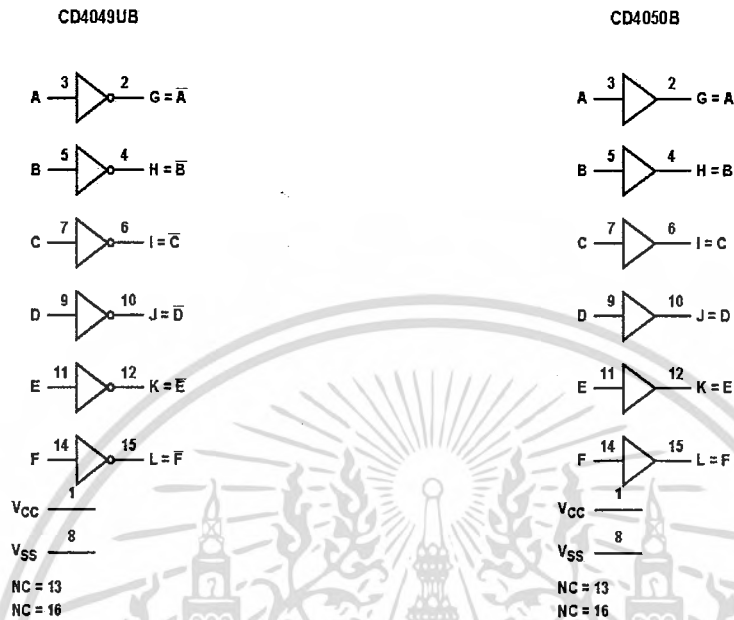
CD4050B (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP)

TOP VIEW



## CD4049UB, CD4050B

## Functional Block Diagrams



## Schematic Diagrams

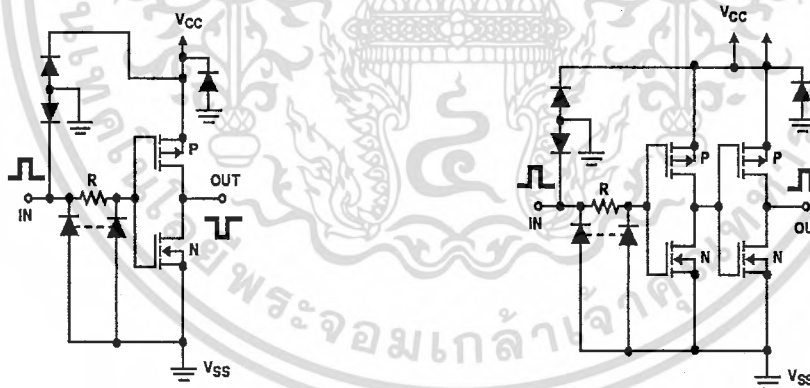


FIGURE 1A. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4049UB, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

FIGURE 1B. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4050B, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

## CD4049UB, CD4050B

### Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage ( $V_+$  to  $V_-$ ) ..... -0.5V to 20V  
 DC Input Current, Any One Input. ....  $\pm 10\text{mA}$

### Operating Conditions

Temperature Range ..... -55°C to 125°C

### Thermal Information

Package Thermal Impedance,  $\theta_{JA}$  (see Note1):  
 E (PDIP) Package ..... 67°C/W  
 D (SOIC) Package ..... 73°C/W  
 DW (SOIC) Package ..... 57°C/W  
 NS (SOP) Package ..... 64°C/W  
 PW (TSSOP) Package ..... 108°C/W  
 Maximum Junction Temperature (Plastic Package) ..... 150°C  
 Maximum Storage Temperature Range ..... 65°C to 150°C  
 Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) ..... 265°C  
 SOIC - Lead Tips Only

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

### NOTE:

- The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

### DC Electrical Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURE (°C)							UNITS
				25							
	$V_O$ (V)	$V_{IN}$ (V)	$V_{CC}$ (V)	-55	-40	85	125	MIN	TYP	MAX	
Quiescent Device Current $I_{DD}$ (Max)	-	0.5	5	1	1	30	30	-	0.02	1	$\mu\text{A}$
	-	0.10	10	2	2	60	60	-	0.02	2	$\mu\text{A}$
	-	0.15	15	4	4	120	120	-	0.02	4	$\mu\text{A}$
	-	0.20	20	20	20	600	600	-	0.04	20	$\mu\text{A}$
Output Low (Sink) Current $I_{OL}$ (Min)	0.4	0.5	4.5	3.3	3.1	2.1	1.8	2.6	5.2	-	mA
	0.4	0.5	5	4	3.8	2.9	2.4	3.2	6.4	-	mA
	0.5	0.10	10	10	9.6	6.6	5.6	8	16	-	mA
	1.5	0.15	15	26	25	20	18	24	48	-	mA
Output High (Source) Current $I_{OH}$ (Min)	4.6	0.5	5	-0.81	-0.73	-0.58	-0.48	-0.65	-1.2	-	mA
	2.5	0.5	5	-2.6	-2.4	-1.9	-1.55	-2.1	-3.9	-	mA
	9.5	0.10	10	-2.0	-1.8	-1.35	-1.18	-1.65	-3.0	-	mA
	13.5	0.15	15	-5.2	-4.8	-3.5	-3.1	-4.3	-8.0	-	mA
Out Voltage Low Level $V_{OL}$ (Max)	-	0.5	5	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0.10	10	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0.15	15	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
Output Voltage High Level $V_{OH}$ (Min)	-	0.5	5	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	5	-	V
	-	0.10	10	9.95	9.95	9.95	9.95	9.95	10	-	V
	-	0.15	15	14.95	14.95	14.95	14.95	14.95	15	-	V
Input Low Voltage, $V_{IL}$ (Max) CD4049UB	4.5	-	5	1	1	1	1	-	-	1	V
	9	-	10	2	2	2	2	-	-	2	V
	13.5	-	15	2.5	2.5	2.5	2.5	-	-	2.5	V
Input Low Voltage, $V_{IL}$ (Max) CD4050B	0.5	-	5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-	1.5	V
	1	-	10	3	3	3	3	-	-	3	V
	1.5	-	15	4	4	4	4	-	-	4	V

## CD4049UB, CD4050B

## DC Electrical Specifications (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURE (°C)							UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>CC</sub> (V)					25			
								-55	-40	85	
Input High Voltage, V <sub>IH</sub> Min CD4049UB	0.5	-	5	4	4	4	4	4	-	-	V
	1	-	10	8	8	8	8	8	-	-	V
	1.5	-	15	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-	V
Input High Voltage, V <sub>IH</sub> Min CD4050B	4.5	-	5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	V
	9	-	10	7	7	7	7	7	-	-	V
	13.5	-	15	11	11	11	11	11	-	-	V
Input Current, I <sub>IN</sub> Max	-	0.18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 <sup>-5</sup>	±0.1	μA

AC Electrical Specifications T<sub>A</sub> = 25°C, Input t<sub>r</sub>, t<sub>f</sub> = 20ns, C<sub>L</sub> = 50pF, R<sub>L</sub> = 200kΩ

PARAMETER	TEST CONDITIONS		LIMITS (ALL PACKAGES)		UNITS
	V <sub>IN</sub>	V <sub>CC</sub>	TYP	MAX	
Propagation Delay Time Low to High, t <sub>PLH</sub> CD4049UB	5	5	60	120	ns
	10	10	32	65	ns
	10	5	45	90	ns
	15	15	25	50	ns
	15	5	45	90	ns
Propagation Delay Time Low to High, t <sub>PLH</sub> CD4050B	5	5	70	140	ns
	10	10	40	80	ns
	10	5	45	90	ns
	15	15	30	60	ns
	15	5	40	80	ns
Propagation Delay Time High to Low, t <sub>PHL</sub> CD4049UB	5	5	32	65	ns
	10	10	20	40	ns
	10	5	15	30	ns
	15	15	15	30	ns
	15	5	10	20	ns
Propagation Delay Time High to Low, t <sub>PHL</sub> CD4050B	5	5	55	110	ns
	10	10	22	55	ns
	10	5	50	100	ns
	15	15	15	30	ns
	15	5	50	100	ns
Transition Time, Low to High, t <sub>TLH</sub>	5	5	80	160	ns
	10	10	40	80	ns
	15	15	30	60	ns
Transition Time, High to Low, t <sub>THL</sub>	5	5	30	60	ns
	10	10	20	40	ns
	15	15	15	30	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

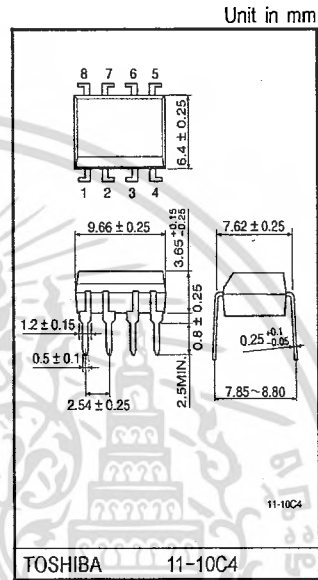
# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditionor  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

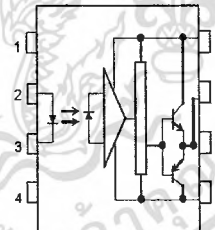
- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option(D4)  
 VDE Approved : DIN EN60747-5-2  
 Maximum Operating Insulation Voltage :  $890\text{V}_{\text{PK}}$   
 Highest Permissible Over Voltage :  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

(Note):When a EN60747-5-2 approved type is needed,  
 Please designate "Option(D4)"



Weight: 0.54 g(Typ.)

