

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรสแน็บเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์
เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

Energy recovery snubber for high efficiency grid connected inverters



T110827



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....110827
วัน,เดือน,ปี.....18 ๗๗, 2553

b.....
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2552

วงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์
เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
Energy recovery snubber for high efficiency grid connected inverters



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย

รศ. ประภาส ไพรสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2552

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรสับเบอ์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบ
ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ผู้จัดทำ

1.นายเบญจรัฐธีร์
2.นายปรเมศร์
3.นายปริญญญา

นารณเมธี
เชื่อนันไชย
กิจพ้อคำ

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์
เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

นายเบญจรัฐ	นารถเมธี	
นายปรเมศร์	เชื่อนันไชย	
นายปริญญา	กิจฟอคำ	
รศ. ประภาษ	ไพโรสุวรรณา	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา
การศึกษา 2552		

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ด้วยการใช้วงจรสับเบอร์ ซึ่งวงจรสับเบอร์โดยปกติจะเก็บสะสมความสูญเสียจากการสวิตช์ไว้ในตัวต้านทานที่ซึ่งเป็นความสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นประสิทธิภาพจะลดลง ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขโดยใช้เทคนิค CD recovery Snubber โดยที่วงจร CD recovery Snubber สามารถนำพลังงานส่งคืนสู่วงจรเชื่อมโยงไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ได้ ด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยได้นำเสนอเทคนิคดังกล่าวด้วยการจำลองโดยโปรแกรม Pspice และสร้างเครื่องต้นแบบขนาด 1 kW เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าว

Energy recovery snubber for high efficiency grid connected inverters

Bennatthee Nartmaethee

Poramate Chuenunchai

Prarinya Kijporka

Assoc. Prof. Prapart Prisuwana adviser

Asst. Dr. Surin Khomfoi adviser

2009

Abstract

This paper presents a high efficiency inverter by modifying snubber circuit. A snubber circuit normally stores the switching losses in the resistor considering as the losses in the inverter so that the efficiency will not improve. CD recovery technique can solve this problem because the CD recovery technique can provide the energy back to the dc-link of the inverter; this will improve the inverter efficiency. The proposed technique is simulated by Pspice and the 1 kW prototype is also developed to validate the proposed idea.

กิตติกรรมประกาศ

ในโครงการนี้เป็นโครงการที่ศึกษาเกี่ยวกับ วงจรสับเบอ์แบบส่งพลังงานคืนกลับ สำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ซึ่งทางกลุ่มผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งและรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งต่อความกรุณาที่ รศ.ประภาส ไพรสสุวรรณ และ ดร.สุรินทร์ คำฝอย มาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการครั้งนี้ซึ่งได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการทำงาน และคอยสอบถามความคืบหน้า และปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน ซึ่งทางกลุ่มผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ อนุชา พัฒนาผล ผู้ที่ได้แนะนำและคอยช่วยเหลือในการทำโครงการ ตั้งแต่เริ่มทำโครงการ จนโครงการนี้สำเร็จร่วกันไปได้อย่างดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการ ขอขอบคุณเพื่อนๆปี 4 ทุกคน และ เพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ ECC 406 (Real Lab) ที่คอยให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือ ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนเงินทุนภายใต้การวิจัยโครงการนี้ ภายใต้โครงการ IRPUS ประจำปี 2552 จนทำให้โครงการวิจัยสำเร็จร่วกันไปได้อย่างดี

และท้ายที่สุดนี้ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมาทั้งทางด้านการเงิน คำปรึกษา และให้กำลังใจ ทำให้ผู้จัดทำสามารถทำโปรเจกต์ได้สำเร็จร่วตามเป้าหมาย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 วงจรสับเบียร์สำหรับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	6
2.3 ประเภทของอินเวอร์เตอร์.....	18
2.4 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (3 Phase Inverter).....	19
2.5 การสวิตซ์แบบ PWM.....	20
2.6 การมอดูเลตตามความกว้างแบบไซน์.....	22
2.7 บทสรุป.....	23

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
1.1 โครงสร้างแผนการดำเนินงาน	3
2.1 วงจร RCD Snubber	6
2.2 แสดงรูปคลื่นขณะสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสขณะที่ C มีค่าน้อย (ก), C มีค่าปานกลาง (ข), C มีค่ามากที่สุด (ค)	8
2.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มอสเฟต วงจรสับเบอร์ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมต่อค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสับเบอร์	11
2.4 วงจร PSSS สำหรับอินเวอร์เตอร์	12
2.5 การจัดเรียงวงจรสับเบอร์ และวงจรคืนพลังงาน ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	13
2.6 รูปคลื่นแรงดันขณะที่สวิตช์ตัวบน S_p และสวิตช์ตัวล่าง S_n ทำงาน	13
2.7 วงจรสมมูลย์	15
2.8 โหมดการทำงานที่ 0+	15
2.9 โหมดการทำงานที่ 1	15
2.10 โหมดการทำงานที่ 2	15
2.11 โหมดการทำงานที่ 3	15
2.12 โหมดการทำงานที่ 4	15
2.13 โหมดการทำงานที่ 5	16
2.14 โหมดการทำงานที่ 0-	16
2.15 โหมดการทำงานที่ 6	16
2.16 โหมดการทำงานที่ 7	16
2.17 โหมดการทำงานที่ 8	16
2.18 โหมดการทำงานที่ 9	16
2.19 การทำงานพื้นฐานของวงจรคืนพลังงาน (ก) วงจรสมมูลย์ของวงจรคืนพลังงาน (ข) หม้อแปลงเบรียบเสมือนตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ในรูปที่ 1 และ 3 (ค) หม้อแปลงมีค่าตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลน้อยทำให้กระแสไหล	17
2.20 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	19
2.21 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์	21

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

รูปปลูกที่	หน้า
3.1 วงจร CD Recovery Snubber	24
3.2 วงจร PSSS 1เฟส.....	25
3.3 วงจร CD Recovery Snubber (ชี้นงานจริง).....	28
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	30
3.5 วงจรขับสัญญาณเกด.....	31
3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (ด้านล่าง).....	31
3.7 วงจรขับสัญญาณเกด (ด้านบน).....	32
3.8 วงจรควบคุม.....	33
3.9 ไดอะแกรมของโปรแกรม.....	34
3.10 สัญญาณที่ได้ออกมาจากวงจรควบคุม.....	35
3.11 ลายปริ้นวงจรควบคุม.....	36
3.12 ลายปริ้นวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน.....	37
3.13 ลายปริ้นวงจรอินเวอร์เตอร์.....	38
3.14 ลายปริ้นวงจร CD Recovery Snubber.....	39
3.15 การทำงานร่วมกันของวงจรต่างๆ.....	40
3.16 ชี้นงานจริงเมื่อประกอบกับครบทุกส่วน.....	41
4.1 รูปวงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	44
4.2 การนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รีตัวบน (Drp) เมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส.....	45
4.3 การนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รีตัวบน (Drp) เมื่อสวิตช์เริ่มนำกระแส.....	45
4.4 การนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รีตัวล่าง (Dm) เมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส.....	46
4.5 การนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รีตัวล่าง (Drn) เมื่อสวิตช์เริ่มนำกระแส.....	46
4.6 ค่าแรงดันและค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร CD Recovery Snubber ที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	47
4.7 ค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร CD Recovery สนับเบอร์.....	49
4.8 ค่าแรงดันและค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร RCD Snubber.....	49
4.9 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไดโอดรีโคเวอร์รีตัวบน).....	50
4.10 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไดโอดรีโคเวอร์รีตัวล่าง).....	50

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่

หน้า

4.11	ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ใส่ค่าความเหนี่ยวนำ = 1 ไมโครเฮนรี).....	51
4.12	ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไม่ใส่ค่าความเหนี่ยวนำ).....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติ ของวงจร RCD Snubber กับ CD Recovery Snubber.....	18
2.2 การทำงานของสวิตช์ทั้ง 6 ตัวของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	19
4.1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจรสับเบอร์.....	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิต และการประกอบกิจการต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนพลเมือง และการประกอบกิจการต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ การผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในแต่ละปีประเทศไทย ได้สูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในการจัดหาเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ มาผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศของโลกหรือภาวะโลกร้อนจากปัญหาสืบเนื่องดังกล่าวในหลายประเทศจึงมองหาพลังงานทางเลือก เพื่อมาทดแทนพลังงานจากซากพืช ซากสัตว์ (Fossil Fuels) ซึ่งพลังงานทางเลือกนั้นต้องมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย จึงเป็นที่มาของชื่อพลังงานสะอาด (Green Power Source) อย่างเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Power or Photovoltaic), พลังงานลม (Wind Power), พลังงานน้ำ (Hydro power), พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal), พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell), พลังงานชีวมวล (Biomass), พลังงานจากขยะ เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรสับเบอร์ดที่สามารถส่งพลังงานคืนกลับสู่แรงดันเชื่อมโยงกระแสตรง(DC-Link)ได้เพื่อใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการใส่วงจรสับเบอร์ดที่ตัวสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้คุณภาพการสวิตช์ดีขึ้น แต่การใส่วงจรสับเบอร์ดนั้นทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้น เนื่องจากตัวต้านทานที่อยู่ในวงจรสับเบอร์ดเอง ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะสร้างวงจรสับเบอร์ดที่สามารถส่งคืนค่าพลังงานสูญเสียที่ตัวสวิตช์ คืนสู่แหล่งจ่ายกระแสตรงได้ เพื่อให้การส่งผ่านไฟฟ้าจากกระแสตรงไปเป็นกระแสสลับนั้นมีคุณภาพที่สูงขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพลังงานทดแทนซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ตัวอย่างเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของวงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
2. เพื่อออกแบบการใช่วงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในงานผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน
4. นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่จะเข้ามาในประเทศในอนาคต
5. เพื่อให้นักวิจัยนี้ส่งเสริมการเรียนรู้ให้กับสถาบันได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการใช่วงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง 3 เฟส 1 kW

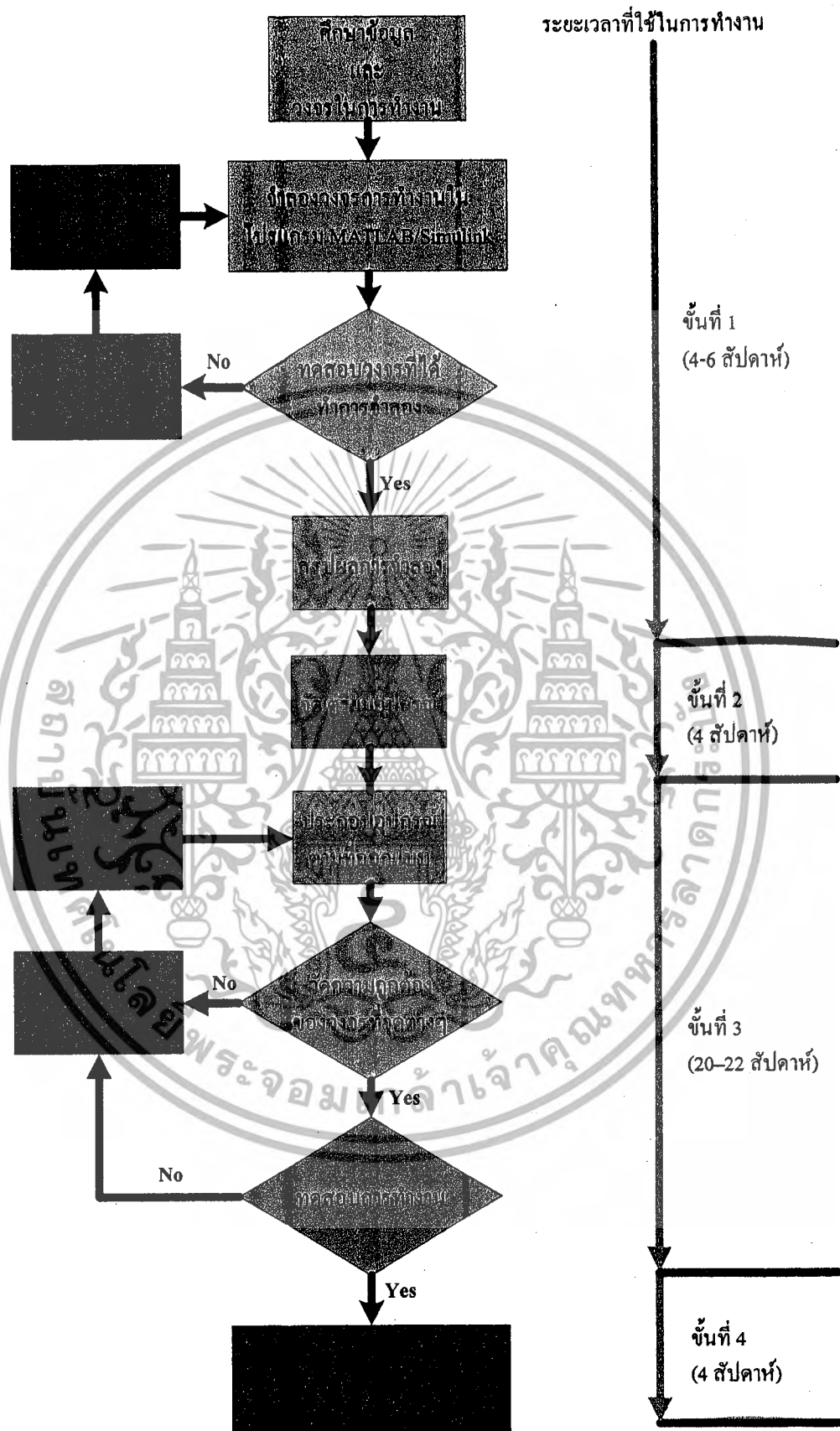
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการจากตำรางานวิจัยบทความปริยฐานิพนธ์
2. ออกแบบโครงสร้างและจำลองโครงการด้วยโปรแกรม Pspice
3. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับโครงการ

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมดโดยงานวิจัยนี้ จะเน้นทางด้านวงจร สับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
2. จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมดรวมทั้งศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด
3. จำลองวงจรที่ออกแบบโดยโปรแกรม Pspice
4. ทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นและเก็บผลการทดลอง
5. สรุปและจัดทำปริยฐานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 โครงสร้างแผนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาข้อมูลในการพัฒนางจร สับเบอร์สำหรับอินเวอร์เตอร์												
2. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์ใน โครงการ												
3. ออกแบบและทดสอบวงจรสับ เบอร์ แบบส่งพลังงานคืนกลับ สำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยง กับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง												
4. สรุปและจัดทำวิทยานิพนธ์												

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. โครงการวิจัยนี้ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการพัฒนางจรสับเบอร์
สำหรับอินเวอร์เตอร์เพื่อให้พลังงานไฟฟ้าเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำการทดลองวงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืน
กลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมาประยุกต์ใช้
กับเทคโนโลยีภายในประเทศ
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี หรือระบบอิเล็กทรอนิกส์
กำลังอื่นๆที่นอกเหนือจากโครงการนี้
4. ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานให้แก่ผู้อื่นที่
สนใจนำไปทำการศึกษาและวิจัยต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับวงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการของเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวงจร CD Recovery Snubber และการควบคุมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตนั้นจะใช้ทฤษฎีของหลักการกำเนิดสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริงซึ่งประกอบไปด้วยวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน วงจรควบคุม วงจรขับสัญญาณ และ วงจร CD Recovery Snubber

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และผลการทดลอง ในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้จัดทำได้ทำการใช้วงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม PSpice จากนั้นได้ทำการวัดค่าของกระแสที่ไหลคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อพิสูจน์ว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งคืนพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้จริงตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้หรือไม่ และในส่วนของผลการทดลองจริง ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร CD Recovery Snubber กับ RCD Snubber เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ และผลการทดลองการส่งพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงของวงจร CD Recovery Snubber เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้เหมือนการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PSpice หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วย รายการเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงบทความวิชาการ และโปสเตอร์นำเสนอผลงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

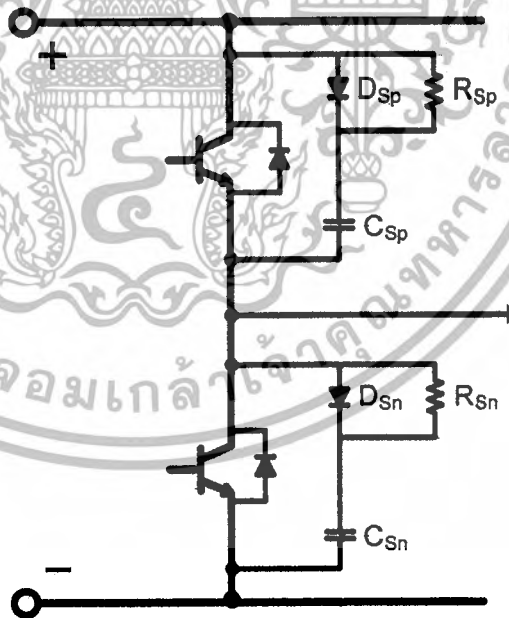
วงจร CD Recovery Snubber นี้เป็นวงจรที่ใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส โดยใช้ 6 สวิตช์กำลัง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือการกล่าวถึงการทำงานของวงจร RCD Snubber และ วงจร CD Recovery Snubber ส่วนการควบคุมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตนั้นจะใช้ทฤษฎีของหลักการกำเนิดสัญญาณ PWM และทฤษฎีการสวิตช์ PWM

2.2 วงจรสับเบอ์สำหรับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

วงจรสับเบอ์จะทำหน้าที่ในการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการสวิตช์ที่ตัวสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและป้องกันสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจากแรงดันและกระแสเกิน (Voltage and current stress) จากการทำงานที่ความถี่สูง โดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยลง

โดยในโครงงานนี้คณะผู้จัดทำจะนำวงจรสับเบอ์ 2 วงจรมาเปรียบเทียบกับกันดังนี้

2.2.1 วงจร RCD Snubber [1]



รูปที่ 2.1 วงจร RCD Snubber

เมื่อสวิตช์กำลังเริ่มหยุดนำกระแส จะทำให้ระดับแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ไดโอด D_s ได้รับไบอัสไปหน้า และตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุ ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันตกคร่อมสวิตช์ถูกกำหนด โดยค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุโดยที่ค่าความจุไฟฟ้าสูงๆ จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังเป็นไปอย่างช้าๆ ดังแสดงผลของค่าความจุไฟฟ้าต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังจากค่าน้อยไปค่ามากดังรูปที่ 2.2 (ก) ถึง 2.2 (ค) ตามลำดับ

ค่าความจุไฟฟ้าสำหรับตัวเก็บประจุของวงจรสับเบอรัจะหาได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมตัวสวิตช์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแส ดังนี้

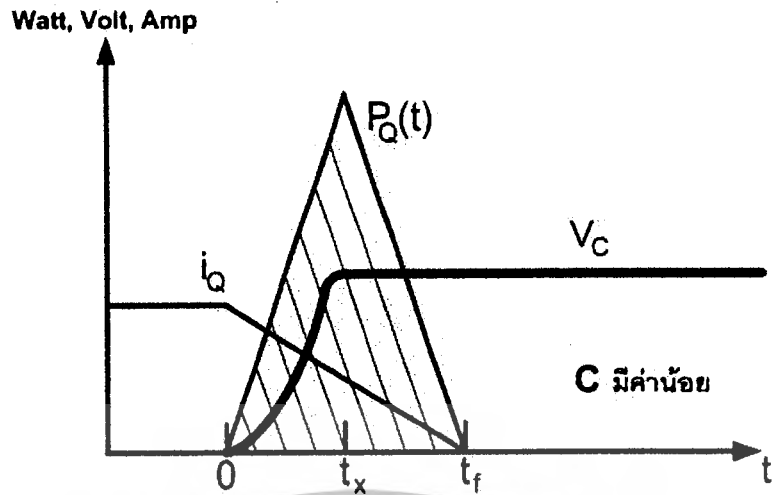
$$i_Q(t) = \begin{cases} I_L \left(1 - \frac{t}{t_f}\right) & 0 \leq t \leq t_f \\ 0 & t \geq t_f \end{cases} \quad (2.1)$$

$$i_Q(t) = \begin{cases} I_L - i_Q(t) = \frac{(I_L t)}{t_f} & 0 \leq t \leq t_f \\ I_L & t_f \leq t < t_x \\ 0 & t \geq t_x \end{cases} \quad (2.2)$$

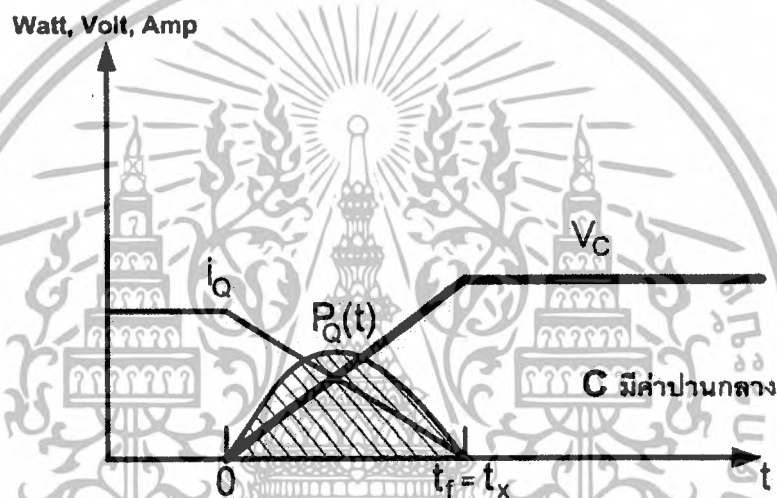
โดยที่ t_x หมายถึง เวลาที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดซึ่งโดยมากจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยสามารถหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุได้จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร พิจารณารูปที่ 2.2 (ก) ถึง 2.2 (ค) จะเห็นได้ว่าที่ค่าความจุไฟฟ้าสูงๆ จะทำให้เวลา t_x ยาวนาน และในทำนองกลับกันที่ค่าความจุไฟฟ้าต่ำๆ เวลา t_x จะสั้น นอกจากนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียช่วงขณะจากการสวิตช์ที่ตัวสวิตช์กำลังจะมีค่าลดลงเมื่อตัวเก็บประจุสับเบอรัมีค่าสูงขึ้น

การเลือกตัวเก็บประจุสับเบอรั จะพิจารณาจากค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวสวิตช์กำลังที่ต้องการ ณ จุดที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์กำลังมีค่าลดลงเป็นศูนย์พิจารณารูปที่ 2.2 (ค) จะได้สมการแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุสับเบอรัเท่ากับ

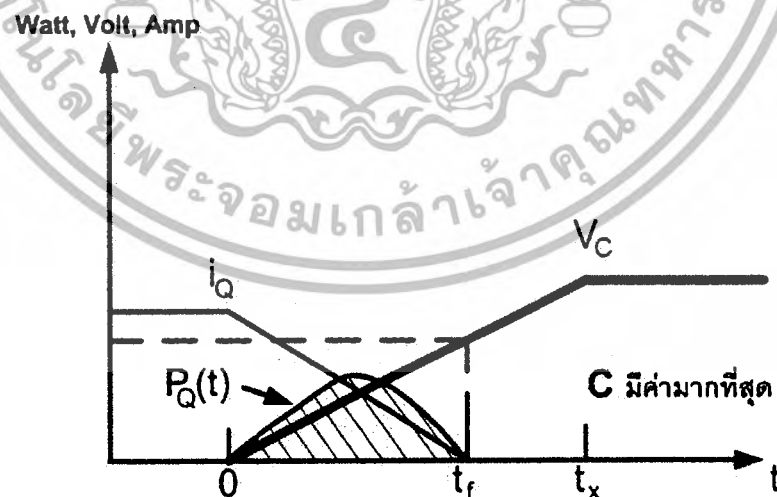
$$v_c(t) = \begin{cases} \frac{1}{C} \int_0^t I_L dt = \frac{I_L t^2}{2Ct_f} & 0 \leq t \leq t_f \\ \frac{1}{C} \int_0^t I_L dt + v_c(t_f) = \frac{I_L}{C} (t - t_f) + \frac{I_L t_f}{2C} & t_f \leq t < t_x \\ V_s & t \geq t_x \end{cases} \quad (2.3)$$



(ก) รูปคลื่นขณะสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสขณะที่ C มีค่าน้อย



(ข) รูปคลื่นขณะสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสขณะที่ C มีค่าปานกลาง



(ค) รูปคลื่นขณะสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสขณะที่ C มีค่ามากที่สุด

รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นขณะสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสขณะที่ (ก) C มีค่าน้อย,
(ข) C มีค่าปานกลาง, (ค) C มีค่ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มีค่าลดลงเป็นศูนย์ก่อนเวลาที่ตัวเก็บประจุจะสะสมประจุได้สมบูรณ์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุจะหาได้จากส่วนแรกของสมการที่ (2.3) โดยการแทนค่า $v_C(t_f) = V_f$ ดังนี้

$$V_f = \frac{I_L(t_f)^2}{2Ct_f} = \frac{I_L t_f}{2C} \quad (2.4)$$

แก้สมการหาค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุนับเบอร์จะได้

$$C = \frac{I_L t_f}{2V_f} \quad (2.5)$$

โดยที่ V_f หมายถึงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุนับเบอร์ที่ต้องการเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์กำลังลดลงเป็นศูนย์ ($V_f \leq V_s$)

สำหรับกรณีที่เลือกค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์กำลังเท่ากับค่าที่กำหนด ณ จุดที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสวิตช์กำลังมีค่าลดลงเป็นศูนย์ จะได้

$$C = \frac{I_L t_f}{2V_s} \quad (2.6)$$

โดย V_s หมายถึงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมสวิตช์กำลังขณะที่สวิตช์กำลังไม่นำกระแส และควรจำไว้ว่า ในบางวงจร ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อมสวิตช์กำลังอาจจะมีค่าแตกต่างจากแหล่งจ่ายแรงดัน ซึ่งจะมีแรงดันตกคร่อมสวิตช์ขณะไม่นำกระแสเท่ากับสองเท่าของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดัน

กำลังไฟฟ้าที่ตัวสวิตช์กำลังจะสามารถลดลงได้ด้วยการใช้วงจรสับเบอร์ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีที่ไม่วางวงจรสับเบอร์ จะสามารถหาค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ตัวสวิตช์กำลังขณะสวิตช์กำลังเริ่มหยุดนำกระแส ได้เท่ากับ

$$P_Q = \frac{1}{T} \int_0^T P_Q dt \quad (2.7)$$

สมการที่ (2.7) จะเป็นการอินทิเกรตเพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟของรูปพื้นที่ใต้กราฟของรูปสามเหลี่ยมของ ในรูปที่ 2.2 (ค) ขณะที่สวิตช์กำลังเริ่มหยุดนำกระแสในกรณีที่ไม่วางวงจรสับเบอร์ ซึ่งจะมีค่าตองเท่ากับ

$$P_Q = \frac{1}{2} I_s V_s (t_r + t_f) f_s \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $(t_s + t_f)$ หมายถึง ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส และ $f_s = 1/T_s$ หมายถึง ความถี่สวิตซ์
 สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ตัวสวิตซ์กำลัง (วัตต์) ที่ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสหลังจากใส่
 วงจรสับเบอ์จะสามารถหาสมการที่ (2.1), (2.3) และ (2.7) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$P_Q = \frac{1}{T} \int_0^T V_Q i_Q dt = f_s \int_0^{t_f} \left(\frac{I_L t^2}{2C t_f} \right) I_L \left(1 - \frac{t}{t_f} \right) dt = \frac{I_L^2 t_f^2 f}{24 C_s} \quad (2.9)$$

สำหรับการเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับตัวเก็บประจุสับเบอ์ที่เลือก
 จะพิจารณาค่าความต้านทาน ที่ทำให้ตัวเก็บประจุสามารถคายประจุได้หมดก่อนเวลาที่สวิตซ์
 กำลังจะเริ่มหยุดนำกระแสในคาบต่อไป โดยที่ช่วงเวลาประมาณเท่ากับ 3 ถึง 5 เท่าของค่าคงตัว
 เวลา คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุสามารถคายประจุได้หมด ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากเวลาในการ
 นำกระแสของสวิตซ์จะเท่ากับ

$$t_{on} > 5RC \quad (2.10)$$

หรือ

$$R < \frac{t_{on}}{5C} \quad (2.11)$$

ตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุผ่านทางตัวต้านทานสับเบอ์ และสวิตซ์กำลัง
 ขณะที่สวิตซ์กำลังเริ่มนำกระแส ดังนั้นพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ (จุล) จะมีค่าเท่ากับ

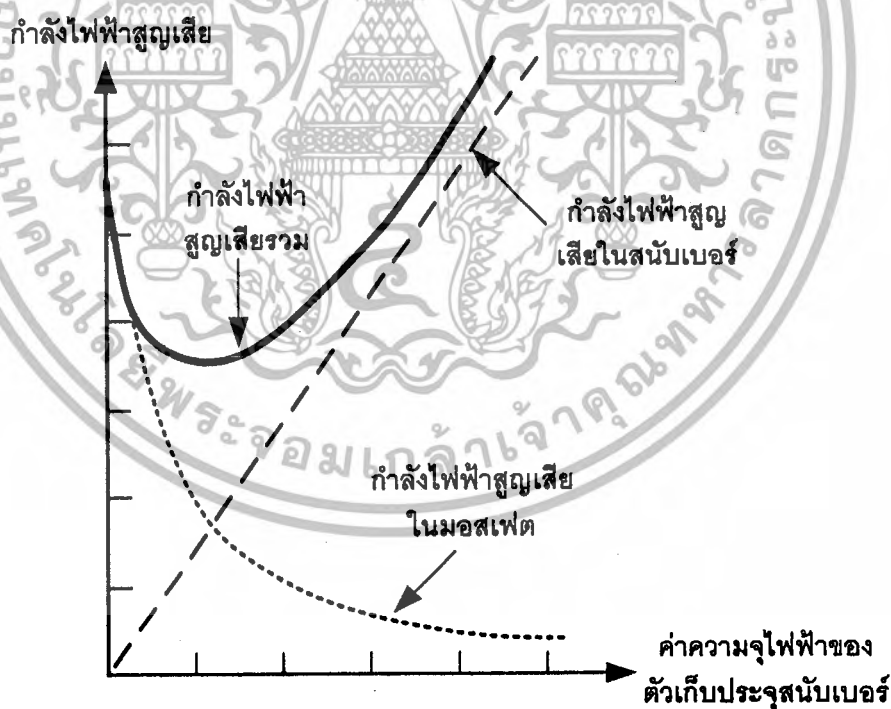
$$W = \frac{1}{2} C V_s^2 \quad (2.12)$$

ซึ่งพลังงานโดยส่วนใหญ่จะถูกถ่ายเทไปยังตัวต้านทานสับเบอ์ขณะที่สวิตซ์กำลัง
 นำกระแส ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานสับเบอ์จะมีค่าเท่ากับ

$$P_R = \frac{\frac{1}{2} C V_s^2}{T_s} = \frac{1}{2} C V_s^2 f_s \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.13) แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานสับเบอร์ซึ่งกระจายพลังงานให้อยู่ในรูปความร้อนจะขึ้นอยู่กับการค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสับเบอร์ ดังนั้นตัวเก็บประจุไฟฟ้าค่าสูง ๆ จะสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวสวิตช์กำลังได้แต่ก็จะเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวต้านทานสับเบอร์เช่นกัน ซึ่งค่าความต้านทานจะใช้ในการหาอัตราการคายประจุของตัวเก็บประจุเมื่อสวิตช์กำลังเริ่มนำกระแสอีกด้วย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สวิตช์กำลังจะมีค่าต่ำสุดเมื่อตัวเก็บประจุมีค่าสูงสุด แต่กำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานสับเบอร์ก็จะมีค่าสูงสุดเช่นกัน สำหรับกำลังไฟฟ้ารวมขณะสวิตช์กำลังเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ ผลบวกกำลังไฟฟ้าของสวิตช์กำลังและกำลังไฟฟ้าของวงจรสับเบอร์รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สวิตช์กำลัง กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สับเบอร์และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้วงจรสับเบอร์จะสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการสวิตช์ได้และที่สำคัญกว่านั้นคือ วงจรสับเบอร์ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวสวิตช์กำลังซึ่งจะหมายถึงลดความต้องการในการระบายความร้อนสำหรับตัวสวิตช์กำลังลง เพราะการระบายความร้อนสำหรับตัวต้านทานทำได้ง่ายกว่าตัวสวิตช์กำลังมาก ดังนั้นการออกแบบวงจรสับเบอร์ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะทำให้ระบบโดยรวมดีขึ้น

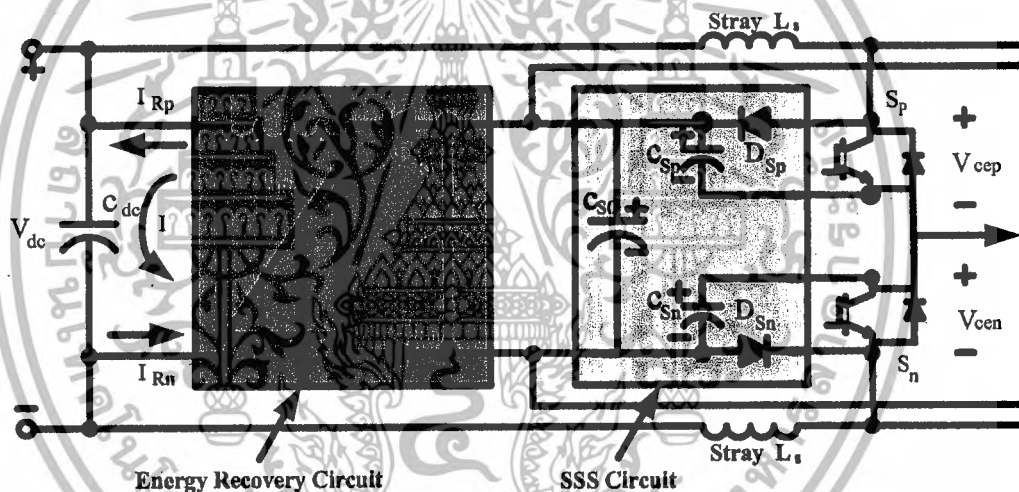


รูปที่ 2.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มอสเฟต วงจรสับเบอร์ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมต่อค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสับเบอร์

