

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบ
สองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานใน
ระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า

DC TO DC MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED CONVERTERS
WITH ELECTRICAL GROUNDING ISOLATION AND BIDIRECTIONAL POWER
FLOW FOR MULTIPLE DC LOADS IN DC MICROGRID APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-020-031

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบ
สองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานใน
ระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า

DC TO DC MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED CONVERTERS
WITH ELECTRICAL GROUNDING ISOLATION AND BIDIRECTIONAL POWER
FLOW FOR MULTIPLE DC LOADS IN DC MICROGRID APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกา KMITL-2013-EN-M-020-031 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบ
สองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานใน
ระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า

DC TO DC MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED CONVERTERS
WITH ELECTRICAL GROUNDING ISOLATION AND BIDIRECTIONAL POWER
FLOW FOR MULTIPLE DC LOADS IN DC MICROGRID APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2011-EN-M-020-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC TO DC MULTILEVEL MODULAR CAPACITOR CLAMPED CONVERTERS
WITH ELECTRICAL GROUNDING ISOLATION AND BIDIRECTIONAL POWER
FLOW FOR MULTIPLE DC LOADS IN DC MICROGRID APPLICATIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-EN-M-020-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า

Thesis Title DC to DC Multilevel Modular Capacitor Clamped Converters with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional Power Flow for Multiple DC Loads in DC Microgrid Applications

นักศึกษา นายพงศกร สีนธุ์พัฒนสุข

รหัสประจำตัว 54610608

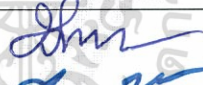




ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) รศ.ประภาช ไพรสุวรรณ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-020-031


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิจิตร	กิณเรศ	
ดร.สมภพ	ผลไม้	
รศ.ดร.ไพบุลย์	นาคมหาชลาสินธุ์	
รศ.ดร.สุพัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ให้ยืมได้ปฏิบัติตามเงื่อนไขการยืม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาวะไฟฟ้า

นักศึกษา

นาย พงศกร สินธุ์พัฒนสุข

รหัสประจำตัว

54610608

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ. ประภาส ไพรสุวรรณา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ (M^2C^3) แบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาวะไฟฟ้า หลักการทำงานจะขึ้นอยู่กับกระแสและคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจร M^2C^3 ซึ่งวงจร M^2C^3 จะติดตั้งอยู่ระหว่างสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงกับแบตเตอรี่เพื่อถ่ายโอนพลังงาน วงจร M^2C^3 2 ชุดจะเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งเป็นการแยกโดดทางไฟฟ้า สำรองพลังงานระหว่างชุดวงจร และวงจร M^2C^3 สามารถจ่ายไฟได้หลายระดับแรงดันโดยเชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล บทความนี้จะนำเสนอผลการจำลองผ่านโปรแกรม PSIM 9.0 และผลการทดลองเพื่อยืนยันวงจร M^2C^3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	DC to DC Multilevel Modular Capacitor Clamped Converters with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional Power Flow for Multiple DC Loads in DC Microgrid Applications
Student	Mr. Pongsakorn Sintupatsuk
Student ID.	54610608
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2013
Thesis advisor	Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi
Thesis Co - Advisor	Assoc. Prof. Prapart Prisuwana

ABSTRACT

Dc to dc multilevel modular capacitor clamped converters with electrical grounding isolation and bidirectional power flow for a various dc loads in dc microgrid applications is proposed in this paper. The principle of the particular M^2C^3 is based upon volt-sec balance of capacitors connect series as a modular cell in this circuit. The M^2C^3 can be interfaced between a battery and a dc grid. In addition M^2C^3 can be connect multiple dc load in each capacitor module. Two M^2C^3 can also be interfaced with high frequency transformer in order to achieve grounding isolation and exchange energy between M^2C^3 . This is a key function for a dc microgrid. The simulation and experimental results are investigated. The results illustrate that the proposed M^2C^3 is promising technique for a dc microgrid application.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จ ครบถ้วนสมบูรณ์ดี ด้วยความกรุณา และคำแนะนำจากอาจารย์ ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และ รศ.ประภาช ไพโรสุวรรณา ที่คอยดูแล อบรม ให้คำปรึกษา และข้อคิดดี ในทุกๆด้านทั้งด้านทั้งภาควิชาการและภาคปฏิบัติทางวิศวกรรม

ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และอาจารย์ในสาขา วิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตลอดจนคำปรึกษาและวิชาความรู้ในการประกอบอาชีพที่ สุจริต เป็นคนดีของสังคมและวิศวกรที่มีคุณภาพ

ขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนงาน กระทรวงพลังงาน และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อุดหนุนให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้น

ขอบคุณห้อง REAL ที่เป็นสถานที่เสริมสร้างประสบการณ์ทั้งทางด้านวิชาการและปฏิบัติ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้สร้างและทดสอบเครื่องมือ รวมถึงเป็นแหล่งสร้างความทรงจำสิ่งต่างๆ ที่ดีๆครั้งหนึ่งในชีวิต ขอขอบคุณพี่นัท พี่หมั่ง พี่แซน พี่เพชร พี่ก๊ก และพี่อ๊อค ที่ช่วยเสริมสร้าง ประสบการณ์ทางความคิด คำปรึกษาและช่วยเหลือที่ตีมาตลอด ขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆทุกคน ที่มาช่วยเสริมสร้างบรรยากาศในห้องแลปให้มีความสนุกสนานตลอดมา ซึ่งเสมือนเป็นครอบครัว เดียวกันเสมอมา น้องๆปริญญาตรีที่คอยมาช่วยทำการทดสอบชิ้นงานตลอด

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ พี่สาวและญาติทุกๆท่านที่คอยเป็นห่วง อบรม และให้คำปรึกษาที่ตีมาตลอด รวมไปถึงการตักเตือนว่ากล่าว สั่งสอน และคอยเป็นกำลังใจอยู่เคียง ข้างเสมอมา ซึ่งสนับสนุนให้เรามีแรงและพลังที่จะฟันฝ่าอุปสรรคไปให้ประสบความสำเร็จได้ตลอดมา

พงศกร สีนรุพัฒนสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	7
1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย	9
1.7 แผนการดำเนินงาน.....	10
บทที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น กระแสตรงหลายระดับ.....	11
2.1 บทนำ	11
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก	11
2.2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	13
2.2.2 ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า	13
2.2.3 ภาระไฟฟ้า.....	15
2.3 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง.....	15
2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิ เตอร์ (Flying Capacitor Multilevel DC-DC Converter หรือ FCMD)	15
2.3.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดตัวเก็บประจุ สวิตช์ (Switched Capacitor Multilevel DC-DC Converter).....	18
2.3.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แบบสวิตช์โหมด (Switch Mode Step Up Multilevel DC-DC Converter)19	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.4	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีหลากหลายอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Universal Multilevel DC-DC Converter with Variable Conversion Ratio)	21
2.6	สรุป	22
บทที่ 3	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ แบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า.....	25
3.1	บทนำ	25
3.2	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง	26
3.3	หลักการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังในวงจร M^2C^3	28
3.4	หลักการถ่ายโอนพลังงานของวงจร M^2C^3	29
3.5	วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า	30
3.6	ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า	30
3.6.1	การทำงานของวงจร M^2C^3 แบบปกติ.....	31
3.6.2	การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือการสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่.....	31
3.6.3	การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าหรือแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้า.....	34
3.7	การสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจร M^2C^3	39
3.8	การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง	40
3.8.1	วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีการทำงานปกติ	41
3.8.2	การทำงานในแบบสำรองพลังงานให้กัน	42
3.8.3	การทำงานปกติขณะที่แต่ละชุดวงจรที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากัน	44
3.8.4	การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขณะที่แต่ละชุดวงจรมีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากัน.....	46
3.9	การบายพาสความผิดพลาดของวงจร M^2C^3	48
3.10	การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายและภาระไฟฟ้าที่หลากหลายกับวงจร M^2C^3	50
3.11	การออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของวงจร M^2C^3	51
3.11.1	ตัวเก็บประจุ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ Vong อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.11.2 สวิตช์กำลัง.....	55
3.11.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง	57
3.12 การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของวงจร M^2C^3	62
3.12.1 แรงดันตก.....	62
3.12.2 แรงดันเกิน	62
3.12.3 แรงดันกระเพื่อม	62
3.12.4 กระแสกระเพื่อม.....	62
3.12.5 ประสิทธิภาพ	63
3.13 สรุป.....	63
บทที่ 4 การจำลองการทำงาน.....	64
4.1 บทนำ	64
4.2 วิธีการจำลองวงจร M^2C^3	64
4.3 ขั้นตอนการจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3	66
4.4 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติ.....	67
4.4.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ	67
4.4.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันสูง	70
4.5 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1	73
4.5.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ....	73
4.5.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง....	76
4.6 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1	79
4.6.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.6.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง....	82
4.7 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในขณะที่มุมสัญญาณความถี่ของหม้อแปลงไม่ตรงกัน.....	84
4.8 สรุป	85
บทที่ 5.....	87
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ.....	87
5.1 บทนำ	87
5.2 การออกแบบชุดวงจรควบคุม	88
5.2.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	88
5.2.2 วงจรขับสัญญาณ.....	89
5.3 การออกแบบชุดวงจรกำลัง.....	90
5.4 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	91
5.5 สรุป.....	93
บทที่ 6.....	94
การทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	94
6.1 บทนำ	94
6.2 การทดสอบวงจรขับสัญญาณ	95
6.3 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง.....	95
6.4 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันสูง	97
6.4.1 วัตถุประสงค์.....	97
6.4.2 วิธีการทดสอบ	97
6.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	97
6.4.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง	98
6.4.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.4.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า.....	101
6.5 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำ	104
6.5.1 วัตถุประสงค์.....	104
6.5.2 วิธีการทดสอบ	104
6.5.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	104
6.5.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ	105
6.5.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ.....	105
6.5.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ	107
6.6 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า .	110
6.6.1 วัตถุประสงค์.....	110
6.6.2 วิธีการทดสอบ	110
6.6.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	111
6.6.4 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า.....	111
6.7 การทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในขณะที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า.....	114
6.7.1 วัตถุประสงค์.....	114
6.7.2 วิธีการทดสอบ	114
6.7.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	115
6.7.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อหลากหลายภาระไฟฟ้า.....	115
6.7.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อหลากหลายภาระไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า	115
6.7.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อหลากหลายภาระไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.8 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโคตทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัลแรงดันสูง.....	121
6.8.1 วัตถุประสงค์.....	121
6.8.2 วิธีการทดสอบ.....	121
6.8.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	121
6.8.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากัน.....	122
6.8.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า.....	122
6.8.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า.....	124
6.9 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโคตทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัลแรงดันต่ำ.....	127
6.9.1 วัตถุประสงค์.....	127
6.9.2 วิธีการทดสอบ.....	127
6.9.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	128
6.9.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า.....	128
6.9.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า.....	128
6.9.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า.....	131
6.10 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโคตทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันขณะที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับบัลแรงดันสูง.....	134
6.10.1 วัตถุประสงค์.....	134
6.10.2 วิธีการทดสอบ.....	134
6.10.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ  ข้างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.10.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุด วงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลระดับแรงดันไฟฟ้า	135
6.10.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลระดับแรงดันไฟฟ้า.....	135
6.10.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า	137
6.11 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทาง ไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันขณะที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ กับบัสแรงดันต่ำ.....	140
6.11.1 วัตถุประสงค์	140
6.11.2 วิธีการทดสอบ.....	140
6.11.3 ขั้นตอนในการทดสอบ.....	141
6.11.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุด วงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลระดับแรงดันไฟฟ้า	141
6.11.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลระดับแรงดันไฟฟ้า.....	141
6.11.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า	144
6.12 สรุป.....	146
บทที่ 7.....	148
สรุปและข้อเสนอแนะ.....	148
7.1 สรุป	148
7.2 ข้อเสนอแนะ	149
บรรณานุกรม.....	150
ภาคผนวก.....	153
ประวัติผู้เขียน.....	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ ขออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สภาวะการอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า จากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ.....	17
2.2 สภาวะการอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า จากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูง.....	17
2.3 วิธีการควบคุมให้ได้อัตราการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่หลากหลาย.....	22
2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลาย ระดับแต่ละชนิด	23
2.5 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลาย ระดับแต่ละชนิด(ต่อ).....	24
3.1 แรงดันไฟฟ้าแต่ละโหนดเทียบกับกราวด์.....	50
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการจำลองวงจร.....	66
4.2 ประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกัน.....	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก	3
1.2 สถานีไฟฟ้าย่อย	4
1.3 สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสเชื่อมต่ออยู่	4
1.4 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	5
1.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในสภาวะอยู่ตัว	5
2.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิเตอร์ 3 ระดับ	16
2.2 สัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง	16
2.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์ 3 ระดับ	18
2.4 สัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิด	19
2.5 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์ โหมด	20
2.6 สัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แบบสวิตช์โหมด	20
2.7 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ	21
3.1 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	27
3.2 วงจร M^2C^3 1 ชุดที่มี n ชุดคอนเวอร์เตอร์โหมด	27
3.3 ชุดคอนเวอร์เตอร์โหมด 1 ชุด	28
3.4 สัญญาณควบคุมที่มีเฟสตรงข้ามกัน	28
3.5 วงจร M^2C^3 ในสภาวะปกติที่ $CR = RVS$	31
3.6 การทำงานของวงจรเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า	32
3.7 ช่วงการทำงานของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในแบบวงจรสมมูลเมื่อวงจร	34
3.8 การทำงานของวงจรเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า	36
3.9 ช่วงการทำงานของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในแบบวงจรสมมูลเมื่อวงจรมีทิศทาง	37
3.10 แรงดันไฟฟ้าในแต่ละโหนดเทียบกราวด์	38
3.11 แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว	38
3.12 แสดงจุดการเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	39
3.13 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	39
3.14 วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีการทำงานปกติ	40
3.15 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดวงจร	41
3.16 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูงทางด้านปฐมภูมิ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIP อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ทิศทางการทำงานของชุดวงจรขณะเกิดความผิดพลาดขึ้นที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1	43
3.18 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละขั้วก่อนและหลังการทำงานของชุดวงจร	43
3.19 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูงขณะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า	43
3.20 วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากัน	44
3.21 แสดงถึงทิศทางการไหลของกระแสของชุดวงจร M^2C^3 2 ชุดทำงานแบบปกติ	45
3.22 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว	45
3.23 แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่	45
3.24 ทิศทางของการไหลของกระแสของชุดวงจรมีแรงดันไม่เท่ากัน	46
3.25 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว	47
3.26 แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	47
3.27 หลักการบายพาสชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล	48
3.28 ขั้นตอนการบายพาสความผิดพลาดของชุดวงจร M^2C^3 4 ระดับ	49
3.29 แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล	50
3.30 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในสถานะอยู่ตัว	51
3.31 ค่าพารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุ	52
3.32 เวกเตอร์ของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ	53
3.33 สัญญาณแรงดันที่ขาเดรนและขาซอสและกระแสไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์การสูญเสีย	56
3.34 แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล	57
3.35 (ก) แกนแม่เหล็กปูปร่างต่างๆ และ (ข) B-H curve ของแกนเฟอร์ไรท์	58
3.36 แรงดันที่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 1$)	60
3.37 แรงดันที่ไม่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 2$)	60
4.1 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	65
4.2 สัญญาณขับสวิตช์กำลัง (SR_n และ SB_n)	65
4.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	68
4.4 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆ	68
4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	69
4.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร	69
4.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนต่างๆ	69
4.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	69
4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	70

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆ	71
4.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	71
4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร	71
4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ.....	72
4.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	72
4.15 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะลดระดับแรงดันไฟฟ้า	72
4.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า.....	74
4.17 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ.....	74
4.18 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	75
4.19 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร	75
4.20 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ.....	75
4.21 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง	75
4.22 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า.....	76
4.23 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ.....	77
4.24 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	77
4.25 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร	77
4.26 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ.....	78
4.27 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	78
4.28 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในขณะเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า	78
4.29 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า.....	80
4.30 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ.....	80
4.31 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	81
4.32 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร	81
4.33 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ.....	81
4.34 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	81
4.35 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า.....	82
4.36 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ.....	83
4.37 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	83
4.38 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร	83
4.39 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลXIVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	84
4.41 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	85
5.1 เครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า	87
5.2 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์	88
5.3 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณ	89
5.4 อุปกรณ์ไฟเลี้ยงและขับสัญญาณ	89
5.5 วงจร M^2C^3 ที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล 3 ชุด	90
5.6 วงจรชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล	90
5.7 อุปกรณ์ในชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล	91
5.8 หม้อแปลงความถี่สูง	91
6.1 การทดสอบเครื่องต้นแบบ	94
6.2 สัญญาณควบคุมที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและมีมมเฟสตรงข้ามกัน	95
6.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	96
6.4 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันสูง	96
6.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า	99
6.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1	99
6.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 2	100
6.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	100
6.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า	101
6.10 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1	102
6.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 2	102
6.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	103
6.13 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำ	103
6.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า	105
6.15 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1	106
6.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2	106
6.17 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	107
6.18 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า	108
6.19 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1	108
6.20 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2	109

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.21 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	109
6.22 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า	110
6.23 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	112
6.24 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	112
6.25 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	113
6.26 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	113
6.27 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหลากหลายภาวะไฟฟ้า	114
6.28 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	116
6.29 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	116
6.30 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	117
6.31 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	117
6.32 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	118
6.33 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	119
6.34 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	119
6.35 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	120
6.36 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันขณะเชื่อมต่อภาวะ ไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง	120
6.37 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	122
6.38 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	123
6.39 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	123
6.40 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	124
6.41 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	125
6.42 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	125
6.43 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	126
6.44 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	126
6.45 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันขณะเชื่อมต่อภาวะ ไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ	127
6.46 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาวะไฟฟ้า.....	129
6.47 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	129
6.48 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	130

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.49 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	130
6.50 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า.....	131
6.51 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	132
6.52 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	132
6.53 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	133
6.54 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่อัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากันขณะที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้า ที่บัสแรงดันสูง	133
6.55 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า.....	135
6.56 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	136
6.57 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	136
6.58 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	137
6.59 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า.....	138
6.60 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	138
6.61 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	139
6.62 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	139
6.63 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่อัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากันขณะที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่ บัสแรงดันต่ำ	140
6.64 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า.....	142
6.65 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	142
6.66 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	143
6.67 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	143
6.68 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า.....	144
6.69 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1.....	145
6.70 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2.....	145
6.71 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง	146
6.72 ประสิทธิภาพในรูปแบบลดระดับแรงดัน	147
6.73 ประสิทธิภาพในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดัน.....	147

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแต่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมเมืองต่างๆภายในประเทศทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม รวมถึงสาธารณูปโภคต่างๆในชีวิตประจำวัน จึงมีการวางแผนขยายการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ ส่งผลให้ทรัพยากรธรรมชาติหลักที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ในขณะนี้เช่น ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินนั้นมีปริมาณที่ลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป และราคาต้นทุนมีแต่เพิ่มสูงขึ้น ตลอดจนเกิดมลภาวะทางอากาศที่เกิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งเป็นที่มาของปรากฏการณ์เรือนกระจก และสภาวะโลกร้อน ทำให้เกิดนโยบายที่จะหันไปผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ขึ้น ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงมากเมื่อเทียบต่อเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ ลดต้นทุนของเชื้อเพลิงและยังเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของประเทศให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ได้ในระยะยาว แต่การนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ขึ้นเป็นสิ่งอันตราย และต้องมีการวางแผนอย่างระมัดระวัง ส่งผลให้แผนที่จะสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นเกิดความล่าช้า ประกอบกับเกิดการระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ฟูกูชิม่า ประเทศญี่ปุ่นขึ้นทำให้เกิดการตื่นกลัวของประชาชนกันอย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นที่จะหันไปศึกษาถึงความเป็นไปได้ ผลกระทบ และความเสถียรภาพของระบบที่เกิดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ที่มีแหล่งเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติอาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำและพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด ไม่มีต้นทุนจากค่าเชื้อเพลิง และที่สำคัญเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์เพื่อเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย รวมทั้งส่งเสริมการวิจัย พัฒนา และนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมในสถานที่ต่างๆหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบผลิตไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็ก (Microgrid) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด [1]

ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็ก (DC-Microgrid) [2-3] ดังรูปที่ 1.1 ที่มีหลักการสำคัญคือแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าและระบบส่งจ่ายจะต้องอยู่ใกล้กับแหล่งชุมชน ที่มีบ้านเรือนหลายๆแห่งที่เชื่อมต่อกันกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก จึงทำให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่กระนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกนั้นยังต้องตระหนักและให้ความสำคัญอย่างยิ่งถึงแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่คงที่ เกิดการแกว่ง และแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไม่ต่อเนื่องเนื่องจากสภาวะภายนอก เช่น กลางคืนที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ความเร็วลมมีความแรงไม่ถึงเกณฑ์ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ไม่เต็มที่ เป็นต้น จึงต้องนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังหรือวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรง (DC-DC Converter) มาเชื่อมต่อระหว่างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่ ซึ่งวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีความเรียบต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีความเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูงที่สุด เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป [4-5] ที่ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กนั้นยังสามารถทำการประยุกต์ไปใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ที่มีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้า

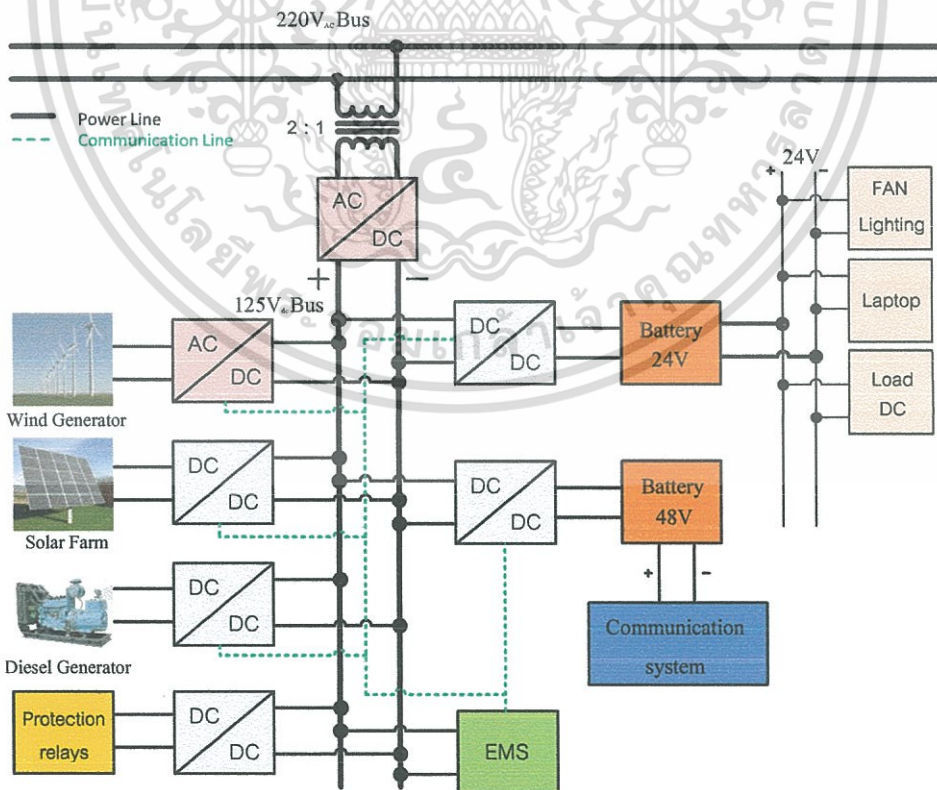
โดยสถานีไฟฟ้าย่อยในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะมีภาระไฟฟ้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Electronic Loads) เป็นส่วนใหญ่ที่ซึ่งจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันที่แตกต่างกัน อีกทั้งในสถานีไฟฟ้าย่อยยังต้องแปลงแรงดันไฟฟ้าให้มีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ป้องกันการตัดต่อ (Protection Relays) คอมพิวเตอร์ ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์แสดงผล ไดรฟ์ปรับเปลี่ยนความเร็ว (Adjustable Speed Drives) รวมไปถึงระบบโทรคมนาคมในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับหรือชาร์จเจอร์ (Charger) เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 1.2 ที่ซึ่งจะเห็นว่ามีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ 3 ระดับคือ 125 V สำหรับอุปกรณ์ป้องกันการตัดต่อ 48 V สำหรับระบบโทรคมนาคม และ 24 V สำหรับระบบแสงสว่างในอาคาร จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะนำแรงดันไฟฟ้าทั้งที่มีความหลากหลายนั้นมาเชื่อมต่อผ่านวงจรแปลงแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้างดรูปที่ 1.3

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Multilevel Modular Clamped Capacitor Converter (M^2C^3) with Electrical Grounding Isolation) [6-13] ดังรูปที่ 1.4 ซึ่งวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแต่ละชุดวงจรนั้นจะใช้หลักการหลักๆอยู่ 2 หลักการคือ การสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ (Volt-sec Balanced) โดยตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่ออยู่ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังภายใต้สภาวะอยู่ตัวนั้น (Steady State) จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในหนึ่งคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดดังรูปที่ 1.5 ส่งผลให้เกิดการอนุกรมและขนานของตัวเก็บประจุภายในวงจร จึงเกิดการสะสมพลังงานเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล และอีกหลักการที่สำคัญคือการสมดุลพลังงานไฟฟ้าระหว่างบัสทั้งสอง (Balanced Energy) ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานระหว่างทั้งสองบัสวงจรและผ่านหม้อแปลงความถี่สูง จากหลักการทั้ง 2 ข้อนี้ส่งผลให้วงจร M^2C^3 สามารถถ่ายโอนพลังงานได้สองทิศทางไม่มีตัวเหนี่ยวนำทำให้น้ำหนักเบา มีสัญญาณควบคุมง่ายที่มีดีวตีไซเคิล (Duty Cycle) 50 % ทั้งสองสัญญาณและที่สำคัญสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้หลากหลายแรงดันไฟฟ้าตามจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลและขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ เสมือนเป็นหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกแรงดันไฟฟ้าได้ (Tap-Changed DC Transformer) อีกทั้งยังสามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับภายในวงจรได้โดยการเชื่อมต่อที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุระหว่างชุดคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

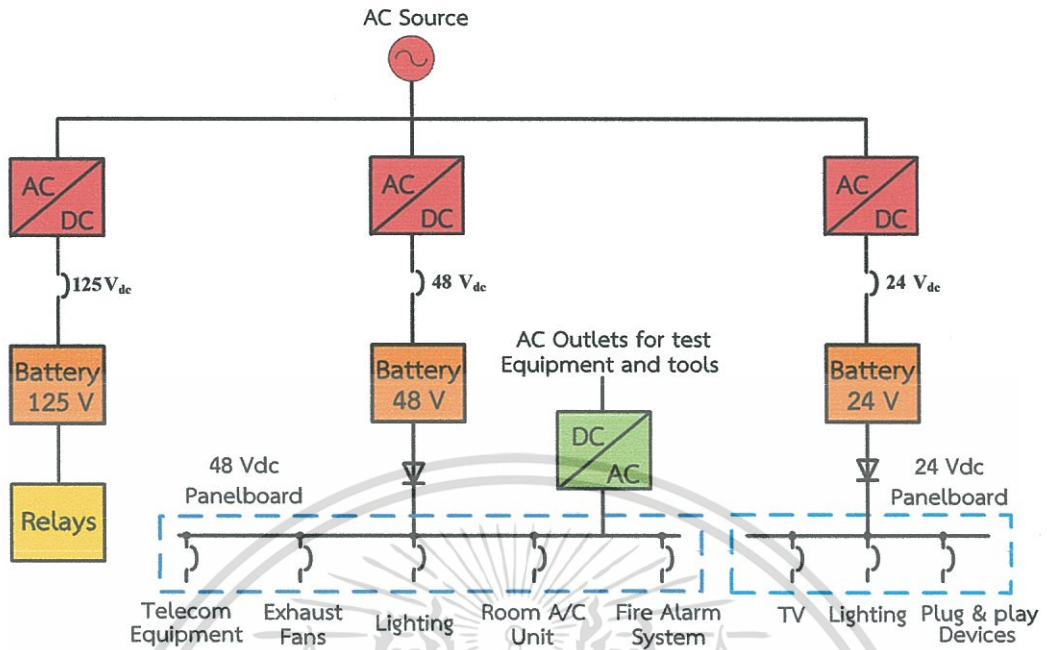
เตอร์โมดูล จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้ที่นำหม้อแปลงความถี่สูงมาเชื่อมต่อระหว่างวงจร M^2C^3 ทำให้วงจรมีการสำรองพลังงาน (Back-up Energy) ในระหว่างชุดวงจร เมื่อมีวงจรใดวงจรหนึ่งเกิดแรงดันตกขึ้นจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อรักษากำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า ซึ่งวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าจะช่วยป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างกัน ประหยัดอุปกรณ์แปลงผันที่นำมาติดตั้ง ลดต้นทุนและความซับซ้อนของการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรภาพให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก จะเห็นว่าวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้านั้นมีข้อเด่นอยู่หลายประการดังที่กล่าวมาแล้วนั้นมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีภาระไฟฟ้าหลากหลายแรงดันไฟฟ้า ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่และประสิทธิภาพสูง

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอถึงทฤษฎีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแบบเตอร์และภาระทางไฟฟ้า รวมไปถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง และศึกษาถึงผลกระทบ การออกแบบขนาดของหม้อแปลงความถี่สูง สวิตซ์กำลัง และตัวเก็บประจุ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะนำเสนอโดยการจำลองผ่านโปรแกรม PSIM 9.0 และทำการสร้างและทดสอบจากเครื่องต้นแบบจริงเพื่อยืนยันผล