Pin Configuration (top view)

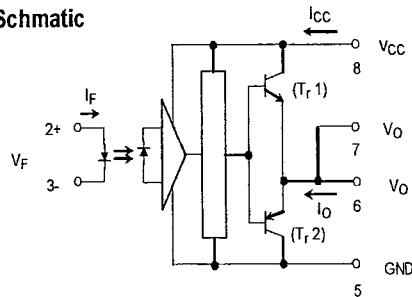


- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (Output)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Schematic



\* A 0.1 $\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

## Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I <sub>F</sub>	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI <sub>F</sub> / ΔTa	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I <sub>FPT</sub>	1	A	
	Reverse voltage	V <sub>R</sub>	5	V	
	Junction temperature	T <sub>J</sub>	125	°C	
Detector	"H" peak output current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I <sub>OPH</sub>	-1.5	A	
	"L" peak output current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I <sub>OPL</sub>	+1.5	A	
	Output voltage	V <sub>O</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply voltage	V <sub>CC</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>O</sub> / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>CC</sub> / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T <sub>J</sub>	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T <sub>opr</sub>	-20~85	°C		
Storage temperature range	T <sub>stg</sub>	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s)	T <sub>sol</sub>	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)	BV <sub>S</sub>	2500	V <sub>rms</sub>		

Note 1: Pulse width P<sub>W</sub> ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

Note 4: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5: A ceramic capacitor (0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Input current, on (Note 6)	I <sub>F(ON)</sub>	7	8	10	mA
Input voltage, off	V <sub>F(OFF)</sub>	0	—	0.8	V
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	15	—	30   20	V
Peak output current	I <sub>OPH/OPL</sub>	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T <sub>opr</sub>	-20	25	70   85	°C

Note 6: Input signal rise time (fall time) < 0.5μs.

**TOSHIBA**

TLP250

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C	—	—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	1	V <sub>CC</sub> = 30V (*) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>B-6</sub> = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>B-5</sub> = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	3	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>ACL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	V <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R <sub>H</sub> ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

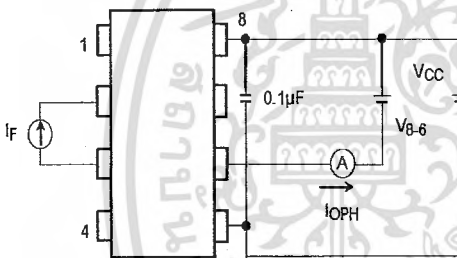
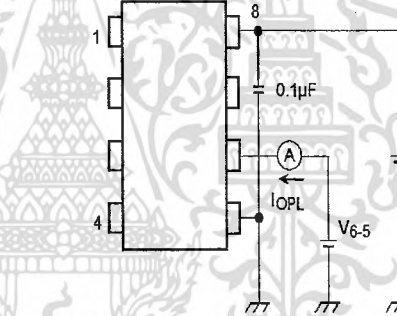
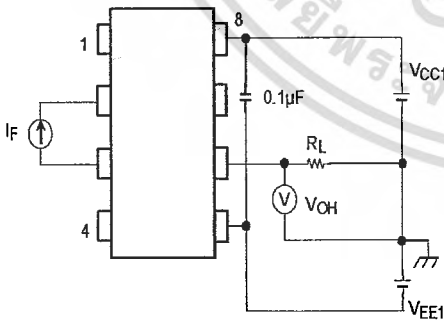
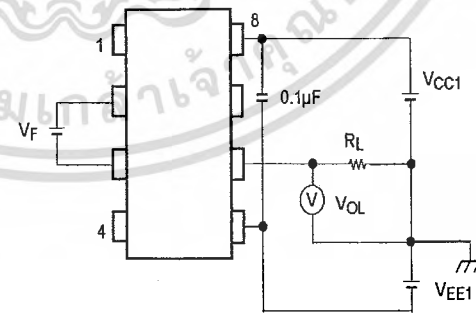
**TOSHIBA**

TLP250

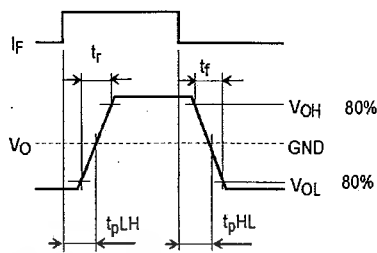
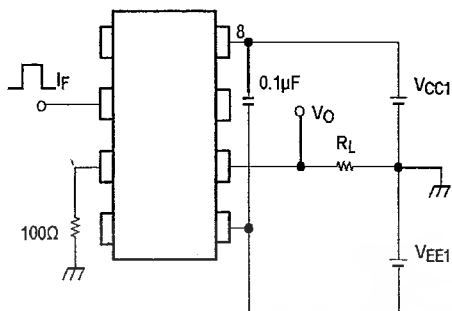
**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Propagation delay time	L→H	5	I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L			—	0.15	0.5	
Output rise time	t <sub>r</sub>			—	—	—	
Output fall time	t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C <sub>MH</sub>	6	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V/μs
Common mode transient immunity at low level output	C <sub>M</sub> L			5000	—	—	V/μs

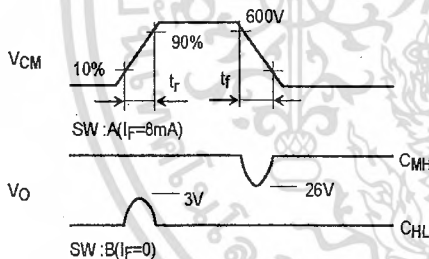
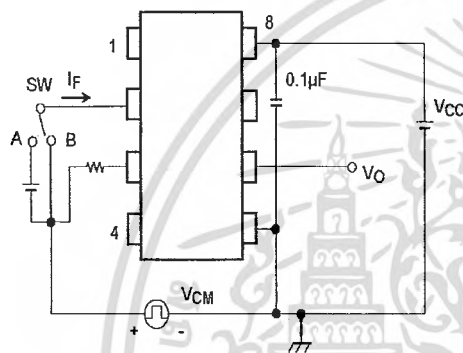
All typical values are at Ta = 25°C

Test Circuit 1 : I<sub>OPH</sub>Test Circuit 2 : I<sub>OPL</sub>Test Circuit 3 : V<sub>OH</sub>Test Circuit 4 : V<sub>OL</sub>

Test Circuit 5:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



Test Circuit 6:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$$C_{ML} = \frac{480 (V)}{t_f (\mu s)}$$

$$C_{MLH} = \frac{480 (V)}{t_r (\mu s)}$$

$C_{ML}(C_{MLH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

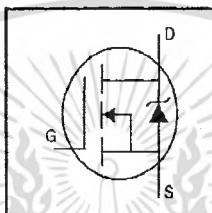
International  
**IR** Rectifier

PD - 94901

# IRFP460PbF

## HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic  $dv/dt$  Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead-Free



$$V_{DSS} = 500V$$

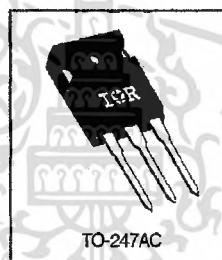
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

### Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	20	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
$dw/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ ③	3.5	V/ns
$T_J$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

### Thermal Resistance

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

www.irf.com

1

12/19/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IRFP460PbF

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	$\Omega$	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=12A$ ①
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	250	$\mu A$	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	$V_{DS}=400V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ①
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
$t_r$	Rise Time	—	59	—	ns	$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	$R_G=4.3\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	58	—	ns	$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ①
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	870	—	pF	$V_{DS}=25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A, V_{GS}=0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=20A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	$\mu C$	$di/dt=100A/\mu s$ ②
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ②  $V_{DD}=50V$ , starting  $T_J=25^\circ\text{C}$ ,  $L=4.3\text{mH}$ ,  $R_G=25\Omega$ ,  $I_{AS}=20A$  (See Figure 12)
- ③  $I_{SD}\leq 20A$ ,  $di/dt\leq 160A/\mu s$ ,  $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .



The seal of Rajabhat Nakhon Phanom University is a circular emblem. It features a central sunburst with a crown on top, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sunburst is a decorative base with a central flame-like motif. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Thai script: "มหาวิทยาลัยราชภัฏนครพนม" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

# HGTG20N60B3D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**40A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diode**

The HGTG20N60B3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the RHRP3060.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

Formerly developmental type TA49016.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG20N60B3D	TO-247	G20N60B3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

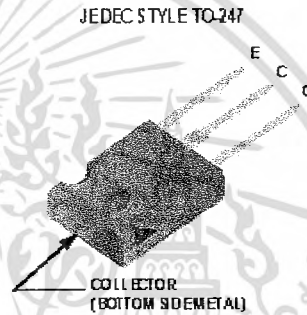
**Symbol**



**Features**

- 40A, 600V at  $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time . . . . . 140ns at 150°C
- Short Circuit Rated
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

**Packaging**



FAIRCHILD SEMICONDUCTOR IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

4,364,073	4,417,385	4,430,792	4,443,931	4,466,176	4,516,143	4,532,534	4,587,713
4,598,461	4,605,948	4,620,211	4,631,564	4,639,754	4,639,762	4,641,162	4,644,637
4,682,195	4,684,413	4,694,313	4,717,679	4,743,952	4,783,690	4,794,432	4,801,986
4,803,533	4,809,045	4,809,047	4,810,665	4,823,176	4,837,606	4,860,080	4,883,767
4,888,627	4,890,143	4,901,127	4,904,608	4,933,740	4,963,951	4,969,027	

## HGTG20N60B3D

### Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	HGTG20N60B3D	UNITS
Collector to Emitter Voltage	600	V
Collector to Gate Voltage, $R_{GE} = 1\text{M}\Omega$	600	V
Collector Current Continuous	40	A
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	20	A
Average Diode Forward Current at $110^\circ\text{C}$	20	A
Collector Current Pulsed (Note 1)	160	A
Gate to Emitter Voltage Continuous	$\pm 20$	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed	$\pm 30$	V
Switching Safe Operating Area at $T_C = 150^\circ\text{C}$	30A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	165	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$	1.32	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering	260	$^\circ\text{C}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$	4	$\mu\text{s}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$	10	$\mu\text{s}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2.  $V_{CE} = 360\text{V}$ ,  $T_C = 125^\circ\text{C}$ ,  $R_G = 25\Omega$ .

### Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Collector to Emitter Breakdown Voltage	$BV_{CES}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V	
Collector to Emitter Leakage Current	$I_{CES}$	$V_{CE} = BV_{CES}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	2.0	mA
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	1.8	2.0	V
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	2.1	2.5	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{CE} = V_{GE}$	3.0	5.0	6.0	V	
Gate to Emitter Leakage Current	$I_{GES}$	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA	
Switching SOA	SSOA	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 10\Omega$ , $L = 45\mu\text{H}$	$V_{CE} = 480\text{V}$	100	-	-	A
			$V_{CE} = 600\text{V}$	30	-	-	A
Gate to Emitter Plateau Voltage	$V_{GEP}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.0	-	V	
On-State Gate Charge	$Q_{G(ON)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	$V_{GE} = 15\text{V}$	-	80	105	nC
			$V_{GE} = 20\text{V}$	-	105	135	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $I_{CE} = I_{C110}$	-	25	-	ns	
Current Rise Time	$t_{ri}$	$V_{CE} = 0.8 BV_{CES}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	-	20	-	ns	
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$	$R_G = 10\Omega$ , $L = 100\mu\text{H}$	-	220	275	ns	
Current Fall Time	$t_{fi}$		-	140	175	ns	
Turn-On Energy	$E_{ON}$		-	475	-	$\mu\text{J}$	
Turn-Off Energy (Note 3)	$E_{OFF}$		-	1050	-	$\mu\text{J}$	
Diode Forward Voltage	$V_{EC}$	$I_{EC} = 20\text{A}$	-	1.5	1.9	V	
Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$I_{EC} = 20\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	55	ns	
		$I_{EC} = 1\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	45	ns	
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$	IGBT	-	-	0.76	$^\circ\text{C}/\text{W}$	
		Diode	-	-	1.2	$^\circ\text{C}/\text{W}$	

#### NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss ( $E_{OFF}$ ) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0\text{A}$ ). The HGTG20N60B3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two traditional Thai lamps (Lampang) on stands. The entire design is set against a background of stylized floral and geometric patterns. The Thai text around the border of the seal reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Prachonkhae Jao Khun Thar Ladkrabang) at the bottom.

**ULN2003AP**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TOSHIBA**

**ULN2003,04AP/AFW**

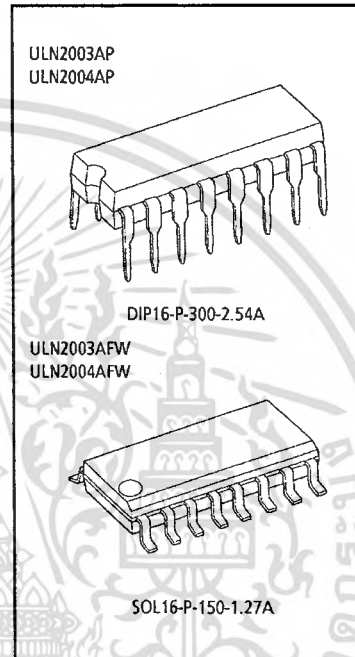
TOSHIBA BIPOLAR DIGITAL INTEGRATED CIRCUIT SILICON MONOLITHIC  
**ULN2003AP,ULN2003AFW,ULN2004AP,ULN2004AFW**  
 (Manufactured by Toshiba Malaysia)

**7CH DARLINGTON SINK DRIVER**

The ULN2003AP / AFW Series are high-voltage, high-current darlington drivers comprised of seven NPN darlington pairs. All units feature integral clamp diodes for switching inductive loads. Applications include relay, hammer, lamp and display (LED) drivers.

**FEATURES**

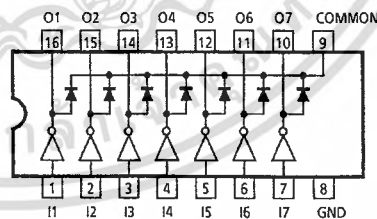
- Output current (single output) 500 mA MAX.
- High sustaining voltage output 50 V MIN.
- Output clamp diodes
- Inputs compatible with various types of logic
- Package Type-AP : DIP-16pin
- Package Type-AFW : SOL-16pin



Weight  
 DIP16-P-300-2.54A : 1.11 g (Typ.)  
 SOL16-P-150-1.27A : 0.15 g (Typ.)

**PIN CONNECTION (TOP VIEW)**

TYPE	INPUT BASE RESISTOR	DESIGNATION
ULN2003AP / AFW	2.7 kΩ	TTL, 5 V CMOS
ULN2004AP / AFW	10.5 kΩ	6-15 V PMOS, CMOS

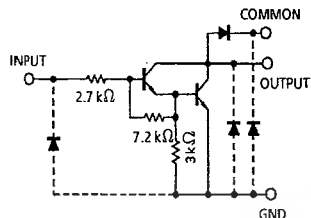


**TOSHIBA**

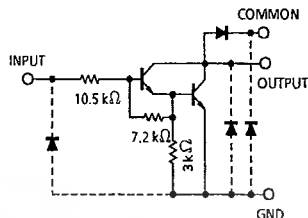
ULN2003,04AP/AFW

**SCHEMATICS (EACH DRIVER)**

ULN2003AP / AFW



ULN2004AP / AFW



Note: The input and output parasitic diodes cannot be used as clamp diodes.

**MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Output Sustaining Voltage	V <sub>CE(SUS)</sub>	-0.5-50	V
Output Current	I <sub>OUT</sub>	500	mA / ch
Input Voltage	V <sub>IN</sub>	-0.5-30	V
Clamp Diode Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	50	V
Clamp Diode Forward Current	I <sub>F</sub>	500	mA
Power Dissipation	AP	1.47	W
	AFW	0.54 / 0.625 (Note)	
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-40-85	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-55-150	°C

Note: On glass epoxy PCB (30 × 30 × 1.6 mm Cu 50%)

**TOSHIBA**

ULN2003,04AP/AFW

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (Ta = -40~85°C)**

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION		MIN	TYP.	MAX	UNIT
Output Sustaining Voltage		V <sub>CE(SUS)</sub>			0	—	50	V
Output Current	AP	I <sub>OUT</sub>	T <sub>pw</sub> = 25 ms 7 Circuits	Duty = 10%	0	—	370	mA / ch
				Duty = 50%	0	—	130	
	AFW		T <sub>a</sub> = 85°C	Duty = 10%	0	—	233	
			T <sub>j</sub> = 120°C	Duty = 50%	0	—	70	
Input Voltage		V <sub>IN</sub>			0	—	24	V
Input Voltage (Output On)	ULN2003A	V <sub>IN(ON)</sub>	I <sub>OUT</sub> = 400 mA h <sub>FE</sub> = 800		2.8	—	24	V
	ULN2004A				6.2	—	24	
Input Voltage (Output Off)	ULN2003A	V <sub>IN(OFF)</sub>			0	—	0.7	V
	ULN2004A				0	—	1.0	
Clamp Diode Reverse Voltage		V <sub>R</sub>			—	—	50	V
Clamp Diode Forward Current		I <sub>F</sub>			—	—	350	mA
Power Dissipation	AP	P <sub>D</sub>	T <sub>a</sub> = 85°C		—	—	0.76	W
	AFW		T <sub>a</sub> = 85°C (Note)		—	—	0.325	

Note: On glass epoxy PCB (30 × 30 × 1.6 mm Cu 50%)

**TOSHIBA**

ULN2003,04AP/AFW

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C unless otherwise noted)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT			
Output Leakage Current	I <sub>CEX</sub>	1	V <sub>CE</sub> = 50 V, Ta = 25°C	—	—	50	μA			
			V <sub>CE</sub> = 50 V, Ta = 85°C	—	—	100				
Collector-Emitter Saturation Voltage	V <sub>CE(sat)</sub>	2	I <sub>OUT</sub> = 350 mA, I <sub>IN</sub> = 500 μA	—	1.3	1.6	V			
			I <sub>OUT</sub> = 200 mA, I <sub>IN</sub> = 350 μA	—	1.1	1.3				
			I <sub>OUT</sub> = 100 mA, I <sub>IN</sub> = 250 μA	—	0.9	1.1				
DC Current Transfer Ratio	h <sub>FE</sub>	2	V <sub>CE</sub> = 2 V, I <sub>OUT</sub> = 350 mA	1000	—	—				
Input Current (Output On)	ULN2003A	I <sub>IN (ON)</sub>	3	V <sub>IN</sub> = 2.4 V, I <sub>OUT</sub> = 350 mA	—	0.4	0.7	mA		
	ULN2004A				V <sub>IN</sub> = 9.5 V, I <sub>OUT</sub> = 350 mA	—	0.8		1.2	
Input Current (Output Off)	I <sub>IN (OFF)</sub>	4	I <sub>OUT</sub> = 500 μA, Ta = 85°C	50	65	—	μA			
Input Voltage (Output On)	ULN2003A	I <sub>IN (ON)</sub>	5	V <sub>CE</sub> = 2 V h <sub>FE</sub> = 800		I <sub>OUT</sub> = 350 mA	—	—	2.6	V
						I <sub>OUT</sub> = 200 mA	—	—	2.0	
	ULN2004A					I <sub>OUT</sub> = 350 mA	—	—	4.7	
						I <sub>OUT</sub> = 200 mA	—	—	4.4	
Clamp Diode Reverse Current	I <sub>R</sub>	6	V <sub>R</sub> = 50 V, Ta = 25°C	—	—	50	μA			
			V <sub>R</sub> = 50 V, Ta = 85°C	—	—	100				
Clamp Diode Forward Voltage	V <sub>F</sub>	7	I <sub>F</sub> = 350 mA	—	—	2.0	V			
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>	—		—	15	—	pF			
Turn-On Delay	t <sub>ON</sub>	8	V <sub>OUT</sub> = 50 V, R <sub>L</sub> = 125 Ω C <sub>L</sub> = 15 pF	—	0.1	—	μs			
Turn-Off Delay	t <sub>OFF</sub>	8	V <sub>OUT</sub> = 50 V, R <sub>L</sub> = 125 Ω C <sub>L</sub> = 15 pF	—	0.2	—				

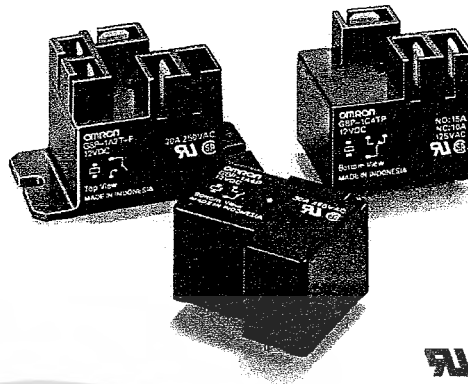


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PCB Power Relay – G8P

### Compact, Low-cost 30-A Power Relay for PC Board or Panel-mounted Applications

- ROHS compliant.
- Compact, yet capable of switching up to 30-A loads.
- Complies with UL873 and UL508 column A spacings ( $\frac{1}{8}$ " through air,  $\frac{1}{4}$ " over surface).
- UL Class F insulation standard.
- Withstands of up to 6,000 V under 1.250  $\mu$ s impulse wave or ring wave.
- A selection of contact forms: SPDT and SPST-NO.
- Quick-connect terminals versions ideal for PC board and panel mounting.
- Flanged mounting available.
- Ideal for home and industrial appliances, HVAC (heating, ventilating, and air conditioning), and many other applications.