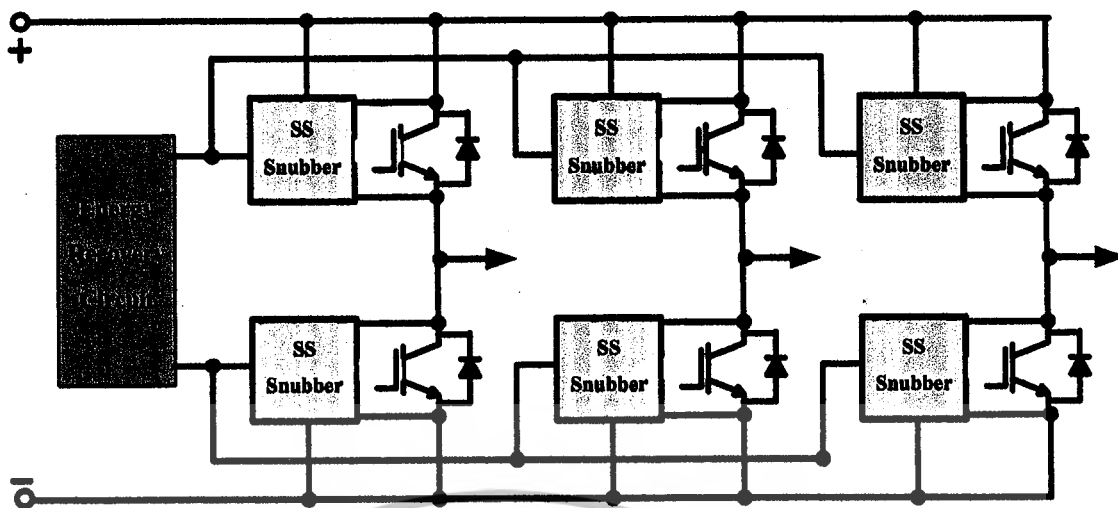
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วงจร CD Recovery Snubber [2,4]

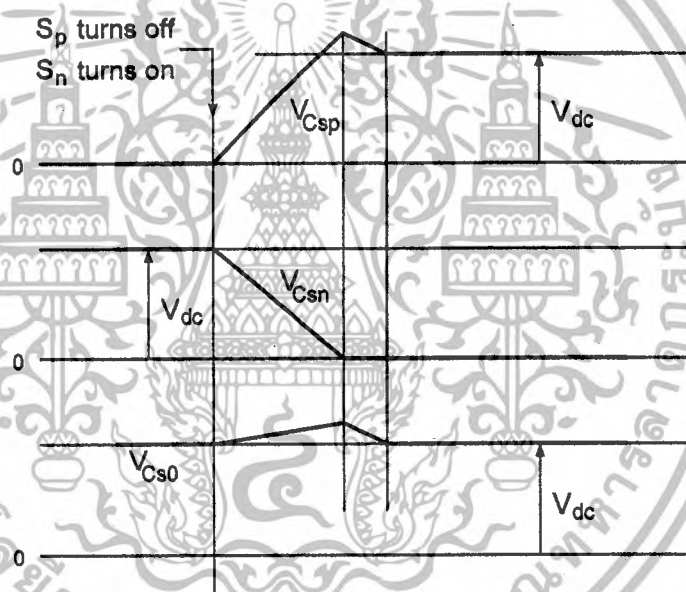
ในรูปที่ 2.4 ได้แสดงวงจร PSSS ที่ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุและไดโอด เป็นวงจร snubber ในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์ ส่วนวงจรคืนพลังงานที่ใช้ร่วมกับวงจร snubber สำหรับ ประยุกต์ใช้งานในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยในรายละเอียดของวงจร snubber ประกอบด้วย ไดโอด snubber D_{Sp} และตัวเก็บประจุ snubber C_{Sp} สำหรับสวิตช์ตัวบน S_p ส่วนสวิตช์ตัวล่าง S_n จะประกอบด้วย ไดโอด snubber D_{Sn} และตัวเก็บประจุ snubber C_{Sn} โดย ขนาดของตัวเก็บประจุ C_{Sp} และ C_{Sn} และไดโอด D_{Sp} และ D_{Sn} สามารถออกแบบได้เหมือนกับการออกแบบวงจร RCD แบบกว่า ได้การจัดว่าอุปกรณ์จะแตกต่างกันเล็กน้อย ผลรวมของตัว เก็บประจุตัวบนและตัวล่างต้องเท่ากับขนาดของแรงดันที่วงจรเชื่อมโยงกระแสตรง โดยอาจจะ ต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ C_{So} เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ต่อคร่อมกับตัวเก็บประจุ snubber ทั้งสองตัว



รูปที่ 2.4 วงจร PSSS สำหรับอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงวงจรสับเบอร์ และวงจรคืนพลังงาน ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดันขณะที่สวิตช์ตัวบน S_p และสวิตช์ตัวล่าง S_n ทำงาน

รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุสับเบอร์ระหว่างที่สวิตช์ S_p เริ่มหยุดนำกระแสและสวิตช์ S_n เริ่มนำกระแส โดยเมื่อสมมติว่าสวิตช์ S_p กำลังนำกระแสอยู่ และเมื่อถึงช่วงที่กำลังจะเริ่มหยุดนำกระแสสวิตช์ S_p จะแบ่งกระแสส่วนหนึ่งไปยังวงจรสับเบอร์เพื่อชาร์จตัวเก็บประจุสับเบอร์ C_{sp} ผ่านทางไดโอดสับเบอร์ D_{Csp} และตัวเก็บประจุสับเบอร์ C_{sn} จะคายประจุผ่านตัวเก็บประจุ C_{s0} ดังนั้นจะเป็นผลให้แรงดันที่ตัวเก็บประจุสับเบอร์ V_{Csp} มีค่าเพิ่มขึ้น และแรงดันที่ตัวเก็บประจุสับเบอร์ V_{Csn} มีค่าลดลง ส่วนแรงดันที่ตัวเก็บประจุ V_{Cs0} จะยังคงมีแรงดันคงที่ ดังรูปที่ 2.6

วงจรคัลพลังงานจะแยกจากวงจรสับเบอร์ ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ C_{R0} ไดโอด D_{Rp} และ D_{Rn} และหม้อแปลง T_{R0} โดยหม้อแปลงนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้า I_{Rp} มีค่าเท่ากับ กระแสไฟฟ้า I_{Rn} ดังนั้นจะทำให้กระแสไหลย้อนกลับ I_{R0} ไหลเข้าไปยังตัวเก็บประจุที่วงจร เชื่อมโยงกระแสตรง C_{dc} โดยการทำงานของไดโอด D_{Rp} และ D_{Rn} ทั้งสองตัวจะเป็นตัวที่กำหนด ทิศทางการไหลของกระแสว่าต้องไหลทิศทางเดียวไปยังวงจรเชื่อมโยงกระแสตรงและไม่ไหล ย้อนกลับไปยังวงจรสับเบอร์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าในวงจรคัลพลังงานสามารถคำนวณได้จาก ตัวเก็บ ประจุสับเบอร์ $C_s (= C_{Sp} = C_{Sn})$ แรงดันที่วงจรเชื่อมโยงกระแสตรง V_{dc} ความถี่สวิตชิ่งที่ อินเวอร์เตอร์ f_{sw} ตัวเหนี่ยวนำแม่ L_s ค่ากำลังของกระแสที่วงจรเชื่อมโยงกระแสตรง $\Delta I_{dc(k)}^2$ และค่าความถี่มูลฐาน f_m ดังสมการ

$$P_R = 6C_s V_{Cso}^2 f_{sw} + f_m L_s \sum_k (\Delta I_{dc(k)}^2) \quad (2.14)$$

การวิเคราะห์วงจรสามารถแสดงได้จากการอธิบายโหมดการทำงานเป็นลำดับขั้น ซึ่งวงจรสมมุติแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยจะไม่พิจารณาวงจรคัลพลังงานซึ่งจะอธิบายภายหลัง โหมดการทำงานมีดังนี้

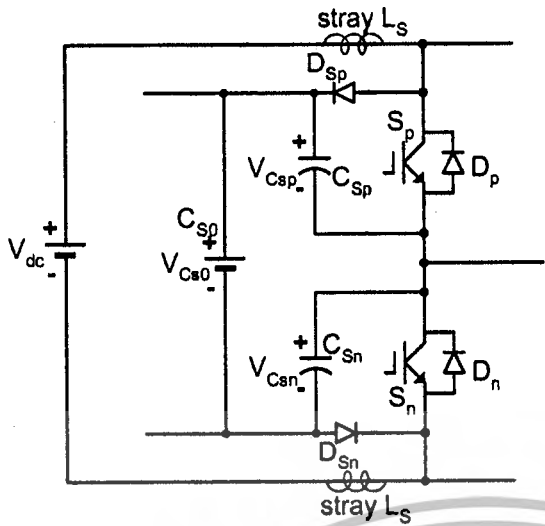
โหมดที่ 0+ แสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นโหมดเริ่มต้นโดยใช้สวิตช์ตัวบน S_p นำกระแส i_L ไปยังโหลดซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้โหลดตัวเหนี่ยวนำ

โหมดที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2.9 เมื่อสวิตช์ S_p หยุดนำกระแส กระแส i_L จะแบ่งไปที่ตัว เก็บประจุสับเบอร์ C_{Sp} และ C_{Sn} ผ่านไดโอดสับเบอร์ D_{Sp} ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ C_{Sp} ชาร์จประจุ และ C_{Sn} คลายประจุ

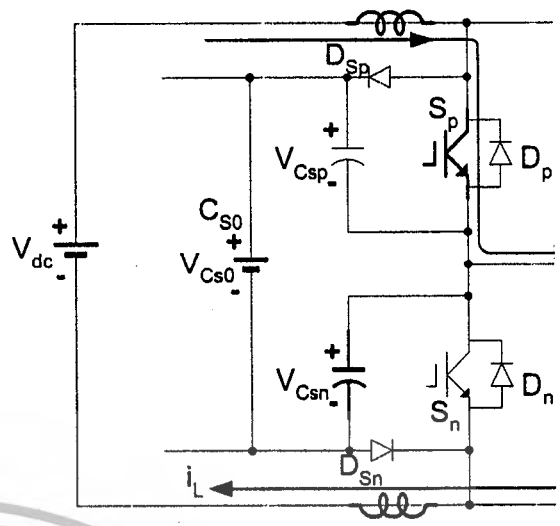
โหมดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 2.10 เมื่อแรงดันที่ C_{Sp} มีค่าสูงขึ้นจนเท่ากับแรงดัน V_{Cso} และแรงดันที่ C_{Sn} ลดลงจนเป็นศูนย์ สังเกตได้เมื่อไดโอด D_{Sn} และ D_n เริ่มนำกระแสแสดงว่า แรงดันที่ C_{Sp} เป็นศูนย์แน่นอน กระแสที่ตัวเหนี่ยวนำแม่จะลดลงด้วย

โหมดที่ 3 แสดงดังรูปที่ 2.11 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแม่ L_s จะลดลงจน เป็นศูนย์ และพลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำแม่ถ่ายเทไปยังตัวเก็บประจุสับเบอร์ ไดโอด D_n จะนำกระแสก่อนเพื่อให้สวิตช์ S_n เริ่มนำกระแสที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์เป็นศูนย์ ในช่วงนี้ แรงดัน V_{Cso} จะกลับมาสูงกว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายอีกครั้งหนึ่ง ทำให้พลังงานจะถูกถ่ายเทจากตัว เก็บประจุ C_{So} ไปยังแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

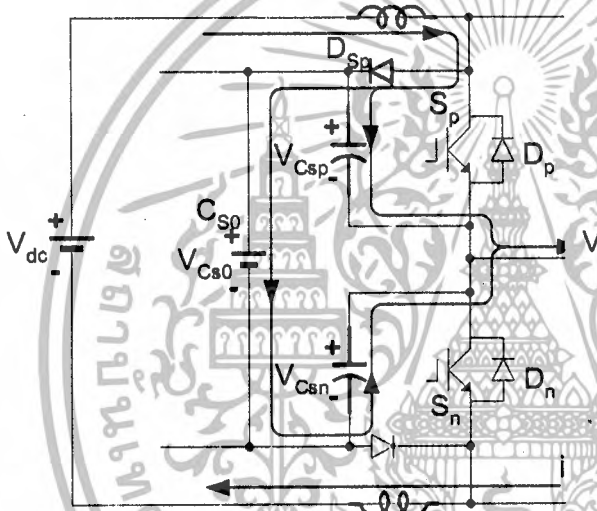
โหมดที่ 4 แสดงดังรูปที่ 2.12 สวิตช์ตัวล่าง S_n จะเริ่มนำกระแสเป็นครั้งแรก ก่อนที่ ตัวเก็บประจุสับเบอร์ C_{Sp} จะชาร์จประจุเต็ม และตัวเก็บประจุสับเบอร์ C_{Sn} คลายประจุหมด โดยที่กระแส i_L จะเป็นตัวเร่งการชาร์จประจุและคลายประจุของตัวเก็บประจุผ่านทางสวิตช์ S_n เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนี้ถ้ากระแสที่ไหลผ่าน C_{Sp} มีค่ามากกว่ากระแส i_L โหมดการทำงานจะ เข้าสู่โหมดการทำงานที่ 5 แต่ถ้ากระแสที่ไหลผ่าน C_{Sp} มีค่าน้อยกว่าแล้วโหมดการทำงานจะ กลับเข้าสู่โหมดการทำงานที่ 2



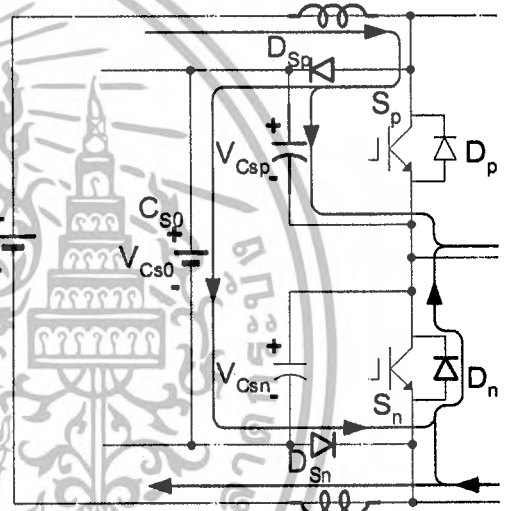
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูล



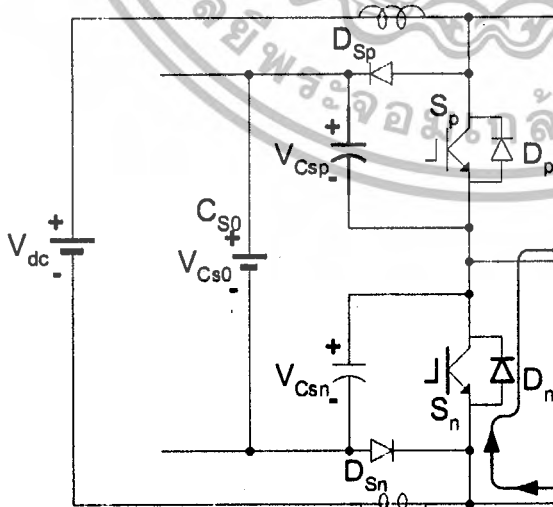
รูปที่ 2.8 โหมดการทำงานที่ 0+



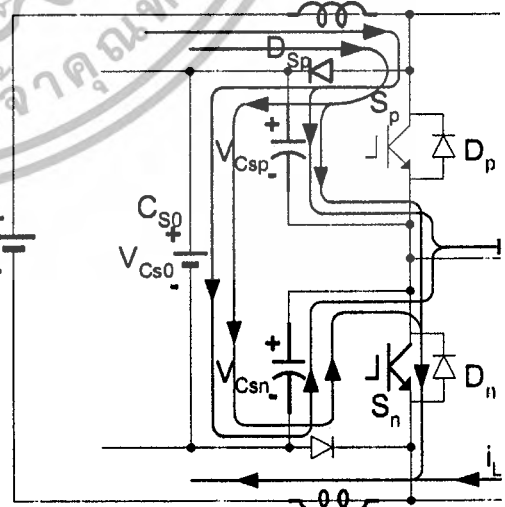
รูปที่ 2.9 โหมดการทำงานที่ 1



รูปที่ 2.10 โหมดการทำงานที่ 2

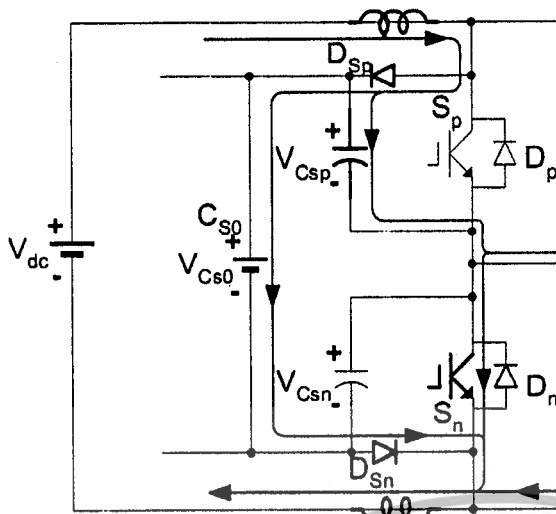


รูปที่ 2.11 โหมดการทำงานที่ 3

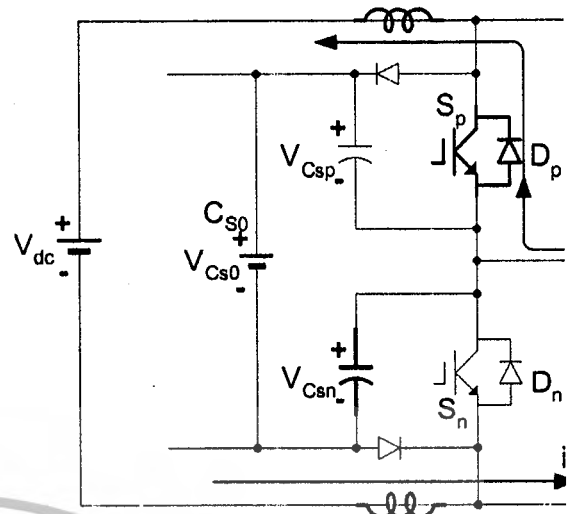


รูปที่ 2.12 โหมดการทำงานที่ 4

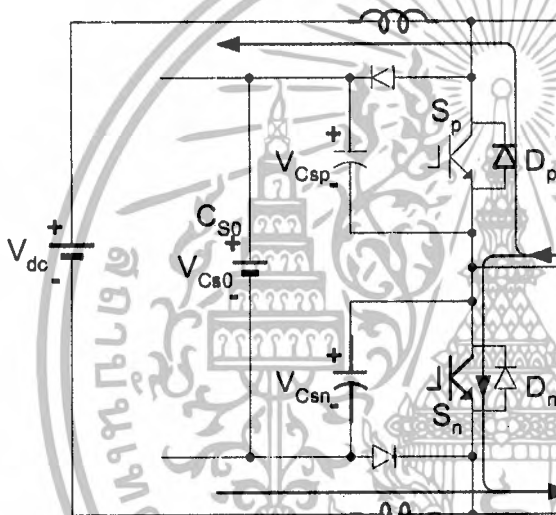
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



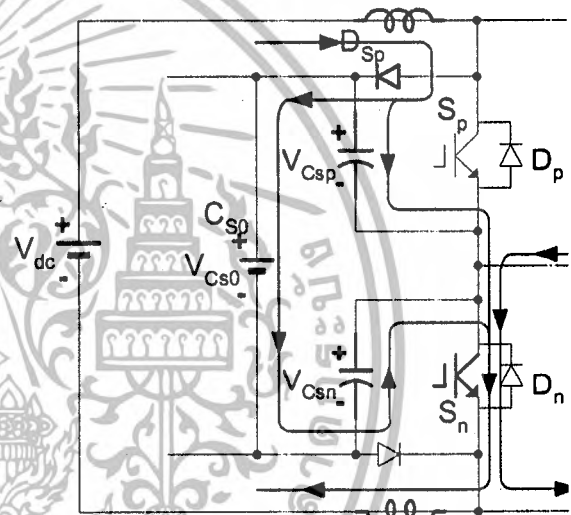
รูปที่ 2.13 โหมดการทำงานที่ 5



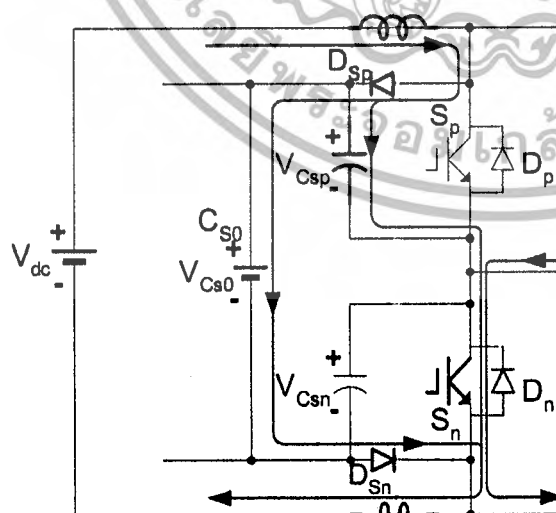
รูปที่ 2.14 โหมดการทำงานที่ 0-



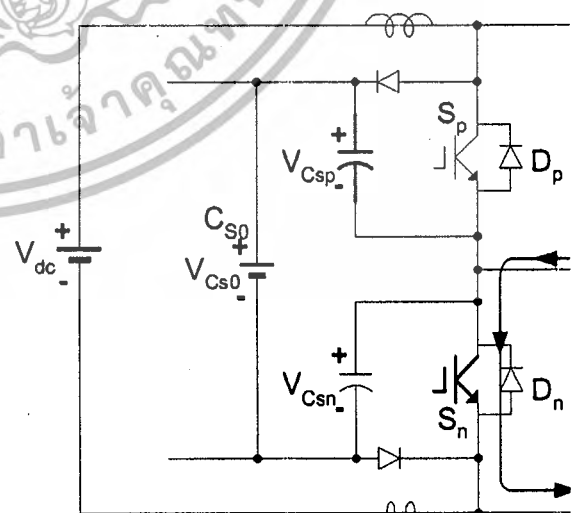
รูปที่ 2.15 โหมดการทำงานที่ 6



รูปที่ 2.16 โหมดการทำงานที่ 7



รูปที่ 2.17 โหมดการทำงานที่ 8



รูปที่ 2.18 โหมดการทำงานที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดที่ 5 แสดงดังรูปที่ 2.13 เนื่องจากกระแสที่ซาร์จตัวเก็บประจุ C_{Sp} มีค่ามากกว่ากระแส i_L กระแสส่วนที่เกินนี้จะไปตกอยู่ที่สวิตช์ S_n ทำให้แรงดันที่ C_{Sp} จะมีค่ามากกว่าแรงดันที่ C_{So} เพียงเล็กน้อย

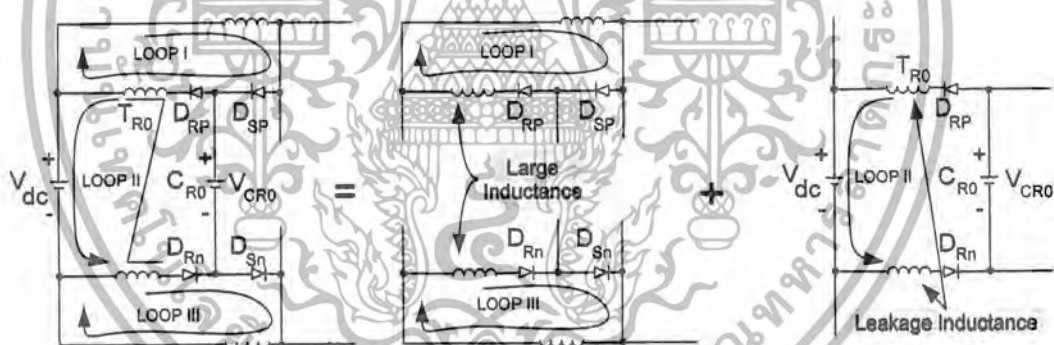
โหมดที่ 0- แสดงดังรูปที่ 2.14 แม้ว่าที่โหมดการทำงานเริ่มต้นสวิตช์ S_p นำกระแส แต่ไดโอด D_p จะนำกระแสไหลด้วย

โหมดที่ 6 แสดงดังรูปที่ 2.15 สวิตช์ S_n นำกระแส ดังนั้นกระแส i_L จะถูกแบ่งไปยัง D_p และ S_n โดยที่กระแสในสวิตช์ S_n จะเพิ่มขึ้นส่วนกระแสที่ไดโอด D_p แลที่ตัวเหนี่ยวนำแม่ L_s จะลดลง

โหมดที่ 7 แสดงดังรูปที่ 2.16 เมื่อ S_n นำกระแส i_L ได้ทั้งหมดแล้วไดโอด D_p จะหยุดนำกระแส และกระบวนการซาร์จ C_{Sp} และคลายประจุ C_{Sn} จะเริ่มต้นขึ้นอีกครั้ง

โหมดที่ 8 แสดงดังรูปที่ 2.17 เมื่อตัวเก็บประจุสับเบอร์ C_{Sn} ถูกคลายประจุจนมีแรงดันเป็นศูนย์แล้ว กระแสที่ซาร์จตัวเก็บประจุจะเริ่มลดลง และที่โหมดการทำงานนี้แรงดัน V_{Cso} จะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่แหล่งจ่าย V_{dc} อีกครั้ง วงจรคินพลังงานก็จะเริ่มถ่ายเทพลังงานอีกครั้ง

โหมดที่ 9 แสดงดังรูปที่ 2.18 กระแสที่ซาร์จตัวเก็บประจุจะลดลงจนเป็นศูนย์ และพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำแม่ L_s จะถ่ายเทให้ตัวเก็บประจุสับเบอร์



(ก) วงจรสมมูลย์ของวงจร
คินพลังงาน

(ข) หม้อแปลงเปรียบเสมือนตัว
เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ในลูปที่1และ3

(ค) หม้อแปลงมีค่าตัวเหนี่ยวนำ
รั่วไหลน้อยทำให้กระแสไหล

รูปที่ 2.19 การทำงานพื้นฐานของวงจรคินพลังงาน

รูปที่ 2.19 แสดงพื้นฐานการทำงานของวงจรอินเวอร์ชันพลังงาน ซึ่งมีรูปของกระแส 3 รูป แสดงดังรูปที่ 2.19 (ก) รูปที่ 1 เป็นส่วนที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_s ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงด้านบวก, ไดโอด D_{Sp} และ D_{Rp} และขดลวดของหม้อแปลง รูปที่ 2 คือส่วนพลังงาน ย้อนกลับประกอบไดโอด D_{Rp} และ D_{Rn} ตัวเก็บประจุ C_{Ro} และหม้อแปลง ส่วนรูปที่ 3 เหมือนกับ รูปที่ 1 แต่มีทิศทางของรูปแรงดันตรงข้ามกันซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_s ของ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงด้านลบ, ไดโอด D_{Sn} และ D_{Rn} และขดลวดหม้อแปลง โดยหม้อแปลง มีลักษณะเหมือนกับ Common mode choke ดังนั้นทำให้ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กขนาดใหญ่ในรูปที่ 1 และ 3 ดังรูปที่ 2.19 (ข) มีกระแสไหลในรูปน้อย แต่กระแสในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล ของหม้อแปลงจะมีกระแสไหลมากกว่า ดังรูปที่ 2.19 (ค)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติ ของวงจร RCD Snubber
กับ CD Recovery Snubber

คุณสมบัติ	RCD Snubber	CD Recovery Snubber
ประสิทธิภาพ	น้อยกว่า	มากกว่า
ความสูญเสียที่เกิดขึ้น เปลี่ยนเป็น	ความร้อน	นำกลับไปใช้ใหม่ได้
Switching Loss	มากกว่า	น้อยกว่า
อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวงจร	มากกว่า	น้อยกว่า

2.3 ประเภทของอินเวอร์เตอร์ [1]

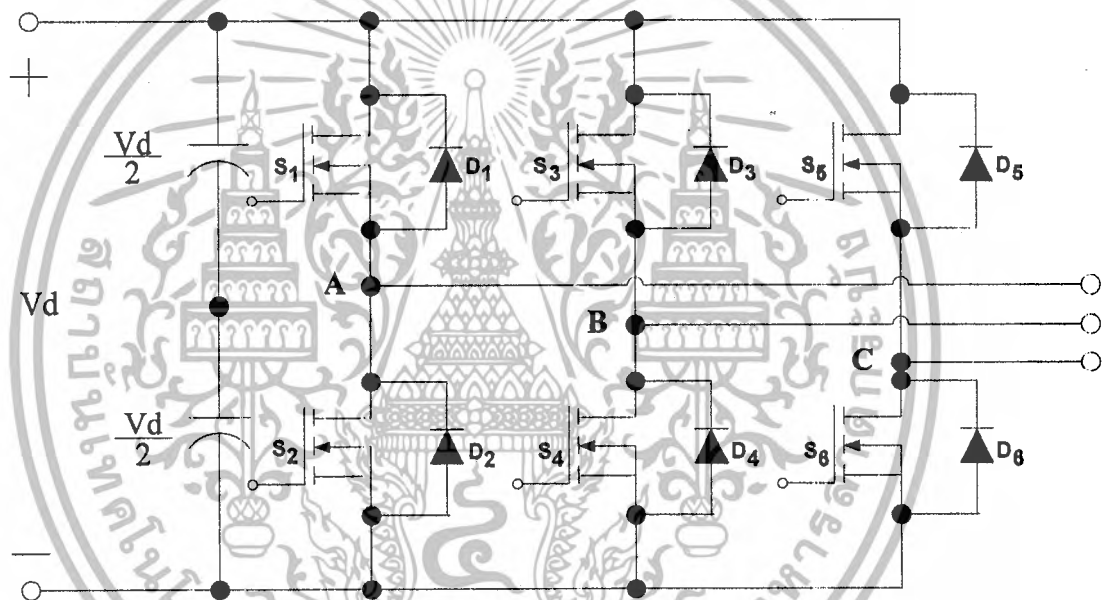
แบ่งตามลักษณะของจำนวนเฟสของเอาต์พุตได้ 2 ประเภท คือ

- 1.อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single phase inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่เอาต์พุตเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว
- 2.อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (three phase inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่เอาต์พุตเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

โดยในการทำโครงงานนี้เราจะใช้อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสในการทำการทดลอง

2.4 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (3 Phase Inverter)

การแปลงกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดสามเฟสนิยมแปลงกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งจะเหมาะกับการทำงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงเพราะถ้าหากจะใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามชุดก็ได้แต่ต้องใช้สวิตช์จำนวนถึง 12 ตัวนอกจากนั้นยังต้องอาศัยการควบคุมที่ทำให้แต่ละเฟสต่างกัน 120 องศา ของความถี่หลักมูล จึงไม่เหมาะที่จะเลือกใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวจำนวนสามตัว จึงได้มีการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขึ้นมาใช้ที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกทั้งด้านขนาดและความถี่เช่นในรูปที่ 2.20 จะเห็นได้ว่ามีสวิตช์และไดโอดจำนวนอย่างละ 6 ตัว และประกอบด้วยสามกิ่งหรือสามเฟส



รูปที่ 2.20 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

ตารางที่ 2.2 การทำงานของสวิตช์ทั้ง 6 ตัวของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Step 1	On	Off	Off	On	On	Off
Step 2	On	Off	Off	On	Off	On
Step 3	On	Off	On	Off	Off	On
Step 4	Off	On	On	Off	Off	On
Step 5	Off	On	On	Off	On	Off
Step 6	Off	On	Off	On	On	Off

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสวิตชิงแบบ PWM

การที่อินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สามารถปรับขนาดที่ต้องการได้นั้น ไม่เพียงแต่ใช้วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น แต่ยังต้องอาศัยวงจรควบคุมมาคอยควบคุมการสวิตชิงอุปกรณ์สวิตชิงในอินเวอร์เตอร์ด้วย โดยวงจรควบคุมจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal Control Signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Waveform) ความถี่ของการสวิตชิง (f_s) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