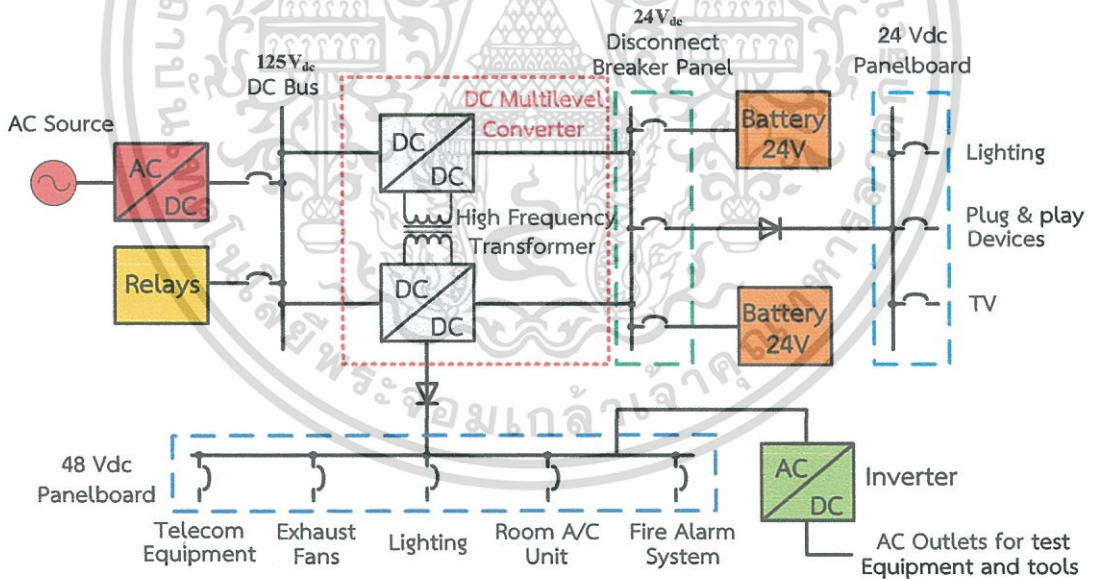


รูปที่ 1.1 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

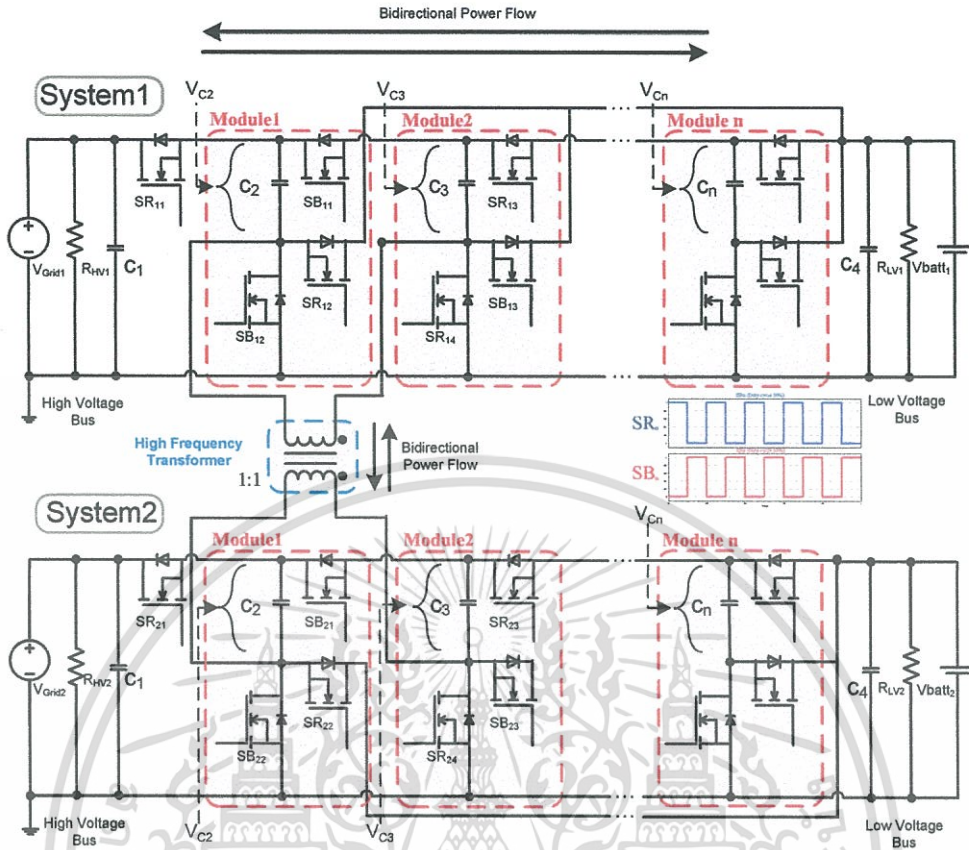


รูปที่ 1.2 สถานีไฟฟ้าย่อย

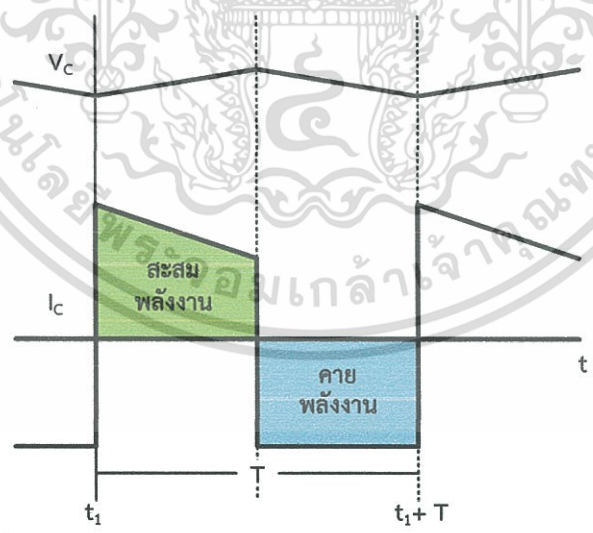


รูปที่ 1.3 สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสเชื่อมต่อย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 วงจร M^2C^3 ที่มีกรแยกโดดทางไฟฟ้า



รูปที่ 1.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในสถานะอยู่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการถ่ายโอนพลังงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหลากหลายภาวะไฟฟ้า
2. ศึกษาผลกระทบและสถานะต่างๆของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าในขณะประยุกต์ใช้ในระบบผลิตกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก
3. วิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าและขนาดของหม้อแปลงความถี่สูงที่เชื่อมต่อกันระหว่างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างเครื่องต้นแบบของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง 3 ระดับที่มีการเชื่อมระหว่างกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง
2. จำลองระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีภาวะไฟฟ้าที่หลากหลายเชื่อมต่ออยู่

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เทคนิคและวิธีการนี้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า
2. เทคนิคและวิธีการที่ได้จากการวิจัยนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพให้กับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. เทคนิคและวิธีการที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสาขาอื่นๆได้
4. องค์ความรู้ทั้งหมดที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปบูรณาการเพื่อต่อยอด ประยุกต์และพัฒนางานวิจัยใหม่ๆเพื่อให้ความหลากหลายต่อการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าซึ่งประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงขนาดเล็กที่มีหลากหลายภาวะไฟฟ้า โดยจะแบ่งออกเป็น 6 บทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

➤ บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย และระเบียบวิธีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

➤ บทที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ

กล่าวถึงระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่ซึ่งอธิบายถึงอุปกรณ์ต่างๆ อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องยนต์ดีเซลและภาวะไฟฟ้า รวมไปถึงการอธิบายวิธีการทำงาน และควบคุมของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และทำการเปรียบเทียบข้อเด่นข้อด้อยของวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงต่างๆ

➤ บทที่ 3 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

กล่าวถึงโครงสร้าง วิธีการควบคุม และวิธีการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบวงจรสมมุทธ์ผ่านการทำงานของสวิตช์กำลังไฟฟ้า แสดงเงื่อนไขการถ่ายโอนพลังงานในรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงวิธีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ตัวเก็บประจุ และสวิตช์กำลัง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันสูงที่สุด

➤ บทที่ 4 การจำลองวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

กล่าวถึงการจำลองการถ่ายโอนพลังงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในสภาวะแบบไดนามิกที่มีรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าต่างๆ เพื่อศึกษาทิศทางการถ่ายโอนของภายในวงจรการเชื่อมต่อภาวะไฟฟ้า และหม้อแปลงความถี่สูง

➤ **บทที่ 5 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ**

กล่าวถึงวิธีการออกแบบชุดวงจรควบคุมและวงจรกำลังอาทิเช่น ชุดวงจรขับสัญญาณ ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล และการคำนวณเพื่อหาขนาดของหม้อแปลงความถี่สูง

➤ **บทที่ 6 การทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า**

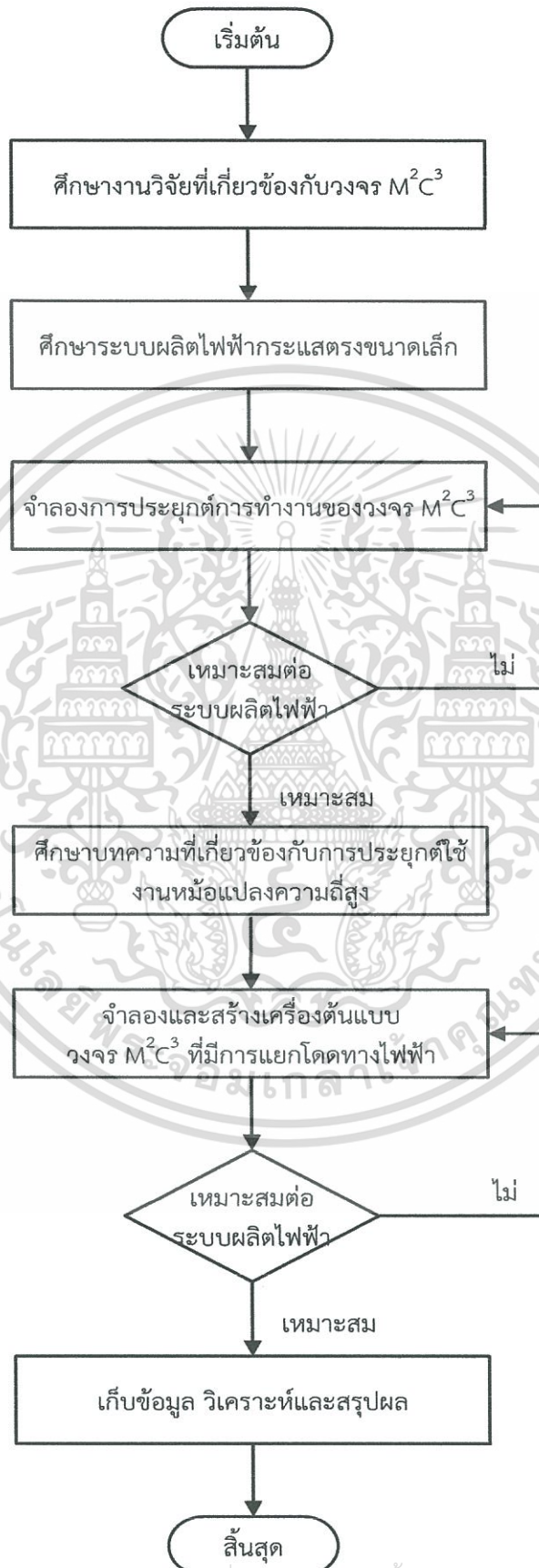
กล่าวถึงการทดสอบการถ่ายโอนพลังงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในสถานะต่างๆ เพื่อยืนยันผลการจำลองและนำไปประยุกต์ใช้จริง

➤ **บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ**

กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า



1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก	■												
2. ศึกษาจริงแปลงมันแรงต้นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง		■											
3. จำลองการทำงานจร M2C3 ด้วยโปรแกรม PSIM 9.0		■	■										
4. วิเคราะห์ผลการจำลองในการนำจร M2C3 มาประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า		■	■	■									
5. ศึกษาข้อมูลของหม้อแปลงความถี่สูง													
6. จำลองการทำงานจร M2C3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า						■							
7. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ								■	■				
8. ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ										■	■		
9. เก็บผล วิเคราะห์ผลการทดสอบ												■	■
10. สรุปผลงานวิจัย													■

บทที่ 2

ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและวงจรแปลงผัน แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะศึกษาถึงระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC-Microgrid) ที่เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่นำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหลัก ซึ่งจะช่วยลดการเผาไหม้เชื้อเพลิงและลดต้นทุนการผลิต รวมไปถึงการลดการเผาไหม้ที่เป็นต้นเหตุของมลภาวะทางอากาศ ซึ่งในระบบผลิตไฟฟ้านี้จะต้องมีวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลากหลายชนิดเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อภาระไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบ จึงทำการรวบรวมและเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อด้อยของงานวิจัย รวมไปถึงการอธิบายโครงสร้างวิธีการควบคุมและการทำงานของวงจรในรูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้มีความเหมาะสมและประสิทธิภาพสูงที่สุด

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก [1-2] เป็นระบบไฟฟ้ากำลังต่ำที่จ่ายไฟฟ้าให้กับหมู่บ้านหรือชุมชนที่มีขนาดเล็ก ที่ซึ่งอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งของการไฟฟ้า โดยอาจจะมีระบบผลิตไฟฟ้าอยู่เพียงระบบเดียวหรือ หลายๆระบบในพื้นที่นั้นๆหรือเรียกอีกอย่างว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid System) ที่มีแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และที่ไม่ใช่พลังงานทดแทน อย่างเช่นเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Generator) ที่นำมาติดตั้งเพื่อให้เกิดผลิตไฟฟ้าในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมเป็นระบบที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะต้องมีความคงที่และต่อเนื่องตลอดเวลา โดยประกอบไปด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักเนื่องจากในประเทศไทยมีแสงแดดที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้านั้นตลอดทั้งปี ซึ่งในบางพื้นที่อาจจะใช้พลังงานลมมาผลิตไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Distribution line) ภาระไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ (Various Load) อาทิเช่นระบบแสงสว่าง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้น และที่สำคัญจะต้องมีระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System, EMS) ที่เป็นระบบควบคุมให้มีการผลิตไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่ ซึ่งแนวคิดของระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กนั้นผู้บริโภคจะต้องมีส่วนร่วมในการเลือกใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นำมาติดตั้งให้มีความประหยัดพลังงานมากที่สุด จึงส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้านั้นมีประสิทธิภาพสูง การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมนั้นจะแบ่งการผลิตไฟฟ้าออกเป็นช่วงเวลาดังต่อไปนี้

1) ในเวลากลางวันหรือช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดหรือเครื่องกำเนิดพลังงานลมได้รับลมที่เพียงพอ จะทำให้แหล่งผลิตไฟฟ้าดังกล่าวผลิตไฟฟ้าออกมา ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้นั้นจะต้องผ่านวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (Dc-Converter) และพลังงานลมที่ผลิตไฟฟ้าได้นั้นจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องผ่านวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) ก่อนถึงจะจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ ซึ่งวงจรแปลงผันต่าง ๆ นั้นจะช่วยรักษาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกมาให้มีความคงที่ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและป้องกันความเสียหายของภาระไฟฟ้าที่นำมาเชื่อมต่อ และเมื่อแหล่งผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ จะทำให้เหลือพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ใช้งาน ซึ่งพลังงานเหล่านี้นจะนำมาสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ (Charge Battery) เพื่อเก็บพลังงานเหล่านั้นไว้ใช้ในยามที่เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดพลังงานลมผลิตไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาระไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่นั้นจะทำงานเป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้า (Back-up Energy)

2) ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ได้ ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่จะได้รับไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดพลังงานลมและพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

3) ในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดพลังงานลมนั้นจะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ ตลอดจนพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ก็ไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาระทางไฟฟ้า ส่งผลให้เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Generator) จะทำงานอัตโนมัติเพื่อผลิตไฟฟ้าจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า

ในการทำงานของแหล่งผลิตไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้นจะเชื่อมต่ออยู่กับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่ ซึ่งเป็นตัวควบคุมและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กนั้น จะเชื่อมต่ออยู่กับภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องมียังวงจรแปลงผันหลากหลายชนิดและขนาดแรงดันไฟฟ้า ส่งผลให้มีระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System) ที่ใช้ควบคุมวงจรแปลงผันต่างๆให้ทำงานสอดคล้องกันเพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งระบบการจัดการนี้จะควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆได้ดังนี้

1) ต้องมีการแสดงผลความต้องการใช้ไฟฟ้าในทุกช่วงเวลา เพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้าให้มีความสอดคล้องต่อภาระไฟฟ้าช่วงเวลานั้นๆ

2) ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แปลงผันต่างๆให้มีความสอดคล้องกันระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้า

3) ในกรณีฉุกเฉินที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะต้องควบคุมเครื่องยนต์ดีเซลให้ผลิตไฟฟ้าได้อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กนั้นจะประกอบไปด้วยระบบย่อยหลายๆระบบ อาทิ เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าและภาระไฟฟ้า ซึ่งจะอธิบายแต่ละระบบได้ดังนี้

2.2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นจะเป็นสายส่งแรงดันต่ำ ที่ซึ่งขนาดของสายส่งจะขึ้นอยู่กับระบบที่ติดตั้ง โดยต้องมีการเลือกใช้ชนิดของสายไฟ ขนาดและความยาวของสายส่งให้เหมาะสมต่อระบบผลิตไฟฟ้าในพื้นที่นั้นๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด

2.2.2 ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า (Energy Management System, EMS) เป็นระบบจัดการพลังงานที่ควบคุมอุปกรณ์แปลงผันแต่ละชนิด ให้มีความสอดคล้องกันระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้า ซึ่งการจัดการที่ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากการผลิตของแหล่งพลังงานทดแทนให้ได้มากที่สุด และลดการใช้พลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ดีเซล หรือ แบตเตอรี่ให้ได้มากที่สุด อีกทั้งยังต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยการจัดการพลังงานนั้นจะต้องเป็นไปตามหลักการสมดุลพลังงานของแหล่งผลิตไฟฟ้าและภาระไฟฟ้าดังสมการที่ 2.1

โดยที่

$$E_{In} = E_{Out} \quad (2.1)$$

$$E_{In} = E_S + E_G \quad (2.2)$$

$$E_{Out} = E_L + E_{loss} \quad (2.3)$$

เมื่อ

E_S คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้า (kWh)

E_G คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ดีเซล (kWh)

E_L คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ภาระไฟฟ้า (kWh)

E_{loss} คือ พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ (kWh)

และการควบคุมอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแต่ละชนิดให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์แต่ละตัวให้มีความใกล้เคียงจุดทำงานสูงสุด และสภาวะเงื่อนไขของอุปกรณ์นั้นๆ จึงจะสามารถใช้ประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มที่ ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

● เซลล์แสงอาทิตย์ จะผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น จะต้องติดตั้งในพื้นที่ที่ได้รับแสงตลอดเวลาและใกล้กับภาระไฟฟ้า อีกทั้งยังต้องหมั่นทำความสะอาดแผงเซลล์เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดมากที่สุด โดยที่ตัวแปรในการชี้วัดประสิทธิภาพ (Performance ratio, P_R) นั้นจะหาได้จากสมการ

$$P_R = \frac{E_{PV} \times I_{STC}}{P_N \times G \times Q} \times 100\% \quad (2.4)$$

โดยที่

E_{PV} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระไฟฟ้า (kWh)

P_N คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (kW)

G คือ ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก (kWh/m^2)

I_{STC} คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ตามมาตรฐาน $STC = 1 \text{ kWh/m}^2$

Q คือ ตัวแปรคุณภาพไฟฟ้า (Quality factor)

● เครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ซึ่งจะถูกรักษาให้ทำงานในขณะที่การผลิตไฟฟ้าของระบบลดต่ำกว่า 40% ของสภาวะปกติ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นไม่ควรที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นเนื่องจากเป็นการเพิ่มมลภาวะทางอากาศและค่าต้นทุนเชื้อเพลิง

● แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบผลิตไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็ก ในการผลิตไฟฟ้าในสภาวะปกตินั้นแบตเตอรี่จะทำหน้าที่เสมือนเป็นภาระไฟฟ้าในระบบ หลังจากนั้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่เต็มแล้วจะไม่มีกระแสประจุอีก และเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอต่อภาระไฟฟ้าที่ต้องการ แบตเตอรี่จะจ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่นั้นจะทำงานได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดและมีอายุการใช้งานที่นานนั้นจะต้องถูกระบบจัดการและควบคุมให้ได้ดังนี้

- หลีกเลี่ยงการสะสมประจุแบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าสูงจนเกินมาตรฐาน
- หลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่เป็นเวลานานๆจนหมดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงอย่างรวดเร็ว
- ระวังการต่อขั้วแบตเตอรี่ผิดขั้ว
- รักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้อยู่ในมาตรฐานการใช้งาน
- ตรวจสอบแผ่นธาตุและน้ำกลั่นอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ภาวะไฟฟ้า

ภาวะไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่สำคัญมากต่อการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะต้องมีการแสดงผลอัตราการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่นั้นๆ อย่างแม่นยำถูกต้องเพื่อให้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการ เพื่อให้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งยังส่งผลถึงการออกแบบและวางแผนการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าอีกด้วย ซึ่งค่าที่ต้องประเมินของภาวะไฟฟ้านั้นจะต้องดู ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในพื้นที่นั้นๆ พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดวัน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีความคงที่ต่อเนื่องและเหมาะสมต่อภาวะไฟฟ้านั้นๆ ที่ซึ่งในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเชื่อมต่อกับภาวะไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องมียังวงจรแปลงผันที่หลากหลายขนาดตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดความซับซ้อนต่อการควบคุมการทำงาน อีกทั้งยังเพิ่มการสูญเสียที่เกิดจากวงจรแปลงผันต่างๆด้วย จึงทำให้นักวิจัยหลายๆท่านทำการวิจัยวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแรงดันไฟฟ้า (DC-DC Multilevel Converter) เพื่อลดจำนวนการใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าในระบบ ซึ่งในบทนี้จะขอเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่หลากหลายระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆดังนี้

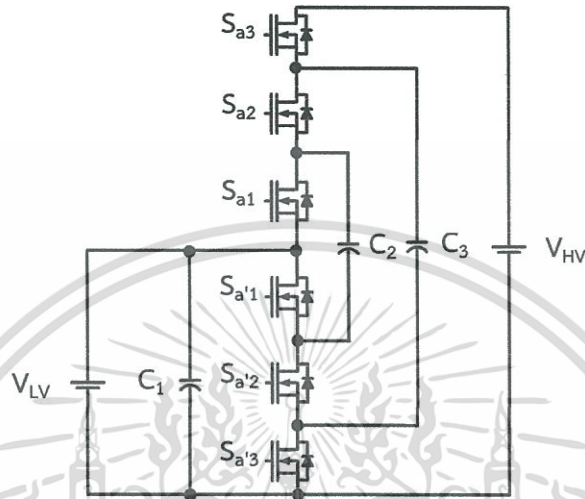
2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิเตอร์ (Flying Capacitor Multilevel DC-DC Converter หรือ FCMDC)

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิเตอร์ (FCMDC) [14-15] 3 ระดับดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีความสามารถในการเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ 3 ระดับ โดยอาศัยหลักการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังดังรูปที่ 2.2 ส่งผลให้เกิดการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุในแต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 เพื่อให้มีการถ่ายโอนพลังงานและรักษาอัตราการแปลงผันให้มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะมีข้อเด่นในเรื่องของโครงสร้างวงจรที่ไม่ซับซ้อน และมีแรงดันไฟฟ้าที่ตกรวมสวิตช์กำลังแต่ละตัวมีค่าเท่ากันคือ V_{LV} แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างของวงจรมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

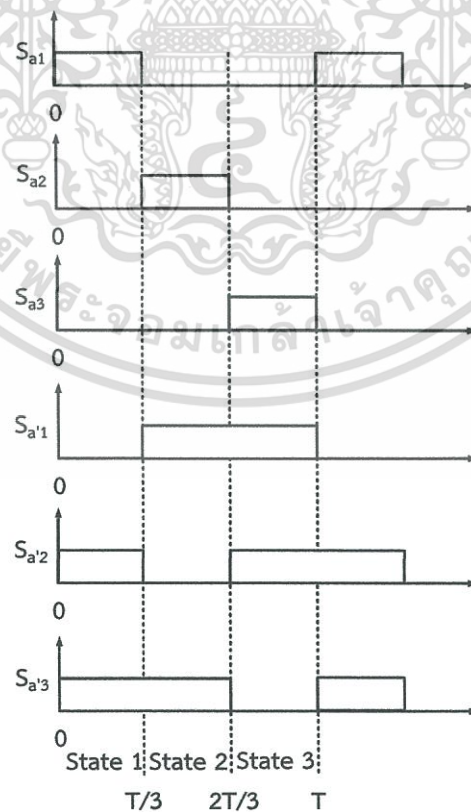
- เมื่อจำนวนระดับของวงจรมีค่ามาก ทำให้ยากต่อการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง
- เมื่อจำนวนระดับของวงจรมีค่ามาก ทำให้ต้องใช้จำนวนสวิตช์กำลังมากขึ้นตาม กล่าวคือ สำหรับวงจร FCMDC ที่ N ระดับ จะใช้สวิตช์กำลังจำนวน $2N$ ตัว
- อุปกรณ์สวิตช์กำลังเกิดความเครียดจาก dv/dt มีค่าสูง
- โครงสร้างของวงจรไม่มีความสามารถในการบายพาสความผิดพลาดออกจากวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างของวงจรไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในระบบที่มีความถี่สูง เนื่องจากการทำงานของวงจรที่ความถี่สูงทำให้ช่วงเวลาในการทำงานของสวิตช์กำลัง (Turn on Time) แต่ละตัวมีค่าต่ำและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิเตอร์ 3 ระดับ



รูปที่ 2.2 สัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สภาวะการอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ

ชั้นการทำงาน	สภาวะการทำงาน
ขั้นตอนที่ 1	$C_4 \downarrow \rightarrow C_3 \uparrow + C_1 \uparrow$
ขั้นตอนที่ 2	$C_3 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow + C_1 \uparrow$
ขั้นตอนที่ 3	$C_2 \downarrow \rightarrow C_1 \uparrow$
↓ คือ สภาวะการคายประจุ และ ↑ คือ สภาวะการอัดประจุ	

ตารางที่ 2.2 สภาวะการอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูง

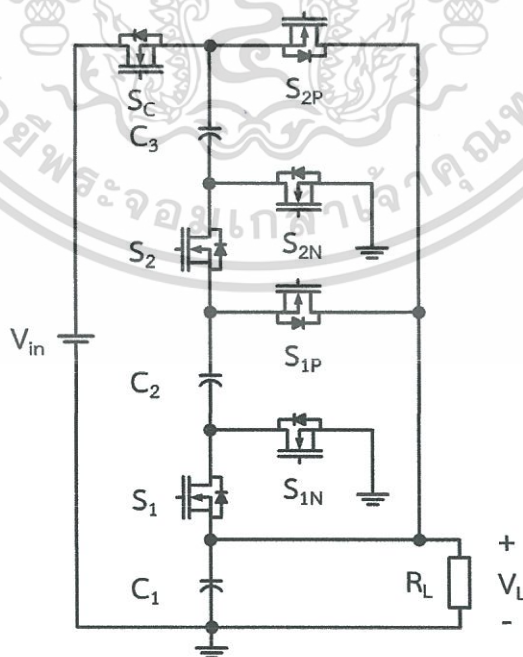
ชั้นการทำงาน	สภาวะการทำงาน
ขั้นตอนที่ 1	$C_1 \downarrow \rightarrow C_2 \uparrow$
ขั้นตอนที่ 2	$C_2 \downarrow + C_1 \downarrow \rightarrow C_3 \uparrow$
ขั้นตอนที่ 3	$C_3 \downarrow + C_1 \downarrow \rightarrow C_4 \uparrow$
↓ คือ สภาวะการคายประจุ และ ↑ คือ สภาวะการอัดประจุ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์ (Switched Capacitor Multilevel DC-DC Converter)

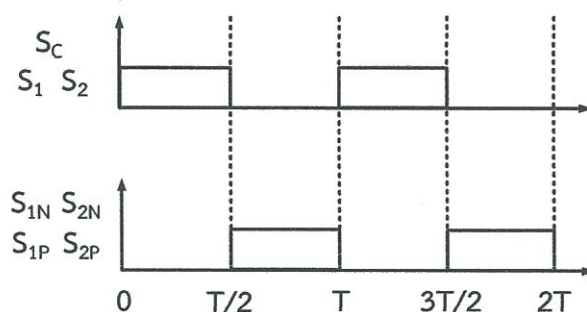
วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์ 3 ระดับ [16] ดังรูปที่ 2.3 โดยอาศัยหลักการทำงานของสวิตช์กำลังที่ควบคุมง่ายดังรูปที่ 2.4 เพื่อทำการสะสมและคายประจุให้กับชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลในแต่ละตัว ส่งผลให้เกิดการอนุกรมและขนานกันของตัวเก็บประจุขึ้น ซึ่งทำให้วงจรสามารถลดระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกลง 3 เท่าจากแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ($V_{out} = 1/3 V_{in}$) ถึงแม้ว่าวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์ จะมีข้อเด่นในเรื่องของรูปแบบการควบคุมการทำงานที่ไม่ซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามวงจรมีข้อด้อยอยู่หลายประการคือ

- เมื่อมีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุทำได้ยาก เนื่องจากผลกระทบของการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว
- แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์กำลังตัวบน S_C S_{2P} และ S_{2N} จะมีค่าสูงมากกว่า 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์กำลังตัวล่าง S_2 และ S_{1P} เมื่อวงจรมีจำนวนระดับเพิ่มสูงขึ้น
- วงจรนี้ไม่มีความสามารถในการบาสพาสความถี่พ้องได้
- วงจรนี้ไม่สามารถถ่ายโอนพลังงานได้สองทิศทาง ซึ่งจะถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากทางบัสแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังบัสแรงดันไฟฟ้าต่ำเท่านั้น



รูปที่ 2.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์ 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

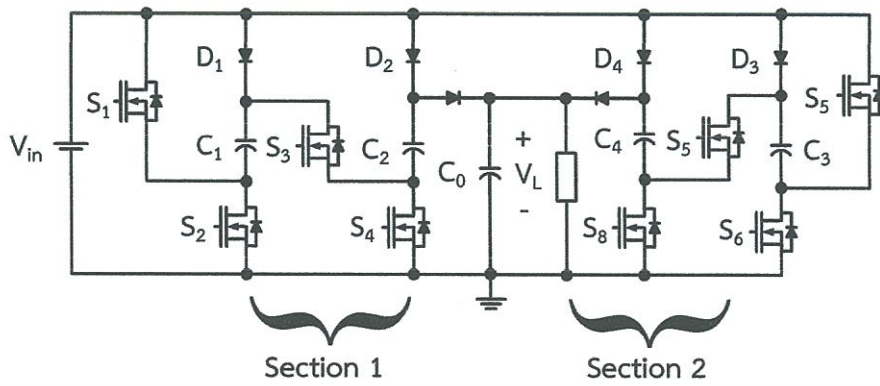


รูปที่ 2.4 สัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิด
ตัวเก็บประจุสวิตช์ 3 ระดับ

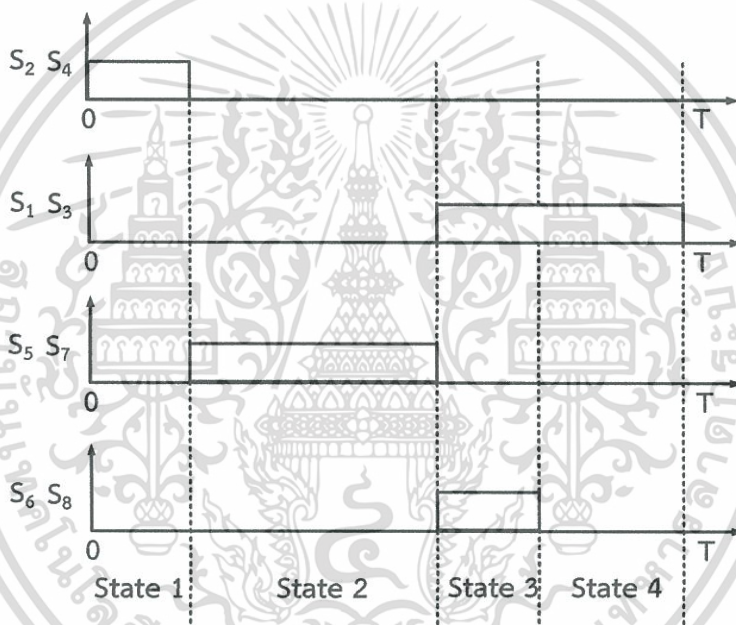
2.3.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switch Mode Step Up Multilevel DC-DC Converter)

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด [17] ดังแสดงในรูปที่ 2.5 วงจรนี้จะมีความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยใช้หลักการขนานกันของแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์ และการทำงานของวงจรมันจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณสวิตช์กำลังที่ประกอบไปด้วย 4 สถานะดังแสดงในรูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมดจะมีจุดเด่นในเรื่องของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตโดยการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งดิวตี้ไซเคิลการทำงานของสถานะที่ 1 จะมีค่าเท่ากับสถานะที่ 3 ส่วนดิวตี้ไซเคิลการทำงานของสถานะที่ 2 จะมีค่าเท่ากับสถานะที่ 4 ทำให้วงจรสามารถทำงานที่ความถี่สูงๆได้ และนอกจากนี้ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของวงจรมันก็คือ การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) น้อยเนื่องจากกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตมีค่าต่ำ แต่อย่างไรก็ตามวงจรมันยังมีข้อด้อยคือ

- สามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว คือทิศทางที่มีการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูงเท่านั้น
- มีความสูญเสียจากการสวิตช์ (Switching Loss) สูงเมื่อใช้งานที่ความถี่และกำลังไฟฟ้าสูงๆ
- ไม่สามารถกำจัดความผิดพร่องในชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล



รูปที่ 2.5 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิด
เพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด



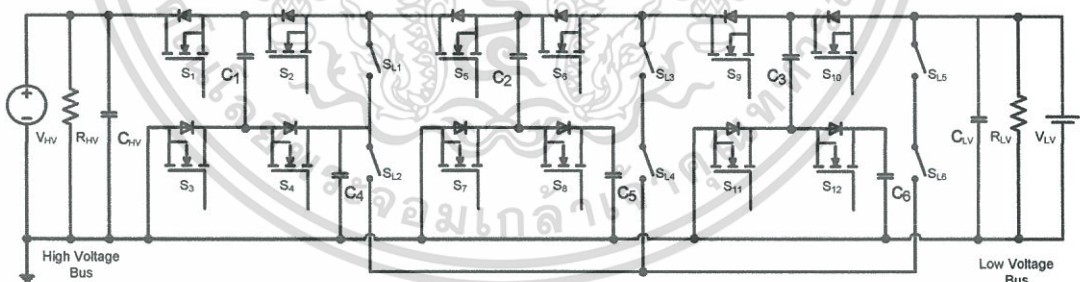
รูปที่ 2.6 สัญญาณควบคุมวงจรมงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิด
เพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีหลากหลายอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Universal Multilevel DC-DC Converter with Variable Conversion Ratio)

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีหลากหลายอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า [18] ดังแสดงในรูป 2.7 วงจรนี้เป็นการนำวงจร M^2C^3 มาประยุกต์เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถเลือกใช้แรงดันได้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการควบคุมการสวิตช์ของสวิตช์ตัดต่อและสวิตช์กำลัง โดยการควบคุมนั้นจะใช้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีมุมเฟสตรงข้ามกันเท่านั้นเหมือนกับวงจร M^2C^3 ส่งผลให้ง่ายต่อการควบคุมวงจร และวงจรนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 แบบคือแบบปกตินี้จะทำงานเหมือนวงจร M^2C^3 ที่มีอัตราส่วนแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่ 4 ระดับ และแบบยกระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในรูปแบบนี้จะทำให้วงจรสามารถเพิ่มอัตราการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าขึ้นไปสูงถึง 8 ระดับซึ่งเป็นข้อเด่นสำคัญของวงจรนี้ อีกทั้งยังมีข้อเด่นอื่นๆ อาทิเช่น สามารถไหลได้สองทิศทาง ไม่มีตัวเหนี่ยวนำ มีประสิทธิภาพสูงและจะสรุปอัตราการแปลงผันได้ดังตารางที่ 2.3 แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อด้อยอยู่คือ

- มีการสูญเสียจากการสวิตช์ที่สูง (Switching Loss) เนื่องจากจำนวนสวิตช์จะมีจำนวนเท่ากับ $4N$
- จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์มากขึ้นกว่าวงจร M^2C^3 แบบดั้งเดิมส่งผลให้เกิดการสูญเสียที่ตัวอุปกรณ์มากขึ้น



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีหลากหลายอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 วิธีการควบคุมให้ได้อัตราแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่หลากหลาย

CR	Module 1	Module 2	Module 3
2	M	B	B
2	B	M	B
2	B	B	M
3	R	R	B
4	R	R	M
4	M	M	B
6	M	R	M
8	M	M	M

B = ทำงานแบบบายพาส , M = ตัวเพิ่มระดับแรงดัน , R = ทำงานปกติ

2.6 สรุป

จากการศึกษาถึงระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้านั้น จะทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช่วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายชนิดและที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีความคงที่ต่อเนื่อง เพื่อป้องกันความเสียหายของภาระไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆในระบบผลิตไฟฟ้า แต่วงจรแปลงผันที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะแปลงผันแรงดันไฟฟ้าได้เพียงค่าเดียว จึงส่งผลให้มีการสูญเสียจากการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มความซับซ้อนในการจัดการและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า จึงได้ทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆ (Literature Review) เพื่อหาวงจรถ่างแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อลดการใช่วงจรแปลงผันหลายชนิด อีกทั้งยังทำให้ง่ายต่อการจัดการและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆอีกด้วย ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้าง วิธีการควบคุมการทำงานของวงจรถ่างแปลงผันแรงดันไฟฟ้าต่างๆในตารางที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นว่าวงจรถ่างแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง (Multilevel Modular Capacitor Clamped DC-DC Converter หรือ M^2C^3) มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงมากที่สุด โดยจะอธิบายโครงสร้าง วิธีการควบคุมและการทำงานของวงจรถ่างแปลงผันแรงดันไฟฟ้า รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆในวงจรถ่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแต่ละชนิด

ชนิดวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ	ข้อดี	ข้อเสีย
<p>วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดไฟร์อิงค์คาปาซิเตอร์</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ● แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์กำลังแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ● สามารถโอนย้ายพลังงานแบบสองทิศทาง 	<ul style="list-style-type: none"> ● เมื่อจำนวนระดับเพิ่มมากขึ้นทำให้ยากต่อการควบคุมการทำงาน ● เมื่อจำนวนระดับเพิ่มมากขึ้นจะมีจำนวนสวิตช์กำลังมากขึ้นตาม ● อุปกรณ์สวิตช์กำลังเกิดความเครียดจาก dv/dt มีค่าสูง ● โครงสร้างของวงจรไม่มีความสามารถในการบายพาสความผิดพลาด ● โครงสร้างของวงจรไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง
<p>วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงชนิดตัวเก็บประจุสวิตช์</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ● การควบคุมวงจรไม่ซับซ้อน 	<ul style="list-style-type: none"> ● เมื่อวงจรมีจำนวนระดับเพิ่มมากขึ้นทำให้การรักษาความสมดุลของแรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุแต่ละตัวให้มีค่าคงที่จะกระทำได้อย่างยาก ● แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวสวิตช์มีค่าสูงเมื่อวงจรมีจำนวนระดับมากขึ้น ● วงจรไม่สามารถควบคุมทิศทางการโอนย้ายพลังงานแบบสองทิศทาง ● วงจรไม่มีความสามารถในการบายพาสความผิดพลาด

ตารางที่ 2.5(ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแต่ละชนิด

ชนิดวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ	ข้อดี	ข้อเสีย
<p>วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทได้โดยการปรับดิวตีไซเคิล ● การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> ● โครงสร้างของวงจรไม่มีความสามารถในการบายพาสความผิดพลาด ● ความสูญเสียจากการสวิตช์สูงเมื่อประยุกต์ใช้งานที่ความถี่และกำลังสูง ● วงจรไม่สามารถควบคุมทิศทางการโอนย้ายพลังงานแบบสองทิศทาง
<p>วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีหลากหลายอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● สามารถโอนย้ายพลังงานแบบสองทิศทาง ● การควบคุมวงจรไม่ซับซ้อน ● ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้หลากหลายระดับแรงดัน ● สามารถทำการบายพาสความผิดพลาด 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีการสูญเสียจากการสวิตช์ที่สูง (Switching Loss) เนื่องจากจำนวนสวิตช์จะมีจำนวนเท่ากับ $4N$ ● จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์มากขึ้นกว่าวงจร M^2C^3 แบบดั้งเดิมส่งผลให้เกิดการสูญเสียที่ตัวอุปกรณ์มากขึ้น

บทที่ 3

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ แบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า

3.1 บทนำ

บทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Multilevel Modular Clamped Capacitor Converter (M^2C^3) with Grounding Isolation) ซึ่งวงจร M^2C^3 จะใช้หลักการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุที่ซึ่งใน 1 คาบเวลาจะต้องมีพื้นที่ของการสะสมและคายประจุที่เท่ากันและแรงดันไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดได้ ส่งผลให้สัญญาณสวิตซ์จึงใช้ตัวดีไอเซเคลที่ 50% เพื่อให้เกิดการอนุกรมและขนานกันของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ทำให้วงจร M^2C^3 ทำงานเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกระดับแรงดันไฟฟ้า (Tap-Changed DC Transformer) โดยการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้านั้นจะเชื่อมต่อที่ขั้วตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีความหลากหลายแรงดันไฟฟ้า โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่นำไปเชื่อมต่อจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำและจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลของวงจร และเมื่อนำวงจร M^2C^3 แต่ละชุดวงจรมาเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าซึ่งกันและกัน อีกทั้งยังเป็นการแยกโดดทางไฟฟ้าเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของชุดวงจรใดวงจรหนึ่ง ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบการทำงาน วิธีการควบคุมสัญญาณของสวิตซ์กำลังแต่ละตัว รวมไปถึงวิธีการออกแบบและการถ่ายโอนพลังงานของหม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer) สวิตซ์กำลังไฟฟ้าและตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร นอกจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่างๆเพื่อศึกษาทิศทางการถ่ายโอนและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ในการอธิบายวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าดังรูปที่ 3.1 นั้นจะประกอบไปด้วยวงจร M^2C^3 2 ชุดวงจรมาเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งจะขอเริ่มอธิบายการทำงานของวงจร M^2C^3 ชุดเดียวดังรูปที่ 3.2 เพื่อง่ายต่อการเข้าใจการทำงานของวงจร M^2C^3 ให้ถ่องแท้ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ

3.2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง

วงจร M^2C^3 [6-10] จะใช้หลักการหลักๆ อยู่ 2 อย่างคือการสมดุลพลังงานระหว่างบัสทั้งสองฝั่ง (Balanced Energy) และการสะสมและคายประจุ (Charged and Discharged) ของตัวเก็บประจุที่จะต้องมามีค่าเท่ากัน เพื่อให้เกิดการสมดุลพลังงานที่ควบคุมจากทำงานของสวิตช์กำลัง ซึ่งจากหลักการดังกล่าวทำให้วงจร M^2C^3 สามารถเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยระดับแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มและลดนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่เชื่อมต่อกันอยู่แบบอนุกรม ซึ่งแต่ละชุดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตช์กำลัง 3 ตัวและตัวเก็บประจุ 1 ตัวดังแสดงในรูปที่ 3.3 และในสัญญาณที่ง่ายให้สวิตช์กำลังนั้นจะควบคุมง่าย ไม่ซับซ้อน ซึ่งทั้ง 2 ชุดวงจรจะรับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีมุมเฟสตรงข้ามกันเท่านั้น จากการศึกษาและทดลองวงจร M^2C^3 จะมีจุดเด่นอยู่หลายประการที่ทำให้เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก รวมไปถึงจุดด้อยของวงจร M^2C^3

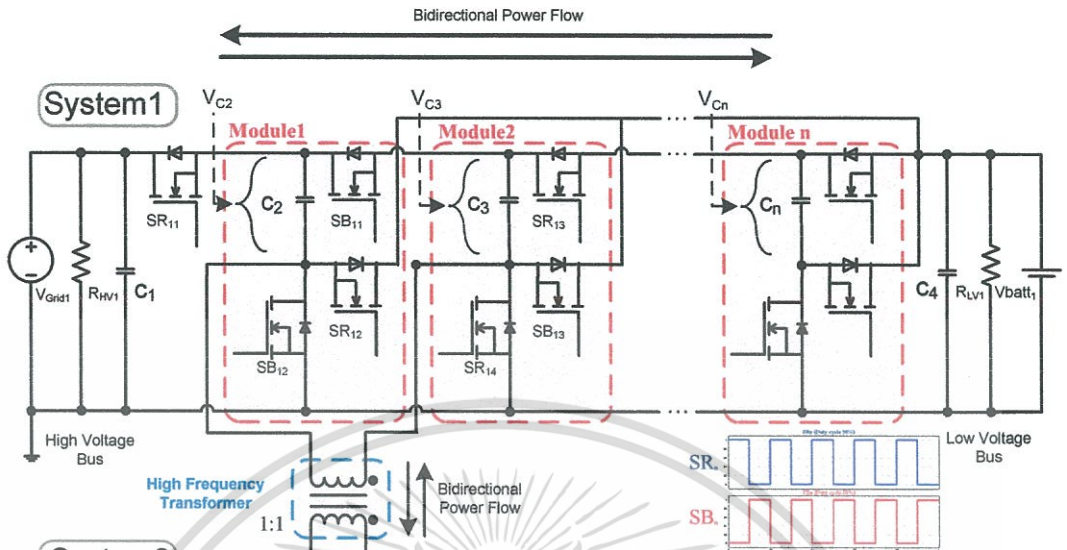
จุดเด่นของวงจร M^2C^3 มีดังนี้

- สามารถเลือกใช้แรงดันไฟฟ้าได้หลากหลายระดับแรงดัน ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลและแรงดันไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำ เสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่เลือกแรงดันไฟฟ้าได้หลากหลาย
- วงจร M^2C^3 นี้จะไม่มีการนำตัวเหนี่ยวนำมาเป็นองค์ประกอบจึงทำให้ขนาดของวงจรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
- วงจร M^2C^3 สามารถบายพาสชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลได้เพื่อกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้น อีกทั้งรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้คงที่
- วงจร M^2C^3 ควบคุมง่าย ไม่ซับซ้อน เนื่องจากสวิตช์กำลังจะรับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีดีวีไอซีเคิล 50%
- วงจร M^2C^3 มีแรงดันกระเพื่อม (dv/dt) ต่ำ
- วงจร M^2C^3 จะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบทันทีทันใดเมื่อมีบัสไดโบบัสหนึ่งเกิดแรงดันไฟฟ้าลดลงจากปกติ

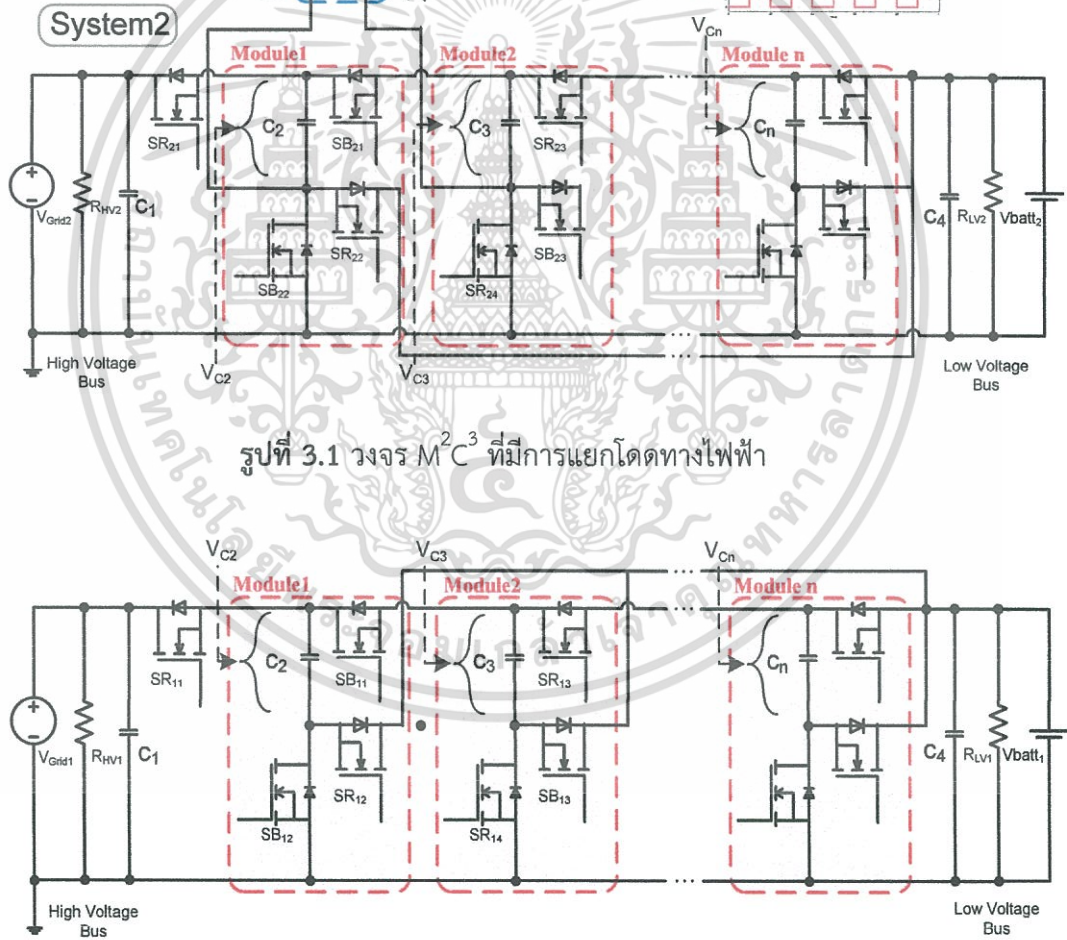
และจุดด้อยของวงจร M^2C^3 จะมีดังต่อไปนี้

- ความสูญเสียจากสวิตช์กำลังค่อนข้างสูงเนื่องจากใช้สวิตช์กำลังเป็นจำนวนมากตามสมการ 3N-2 ตัว
- สวิตช์กำลังที่เชื่อมต่อกับขั้วบวกของตัวเก็บประจุจะต้องมีพิทักแรงดันอย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันทางบัสแรงดันต่ำ
- วงจร M^2C^3 จะไม่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จะนำไปสะสมพลังงานให้กับแบตเตอรี่ได้โดยตรง ซึ่งจะควบคุมกระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

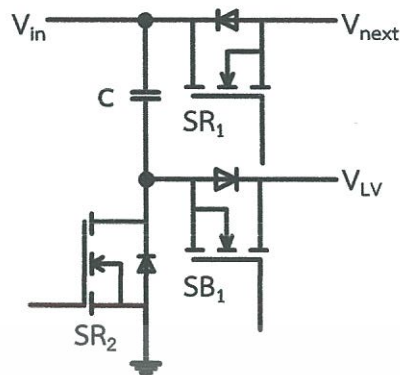


รูปที่ 3.1 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

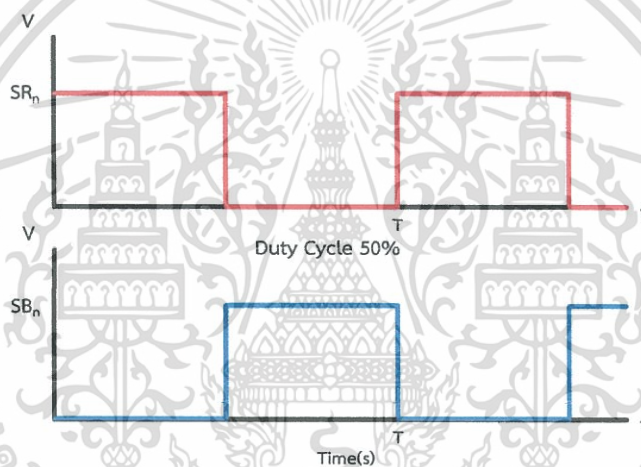


รูปที่ 3.2 วงจร M^2C^3 1 ชุดที่มี n ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล 1 ชุด



รูปที่ 3.4 สัญญาณควบคุมที่มีเฟสตรงข้ามกัน

3.3 หลักการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังในวงจร M^2C^3

หลักการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังจะรับสัญญาณที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณ และมีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา (Out of Phase) ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งทั้งสองสัญญาณจะแทนสัญลักษณ์ในรูปวงจรว่าเป็นสัญญาณ SR_n และ SB_n โดยที่มีความถี่ของทั้งสองสัญญาณอยู่ที่ 10 kHz ทำให้สวิตช์กำลังทำงานสลับกัน เพื่อให้เกิดการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ส่งผลให้เกิดการอนุกรมและขนานกันของตัวเก็บประจุ จึงเกิดระดับแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่ตัวเก็บประจุ ซึ่งมีค่าเป็นระดับเท่าของแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

3.4 หลักการถ่ายโอนพลังงานของวงจร M^2C^3

โดยปกติการถ่ายโอนพลังงานของวงจร M^2C^3 จะถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบทันทีทันใดได้ทั้งสองทิศทาง โดยใช้หลักการของการสมดุลพลังงานไฟฟ้าระหว่างบัสแรงดันสูงกับบัสแรงดันต่ำ จึงทำให้ธรรมชาติของวงจร M^2C^3 นั้นจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 รูปแบบคือการทำงานในรูปแบบปกติเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ลดระดับแรงดันไฟฟ้า และในงานวิจัยนี้จะมีการเพิ่มการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าอีก 1 รูปแบบคือ รูปแบบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการแปลงผัน (Convention ratio หรือ CR) และอัตราส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Ratio of voltage source หรือ RVS) กล่าวคือ ถ้าค่า $RVS = CR$ ซึ่งเป็นรูปแบบปกติจะไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานขึ้นในวงจร ส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลผ่านภายในวงจร M^2C^3 และเมื่อ $RVS < CR$ หรือรูปแบบของการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-up mode) ส่งผลให้ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูงของวงจร M^2C^3 หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ารูปแบบการสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Back-up energy mode) และถ้าค่า $RVS > CR$ หรือรูปแบบของการลดระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-down mode) ส่งผลให้ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำของวงจร M^2C^3 ซึ่งเรียกรูปแบบนี้ว่ารูปแบบการสะสมพลังงานให้แบตเตอรี่ (Charge battery mode) โดยค่า RVS และ CR สามารถหาได้ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$RVS = \frac{V_{HV}}{V_{LV}} \quad (3.1)$$

เมื่อ

RVS คือ ค่าอัตราส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

V_{HV} คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันสูง (V)

V_{LV} คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ (V)

และ

$$CR = N + 1 \quad (3.2)$$

เมื่อ

CR คือ ค่าอัตราส่วนการแปลงผันพลังงาน

N คือ จำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า [11-12] เป็นการนำวงจร M^2C^3 2 ชุดวงจรมาเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เป็นการนำวงจร M^2C^3 มาประยุกต์ให้มีความหลากหลายต่อการนำไปใช้จริงให้เหมาะสมต่อระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากชุดวงจร M^2C^3 ที่เชื่อมต่อผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจะสามารถเป็นระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับอีกชุดวงจรหนึ่ง เพื่อให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันไฟฟ้าได้รับแรงดันไฟฟ้าที่มีความคงที่ทั้งปกติและช่วงที่เกิดความผิดปกติขึ้นในวงจร M^2C^3 อีกทั้งยังมีการแยกโหนดทางไฟฟ้าจากคุณสมบัติของหม้อแปลงความถี่สูง ส่งผลให้วงจร M^2C^3 ที่เชื่อมอยู่อีกด้านของหม้อแปลงความถี่สูงจะไม่ได้รับผลกระทบใดๆจากอีกชุดวงจร จึงทำให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจะได้รับแรงดันไฟฟ้าที่ต่อเนื่องคงที่ตลอดเวลา จากที่กล่าวมานั้นระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กจะมีความน่าเชื่อถือที่เพิ่มสูงขึ้นและสามารถรองรับภาระไฟฟ้าที่มีความหลากหลายระดับแรงดันไฟฟ้า จึงสรุปข้อเด่นที่เพิ่มขึ้นมาของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าได้ดังนี้

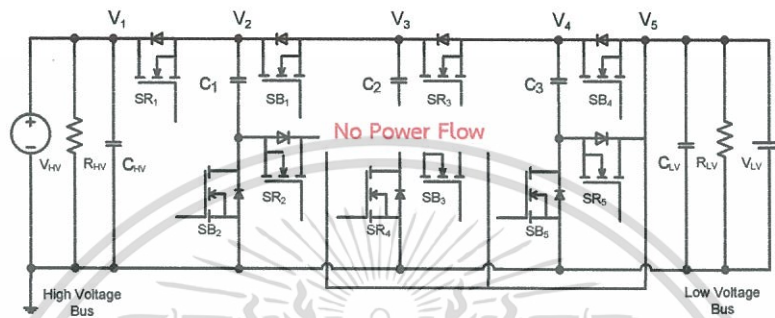
- เพิ่มความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า
- ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากชุดวงจร M^2C^3 โดยผ่านหม้อแปลงความถี่สูง
- เพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเนื่องจากสามารถสำรองพลังงานไฟฟ้าระหว่างชุดวงจร M^2C^3 ในขณะที่เกิดความผิดปกติ

3.6 ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้านั้นจะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 แบบด้วยกันคือ แบบปกติ ลดระดับแรงดันไฟฟ้า เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งในการอธิบายหลักการการทำงานจะยกตัวอย่างวงจร M^2C^3 4 ระดับ ที่บัสแรงดันต่ำมีค่า 36 V บัสแรงดันสูง 144 V และมีสัญญาณควบคุมสวิทช์กำลัง SR_n กับ SB_n เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีมุมเฟสห่างกัน 180 องศา ซึ่งจะอธิบายหลักการการทำงานแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

3.6.1 การทำงานของวงจร M^2C^3 แบบปกติ

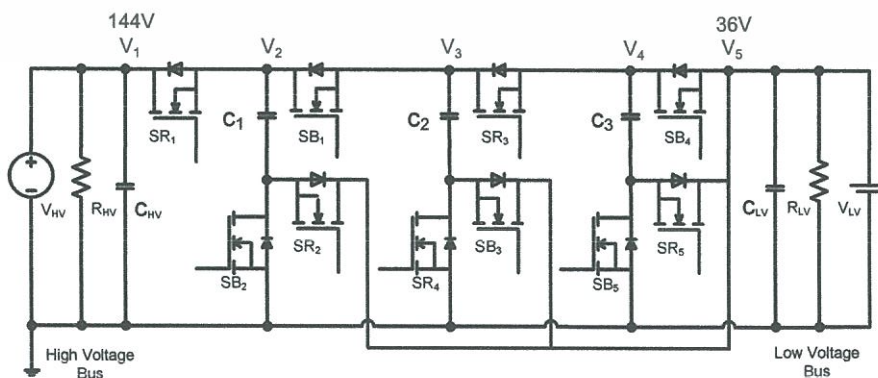
การทำงานของวงจร M^2C^3 แบบปกตินั้นคือการที่บัสแรงดันไฟฟ้าทั้งสองฝั่งมีแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากันตามอัตราส่วนเท่าหรือ $RVS = CR$ ซึ่งในรูปแบบนี้เป็นสภาวะที่ปกติของการทำงาน จะส่งผลให้ไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านชุดวงจร M^2C^3 จึงไม่มีกระแสไหลภายในวงจร M^2C^3 ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นไปตามหลักการสมดุลพลังงานระหว่างสองบัสที่เชื่อมต่ออยู่กับวงจร M^2C^3



รูปที่ 3.5 วงจร M^2C^3 ในสภาวะปกติที่ $CR = RVS$

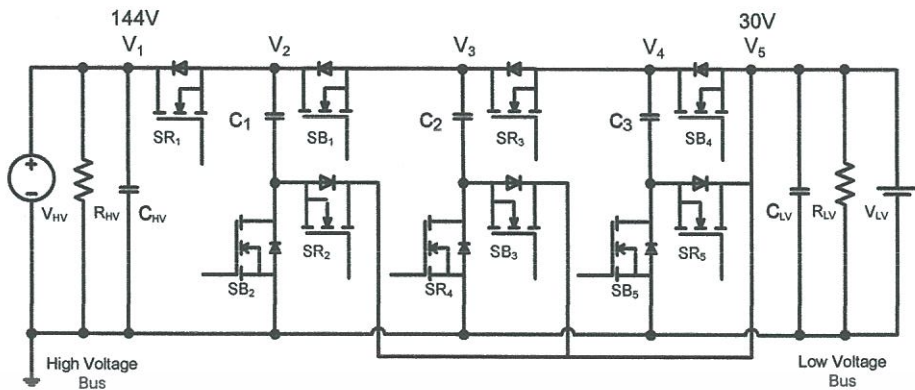
3.6.2 การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือการสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่

การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือการสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ (Step-down mode or Charge battery mode) คือการที่วงจร M^2C^3 มีกระแสไหลจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นต่อเมื่อ $RVS > CR$ ส่งผลให้วงจร M^2C^3 เกิดการถ่ายโอนพลังงานขึ้นโดยที่วงจร M^2C^3 4 ระดับจะทำการลดกำลังไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำลง 4 เท่าหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อวงจร M^2C^3 ในสภาวะปกติดังรูป 3.5 ที่มีบัสแรงดันสูงมีค่าเท่ากับ 144 V และบัสแรงดันต่ำมีค่าเท่ากับ 36 V แล้วหลังจากนั้นบัสแรงดันต่ำมีแรงดันไฟฟ้าลดลงจาก 36 V จึงทำให้เกิดสภาวะ $RVS > CR$ ขึ้นจึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำดังรูป 3.6

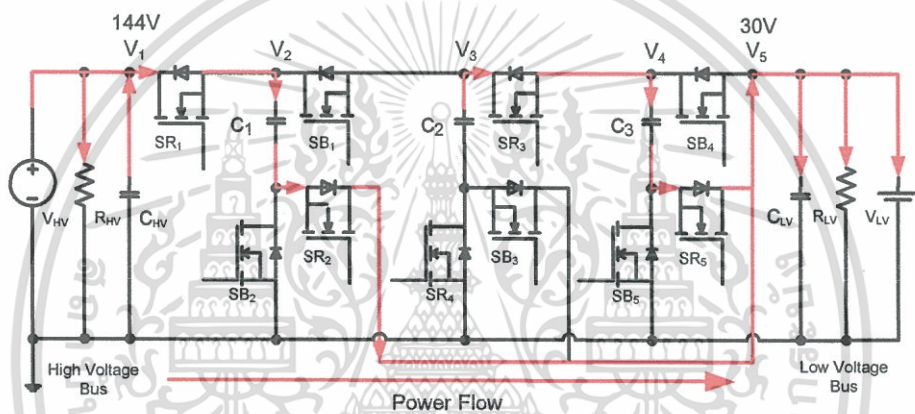


(ก) วงจร M^2C^3 4 ระดับ $CR = RVS$

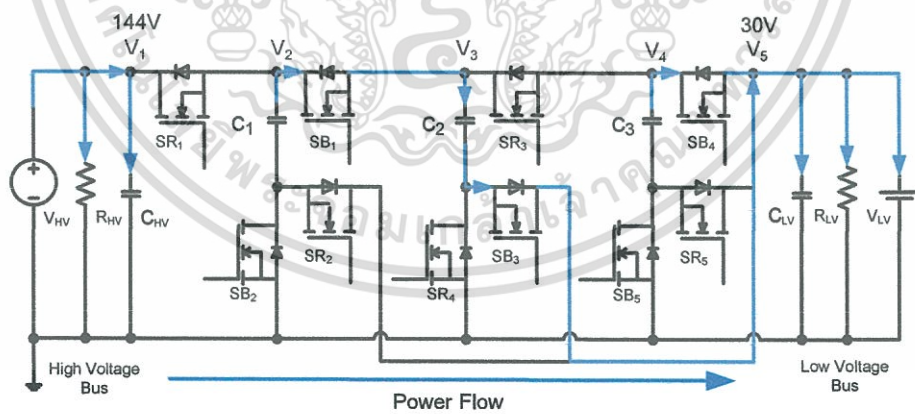
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจร M^2C^3 4 ระดับ $CR < RVS$



(ค) ทิศทางการไหลของกระแสขณะสวิตช์ SR_n ทำงาน



(ง) ทิศทางการไหลของกระแสขณะสวิตช์ SB_n ทำงาน

รูปที่ 3.6 การทำงานของวงจรเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า จากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