Power Relays

### Ordering Information

Classification		Contact Form	Enclosure Rating		
Mounting style	Terminals		Open	Unsealed	Fully Sealed
PCB mounting	PCB	SPST-NO	G8P-1AP	G8P-1A2P	G8P-1A4P
		SPDT	G8P-1CP	G8P-1C2P	G8P-1C4P
		SPST-NO	G8P-1ATP	G8P-1A2TP	G8P-1A4TP
		SPDT	G8P-1CTP	G8P-1C2TP	G8P-1C4TP
Flanged mounting	Quick-connect	SPST-NO	-	G8P-1A2T-F	-
		SPDT	-	G8P-1C2T-F	-

Note: 1. The contacts described above are AgCdO.

2. When ordering, add the rated coil voltage to the model number

Example: G8P-1AP 12 VDC

Rated coil voltage

#### Model Number Legend

G8P -     -   VDC  
 1 2 3 4 5 6

#### 1. Number of Poles

1: 1 pole

#### 2. Contact Form

A: SPST-NO

C: SPDT

#### 3. Enclosure Ratings

None: Open

2: Unsealed

4: Fully-Sealed

#### 4. Terminals

P: Straight PCB for contacts and coil

T: Quick-connect (#250 terminals for contacts and #187 terminals for coil)

TP: Quick-connect (#250 terminals) and straight PCB for contacts, and straight PCB for coil

#### 5. Mounting

None: PCB mounting

F: Flanged mounting

#### 6. Rated Coil Voltage

5, 9, 12, 24, 48, 110

Other rated coil voltages available.

## PCB Power Relay – G8P

### Specifications

#### ■ Coil Ratings

Rated voltage	5 VDC	9 VDC	12 VDC	24 VDC	48 VDC	110 VDC
Rated current	185 mA	93 mA	77 mA	36 mA	19 mA	9 mA
Coil resistance	27 $\Omega$	97 $\Omega$	155 $\Omega$	660 $\Omega$	2,480 $\Omega$	12,400 $\Omega$
Must operate voltage	75% max. of rated voltage					
Must release voltage	10% min. of rated voltage					
Max. voltage	120% of rated voltage					
Power consumption	Approx. 900 mW					

Note: The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with tolerances of  $\pm 10\%$ .

#### ■ Contact Ratings

Item	SPST-NO	SPDT
Load	Resistive load ( $\cos\phi = 1$ )	
Rated load	30 A at 250 VAC; 20 A at 28 VDC	20 A/10 A* at 250 VAC; 20 A/10 A* at 28 VDC
Contact material	AgSnIn	
Rated carry current	30 A	20 A/10 A*
Max. switching voltage	250 VAC, 28 VDC	
Max. switching current	AC: 30 A, DC: 20 A	AC: 20 A/10 A, DC: 20 A/10 A*
Max. switching capacity	7,500 VA, 560 W	5,000/2,500 VA, 560/280 W*

Note: \*NO contact/NO contact.

#### ■ Characteristics

Contact resistance	100 m $\Omega$ max.	
Operate time	15 ms max.	
Release time	10 ms max.	
Max. Operating Frequency	Mechanical: 18,000 operations/hr Electrical: 360 operations/hr (under rated load)	
Insulation resistance	100 M $\Omega$ min. (at 500 VDC)	
Dielectric strength	2,500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between coil and contacts 1,500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between contacts of same polarity	
Insulation Distance	Creepage (Typ)	4.08 mm (min.)
	Clearance (Typ)	1.6 mm (min.)
Tracking Resistance (CTI)	175 V	
Impulse withstand voltage	6,000 V (1.2/50 $\mu$ s) between coil and contacts	
Vibration resistance	Destruction: 10 to 55 to 10 Hz, 0.825-mm single amplitude (1.65-mm double amplitude) for 2 hours Malfunction: 10 to 55 to 10 Hz, 0.825-mm single amplitude (1.65-mm double amplitude) for 5 minutes	
Shock resistance	Destruction: 1,000 m/s <sup>2</sup> (approx. 100G) Malfunction: 100 m/s <sup>2</sup> (approx. 10G)	
Endurance	Mechanical: 10,000,000 operation min. (at 18,000 operations/hr) Electrical: 100,000 operations min. (at rated load)	
Ambient temperature	Operating: -55°C to 105°C (with no icing)	
Ambient humidity	Operating: 5% to 85%	
Weight	G8P-1CP: Approx. 21 g, G8P-1CTP: Approx. 24 g G8P-1C4P: Approx. 28 g, G8P-1C4TP: Approx. 31 g	

**PCB Power Relay – G8P**

■ **Approved Standards**  
**UL (File No. E41643)/CSA (File No. LR34815-101)**  
**EN 61810-1 (VDE Reg No. 40004714)**

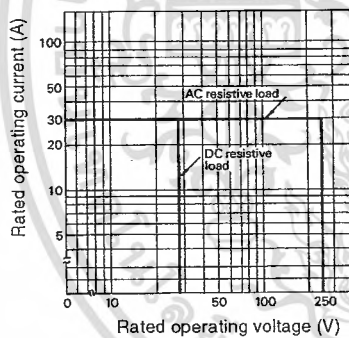
Power Relays

Type	Contact form	Coil ratings	Contact ratings
G8P-1A	SPST-NO	5 to 110 VDC	30 A, 277 VAC (G.P./Res.) 30 A, 250 VAC, 100 k ops. (Res.) 20 A, 120-240 VAC, 70°C, 100 k ops. (G.P./Res.) 20 A, 28 VDC (Res.) 20 A, 240 VAC, 105°C, 100 k ops. (Res.) 1 hp, 125-250 VAC 2 hp, 250 VAC A300 Pilot Duty 12FLA/72LRA, 250 VAC, 100 k ops. 20 FLA/96 LRA, 125 VAC, 100 k ops. 5 A, 250 VAC (Tungsten) 20 A, 120-277 VAC (Ballast) 25A, 250VAC
G8P-1C	SPDT	5 to 110 VDC	30 A/30 A, 250 VAC (Res.) 30 A/30 A, 277 VAC, 40°C, 100 k opns (NO) and 50 k opns (NC) 20 A/15 A, 120-240 VAC, 105°C, 100 k ops. (Res.) 20 A/10 A, 120-240 VAC, 70°C, 100 k ops. (G.P./Res.) 20 A/10 A, 28 VDC (Res.) 1/2 hp/ 1/2 hp, 125 VAC, 100 k ops. 2 hp/ 1/2 hp, 250 VAC 1 hp/ 1/4 hp, 125 VAC B150 Pilot Duty 5 A/3 A, 250 VAC (Tungsten) 6 A/3 A, 277 VAC (Ballast)

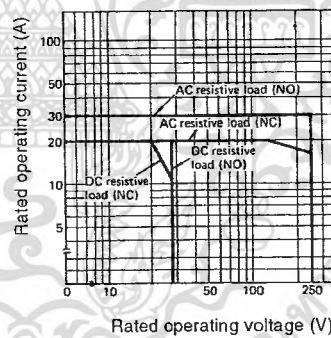
**Engineering Data**

Maximum Switching capacity

SPST-NO

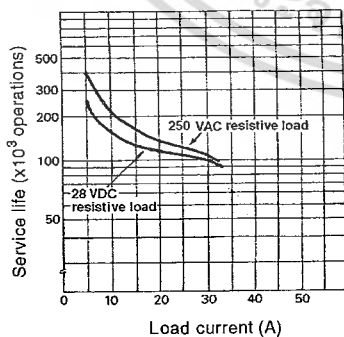


SPDT

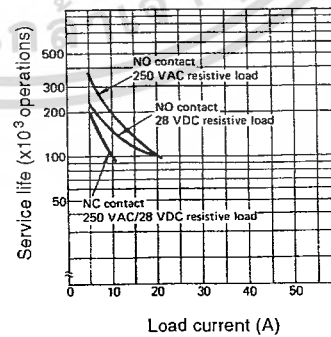


Endurance

SPST-NO



SPDT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCREW TERMINAL TYPE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS**

**HCGF5A Series** Useful of 4,000 hours at 85°C (Warranty of 2,000 hours at 85°C)

**Feature**

- Standard products that have been used for many years.



**Product Specifications**

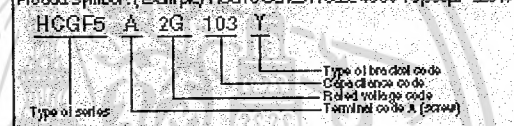
Items	Specifications
Temperature range	-25°C ~ +85°C
Capacitance tolerance	±20% (20°C, 120Hz)
Rated voltage	160 ~ 450V DC
Leakage current	0.01CV (μA) or 5mA, whichever is smaller or less (C = nominal capacitance (μF), V = rated voltage (V))
Disipation factor	Less than the value specified in the standard products table (20°C, 120Hz)
Frequency ripple current	As specified in the standard products table (40°C, 120Hz)
High temperature test	After the rated voltage with specified ripple current is applied at 85°C for 2000 hours: Capacitance tolerance: ±15% or less of the initial value Disipation factor: 1.25% or less of the specified initial value Leakage current: Specified initial value or less
Others	JIS C 5101-4.