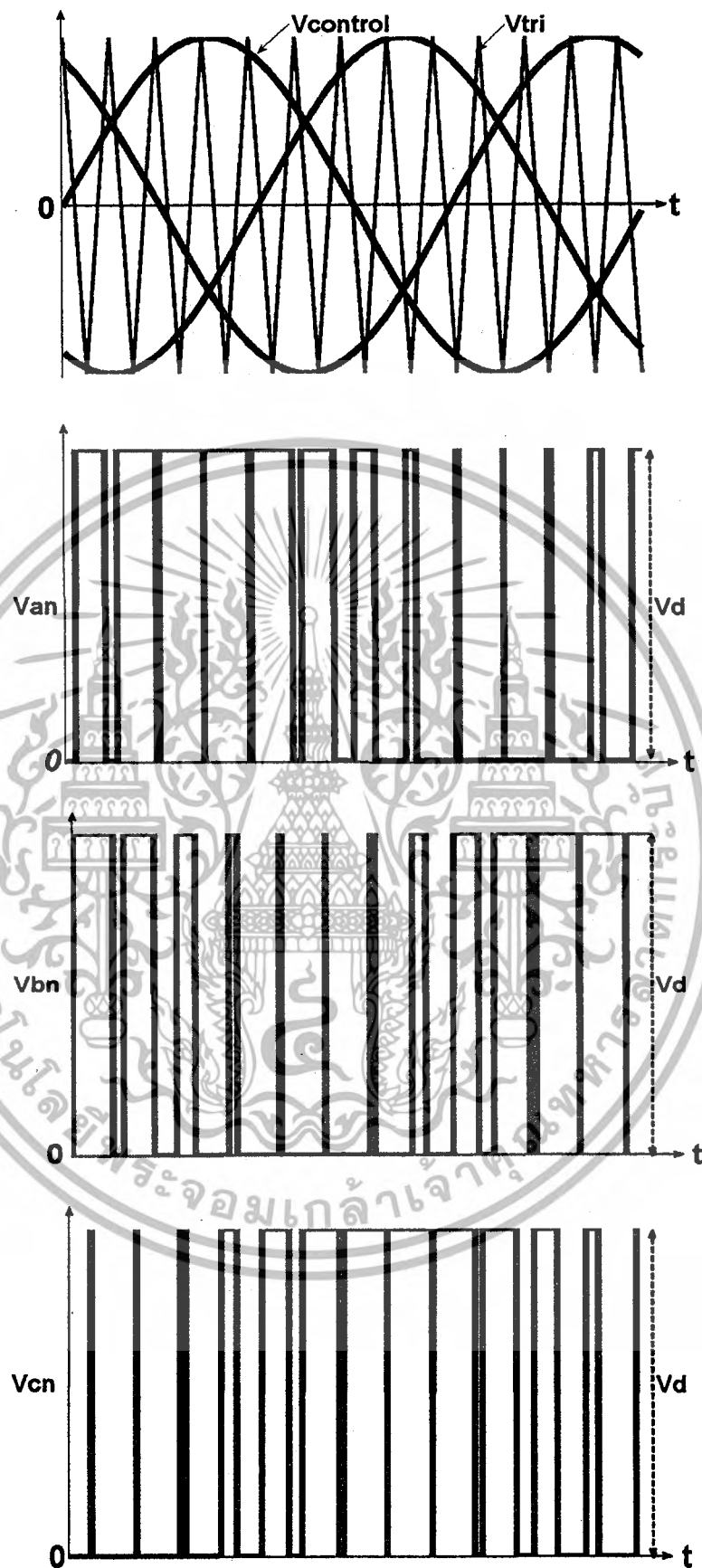
การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณภายใต้เงื่อนไข คือ หาก $V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$ จะได้สัญญาณพัลส์เป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก $V_{\text{control}} < V_{\text{tri}}$ จะได้พัลส์เป็นลบและค่า m_a จะนิยามจากสมการที่ 2.15

$$m_a = \frac{V_{\text{control}}}{V_{\text{tri}}} \quad (2.15)$$

V_{control} สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ทางต้านออก
 V_{tri} สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตชิง
 m_a อัตราการมอดูเลตทางด้านแอมพลิจูด
 m_f อัตราการมอดูเลตทางด้านความถี่

ถ้า $0 \leq m_a \leq 1$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลฐานของแรงดันไฟฟ้าต้านออก (fundamental – frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ในกรณี $m_a > 1$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าต้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์สูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น



รูปที่ 2.21 การสวิตช์แรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การมอดูเลตตามความกว้างแบบไซน์ (Sinusoidal pulse width modulation : SPWM)

เป็นการนำสัญญาณไซน์มาทำเป็น สัญญาณมอดูเลต (modulation single) แทนสัญญาณสี่เหลี่ยมความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์จะมีค่าไม่คงที่เหมือนที่ผ่านมา โดยจะแปรตามรูปของสัญญาณไซน์

สัญญาณมอดูเลต ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ $V_m(\omega t) = V_m \sin \omega t$ ได้ถูกมาเปรียบเทียบกับสัญญาณพาหะ $V_c(\omega t)$ ที่มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ V_c จุดตัดของสัญญาณทั้งสองจะทำให้เกิดช่วงเวลาของการ on-off ก็จะทำให้เกิดการจำสัญญาณดังกล่าวไปใช้

ความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของค่าสูงสุดของสัญญาณมอดูเลต (V_m) กับค่าสูงสุดของสัญญาณคลื่นพาหะ (V_c) หรือเรียกว่า มอดูเลตชันอินเด็กซ์ (m_a) นั่นคือ

$$m_a = V_m / V_c$$

ค่าแอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตจะแปรตามค่า (modulation index) โดยที่ค่าสูงสุดของ m_a คือ 1 ถ้า $m_a > 1$ หรือ $V_m > V_c$ จะเกิดฮาร์โมนิกส์ต่ำๆ ที่ไม่ต้องการขึ้น

อัตราส่วน $N = f_s / 2f = \omega_s / 2\omega$ ยังสามารถนำมาใช้ได้ และเราสามารถนำมาช่วยค่าฮาร์โมนิกส์ที่สูงสุดจะเกิดขึ้นที่เห็นจาก $2N \pm 1$ การเพิ่มของ N จะทำให้ฮาร์โมนิกส์ลดลงเพิ่มขึ้นและจะมีผลให้

PWM จะทำให้จำนวนฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นแต่ขนาดของฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นด้วย

SPWM จำนวนฮาร์โมนิกส์จะเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของฮาร์โมนิกส์ยังคงเดิม

2.7 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของวงจรสแน็บเบอร์ที่นำมาใช้เพื่อช่วยให้อินเวอร์เตอร์มีการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการสวิตชิ่งที่ตัวสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและป้องกันสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจากแรงดันและกระแสเกินจากการทำงานที่ความถี่สูงโดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยลง โดยอธิบายการทำงานของวงจร CD Recovery Snubber เพื่อนำมาออกแบบให้วงจรสแน็บเบอร์นั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุด



บทที่ 3

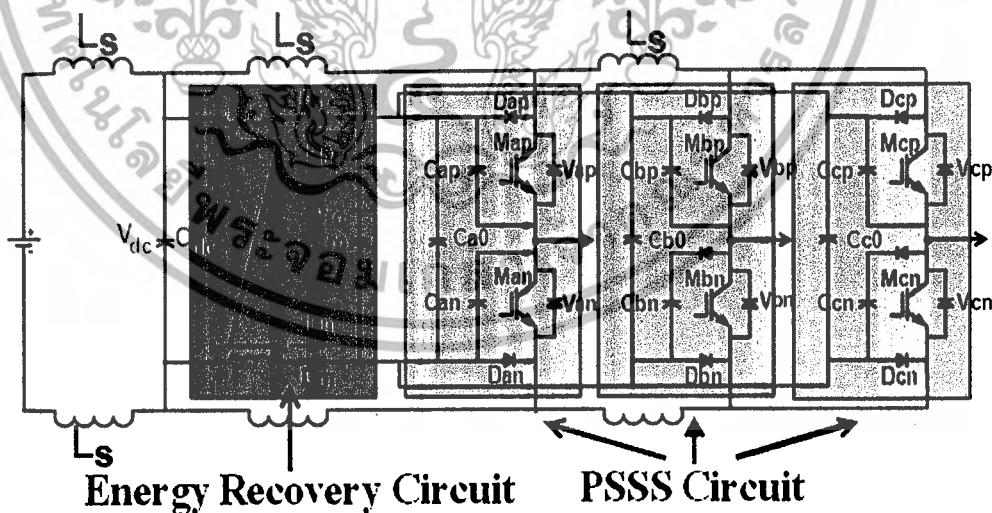
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนของวงจร CD Recovery Snubber วงจรกำลัง และวงจรควบคุม โดยผู้จัดทำได้แบ่งหัวข้อในการอธิบาย เพื่อให้ผู้อ่านได้ทำการเข้าใจในรายละเอียดต่างๆ ของการออกแบบและการสร้าง ดังนี้

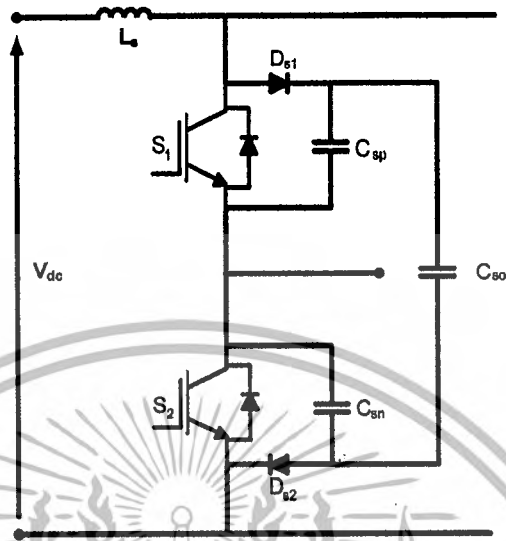
3.2 การออกแบบวงจร CD Recovery Snubber

การออกแบบวงจร CD Recovery Snubber ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ การออกแบบวงจร PSSS (กรอบสี่เหลี่ยม) และการออกแบบวงจร Energy Recovery (กรอบสี่เหลี่ยม) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นมีหลักการในการออกแบบดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจร CD Recovery Snubber

3.2.1 การออกแบบวงจร PSSS



รูปที่ 3.2 วงจร PSSS 1 เฟส

ส่วนประกอบหลักของวงจร PSSS คือตัวเก็บประจุ กับไดโอด โดยตัวเก็บประจุนั้น ก็จะถูกแบ่งเป็นตัวเก็บประจุของสวิตช์แต่ละตัว (C_{ap} , C_{an} , C_{bp} , C_{bn} , C_{cp} , C_{cn}) และตัวเก็บประจุแต่ละเฟส (C_{ao} , C_{bo} , C_{co}) ซึ่งในการออกแบบจะมีสูตรคำนวณตามสมการ ดังต่อไปนี้

ค่าของตัวเก็บประจุของสวิตช์ในแต่ละตัวคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$C_{sp} = C_{sn} = \frac{L_s I_o^2}{(V_{pk} - V_{dc})^2} \quad (3.1)$$

และ ค่าของตัวเก็บประจุในแต่ละเฟสคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$C_{so} = 10C_{sp} = 10C_{sn} \quad (3.2)$$

- โดย C_{sp} คือ ค่าตัวเก็บประจุของสวิตช์ตัวบน
 C_{sn} คือ ค่าตัวเก็บประจุของสวิตช์ตัวล่าง
 C_{so} คือ ค่าตัวเก็บประจุของแต่ละเฟส
 L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่มีอยู่ในสายไฟ โดย $L_s = 1 \mu H / m$
 I_o คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านตัวสวิตช์
 V_{pk} คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมตัวสวิตช์
 V_{dc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนไดโอด D_{sp} และ D_{sn} ที่นำมาใช้ต้องทนค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านตัวสวิตช์ I_o และค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมตัวสวิตช์ V_{pk} ได้

3.2.2 การออกแบบวงจร Energy Recovery

ส่วนประกอบหลักของวงจร Energy Recovery คือ ตัวเก็บประจุ C_{ro} ไดโอด D_{rp} และ D_{rn} และหม้อแปลง โดยตัวเก็บประจุ C_{ro} มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.3)

$$C_{ro} = 3C_{so} \quad (3.3)$$

ส่วนไดโอด D_{rp} และ D_{rn} ที่นำมาใช้ต้องทนค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านตัวสวิตช์ I_o และค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมตัวสวิตช์ V_{pk} ได้เช่นกันเดียวกับ ไดโอด D_{sp} และ D_{sn}

อีกส่วนประกอบหนึ่งคือหม้อแปลงที่ทำหน้าที่สำหรับส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง โดยหม้อแปลงที่ใช้ ทำขึ้นจากแกนทอรอยด์ที่พันโดยขดลวดด้วยวิธีการพันแบบ common mode choke คือการพันเส้นลวดตัวนำสองเส้นสวนทางกันในแกนทอรอยด์แกนเดียว โดยต้องพันให้จำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำทั้งสองเท่ากัน ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน โดยตัวหม้อแปลงจะทำหน้าที่ส่งคืนพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง และยิ่งช่วยให้กระแสไหลกลับคืนได้อย่างนุ่มนวลมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ซึ่งในการออกแบบหม้อแปลงมีหลักการง่ายๆคือ ต้องหาขนาดของลวดที่จะนำมาพันแกน โดยลวดที่นำมาใช้ต้องสามารถทนกระแสไฟฟ้าที่ส่งคืนไปยังจุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ($I_{avg, recovery}$) ได้ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.4)

$$I_{avg, recovery} = \frac{P_{recovery}}{\eta \cdot V_{dc}} \quad (3.4)$$

โดยค่าพลังงานที่ถูกส่งคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ($P_{recovery}$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5)

$$P_{recovery} = 4.31 \times L_{stay} \times I_{output}^2 \times f_{sw} + 6 \times C_{snubber} \times V_{peak}^2 \times f_{sw} \quad (3.5)$$

และในการพันหม้อแปลงแบบ common mode choke ค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นของเส้นลวดแต่ละเส้นควรมีค่าไม่มากจนเกินไป เนื่องจากถ้าค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากเกินไป พลังงานจะไม่สามารถส่งคืนกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการพันเส้นลวดแต่ละเส้นบนแกนไม่ควรเกินค่า L_{dc} โดยสามารถหาค่า L_{dc} สามารถหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$L_{dc} = \frac{V_{in}}{2f_{sw} \cdot \Delta I} \quad (3.6)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพ

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

V_{output} คือ แรงดันเอาต์พุต

$\omega = 2\pi f$

L_{stay} คือค่าความเหนี่ยวนำแฝง

I_{output} คือค่ากระแสเอาต์พุต

f_{sw} คือค่าความถี่ในการสวิตช์

$C_{snubber}$ คือค่าตัวเก็บประจุของสวิตช์แต่ละตัว

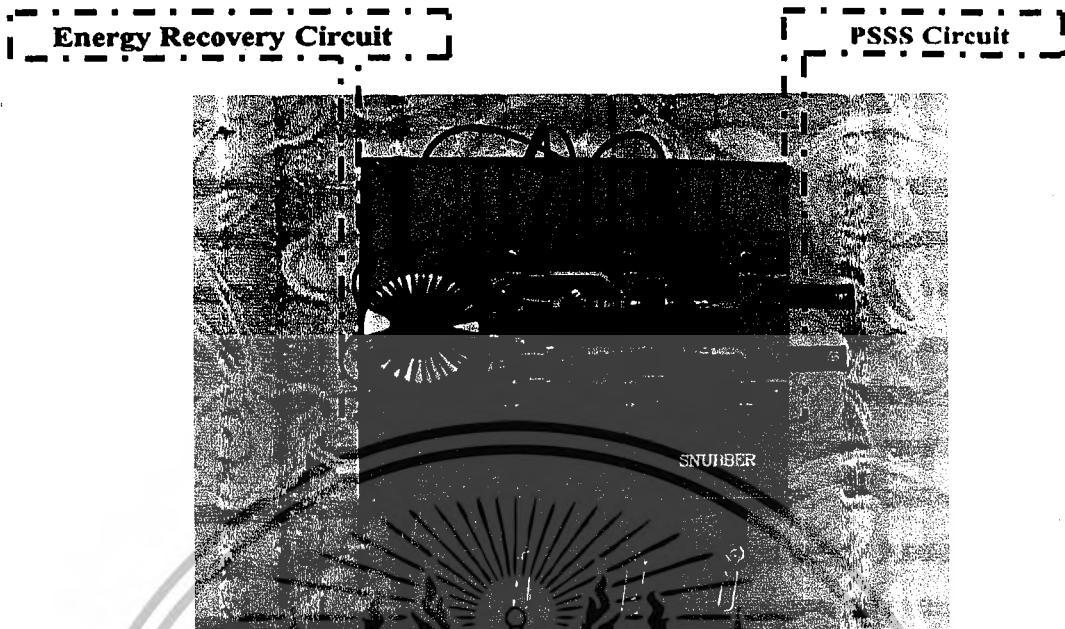
V_{peak} คือค่าแรงดันสูงสุด

V_{in} คือค่าแรงดันไฟกระแสตรงขาเข้า

ΔI คือค่ากระแส ripple สันคลื่อนถึงท้องถิ่น

โดยวงจร CD Recovery Snubber ที่ได้ทำขึ้นมีรูปร่างดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจร CD Recovery Snubber (ชิ้นงานจริง)

3.2.3 ตัวอย่างการออกแบบวงจร CD Recovery Snubber (ใช้จริงในการทดลอง)

ต้องการออกแบบวงจร CD Recovery Snubber เพื่อนำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส มีขนาดพิกัดกำลัง 3 กิโลวัตต์ พิกัดแรงดันต่อเฟส 220 โวลต์ ซึ่งมีระยะจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงอินเวอร์เตอร์ 1 เมตร โดยค่าสูงสุดของแรงดันตกคร่อมสวิตช์มีค่า 600 โวลต์ และมีค่าแรงดันของแหล่งจ่ายกระแสตรงเท่ากับ 310 โวลต์ (ให้ค่า Power factor (p.f.) = 1)

1) หา C_{s1}, C_{s2}

หา I_o จาก

$$S = 3I_p V_p$$

$$I_p = \frac{3 \times 10^3}{3 \times 220} = 4.54 A$$

$$C_{s1} = C_{s2} = \frac{L_s I_o^2}{(V_{pk} - V_{dc})^2}$$

จะได้

$$C_{s1} = C_{s2} = \frac{(1 \times 10^{-6})(4.54)^2}{(600 - 310)^2} = 2.2 nF$$

2) หา C_{so}

$$C_{so} = 10C_{s1} = 10C_{s2} = 22 nF$$

3) หา C_{ro}

$$C_{ro} = 3C_{so} = 66 nF \quad (\text{ใช้ค่าใกล้เคียง คือ } 1 \mu F)$$

ไดโอด $D_{rp}, D_{rn}, D_{s1}, D_{s2}$ ต้องทนกระแส 4.54 A และแรงดัน 600 V ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณหม้อแปลง

1) หาค่า $P_{recovery}$

$$P_{recovery} = 4.31 \times L_{stay} \times I_{output}^2 \times f_{sw} + 6 \times C_{snubber} \times V_{peak}^2 \times f_{sw}$$

$$P_{recovery} = 4.31 \times (1 \times 10^{-6}) \times (1.34)^2 \times (4.8 \times 10^3) \\ + 6 \times (22 \times 10^{-9}) \times (600)^2 \times (4.8 \times 10^3)$$

$$P_{recovery} = 228.5 \text{ วัตต์}$$

2) หาขนาดเส้นลวด

$$I_{avg, recovery} = \frac{P_{recovery}}{\eta \cdot V_{dc}} \\ I_{avg, recovery} = \frac{(228.5)}{(0.93 \times 311)} \\ I_{avg, recovery} = 0.78 \text{ แอมแปร์}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ลวดเบอร์ 17 ซึ่งสามารถทนกระแสได้ 5 แอมแปร์ นำไปพันแกน
ทอรอยด์ชนิดไอรอนพาวเวอร์เบอร์ T184 โดยพันแบบ Common mode choke โดยค่าความ
เหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากการพันบนแกนของเส้นลวดแต่ละเส้นต้องไม่เกิดค่า L_{dc} ตามที่กล่าวไว้ในเรื่อง
การออกแบบวงจร Energy Recovery ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L_{dc} = \frac{V_{in}}{2f_{sw} \cdot \Delta I} \\ L_{dc} = \frac{(311)}{(2) \cdot (4800) \cdot (5)}$$

$$L_{dc} = 6mH$$

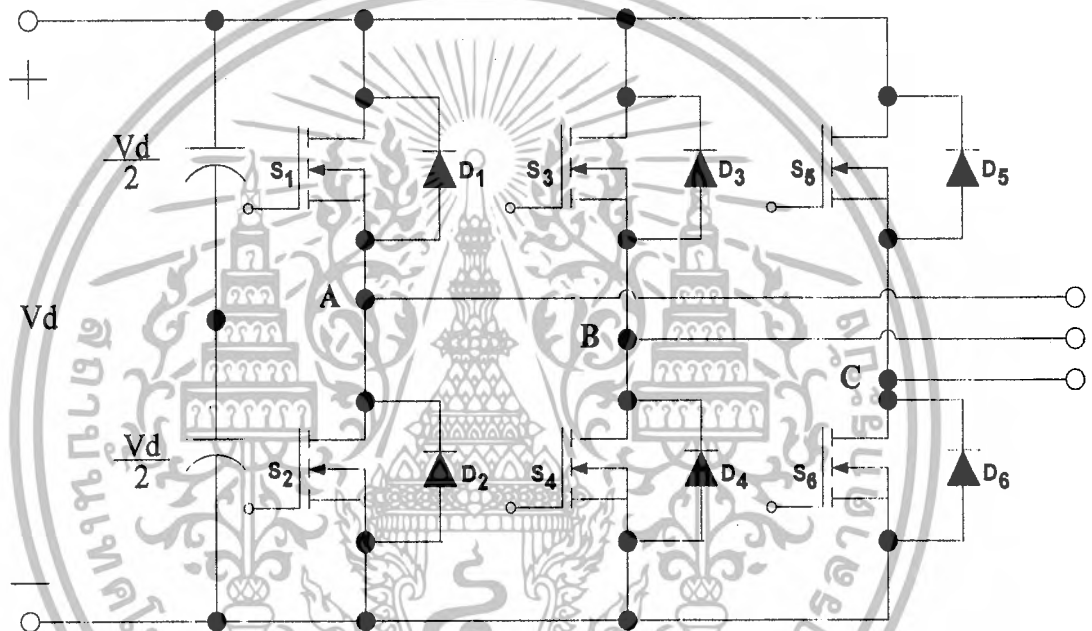
ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ไม่ควรเกิน 6 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้พัน
เส้นลวดแต่ละเส้นในแกนเป็นจำนวน 20 รอบ ซึ่งในหนึ่งรอบจะเกิดค่าความเหนี่ยวนำรอบละ
1 ไมโครเฮนรี่ รวมทั้งหมดเป็น 20 ไมโครเฮนรี่ ไม่เกินค่า L_{dc} ที่ได้คำนวณไว้

3.3 การออกแบบวงจรกำลัง

ในส่วนของวงจรกำลังจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรขับสัญญาณเกิด

3.3.1 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

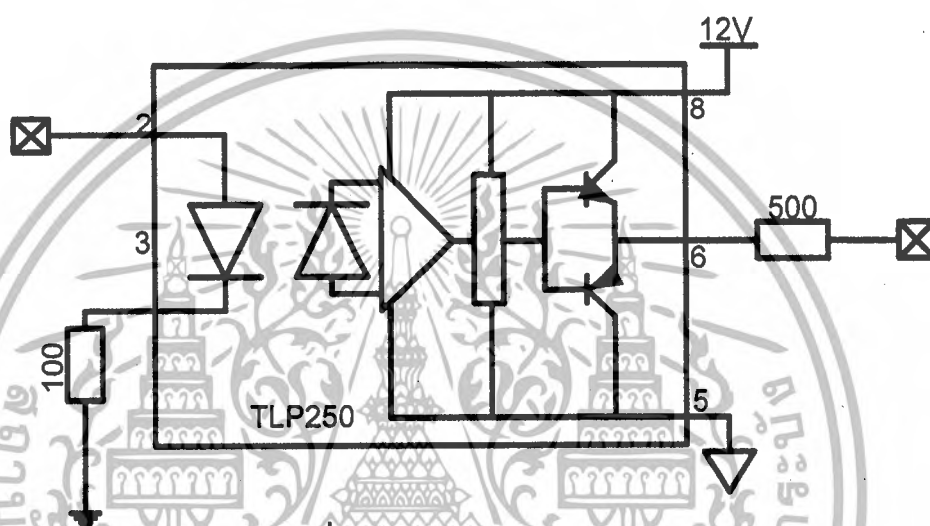
อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในรูปแบบทั่วไปคือ แบบ 6 สวิตช์กำลัง ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.4



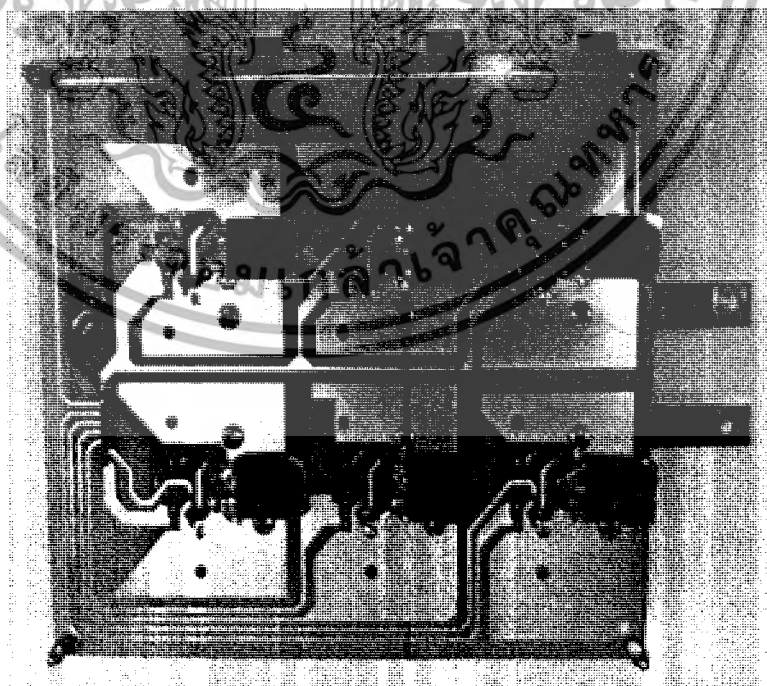
รูปที่ 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

3.3.2 การออกแบบวงจรขับ

วงจรขับสำหรับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ได้เลือกใช้ฮอปโตะเบอร์ TLP 250 ในการขับนำ และแยกกราวด์ระหว่างวงจรกำลังและวงจรควบคุม โดยการใช้งานนั้นต้องป้อนไฟเลี้ยงและกราวด์ของไฟเลี้ยงให้กับ TLP 250 ที่ขา 8 และขา 5 ตามลำดับ จากนั้นต้องป้อนสัญญาณขับและกราวด์ สัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมที่ขา 2 และขา 3 ตามลำดับ โดยสัญญาณที่เข้าไปจะถูกขยายโดย TLP 250 และถูกส่งออกมาทางขา 6 ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.5

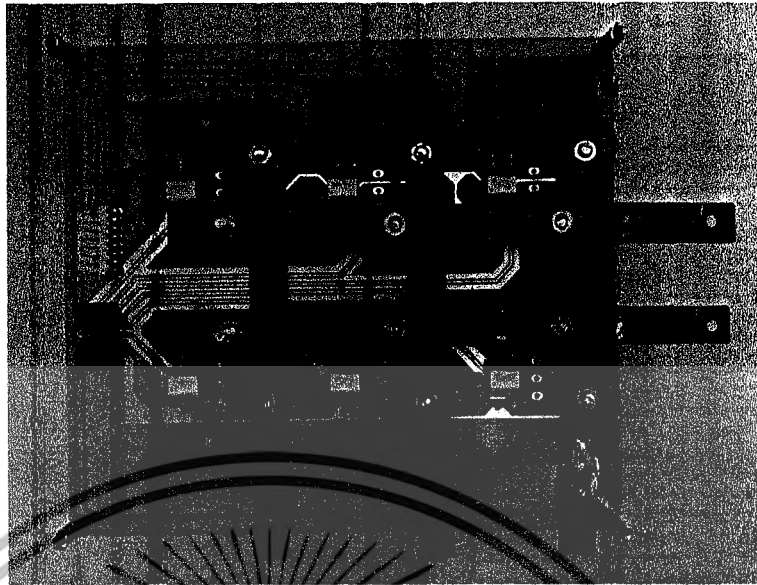


รูปที่ 3.5 วงจรขับสัญญาณเกต



รูปที่ 3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรขับสัญญาณเกต (ด้านบน)

ในการใช้งานจริงเราใช้ TLP 250 6 ตัว ในการนำขับสวิตช์ทั้ง 3 เฟส ซึ่งมีรูปวงจร ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งในการออกแบบอินเวอร์เตอร์หลักได้เลือกใช้ออสเฟต K2039 เป็นสวิตช์กำลังมี พิกัดแรงดัน 600 โวลท์ และพิกัดกระแส 15 แอมป์

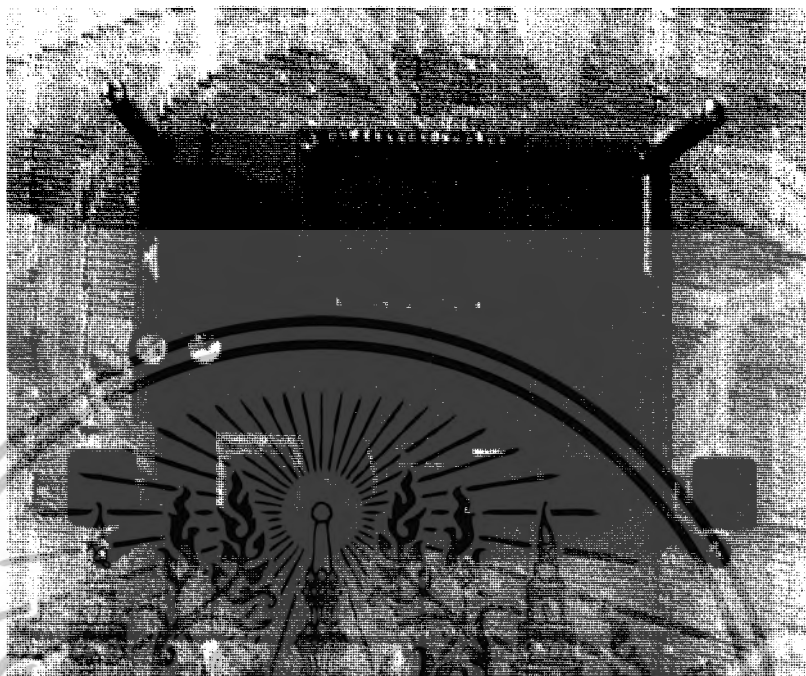
3.4 การออกแบบวงจรควบคุม

3.4.1 การออกแบบ Hardware

สัญญาณที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส คือสัญญาณ พัลส์เบรียเอ็ม ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4431 ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ถึง 100,000 ครั้ง
- มีความเร็วสูงสุด 1 MHz มีหน่วยความจำ 16 Byte
- มีพอร์ตใช้งาน 36 พอร์ต
- สามารถสร้างสัญญาณพัลส์เบรียเอ็มได้ 8 ช่อง

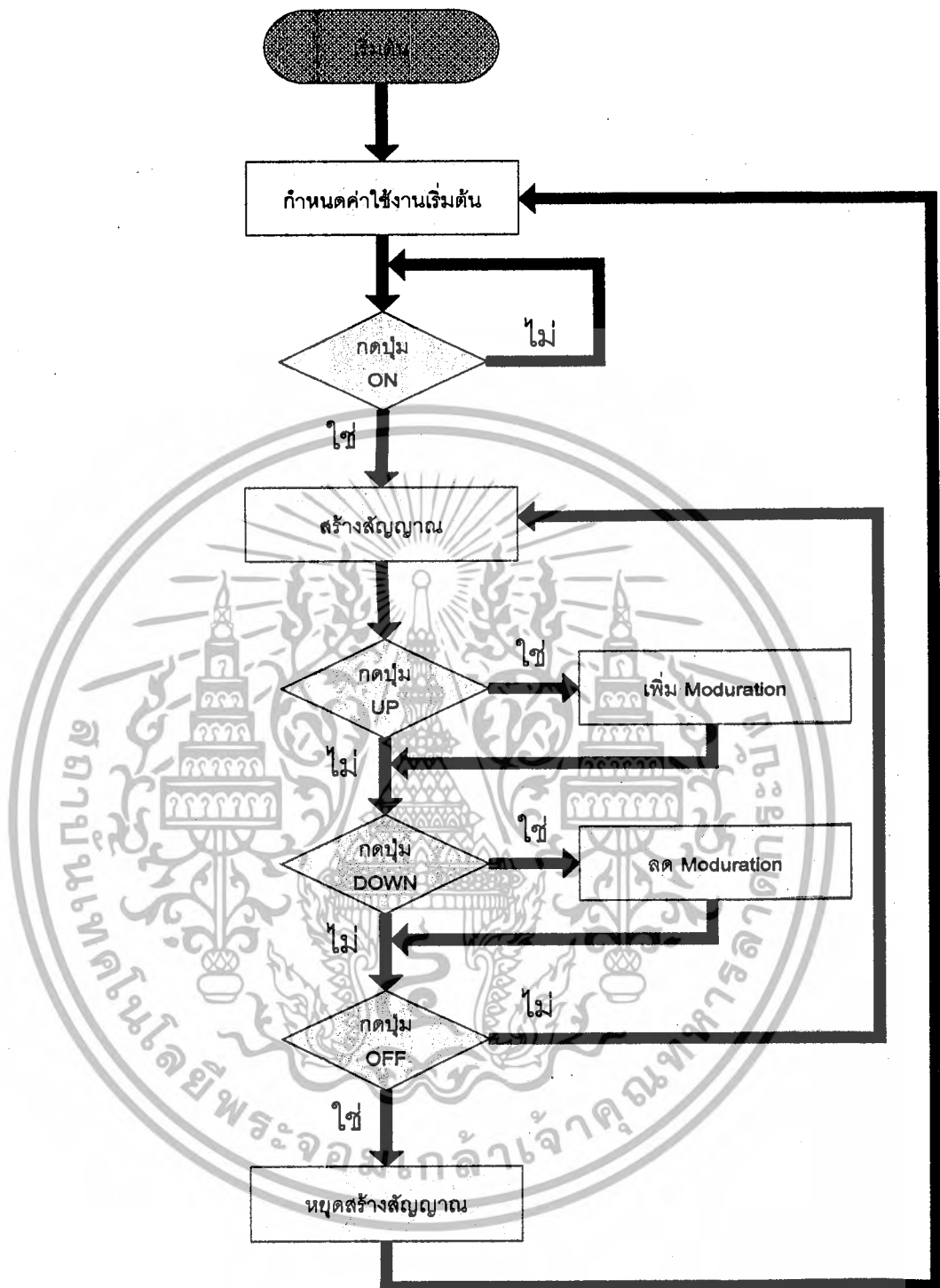
โดยได้ต่อวงจรควบคุมตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรควบคุม

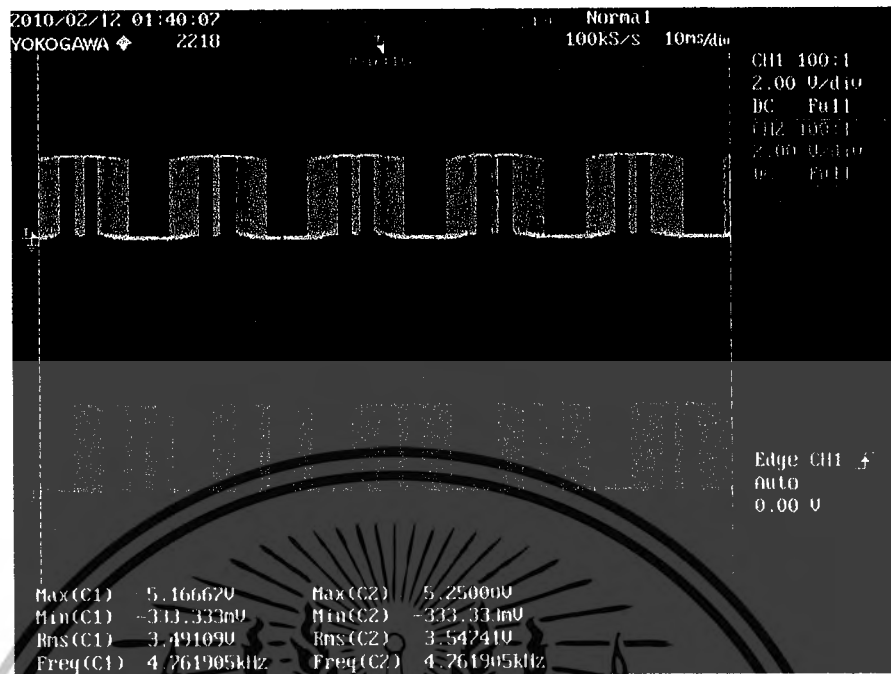
3.4.2 การออกแบบ Software

ในการออกแบบได้เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4431 สร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ออกมา 3 เฟส โดยแต่ละเฟสมีมุมต่างกัน 120 องศา โดยใช้ความถี่สวิทช์ซึ่ง 4.8 kHz เดดไทม์ 4.0147 μ SEC ตัวโปรแกรมถูกออกแบบไว้ให้สามารถปรับมอดดูเลชันได้ในช่วง 0.1 – 1.0 โดยผู้จัดทำได้ตั้งค่ามอดดูเลชันเริ่มต้นที่ 0.5 โดยค่ามอดดูเลชันจะแสดงค่าโดยจอ LCD ซึ่งการทำงานของโปรแกรมนั้นสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ไตอะแกรมของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 สัญญาณที่ได้ออกมาจากวงจรควบคุม

โดยวงจรควบคุมที่สร้างขึ้น สามารถสร้างสัญญาณออกมาได้ดังรูปที่ 3.10 เป็นภาพสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเฟส A (สีเหลือง) และเฟส B (สีเขียว) ซึ่งมีความถี่สวิตซ์ซึ่ง 4.8 kHz มุมต่างกัน 120 องศา เดดไทม์ 4.0147 μ SEC และสามารถปรับค่ามอดดูเลชั่นได้ในช่วง 0.1 – 1.0 ซึ่งสัญญาณในรูปนี้รับมอดดูเลชั่นเท่ากับ 0.8

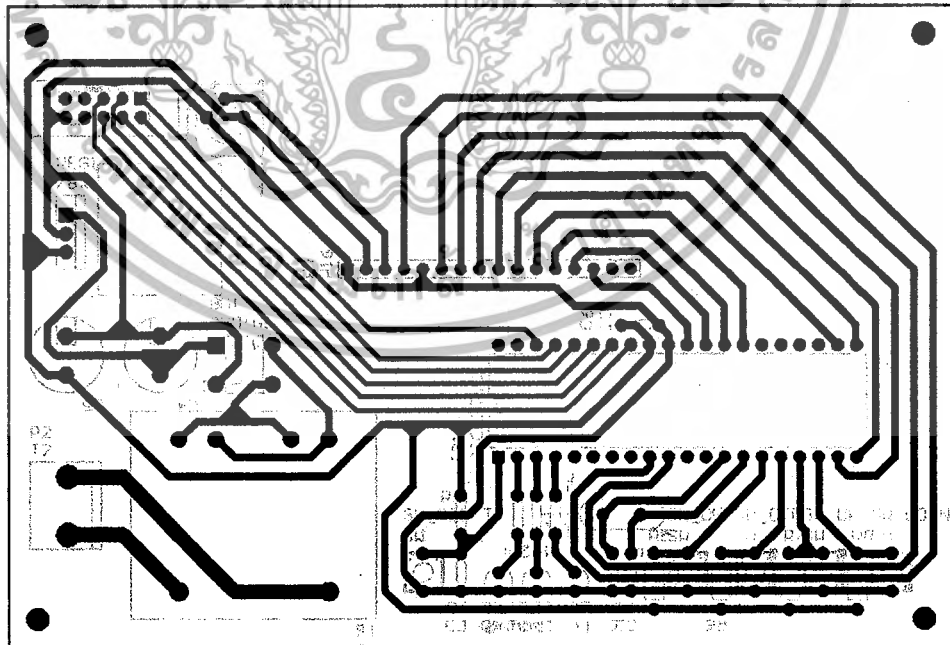
3.5 การออกแบบลายวงจร

3.5.1 วงจรวางจรควบคุม

วงจรวางจรควบคุม เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เบิลยูเอ็ม ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณการเปิดและปิดสวิตช์ทั้ง 3 เฟสของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F4431 ในการกำเนิดสัญญาณ

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นต้องมีไฟเลี้ยงขนาด 5 โวลท์กระแสตรง ซึ่งผู้จัดทำได้ใช้หม้อแปลงแรงดันไฟสลับ 220 โวลท์ ลดระดับแรงดันลงมา โดยใช้หม้อแปลงลงปริ้นเบอร์ 100033 ซึ่งมีข้อดีคือหม้อแปลงมีขนาดเล็กและสะดวกต่อการรวมลายปริ้นไว้ในแผ่นเดียวกัน

หลังจากนั้นต้องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยใช้บริดจ์เรกติไฟเออร์ไอซีเบอร์ DB104G และจะต้องลดระดับแรงดันโดยใช้การต่อคาปาซิเตอร์ทั้งก่อนและหลังไอซีรักษาแรงดัน (Voltage Regulator) โดยที่จะต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันของคาปาซิเตอร์ด้วย สำหรับไอซีรักษาแรงดันนั้นได้ใช้เบอร์ 7805 ซึ่งไอซีรักษาแรงดันนั้นจะทำให้แรงดันไฟขาออกนั้นมีค่าที่ถูกต้องและคงที่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.11 ลายปริ้นวงจรวางจรควบคุม

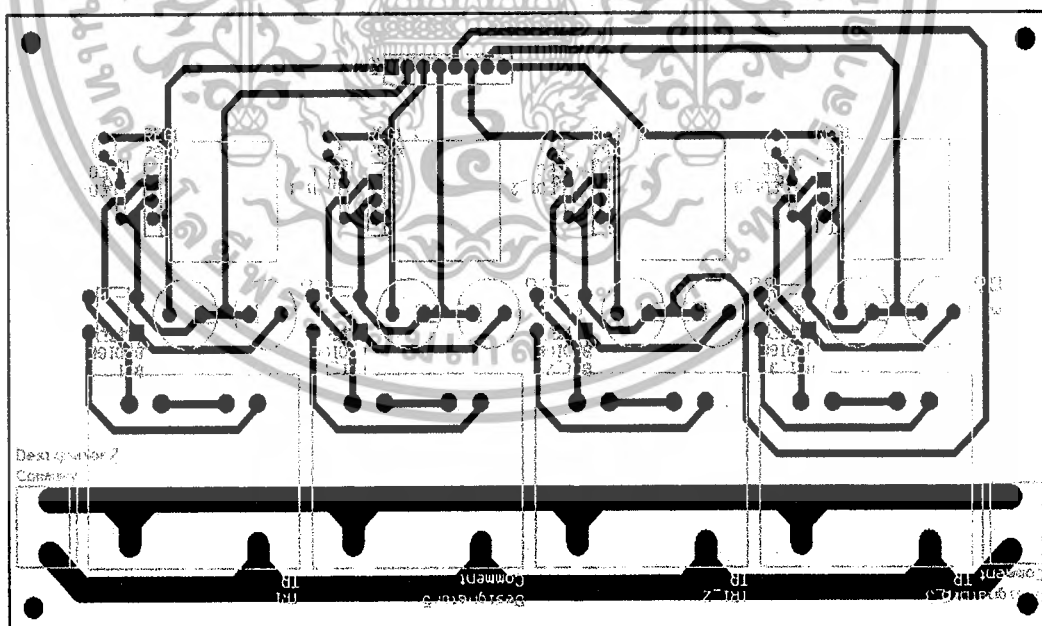
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการป้อนแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 15 โวลต์เข้าสู่วงจรขับ โดยใช้ Regulator เบอร์ 7815 เป็นไอซีรักษาระดับแรงดัน

การสร้างวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน จะต้องแยกอิสระต่อกันให้กับวงจรขับสัญญาณเกต ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกใช้หม้อแปลงแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ลดระดับแรงดันลงมา โดยใช้หม้อแปลงลงปริ้นเบอร์ 100033 ทั้งหมด 4 ชุด เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยการต่อวงจรแรงดันไฟกระแสตรงนั้น จะต่อเหมือนกับการต่อของวงจรไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยสวิตช์ตัวบนของแต่ละเฟสจะใช้แหล่งจ่ายแยกทั้งหมด 3 ชุด ชุดละเฟส ส่วนสวิตช์ตัวล่างทั้ง 3 เฟสจะใช้แหล่งจ่ายชุดเดียวกันที่เหลืออยู่อีกชุดหนึ่ง

ข้อควรระวังการนำไฟกระแสตรงไปใช้ คือเรื่องการนำขั้วบวกกับขั้วลบไปใช้งาน เพราะอาจเกิดความเสียหายให้กับอุปกรณ์ได้ ควรมีเครื่องหมายกำกับไว้ด้วยจะทำให้ลดการผิดพลาดได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.12 ลายปริ้นวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

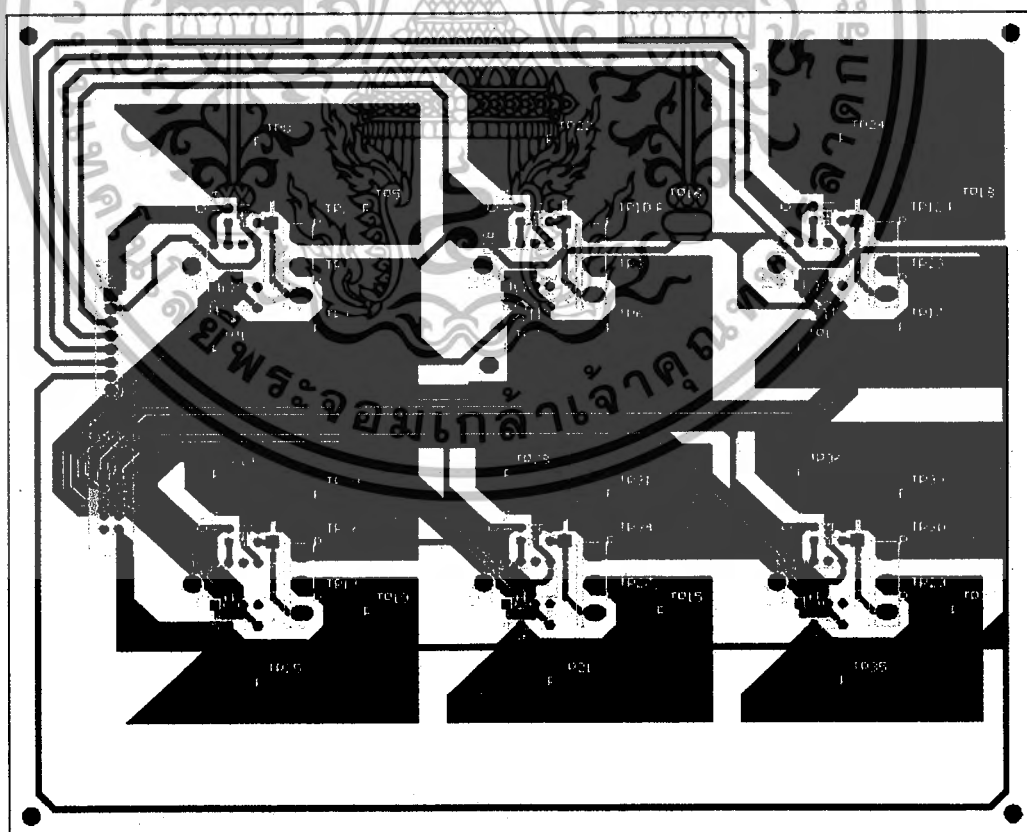
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรขับสัญญาณเกต

วงจรอินเวอร์เตอร์ จะรวมอยู่กับชุดวงจรขับสัญญาณเกต ซึ่งต้องป้อนไฟเลี้ยง ซึ่งได้มาจากวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน และต้องป้อนสัญญาณขับ ซึ่งได้มาจากวงจรควบคุม โดยชุดวงจรขับสัญญาณเกตใช้ออปโตเบอร์ TLP 250

วงจรขับเกตเป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่ง ใช้เป็นจุดเชื่อมโยงระหว่าง วงจรควบคุมกับ วงจรกำลัง เพื่อใช้ขับมอสเฟตอีกต่อหนึ่ง วงจรขับสัญญาณเกตจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจาก วงจรควบคุมผ่านตัวแยกสัญญาณ (Isolate) โดยตัวแยกสัญญาณจะทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนที่ผ่านเข้ามาและสัญญาณที่ใช้ขับมอสเฟตในวงจรภาคกำลังที่ใช้ทำการทดลองจะใช้ออปโตเบอร์ TLP 250

ข้อควรระวังในการเชื่อมต่อของวงจรต่างๆ เข้าด้วยกัน ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่หลวม และมันคงเสมอ และการบัดกรีวงจรที่มีลายปรีนที่ความสลับซับซ้อนควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะอาจเกิดการเชื่อมจุดอื่นที่ทำให้ช็อตกันได้ โดยไม่ได้ตั้งใจ



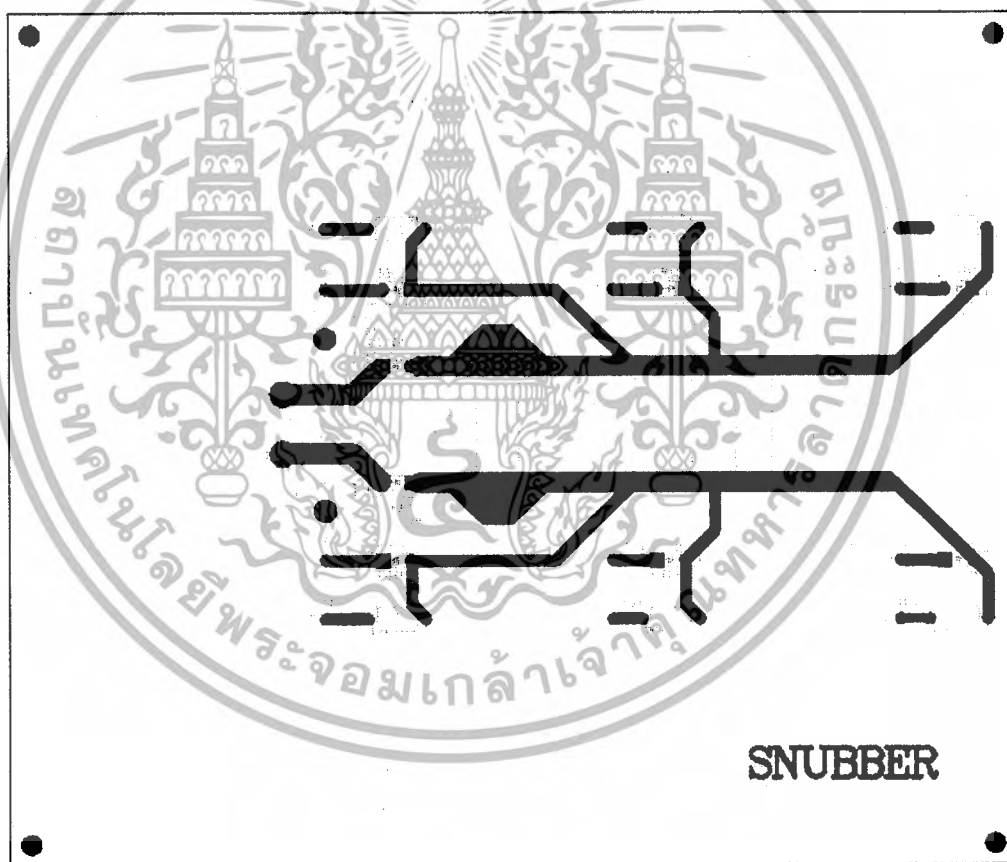
รูปที่ 3.13 ลายปรีนวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 วงจร CD Recovery Snubber

วงจร CD Recovery Snubber เป็นวงจรที่ช่วยลดกำลังสูญเสียในการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ และสามารถส่งพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยการทำงานร่วมกันของวงจร PSSS และวงจร Energy Recovery โดยวงจร CD Recovery Snubber ที่ใช้ในการทดลองได้ใช้ไดโอดแบบพื้นตัวเร็วเพราะสามารถใช้เวลาในการฟื้นตัวย้อนกลับน้อย และใช้ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์

ข้อควรระวังสำหรับการลงอุปกรณ์ เพื่อบัดกรีเชื่อมต่อกับลายปริน ควรตรวจสอบความถูกต้องโดยเฉพาะไดโอด เพราะมีขั้วอยู่ระว่างอย่าต่อไดโอดกลับด้าน

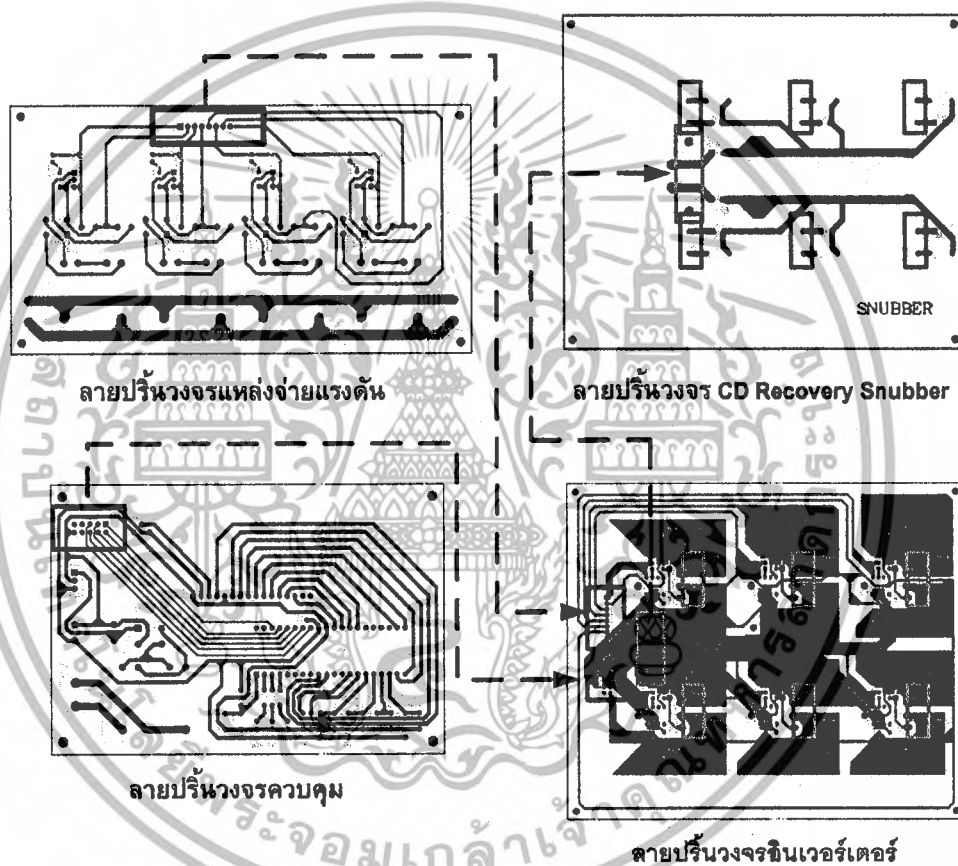


รูปที่ 3.14 ลายปรินวงจร CD Recovery Snubber

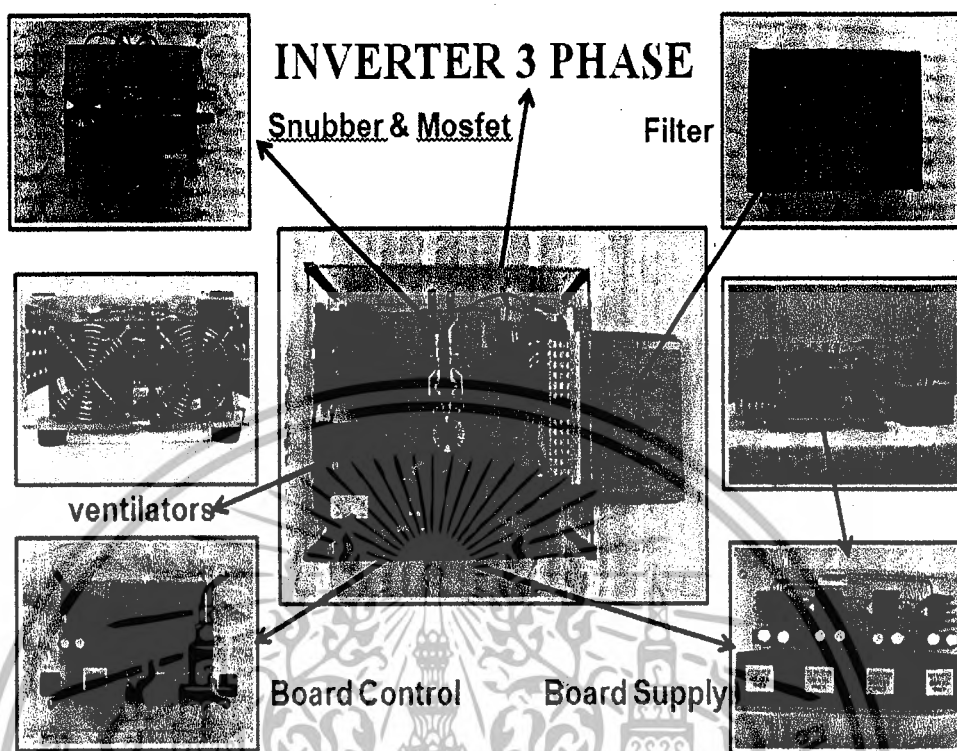
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 การทำงานร่วมกันของวงจรต่าง ๆ

ในการทำงานของวงจร CD Recovery Snubber จะถูกต่อกับอินเวอร์เตอร์โดยช่องที่ได้ออกแบบไว้ในกรอบสีเขียว โดยอินเวอร์เตอร์จะได้รับไฟเลี้ยงจากวงจรแหล่งจ่ายแรงดันและได้รับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม จากวงจรควบคุมโดยจะเชื่อมต่อกันโดยช่องที่ได้ออกแบบไว้ในกรอบสีดำในลายปริ้นวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การทำงานร่วมกันของวงจรต่าง ๆ



รูปที่ 3.16 ชิ้นงานจริงเมื่อประกอบกับครบทุกส่วน

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวได้ใช้วงจรสับเบอร์ดัชนีกับขาเดินและซอลของอินเวอร์เตอร์ โดยวงจรสับเบอร์ดัชนีได้ต่อยึดด้านบนของวงจรอินเวอร์เตอร์กับวงจรขับเคลื่อนสัญญาณเกิด ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรขับเคลื่อนสัญญาณเกิดได้ออกแบบเป็นแผ่นเดียวกัน และต้องอยู่ด้านล่างก็เนื่องจากมอสเฟตต้องอยู่ติดกับแผงระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนและได้ต่อพัดลมระบายอากาศเพื่อเพิ่มการระบายความร้อนให้กับมอสเฟตอีกด้วย จากรูปที่ 3.16 ผู้จัดทำได้ออกแบบให้วงจรควบคุมติดกับฝาปิดด้านบน เพื่อสะดวกต่อการกดปุ่มเนื่องจากต้องมีปุ่มการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ที่ต้องการในการทดลอง และวงจรแหล่งจ่ายแรงดันได้ออกแบบไว้ด้านล่างของวงจรควบคุมอีกทีหนึ่ง โดยทางผู้จัดทำได้นำอุปกรณ์ต่างๆ ลงในกล่องเพื่อความปลอดภัย เนื่องจากการทดลองทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์อาจเกิดอุบัติเหตุได้ โดยไม่คาดคิด

3.6 บทสรุป

ในการออกแบบและการสร้างวงจรสับเบอร์แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงนั้น ส่วนประกอบต่างๆสามารถออกแบบและสร้างได้โดยง่าย ในส่วนของวงจรวงจร CD Recovery Snubber ก็มีสูตรการคำนวณที่ตายตัวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยง่าย วงจรกำลังก็มีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนวงจรควบคุมนั้นก็สามารถใช้กับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มได้หลายรูปแบบ



บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองชิ้นงานจริง

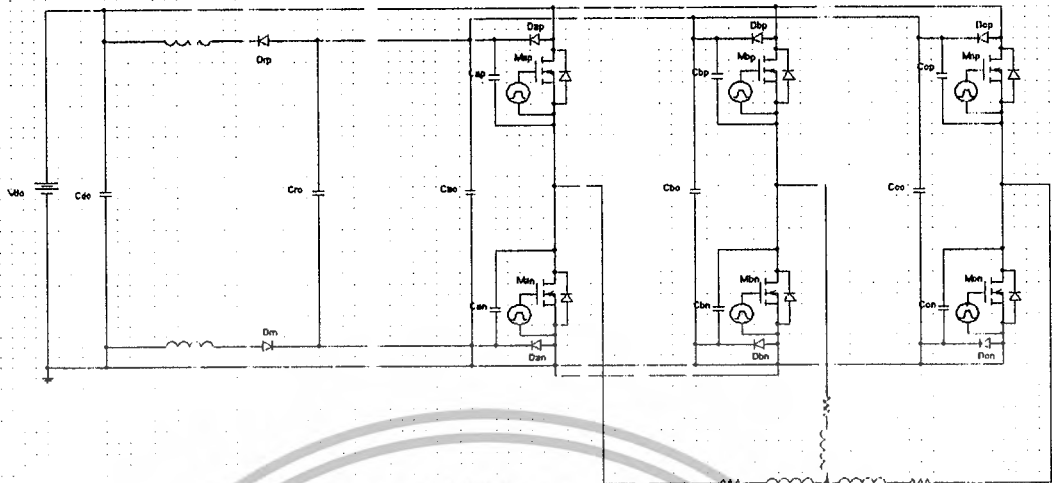
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และผลการทดลองในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้จัดทำได้ทำการใช้วงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม PSpice จากนั้นได้ทำการวัดค่าของกระแสที่ไหลคืนสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อพิสูจน์ว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งคืนพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้จริงตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้หรือไม่ และในส่วนของการทดลองจริง ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร CD Recovery Snubber กับ RCD Snubber เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ และผลการทดลองการส่งพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงของวงจร CD Recovery Snubber เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้เหมือนการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PSpice หรือไม่

4.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.1 วัตถุประสงค์การจำลอง

ในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม PSpice นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการวิเคราะห์ว่าวงจร CD Recovery Snubber ได้ออกแบบขึ้นมานั้น มีความเหมาะสม และสามารถใช้งานได้หรือไม่ วิเคราะห์ถึงข้อเสียของวงจร CD Recovery Snubber ได้ออกแบบขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น รวมไปถึงการวิเคราะห์ว่าวงจร CD Recovery Snubber ได้ออกแบบขึ้นมานั้นสามารถส่งคืนพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้จริงหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องต้นแบบที่จะสร้างขึ้นมาจะสามารถใช้งานได้



รูปที่ 4.1 รูปวงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

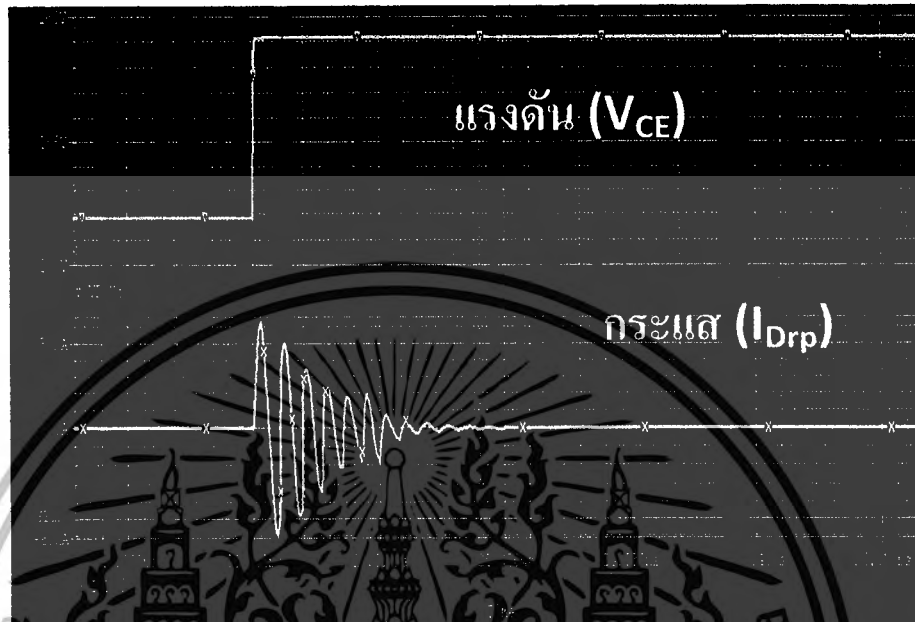
4.2.2 ขั้นตอนการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองของ วงจร CD Recovery Snubber ที่ต่อกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ดังรูปที่ 4.1 โดยในการจำลอง เราได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามการใช้งานจริงคือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) เท่ากับ 310 V ส่วนค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ค่าที่ได้จากการออกแบบจริง โดยค่าตัวเก็บประจุของสวิตช์ แต่ละตัว (C_{ap} , C_{an} , C_{bp} , C_{bn} , C_{cp} , C_{cn}) เท่ากับ 2.2 nF ค่าตัวเก็บประจุของแต่ละเฟส (C_{bo} , C_{bp} , C_{bn}) เท่ากับ 22 nF ค่าตัวเก็บประจุโคเวอร์รี (C_{ro}) เท่ากับ 1 μ F ซึ่ง ณ ที่นี้สมมติว่าใช้กับโหลด RL จากนั้นได้ทำการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่าน ไดโอดรีโคเวอร์รีตัวบน (D_{rp}) และ ไดโอดรีโคเวอร์รีตัวล่าง (D_{rn}) เพื่อให้ทราบว่าการ CD Recovery Snubber ที่ได้ออกแบบนั้น สามารถคืนพลังงานสู่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรงได้หรือไม่

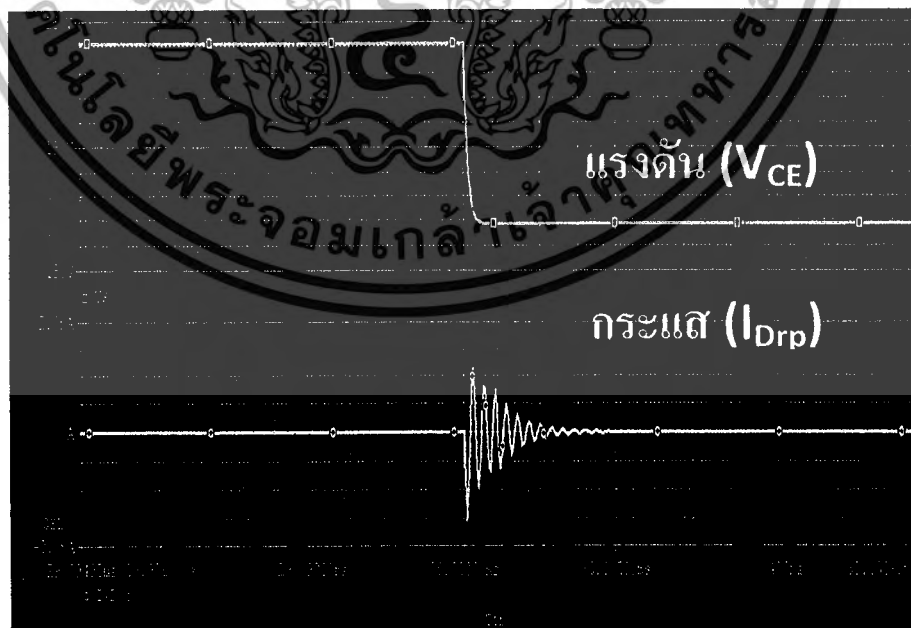
4.2.3 ผลการจำลองการส่งคืนพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากแบบจำลองการใช้อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม PSpice จะเห็นได้ว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยเราสามารถทราบได้โดยสังเกตการนำกระแสของ ไดโอดรีโคเวอร์รีตัวบน (D_{rp}) ซึ่งเราจะพบว่าเมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสและเริ่มนำกระแสจะมีการนำกระแสของไดโอดเกิดขึ้นตามรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงว่ามีการส่งพลังงานกลับคืนสู่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