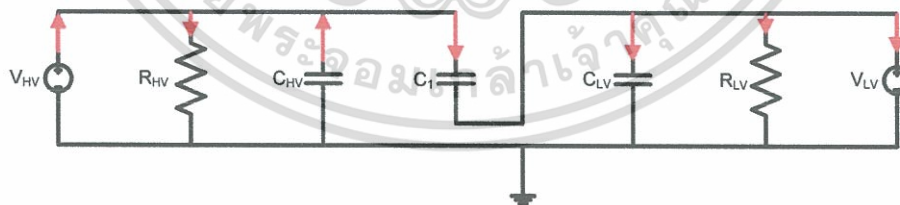
และเมื่อสวิตช์กำลังทั้งสองสัญญาณทำงานจะทำให้เกิดการสะสมประจุและคายประจุให้กับตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล ซึ่งจะทำให้เกิดการลดระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 4 ระดับซึ่งแสดงและอธิบายวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันสูง V_{HV} และตัวเก็บประจุ C_{HV} จะทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_1 และ C_{LV} เพื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ ในช่วงเวลานี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{HV} = V_{HV}$, $C_1 = (3/4)V_{HV}$ และ $C_{LV} = (1/4)V_{HV}$

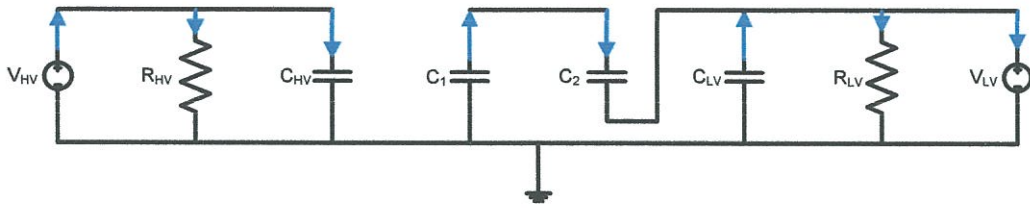
ช่วงที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันสูง V_{HV} ทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_{HV} พร้อมกับกับที่ตัวเก็บประจุ C_1 ทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_2 และ C_{LV} จะถูกคายประจุเพื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ ในช่วงเวลานี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{HV} = V_{HV}$, $C_1 = (3/4)V_{HV}$, $C_2 = (2/4)V_{HV}$ และ $C_{LV} = (1/4)V_{HV}$

ช่วงที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ค) ในช่วงเวลานี้จะมีการทำงานเหมือนช่วงที่ 1 อีกครั้ง แต่จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ C_2 ซึ่งจะทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_{LV} เพื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ ในขั้นตอนนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{HV} = V_{HV}$, $C_1 = (3/4)V_{HV}$, $C_2 = (2/4)V_{HV}$ และ $C_{LV} = (1/4)V_{HV}$

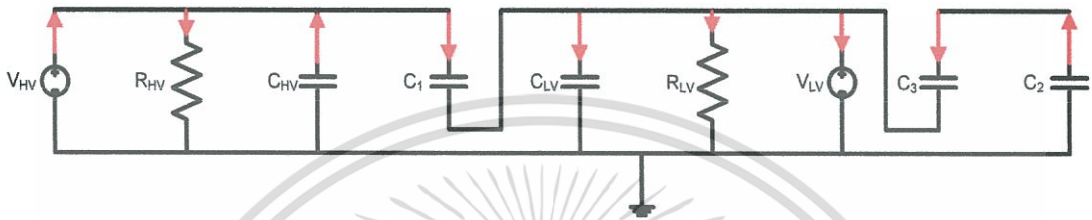
ช่วงที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ง) ในช่วงเวลานี้จะทำงานเหมือนช่วงที่ 2 แต่จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ C_3 จะถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปที่บัสแรงดันต่ำพร้อมกับตัวเก็บประจุ C_2 ในขั้นตอนนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{HV} = V_{HV}$, $C_1 = (3/4)V_{HV}$, $C_2 = (2/4)V_{HV}$ และ $C_{LV} = (1/4)V_{HV}$ หลังจากนั้นวงจรสมมูลจะทำงานในช่วงที่ 3 และช่วงที่ 4 สลับกันไปตามสัญญาณควบคุม



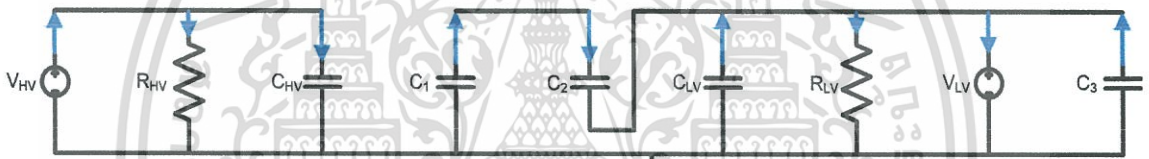
(ก) วงจรสมมูลในช่วงที่ 1



(ข) วงจรสมมูลในช่วงที่ 2



(ค) วงจรสมมูลในช่วงที่ 3



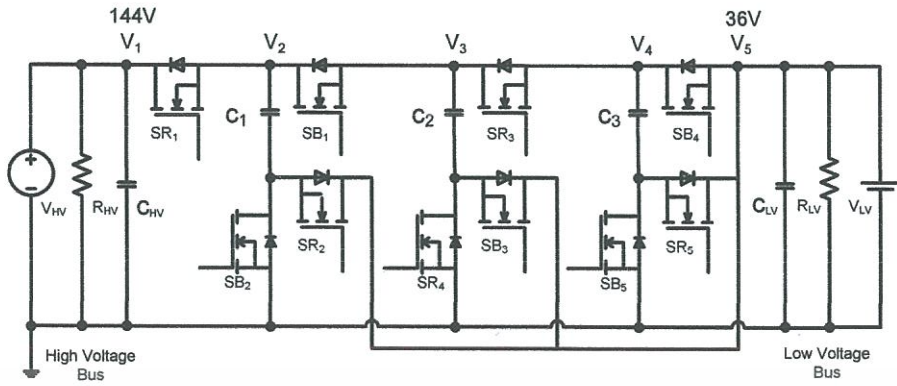
(ง) วงจรสมมูลในช่วงที่ 4

รูปที่ 3.7 ช่วงการทำงานของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในแบบวงจรสมมูลเมื่อวงจรมีทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ

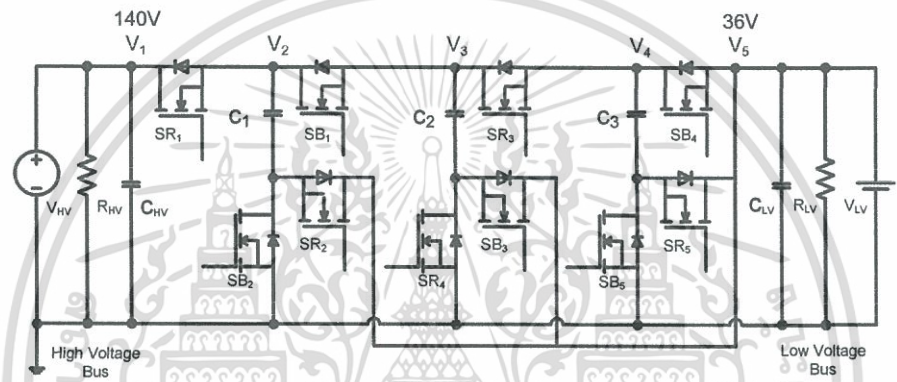
3.6.3 การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าหรือแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้า

การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าหรือแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Step-up mode or Back-up energy mode) คือการที่วงจร M^2C^3 มีกระแสไหลจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูง ซึ่งจะเกิดขึ้นต่อเมื่อ $RVS < CR$ ส่งผลให้วงจร M^2C^3 เกิดการถ่ายโอนพลังงานขึ้นโดยที่วงจร M^2C^3 4 ระดับจะทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้น 4 เท่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อวงจร M^2C^3 ในสภาวะปกติดังรูป 3.5 ที่บัสแรงดันสูงมีค่าเท่ากับ 144 V และบัสแรงดันต่ำมีค่าเท่ากับ 36 V แล้วหลังจากนั้นบัสแรงดันสูงมีแรงดันไฟฟาลดลงจาก 144 V จึงทำให้เกิดสภาวะ $RVS < CR$ ขึ้นจึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูงดังรูปที่ 3.8

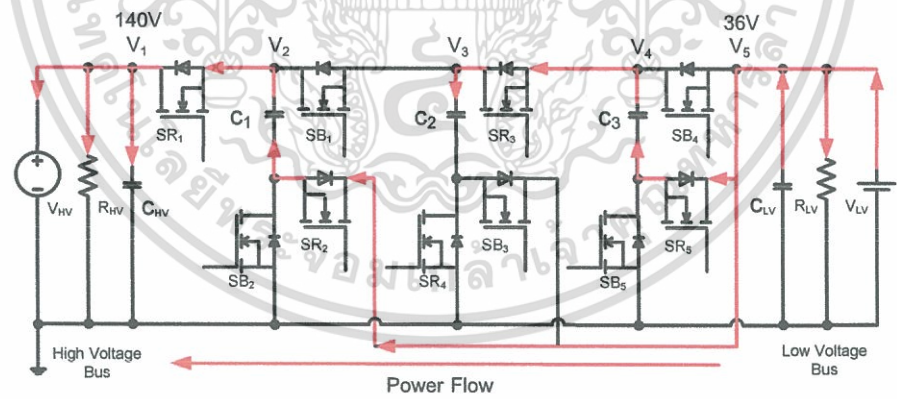
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจร M^2C^3 4 ระดับ $CR = RVS$

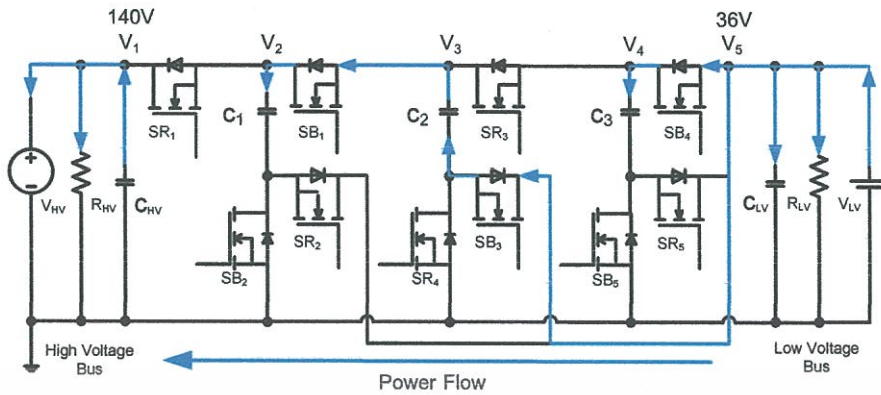


(ข) วงจร M^2C^3 4 ระดับ $CR > RVS$



(ค) ทิศทางการไหลของกระแสของสวิตช์ SR_n ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) ทิศทางการไหลของกระแสขณะสวิตช์ SB_n ทำงาน

รูปที่ 3.8 การทำงานของวงจรเมื่อทิศทางการโอนย้ายพลังงานไฟฟ้า
จากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูง

และเมื่อสวิตช์กำลังทั้งสองสัญญาณทำงานจะทำให้เกิดการสะสมประจุและคายประจุให้กับตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล ซึ่งจะทำให้เกิดการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 4 ระดับซึ่งแสดงและอธิบายวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ก) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ V_{LV} และตัวเก็บประจุ C_{LV} ทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_3 ที่ซึ่งตัวเก็บประจุ C_{LV} จะมีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_{LV} ในทุกช่วงเวลา ในช่วงนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{LV} = V_{LV}$ และ $C_3 = V_{LV}$

ช่วงที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ V_{LV} ทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_{LV} และตัวเก็บประจุ C_3 ทำการสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_2 ในช่วงนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{LV} = V_{LV}$, $C_3 = V_{LV}$ และ $C_2 = 2V_{LV}$

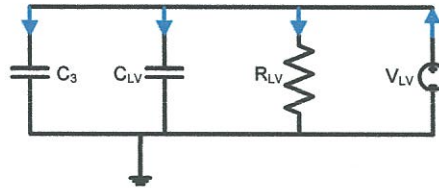
ช่วงที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ค) ตัวเก็บประจุ C_3 จะทำงานเหมือนช่วงที่ 1 และตัวเก็บประจุ C_1 จะถูกสะสมประจุด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันต่ำ V_{LV} ร่วมกับตัวเก็บประจุ C_{LV} และ C_2 เพื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันสูง ในช่วงนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{LV} = V_{LV}$, $C_3 = V_{LV}$, $C_2 = 2V_{LV}$ และ $C_1 = 3V_{LV}$

ช่วงที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ง) ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะทำงานเหมือนช่วงที่ 2 และตัวเก็บประจุ C_1 จะทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าทางด้านบัสแรงดันสูงและสะสมประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_{HV} ในช่วงนี้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าเป็นดังนี้ $C_{LV} = V_{LV}$, $C_3 = V_{LV}$, $C_2 = 2V_{LV}$, $C_1 = 3V_{LV}$ และ $C_{HV} = 4V_{LV}$

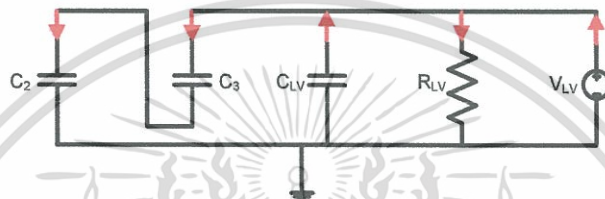
ช่วงที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(จ) จะทำงานเหมือนช่วงที่ 3 ซึ่งจะสะสมพลังงานให้กับตัวเก็บ

ประจุ C_1 และยังจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปที่บัสแรงดันสูงจากตัวเก็บประจุ C_{HV} ส่งผลให้ในช่วงนี้ตัวเก็บ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

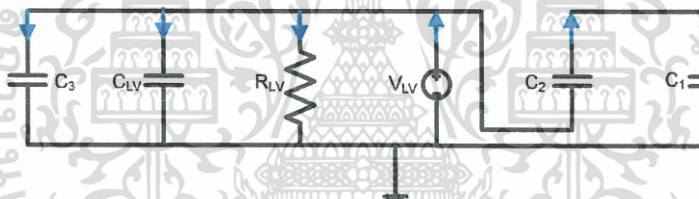
ประจุแต่ละตัวมีแรงดันไฟฟ้าดังนี้ $C_{LV} = V_{LV}$, $C_3 = V_{LV}$, $C_2 = 2V_{LV}$, $C_1 = 3V_{LV}$, $C_{HV} = 4V_{LV}$ และ $C_{HV} = V_{HV}$ หลังจากนั้นวงจรจะทำงานสลับกันตามช่วงที่ 4 และ ช่วงที่ 5



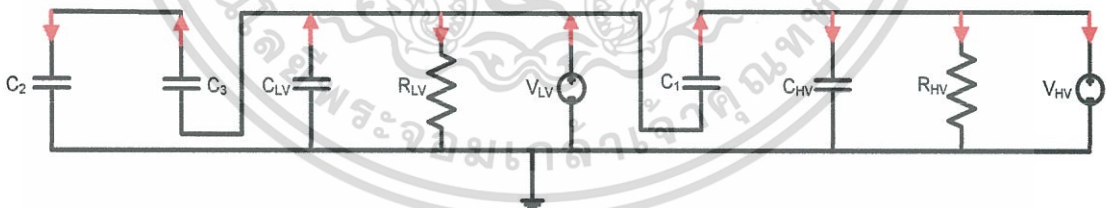
(ก) วงจรสมมูลในช่วงที่ 1



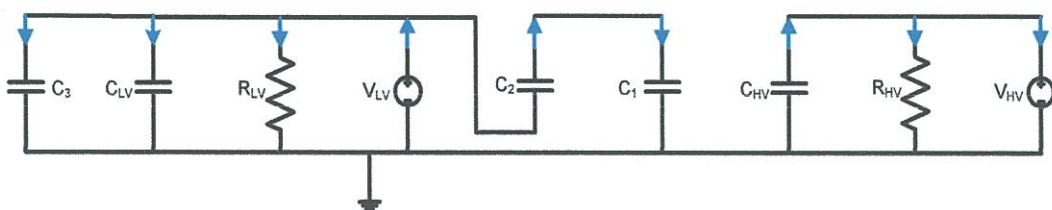
(ข) วงจรสมมูลในช่วงที่ 2



(ค) วงจรสมมูลในช่วงที่ 3



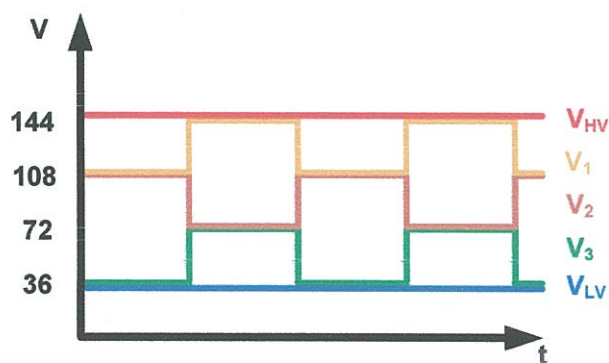
(ง) วงจรสมมูลในช่วงที่ 4



(จ) วงจรสมมูลในช่วงที่ 5

รูปที่ 3.9 ช่วงการทำงานของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในแบบวงจรสมมูลเมื่อวงจรมีทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรณีย้ายพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้าในแต่ละโหนดเทียบกราวด์



รูปที่ 3.11 แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว

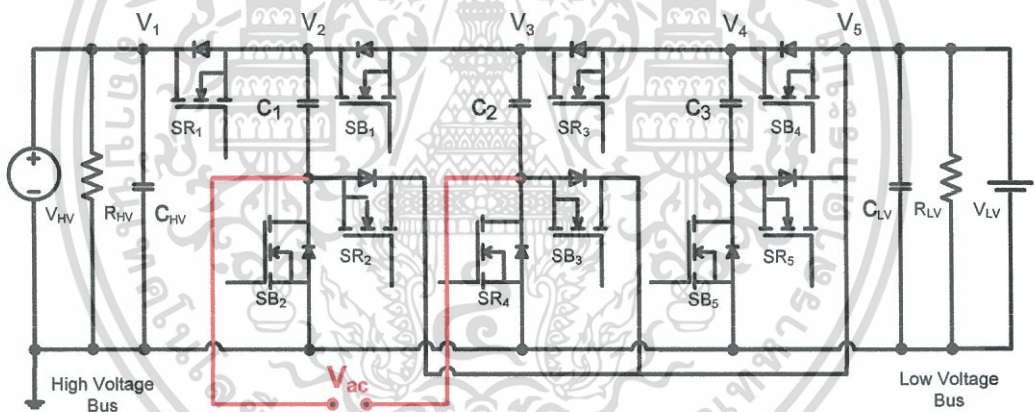
ซึ่งจากการทำงานของวงจร M^2C^3 จากการสวิตช์ SR และ สวิตช์ SB สลับกันตามสัญญาณควบคุมนั้นจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าแต่ละโหนด (Node) เทียบกราวด์ (Ground) เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นไปตามหลักการสวิตช์และสะสมและอัดประจุ (Charge and Discharge) ดังรูปที่ 3.10 และเมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะพบว่าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังรูปที่ 3.11

3.7 การสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจร M^2C^3

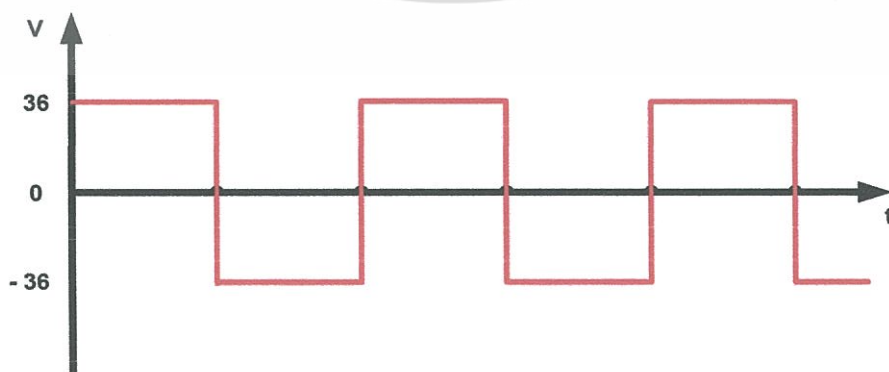
โครงสร้างวงจร M^2C^3 นั้นในธรรมชาติแล้วจะทำงานเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงเป็นหลัก แต่ด้วยการทำงานของสวิตช์ที่มีลักษณะการทำงานเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สลับกันไปมาเพียงสองสัญญาณดังกล่าว ทำให้วงจร M^2C^3 สามารถประยุกต์ใช้งานที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้เช่นกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ออกมาจากวงจร M^2C^3 นั้นจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ที่มีความถี่เท่ากับความถี่สวิตช์ของวงจร

ในการนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจร M^2C^3 นั้นจะเชื่อมต่อที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุในชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่อยู่ติดกันดังรูปที่ 3.12 ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดเท่ากับ $\pm V_{LV}$ ดังรูปที่ 3.13

โดยการประยุกต์ใช้งานแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของชุดวงจร M^2C^3 จะสามารถนำไปใช้กับภาระไฟฟ้ากระแสสลับได้ รวมไปถึงการนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์กรองกระแส (Filter) เพื่อให้ได้สัญญาณที่ออกมาให้มีความเรียบเหมาะแก่การนำไปใช้งาน อีกทั้งยังสามารถนำไปเชื่อมต่อกับหม้อแปลงความถี่สูงได้อีกด้วย

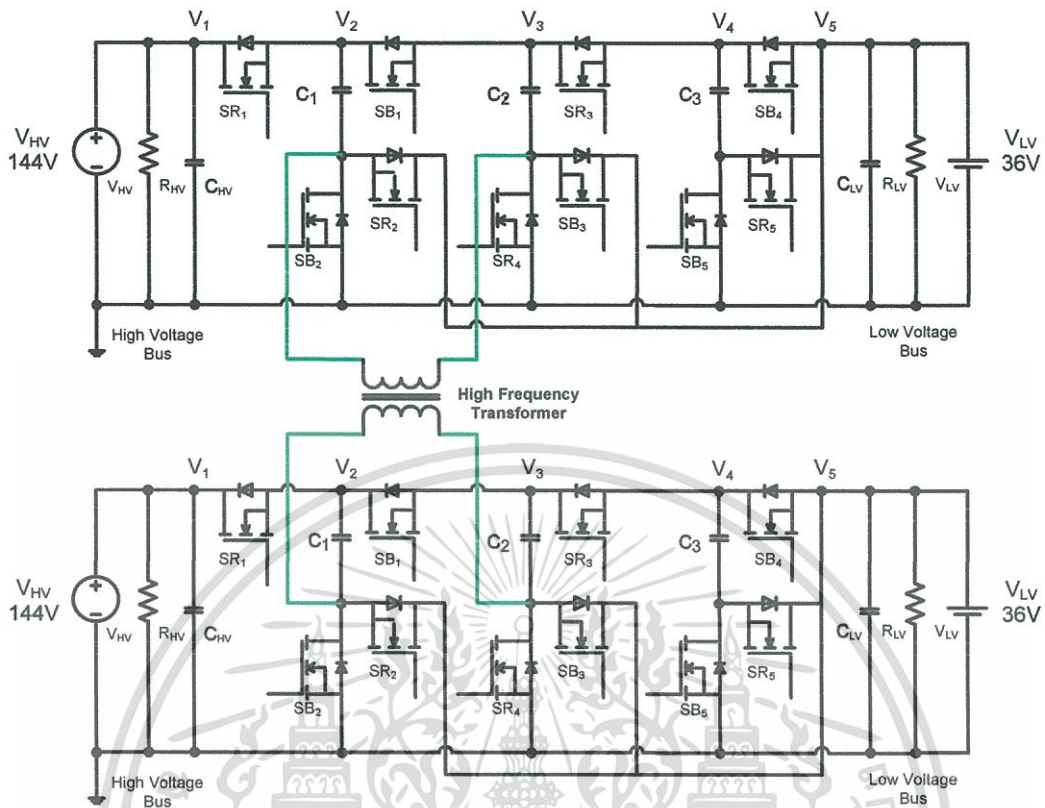


รูปที่ 3.12 แสดงจุดการเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 3.13 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีการทำงานปกติ

3.8 การทำงานของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง

การทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้านั้นจะเป็นการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์เพื่อให้วงจรมีความหลากหลายในการใช้งาน โดยที่วงจร M^2C^3 2 ชุดนั้นจะสามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง จึงสามารถสำรองพลังงานไฟฟ้าระหว่างกัน อีกทั้งมีการแยกกราวด์ระหว่างวงจรเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากอีกวงจรได้ ส่งผลให้วงจร M^2C^3 เพิ่มความน่าเชื่อถือต่อการประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC-Microgrid) โดยการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจะใช้หลักการสมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละฝั่งของหม้อแปลงความถี่สูงที่มีค่าเท่ากับบวกลบของแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ ($\pm V_{LV}$) เนื่องจากผลของการสวิตช์กำลังที่ทำให้เกิดการสะสมและคายประจุ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองฝั่งหม้อแปลงความถี่สูงมีค่าเท่ากันจะไม่มีมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งหม้อแปลงความถี่สูงจะเชื่อมต่อที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลดังรูปที่ 3.14 ที่ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นจากหลักการทำงานของสวิตช์กำลัง ทำให้วงจร M^2C^3 มีข้อเด่นเพิ่มขึ้นคือสามารถทำงานเป็นระบบสำรองพลังงานซึ่งกันและกันที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า เป็นการเพิ่ม

ประสิทธิภาพรวมถึงเสถียรภาพให้กับชุดวงจรโดยรวมได้ อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

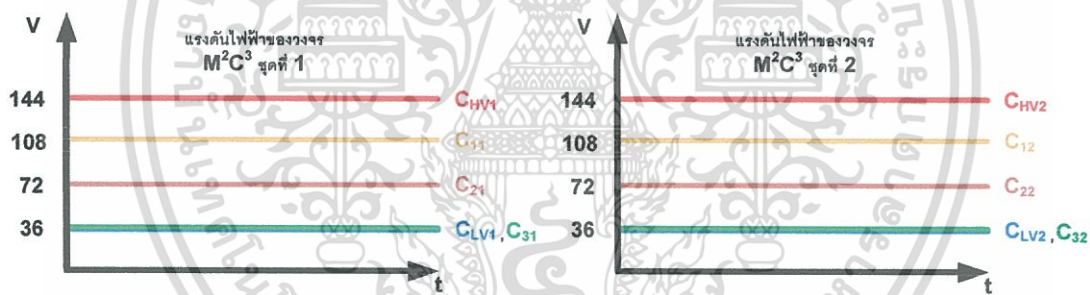
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่มีความหลากหลายได้ยิ่งขึ้น ซึ่งจะอธิบายการทำงานโดยแยกออกเป็นหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

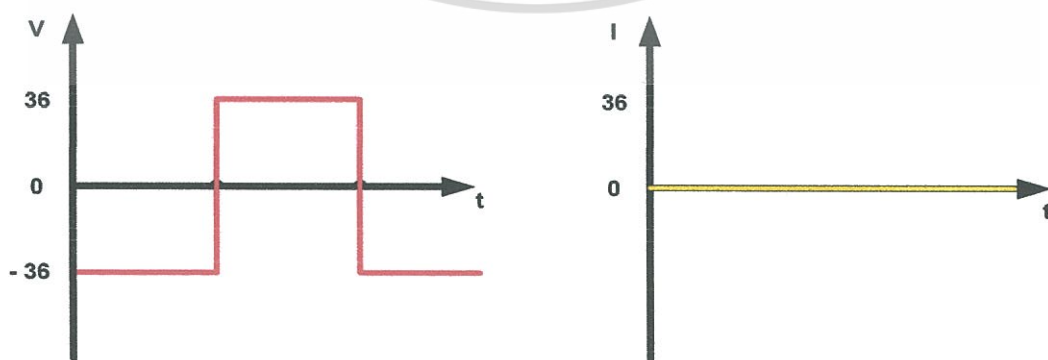
3.8.1 วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีการทำงานปกติ

การทำงานของวงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีการทำงานปกตินั้น ในการทำงานแบบนี้จะเป็นการทำงานของวงจร M^2C^3 แต่ละตัวแบบปกติหรือเรียกอีกอย่างว่า วงจร M^2C^3 สมดุลพลังงานภายในชุดวงจร (Standalone) เหมือนกับในหัวข้อ 3.5.1 ซึ่งแต่ละชุดวงจรจะมีการสมดุลพลังงาน ส่งผลให้จะไม่มีการถ่ายโอนพลังงานผ่านตัววงจร M^2C^3 แต่ละชุดวงจร จึงไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูงด้วยซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุในแต่ละชุดวงจรจะแสดงดังรูปที่ 3.15 และแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงฝั่งปฐมภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นการแสดงแรงดันและกระแสไฟฟ้าแบบอุดมคติ (Ideal Case)

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อชุดวงจร M^2C^3 ทำงานแบบปกติดังรูปที่ 3.15(ก)และ(ข) แล้วจะทำให้ไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเลย ซึ่งดูได้จากรูปที่ 3.16(ข) ที่จะเห็นว่าจะไม่มีการไหลผ่านหม้อแปลงความถี่สูง และแรงดันไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 3.16(ก) จะเห็นว่าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดเท่ากับบัสแรงดันต่ำ ($\pm V_{LV}$) ของวงจร M^2C^3



(ก) ชุดวงจรที่ 1 (ข) ชุดวงจรที่ 2
รูปที่ 3.15 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดวงจร



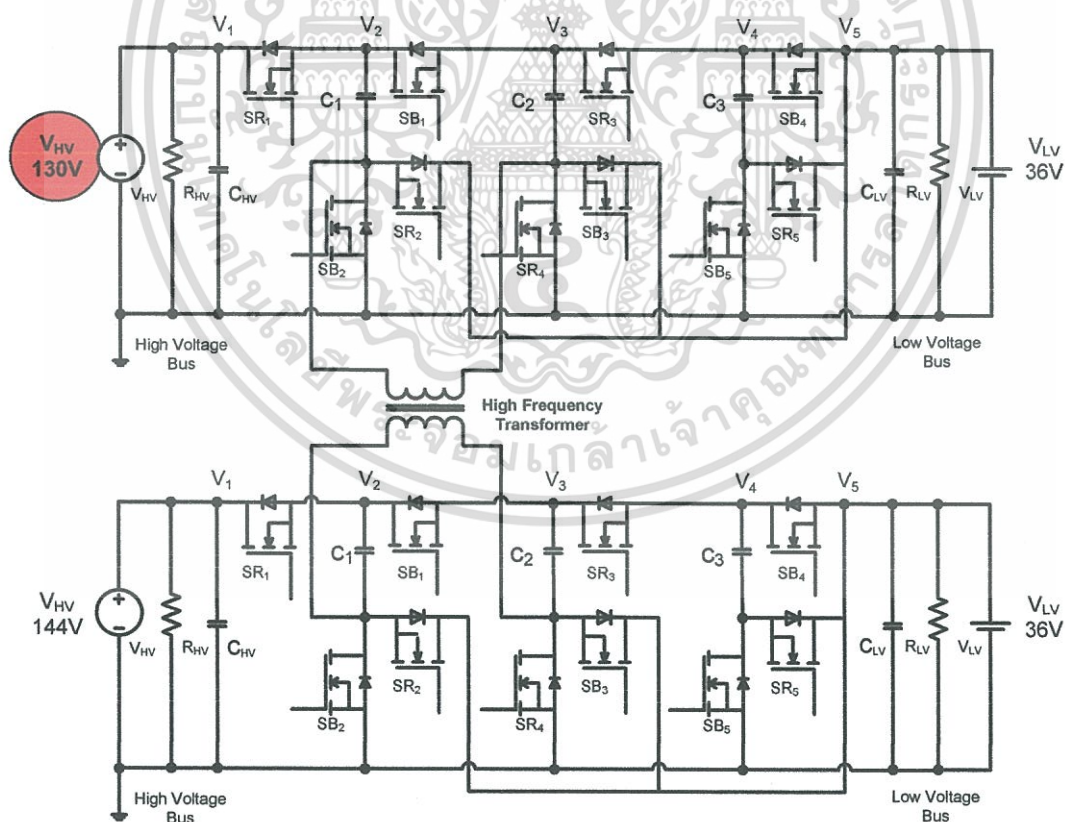
(ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า