**Ripple current correction coefficient**

Temperature (°C)	40	50	70	85	
	Correction coefficient	1.0	0.75	0.62	0.37
Frequency (Hz)	50/60	120	300	1K	10K
	Correction coefficient	0.7	1.0	1.1	1.3

Ripple current should be under 60Vrms at MS terminal in accordance with from the permissible current.

Product symbol: (Example) HCGF5 Series A case 400V 10,000μF ±20%



**Standard unit and case size**

Rated Voltage (V, DC)	Capacitance (μF)	Case size (φD×L)(mm)	Case code	Lead (φT) (28±)	Approx. weight (g) (100±)	Product name
160V(20)	3300	36-121	A12	0.25	14.0	HC-OF-9A20-33Z
	3300	51-75	C8R	0.25	14.4	HC-OF-9A20-36ZY
	4700	51-75	C8R	0.25	15.8	HC-OF-9A20-47ZY
	6800	51-96	C10R	0.25	19.0	HC-OF-9A20-68ZY
	6800	51-96	C10R	0.25	21.0	HC-OF-9A20-68ZY
	8200	51-115	C12R	0.25	24.7	HC-OF-9A20-82ZY
	10000	64-96	D10R	0.25	28.0	HC-OF-9A20-103Y
	12000	64-96	D10R	0.25	30.6	HC-OF-9A20-123Y
	15000	64-130	D13R	0.25	38.6	HC-OF-9A20-153Y
	18000	64-130	D13R	0.25	42.2	HC-OF-9A20-183Y
	22000	77-130	E13R	0.25	49.4	HC-OF-9A20-223Y
	27000	77-130	E13R	0.25	54.7	HC-OF-9A20-273Y
	33000	90-131	F13R	0.25	64.2	HC-OF-9A20-333Y
	39000	90-157	F16R	0.25	75.3	HC-OF-9A20-393Y

**Attachment of legs**

- See page 49 for shapes and dimensions.
- Product names in the Standard Units Rating Table correspond to the attachment legs for Type Y (Type I for φ36 only), but Type I attachment legs may be used (shape Code = Y).
- If attachment legs are not necessary, enter "N" for the attachment leg shape code.
- Attachment legs will be delivered separately.

Rated Voltage (V, DC)	Capacitance (μF)	Case size (φD×L)(mm)	Case code	Lead (φT) (28±)	Approx. weight (g) (100±)	Product name
200V(20)	2200	36-100	A10	0.25	10.6	HC-OF-9A20-ZZ1
	2700	36-121	A12	0.25	12.7	HC-OF-9A20-ZT1
	3300	51-75	C8R	0.25	13.3	HC-OF-9A20-ZZ2Y
	3300	51-75	C8R	0.25	14.4	HC-OF-9A20-36ZY
	4700	51-96	C10R	0.25	17.4	HC-OF-9A20-47ZY
	6800	51-115	C12R	0.25	20.4	HC-OF-9A20-68ZY
	8200	51-130	C13R	0.25	23.7	HC-OF-9A20-82ZY
	8200	64-96	D10R	0.25	25.4	HC-OF-9A20-82ZY
	10000	64-96	D10R	0.25	28.0	HC-OF-9A20-103Y
	12000	77-96	E10R	0.25	32.6	HC-OF-9A20-123Y
	15000	77-96	E10R	0.25	38.0	HC-OF-9A20-153Y
	18000	77-130	E13R	0.25	44.6	HC-OF-9A20-183Y
	22000	77-155	E16R	0.25	53.0	HC-OF-9A20-ZZ3Y
	27000	90-131	F13R	0.25	58.2	HC-OF-9A20-ZT3Y
	33000	90-157	F16R	0.25	69.0	HC-OF-9A20-333Y

Rated Voltage (V, DC)	Capacitance (μF)	Case size (φD×L)(mm)	Case code	Lead (φT) (28±)	Approx. weight (g) (100±)	Product name
250V(25)	1500	36-100	A10	0.25	8.7	HC-OF-9A2E-15Z1
	1800	36-100	A10	0.25	9.5	HC-OF-9A2E-18Z1
	2200	51-75	C8R	0.25	10.8	HC-OF-9A2E-ZZ2Y
	2700	51-75	C8R	0.25	12.0	HC-OF-9A2E-ZT2Y
	3300	51-96	C10R	0.25	14.6	HC-OF-9A2E-EZ3Y
	3900	51-115	C12R	0.25	17.0	HC-OF-9A2E-36ZY
	4700	64-96	D10R	0.25	19.2	HC-OF-9A2E-47ZY
	5600	64-96	D10R	0.25	21.0	HC-OF-9A2E-56ZY
	6800	64-115	D12R	0.25	24.7	HC-OF-9A2E-68ZY
	8200	64-115	D12R	0.25	27.1	HC-OF-9A2E-82ZY
	10000	64-130	D13R	0.25	31.5	HC-OF-9A2E-103Y
	12000	77-115	E12R	0.25	34.8	HC-OF-9A2E-123Y
	15000	77-130	E13R	0.25	40.8	HC-OF-9A2E-153Y
	18000	77-155	E16R	0.25	47.8	HC-OF-9A2E-183Y
	22000	90-157	F16R	0.25	56.5	HC-OF-9A2E-ZZ3Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

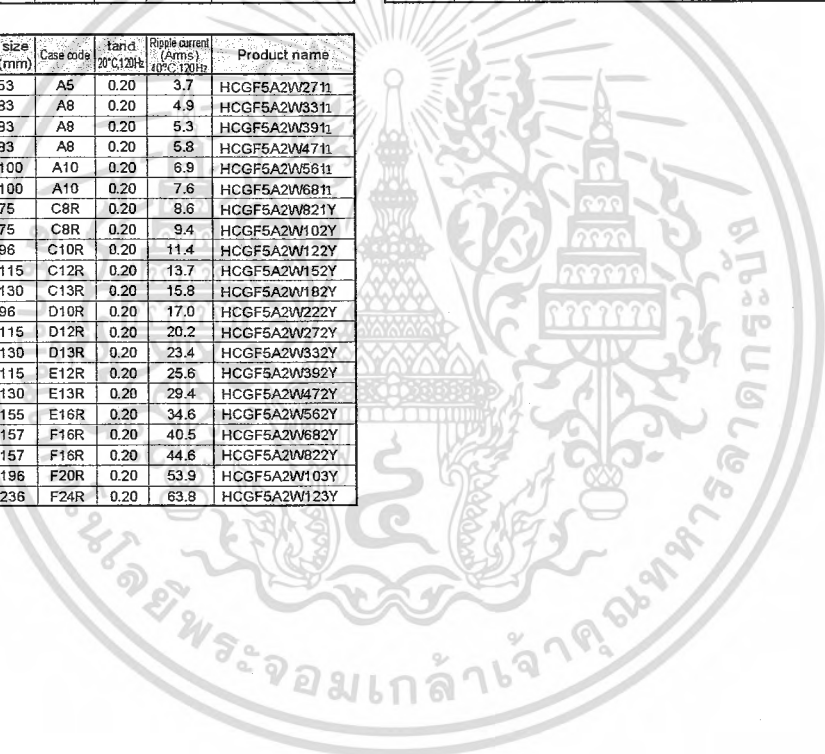
**SCREW TERMINAL TYPE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS**

Rated Voltage V. DC	Capacitance (μF)	Case size øDXL(mm)	Case code	tanδ 20°C,120Hz	Ripple current (Arms) 40°C,120Hz	Product name
350V(2V)	390	36-53	A5	0.20	4.5	HCGF5A2V3911
	470	36-83	A8	0.20	5.8	HCGF5A2V4711
	560	36-83	A8	0.20	6.4	HCGF5A2V5611
	680	36-83	A8	0.20	7.0	HCGF5A2V6811
	820	36-100	A10	0.20	8.3	HCGF5A2V8211
	1000	36-100	A10	0.20	9.2	HCGF5A2V1021
	1200	51-75	C8R	0.20	10.3	HCGF5A2V122Y
	1500	51-75	C8R	0.20	11.5	HCGF5A2V152Y
	1800	51-96	C10R	0.20	13.9	HCGF5A2V182Y
	2200	51-96	C10R	0.20	15.4	HCGF5A2V222Y
	2700	51-130	C13R	0.20	19.3	HCGF5A2V272Y
	3300	51-130	C13R	0.20	21.4	HCGF5A2V332Y
	3900	64-115	D12R	0.20	24.2	HCGF5A2V392Y
	4700	64-130	D13R	0.20	27.9	HCGF5A2V472Y
	5600	77-115	E12R	0.20	30.7	HCGF5A2V562Y
	6800	77-130	E13R	0.20	35.4	HCGF5A2V682Y
	8200	77-155	E16R	0.20	41.7	HCGF5A2V822Y
	10000	90-157	F16R	0.20	49.0	HCGF5A2V103Y
	12000	90-157	F16R	0.20	54.1	HCGF5A2V123Y
	15000	90-196	F20R	0.20	66.2	HCGF5A2V153Y
18000	90-236	F24R	0.20	77.9	HCGF5A2V183Y	

Rated Voltage V. DC	Capacitance (μF)	Case size øDXL(mm)	Case code	tanδ 20°C,120Hz	Ripple current (Arms) 40°C,120Hz	Product name
400V(2G)	330	36-53	A5	0.20	4.1	HCGF5A2G3311
	390	36-83	A8	0.20	5.3	HCGF5A2G3911
	470	36-83	A8	0.20	5.8	HCGF5A2G4711
	560	36-83	A8	0.20	6.4	HCGF5A2G5611
	680	36-100	A10	0.20	7.6	HCGF5A2G6811
	820	36-100	A10	0.20	8.3	HCGF5A2G8211
	1000	51-75	C8R	0.20	9.4	HCGF5A2G102Y
	1200	51-75	C8R	0.20	10.3	HCGF5A2G122Y
	1500	51-96	C10R	0.20	12.7	HCGF5A2G152Y
	1800	51-96	C10R	0.20	13.9	HCGF5A2G182Y
	2200	51-130	C13R	0.20	17.4	HCGF5A2G222Y
	2700	64-96	D10R	0.20	18.8	HCGF5A2G272Y
	3300	64-115	D12R	0.20	22.2	HCGF5A2G332Y
	3900	64-130	D13R	0.20	25.4	HCGF5A2G392Y
	4700	77-115	E12R	0.20	28.2	HCGF5A2G472Y
	5600	77-130	E13R	0.20	32.2	HCGF5A2G562Y
	6800	77-155	E16R	0.20	38.0	HCGF5A2G682Y
	8200	90-157	F16R	0.20	44.4	HCGF5A2G822Y
	10000	90-157	F16R	0.20	49.4	HCGF5A2G103Y
	12000	90-196	F20R	0.20	59.1	HCGF5A2G123Y
15000	90-236	F24R	0.20	71.1	HCGF5A2G153Y	

ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS

Rated Voltage V. DC	Capacitance (μF)	Case size øDXL(mm)	Case code	tanδ 20°C,120Hz	Ripple current (Arms) 40°C,120Hz	Product name
450V(2W)	270	36-53	A5	0.20	3.7	HCGF5A2W2711
	330	36-83	A8	0.20	4.9	HCGF5A2W3311
	390	36-83	A8	0.20	5.3	HCGF5A2W3911
	470	36-83	A8	0.20	5.8	HCGF5A2W4711
	560	36-100	A10	0.20	6.9	HCGF5A2W5611
	680	36-100	A10	0.20	7.6	HCGF5A2W6811
	820	51-75	C8R	0.20	8.6	HCGF5A2W821Y
	1000	51-75	C8R	0.20	9.4	HCGF5A2W102Y
	1200	51-96	C10R	0.20	11.4	HCGF5A2W122Y
	1500	51-115	C12R	0.20	13.7	HCGF5A2W152Y
	1800	51-130	C13R	0.20	15.8	HCGF5A2W182Y
	2200	64-96	D10R	0.20	17.0	HCGF5A2W222Y
	2700	64-115	D12R	0.20	20.2	HCGF5A2W272Y
	3300	64-130	D13R	0.20	23.4	HCGF5A2W332Y
	3900	77-115	E12R	0.20	25.6	HCGF5A2W392Y
	4700	77-130	E13R	0.20	29.4	HCGF5A2W472Y
	5600	77-155	E16R	0.20	34.6	HCGF5A2W562Y
	6800	90-157	F16R	0.20	40.5	HCGF5A2W682Y
	8200	90-157	F16R	0.20	44.6	HCGF5A2W822Y
	10000	90-196	F20R	0.20	53.9	HCGF5A2W103Y
12000	90-236	F24R	0.20	63.8	HCGF5A2W123Y	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

## Renewable Energy conversion Application Laboratory



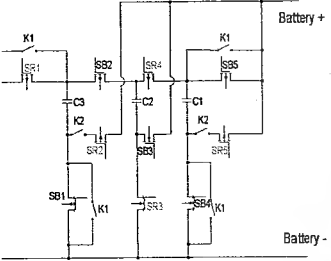
รศ.ประภาส ไพรสวรรณา, ดร.สุรินทร์ คำผอย

นายธนัท ยงวิจิตรกุล 48010353

นายธันว์ วัฒนาร 48010382

นายธิตติ ไชยเทพ 48010389

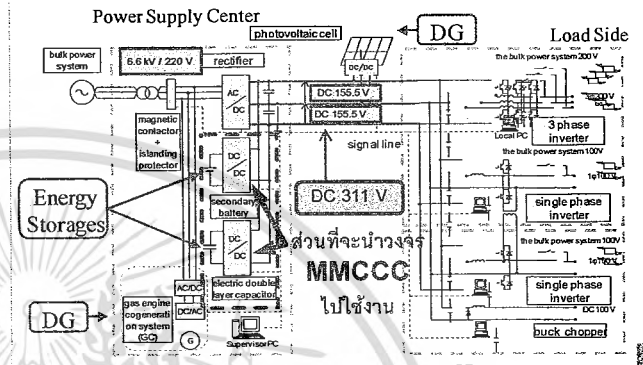
### 3-level Modular Capacitor Clamped Converter



- ▶ ไม่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา
- ▶ สามารถควบคุมการไหลของพลังงานได้ 2 ทิศทาง
- ▶ สวิตช์ทำงานในสภาวะ 2 ช่วงเวลาสวิตช์จึงทำให้สามารถทำงานที่ความถี่สูง และง่ายต่อการสวิตช์

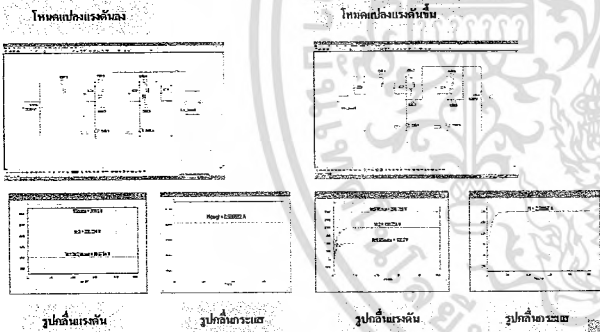
1

### DC Microgrid



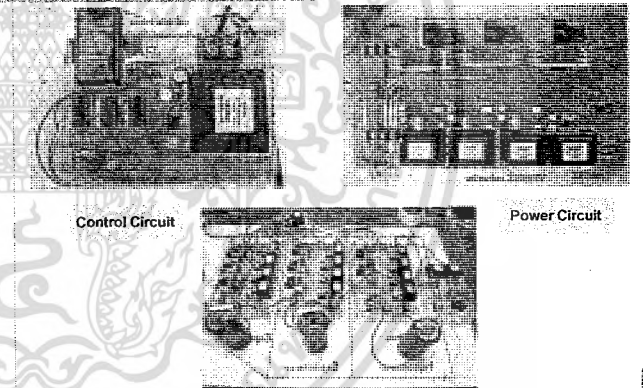
2

### Power Simulation



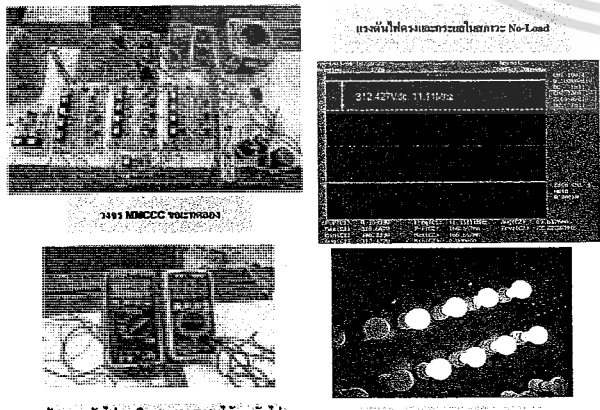
3

### Power Circuit & Control Circuit



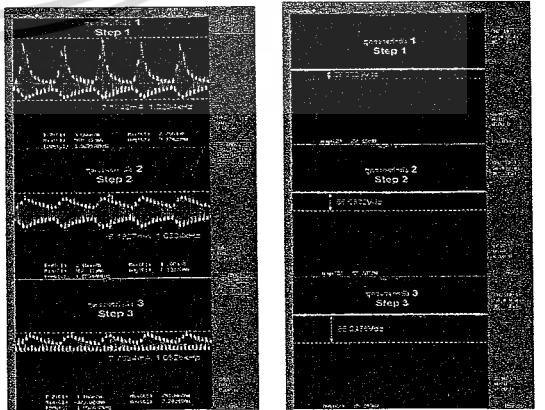
4

### Experiment



5

### Ripple Current



ผลของขนาดและภาวะต่อภาระต่อมัลติประจุในสภาวะโหลดที่โหลดแบ่งระดับขึ้น

6

## ELECTRICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้拿去ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับดีซีไมโครกริด

### Multilevel DC/DC Capacitor Clamped Converter for DC Microgrid

ชิตติ ไชยเทพ, ธนัท ยงวิจิตรกุล, ชันวี วัฒนกร, สุรินทร์ คำฝอย\*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง แขวงลำป่าทวี เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร/โทรสาร. 0-2326-4550

E-mail: s8010389@kmitl.ac.th, s8010353@kmitl.ac.th, s8010382@kmitl.ac.th, kkhsurin@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโดยปราศจากตัวเหนี่ยวนำ เป็นวงจรที่สามารถเพิ่ม/ลดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยเลือกวงจรแปลงผันหลายระดับชนิดแยกส่วน (โมดูล) ทำให้งจรมีรูปแบบการสวิตช์ที่ง่าย ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา แต่วงจรจะใช้สวิตช์ในการทำงานจำนวนมาก โดยบทความนี้ได้ประยุกต์ใช้วงจรดังกล่าวให้เหมาะสมในการเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบดีซีไมโครกริด และได้ศึกษาวงจรจำลองการทำงานโดยอาศัยโปรแกรม Power Simulation เพื่อยืนยันหลักการที่ได้นำเสนอ

คำสำคัญ : วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุ, วงจรแปลงผันชนิดแยกส่วน, ดีซีไมโครกริด

#### Abstract

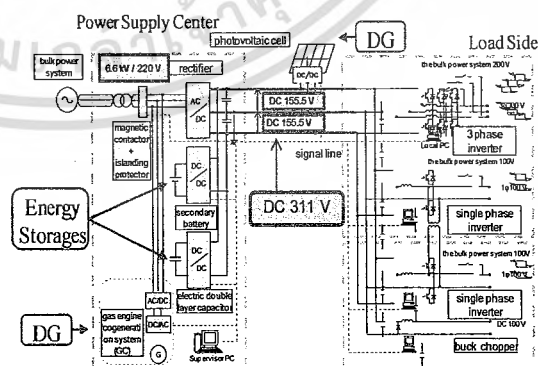
A modular inductorless dc-dc converter is presented in this paper. The proposed dc-dc converter can step up and step down output voltage as dc transformer function by using a duplicated switching module. This can lead to a simple switching function, compact design, and light weight; however, the proposed dc-dc converter consists of many power switching devices. The suitable application of the proposed dc-dc converter proposed in this paper is dc microgrid. The simulation study and experimental result are also illustrated in order to confirm the proposed methodology.