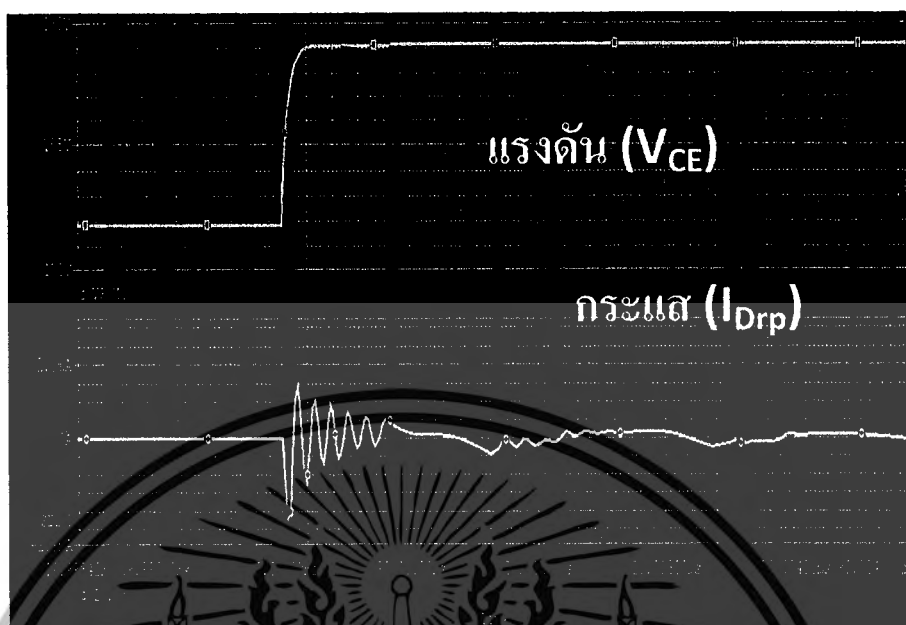


รูปที่ 4.2 การนำกระแสของไดโอดรีโควเออร์รี่ตัวบน (Drp) เมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 4.3 การนำกระแสของไดโอดรีโควเออร์รี่ตัวบน (Drp) เมื่อสวิตช์เริ่มนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การนำกระแสของไดโอดรีโควอร์รี่ตัวล่าง (D_m) เมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 4.5 การนำกระแสของไดโอดรีโควอร์รี่ตัวล่าง (D_m) เมื่อสวิตช์เริ่มนำกระแส

ส่วนการนำกระแสของไดโอดรีโควอร์รี่ตัวล่าง (D_m) ก็จะเหมือนกับการนำกระแสของไดโอดรีโควอร์รี่ตัวบน (D_p) คือจะมีการนำกระแสเมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแสและเริ่มนำกระแสเหมือนกันดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดลองหากระแสและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ทำงานร่วมกับวงจร CD Recovery Snubber



รูปที่ 4.6 ค่าแรงดันและค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร CD Recovery Snubber
ที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์

จากแบบจำลองการใช้วงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม PSpice จำลอง มีรายละเอียดเหมือนกับการจำลองการส่งคืนพลังงานสู่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง แต่ทำการวัดค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุตแทนการวัดพลังงานส่งคืนกลับ ซึ่งได้ค่าแรงดันประมาณ 220 โวลต์ และค่ากระแสประมาณ 1 แอมแปร์

4.3 การทดลองชิ้นงานจริง

4.3.1 การทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร CD Recovery Snubber กับ RCD Snubber

4.3.1.1 วัดอุปกรณ์

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร CD Recovery Snubber ว่าดีกว่าวงจรสับเบอร์แบบเดิมๆดังที่ได้กล่าวไว้ดังทฤษฎีหรือไม่ ซึ่งในการทดลองนี้เราได้นำเอาวงจร RCD Snubber มาเปรียบเทียบ

4.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

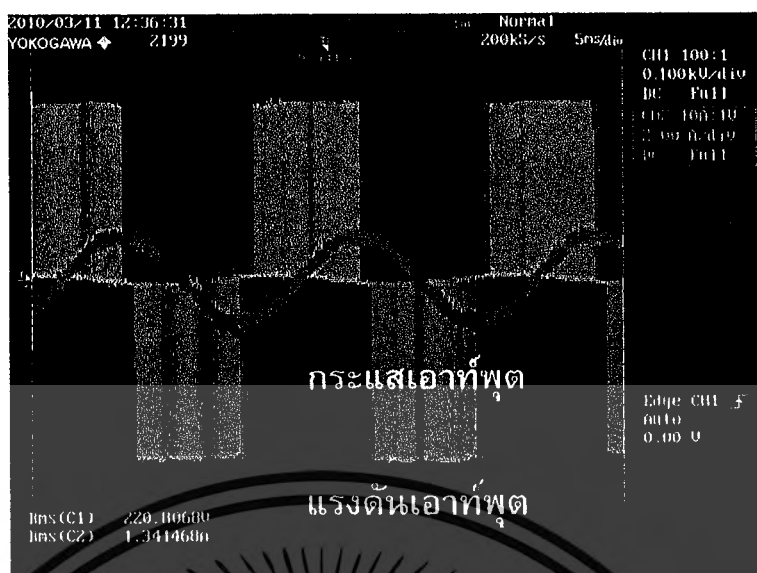
ในการทดลองผู้จัดทำได้นำอินเวอร์เตอร์ที่ใส่วงจร CD Recovery Snubber และ RCD Snubber ไปขับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แล้ววัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า และออกมาจากอินเวอร์เตอร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร Snubber ทั้งสองชนิด

4.3.1.3 ผลการทดลอง

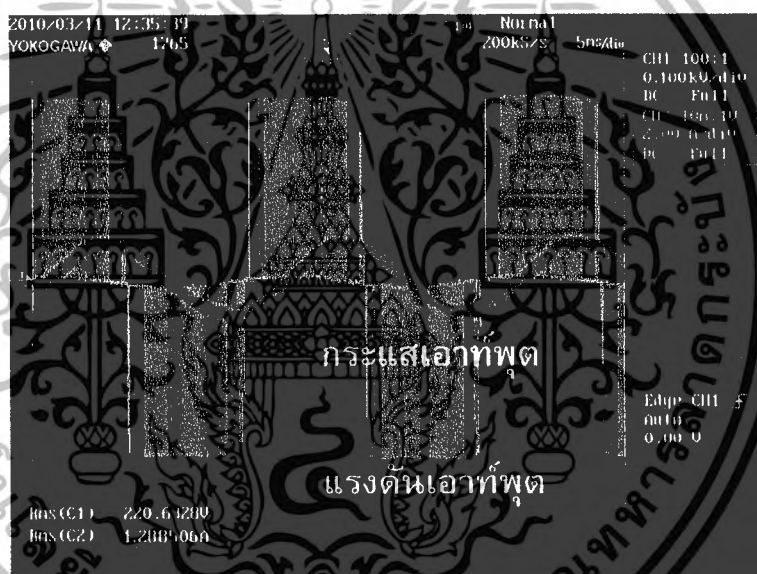
จากการทดลองวัดค่าแรงดันอินพุตได้ค่าเท่ากับ 311 โวลต์กระแสตรง (220 โวลต์ กระแสสลับ) และค่ากระแสอินพุตมีค่าเท่ากับ 1.44 แอมแปร์กระแสสลับ ซึ่งคิดเป็นกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 950.40 วัตต์ จากผลการทดลองจากรูปที่ 4.7 พบว่าค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟส ของวงจร CD Recovery Snubber มีค่าเท่ากับ 220.80 โวลต์ และ 1.34 แอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าและลักษณะรูปคลื่นใกล้เคียงกับการจำลองจากโปรแกรม PSpice ดังรูปที่ 4.6 คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 887.61 วัตต์ คิดเป็น 93.39 เปอร์เซ็นต์และจากผลการทดลองจากรูปที่ 4.8 พบว่าค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร RCD Snubber มีค่าเท่ากับ 220.63 โวลต์และ 1.29 แอมแปร์ ตามลำดับ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 853.84 วัตต์ จึงสามารถสรุปได้ว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอินเวอร์เตอร์ได้มากกว่า RCD Snubber ประมาณ 3.55 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจร Snubber

	RCD	CD – Recovery
POWER INPUT	950.40 วัตต์	950.40 วัตต์
POWER OUTPUT	855.84 วัตต์	887.61 วัตต์
ประสิทธิภาพ	89.84 %	93.39 %



รูปที่ 4.7 ค่าแรงดันและค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร CD Recovery Snubber



รูปที่ 4.8 ค่าแรงดันและค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟสของวงจร RCD Snubber

4.3.2 การทดลองการส่งพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง

4.3.2.1 วัตถุประสงค์

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์คือเพื่อพิสูจน์ว่าสามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ได้เหมือนการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PSpice หรือไม่ และศึกษาผลของค่าความเหนี่ยวนำแผ่งว่าส่งผลต่อการส่งคืนพลังงานกลับหรือไม่ อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการวัดพลังงานที่ถูกส่งคืนกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงมีรายละเอียด เช่นเดียวกับการหาประสิทธิภาพ แต่รับไฟฟ้ากระแสตรงมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 โวลต์ ต่ออนุกรมกันทั้งหมด 4 แผง เพื่อทำการจำลองการทำงานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในการวัดจะทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดรีโคเวอร์รี่ เพื่อสังเกตว่ามีพลังงานส่งคืนกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่



รูปที่ 4.9 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไดโอดรีโคเวอร์รี่ตัวบน)



รูปที่ 4.10 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไดโอดรีโคเวอร์รี่ตัวล่าง)

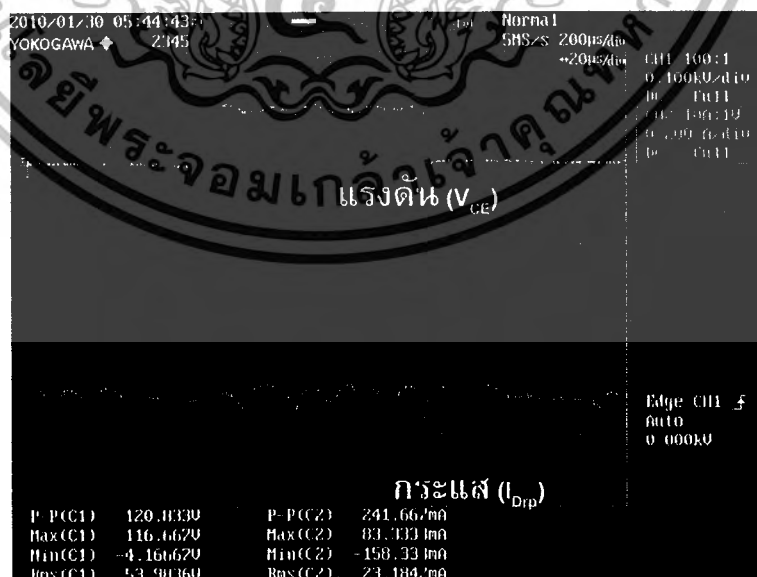
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อสวิตช์มีการเริ่มหยุดนำกระแสและเริ่มนำกระแสก็จะมีมีการนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รี่ทั้งตัวบนและตัวล่างเกิดขึ้น แสดงว่ามีการส่งคืนพลังงานกลับสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขึ้น เหมือนกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PSpice

หลังจากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อให้เห็นผลของค่าความเหนี่ยวนำแฝงโดยทำการทดลองในห้องทดลองด้วยการป้อนไฟกระแสตรง 80 โวลต์ ให้กับอินเวอร์เตอร์แทนพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.11 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ใส่ค่าความเหนี่ยวนำ = 1μH)



รูปที่ 4.12 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber (ไม่ใส่ค่าความเหนี่ยวนำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าการนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รี่ในกรณีที่ใส่ค่าความเหนี่ยวนำที่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจำลองเป็นค่าความเหนี่ยวนำแฝงจะมีการนำกระแสมากกว่า กรณีที่ไม่ใส่ค่าความเหนี่ยวนำที่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งคิดค่าพลังงานที่ส่งคืนสู่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้เท่ากับ 4.77 วัตต์ และ 1.25 วัตต์ ตามลำดับ เราจึงกล่าวได้ว่าวงจร CD Recovery Snubber เหมาะสมที่จะใช้กับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำแฝงมาก

4.4 บทสรุป

จากผลการทดลองจะพบว่าวงจร CD Recovery Snubber มีประสิทธิภาพดีกว่า วงจร RCD Snubber ตรงตามสมมติฐานที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น เนื่องจากตัววงจร CD Recovery Snubber มีความสามารถในการส่งคืนค่าความสูญเสียจากตัวสวิตช์กลับสู่แหล่งจ่ายกระแสตรง จึงทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์และค่ากำลังสูญเสียในสวิตช์ ของวงจร CD Recovery Snubber มีค่าน้อยกว่า เนื่องจากพลังงานที่สูญเสียไปจึงถูกนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง และในวงจร CD Recovery Snubber ไม่มีค่าความต้านทานเป็นส่วนประกอบ ทำให้มีความสูญเสียในวงจรค่อนข้างน้อยส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีตามลำดับ ดังนั้นวงจร CD Recovery Snubber จึงเป็นตัวเลือกที่มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์เพื่อทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยในการนำวงจร CD Recovery Snubber ไปใช้งานนั้นการส่งคืนพลังงานจะมีค่ามากถ้านำไปใช้กับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำแฝงมาก เนื่องจากมีระยะจากอินเวอร์เตอร์ถึงเซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

การศึกษาและการออกแบบวงจร CD Recovery Snubber ทางคณะผู้จัดทำได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552 โดยได้ทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวงจร CD Recovery Snubber และศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส และได้ทำการออกแบบวงจร CD Recovery Snubber และจำลองการทำงานของวงจรไว้ในโปรแกรม PSpice ซึ่งก็ได้ผลที่น่าพอใจ คือวงจร CD Recovery Snubber ในแบบจำลองสามารถส่งคืนพลังงานสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ คณะผู้จัดทำจึงได้นำข้อมูลที่ได้ออกแบบจำลองวงจรในโปรแกรม PSpice จากภาคเรียนที่ 1 มาทำเป็นชิ้นงานจริงในภาคเรียนที่ 2 เพื่อพิสูจน์สมมติฐาน และผลจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSpice ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ก็แสดงให้เห็นว่า วงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งคืนพลังงานสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้จริง และยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวงจรสับเบอร์แบบเดิมอย่างวงจร RCD Snubber

วงจร CD Recovery Snubber เป็นการนำวงจรสับเบอร์แบบพาสซีฟกับวงจร Energy Recovery มาทำงานร่วมกัน โดย วงจรสับเบอร์แบบพาสซีฟจะทำหน้าที่ลดค่าความสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ ส่วนวงจร Energy Recovery จะทำหน้าที่ ส่งคืนค่าความสูญเสียเหล่านั้นกลับไปยังจุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่นั้นเอง จากผลการทดลองจะพบว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านไดโอดทำให้มีพลังงานไหลผ่านวงจร Energy Recovery และส่งพลังงานคืนกลับสู่จุดเชื่อมต่อโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ อีกทั้งในวงจร CD Recovery Snubber นั้นไม่มีค่าความต้านทานเป็นส่วนประกอบ ทำให้มีความสูญเสียในวงจรค่อนข้างน้อย และพลังงานที่สูญเสียไปนั้นยังสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง CD Recovery Snubber จึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวงจร RCD Snubber ประมาณ 3.55 เปอร์เซ็นต์

วงจร CD Recovery Snubber จึงเป็นตัวเลือกที่มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์เพื่อทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยในการนำวงจร CD Recovery Snubber ไปใช้งานนั้น การส่งคืนพลังงานจะมีค่ามากถ้านำไปใช้กับโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำแฝงมาก เนื่องจากมีระยะทางจากอินเวอร์เตอร์ถึง เซลล์แสงอาทิตย์มาก ค่าความเหนี่ยวนำแฝงเหล่านั้นจะส่งผลให้กระแสเกิดการกระเพื่อมมากขึ้นและส่งผลให้มีอัตราการส่งคืนพลังงานสูงนั่นเอง เป็นการใช้ประโยชน์จากค่าความเหนี่ยวนำแฝง ซึ่งมีอยู่ในสายไฟฟ้าทั่วไปอยู่แล้ว

5.1.1 ข้อดีของวงจร CD Recovery Snubber

- ใช้เฉพาะอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟเท่านั้น
- ไม่ต้องมีวงจรควบคุมเพิ่มเติม
- ใช้ได้กับ PWM ทุกรูปแบบ
- ใช้ประโยชน์จากตัวเหนี่ยวนำแฝง
- ลดอัตราการเปลี่ยนแปลง dv/dt และ di/dt
- ปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. วงจร CD Recovery Snubber นั้นถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงอุปกรณ์เล็กๆ แต่ก็สามารถทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นซึ่งถ้ามีการใช้งานอินเวอร์เตอร์จำนวนมากขึ้นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อยนั้นถือว่ามีส่วนต่อระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นว่าเราควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนาวงจรสแนบเบอร์ต่อไปให้ดียิ่งขึ้น

2. สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์กำลังมีความสำคัญอย่างมาก ก่อนนำไปขับสวิตช์กำลังจึงควรตรวจสอบความถูกต้องของรูปคลื่นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มอย่างละเอียด เนื่องจากสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจะส่งผลโดยตรงต่อรูปคลื่นแรงดัน และกระแสขาออก และส่งผลต่ออายุการใช้งานของสวิตช์กำลังอีกด้วย

3. การออกแบบวงจร CD Recovery Snubber มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจร CD Recovery Snubber จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยตรง ซึ่งถ้าเลือกใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ลดต่ำลงได้ ดังนั้นในการออกแบบวงจร CD Recovery Snubber ควรทำตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องการออกแบบ

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความหลากหลายในการทำงานได้ดังนี้

1. พัฒนาโดยการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมเทคนิคอื่นๆได้ เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการทำงานมากยิ่งขึ้น เนื่องจากวงจร CD Recovery Snubber สามารถใช้กับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มได้ทุกรูปแบบ
2. พัฒนาโดยการเพิ่มพิกัดกำลังของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สวิตช์กำลัง ตัวเก็บประจุ ไดโอด เพื่อให้เครื่องต้นแบบที่สร้างมีพิกัดสูงขึ้น
3. พัฒนาตัวโปรแกรม เช่น การเขียน Phase Lock Loop เพื่อให้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายของการไฟฟ้าได้



บรรณานุกรม

- [1] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications", John Wiley & Sons, 2 edition, 1995
- [2] Fang Z. Peng, Gui - Jia Su, and Leon M. Tolbert, "A Passive Soft-Switching Snubber for PWM Inverter", Vol. 19, No. 2 IEEE Transactions on Power Electronics, March, 2003.
- [3] Rudy Severns, "RCL Diode Snubber Circuit Design", Chapter 4, "Snubber Circuits for Power for Power Electronics", January , 2008
- [4] Rudy Severns, "Energy Recovery Snubber", Chapter 5, "Snubber Circuits for Power for Power Electronics", January , 2008
- [5] Yi Zhang, Saed Sobhani, and Rahul Chokhawala, "Snubber Considerations for IGBT Applications", International Rectifier



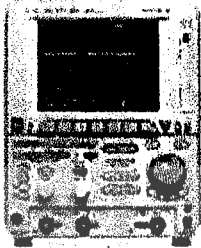
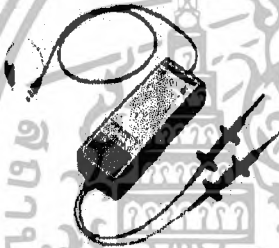


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



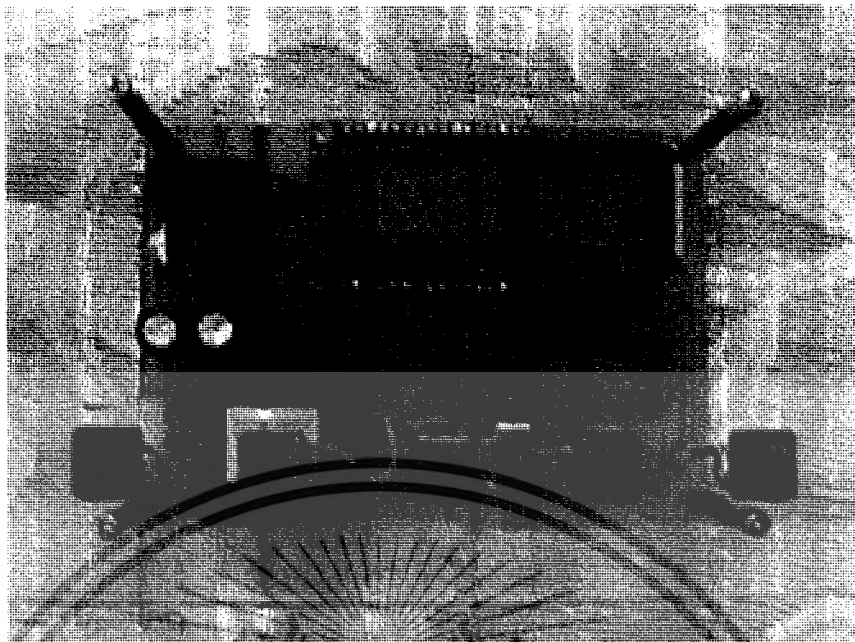
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบของปริญญาโท

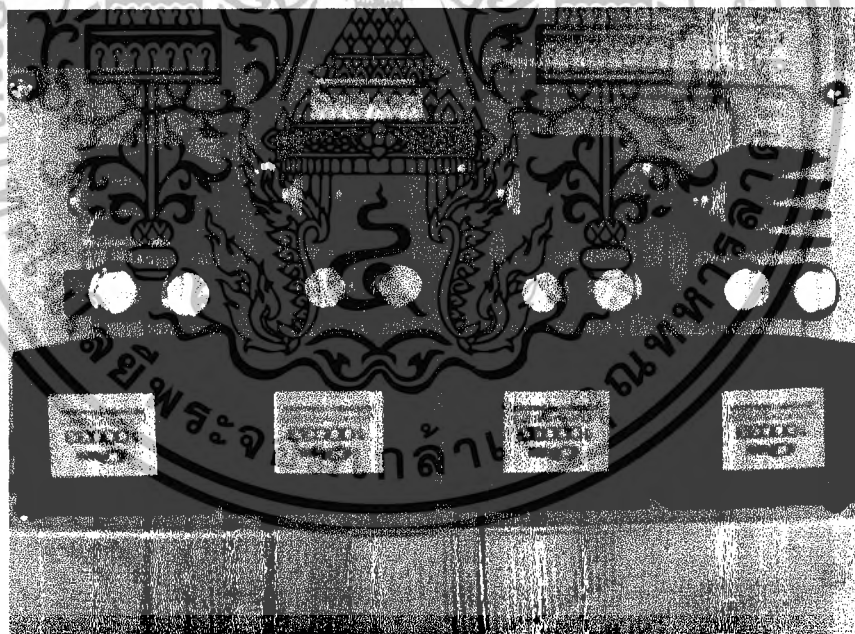
	ดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น DL 1640 16 bit 250 Ms/s 150 YOKOGAWA
	Differential Probe ใช้สำหรับวัดค่า กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า
	Multi Meter

ชิ้นงานอุปกรณ์ของปริญญาโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



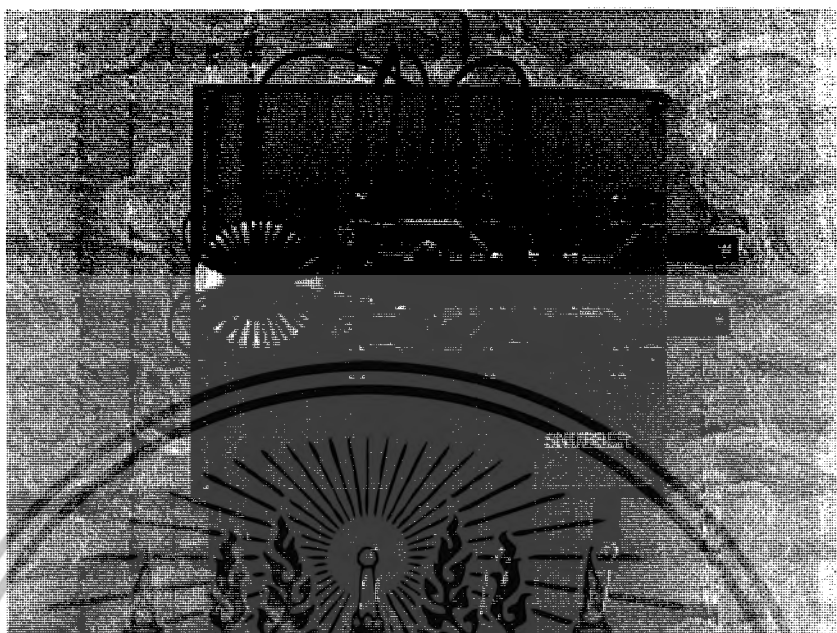
รูปภาพ PIC18F4431 ชุดสร้างสัญญาณ SPWM



รูปภาพ ชุดแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานของปริญาโท (ต่อ)



รูปภาพ วงจรง CD RECOVERY SNUBBER



รูปภาพ ชิ้นงานเมื่อนำมาประกอบสำเร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP PIC18F2331/2431/4331/4431

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology, High Performance PWM and A/D

14-bit Power Control PWM Module:

- Up to 4 channels with complementary outputs
- Edge- or center-aligned operation
- Flexible dead-band generator
- Hardware fault protection inputs
- Simultaneous update of duty cycle and period:
 - Flexible special event trigger output

Motion Feedback Module:

- Three independent input capture channels:
 - Flexible operating modes for period and pulse width measurement
 - Special Hall Sensor interface module
 - Special event trigger output to other modules
- Quadrature Encoder Interface:
 - 2 phase inputs and one index input from encoder
 - High and low position tracking with direction status and change of direction interrupt
 - Velocity measurement

High-Speed, 200 Ksps 10-bit A/D Converter:

- Up to 9 channels
- Simultaneous two-channel sampling
- Sequential sampling: 1, 2 or 4 selected channels
- Auto-conversion capability
- 4-word FIFO with selectable interrupt frequency
- Selectable external conversion triggers
- Programmable acquisition time

Flexible Oscillator Structure:

- Four crystal modes up to 40 MHz
- Two external clock modes up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user selectable frequencies: 31 kHz to 8 MHz
 - OSCTUNE can compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown of device if clock fails

Power-Managed Modes:

- Run CPU on, peripherals on
- Idle CPU off, peripherals on
- Sleep CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep current down to 0.1 μ A typical
- Timer1 oscillator, 1.8 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer (WDT), 2.1 μ A typical
- Two-Speed oscillator start-up

Peripheral Highlights:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10 bits
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-Wake-up on Start bit
 - Auto-Baud detect
- RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)

Special Microcontroller Features:

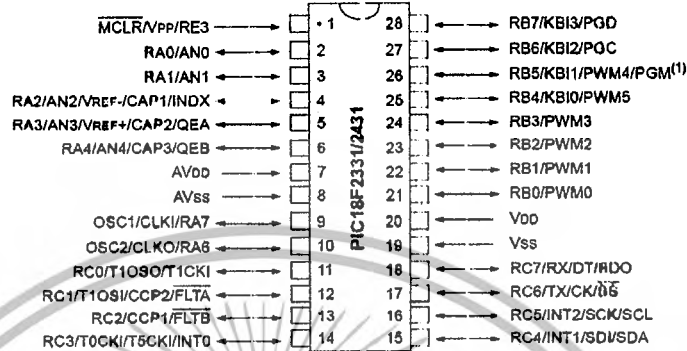
- 100,000 erase/write cycle enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: 100 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 X 8 Single-cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Single-supply In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
 - Drives PWM outputs safely when debugging

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP	SSP		USART	Quadrature Encoder	14-bit PWM (ch)	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Slave I ² C™				
PIC18F2331	8192	4096	768	256	24	6	2	Y	Y	Y	Y	6	1/3
PIC18F2431	16384	8192	768	256	24	6	2	Y	Y	Y	Y	6	1/3
PIC18F4331	8192	4096	768	256	36	9	2	Y	Y	Y	Y	8	1/3
PIC18F4431	16384	8192	768	256	36	9	2	Y	Y	Y	Y	8	1/3

PIC18F2331/2431/4331/4431

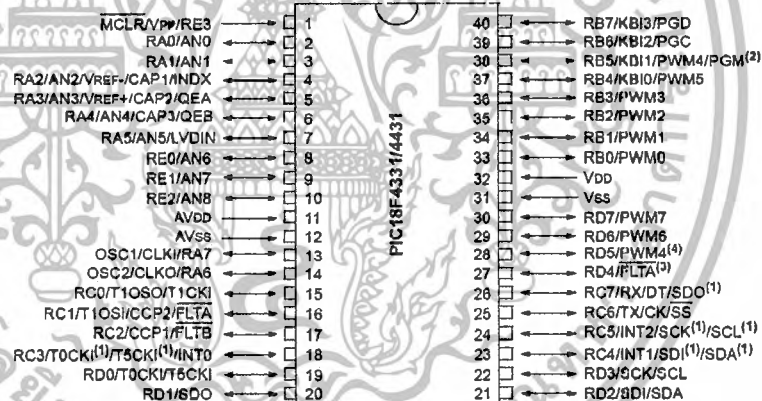
Pin Diagrams

28-Pin SDIP, SOIC



Note 1: Low-voltage programming must be enabled.

40-Pin PDIP



Note 1: RC3 is the alternate pin for T0CKI/T5CKI; RC4 is the alternate pin for SDI/SDA; RC5 is the alternate pin for SCK/SCL.

2: Low-voltage programming must be enabled.

3: RD4 is the alternate pin for FLTA.

4: RD5 is the alternate pin for PWM4.

PIC18F2331/2431/4331/4431

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F2331 • PIC18F4331
- PIC18F2431 • PIC18F4431

This family offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price, with the addition of high endurance enhanced Flash program memory and a high-speed 10-bit A/D converter. On top of these features, the PIC18F2331/2431/4331/4431 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high performance, power control and motor control applications. These special peripherals include:

- 14-bit resolution Power Control PWM Module (PCPWM) with programmable dead time insertion
- Motion Feedback Module (MFM), including a 3-channel Input Capture (IC) Module and Quadrature Encoder Interface (QEI)
- High-speed 10-bit A/D Converter (HSADC)

The PCPWM can generate up to eight complementary PWM outputs with dead-band time insertion. Overdrive current is detected by off-chip analog comparators or the digital fault inputs (FLTA, FLTB).

The MFM Quadrature Encoder Interface provides precise rotor position feedback and/or velocity measurement. The MFM 3 X input capture or external interrupts can be used to detect the rotor state for electrically commutated motor applications using Hall Sensor feedback, such as BLDC motor drives.

PIC18F2331/2431/4331/4431 devices also feature Flash program memory and an internal RC oscillator with built-in LP modes.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2331/2431/4331/4431 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled, but the peripherals are still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.

- **On-the-fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power saving ideas into their application's software design.
- **Lower Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer have been reduced by up to 80%, with typical values of 1.1 and 2.1 μ A, respectively.

1.1.2 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2331/2431/4331/4431 family offer nine different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- **Four crystal modes,** using crystals or ceramic resonators.
- **Two external clock modes,** offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O).
- **Two external RC oscillator modes,** with the same pin options as the external clock modes.
- **An internal oscillator block,** which provides an 8 MHz clock and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and VDD), as well as a range of 6 user-selectable clock frequencies (from 125 kHz to 4 MHz) for a total of 8 clock frequencies.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available. This allows for code execution during what would otherwise be the clock start-up interval, and can even allow an application to perform routine background activities and return to Sleep without returning to full power operation.

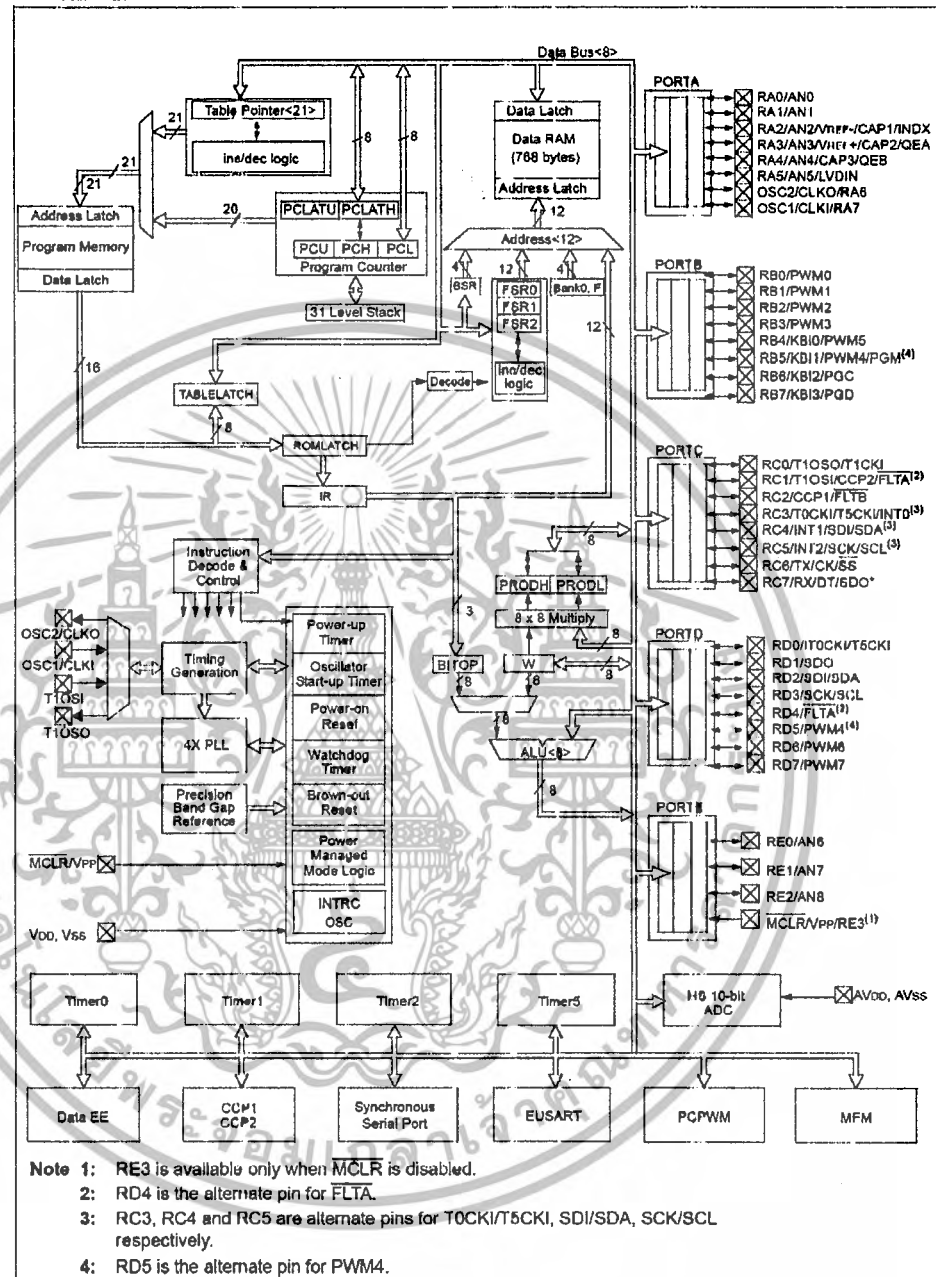
PIC18F2331/2431/4331/4431

1.2 Other Special Features

- **Memory Endurance:** The enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles – up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 100 years.
- **Self-programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine located in the protected Boot Block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Power Control PWM Module:** In PWM mode, this module provides 1, 2 or 4 modulated outputs for controlling half-bridge and full-bridge drivers. Other features include Auto-Shutdown on fault detection and Auto-Restart to reactivate outputs once the condition has cleared.
- **Enhanced USART:** This serial communication module is capable of standard RS-232 operation using the internal oscillator block, removing the need for an external crystal (and its accompanying power requirement) in applications that talk to the outside world. This module also includes auto-baud detect and LIN capability.
- **High-speed 10-bit A/D Converter:** This module incorporates Programmable Acquisition Time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated without waiting for a sampling period and thus, reducing code overhead.
- **Motion Feedback Module (MFM):** This module features a Quadrature Encoder Interface (QEI) and an Input Capture (IC) module. The QEI accepts two phase inputs (QEA, QEB) and one index input (INDX) from an incremental encoder. The QEI supports high and low precision position tracking, direction status and change of direction interrupt, and velocity measurement. The input capture features 3 channels of independent input capture with Timer5 as the time base, a special event trigger to other modules, and an adjustable noise filter on each IC input.
- **Extended Watchdog Timer (WDT):** This enhanced version incorporates a 16-bit prescaler, allowing a time-out range from 4 ms to over 2 minutes, that is stable across operating voltage and temperature.