รูปที่ 3.16 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูงทางด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

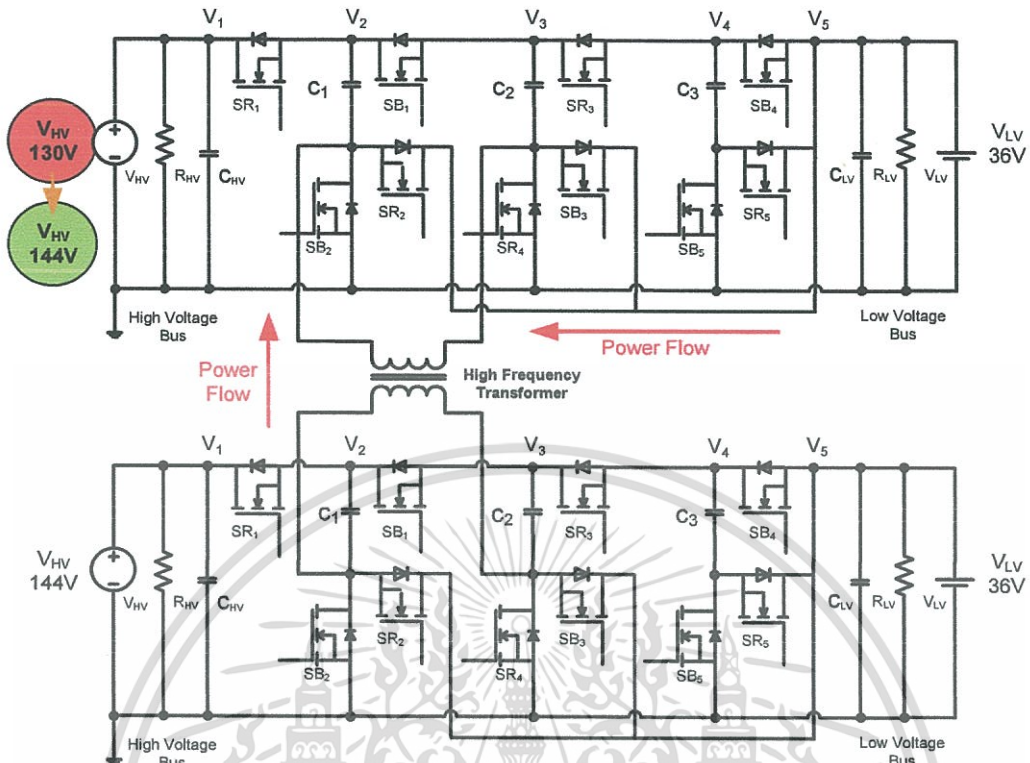
3.8.2 การทำงานในแบบสำรองพลังงานให้กัน

การทำงานในรูปแบบนี้เป็นการทำงานที่มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยในกรณีนี้จะเกิดจากชุดวงจรใดวงจรหนึ่ง (สมมติให้เป็นชุดวงจรที่ 1) เกิดความผิดปกติหรือมีแรงดันไฟฟ้าในชุดวงจรลดลงทำให้แรงดันไฟฟ้าทั้งสองฝั่งของหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 3.17 ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง พร้อมกับกับัสแรงดันต่ำเพื่อไปจ่ายภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 โดยจะทำงานตามหลักการสัญญาณควบคุมสวิตช์กำลัง แรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะแสดงดังรูปที่ 3.18 แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรปกติ และกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงดังรูปที่ 3.19 ซึ่งจากการทำงานในรูปแบบนี้ทำให้ระบบโดยรวมมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่สูงขึ้น ไม่ทำให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่เกิดความเสียหายจากการผิดพลาดของชุดวงจร M^2C^3 อีกทั้งเป็นการลดภาระของแบตเตอรี่ที่เชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 อีกด้วย และในทางกลับกันถ้าชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 เกิดความผิดปกติขึ้น ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ก็จะทำการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง

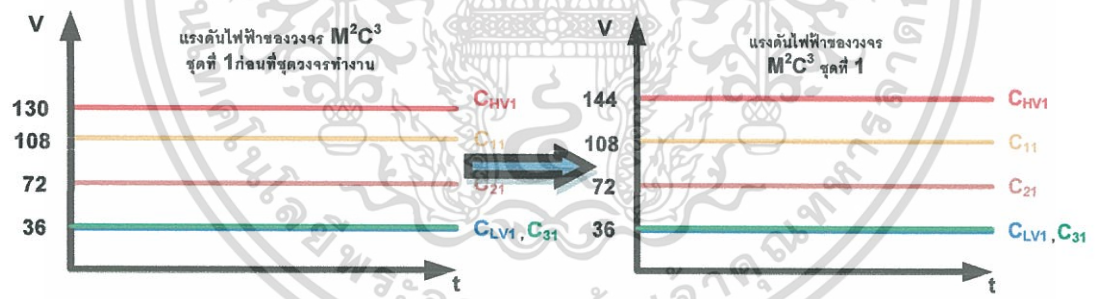


(ก) ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 เกิดแรงดันตกขึ้นที่บัสแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

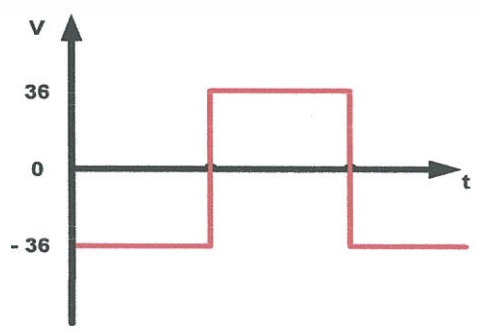


(ข) ทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 รูปที่ 3.17 ทิศทางการทำงานของชุดวงจรขณะเกิดความผิดปกติขึ้นที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

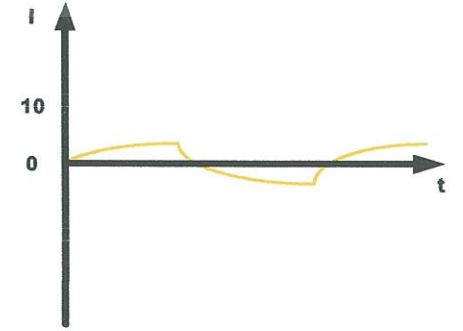


(ก) ก่อนวงจรทำงาน (ข) หลังวงจรทำงาน

รูปที่ 3.18 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละขณะก่อนและหลังการทำงานของชุดวงจร



(ก) แรงดันไฟฟ้า



(ข) หลังวงจรทำงาน

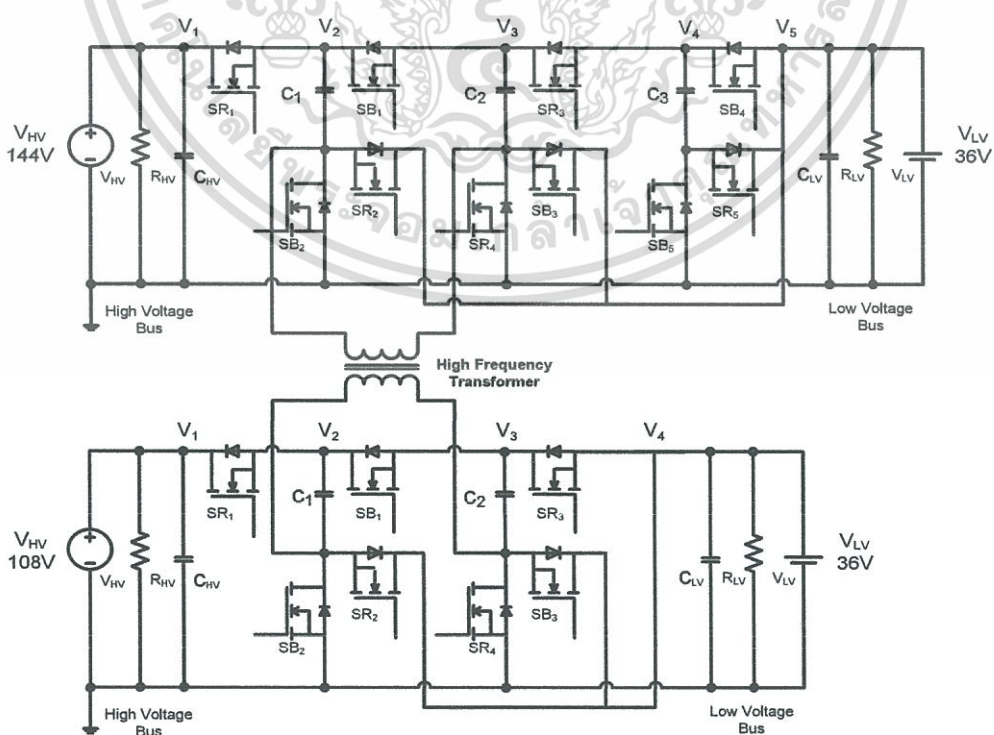
รูปที่ 3.19 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูงขณะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18(ก) จะเป็นแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวภายในชุดวงจร M^2C^3 ที่ซึ่งตัวเก็บประจุที่บัสแรงดันสูงนั้นมีแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงมาจากปกติ ทำให้แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลกันจึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าทั้งจากบัสแรงดันต่ำและหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อไปเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ดังรูปที่ 3.19 จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้านั้นจะมีค่าเฟ็งสูงขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านตัวหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อไปช่วยจ่ายภาระไฟฟ้าพร้อมกันกับพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำ

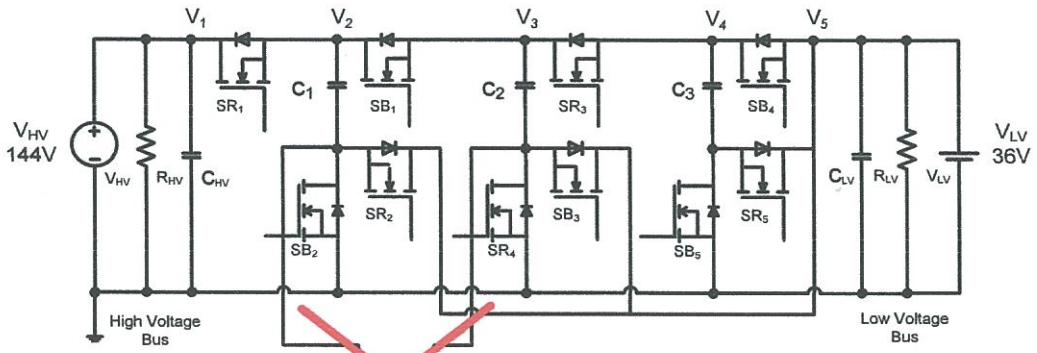
3.8.3 การทำงานปกติขณะที่แต่ละชุดวงจรที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากัน

การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขณะที่แต่ละชุดวงจรที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากันดังรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าบัสแรงดันสูงที่ชุดวงจรที่ 1 จะเท่ากับ 144 V และชุดวงจรที่ 2 เท่ากับ 108V ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากัน แต่สามารถทำงานเหมือนกับรูปแบบ 3.7.1 ที่จะไม่มีการแสไฟฟ้าไหลผ่านที่หม้อแปลงความถี่สูง เนื่องจากสมดุลพลังงานของหม้อแปลงความถี่สูง อีกทั้งยังมีการแยกโดดทางไฟฟ้าระหว่างชุดวงจร ส่งผลให้เมื่อระบบไฟฟ้าในชุดวงจรใดเกิดความเสียหายขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่ออีกชุดวงจรและภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับชุดวงจรนั้นด้วย ทำให้รูปแบบนี้เหมาะสมต่อการนำไปเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน แต่ในการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงนั้นจะต้องมีค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (RVS) ที่เท่ากันทั้งสองชุดวงจรโดยที่บัสแรงดันต่ำมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้ไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขึ้นทั้งภายในวงจรและที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 3.21 โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะแสดงดังรูปที่ 3.22 และแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ฝั่งของหม้อแปลงความถี่สูงจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าเท่ากับบัสแรงดันต่ำ ($\pm V_{LV}$) ดังรูปที่ 3.23

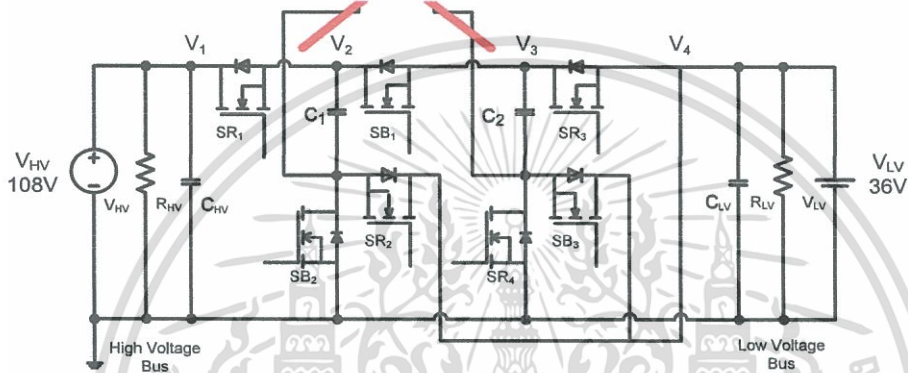


รูปที่ 3.20 วงจร M^2C^3 2 ชุดที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากัน

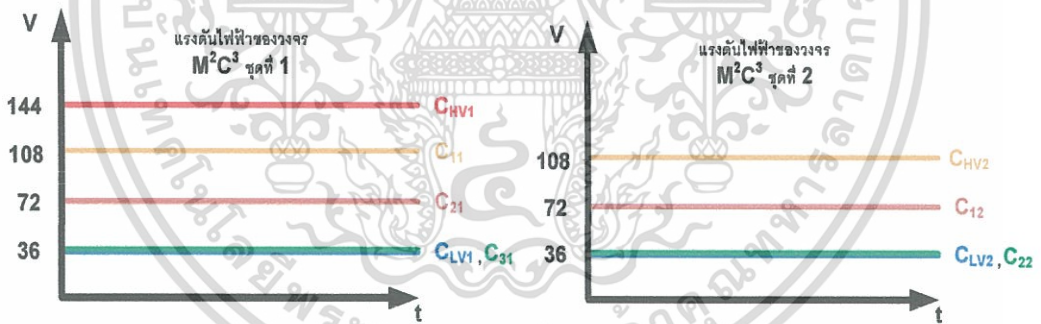
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการค้าเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No current flow



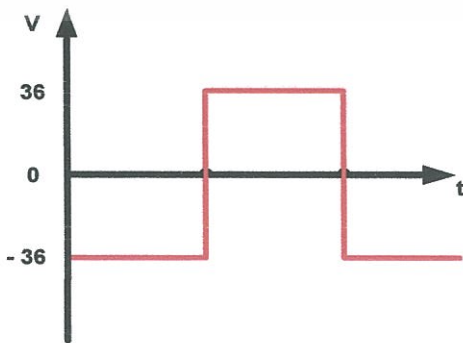
รูปที่ 3.21 แสดงถึงทิศทางการไหลของกระแสของวงจร M^2C^3 2 ชุดทำงานแบบปกติ



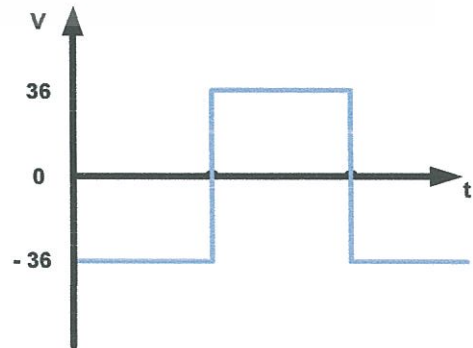
(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 3.22 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว



(ก) แรงดันฝั่งปฐมภูมิ

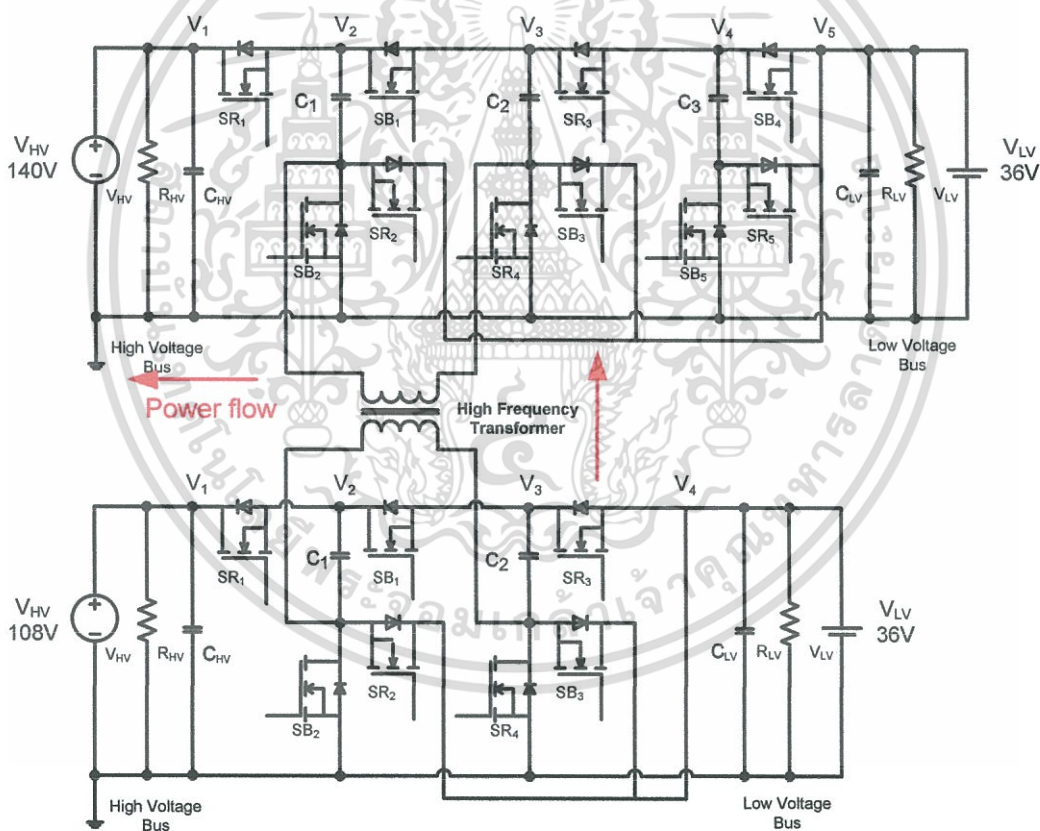


(ข) แรงดันฝั่งทุติยภูมิ

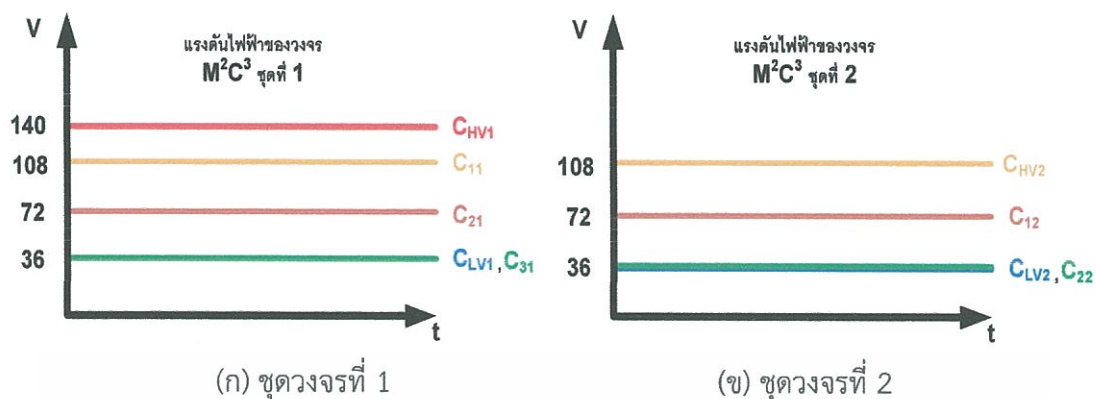
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.23 แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่ต่ำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.4 การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขณะที่แต่ละชุดวงจรมีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากัน

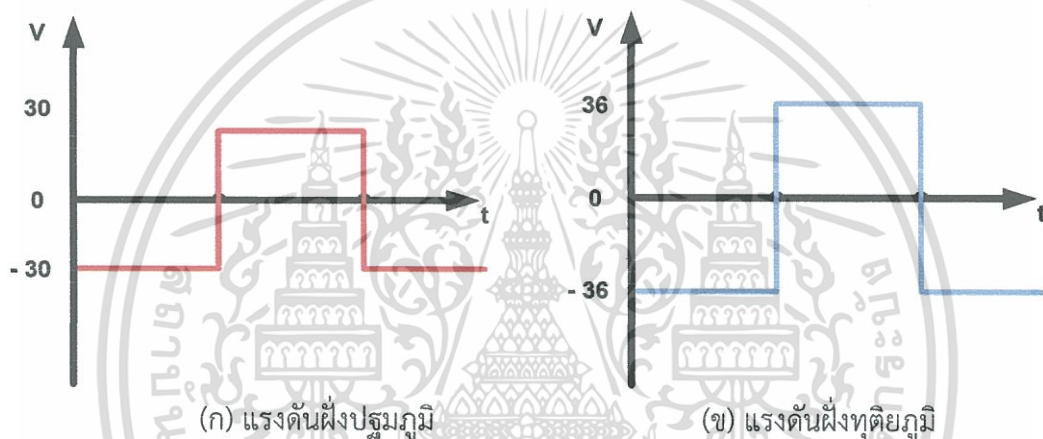
การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบนี้จะเหมือนกับ 3.7.2 ที่ซึ่งวงจร M^2C^3 แต่ละตัวทำงานในรูปแบบสำรองพลังงานซึ่งกันและกัน โดยจะใช้หลักการของการสมดุลพลังงานของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (RVS) โดยที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจรจะต้องมีค่าเท่ากัน และเมื่อชุดวงจรที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจรที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 3.24 ซึ่งจะสมมติให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 มีค่าลดลง ส่งผลให้ระดับแรงดันไฟฟ้าของชุดที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชุดวงจรที่ 2 จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจรที่ 2 ไปยังชุดวงจรที่ 1 ที่ซึ่งแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะแสดงดังรูปที่ 3.25 และแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.26 ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากัน



รูปที่ 3.24 ทิศทางของการไหลของกระแสขณะชุดวงจรมีแรงดันไม่เท่ากัน



รูปที่ 3.25 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว



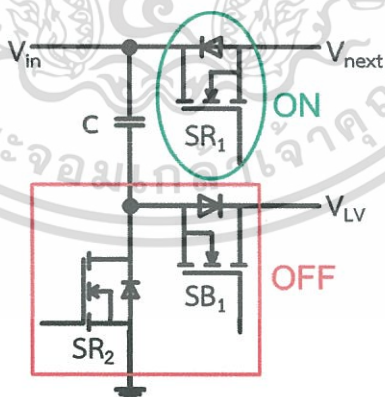
รูปที่ 3.26 แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

จากรูปแบบการทำงานทั้งหมดของวงจร M²C³ ทุกรูปแบบนั้นจะมีจุดที่สำคัญและเหมือนกันในทุกการทำงานคือ หลักการของการสมดุลพลังงานไฟฟ้า เมื่อทุกบัสแรงดันไฟฟ้ามีแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากันหมดตามอัตราส่วนแรงดันจะไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่บัสใดเกิดลดน้อยลงจะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด รวมไปถึงการนำวงจร M²C³ 2 ชุดมาเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงนั้นก็ใช้หลักการเดียวกันคือการสมดุลพลังงานทั้งสองฝั่งของหม้อแปลงความถี่สูงโดยใช้หลักการสมดุลพลังงานของระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งทำให้ชุดวงจรแต่ละชุดทำงานเป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าซึ่งกันและกัน และมีการแยกโดเมนไฟฟ้าออกจากกัน

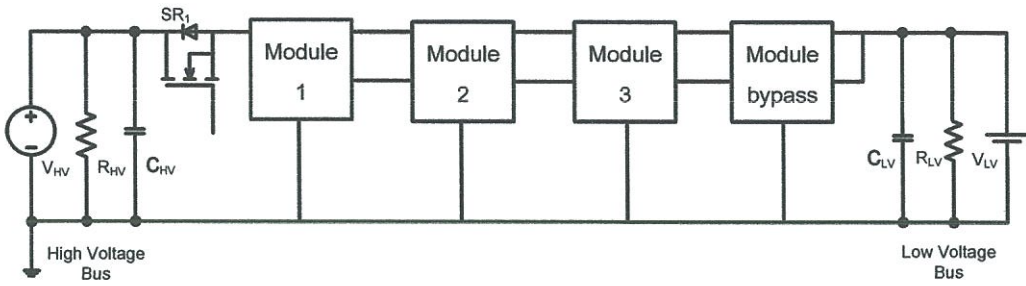
3.9 การบายพาสความผิดพลาดของวงจร M^2C^3

วงจร M^2C^3 มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่างของวงจร และการที่สามารถบายพาสความผิดพลาด (Fault) ที่เกิดในชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลได้ก็เป็นส่วนหนึ่งในนั้น แต่ข้อจำกัดของการบายพาสของวงจร M^2C^3 นั้นจำเป็นต้องมีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลสำรองเพื่อรักษาอัตราส่วนของการแปลงผัน (CR) ให้มีค่าคงที่ และจำเป็นที่จะต้องให้สวิตช์กำลังตัวบนสุดของชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลทำงาน (On) ตลอดเวลา จึงทำให้การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กไม่เกิดผลกระทบขึ้น

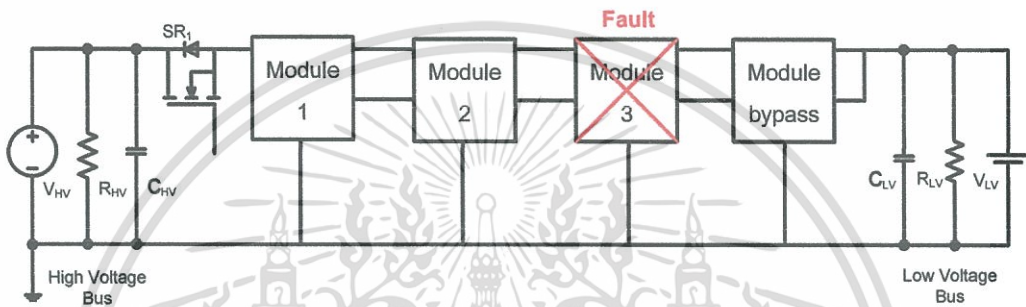
การทำงานในรูปแบบของบายพาสนั้นจำเป็นที่จะต้องให้สวิตช์กำลังตัวบนสุดของชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลทำงาน (On) ตลอดเวลา ส่วนสวิตช์กำลังอีกสองตัวนั้นจะทำงานหรือไม่ทำก็ได้ดังรูปที่ 3.27 ซึ่งจะเรียกสภาวะนี้ว่าสภาวะบายพาส (Bypass state) ส่วนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่ทำงานในสภาวะปกติจะเรียกว่าสภาวะแอคทีฟ (Active state) ซึ่งในการทำงานจริงนั้นจะต้องมีชุดตรวจจับความผิดพลาด (Sensor) เพื่อตรวจหาตำแหน่งของโมดูลที่เกิดความผิดพลาดขึ้น เมื่อตรวจพบแล้วจะทำการบายพาสชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลนั้นออกจากระบบแล้วนำชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลสำรองมาเชื่อมต่อแทน เพื่อรักษาค่า CR ให้มีค่าคงที่ และป้องกันการเสียหายของระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามวงจร M^2C^3 นั้นจะไม่สามารถบายพาสได้ในกรณีที่สวิตช์กำลังตัวบนสุดในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลเกิดความผิดพลาดขึ้น เป็นผลให้กระแสไฟฟ้าไหลขาดช่วง จึงทำให้วงจร M^2C^3 ต้องหยุดตัวลงหรือไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ซึ่งจะขออธิบายการบายพาสการทำงานของวงจร M^2C^3 ดังรูป 3.28



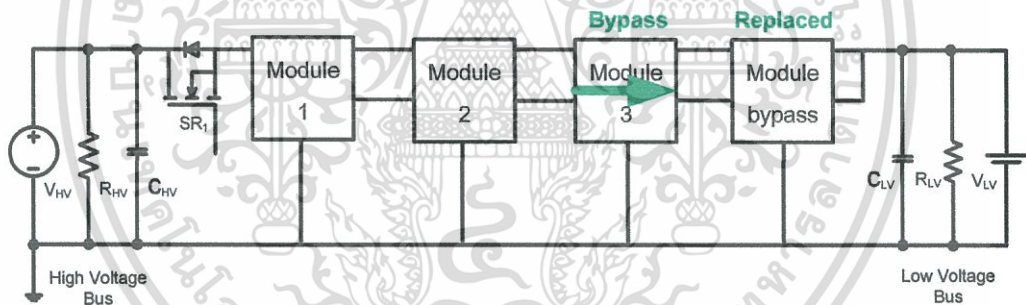
รูปที่ 3.27 หลักการบายพาสชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล



(ก) ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลทำงานในสภาวะปกติ



(ข) เกิดความผิดปกติที่ชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ 3



(ค) ชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ 3 เกิดการบายพาสความผิดปกติและชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ 4 เข้ามาแทนที่การทำงาน

รูปที่ 3.28 ขั้นตอนการบายพาสความผิดปกติของวงจร M^2C^3 4 ระดับ

จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าเมื่อมีการทำงานปกติดังรูปที่ 3.28(ก) ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลบายพาสจะเชื่อมต่ออยู่กับวงจรโดยที่ทำงานเฉพาะสวิตช์กำลังที่อยู่บนสุดเท่านั้น และเมื่อตรวจพบความผิดปกติขึ้นในชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ 3 ดังรูปที่ 3.28(ข) ที่ซึ่งสวิตช์กำลังตัวบนสุดยังทำงานได้อยู่ นั้นชุดประมวลผลจะควบคุมสัญญาณให้สวิตช์กำลังตัวบนสุดทำงานเพียงตัวเดียว เพื่อให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ที่เกิดความผิดปกติทำงานเป็นชุดบายพาสแทน พร้อมกับส่งสัญญาณไปให้ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลบายพาสเพื่อให้งานแทนดังรูปที่ 3.28(ค) เพื่อรักษาระดับของการแปลงผันให้มีอัตราส่วนเท่าเดิม

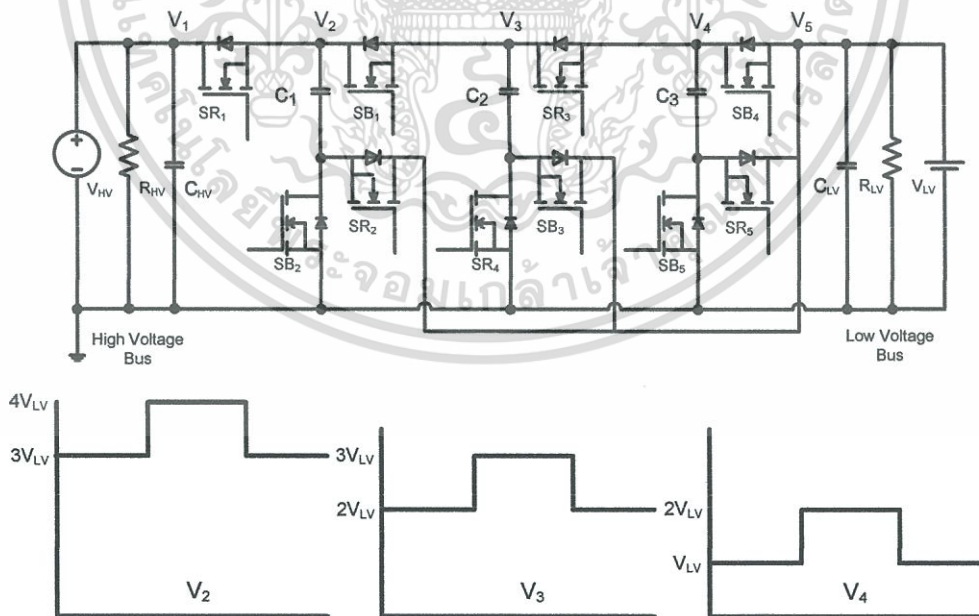
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายและภาระไฟฟ้าที่หลากหลายกับวงจร M^2C^3