Keyword: a modular inductorless dc-dc converter, module, dc microgrid

#### 1. บทนำ

ในพื้นที่ชนบทหรือพื้นที่ห่างไกลทำให้เกิดอุปสรรคในการติดตั้งการส่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบหรือไม่คุ้มค่าต่อลงทุนติดตั้งเพื่อไปป้อนให้กับพื้นที่ดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก (ไมโครกริด) ขึ้นเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพื้นที่นั้นๆ โดยอาศัยแหล่งพลังงานทดแทนตามความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เช่น แสงแดด, ลม, ความร้อน, น้ำตก, และเขื่อนขนาดเล็ก เป็นต้น ซึ่งถ้าไม่สามารถหาแหล่งพลังงานทดแทนได้ก็ต้องอาศัยพลังงานจากเชื้อเพลิงเช่น ก๊าซ หรือน้ำมัน จึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงแหล่งพลังงานเหล่านั้นเข้าด้วยกัน ระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่าระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดีของระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงคือ มีความสะดวกในการเชื่อมโยงเนื่องจากไม่มีความถี่มาเกี่ยวข้องเหมาะสมกับแหล่งพลังงานทดแทนที่มีการแกว่งตัวอยู่บ่อยๆ สามารถเก็บพลังงานสำรองได้โดยง่าย ยกตัวอย่างระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างระบบไมโครกริดแบบไฟฟ้ากระแสตรง

(Ref. [http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/14-magazine/log/2006/2006\\_12b\\_03.pdf](http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/14-magazine/log/2006/2006_12b_03.pdf))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง

ในบทความนี้ได้เลือกใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุหลายระดับชนิดแยกส่วน Multilevel Modular Capacitor Clamped DC/DC Converter (MMCCC) เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมกับงานในหลายๆด้าน เช่น

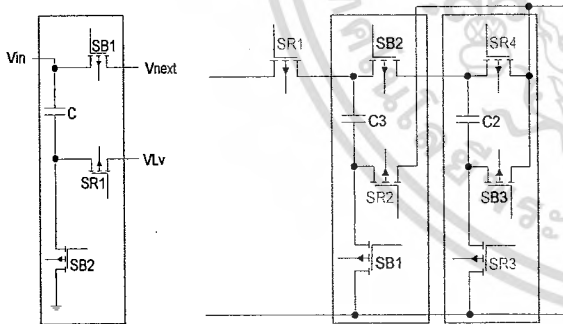
- ไม่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
- สามารถควบคุมการไหลของพลังงานได้ 2 ทิศทาง
- สวิตช์ทำงานในสภาวะ 2 ช่วงเวลา ทำให้วงจรสามารถทำงานที่ความถี่สูง และง่ายต่อการสวิตช์

โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นการนำตัวเก็บประจุ 1 ตัว สวิตช์ 3 ตัว มาต่อกันเป็นชุดคอนเวอร์เตอร์หรือโมดูล ซึ่งจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในวงจรเป็น

$$V_{High} = (N+1)V_{Low} \tag{1}$$

เมื่อ  $V_{High}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟสูง  
 $V_{Low}$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไฟต่ำ  
 N คือ จำนวนคอนเวอร์เตอร์โมดูล

ดังนั้น วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 3 เท่า จะประกอบด้วยชุดคอนเวอร์เตอร์ 2 ชุด ตามสมการที่(1) โดยโครงสร้างของชุดคอนเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) โครงสร้างโมดูล (ข) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2 โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2 แสดง ขนาด 3 เท่า โดยจะสังเกตได้ว่าจะประกอบด้วยชุดคอนเวอร์เตอร์ที่เหมือนกัน 2 ชุด ชุดแรกจะมีแรงดันเป็น 2 เท่า และชุดที่ต่อกับกริดหรือต่อกับโหลด จะมีขนาดแรงดันเป็น 3 เท่า ซึ่งความสามารถในการแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดของคอนเวอร์เตอร์ภายใน

3. หลักการทำงาน

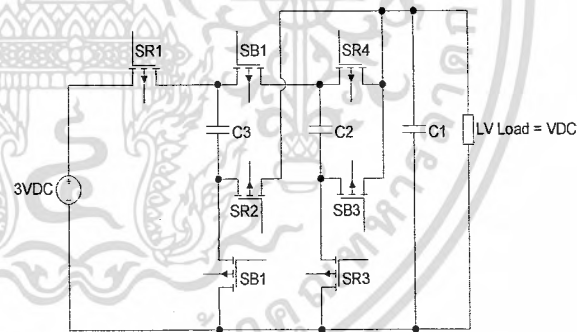
ตารางที่ 1 แผนผังการสวิตช์ช่วง (Steady-State) ของวงจร MMCCC เมื่อ ↑=ชาร์จประจุ, ↓=คายประจุ

สภาวะการทำงานของสวิตช์	การชาร์จประจุ/คายประจุ ของตัวเก็บประจุ
SRn ON SBn OFF	$V_{HV} \rightarrow C_3 \uparrow + C_1 \uparrow$ $C_2 \downarrow \rightarrow C_1 \uparrow$
SRn OFF SBn ON	$C_3 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow + C_1 \uparrow$

ตารางที่ 1 แสดงแผนผังลำดับการสวิตช์ของวงจร MMCCC แรงดันไฟฟ้า 3 เท่า ซึ่งมี 2 สภาวะเวลาในการทำงาน สภาวะแรก สวิตช์ SR1 ไปจนถึง SR4 จะทำงานที่เวลาเดียวกัน ในส่วนการทำงานสภาวะที่ 2 สวิตช์ SB1 ไปจนถึง SB3 จะทำงานในเวลาเดียวกันได้ในสภาวะ 2 โดยทั้ง 2 สภาวะต้องไม่ทำงานในเวลาเดียวกัน

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งการทำงานได้ 2 โหมดดังนี้

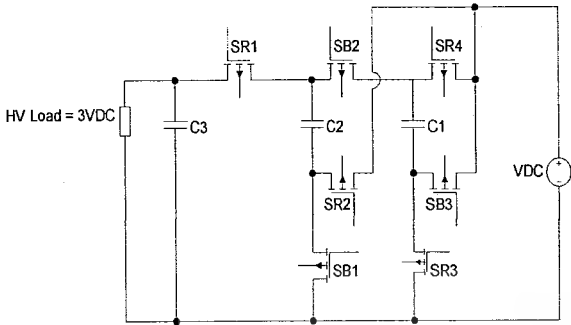
3.1 โหมดแปลงแรงดันลง



รูปที่ 3 โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันลง

จากรูปที่ 3 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโหมดแรงดันลง หรือช่วงที่ใช้ในการเก็บสะสมพลังงาน ในสภาวะสวิตช์ SRn ทำงาน สวิตช์ SBn ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จ่ายเข้า C3 และ C1 เพื่อชาร์จประจุ เมื่อกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟตรง 3 VDC จะมีแรงดันตกคร่อม C3 = 2VDC และ แรงดันตกคร่อม C1 = VDC ต่อมาในสภาวะสวิตช์ SBn ทำงาน สวิตช์ SRn ไม่ทำงาน C3 ซึ่งมีแรงดัน 2VDC จะทำหน้าที่เป็นคายประจุให้กับ C2 และ C1 เพื่อชาร์จประจุ ทำให้ C2 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC และ C1 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC เมื่อนำโหลดมาต่อคร่อม C1 ทำให้โหลดมีแรงดันเท่ากับ VDC

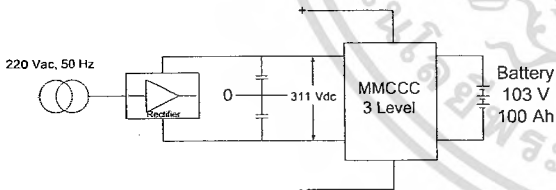
### 3.2 โหมดแปลงแรงดันขึ้น



รูปที่ 4 โครงสร้างวงจรโหมดแปลงแรงดันขึ้น

จากรูปที่ 4 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงโหมดแรงดันขึ้น หรือช่วงที่ใช้ในการจ่ายพลังงาน ในสถานะสวิตช์ SRn ทำงาน สวิตช์ SBn ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จ่ายเข้า C1 เพื่อชาร์จประจุ เมื่อกำหนดให้ป้อนแหล่งจ่ายไฟตรง VDC จะมีแรงดันตกคร่อม  $C1 = VDC$  จากนั้น C1 จะคายประจุให้กับ C2 ทำให้ C2 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2VDC และ C2 จะคายประจุให้ C3 ทำให้ C3 มีแรงดันตกคร่อมเป็น 3VDC ต่อมาในสถานะสวิตช์ SBn ทำงาน สวิตช์ SRn ไม่ทำงาน มีแหล่งจ่ายไฟตรง VDC และ C1 ที่มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ VDC ร่วมกันจ่ายประจุให้กับ C2 ทำให้ C2 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2VDC จากนั้น C2 คายประจุให้ C3 มีแรงดันตกคร่อมเป็น 3VDC

### 4. การประยุกต์วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับดีซีไมโครกริด



รูปที่ 5 การใช้ MMCCC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบดีซีไมโครกริด

ดีซีไมโครกริดหรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่นิยมใช้พลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์,ลม ฯลฯ ในการผลิตไฟฟ้า มีข้อจำกัดที่พลังงานทดแทนเหล่านั้นมีไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบเก็บสะสมพลังงาน เช่น Battery Bank, Fly- Wheel ฯลฯ ซึ่งระบบเก็บสะสมพลังงานมีหน้าที่เก็บพลังงานต่อเมื่อพลังงานที่ใช้เกินความต้องการ และจ่ายพลังงานให้กับระบบเมื่อพลังงานที่ใช้ไม่เพียงพอ ในโครงการนี้เรานำวงจร MMCCC ซึ่งมีคุณสมบัติ