PIC18F2331/2431/4331/4431

FIGURE 1-2: PIC18F4331/4431 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC18F2331/2431/4331/4431

TABLE 1-3: PIC18F4331/4431 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	DIP	TQFP	QFN			
RB0/PWM0 RB0 PWM0	33	8	9	I/O O	TTL TTL	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. PWM output 0.
RB1/PWM1 RB1 PWM1	34	9	10	I/O O	TTL TTL	Digital I/O. PWM output 1.
RB2/PWM2 RB2 PWM2	35	10	11	I/O O	TTL TTL	Digital I/O PWM output 2.
RB3/PWM3 RB3 PWM3	36	11	12	I/O O	TTL TTL	Digital I/O PWM output 3.
RB4/KBI0/PWM5 RB4 KBI0 PWM5	37	14	14	I/O I O	TTL TTL TTL	Digital I/O Interrupt-on-change pin. PWM output 5.
RB5/KBI1/PWM4/ PGM RB5 KBI1 PWM4 PGM	38	15	15	I/O I O I/O	TTL TTL TTL ST	Digital I/O. Interrupt-on-change pin. PWM output 4. Low-voltage ICSP programming entry pin.
RB6/KBI2/PGC RB6 KBI2 PGC	39	16	16	I/O I I/O	TTL TTL ST	Digital I/O. Interrupt-on-change pin. In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin.
RB7/KBI3/PGD RB7 KBI3 PGD	40	17	17	I/O I I/O	TTL TTL ST	Digital I/O. Interrupt-on-change pin. In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 OD = Open-Drain (no diode to V_{DD})
 CMOS = CMOS compatible input or output
 I = Input
 P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC18F2331/2431/4331/4431

TABLE 1-3: PIC18F4331/4431 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	DIP	TQFP	QFN			
RC0/T1OSO/T1CKI	15	32	34	I/O O I	ST — ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2/FLTA	16	35	35	I/O I I/O I	ST CMOS ST ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output. Fault Interrupt input pin.
RC2/CCP1/FLT $\overline{B}$	17	36	36	I/O I/O I	ST ST ST	Digital I/O. Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. Fault interrupt input pin.
RC3/T0CKI/T5CKI/INT0	18	37	37	I/O I I I	ST ST ST ST	Digital I/O. Timer0 alternate clock input. Timer5 alternate clock input. External interrupt 0.
RC4/INT1/SDI/SDA	23	42	42	I/O I I I/O	ST ST ST ST	Digital I/O. External interrupt 1. SPI Data in. I ² C Data I/O.
RC5/INT2/SCK/SCL	24	43	43	I/O I I/O I/O	ST ST ST ST	Digital I/O. External interrupt 2. Synchronous serial clock Input/output for SPI mode. Synchronous serial clock Input/output for I ² C mode.
RC6/TX/CK/SS	25	44	44	I/O O I/O I	ST — ST ST	Digital I/O. USART Asynchronous Transmit. USART Synchronous Clock (see related RX/DT). SPI Slave Select input.
RC7/RX/DT/SDO	26	1	1	I/O I I/O O	ST ST ST —	Digital I/O. USART Asynchronous Receive. USART Synchronous Data (see related TX/CK). SPI Data out.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 OD = Open-Drain (no diode to VDD)
 CMOS = CMOS compatible input or output
 I = Input
 P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC18F2331/2431/4331/4431

TABLE 1-3: PIC18F4331/4431 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	DIP	TQFP	QFN			
RD0/T0CKI/T5CKI	19	38	38	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port, or a Parallel Slave Port (PSP) for interfacing to a microprocessor port. These pins have TTL input buffers when PSP module is enabled. Digital I/O. Timer0 external clock input. Timer5 input clock.
RD0				I	ST	
T0CKI				I	ST	
T5CKI						
RD1/SDO	20	39	39	I/O	ST	Digital I/O. SPI Data out.
RD1				O	—	
SDO						
RD2/SDI/SDA	21	40	40	I/O	ST	Digital I/O. SPI Data in. I ² C Data I/O.
RD2				I	ST	
SDI				I/O	ST	
SDA						
RD3/SCK/SCL	22	41	41	I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RD3				I/O	ST	
SCK				I/O	ST	
SCL				I/O	ST	
RD4/FLTA	27	2	2	I/O	ST	Digital I/O. Fault interrupt input pin.
RD4				I	ST	
FLTA						
RD5/PWM4	28	3	3	I/O	ST	Digital I/O. PWM output 4.
RD5				O	TTL	
PWM4						
RD6/PWM6	29	4	4	I/O	ST	Digital I/O. PWM output 6.
RD6				O	TTL	
PWM6						
RD7/PWM7	30	5	5	I/O	ST	Digital I/O. PWM output 7.
RD7				O	TTL	
PWM7						

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 OD = Open-Drain (no diode to V_{DD})
 CMOS = CMOS compatible input or output
 I = Input
 P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA**TLP250**

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: $I_F = 5\text{mA (max.)}$
- Supply current (I_{CC}): 11mA (max.)
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A (max.)}$
- Switching time (t_{PLH}/t_{PHL}): $1.5\mu\text{s (max.)}$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{rms}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67849
- Option(D4)

VDE Approved : DIN EN60747-5-2

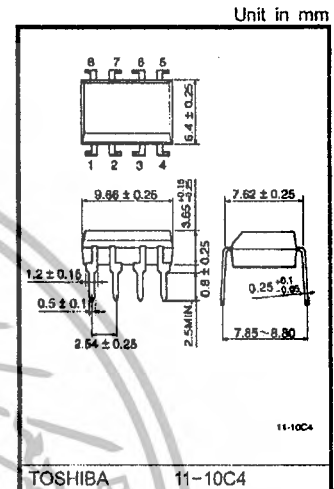
Maximum Operating Insulation Voltage : 890V_{PK}

Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

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

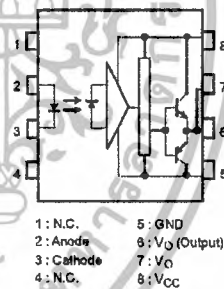
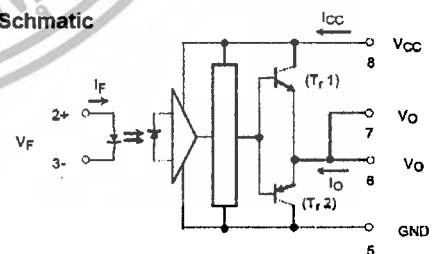
Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On



TOSHIBA 11-10C4

Weight: 0.54 g(Typ.)

Pin Configuration (top view)**Schematic**

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

TOSHIBA**TLP250****Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current	I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage	V_R	5	V
	Junction temperature	T_J	125	°C
Detector	*H*peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A
	*L*peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	V_O	35	V
			24	
	Supply voltage	V_{CC}	35	V
			24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	0.73	V / °C
	Junction temperature	T_J	125	°C
Operating frequency (Note 3)		f	25	kHz
Operating temperature range		T_{opr}	-20~85	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)		T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)		BV_S	2500	Vrms

Note 1: Pulse width $P_W \leq 1\mu s$, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$, $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

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 (Note6)	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature	T_{opr}	−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)**

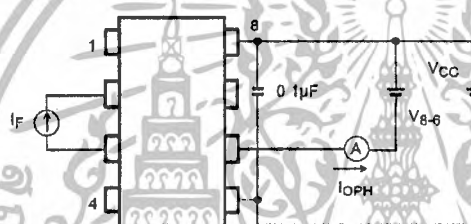
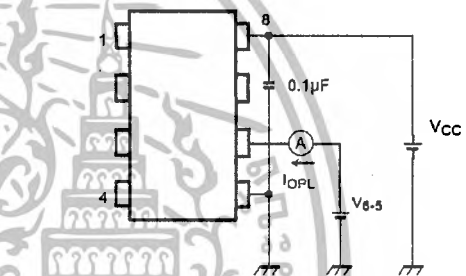
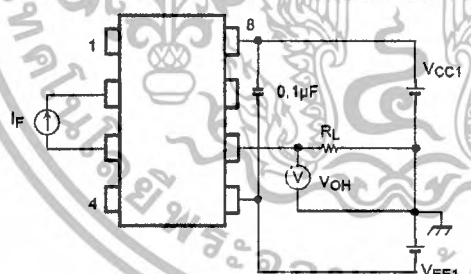
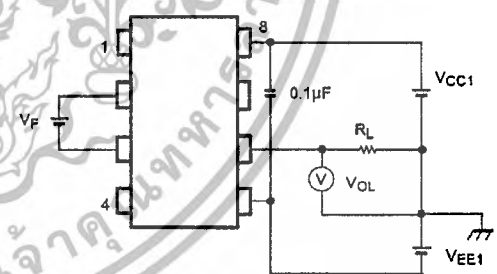
Characteristic		Symbol	Test Circ- uit	Test Condition		Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA , Ta = 25°C		—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA		—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	1	V _{CC} = 30V (*1)	I _K = 10 mA V ₈₋₆ = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _K = 0 V ₈₋₆ = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	3	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V		—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{GCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I _{GCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	V _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V , Ta = 25°C R.H.S 60%		1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

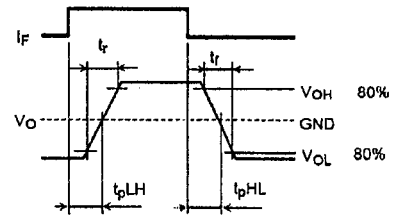
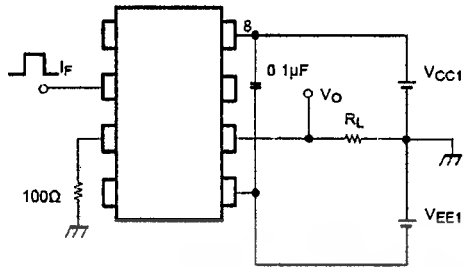
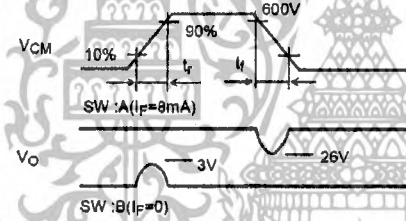
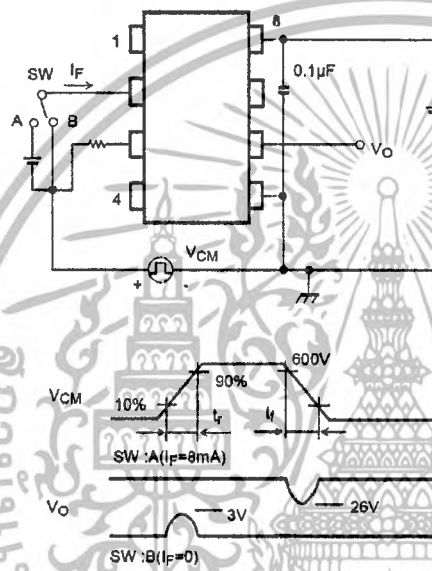
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA**TLP250****Switching Characteristics ($T_a = -20 \sim 70^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)**

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Propagation delay time	L $\rightarrow$ H	5	$I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC1} = +15\text{V}$, $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	μs
	H $\rightarrow$ L			—	0.15	0.5	
Output rise time	t_r			—	—	—	
Output fall time	t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C_{MH}	6	$V_{CM} = 800\text{V}$, $I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	5000	—	—	$\text{V} / \mu\text{s}$
Common mode transient immunity at low level output	C_{ML}		$V_{CM} = 600\text{V}$, $I_F = 0\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	5000	—	—	$\text{V} / \mu\text{s}$

All typical values are at $T_a = 25^\circ\text{C}$ Test Circuit 1 : I_{OPH} Test Circuit 2 : I_{OPL} Test Circuit 3 : V_{OH} Test Circuit 4 : V_{OL} 

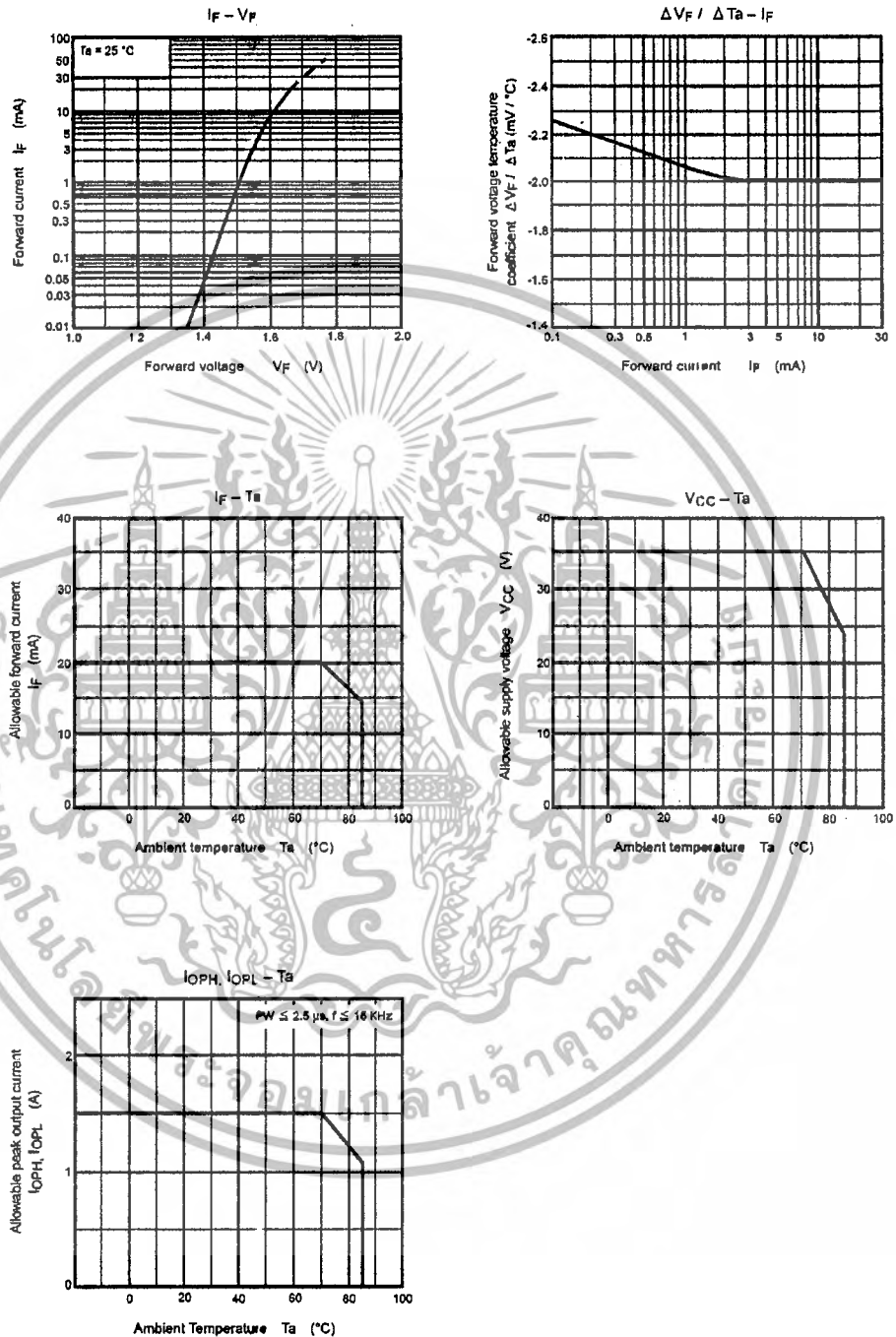
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA**TLP250**Test Circuit 5: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f Test Circuit 6: C_{MH} , C_{ML} 

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

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

$C_{ML}(C_{MH})$ 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

TOSHIBA**TLP250**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

20070701-EN

- The information contained herein is subject to change without notice.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc.
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document shall not be used or embedded to any downstream products of which manufacture, use and/or sale are prohibited under any applicable laws and regulations.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patents or other rights of TOSHIBA or the third parties.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.
- Please contact your sales representative for product-by-product details in this document regarding RoHS compatibility. Please use these products in this document in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances. Toshiba assumes no liability for damage or losses occurring as a result of noncompliance with applicable laws and regulations.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

Preferred Devices

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

This series is designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

Features

- Ultrafast 25, 50 and 75 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- Popular TO-220 Package
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- Low Forward Voltage
- Low Leakage Current
- High Temperature Glass Passivated Junction
- Reverse Voltage to 600 Volts
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics

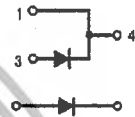
- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

ULTRAFAST RECTIFIERS 8.0 AMPERES 50-600 VOLTS



CASE 221B
TO-220AC
PLASTIC

MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- U8 = Device Code
- XX = 10, 15, 20, 40 or 60
- KA = Location Code

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2004
December, 2004 - Rev. 5

1

Publication Order Number:
MUR820/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR						Unit
		805	810	815	820	840	860	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	150	200	400	600	V
Average Rectified Forward Current Total Device, (Rated V_R), $T_C = 150^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$	A (1)						A
Peak Repetitive Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz), $T_C = 150^\circ\text{C}$	I_{FM}	16						A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	100						A
Operating Junction Temperature and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to $+175$						$^\circ\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	3.0	2.0	$^\circ\text{C/W}$
--	-----------------	-----	-----	--------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) ($I_F = 8.0$ Amps, $T_C = 150^\circ\text{C}$) ($I_F = 8.0$ Amps, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.895 0.975	1.00 1.30	1.20 1.60	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1) (Rated dc Voltage, $T_J = 150^\circ\text{C}$) (Rated dc Voltage, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_R	250 5.0	500 10		μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ Amp, $dI/dt = 50$ Amps/ μs) ($I_F = 0.5$ Amp, $I_R = 1.0$ Amp, $I_{REC} = 0.25$ Amp)	t_{rr}	35 25	60 50		ns

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
MUR805	TO-220	50 Units / Roll
MUR810	TO-220	50 Units / Roll
MUR815	TO-220	50 Units / Roll
MUR815G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Roll
MUR820	TO-220	50 Units / Roll
MUR820G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Roll
MUR840	TO-220	50 Units / Roll
MUR840G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Roll
MUR860	TO-220	50 Units / Roll
MUR860G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Roll

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820

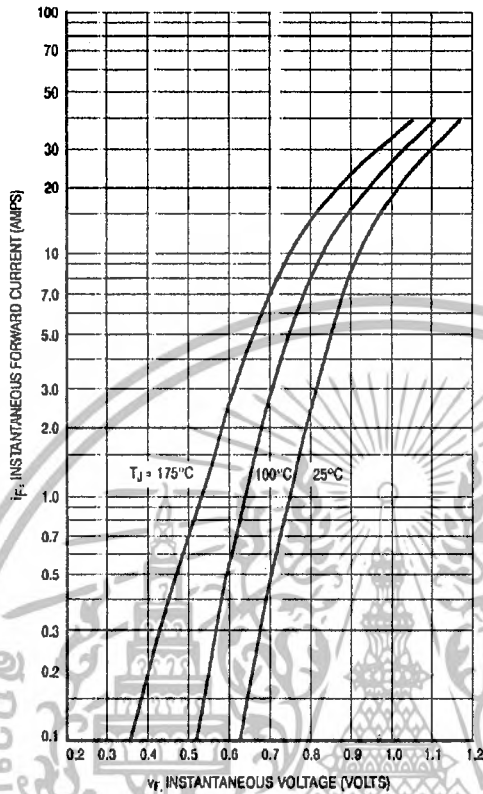


Figure 1. Typical Forward Voltage

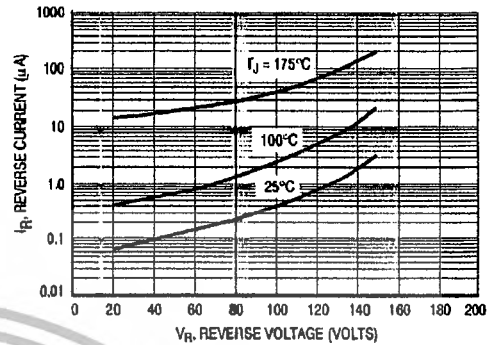


Figure 2. Typical Reverse Current*

* The curves shown are typical for the highest voltage device in the grouping. Typical reverse current for lower voltage selections can be estimated from these same curves if V_R is sufficiently below rated V_R .

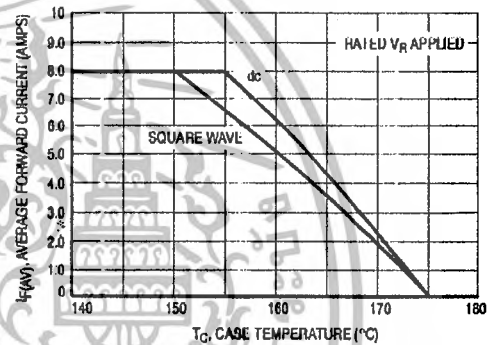


Figure 3. Current Derating, Case

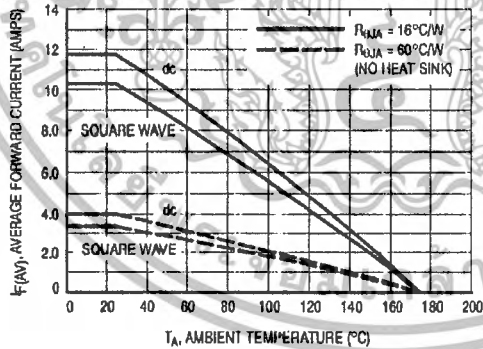


Figure 4. Current Derating, Ambient

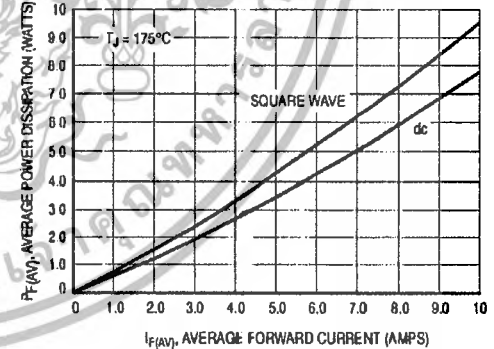


Figure 5. Power Dissipation

<http://onsemi.com>

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

MUR840

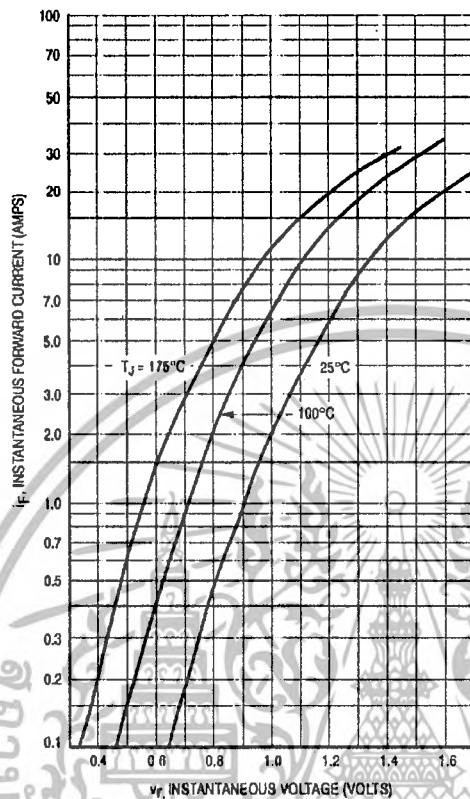


Figure 6. Typical Forward Voltage

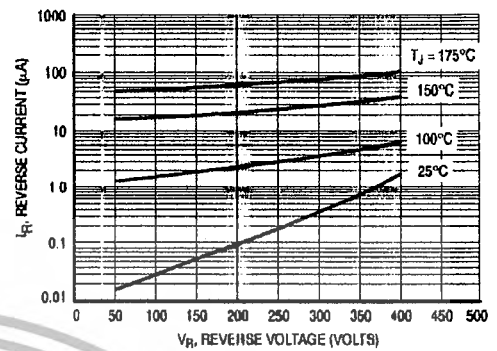


Figure 7. Typical Reverse Current*

* The curves shown are typical for the highest voltage device in the grouping. Typical reverse current for lower voltage semiconductors can be estimated from these same curves if V_R is sufficiently below rated V_R .

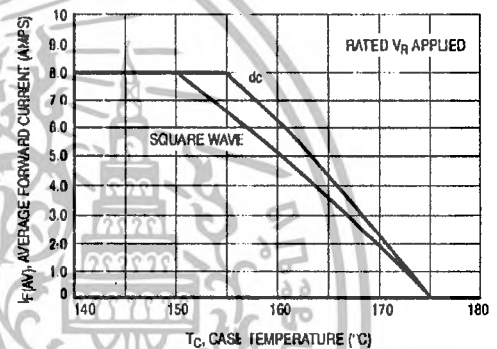


Figure 8. Current Derating, Case

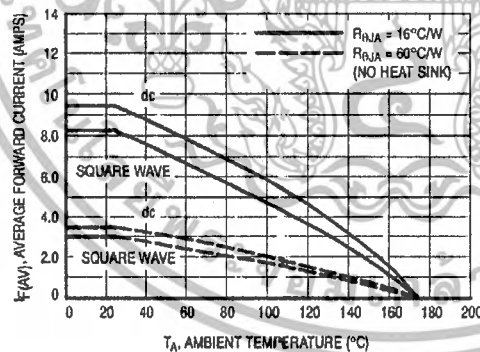


Figure 9. Current Derating, Ambient

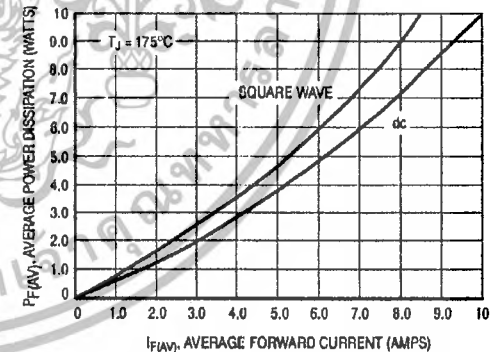


Figure 10. Power Dissipation

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

MUR860

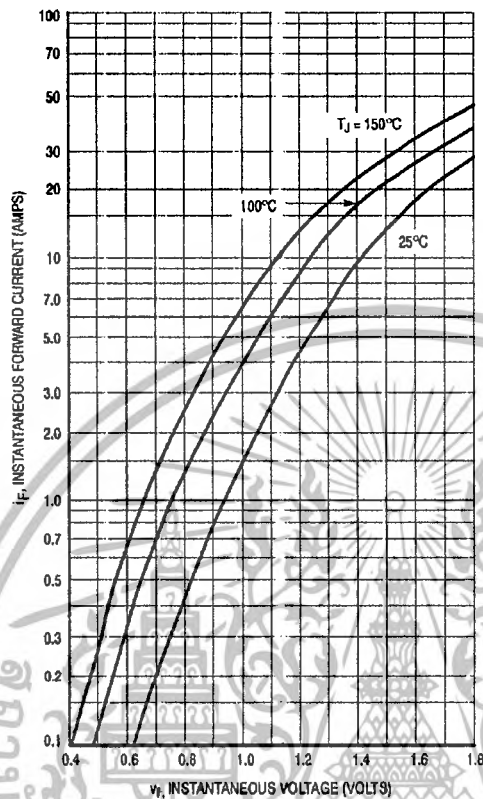


Figure 11. Typical Forward Voltage

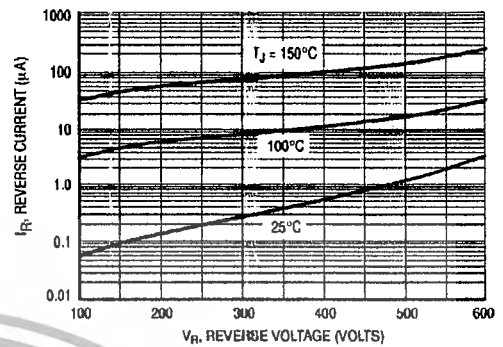


Figure 12. Typical Reverse Current*

* The curves shown are typical for the highest voltage device in the grouping. Typical reverse current for lower voltage selections can be estimated from these same curves if V_R is sufficiently below rated V_R .