วงจร M^2C^3 นั้นจะมีชุดคอนเวอร์เตอร์หลายๆชุดเชื่อมต่อกันอยู่แบบอนุกรม ส่งผลให้เกิดแรงดันแต่ละระดับขึ้นที่จุดเชื่อมต่อของชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งในแต่ละระดับแรงดันจะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่บัสแรงดันต่ำกับลำดับของชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลดังรูปที่ 3.29 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลจึงมีขนาดเป็นจำนวนเท่าของทางบัสแรงดันต่ำ ส่งผลให้สามารถนำภาระไฟฟ้าที่มีความหลากหลายระดับแรงดันไฟฟ้ามาเชื่อมต่อกับชุดวงจร M^2C^3 ได้ ส่งผลให้สามารถนำชุดวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบเสมือนเป็นหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกกระดัดแรงดันไฟฟ้าได้ (Tap-Change DC Transformer) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่วัดแต่ละโหนดเทียบกับกราวด์จะได้แรงดันไฟฟ้างดตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แรงดันไฟฟ้าแต่ละโหนดเทียบกับกราวด์

สถานะ	การทำงาน	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
1	SR_N on	$4V_{LV}$	$4V_{LV}$	$2V_{LV}$	$2V_{LV}$	$1V_{LV}$
2	SB_N on	$4V_{LV}$	$3V_{LV}$	$3V_{LV}$	$1V_{LV}$	$1V_{LV}$



รูปที่ 3.29 แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของวงจร M^2C^3

การออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของวงจร M^2C^3 โดยมีอุปกรณ์หลักๆคือ ตัวเก็บประจุ สวิตช์กำลัง และหม้อแปลงความถี่สูงที่ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวจะต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับ เพื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัดอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.11.1 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุในวงจร M^2C^3 นี้จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหลัก เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อวงจร M^2C^3 ที่ไว้สะสมและคายประจุเพื่อให้ชุดวงจรเกิดการอนุกรมและขนานตามการทำงานของสวิตช์กำลังในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าได้หลายระดับ รวมไปถึงสามารถทำการรักษาแรงดันไฟฟ้าให้มีความคงที่ต่อเนื่อง โดยตัวเก็บประจุในแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งของวงจรที่ใช้หลักการที่ว่าในช่วงที่ตัวเก็บประจุทำงานที่สภาวะอยู่ตัวแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด และกระแสไฟฟ้าใน 1 คาบเวลาจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ พื้นที่การสะสมและคายประจุต้องมีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 3.30 ซึ่งค่าการเก็บประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตั้งสมการ

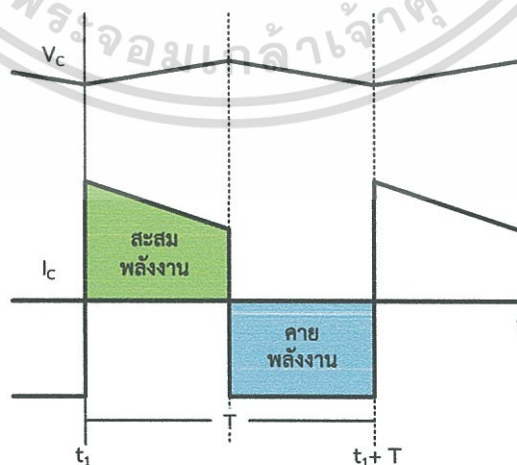
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3.3)$$

เมื่อ

X_C คือ อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (Ω)

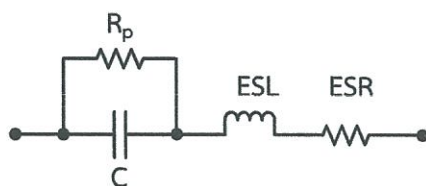
f คือ ความถี่ไฟฟ้า (Hz)

C คือ ค่าการเก็บประจุไฟฟ้า (F)



รูปที่ 3.30 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในสภาวะอยู่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ค่าพารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุ

แต่การเลือกใช้ตัวเก็บประจุทางปฏิบัตินั้นจะมีตัวพารามิเตอร์แฝง อาทิเช่นค่าความต้านทานแฝงอนุกรมสมมูล (Equivalent Series Resistance หรือ ESR) ค่าความเหนี่ยวนำแฝงอนุกรมสมมูล (Equivalent Series Inductance หรือ ESL) และค่าความต้านทานแฝงขนานสมมูล (Equivalent Parallel Resistance หรือ R_p) ดังรูปที่ 3.31 ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความถี่ไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะใช้งาน โดยที่พารามิเตอร์ต่างๆจะไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรงและรู้ได้จากทางบริษัทจำหน่าย แต่พารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ถ้าในอุปกรณ์มีค่าพารามิเตอร์แฝงสูงจะทำให้เกิดความสูญเสียภายในอุปกรณ์เพิ่มขึ้น ค่า R_p คือค่าความต้านทานของวัสดุที่ใช้ทำตัวเก็บประจุ และค่าตัวเหนี่ยวนำแฝงอนุกรมสมมูล หรือจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นและจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปสามารถคำนวณได้จากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวสามารถหาได้ดังสมการ

$$ESL = 2\pi fL \quad (3.4)$$

เมื่อ

ESL คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำแฝงอนุกรมสมมูล (Ω) f คือ ความถี่ไฟฟ้า (Hz)

L คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำ (H)

ค่าความต้านทานแฝงอนุกรมสมมูล หรือ ESR จะมีค่าลดลงเมื่อค่าการเก็บประจุไฟฟ้า ความถี่ และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่า ESR สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ESR = \frac{D.F.}{2\pi fC} \quad (3.5)$$

เมื่อ

ESR คือ ค่าความต้านทานแฝงอนุกรมสมมูล (Ω) f คือ ความถี่ไฟฟ้า (Hz)

C คือ ค่าการเก็บประจุไฟฟ้า (F)

D.F. คือ มุมระหว่างค่าเวกเตอร์ Z กับ X_C (Degree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า D.F. (Dissipation Factor) สามารถหาค่าได้จากมุม δ ในสมการที่ 3.6 ซึ่งเกิดจากมุมระหว่างค่าเวกเตอร์ Z กับ เวกเตอร์ $X_C - X_L$ ดังแสดงในรูปที่ 3.30 โดยที่มุม δ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3.9

$$D.F. = \tan(\delta) \quad (3.6)$$

$$\tan(\delta) = \frac{R}{X_C} \quad (3.7)$$

$$R = ESR \quad (3.8)$$

โดยที่

$$\delta = 90 - \theta \quad (3.9)$$

เมื่อ

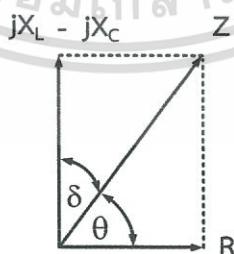
δ คือ มุมระหว่างค่าเวกเตอร์ Z กับ X_C (Degree)

θ คือ มุมระหว่างค่าเวกเตอร์ Z กับ R (Degree)

R คือ ค่าความต้านทานแฝงอนุกรมสมมูลย์ (Ω)

X_C คือ อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (Ω)

จากสมการที่ 3.9 มุม θ เกิดจากมุมระหว่างค่าเวกเตอร์ Z กับ เวกเตอร์ R ซึ่งสามารถหามุม θ ได้โดยการใช้หลักการของผลตอบสนองเชิงเวลาในวงจร RLC และจากรูปที่ 3.32 จะสามารถหาค่าเวกเตอร์ของอิมพีแดนซ์รวม (Z) ได้จากสมการที่ 3.10 และหาขนาดของอิมพีแดนซ์รวม ได้จากสมการที่ 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.32 เวกเตอร์ของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \frac{1}{j\omega C} + j\omega L + R \quad (3.10)$$

โดยที่

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.11)$$

หรือ

$$|Z| = \sqrt{ESR^2 + \left(ESL - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.12)$$

ซึ่งจากสมการที่ 3.12 ถ้าค่าอิมพีแดนซ์รวมมีค่ามากจะส่งผลให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันและกระแสมากขึ้น ทำให้ความสูญเสียที่เกิดจากตัวเก็บประจุมีค่ามาก แต่พารามิเตอร์เหล่านี้ทางผู้ผลิตจะไม่ได้บอกมาโดยตรง จึงต้องเลือกขนาดของตัวเก็บประจุในวงจรได้จากแรงดันไฟฟ้าที่ชดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่ต่ออยู่ ซึ่งจะได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากันจึงทำให้ขนาดของตัวเก็บประจุขนาดที่ไม่เท่ากันด้วย แต่ในการทำงานจริงนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงหลักการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ (Volt-sec Balance) ที่ซึ่งควรจะมีค่าความจุไฟฟ้าที่เท่ากันเพื่อให้ลักษณะการสะสมและคายประจุเหมือนกัน เป็นการลดการกระเพื่อมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้น้อยที่สุด ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุนั้นจะต้องมีค่าดังสมการ 3.13 ที่ซึ่งตัวเก็บประจุในแต่ละตัวจะได้รับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ $V_{C1} = 4V_{CLV}$, $V_{C2} = 3V_{CLV}$, $V_{C3} = 2V_{CLV}$, $V_{C4} = V_{C5} = V_{CLV}$

$$P = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3.13)$$

โดยที่

P คือ กำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (W)

C คือ ค่าความจุไฟฟ้า (F)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ (V)

และขนาดของตัวเก็บประจุของที่เหมาะสมสามารถหาได้จากสมการที่ 3.14 ที่ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสามารถเลือกพิกัดแรงดันได้จากอัตราส่วนการแปลงผันของชดคอนเวอร์เตอร์โมดูล แต่ขนาดของความจุไฟฟ้าจะต้องมีค่าที่มีขนาดเท่ากันทุกตัวเก็บประจุเพื่อลดความสูญเสียของการสะสมและคายประจุที่ซึ่งค่าความจุที่เหมาะสมหาได้จากสมการ

$$V_{in} = v_C(t) + RC \frac{dv_C(t)}{dt} + LC \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} \quad (3.14)$$

$$v_C(0) = V_C \quad (3.15)$$

โดยที่

L	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำแฝง
R	คือ	ความต้านทานหาได้จาก $\sum R_{ON} + \sum R_{ESR}$
C	คือ	ค่าความจุไฟฟ้า
$v_C(t)$	คือ	แรงดันที่ตัวเก็บประจุ ณ เวลาใดๆ
V_C	คือ	แรงดันตัวเก็บประจุแรกเริ่ม

3.11.2 สวิตช์กำลัง

อุปกรณ์สวิตช์กำลังเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีความสำคัญอย่างมากต่อวงจร ซึ่งทำหน้าที่สวิตช์ตามสัญญาณควบคุมที่ได้รับเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า โดยสวิตช์กำลังจะมีคุณลักษณะอุดมคติ (Ideal Characteristics) ดังนี้

- สามารถทนแรงดันเบรกได้นี้ได้สูง
- แรงดันตกคร่อมและความต้านทานขณะนำกระแสต่ำ
- มีการเปลี่ยนสถานะช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสที่เร็ว
- สามารถใช้งานที่ระดับความร้อนสูง

อุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจร M^2C^3 จะต้องสามารถใช้งานที่ความถี่สูง การสวิตช์ให้นำและหยุดนำกระแสจะต้องเร็ว และในการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังนั้นจะต้องมีขนาดแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์เท่ากับ 1.5 เท่าของแรงดันที่ใช้งานและกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์เท่ากับ 2 เท่าของกระแสที่ใช้งานเพื่อป้องกันการเสียหายจากการสวิตช์ที่จะมีช่วงที่เกิดกระแสพุ่งขึ้นสูง (Inrush current) รวมไปถึงสามารถหาความสูญเสียจากการสวิตช์ (Loss of Switching) ได้จากรูปที่ 3.33 และสมการที่ 3.18 [19]

$$\begin{aligned} P_{SW_ON} &= \left(\int_0^{t_1} \left(\frac{I_D}{t_1} t \right) \left(V_{DS} - \frac{V_{DS}}{t_1} t \right) dt \right) f_s \\ &= \frac{1}{6} I_D V_{DS} t_1 f_s \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$P_{SW_OFF} = \frac{1}{2} V_{DS} I_D (t_1 + t_f) f_s \quad (3.17)$$

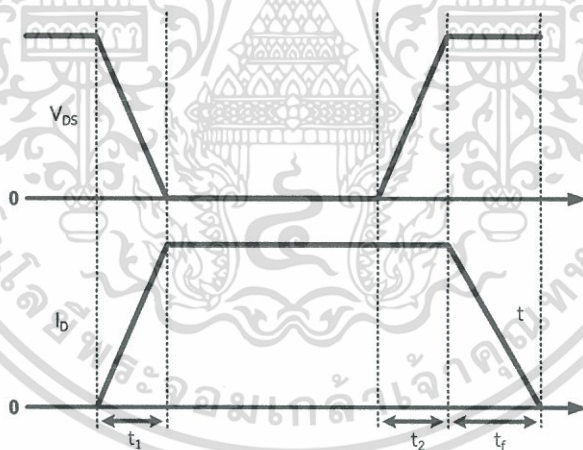
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{SW} = P_{SW_ON} + P_{SW_OFF} \quad (3.18)$$

โดยที่

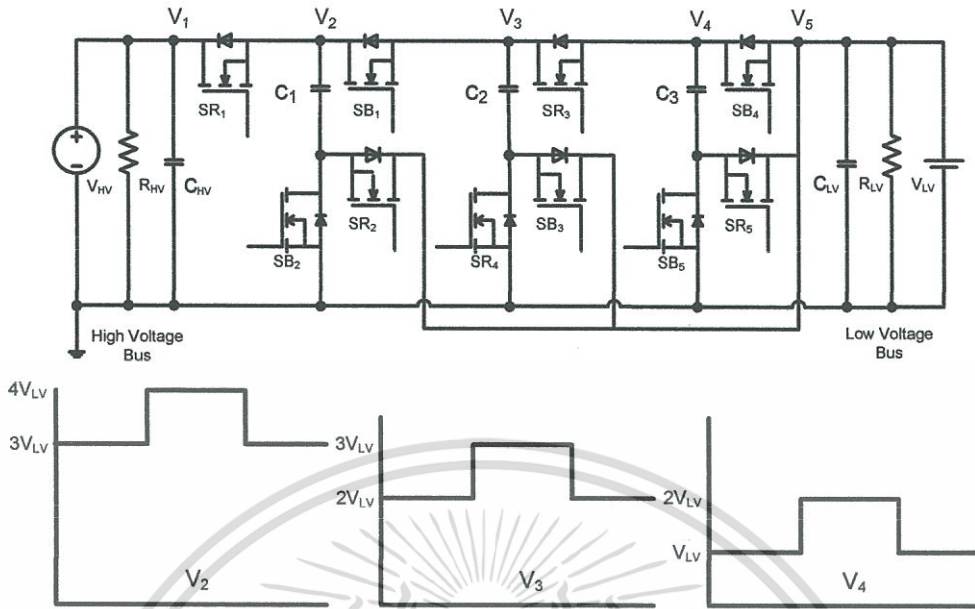
P_{SW}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสวิตช์กำลังทั้งหมด (W)
P_{SW_ON}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสวิตช์กำลังขณะทำงาน (W)
P_{SW_OFF}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสวิตช์กำลังหยุดทำงาน (W)
V_{DS}	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขาเดรนกับขาซอส (V)
I_D	คือ กระแสไฟฟ้าที่ขาเดรน (A)
f_s	คือ ความถี่ของการสวิตช์ (Hz)

และจะต้องทนแรงดันไฟฟ้าในขณะมีการสวิตช์ได้ดังรูปที่ 3.34 ที่ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อของชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่มีขนาดแรงดันไม่เท่ากันตามอัตราส่วนของการแปลงผัน ส่งผลให้ในทางทฤษฎีสามารถใช้พิกัดของสวิตช์กำลังได้หลายพิกัดแต่ในความเป็นจริงควรใช้ที่ขนาดเดียวกันเพื่อให้สวิตช์มีการทำงานที่เหมือนกันและลดการกระเพื่อมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้น้อยที่สุด



รูปที่ 3.33 สัญญาณแรงดันที่ขาเดรนและขาซอสและกระแสไฟฟ้านำมาวิเคราะห์การสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล

3.11.3 หม้อแปลงกำลังความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูงในวงจร M^2C^3 มีหน้าที่หลักในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างวงจรทั้งสองฝั่งที่เชื่อมต่ออยู่ ซึ่งจะใช้หลักการสมดุลพลังงานระหว่างวงจร โดยสถานะปกติที่แรงดันไฟฟ้าสองฝั่งมีค่าเท่ากันจะไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานระหว่างกัน แต่ถ้าแรงดันทั้งสองฝั่งมีค่าไม่เท่ากันแล้ว จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไปยังฝั่งที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า โดยที่หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กให้เหนี่ยวนำกับตัวนำไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งหม้อแปลงไฟฟ้าออกเป็น 3 ชนิดหลักๆตามแกนแม่เหล็กคือ หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็ก หม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ และหม้อแปลงไฟฟ้าแกนเฟอร์ไรท์ ที่ซึ่งจะต้องคำนึงถึง

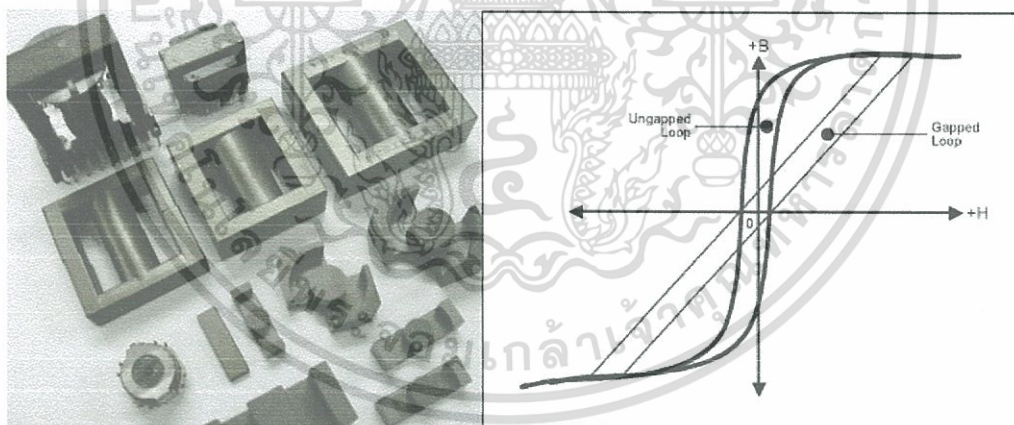
- พิกัดกำลังไฟฟ้าของทั้งสองฝั่งที่เชื่อมต่ออยู่กับหม้อแปลงไฟฟ้า
- แรงดัน กระแสและความถี่ที่ใช้งาน
- ประสิทธิภาพและกำลังสูญเสีย

ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงต้องไปทำการเลือกขนาดของลวดทองแดงที่นำมาพันเพื่อให้ได้รอบตามที่ต้องการและทนกระแสที่ใช้งานได้ อีกทั้งยังต้องเลือกแกนเหล็กที่มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการใช้งานเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดสำหรับวงจร M^2C^3 ที่ในวงจรจะมีความถี่ของการสวิตช์สูง ทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิติดอกมาจากขั้วลบของตัวเก็บ

ประจุนั้นมีความถี่สูงด้วย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อ้อมแปลงไฟฟ้าแกนเฟอร์ไรท์ ที่ซึ่งเป็นแกนที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในย่านความถี่สูงโดยเฉพาะ

3.11.3.1 แกนแม่เหล็ก

แกนแม่เหล็กรูปแบบต่างๆดังรูปที่ 3.35(ก) และกราฟ B-H ของแกนแม่เหล็กที่ทำมาจากเฟอร์ไรท์ (Ferrite) ดังรูปที่ 3.35(ข) โดยเฟอร์ไรท์เป็นสารประกอบของโลหะออกไซด์ซึ่งจัดว่าเป็นเซรามิกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้เป็นแกนแม่เหล็กสำหรับอ้อมแปลงไฟฟ้าที่ทำงานในย่านความถี่สูงได้ถึงระดับเมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเหตุผลที่แกนแม่เหล็กชนิดนี้ได้รับความนิยมสำหรับการเลือกเป็นแกนแม่เหล็กของอ้อมแปลงความถี่สูงเนื่องจากมีค่าความสูญเสียที่แกนแม่เหล็กต่ำและมีราคาที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับแกนแม่เหล็กชนิดอื่น เช่น แกนชนิดพาวเวอร์เมทัล (Powered Metal) และถึงแม้ตัวแกนชนิดเฟอร์ไรท์จะมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวที่ต่ำกว่าแกนชนิดอื่น แต่ในการทำงานที่ความถี่สูงนั้นคุณสมบัติของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวไม่ใช่เป็นข้อควรพิจารณาที่สำคัญของการทำงานของอ้อมแปลงความถี่สูง ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดในการพิจารณาคือ ความสูญเสียของแกนแม่เหล็ก



รูปที่ 3.35 (ก) แกนแม่เหล็กรูปร่างต่างๆ และ (ข) B-H curve ของแกนเฟอร์ไรท์

3.11.3.2 ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ใช้งาน

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าวงจร M^2C^3 สามารถสร้างแรงดันกระแสสลับที่มีรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ความถี่สวิตช์ ดังนั้นในการออกแบบอ้อมแปลงความถี่สูงเพื่อใช้งานร่วมกับวงจรดังกล่าวจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วยเช่นกัน โดยสมการสำหรับการออกแบบจำนวนรอบที่ใช้ร่วมกับอ้อมแปลงความถี่สูงที่มีรูปคลื่นเป็นสี่เหลี่ยมคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{V}{2n \cdot B_{\max} \cdot S \cdot f_s} \quad (3.19)$$

โดยที่

- N คือ จำนวนรอบของขดลวด(Turns)
 V คือ ระดับแรงดันไฟฟ้า(V)
 B_{\max} คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด(T)
 S คือ พื้นที่ผิวของแกนแม่เหล็ก(m²)
 f_s คือ ความถี่ของการสวิตช์(Hz)
 n คือ ตัวคูณลักษณะกระแส DC Magnetizing

สำหรับตัวคูณกระแส DC Magnetizing นี้พิจารณาได้จากรูปคลื่นของแรงดันที่ใช้งานร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

- มีกระแส DC Magnetizing กรณีนี้ n จะมีค่าเป็น 1
- ไม่มีกระแส DC Magnetizing กรณีนี้ n จะมีค่าเป็น 2

สำหรับการใช้งานในกรณีใช้ร่วมกับวงจร M^2C^3 แรงดันที่ป้อนให้กับหม้อแปลงจะเป็นแรงดันชนิดที่ไม่มีกระแส DC Magnetizing ดังนั้นค่า n จึงเท่ากับ 1 [3]

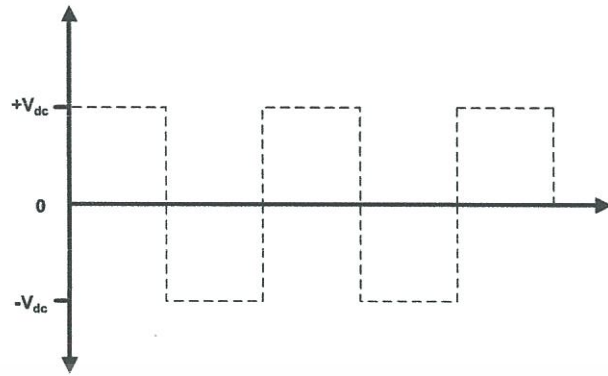
เมื่อคำนึงถึงขีดจำกัดของหน้าตัดของแกนแม่เหล็กซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถใส่ลวดเข้าไปได้ในแกน จะเป็นไปตามสมการ

$$k \cdot W = N_1 \cdot A_{w1} + N_2 \cdot A_{w2} \quad (3.20)$$

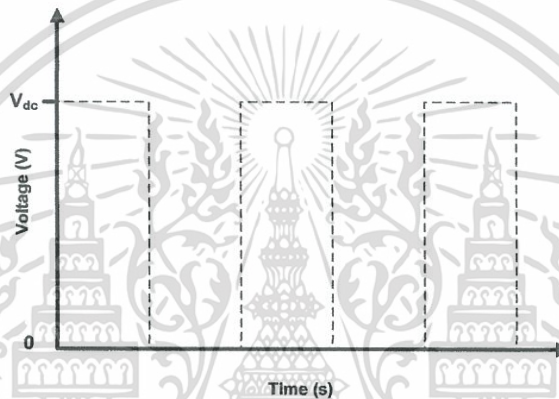
โดยที่

- W คือ พื้นที่ของหน้าตัดแกนแม่เหล็ก
 k คือ ตัวประกอบการใช้งานหน้าตัด
 N คือ จำนวนขดลวดที่ฝั่งปฐมภูมิหรือฝั่งทุติยภูมิ
 A_w คือ พื้นที่หน้าตัดลวดฝั่งปฐมภูมิหรือฝั่งทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 แรงดันที่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 1$)



รูปที่ 3.37 แรงดันที่ไม่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 2$)

และ

$$A_w = \frac{I_{rms}}{J}$$

(3.21)

โดยที่

I_{rms} คือ กระแสประสิทธิผลในขดลวด

J คือ ความหนาแน่นกระแส

เมื่อนำสมการที่ (3.21) แทนลงในสมการที่ (3.20) จะได้ว่า

$$k \cdot W = N_1 \cdot \frac{I_{rms1}}{J} + N_2 \cdot \frac{I_{rms2}}{J} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสมการที่ (3.22) ลงในสมการที่ (3.19) และจัดรูปใหม่จะได้

$$W \cdot S = \frac{V_1 \cdot I_{rms1} + V_2 \cdot I_{rms2}}{4k \cdot B_{max} \cdot S \cdot f_s \cdot J} = A_p \quad (3.23)$$

โดยทั่วไปแล้ว $V_1 I_{rms1} = V_2 I_{rms2} = P_{out}$ ทำให้สมการ (3.23) เหลือเพียง

$$A_p = W \cdot S = \frac{P_{out}}{2k \cdot B_{max} \cdot S \cdot f_s \cdot J} \quad (3.24)$$

ซึ่ง A_p จะแสดงขีดจำกัดทางกายภาพของแกนแม่เหล็กนั้นๆ ในสภาวะการทำงานทางแม่เหล็กที่ต้องการใช้งาน โดยค่าของตัวแปรต่างๆ สามารถหาได้จากข้อมูลของแกนแม่เหล็กที่ผู้ผลิตแกนแม่เหล็กกำหนด

พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะสามารถหาได้จากแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานกับกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่นำมาใช้ ที่ซึ่งจะได้พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้างดสมการ 3.25

$$S = VI \quad (3.25)$$

โดยที่

V คือ แรงดันหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งาน
 I คือ พิกัดกระแสไฟฟ้าของขดลวด

และค่าเหนี่ยวนำของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่เกิดจากการพันขดลวดจะของแกนเฟอร์ไรท์ จะตามสมการที่ 3.26

$$L = \frac{2\mu N A}{l} \quad (3.26)$$

โดยที่

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ(H)
 μ คือ ค่าความซึมซาบของแกนแม่เหล็ก
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวด(m²)
 l คือ ความยาวของแกนที่พันขดลวด(m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของวงจร M^2C^3

การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 นั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเนื่องจากว่าในการผลิตไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่เรียบและคงที่เหมาะแก่การใช้งาน มิเช่นนั้นแล้วจะทำให้อุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่มีโอกาสชำรุดได้งาน ส่งผลให้ความน่าเชื่อถือของระบบลดลง ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 จะพิจารณาถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละทิศทางเพื่อศึกษาที่ผลกระทบที่เกิดจากแรงดันเกิน (Voltage swell) แรงดันตก (Voltage sag) แรงดันและกระแสกระเพื่อม (Voltage and Current Ripple) ของสัญญาณเมื่อมีการต่อภาระไฟฟ้าที่หลากหลายระดับแรงดันไฟฟ้า รวมไปถึงประสิทธิภาพ (Efficiency) ของวงจร M^2C^3 ซึ่งจะอธิบายความหมาย ผลกระทบและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละข้อมูลของวงจร M^2C^3 ดังนี้

3.12.1 แรงดันตก

แรงดันตก (Voltage sag) คือแรงดันอาร์เอ็มเอส (V_{rms}) มีขนาดลดลงเหลือ 0.8-0.9 p.u. ในช่วงเวลานานกว่า 1min โดยที่แรงดันตกนั้นจะส่งผลให้ภาระไฟฟ้าโดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงได้รับความเสียหายได้ ซึ่งวงจร M^2C^3 จะต้องมีการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำหรือแบตเตอรี่ให้มีความไวเพียงพอต่อการป้องกันแรงดันตกที่จะเกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

3.12.2 แรงดันเกิน

แรงดันเกิน (Voltage swell) คือแรงดันอาร์เอ็มเอส (V_{rms}) มีขนาดเพิ่มขึ้นถึง 1.1-1.2 p.u. ในช่วงเวลานานกว่า 1min โดยที่แรงดันเกินจะส่งผลให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่เกิดความเสียหายได้ ซึ่งวงจร M^2C^3 จะทำการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าที่เกินจากระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมาที่แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ไปในตัว

3.12.3 แรงดันกระเพื่อม

แรงดันกระเพื่อม (Voltage ripple) คือการที่สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส (V_{rms}) จะมีขนาดไม่เกิน (0.9-1.1 p.u.) ซึ่งในวงจร M^2C^3 จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจร M^2C^3 เป็นไฟกระแสตรง ส่งผลให้หาค่าแรงดันกระเพื่อมได้จากสมการที่

$$\Delta V = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{rms}} \quad (3.27)$$

3.12.4 กระแสกระเพื่อม

กระแสกระเพื่อม (Current ripple) คือการที่กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง ซึ่งค่ากระแสอาร์เอ็มเอส (I_{rms}) จะมีขนาดไม่เกิน (0.9-1.1 p.u.) ซึ่งในวงจร M^2C^3 จะมีกระแสไฟฟ้าที่ออกจากวงจร M^2C^3 เป็นไฟกระแสตรง ส่งผลให้หาค่าแรงดันกระเพื่อมได้จากสมการที่

$$\Delta I = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{rms}} \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12.5 ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของวงจรเป็นสิ่งสำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อให้มีการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีค่าต่ำที่สุด อีกทั้งยังบ่งบอกถึงความเหมาะสมในการนำวงจร M^2C^3 มาประยุกต์ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าอีกด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพนั้นจะหาได้จากสมการที่

$$eff = \frac{P_{out}}{P_{IN}} \times 100 \quad (3.29)$$

3.13 สรุป

บทนี้จะอธิบายถึงวิธีการควบคุมและการทำงานของวงจร M^2C^3 การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าทั้งภายในชุดวงจร และ 2 ชุดวงจรผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งวงจร M^2C^3 นั้นจะมีโครงสร้างเป็นชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ควบคุมง่าย ไม่มีตัวเหนี่ยวนำ ถ่ายโอนพลังงานได้ทั้งสองทิศทาง และสามารถกำจัดความผิดพลาดในชุดคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจร M^2C^3 จะเป็นวงจรที่ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างบัสแรงดันที่เชื่อมต่ออยู่ด้วยหลักการสมดุลพลังงานไฟฟ้า และการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ จึงทำให้วงจร M^2C^3 สามารถทำการเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามอัตราส่วนการแปลงผัน อีกทั้งยังสามารถใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้หลากหลายแรงดันไฟฟ้าด้วยการเชื่อมต่อที่ตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลซึ่งทำให้วงจร M^2C^3 ทำงานเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกแรงดันไฟฟ้า (Tap-Changed DC Transformer) รวมไปถึงการนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปประยุกต์ใช้งานด้วยการเชื่อมต่อที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุระหว่างชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ที่ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำมาประยุกต์ใช้กับหม้อแปลงความถี่สูง

วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้านั้นจะให้ลักษณะที่เด่นคือการเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจรด้วยการแยกโหนดทางไฟฟ้ากล่าวคือจะไม่เกิดความเสียหายระหว่างกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงสามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างกันได้ด้วยการถ่ายโอนพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเสมือนเป็นแหล่งพลังงานสำรองไฟฟ้าระหว่างกัน อีกทั้งยังถ่ายโอนพลังงานแบบทันทีทันใด รวมไปถึงการออกแบบและวิธีการคำนวณอุปกรณ์ต่างๆภายในวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า อาทิเช่น ตัวเก็บประจุ สวิตช์กำลังไฟฟ้า และหม้อแปลงความถี่สูง และการคำนวณคุณภาพไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

บทที่ 4

การจำลองการทำงาน

4.1 บทนำ

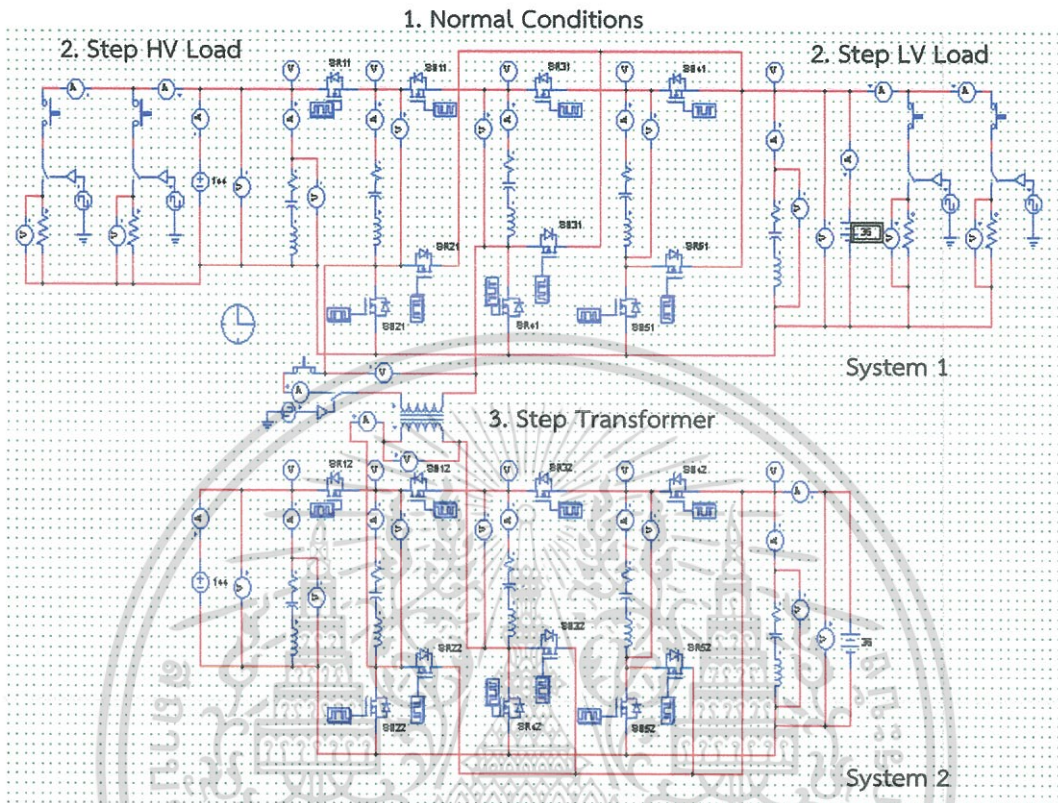
บทนี้จะอธิบายรายละเอียดและวิธีการจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ผ่านทางโปรแกรม PSIM 9.0 เพื่อจำลองการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 ในลักษณะการถ่ายโอนพลังงานภายในวงจร เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้า (Step load) ที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำ และการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงระหว่างชุดวงจร เพื่อศึกษาถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในลักษณะต่างๆที่วงจร M^2C^3 ทำงานในสภาวะแบบไดนามิก (Dynamic State) โดยที่วงจร M^2C^3 จะทำงานเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกกระแสต้นไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการสมดุลพลังงานไฟฟ้า และการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ ในการจำลองจะนำสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้ามาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงการทำงาน ประสิทธิภาพและความเหมาะสมของวงจร M^2C^3 ในการนำวงจร M^2C^3 มาประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีการเชื่อมต่อกับหลากหลายภาระไฟฟ้า

4.2 วิธีการจำลองวงจร M^2C^3

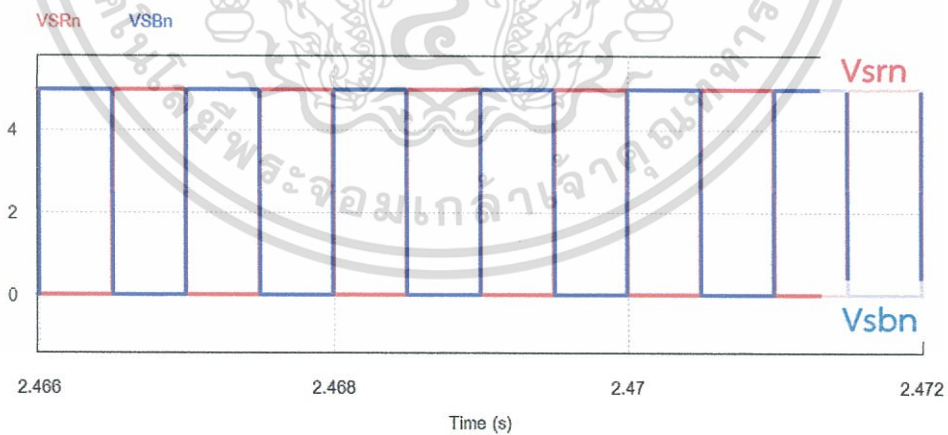
การจำลองวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะใช้โปรแกรม PSIM 9.0 ในการศึกษาถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์การทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้างดรูปที่ 4.1 ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจร M^2C^3 2 ชุดที่เชื่อมต่อกันระหว่างหม้อแปลงความถี่สูง โดยขั้นตอนที่ 1 จะจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 1 ชุดทำการถ่ายโอนพลังงานภายในวงจรทั้งแบบปกติ ลดระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-down mode) และเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-up mode) ที่ซึ่งในกรณีต่างๆของขั้นตอนที่ 1 จะมีการต่อภาระไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ขั้นตอนที่ 2 จะทำการสวิตซ์ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับบัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำ (Step load) เพิ่มเข้ามาที่บัสแรงดันนั้นๆ หลังจากนั้นขั้นตอนที่ 3 จะทำการเชื่อมต่องจร M^2C^3 ชุดที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง (Step transformer) เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละกรณี

ในการจำลองการทำงานจะใช้มอสเฟตเป็นสวิตซ์กำลัง (Mosfet) ของวงจร M^2C^3 ที่ซึ่งจะได้รับสัญญาณสวิตซ์ที่เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม 2 สัญญาณ (SR_n และ SB_n) มุมเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา (Out of Phase) ดังรูป 4.2 โดยความถี่ในการสวิตซ์นั้นจะใช้ความถี่ที่ 10 kHz ซึ่งทั้ง 2 สัญญาณจะมีค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) 50 เปอร์เซ็นต์ ($D = 0.5$) การทำงานของสวิตซ์กำลังแบบนี้จะทำให้เกิด

การสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุขึ้น ส่งผลให้เกิดการอนุกรมและขนานกันของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล จึงเกิดการเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดทางไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 สัญญาณขับสวิตช์กำลัง (SR_n และ SB_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3

ในการจำลองการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าจะเริ่มจากการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าภายในชุดวงจรที่ 1 ที่ซึ่งจะมีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสใดบัสหนึ่งและทำการสวิตช์ภาระไฟฟ้าเชื่อมต่อที่บัสแรงดันเดียวกันกับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ก่อนหลังจากนั้นจะทำการเชื่อมต่อกับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อดูพฤติกรรมของการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 ทั้งที่เป็นช่วงสวิตช์ และสภาวะคงตัว ในการจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 จะมีการใส่ค่าพารามิเตอร์แฝงที่อาจจะเพิ่มเข้ามาจากอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความใกล้เคียงกับเครื่องต้นแบบมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาวะปกติของวงจร M^2C^3 จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยที่วงจร M^2C^3 แต่ละชุดจะมีชุดคอนเวอร์เตอร์ 3 ชุด ทำให้อัตราส่วนการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับ 4 เท่า และในโปรแกรม PSIM 9.0 จะให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบอินฟินิท (Infinite voltage source) ซึ่งทำให้ผลการจำลองของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ จึงต้องทำการจำลองการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านค่าของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากว่าวงจร M^2C^3 นี้มีการทำงานเสมือนหม้อแปลงความถี่สูงที่ซึ่งจะต้องมีขนาดของกำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งเท่ากัน และเมื่อสังเกตค่ากระแสไฟฟ้าจะทำให้ทราบถึงทิศทางของการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองวงจร

พารามิเตอร์	ขนาด
แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง	144 V
แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ	36 V
ตัวเก็บประจุในแต่ละชุด	560 μ F
ตัวเหนี่ยวนำแฝงที่ตัวเก็บประจุ	100 pH
ตัวต้านทานแฝงที่ตัวเก็บประจุ	173 m Ω
ตัวต้านทานภายในหม้อแปลง	1 m Ω
ตัวเหนี่ยวนำภายในหม้อแปลง	4 μ H
ตัวต้านทานภายในสวิตช์กำลัง	0.1 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติ

การทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติดังรูปที่ 4.1 ที่แต่ละชุดวงจรมีอัตราการแปลงผันเท่ากันที่ 4 เท่า ซึ่งเป็นรูปแบบของการทำงานขั้นพื้นฐาน เนื่องจากไม่มีการไหลภายในของวงจรตามหลักการสมดุลพลังงานไฟฟ้า ที่มีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงต่อบัสแรงดันต่ำมีค่าเท่ากับอัตราส่วนการแปลงผันแรงดัน ($RVS = CR$) ซึ่งเป็นการทำงานในขั้นตอนที่ 1 ที่อยู่ในรูปแบบปกติของวงจร M^2C^3 เพียงชุดเดียว (Normal Conditions) เมื่อการทำงานอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) ในรูปแบบนั้นแล้วจะเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าเข้ามาที่บัสใดบัสหนึ่งเพื่อเสมือนระบบผลิตไฟฟ้าจริง แล้วจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้า (Step Load) เข้ามาที่บัสใดบัสหนึ่งของวงจร M^2C^3 เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันนั้นๆ หลังจากนั้นจะทำขั้นตอนที่ 3 ที่จะเชื่อมต่อกับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง (Synchronize System 2) เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ ทำให้วงจร M^2C^3 มีการทำงานเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกแรงดันไฟฟ้า (Tap-Changed DC-Transformer) ที่กำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งของชุดวงจร M^2C^3 จะต้องมีค่าเท่ากัน ($P_{IN} = P_{OUT}$) ตามหลักการหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งในการจำลองรูปแบบนี้จะแบ่งการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าออกเป็น 2 แบบดังนี้

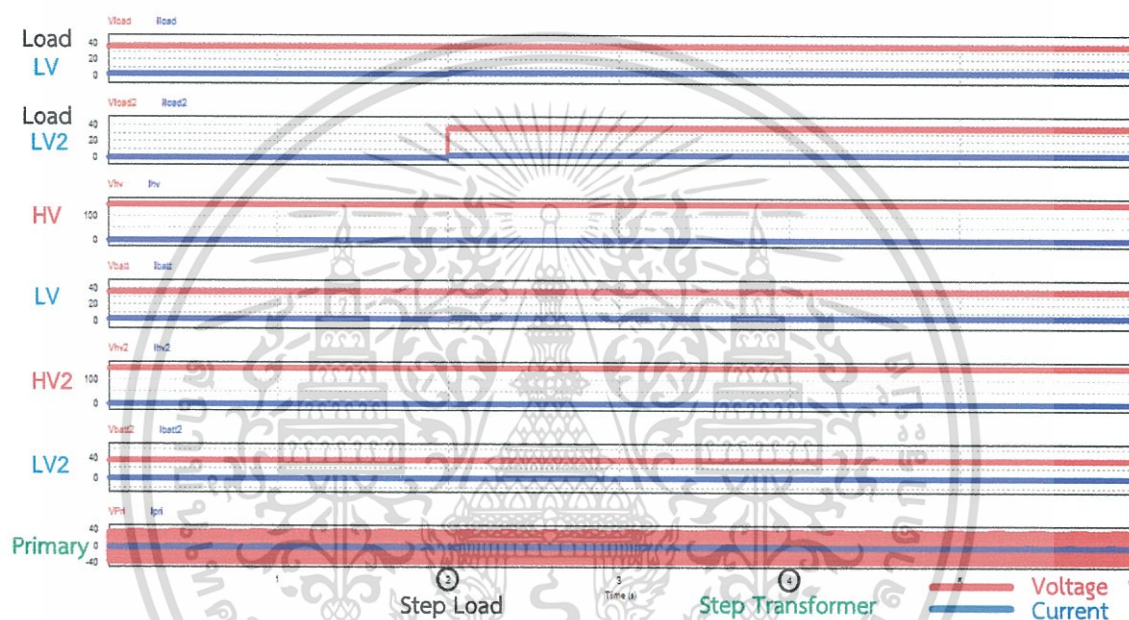
4.4.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ

การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำจะมีแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามักมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการจำลองจะเริ่มจากการที่วงจร M^2C^3 ทำงานในสภาวะปกติที่มีภาระไฟฟ้าขนาด 20 โอห์มเชื่อมต่ออยู่และขณะที่ 2 วินาทีจะทำการสวิตช์เพิ่มภาระไฟฟ้าขนาด 20 โอห์มที่บัสแรงดันต่ำหลังจากนั้นในวินาทีที่ 4 จะสวิตช์ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อดูการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าที่บัสต่างๆและหม้อแปลงความถี่สูงจากขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 นั้นจะมีขนาดของกระแสเท่ากับภาระไฟฟ้าเนื่องจากการจำลองแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะเป็นอินฟินิตบัส (Infinite Bus) ที่แรงดันไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงเกิดเป็นสมดุลพลังงานไฟฟ้าที่ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจร และทำการขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้าแต่ละบัสเพื่อทำการหาประสิทธิภาพโดยเริ่มจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.5(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.5(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.6(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.6(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.7(ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.7(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.8 จากการขยายแรงดันและ

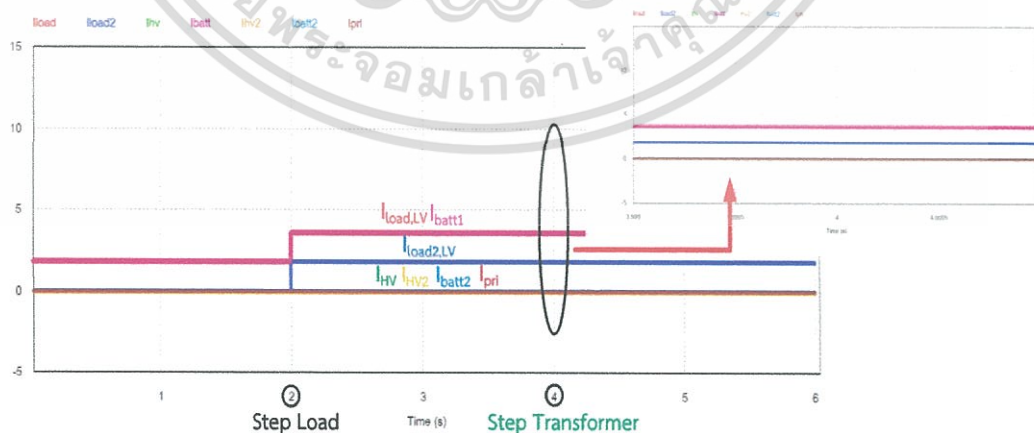
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆจะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าจะคงที่ตลอดระยะเวลาการจำลองและไม่มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างเนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าภาระไฟฟ้าจะมาจากบัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 เท่านั้น

ในการคำนวณประสิทธิภาพของรูปแบบนี้จะไม่สามารถคิดได้เนื่องจากจะไม่มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า เนื่องจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแบบอุดมคติที่จะไม่เกิดแรงดันตกขณะทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าเข้ามาในชุดวงจร M^2C^3 ส่งผลให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่บัสแรงดันต่ำจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำเท่านั้น

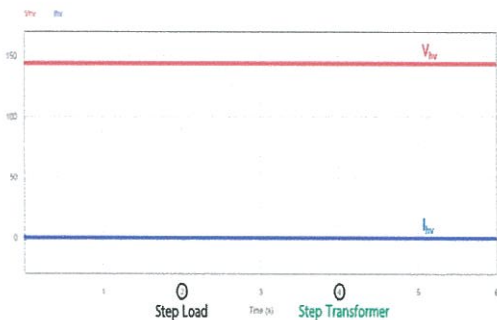


รูปที่ 4.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า

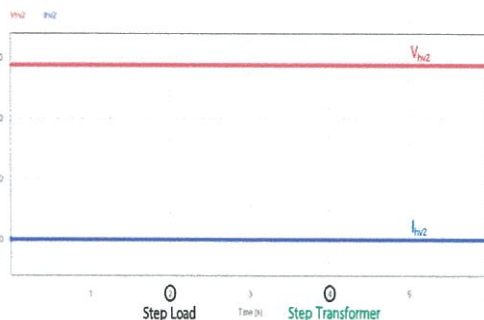


รูปที่ 4.4 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

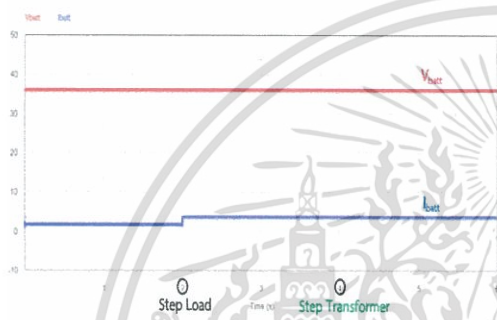


(ก) ชุดวงจรที่ 1

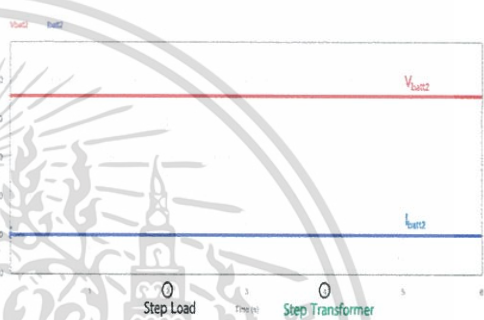


(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

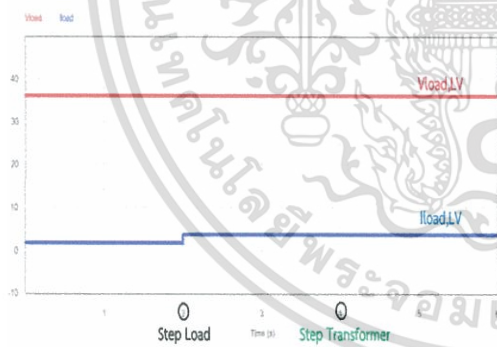


(ก) ชุดวงจรที่ 1



(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร

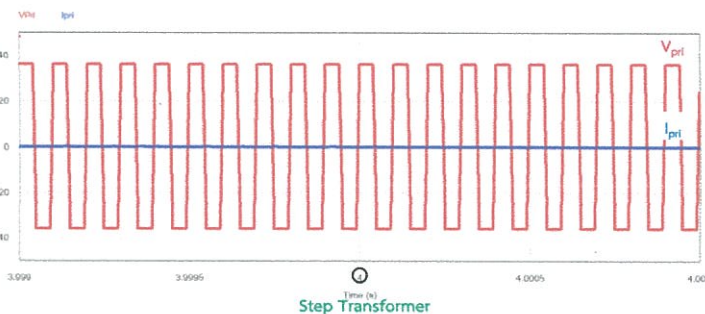


(ก) ขั้นตอนที่ 1



(ข) ขั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

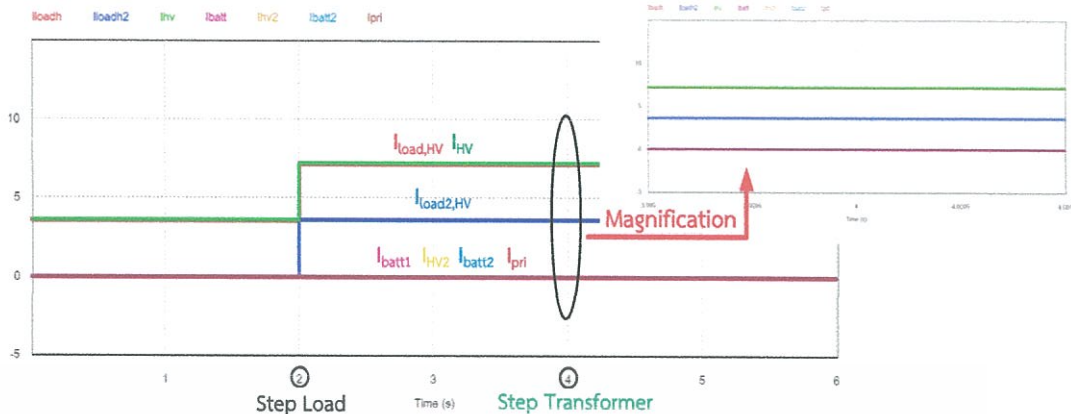
4.4.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันสูง

การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบปกติที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันสูงจะมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับ 4.4.1 ที่ซึ่งให้วงจร M^2C^3 อยู่ในสภาวะสมดุลพลังงานและมีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันสูงขนาด 40 โอห์ม หลังจากนั้นจะเพิ่มภาระไฟฟ้าขนาด 40 โอห์มที่บัสแรงดันสูง เมื่อวงจร M^2C^3 ที่มีภาระไฟฟ้าอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว จะทำเชื่อมวงจร M^2C^3 ชุดที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ที่ซึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่แต่ละจุดขณะทำการจำลองจะแสดงดังรูปที่ 4.9 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้างดรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงเนื่องจากเป็นรูปแบบนี้มีการสมดุลพลังงานระหว่างชุดวงจร ที่ซึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.11(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.11(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.12(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.12(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.13(ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.13(ข) และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าจะไหลจากบัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ไปจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่เท่านั้น เนื่องจากรูปแบบนี้เป็นการจำลองขณะที่ชุดวงจรมีการสมดุลพลังงาน ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจร M^2C^3 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 จึงทำให้ไม่สามารถหาประสิทธิภาพของวงจรได้

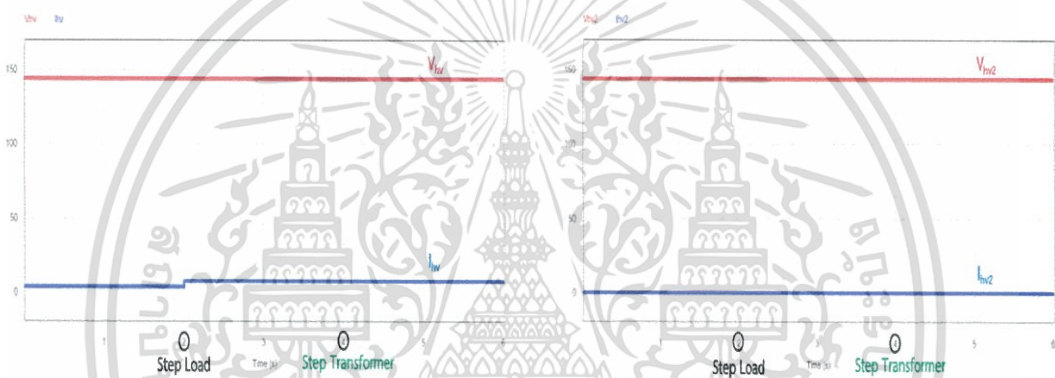


รูปที่ 4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยพลังงานจลน์ ใน 2563 ในหนังสือใช้ประโยชน์จากงานวิจัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



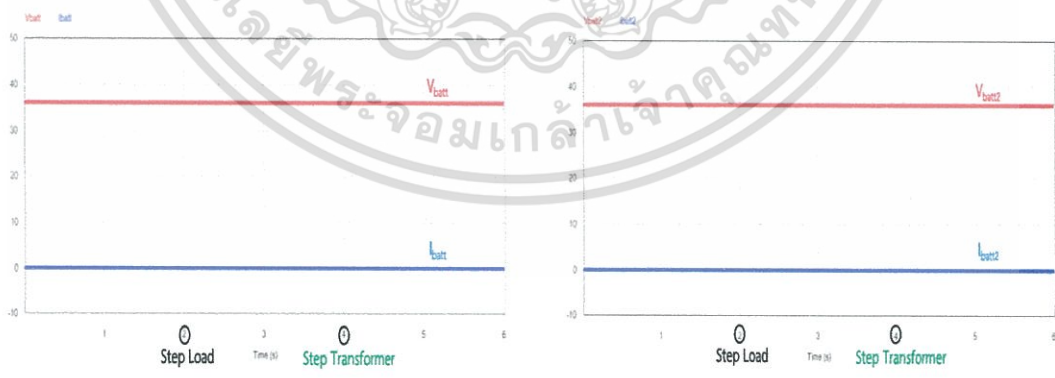
รูปที่ 4.10 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆ



(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

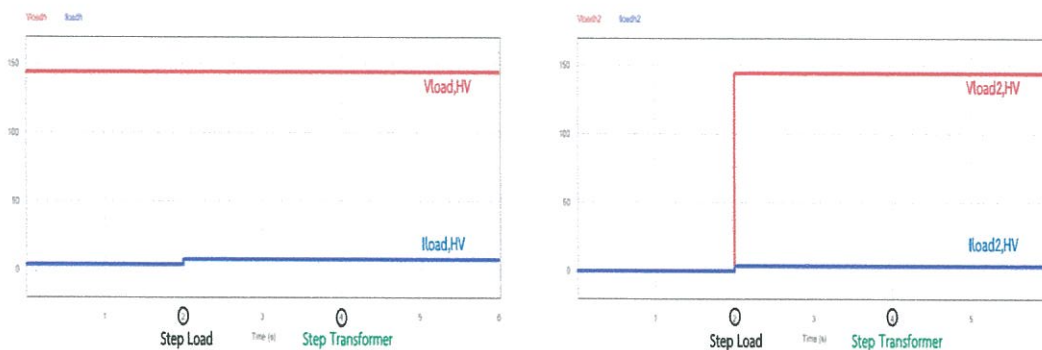


(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร

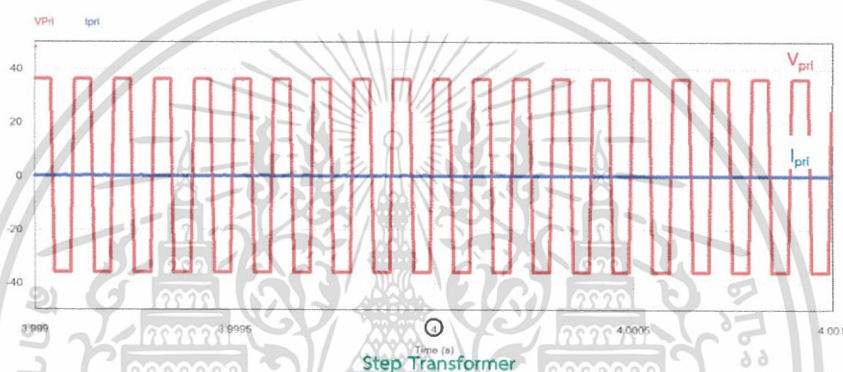
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ชั้นตอนที่ 1

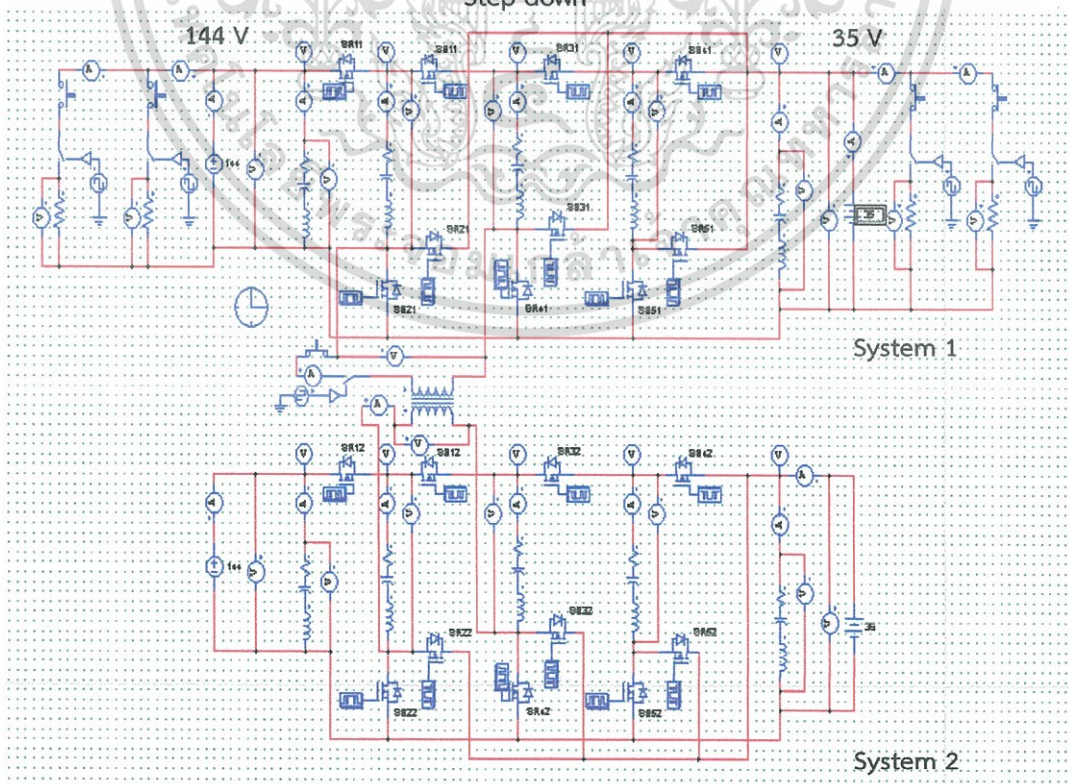
(ข) ชั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ



รูปที่ 4.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

Step down



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.15 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าขณะลดระดับแรงดันไฟฟ้า โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1