เพิ่ม/ลด แรงดันไฟตรง วงจรมีข้อดี คือ สามารถลดจำนวนเบตเตอร์รี่ที่ต้องนำมาต่ออนุกรมกัน และส่งถ่ายพลังงานได้ 2 ทิศทาง

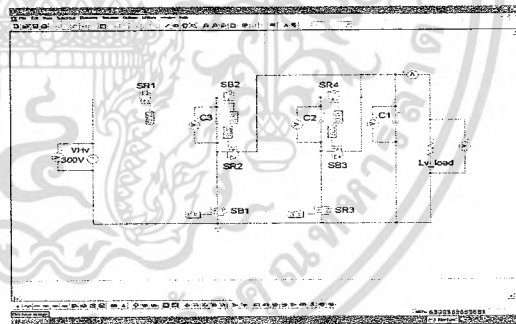
ในกรณีแรก เมื่อผลิตไฟฟ้าเกินความต้องการของผู้ใช้จะนำพลังงานส่วนที่เกินนี้ (220 Vac, 50 Hz) มาสะสมพลังงานใน Battery 103 V 100 Ah โดยเรียงกระแสเป็นไฟตรงแล้วกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วยตัวเก็บประจุ ได้แรงดัน 311 Vdc แล้วจึงแปลงแรงดันลงเพื่อให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของ Battery เป็นการชาร์จ

ในกรณีที่ 2 เมื่อขาดแหล่งพลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์, ลม ฯลฯ จะดึงพลังงานจาก Battery ไปจ่ายแทนได้แต่ต้องเพิ่มระดับแรงดันให้ใกล้เคียง 311 Vdc มากที่สุด

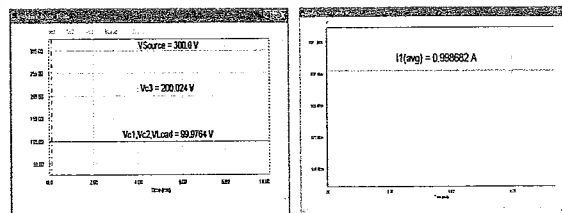
### 5. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทความนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบการทำงานของวงจรแปรผันไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งในโหมดแปลงแรงดันลง และโหมดแปลงแรงดันขึ้น ด้วยโปรแกรม PSIM (Power Simulation) เพื่อพิสูจน์ว่าวงจรทั้งสองสามารถเพิ่ม/ลดระดับแรงดันไฟตรง และสามารถส่งถ่ายพลังงาน 2 ทิศทาง ได้จริงดังนี้

#### 5.1 โหมดแปลงแรงดันลง

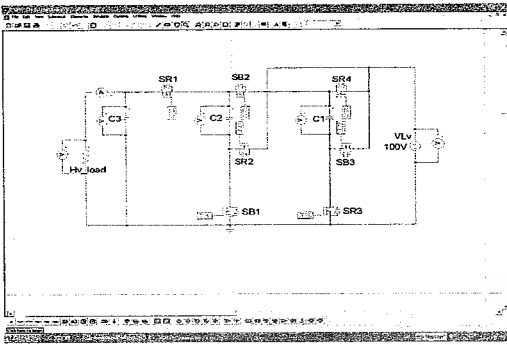


รูปที่ 6 การจำลองวงจรโดยใช้ PSIM ในโหมดแปลงแรงดันลงโดยมีแหล่งจ่ายไฟตรง 300 V แปลงแรงดันลงเหลือ 100 V

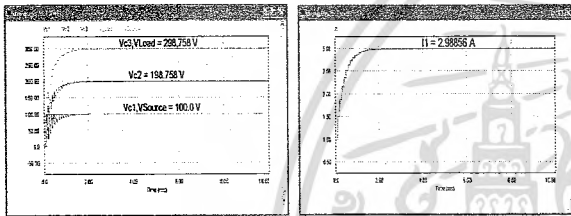


รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในโหมดแปลงแรงดันลง

## 5.2 โหมคแปลงแรงดันขึ้น



รูปที่ 8 การจำลองวงจรโดยใช้ PSIM ในโหมคแปลงแรงดันขึ้น โดยมีแหล่งจ่ายไฟตรง 100 V แปลงแรงดันขึ้นเป็น 300 V



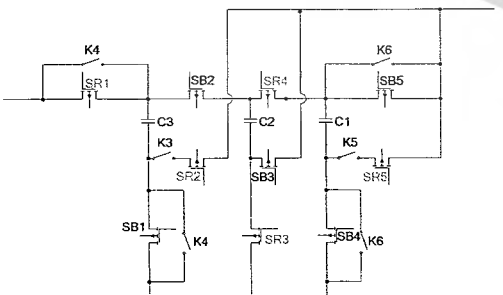
(ก) คลื่นแรงดัน

(ข) คลื่นกระแส

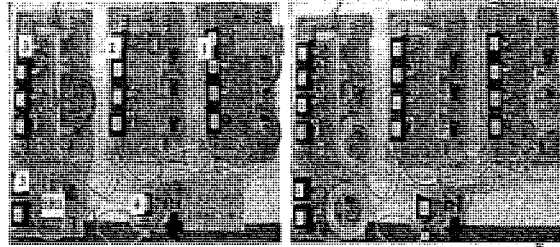
รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดัน โหมคแปลงแรงดันขึ้น

รูปที่ 7 และ 9 แสดงรูปแรงดันและกระแสของวงจรโดย V1, V2 , V3 คือแรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุของแต่ละโหมค Vsource คือแรงดันของแหล่งจ่าย ส่วนรูปกระแสสังเกตได้ว่าการแปลงแรงดันขึ้นมีความราบเรียบน้อยกว่าแปลงลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุของตัวเก็บประจุด้วย ในกรณีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่กระแสที่ได้จะราบเรียบมากขึ้นด้วย

## 6. วงจรการทำงานจริง



รูปที่ 10 วงจรกำลังแปลงผันไฟตรง 3 ระดับ



(ก) โหมคการแปลงแรงดันลง (ข) โหมคการแปลงแรงดันขึ้น

รูปที่ 11 วงจรกำลังและวงจรจับเกต

ในรูปที่ 11 หมายเลข 1, 2, และ 3 แสดงตำแหน่งโหมคสังเกตได้ว่าโหมคที่ 3 จะมีสวิตช์ SR1 เพิ่มมา 1 ตัวดังแสดงในรูปโครงสร้างวงจรจริง (รูปที่10) ส่วนหมายเลข 4 คือวงจรสร้างสัญญาณควบคุม mosfet และมีสวิตช์เปลี่ยนโหมคการแปลงแรงดันวงจรการทำงานจริงแสดงโหมคการแปลงแรงดันขึ้นหรือลงโดยใช้ LED สองสี สีเขียวคือโหมคการแปลงแรงดันขึ้น และสีแดงคือโหมคการแปลงแรงดันลง

## 7. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงผันไฟที่การกระแสดร่งโดยปราศจากตัวเหนี่ยวนำเพื่อใช้งานในระบบจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก การทดลองได้ใช้วงจรแปลงผันไฟตรงเพิ่ม/ลดระดับแรงดันไฟฟ้า ตามที่ได้นำเสนอในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ข้างต้น เพื่อที่จะสามารถลดจำนวนแบตเตอรี่ในการเก็บสะสมพลังงานได้ ช่วยลดต้นทุนการผลิตและไม่ทำลายสภาพแวดล้อม งานวิจัยชิ้นนี้ได้จัดทำขึ้นงานเพื่อยืนยันหลักการตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

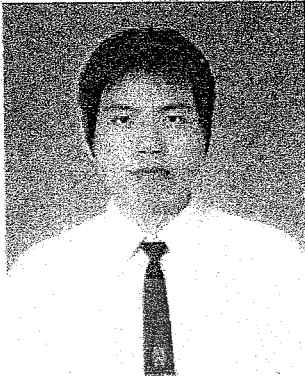
## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ. ประภษา ไพโรสุวรรณฯ ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูล นายณัฐภัทร ไพโรสุวรรณ, ว่าที่ร.ต. อมฤต สรนคร รณ., นายวีรพล แสกล้า ตัวแทนกลุ่มนักศึกษาโครงการวิจัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการ อุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับปริญญาตรี 2551

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A Multilevel Modular Capacitor Clamped DC- DC converter," IEEE Industry Applications Annual Meeting (IAS), Oct. 2006.
- [2] H.Kakigano, Y. Miura, T.Ise, and R. Uehida, "DC voltage Control of the DC Micro-grid for Super High Quality Distribution", 1-4244-0844-X/07/2007 IEEE, pp. 518-525
- [3] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," Power Electronics Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ : นายธนต์ ยงวิจิตรกุล (ไฟท์)

วัน/เดือน/ปีเกิด : 31/08/2528

ที่อยู่ : 1/24 ถ.ประชารักษ์ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

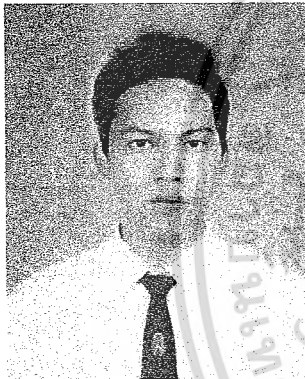
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย-

สมบูรณ์กุลกันยา จ.สงขลา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย-

สมบูรณ์กุลกันยา จ.สงขลา

E-mail : fight-live@hotmail.com



ชื่อ : นายธันว์ วิตนาการ (ธันว์)

วัน/เดือน/ปีเกิด : 6/12/2529

ที่อยู่ : 42/4 ถ.อารีราษฎร์ ต.ปากน้ำ อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21000

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนระยองวิทยาคม

จ.ระยอง

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนระยองวิทยาคม

จ.ระยอง

E-mail : wittanakorn@hotmail.com



ชื่อ : นายธิติ ไชยเทพ (ดาล)

วัน/เดือน/ปีเกิด : 7/11/2529

ที่อยู่ : 45 หมู่ 9 ต.โพชนไก่ อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี 16130

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนสิงห์บุรี จ.สิงห์บุรี

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย

จ.ลพบุรี

E-mail : Thiti0389@hotmail.com