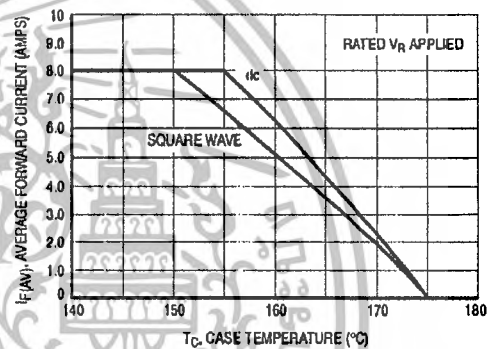


Figure 13. Current Derating, Case

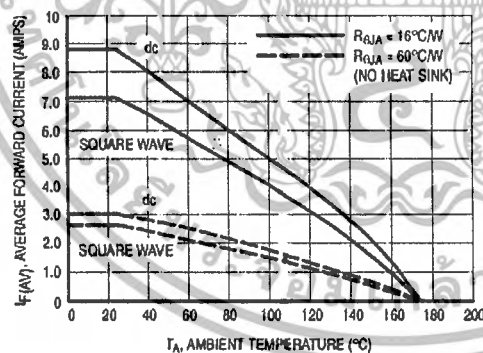


Figure 14. Current Derating, Ambient

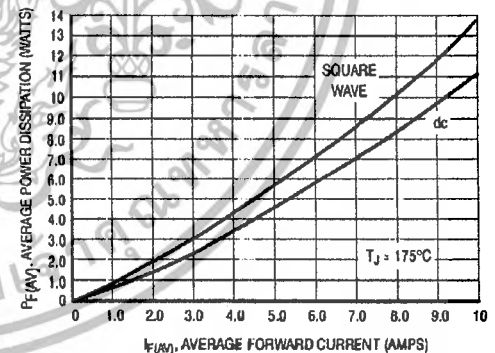


Figure 15. Power Dissipation

<http://onsemi.com>

5

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

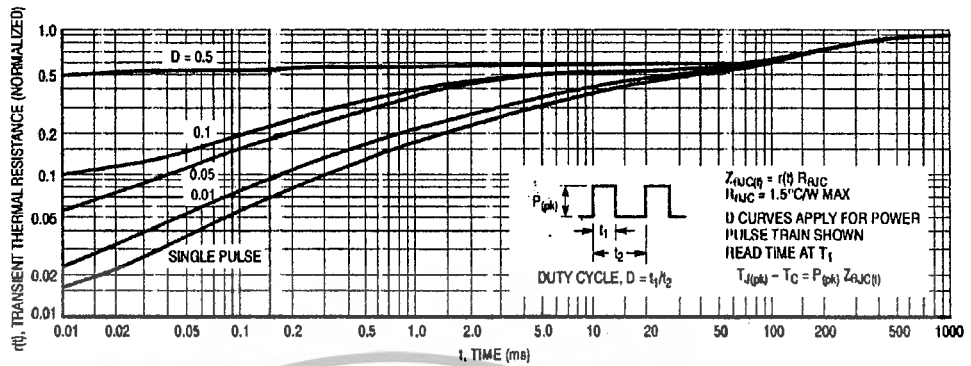


Figure 16. Thermal Response

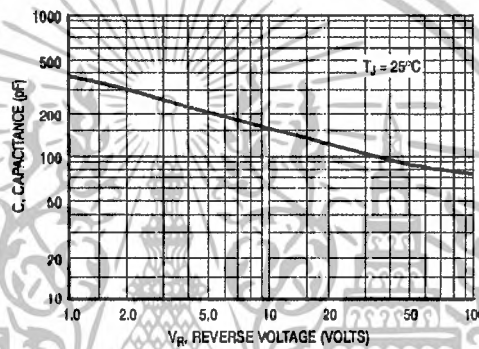
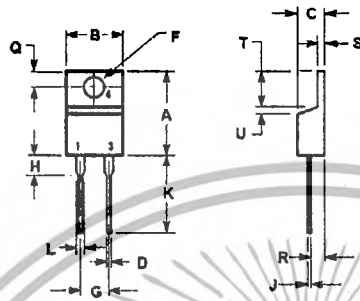


Figure 17. Typical Capacitance

MUR805, MUR810, MUR815, MUR820, MUR840, MUR860

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220 TWO-LEAD CASE 221B-04 ISSUE D



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.585	0.620	16.11	15.73
B	0.380	0.405	9.65	10.29
C	0.180	0.190	4.60	4.83
D	0.025	0.035	0.64	0.89
E	0.142	0.147	3.61	3.73
F	0.190	0.210	4.83	5.30
G	0.110	0.130	2.79	3.30
H	0.018	0.025	0.46	0.64
I	0.500	0.562	12.70	14.27
J	0.045	0.060	1.14	1.52
K	0.100	0.120	2.54	3.04
L	0.080	0.110	2.04	2.79
M	0.045	0.055	1.14	1.39
N	0.235	0.255	5.97	6.49
O	0.000	0.050	0.00	1.27

<http://onsemi.com>

7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



METALLIZED POLYPROPYLENE FILM CAPACITOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METALLIZED POLYPROPYLENE FILM CAPACITOR^{Type} MPE

Features

- With a low dissipation factor, best suited to high frequency, large current circuits.
- Excellent frequency and temperature characteristics.
- Various SMPS
- Lighting inverters
- CTV S-correction circuits
- Display monitors

Specifications

Temp range	-40 to +105°C
Rated Voltage	250V, 315V, 400V, 450V, 630V, 800V, 1000V, 1250V, 1600V.d.c
Capacitance	250V 0.010 to 10 μ F (E-24) 315V 0.010 to 4.7 μ F (E-24) 450V 0.010 to 3.3 μ F (E-24) 630V 0.010 to 2.2 μ F (E-24) 800V 0.0010 to 0.001F (E-24) 1000V 0.0010 to 0.22 μ F (E-24) 1250V 0.0010 to 0.10 μ F (E-24) 1600V 0.0010 to 0.10 μ F (E-24)
Cap. tolerance	$\pm 2\%$ (G), $\pm 3\%$ (H), $\pm 5\%$ (J), $\pm 10\%$ (K) For $\pm 2\%$ (G), Only 1250V and 1600V. For $\pm 10\%$ (K), Only 250 and 400 and 450 and 630V
Tangent of loss angle	0.0005 or less (at 1kHz)
Voltage proof	W.V. $\times$ 150% 60sec or W.V. $\times$ 175% 1 to 5sec
Insulation resistance	C $\leq$ 0.33 μ F 30,000M Ω or more C $>$ 0.33 μ F 10,000 Ω F or more (100V.d.c./1min)
Endurance	105°C W.V. $\times$ 130% 1000hr Δ C/C $\pm 5\%$ within $\tan \delta$ 0.0008 or less IR C $\leq$ 0.33 μ F 15,000M Ω or more C $>$ 0.33 μ F 5,000 Ω F or more
Damp heat	85°C, 85%RH W.V. $\times$ 100% 500hr Δ C/C 17% or less $\tan \delta$ 0.0008 or less IR C $\leq$ 0.33 μ F 5,000M Ω or more C $>$ 0.33 μ F 1,500 Ω F or more

	Straight lead type		Single formed lead type	
Style				
	* For H-dimension exceeding 70mm, 2.0mm Max			
Cap range	250V.d.c.	103~106	$F=7.5$ 103 to 913 $F=10.0$ 103 to 434 $F=12.5$ 474 to 165 $F=17.5$ 474 to 165 $F=22.5$ 185 to 335 $F=27.5$ 365 to 685 755 to 106	104 to 165 474 to 165 474 to 165 185 to 335 365 to 685 755 to 106
	315V.d.c.	103~475	$F=7.5$ 103 to 913 $F=10.0$ 103 to 304 $F=12.5$ 334 to 664 $F=17.5$ 624 to 105 $F=22.5$ 115 to 225 $F=27.5$ 245 to 475	104 to 105 334 to 105 624 to 105 115 to 225 245 to 475
	400V.d.c. 450V.d.c.	103~335	$F=7.5$ 103 to 913 $F=10.0$ 103 to 164 $F=12.5$ 184 to 434 $F=17.5$ 474 to 754 $F=22.5$ 824 to 165 $F=27.5$ 185 to 225 245 to 335	104 to 754 184 to 754 474 to 754 824 to 165 185 to 225 245 to 335
	630V.d.c.	103~225	$F=7.5$ 103 to 303 $F=10.0$ 103 to 753 $F=12.5$ 823 to 154 $F=17.5$ 304 to 754 $F=22.5$ 824 to 125 $F=27.5$ 135 to 225	333 to 274 823 to 274 164 to 274 304 to 754 824 to 125 135 to 225
	800V.d.c.	102~684	$F=7.5$ 102 to 303 $F=15.0$ 102 to 303 $F=20.0$ 333 to 104 $F=25.0$ 114 to 684	102 to 303 333 to 684
	1000V.d.c.	102~224	$F=7.5$ 102 to 303 $F=15.0$ 102 to 303 $F=20.0$ 333 to 104 $F=25.0$ 114 to 224	102 to 303 333 to 224
	1250V.d.c.	102~184	$F=7.5$ 102 to 163 $F=15.0$ 102 to 163 $F=20.0$ 183 to 513 $F=25.0$ 563 to 184	102 to 183 183 to 184
	1600V.d.c.	102~104	$F=7.5$ 102 to 912 $F=15.0$ 102 to 912 $F=20.0$ 103 to 203 $F=25.0$ 223 to 104	102 to 912 103 to 104

- Specifications of products, materials and other contents stated in the catalog are subject to change without notice.
- When using our capacitors, please consider the application contact Nissei for the any additional technical specifications relating to the limits of our performance characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METALLIZED POLYPROPYLENE FILM CAPACITOR^{Type} MPE

Dimensions(mm)

Case Code	Cap(μF)	MPE 630V.dc						MPE 800V.dc					
		W	H	T	P	F	Δd	W	H	T	P	F	Δd
102	0.0010							18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
112	0.0011							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
122	0.0012							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
132	0.0013							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
152	0.0015							18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6
162	0.0016							18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6
182	0.0018							18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
202	0.0020							18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
222	0.0022							18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6
242	0.0024							18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6
272	0.0027							18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
302	0.0030							18.5	9.5	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
332	0.0033							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
362	0.0036							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
392	0.0039							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
432	0.0043							18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
472	0.0047							18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
512	0.0051							18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
562	0.0056							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
622	0.0062							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
682	0.0068							18.5	10.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
752	0.0075							18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
822	0.0082							18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
912	0.0091							18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
103	0.010	13.0	9.0	5.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
113	0.011	13.0	9.0	5.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
123	0.012	13.0	9.0	5.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
133	0.013	13.0	9.5	5.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
153	0.015	13.0	9.5	6.0	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
163	0.016	13.0	9.5	6.0	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	10.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
183	0.018	13.0	10.0	6.0	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
203	0.020	13.0	10.0	6.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
223	0.022	13.0	10.5	6.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
243	0.024	13.0	10.5	7.0	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	12.5	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6
273	0.027	13.0	10.5	7.0	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	12.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
303	0.030	13.0	11.0	7.5	10.0	7.5/10.0	0.6	18.5	12.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
333	0.033	15.5	11.5	6.5	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	11.5	6.5	20.0	15.0/20.0	0.8
363	0.036	15.5	11.5	6.5	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	12.0	6.5	20.0	15.0/20.0	0.8
393	0.039	15.5	12.0	6.5	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	12.0	7.0	20.0	15.0/20.0	0.8
433	0.043	15.5	12.0	7.0	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	12.5	7.0	20.0	15.0/20.0	0.8
473	0.047	15.5	12.5	7.0	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	12.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
513	0.051	15.5	12.5	7.5	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	13.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
563	0.056	15.5	13.0	7.5	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	14.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
623	0.062	15.5	13.0	8.0	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	14.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
683	0.068	15.5	12.5	9.0	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	17.0	7.0	20.0	15.0/20.0	0.8
753	0.075	15.5	13.0	9.0	12.5	7.5/10.0	0.6	23.5	17.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
823	0.082	18.5	14.0	7.0	16.0	7.5/10.0/12.5	0.8	23.5	17.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8
913	0.091	18.5	14.5	7.5	16.0	7.5/10.0/12.5	0.8	23.5	18.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8
104	0.10	18.5	14.5	8.0	15.0	7.5/10.0/12.5	0.8	23.5	18.5	8.5	20.0	15.0/20.0	0.8
114	0.11	18.5	15.0	8.0	15.0	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	17.5	7.5	25.0	15.0/25.0	0.8
124	0.12	18.5	15.0	8.5	15.0	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	17.5	7.5	25.0	15.0/25.0	0.8
134	0.13	18.5	15.5	8.5	15.0	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	18.0	8.0	25.0	15.0/25.0	0.8
154	0.15	18.5	16.0	9.5	15.0	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	18.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.8
164	0.16	20.5	16.5	9.0	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	20.0	8.5	25.0	15.0/25.0	0.8
184	0.18	20.5	16.5	9.5	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	20.5	9.0	25.0	15.0/25.0	0.8
204	0.20	20.5	16.5	9.5	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	21.0	9.5	25.0	15.0/25.0	0.8
224	0.22	20.5	17.0	10.0	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	21.5	10.0	25.0	15.0/25.0	0.8
244	0.24	20.5	17.5	10.5	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	21.5	10.0	25.0	15.0/25.0	0.8
274	0.27	20.5	18.0	11.0	17.5	7.5/10.0/12.5	0.8	28.5	22.5	11.0	25.0	15.0/25.0	0.8
304	0.30	25.5	18.0	9.5	22.5	17.5	0.8	28.5	23.0	11.5	25.0	15.0/25.0	0.8
334	0.33	25.5	18.5	10.0	22.5	17.5	0.8	28.5	23.5	12.0	25.0	15.0/25.0	0.8
364	0.36	25.5	18.5	10.5	22.5	17.5	0.8	28.5	24.0	12.5	25.0	15.0/25.0	0.8
394	0.39	25.5	19.0	10.5	22.5	17.5	0.8	28.5	23.5	13.5	25.0	15.0/25.0	0.8
434	0.43	25.5	19.5	11.0	22.5	17.5	0.8	28.5	24.0	14.0	25.0	15.0/25.0	0.8
474	0.47	25.5	20.0	11.5	22.5	17.5	0.8	28.5	25.0	15.0	25.0	15.0/25.0	0.8
514	0.51	25.5	20.5	12.0	22.5	17.5	0.8	28.5	25.5	16.0	25.0	15.0/25.0	0.8
564	0.56	25.5	21.0	13.0	22.5	17.5	0.8	28.5	25.5	17.5	25.0	15.0/25.0	0.8
624	0.62	25.5	22.0	13.5	22.5	17.5	0.8	28.5	26.5	18.0	25.0	15.0/25.0	0.8
684	0.68	25.5	22.5	14.0	22.5	17.5	0.8	28.5	27.5	19.0	25.0	15.0/25.0	0.8
754	0.75	25.5	23.0	15.0	22.5	17.5	0.8						
824	0.82	31.0	23.5	13.5	27.5	22.5	0.8						
914	0.91	31.0	24.0	14.0	27.5	22.5	0.8						
105	1.0	31.0	25.0	15.0	27.5	22.5	0.8						
115	1.1	31.0	25.5	15.5	27.5	22.5	0.8						
125	1.2	31.0	26.0	16.5	27.5	22.5	0.8						
135	1.3	37.0	24.0	16.0	32.5	27.5	0.8						
155	1.5	37.0	25.5	17.0	32.5	27.5	0.8						
165	1.6	37.0	26.0	17.5	32.5	27.5	0.8						
185	1.8	37.0	26.0	19.5	32.5	27.5	0.8						
205	2.0	37.0	27.0	20.5	32.5	27.5	0.8						
225	2.2	37.0	28.0	21.0	32.5	27.5	0.8						

- Specifications of products, materials and other contents stated in the catalog are subject to change without notice.
- When using our capacitors, please consider the application contact Nissei for the any additional technical specifications relating to the limits of our performance characteristics.

※ 本カタログに掲載の仕様は、予告なく変更される場合があります。

2004-01331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

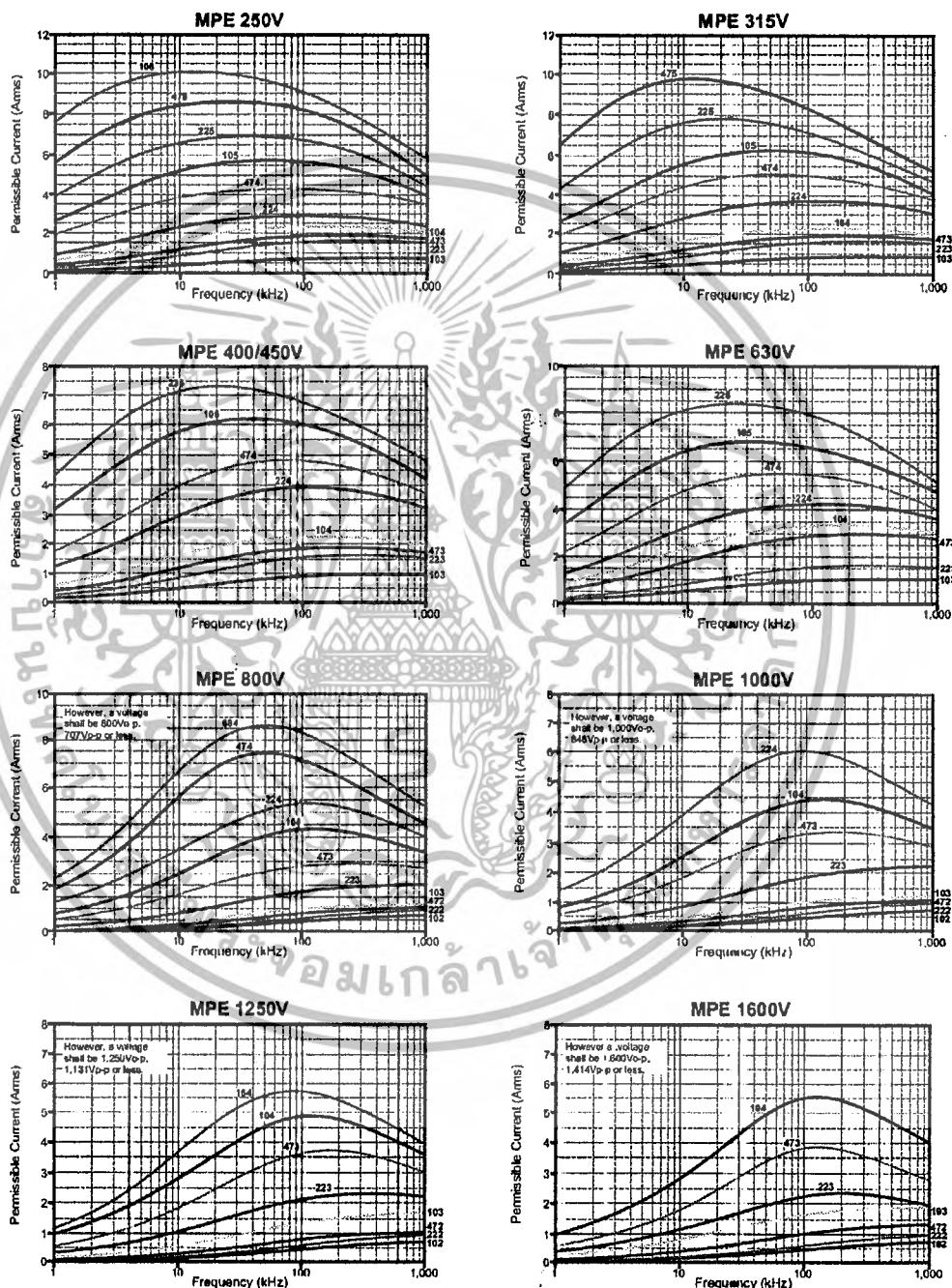
Dimensions(mm)

Generators Code	Cap(μF)	MPE 1000V.dc						MPE 1250V.dc						MPE 1600V.dc					
		W	H	T	P	F	Ad	W	H	T	P	F	Ad	W	H	T	P	F	Ad
102	0.0010	18.5	8.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
112	0.0011	18.5	0.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
122	0.0012	18.5	0.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
132	0.0013	18.5	0.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
152	0.0015	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6
162	0.0016	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6
182	0.0018	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
202	0.0020	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6
222	0.0022	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6
242	0.0024	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6
272	0.0027	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
302	0.0030	18.5	9.5	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6
332	0.0033	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
362	0.0036	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
392	0.0039	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
432	0.0043	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
472	0.0047	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
512	0.0051	18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6
562	0.0056	18.5	0.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.5	6.5	15.0	7.5/15.0	0.8
622	0.0062	18.5	0.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.8
682	0.0068	18.5	10.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	10.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.0	7.0	15.0	7.5/15.0	0.8
752	0.0075	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.8
822	0.0082	18.5	9.0	5.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.5	7.5	15.0	7.5/15.0	0.8
912	0.0091	18.5	0.6	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.5	6.5	15.0	7.5/15.0	0.8	18.5	13.0	7.5	15.0	7.5/15.0	0.8
105	0.010	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	11.5	6.5	15.0	7.5/15.0	0.8	23.5	12.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6
113	0.011	18.5	9.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.8	23.5	13.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6
123	0.012	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.0	7.0	15.0	7.5/15.0	0.8	23.5	13.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6
135	0.013	18.5	11.0	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	12.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.8	23.5	13.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6
153	0.015	18.5	11.5	6.0	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	13.0	7.0	15.0	7.5/15.0	0.8	23.5	15.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6
163	0.016	18.5	11.5	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	18.5	13.0	8.0	20.0	7.5/16.0	0.8	23.5	15.0	8.5	20.0	15.0/20.0	0.6
183	0.018	18.5	12.0	6.5	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	12.0	7.0	20.0	7.5/15.0	0.8	23.5	16.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8
203	0.020	18.5	12.0	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	12.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	17.0	8.5	20.0	15.0/20.0	0.8
223	0.022	18.5	12.5	7.0	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	13.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	15.0	8.0	25.0	15.0/25.0	0.6
243	0.024	18.5	12.5	7.5	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	13.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	15.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
273	0.027	18.5	13.0	8.0	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	13.5	7.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	17.0	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
303	0.030	18.5	13.5	8.0	15.0	7.5/15.0	0.6	23.5	16.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	18.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
333	0.033	23.5	14.5	7.0	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	16.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	20.0	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
363	0.036	23.5	14.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	16.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	20.0	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
393	0.039	23.5	15.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	16.5	8.5	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	21.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.6
433	0.043	23.5	14.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	19.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	22.0	9.0	25.0	15.0/25.0	0.6
473	0.047	23.5	14.5	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	19.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	22.5	9.5	25.0	15.0/25.0	0.6
513	0.051	23.5	16.0	7.5	20.0	15.0/20.0	0.6	23.5	20.0	8.5	20.0	15.0/20.0	0.8	23.5	23.0	10.0	25.0	15.0/25.0	0.6
563	0.056	23.5	16.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6	26.5	19.0	7.5	20.0	15.0/25.0	0.8	23.5	23.5	10.0	25.0	15.0/25.0	0.6
623	0.062	23.5	16.5	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6	26.5	19.5	8.0	20.0	15.0/25.0	0.8	23.5	24.0	11.0	25.0	15.0/25.0	0.6
683	0.068	23.5	11.0	8.0	20.0	15.0/20.0	0.6	28.5	21.0	8.0	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	24.5	11.5	25.0	15.0/25.0	0.6
753	0.075	23.5	16.5	8.5	20.0	15.0/20.0	0.6	28.5	21.5	8.0	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	25.0	12.0	25.0	15.0/25.0	0.6
823	0.082	23.5	16.5	9.0	20.0	15.0/20.0	0.6	28.5	21.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	25.5	12.5	25.0	15.0/25.0	0.6
913	0.091	23.5	19.0	9.0	20.0	15.0/20.0	0.6	28.5	22.0	9.0	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	26.5	13.0	25.0	15.0/25.0	0.6
104	0.10	23.5	19.5	9.5	20.0	15.0/20.0	0.6	28.5	22.5	9.5	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	27.0	14.0	25.0	15.0/25.0	0.6
114	0.11	28.5	16.5	8.5	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	23.0	10.0	25.0	15.0/25.0	0.8						
124	0.12	28.5	18.0	9.0	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	23.5	10.5	25.0	15.0/25.0	0.8						
134	0.13	28.5	19.0	9.5	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	24.0	11.0	25.0	15.0/25.0	0.8						
164	0.15	28.5	20.0	10.0	25.0	15.0/25.0	0.8	28.5	24.5	11.5	25.0	15.0/25.0	0.8						
184	0.16	28.5	21.0	9.5	26.0	15.0/25.0	0.8	28.5	25.0	12.0	25.0	15.0/25.0	0.8						
184	0.18	28.5	22.0	10.5	26.0	15.0/25.0	0.8	26.5	26.0	13.0	26.0	15.0/25.0	0.8						
204	0.20	28.5	22.5	11.0	25.0	15.0/25.0	0.8												
224	0.22	28.5	23.0	11.5	25.0	15.0/25.0	0.8												

- Specifications of products, materials and other contents stated in the catalog are subject to change without notice.
- When using our capacitors, please consider the application contact Nissei for the any additional technical specifications relating to the limits of our performance characteristics.

METALLIZED POLYPROPYLENE FILM CAPACITOR^{Type} MPE

Characteristics of permissible current to frequency

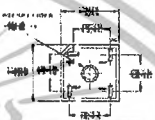
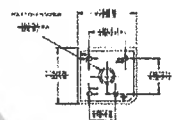
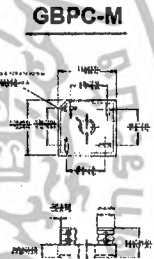


- Specifications of products, materials and other contents stated in the catalog are subject to change without notice.
- When using our capacitors, please consider the application contact Nissei for the any additional technical specifications relating to the limits of our performance characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



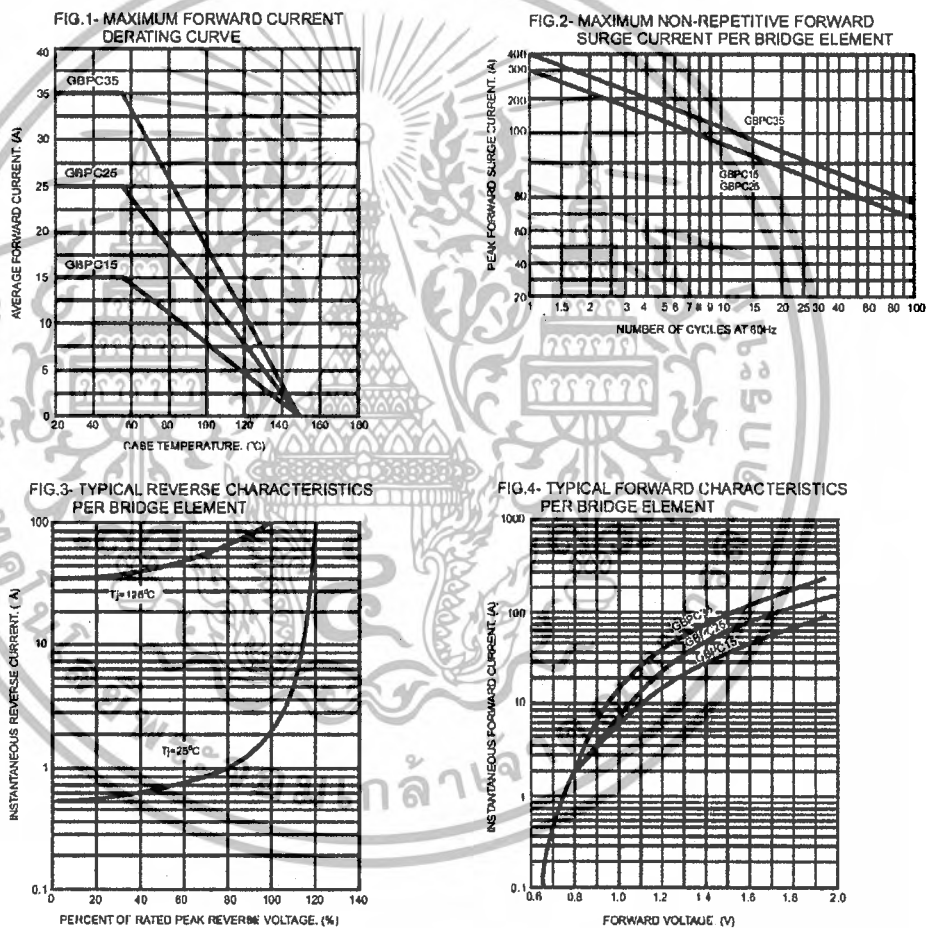
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		GBPC 15, 25, 35 SERIES											
		High Current 15, 25, 35 AMPS. Single Phase Glass Passivated Bridge Rectifiers											
		Voltage Range 50 to 1000 Volts Current 15.0/25.0/35.0 Amperes											
Features - UL Recognized file # E-96005 - The plastic material used carries Underwriters Laboratory Flammability Recognition 94V-0 - Integrally molded heatsink provide very low thermal resistance for maximum heat dissipation - Surge overload ratings from 300 amperes to 400 amperes - Terminals solderable per MIL-STD-202, Method 208 (For wire type) - Typical I_R less than 0.2 uA - High temperature soldering guaranteed: 260°C / 10 seconds / .375" (9.5mm) lead lengths (For wire type) - Isolated voltage from case to lead over 2500 volts		GBPC 		GBPC-W 		GBPC-M 							
		Dimensions in Inches and (millimeters)											
Maximum Ratings and Electrical Characteristics Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 HZ, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%													
Type Number		Symbol	-005	-01	-02	-04	-06	-08	-10	Units			
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage		V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V			
Maximum RMS Voltage		V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V			
Maximum DC Blocking Voltage		V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V			
Maximum Average Forward Rectified Current GBPC15 GBPC25 GBPC35 @ $T_C = 55^\circ C$		I_{AV}	15.0 25.0 35.0				A						
Peak Forward Surge Current, Single Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)		I_{FSM}	300 300 400				A						
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop Per Element at Specified Current GBPC15 7.5A GBPC25 12.5A GBPC35 17.5A		V_F	1.1				V						
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage Per Element		I_R	5				uA						
Typical Thermal Resistance (Note 1)		$R_{\theta JC}$	1.5				°C/W						
Operating and Storage Temperature Range		T_J, T_{STG}	-50 to +150				°C						
Notes: 1. Thermal Resistance from Junction to Case. 2. Suffix "W" - Wire Lead Structure/"M" - Terminal Location Face to Face.													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



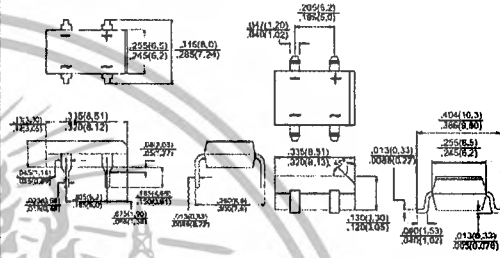
RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (GBPC15005 THRU GBPC3510)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSC DB		DB101G THRU DB107G Single Phase 1.0 AMP. Glass Passivated Bridge Rectifiers	
		Voltage Range 50 to 1000 Volts Current 1.0 Ampere	
Features - UL Recognized File # E-96005 - Ideal for printed circuit board - Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique - High temperature soldering guaranteed: 250°C / 10 seconds / 0.375" (9.5mm) lead length at 5 lbs., (2.3 kg) tension - Small size, simple installation - Leads solderable per MIL-STD-202, Method 208 - High surge current capability		DB DBS  Dimensions in inches and (millimeters)	
Maximum Ratings and Electrical Characteristics Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%			
Type Number		DB101GDB102GDB103GDB104GDB105GDB106GDB107G DBSDBSDBSDBSDBSDBSDBS 101G102G103G104G105G106G107G	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage		501002004006008001000 V	
Maximum RMS Voltage		3570140280420560700 V	
Maximum DC Blocking Voltage		501002004006008001000 V	
Maximum Average Forward Rectified Current @ T_A = 40°C		1.0 A	
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)		50 A	
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 1.0A		1.1 V	
Maximum DC Reverse Current @ T_A=25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T_A=125°C		10500 uAuA	
Operating Temperature Range T_J		-55 to +150 °C	
Storage Temperature Range T_{STG}		-55 to +150 °C	
Note: DBS for Surface Mount Package.			

Note: DBS for Surface Mount Package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (DB101G THRU DB107G)

FIG.1- MAXIMUM DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

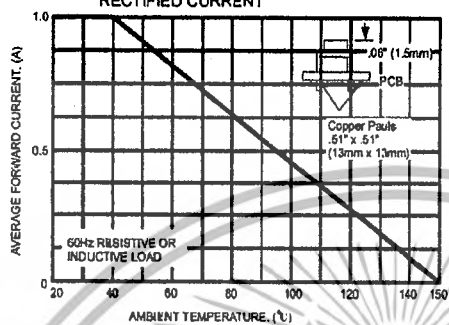


FIG.2- MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

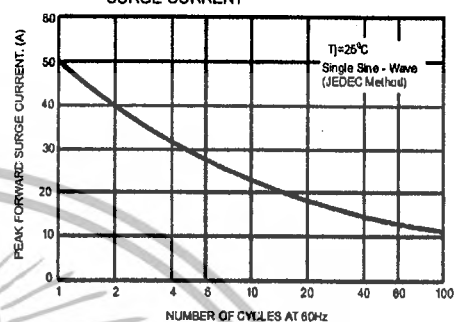


FIG.3- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

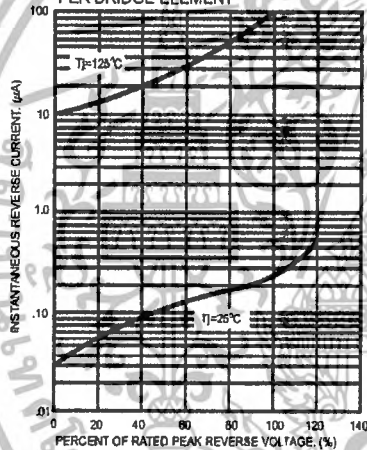


FIG.4- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

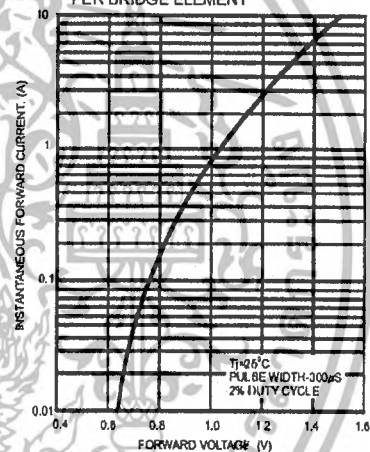
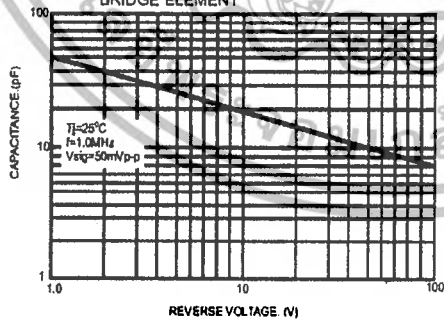


FIG.5- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE PER BRIDGE ELEMENT





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



L7800 SERIES

POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-220FM, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

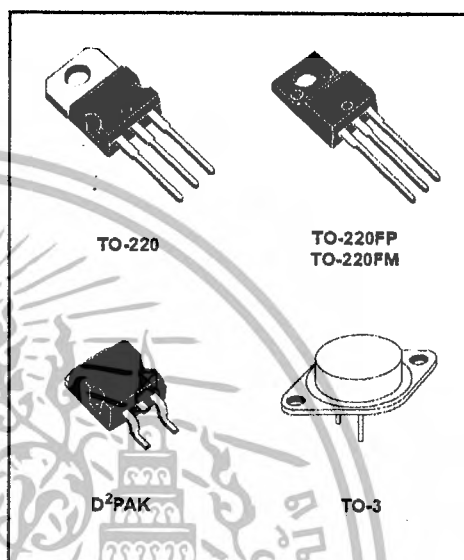
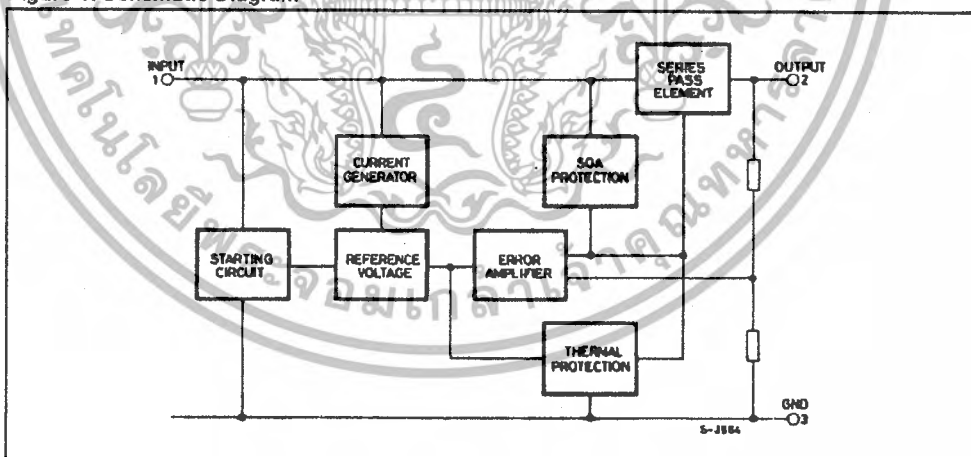


Figure 1: Schematic Diagram



November 2004

Rev. 12

1/34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L7800 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

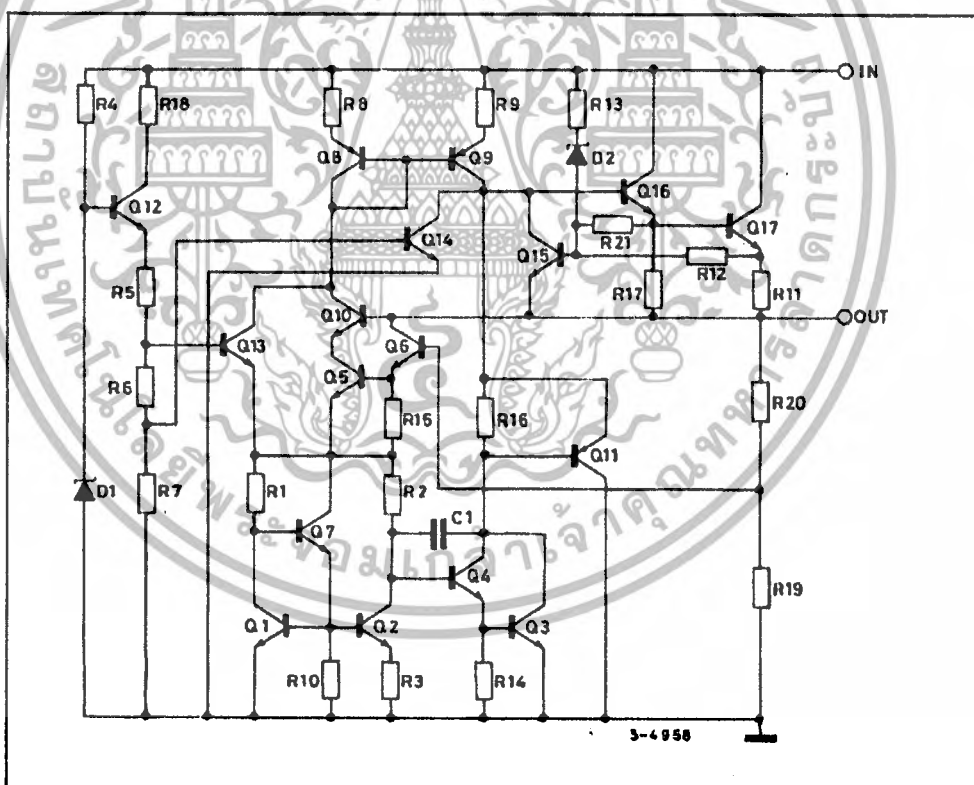
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input Voltage	for $V_O = 5$ to 18V	35	V
		for $V_O = 20, 24$ V	40	
I_O	Output Current		Internally Limited	
P_{tot}	Power Dissipation		Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal Data

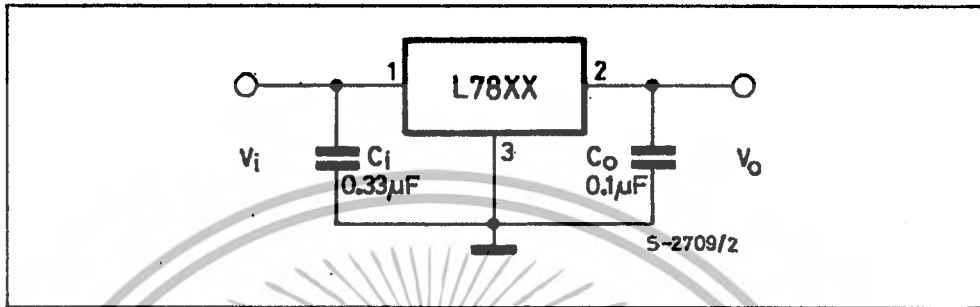
Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-220FM	TO-3	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	5	4	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	60	35	°C/W

Figure 2: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Figure 4: Application Circuits



TEST CIRCUITS

Figure 5: DC Parameter

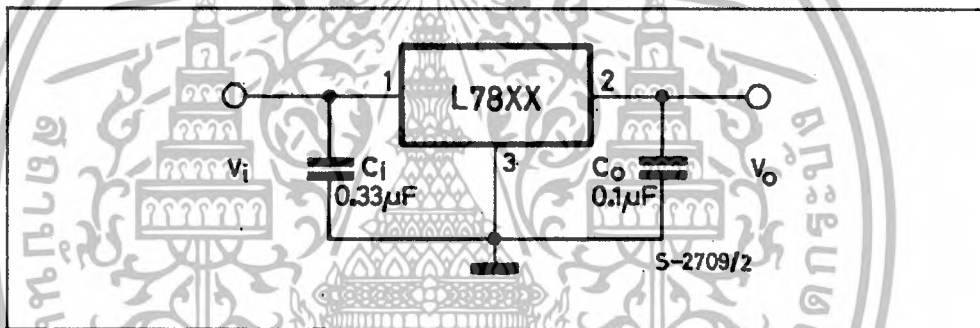
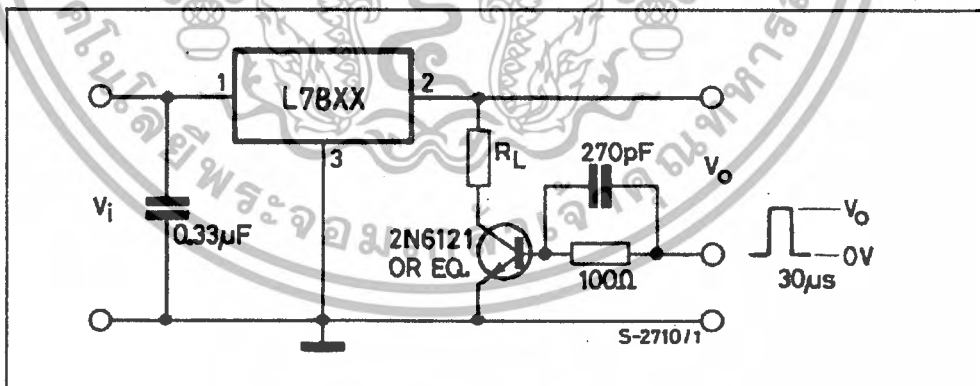


Figure 6: Load Regulation



L7800 SERIES

Figure 7: Ripple Rejection

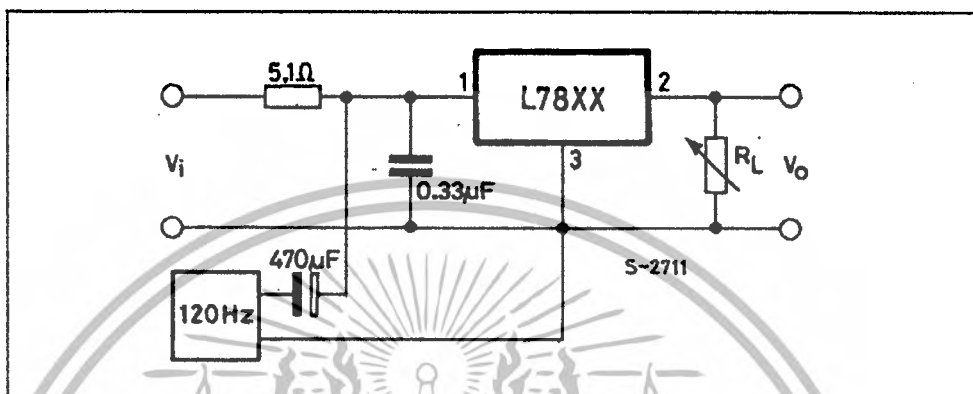


Table 4: Electrical Characteristics Of L7805 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8\text{ to } 20\text{V}$	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O^{(*)}$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to } 25\text{V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8\text{ to } 12\text{V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O^{(*)}$	Load Regulation	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ $V_I = 8\text{ to } 25\text{V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to } 18\text{V}$ $f = 120\text{Hz}$	68			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{KHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

L7800 SERIES

Table 7: Electrical Characteristics Of L7812 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 15.5\text{ to }27\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = 16\text{ to }22\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 15\text{ to }30\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	61			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 8: Electrical Characteristics Of L7815 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 23\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 18.5\text{ to }30\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			75	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			75	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 18.5\text{ to }30\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	60			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

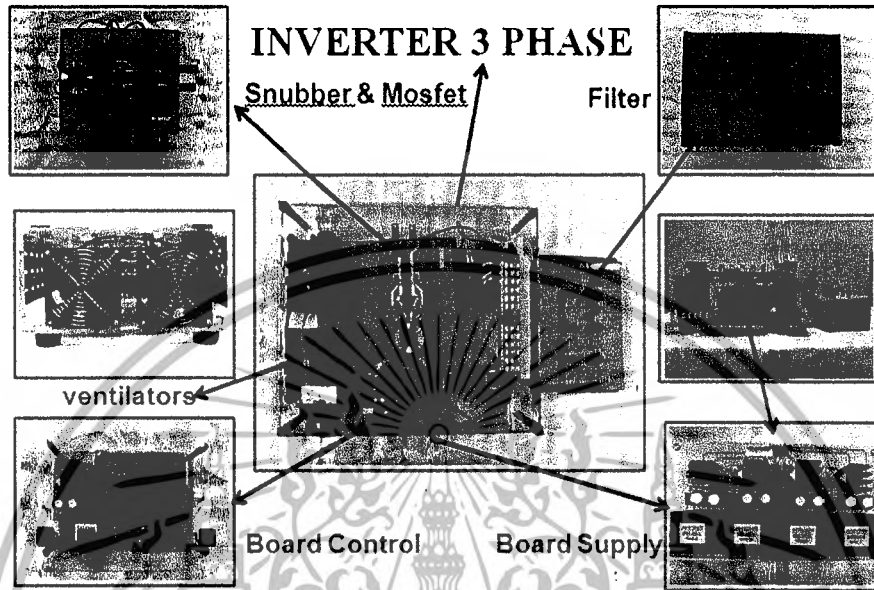


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสับเบอร์ดแบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์

เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

Energy recovery snubber for high efficiency grid connected inverters



คณะผู้จัดทำโครงงาน



นายเบญจรัฐ นารณเมธี รหัส 49010512

E-mail : zoom_to_ben@hotmail.com

Tel : 0866095654



นายปรเมศร์ เชื้อนันไชย รหัส 49010531

E-mail : ppkdek_bannok@hotmail.com

Tel : 0895617894



นายปริญญา กิจพ้อคำ รหัส 49010553

E-mail : hadchou@hotmail.com

Tel : 0851487973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร snubber แบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์

เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

Energy recovery snubber for high efficiency grid connected inverters

เบญจรัฐ นารณเมธี, ปรมินทร์ เชื้อนันทไชย และ ปริญญากิจ กิจพ้อคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ที่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 0-2739-2478

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ด้วยการใช้วงจร snubber ซึ่งวงจร snubber โดยปกติจะเก็บสะสมความสูญเสียสวิตชิง ไว้ในตัวต้านทานที่ซึ่งเป็นความสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นประสิทธิภาพจะลดลง ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขโดยใช้เทคนิค CD recovery snubber โดยที่วงจร CD recovery snubber สามารถนำพลังงานส่งคืนสู่วงจรเชื่อมโยงไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ได้ด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยได้นำเสนอเทคนิคดังกล่าวด้วยการจำลองโดยโปรแกรม Pspice และสร้างเครื่องต้นแบบขนาด 1 kW เพื่อพิสูจน์ตามทฤษฎีดังกล่าว

คำสำคัญ : วงจร snubber แบบคืนพลังงาน, อินเวอร์เตอร์

Abstract

This paper presents a high efficiency inverter by modifying snubber circuit. A snubber circuit normally stores the switching losses in the resistor considering as the losses in the inverter so that the efficiency will not improve. CD recovery technique can solve this problem because the CD recovery technique can provide the energy back to the dc-link of the inverter; this will improve the inverter efficiency. The proposed technique is simulated by Pspice and the 1 kW prototype is also developed to validate the proposed idea.

Keywords : CD recovery snubber, inverters

1. บทนำ

การใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะนิยมใช้แหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น ภาคอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมเพื่อให้การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงมีสถานะการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการบกพร่องระบบไฟฟ้าข้างเคียง ดังนั้นการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้จึงมีบทบาทสำคัญมากขึ้น การใช้งาน

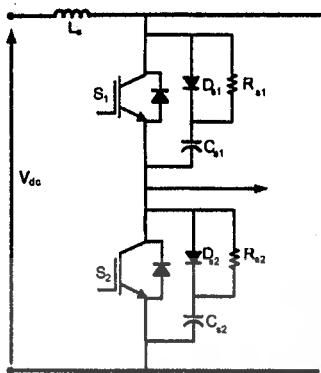
อินเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อที่จะสามารถนำพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ก็มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ในการวิจัยนี้จะใช้วงจร snubber ซึ่งถูกออกแบบให้ลดทอนรูปคลื่นของสัญญาณที่เกิดจากการสวิตชิง เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่ตัวสวิตช์มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

วงจร snubber ทำหน้าที่ในการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการสวิตชิงที่ตัวสวิตช์และป้องกันการสวิตช์จากความเครียดที่เกิดจากแรงดันและกระแส (voltage and current stress) ซึ่งป้องกันโดยจะจำกัดระดับแรงดันและกระแสเอาไว้ในระดับที่ต้องการ และที่สำคัญกว่านั้นก็คือ วงจร snubber จะสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวสวิตช์ ซึ่งจะหมายถึงลดความถี่ของการระบายความร้อนสำหรับตัวต้านทานที่ต่ำกว่าสวิตช์มาก โดยได้เสนอหลักการใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ร่วมกับไดโอด เพื่อลดผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแส (di/dt) กับ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (dv/dt) [1], [2] โดยทั่วไปวงจร snubber ที่นิยมใช้จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ วงจร snubber แบบแอคทีฟ และวงจร snubber แบบพาสซีฟ โดยในการวิจัยนี้จะเลือกใช้ snubber แบบพาสซีฟ ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้งานง่าย ราคาอุปกรณ์ไม่สูง สามารถหาซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ได้ง่าย และการควบคุมไม่ซับซ้อน เพราะสามารถใช้กับสัญญาณ PWM ได้ทุกรูปแบบ

ในโครงการวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่า วงจร CD recovery snubber ซึ่งเป็นวงจร snubber มีความเหมาะสมที่จะทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความน่าเชื่อถือ ทนทานต่อการใช้งาน สามารถลดค่าความเครียดในอุปกรณ์สวิตชิงขณะเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส รวมทั้งยังสามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่ DC-LINK ได้ ซึ่งจะส่งผลให้การใช้กำลังไฟฟ้าโดยรวมดีขึ้นเมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจร CD recovery snubber เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2. การเปรียบเทียบทางทฤษฎี

2.1 วงจร RCD snubber

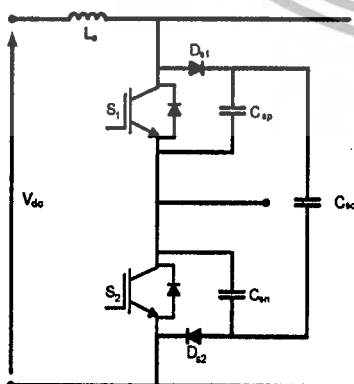


รูปที่ 1 วงจร RCD snubber

วงจร RCD snubber สามารถลดค่าความสูญเสียที่สวิตช์ขณะเริ่มนำกระแสได้ โดยในวงจรจะมีค่าความเหนี่ยวนำแฝงของตัวนำ L_s ค่อยๆเพิ่มกับตัวสวิตช์ ซึ่งจะเพิ่มที่ค่าความเค้นการเปลี่ยนแปลงของกระแส ขณะที่สวิตช์เริ่มนำกระแส ทำให้ค่าความเค้นที่ตัวสวิตช์ลดลง และสามารถลดค่าความสูญเสียที่สวิตช์ขณะเริ่มนำกระแสได้ โดยการลดแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ (V_{CE}) ซึ่งเกิดจากการชาร์จและคายประจุของตัวเก็บประจุ โดยมีหลักการคือ ในขณะที่สวิตช์เริ่มนำกระแสขึ้น แรงดันตกคร่อมสวิตช์ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงดันตกคร่อมสวิตช์ มีค่ามากกว่าแรงดันแหล่งจ่ายกระแสตรง (V_{dc}) ไดโอด D_1 ก็จะนำกระแส ทำให้แรงดันไปตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุแทน ค่าความสูญเสียจึงมีค่าลดลง

2.2 วงจร CD Recovery snubber

หลักการทำงานของวงจร CD Recovery snubber คือเมื่อสวิตช์ตัวบน S_1 หยุดนำกระแส สวิตช์ตัวล่าง S_2 ก็จะเริ่มนำกระแส แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันทีทันใด เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแฝง L_s หนึ่งกระแสเอาไว้ ทำให้กระแสบางส่วนไปผ่านไดโอด D_1 และชาร์จเข้าไปในตัวเก็บประจุ C_1 ส่วนสวิตช์ตัวล่าง S_2 ประจุที่อยู่ใน C_2 ก็จะคาย



รูปที่ 2 วงจร CD Recovery snubber

ตัวเก็บประจุตัวใหญ่ C ถ้ามีการนำกระแสหยุดนำกระแสของสวิตช์ต่อไปก็จะมีกระแสประจุเข้าไปในตัวเก็บประจุตัวใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งถ้าค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุตัวใหญ่ มีค่ามากกว่า แรงดันแหล่งจ่ายกระแสตรง ก็จะมีการส่งคืนพลังงานคืนสู่แหล่งจ่าย [3] ตามรูปวงจรที่ 3 ซึ่งจากข้อมูลข้างต้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า วงจร CD Recovery snubber น่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่า วงจร RCD snubber เราสามารถคำนวณค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการ

$$C_{s1} = C_{s2} = \frac{L_s \cdot I_o^2}{(V_{pk} - V_{dc})^2} \quad (1)$$

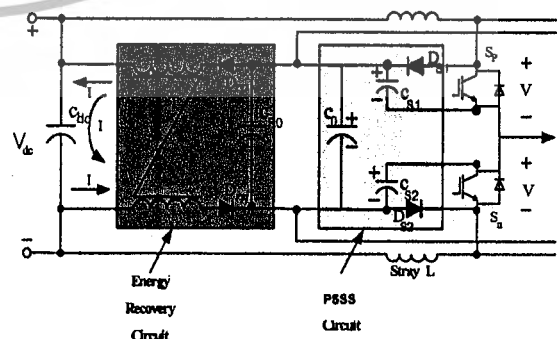
เมื่อ C_{s1} และ C_{s2} คือ ค่าตัวเก็บประจุในวงจร snubber
 V_{pk} คือ ค่าแรงดันสูงสุดของแรงดัน V_{CE}
 V_{dc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่านินท
 L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำแฝงของตัวนำ
 I_o คือ ค่ากระแสที่สวิตช์สูงสุด
 ค่าความสูญเสียในวงจร CD Recovery snubber สามารถหาได้จากสมการ

$$P_R = [(6 \times C \times V_c^2) + (4.3 \times L_s \times I_{Lrms}^2)] \times f_{sw} \quad (2)$$

เมื่อ I_{Lrms} คือ ค่ากระแส rms ที่ตัวเหนี่ยวนำ
 C คือ ค่าตัวเก็บประจุของแต่ละสวิตช์
 V_c คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุตัวใหญ่
 สามารถคำนวณประสิทธิภาพของวงจร snubber ได้ดังสมการ

$$\eta = 1 - \frac{P_{loss}}{P_R} \quad (3)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของวงจร snubber
 P_{loss} คือ ค่าความสูญเสียของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง



รูปที่ 3 วงจร CD snubber และวงจร Energy Recovery [4]

3. การจำลองโดยโปรแกรม Pspice

จากแบบจำลองการการใช้วงจร CD Recovery Snubber ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม PSpice จะเห็นได้ว่าวงจร CD Recovery Snubber สามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่ DC-LINK ได้ โดยเราสามารถทราบได้โดยสังเกตการนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวบน (D_{on}) ซึ่งเราจะพบว่าเมื่อสวิตช์ Turn - off และ Turn - on จะมีการนำกระแสของไดโอดเกิดขึ้นตามรูปที่ 4 และ 5 แสดงว่ามีการส่งพลังงานกลับคืนสู่ DC-LINK

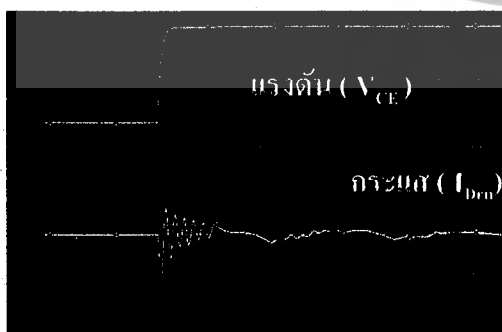
ส่วนการนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวล่าง (D_{on}) จะมีการนำกระแสเมื่อสวิตช์ Turn - off และ Turn-on ดังรูปที่ 6 และ 7



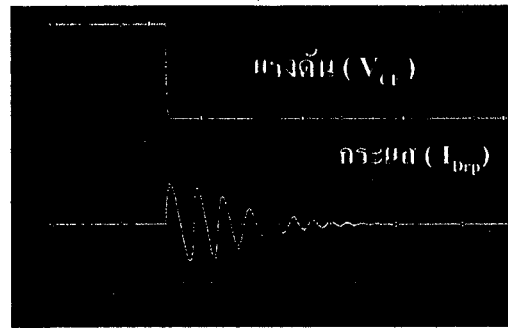
รูปที่ 4 การนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวบน (D_{on}) เมื่อสวิตช์ Turn-off



รูปที่ 5 การนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวบน (D_{on}) เมื่อสวิตช์ Turn - on



รูปที่ 6 การนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวล่าง (D_{on}) เมื่อสวิตช์ Turn - off



รูปที่ 7 การนำกระแสของไดโอดรีโคโนเวอร์รีตัวล่าง (D_{on}) เมื่อสวิตช์ Turn - on

4. ผลการทดลอง

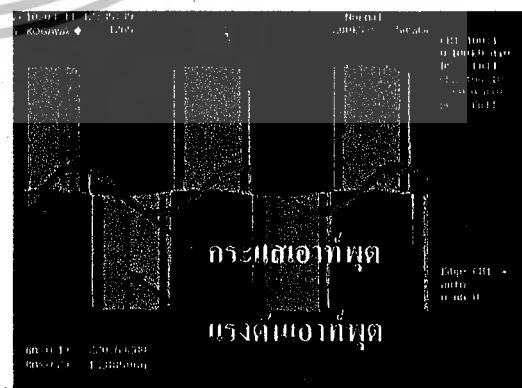
4.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพ

ในการทดลองผู้จัดทำได้นำอินเวอร์เตอร์ที่ใส่วงจร CD Recovery Snubber และ RCD Snubber ไปจับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ที่ความถี่ 50 Hz แล้ววัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า และออกมาจากอินเวอร์เตอร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจร สนับเบอร์ทั้งสองชนิด ได้ผลการทดลองดังนี้

ค่าแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ 311 V_{ac} (220 V_{ac}) และค่ากระแสอินพุตมีค่าเท่ากับ 1.44 A (ac) ซึ่งคิดเป็นกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 950.40 W จากผลการทดลองจากรูปที่ 8 พบว่าค่าแรงดัน



รูปที่ 8 ค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตของวงจร CD Recovery สนับเบอร์



รูปที่ 9 ค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตของวงจร RCD สนับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟส ของวงจร CD Recovery สนับเบอรัมีค่าเท่ากับ 220.80 V และ 1.34 A ตามลำดับ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 887.61 W และจากผลการทดลองจากรูปที่ 9 พบว่าค่าแรงดันค่ากระแสเอาต์พุตต่อเฟส ของวงจร RCD สนับเบอรัมีค่าเท่ากับ 220.63 V และ 1.29 A ตามลำดับ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 853.84 W

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจรสับเบอรั

	RCD	CD – Recovery
POWER INPUT	950.40 W	950.40 W
POWER OUTPUT	855.84 W	887.61 W
ประสิทธิภาพ (%)	89.93	93.39

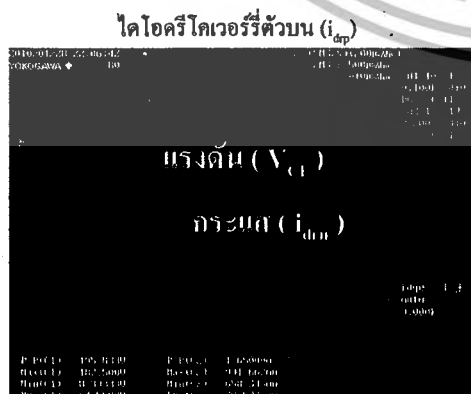
4.2 ผลการทดลองการส่งพลังงานคืนกลับสู่ DC – LINK

ในการวัดพลังงานที่ถูกส่งคืนกลับสู่ DC – LINK มีรายละเอียดเช่นเดียวกับการหาประสิทธิภาพ แดร์รับไฟฟ้ากระแสตรงมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 Volt ต่ออนุกรมกันทั้งหมด 4 แผง เพื่อทำการจำลองการทำงานใน Solar Farm ในการวัดจะทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดรีโคเวอร์รี่ เพื่อสังเกตว่ามีพลังงานส่งคืนกลับสู่ DC – LINK หรือไม่

จากรูปที่ 10 และ 11 จะพบว่าเมื่อสวิตช์มีการ turn off และ turn on ก็จะมีการนำกระแสของไดโอดรีโคเวอร์รี่ทั้งด้านบนและด้านล่างเกิดขึ้น แสดงว่ามีการส่งคืนพลังงานกลับสู่ DC – LINK เกิดขึ้น เหมือนกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PSpice



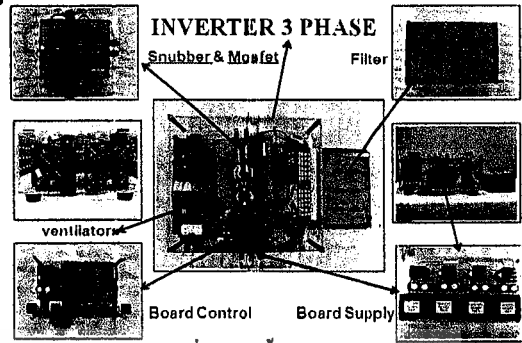
รูปที่ 10 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber



รูปที่ 11 ส่งคืนพลังงานของวงจร CD Recovery Snubber

ไดโอดรีโคเวอร์รี่ด้านล่าง (i_{dm})

5. รูปชิ้นงานจริง



รูปที่ 12 รูปชิ้นงานจริง

จากรูปที่ 12 เป็นรูปที่แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย วงจร CD Recovery Snubber, วงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรควบคุม, แหล่งจ่ายไฟ, พัดลมระบายอากาศและฟิลเตอร์

6. สรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาของวงจรสับเบอรัแบบส่งพลังงานคืนกลับสู่ DC-Link โดยการนำวงจร (Passive Soft Switching Snubber) กับวงจร (Energy Recovery Snubber) มาทำงานร่วมกันซึ่งจากผลการจำลองและผลการทดลองจะพบว่าวงจร CD Recovery สับเบอรัสามารถส่งพลังงานคืนกลับสู่ DC-LINK ได้อีกทั้งในวงจร CD Recovery สับเบอรันั้น ไม่มีค่าความต้านทานเป็นส่วนประกอบ ทำให้มีความสูญเสียในวงจรค่อนข้างน้อย และพลังงานที่สูญเสียไปนั้นยังสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ดังนั้น วงจร CD Recovery สับเบอรั จึงเป็นตัวเลือกที่มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการ IRPUS ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rudy Severns, "RCL Diode Snubber Circuit Design", Chapter 4, "Snubber Circuits for Power for Power Electronics", January, 2008
- [2] Yi Zhang, Saed Sobhani, and Rahul Chokhwal, "Snubber Considerations for IGBT Applications", International Rectifier
- [3] Rudy Severns, "Energy Recovery Snubber", Chapter 5, "Snubber Circuits for Power for Power Electronics", January, 2008.
- [4] Fang Z. Peng, Gui-Jia Su, and Leon M. Tolbert, "A Passive Soft-Switching Snubber for PWM Inverter", Vol. 19, No. 2 IEEE Transactions on Power Electronics, March, 2003.

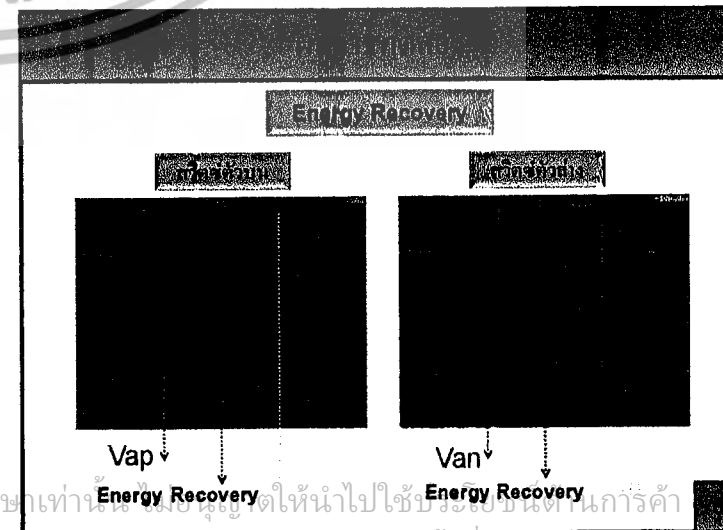
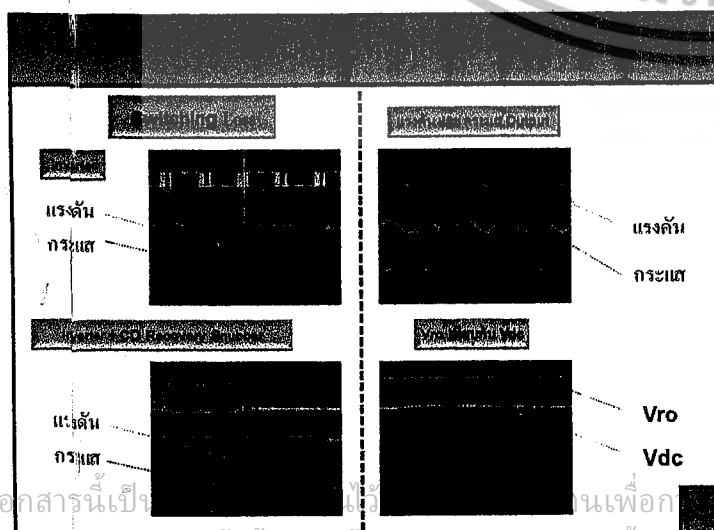
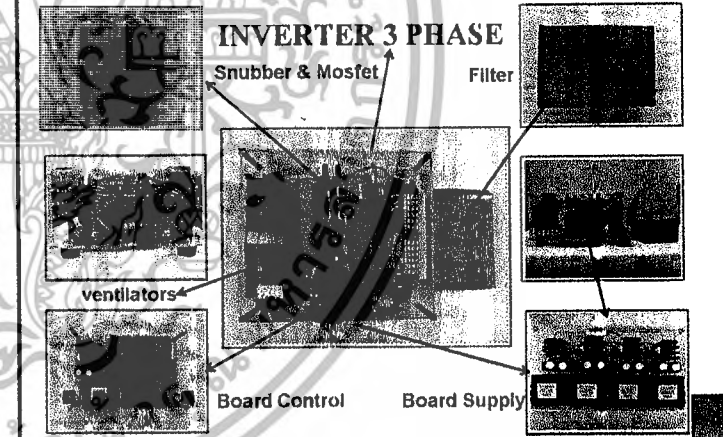
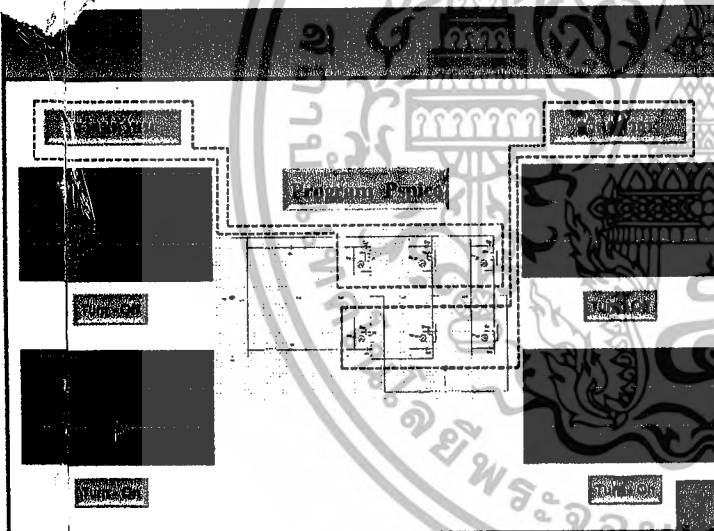
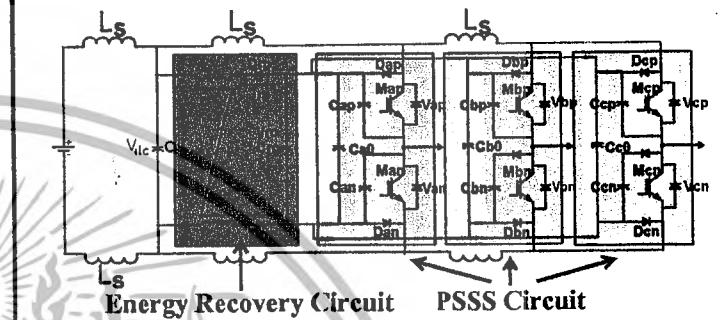
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานระบบจ่ายไฟฟ้าแบบสแตนด์บาย

เบญญ์ฐวีร์ นารณเมธี, ปรมะศรี เชื้อนันทไชย และ ปริญญ์ กิจพงศ์คำ
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอนทรามลาดกระบัง
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL)



- เพื่อศึกษาระบบการทำงานของสแตนด์บายแบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
- เพื่อออกแบบการใช้วงจรสแตนด์บายแบบส่งพลังงานคืนกลับสำหรับอินเวอร์เตอร์เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
- เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน
- เพื่อให้งานวิจัยนี้ส่งเสริมการเรียนรู้ให้กับสถาบันได้
- นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่จะเข้ามาในประเทศไทยในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอนทรามลาดกระบัง เพื่อใช้ในการเรียนการสอนและส่งเสริมงานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้