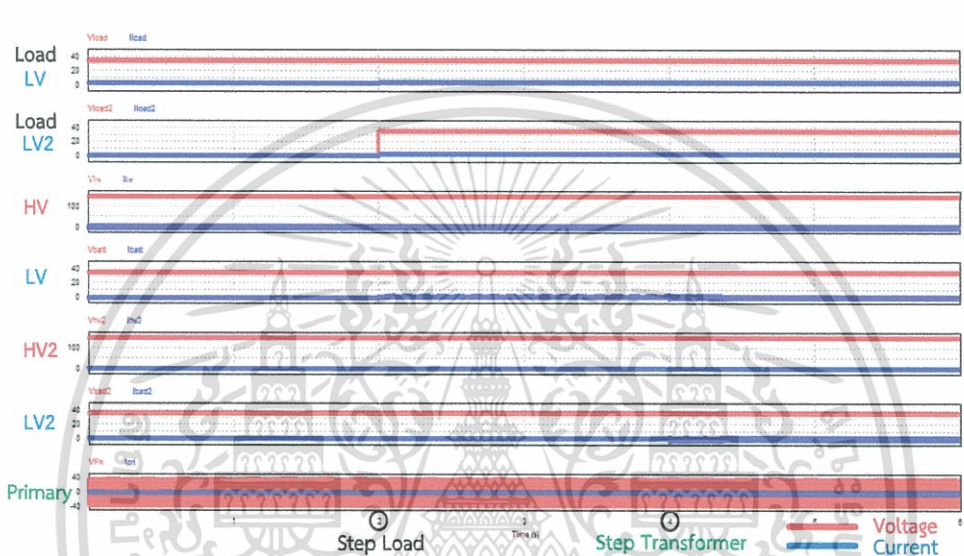
การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่ซึ่งจะให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ลดลงเหลือ 35 V ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นการทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-down mode) หรือการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำซึ่งจะเรียกรูปแบบนี้ว่าการสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ (Battery Charger) เนื่องจากเกิดการไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าทั้งสองบัสแรงดันหรือกล่าวคืออัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงสูงต่อบัสแรงต่ำมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนของการแปลงผันไฟฟ้า ($RVS < CR$) จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ โดยในการจำลองจะเริ่มจากวงจร M^2C^3 ที่ชุดวงจรที่ 1 อยู่ในรูปแบบลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสใดบัสหนึ่ง หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันเข้ามาที่เวลา 2 วินาที และเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงที่เวลา 4 วินาที เพื่อศึกษาถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของแต่ละชุดวงจรจากค่ากำลังไฟฟ้าที่แต่ละบัสแรงดัน

4.5.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

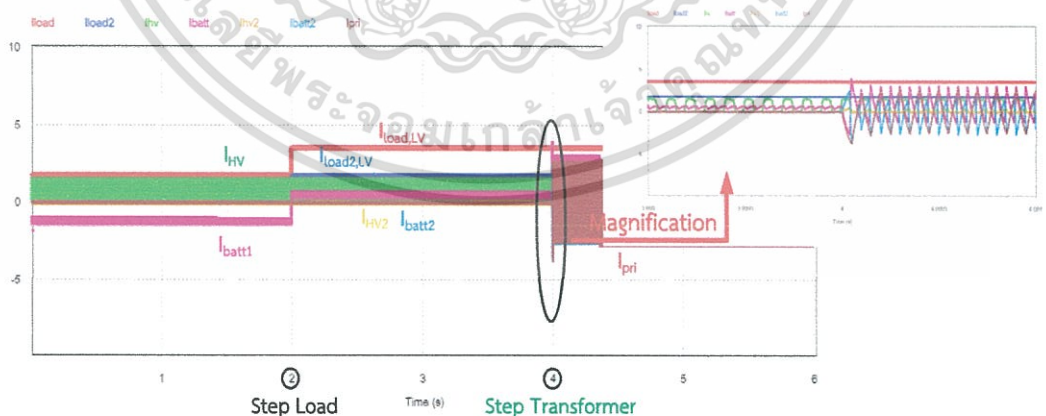
การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ ซึ่งเป็นการจำลองวงจร M^2C^3 ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งจะมีขั้นตอนในการจำลองคือ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าและมีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำขนาด 20 โอห์ม หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่วินาทีที่ 2 จะทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำขนาด 20 โอห์ม เพื่อศึกษาทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าและเมื่อเข้าสู่วินาทีที่ 4 จะทำการเชื่อมวงจร M^2C^3 2 ชุดผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 จะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ซึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันขณะทำการจำลองขั้นตอนต่างๆดังรูปที่ 4.16 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆของวงจร M^2C^3 ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันรวมถึงที่หม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งแสดงว่ามีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ไปยังชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 เพื่อจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.18(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.18(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.19(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.19(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.20(ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.20(ข) และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.21(ก) ซึ่งจาก

กระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้า จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปยังบัสแรงดันต่ำเพื่อจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า

ในรูปแบบลวดระดับแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณประสิทธิภาพ โดยคิดกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดัน ที่ซึ่งขั้นตอนที่ 1 จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 97.29% ขั้นตอนที่ 2 ที่มีการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 97.56% และขั้นตอนที่ 3 ที่มีหม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อระหว่างวงจร M^2C^3 จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 97.05%

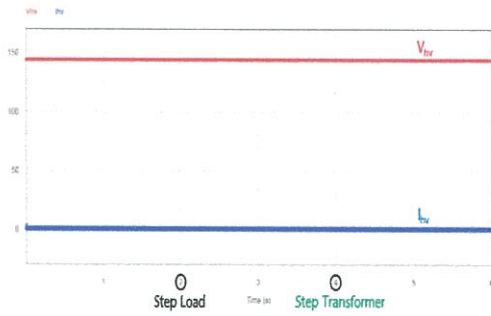


รูปที่ 4.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า

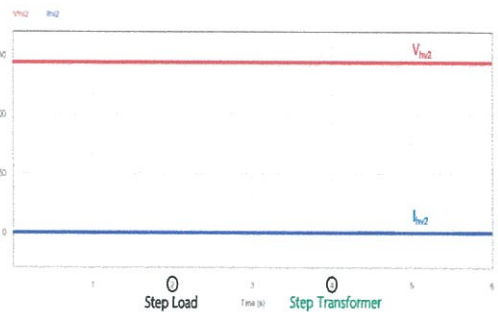


รูปที่ 4.17 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

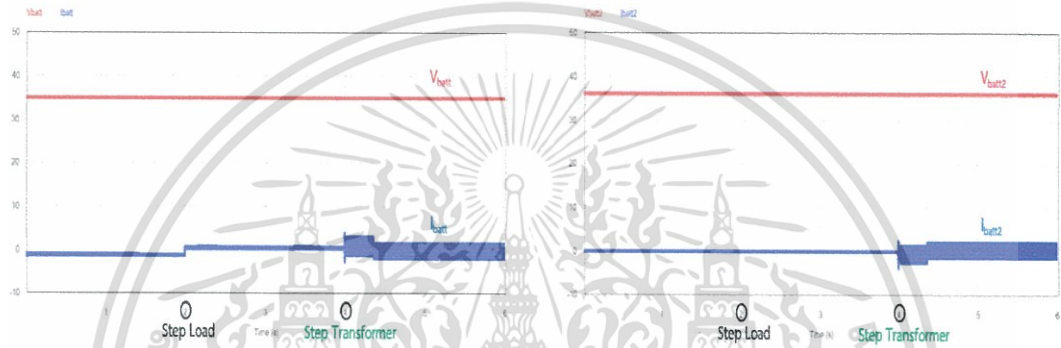


(ก) ชุดวงจรที่ 1

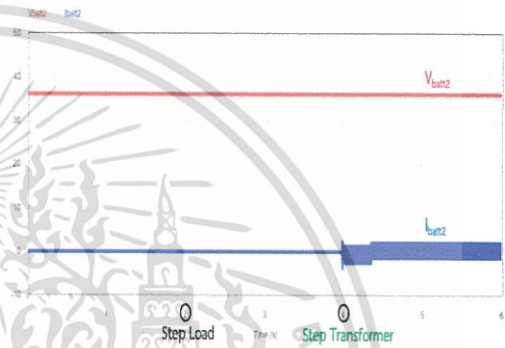


(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.18 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

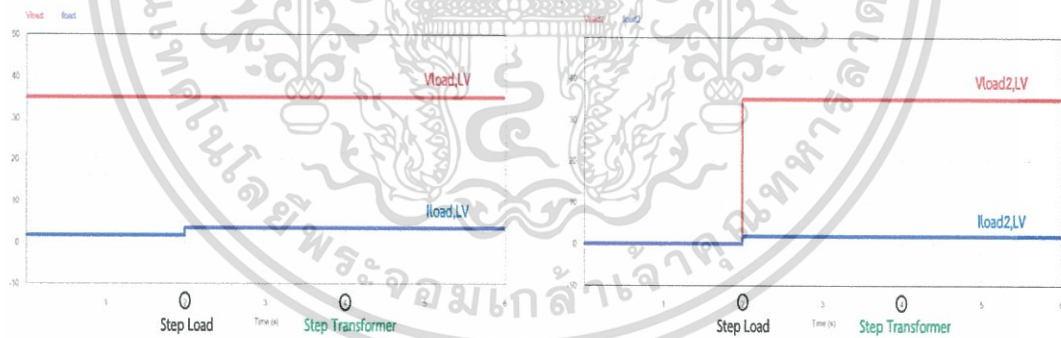


(ก) ชุดวงจรที่ 1

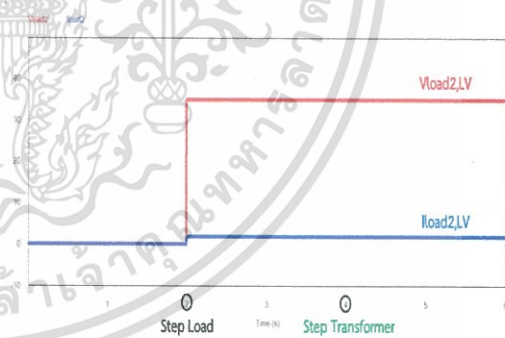


(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.19 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร

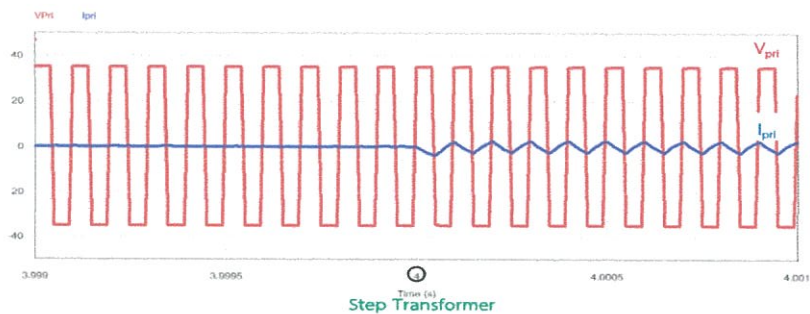


(ก) ขั้นตอนที่ 1



(ข) ขั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.20 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนต่างๆ



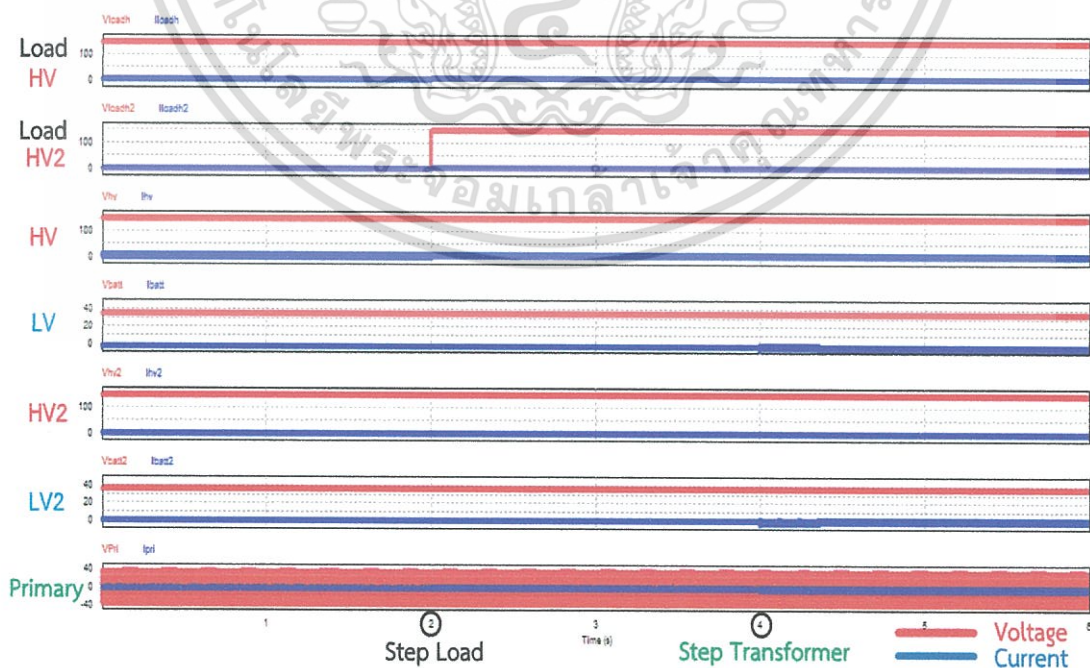
รูปที่ 4.21 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

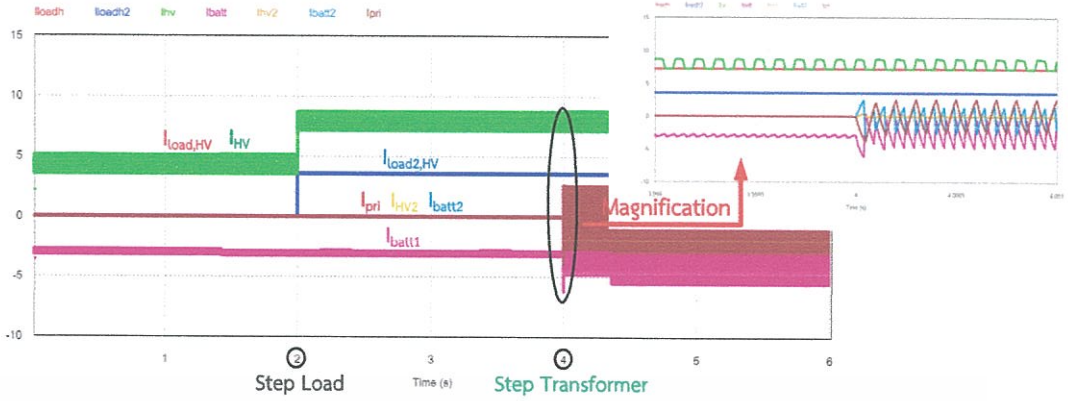
การจำลองวงจร M^2C^3 ในรูปแบบนี้จะเหมือนกับ 4.5.1 แต่ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงขนาด 40 โอห์ม เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพของการจำลองรูปแบบนี้ โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันขณะทำการจำลองขั้นตอนต่างๆดังรูปที่ 4.22 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆดังรูปที่ 4.23 ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะถ่ายโอนพลังงานมาที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 โดยที่กระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 จะมีทิศทางไม่เหมือนกันกับรูปแบบ 4.5.1 ที่กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเป็นลบตลอดเวลานอกจากถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปยังบัสแรงดันสูง แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.24(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.24(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.25(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.25(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.26(ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.26(ข) และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.27 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของวงจร M^2C^3 มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง ส่งผลให้มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละบัสวงจรรวมไปถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง

การคำนวณประสิทธิภาพของรูปแบบนี้จะคิดกำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ที่ซึ่งขั้นตอนที่ 1 จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 99.54% ขั้นตอนที่ 2 ที่มีการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 99.73% และขั้นตอนที่ 3 ที่มีหม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อระหว่างวงจร M^2C^3 จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 99.65%

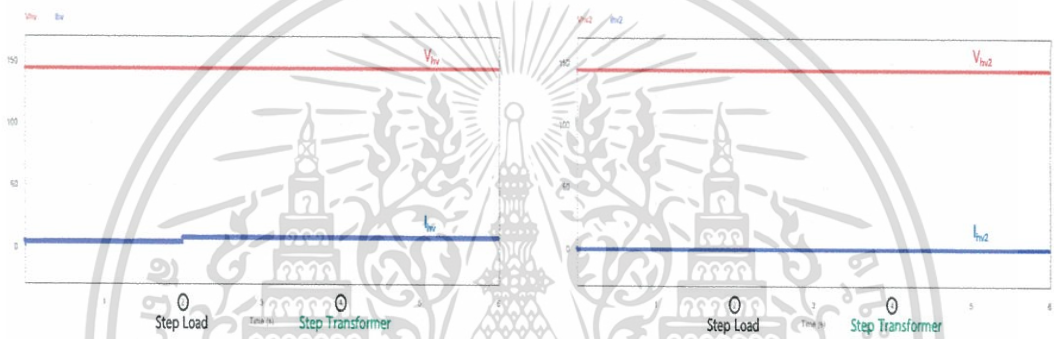


รูปที่ 4.22 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



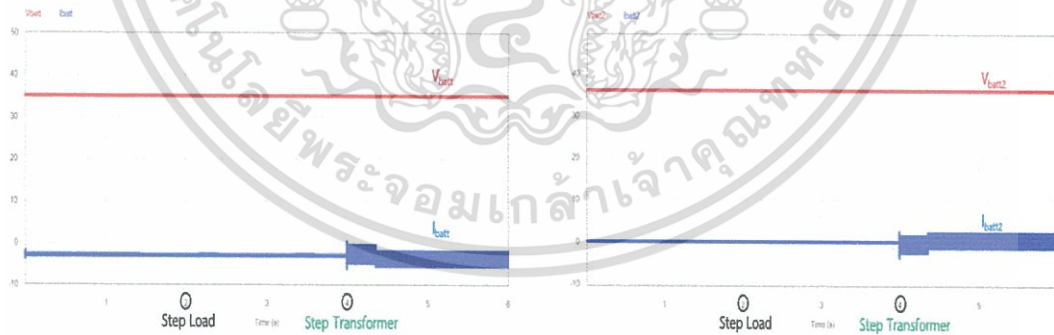
รูปที่ 4.23 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ



(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.24 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

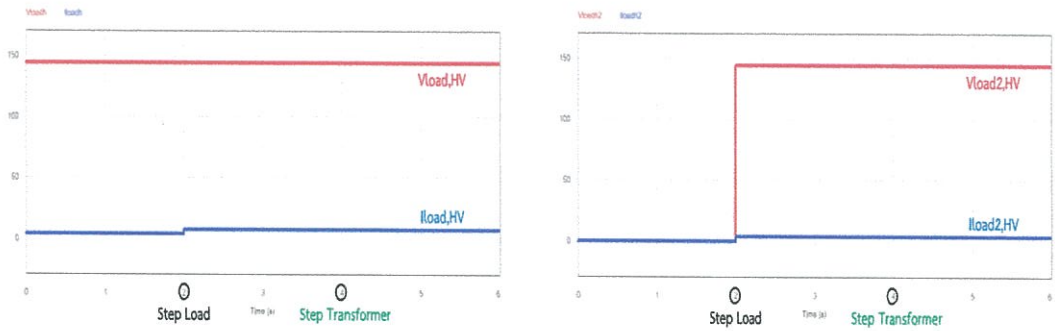


(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.25 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร

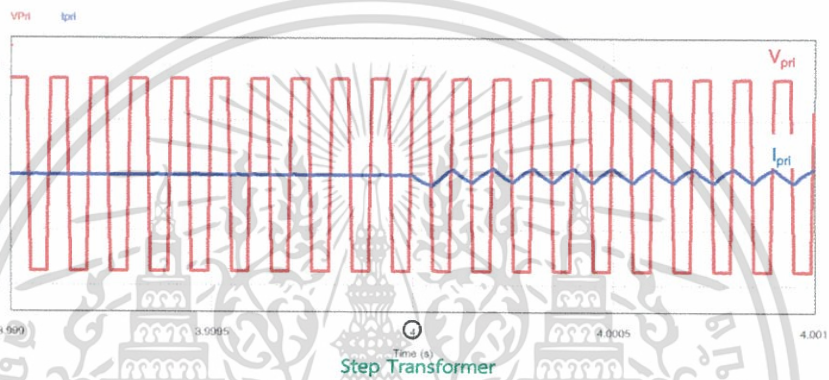
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



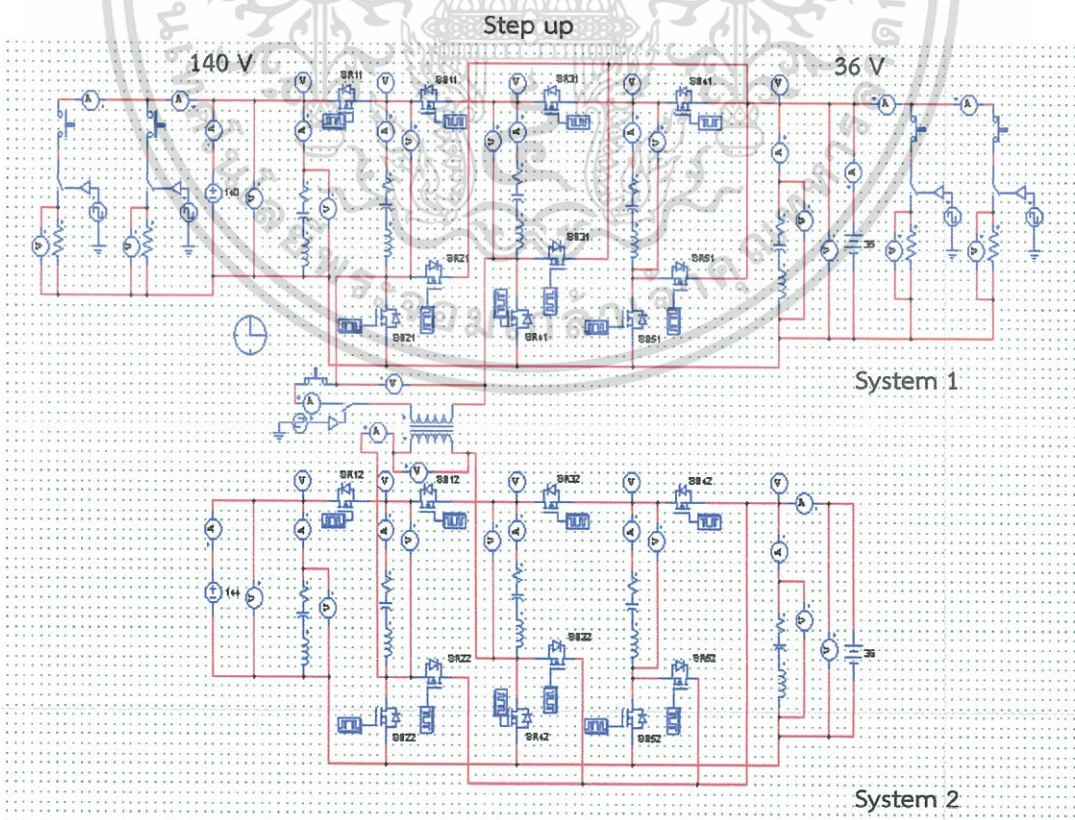
(ก) ขั้นตอนที่ 1

(ข) ขั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.26 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนต่างๆ



รูปที่ 4.27 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 4.28 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าในขณะที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ให้เห็นใบประกอบชิ้นส่วนการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1

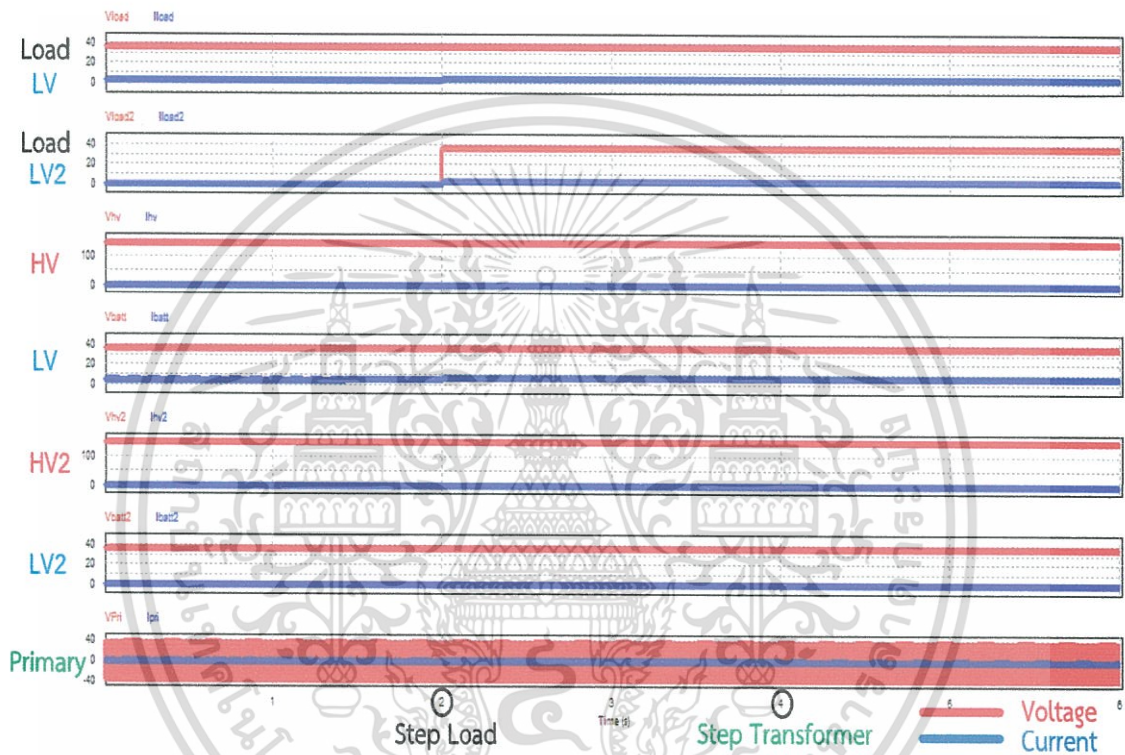
การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่ซึ่งจะให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ลดลงเหลือ 140 V ดังรูปที่ 4.28 ซึ่งเป็นการทำงานรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า (Step-down mode) หรือการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูงซึ่งจะเรียกรูปแบบนี้ว่าการสำรองพลังงานให้กับระบบผลิตไฟฟ้า (Back-up Energy) เนื่องจากเกิดการไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าทั้งสองบัสแรงดันหรืออัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงสูงต่อบัสแรงต่ำมีค่ามากกว่าอัตราส่วนของการแปลงผันไฟฟ้า ($RVS > CR$) จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปยังบัสแรงดันสูง โดยจำลองในขณะชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและมีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันเข้ามาที่เวลา 2 วินาที และเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงที่เวลา 4 วินาที เพื่อศึกษาถึงการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของแต่ละชุดวงจรจากค่ากำลังไฟฟ้าที่แต่ละบัสแรงดัน

4.6.1 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

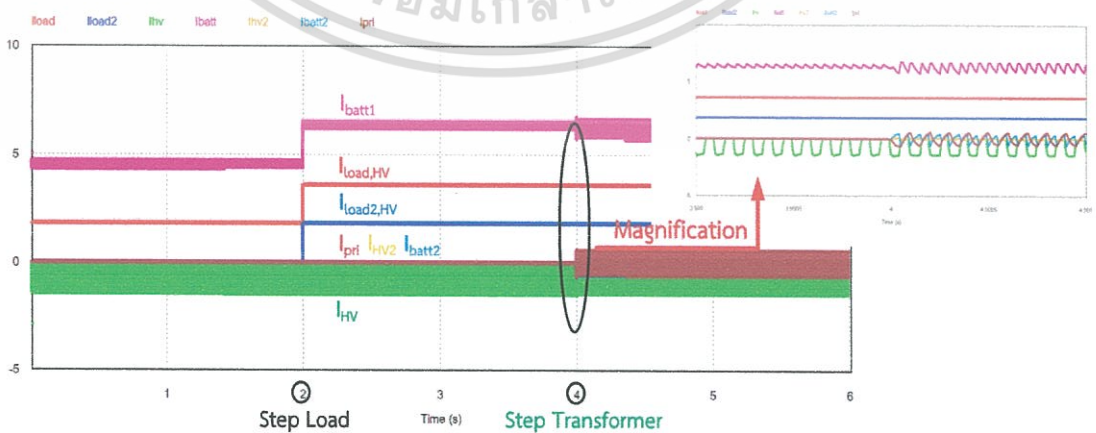
การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ ซึ่งเป็นการจำลองวงจร M^2C^3 ในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าหรือแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีขั้นตอนในการจำลองคือ ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและมีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่วินาทีที่ 2 จะทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำเพื่อศึกษาทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าและเมื่อเข้าสู่วินาทีที่ 4 จะทำการเชื่อมวงจร M^2C^3 2 ชุดผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 จะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ซึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันขณะทำการจำลองขั้นตอนต่างๆดังรูปที่ 4.29 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆจะแสดงดังรูปที่ 4.30 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆเพื่อไปจ่ายให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทั้งบัสแรงดันสูงและภาระไฟฟ้า แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.31 (ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.31 (ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.32 (ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.32 (ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.33 (ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.33 (ข) และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.34 ซึ่งจะเห็นว่ากระแสที่บัสต่างๆมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปขณะทำการสวิตช์ภาระไฟฟ้าและหม้อแปลงความถี่สูง

ส่งผลให้มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ไปจ่ายให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

ในการคำนวณประสิทธิภาพของรูปแบบนี้จะคิดจากกำลังไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่างๆ ที่ซึ่งขั้นตอนที่ 1 จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 98.45% ขั้นตอนที่ 2 ที่มีการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.86% และขั้นตอนที่ 3 ที่มีหม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อระหว่างวงจร M^2C^3 จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.88%

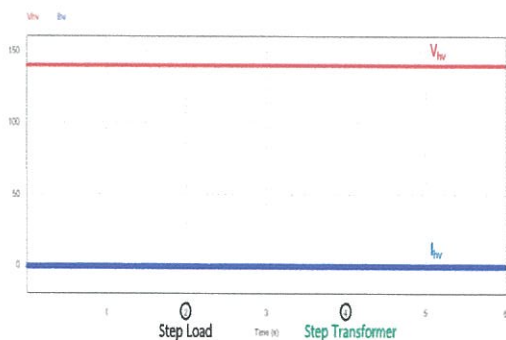


รูปที่ 4.29 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

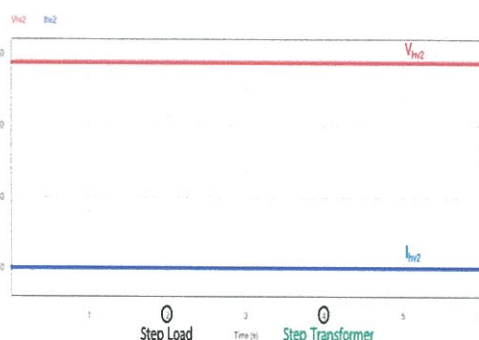


รูปที่ 4.30 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

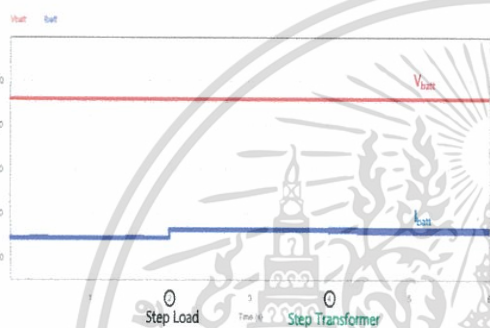


(ก) ชุดวงจรที่ 1

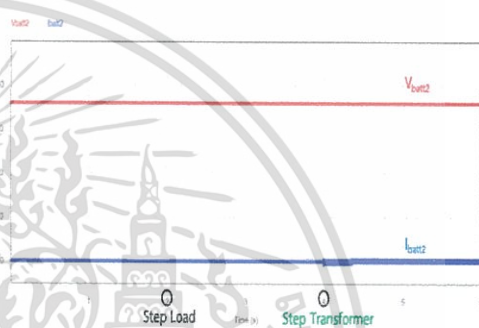


(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.31 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

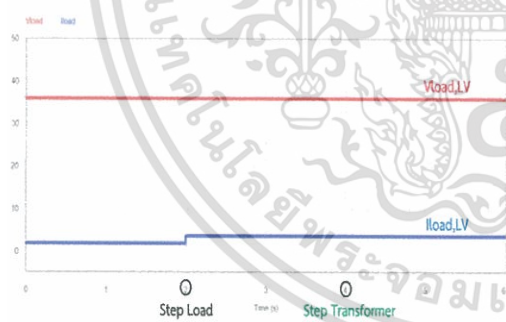


(ก) ชุดวงจรที่ 1



(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.32 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของแต่ละชุดวงจร

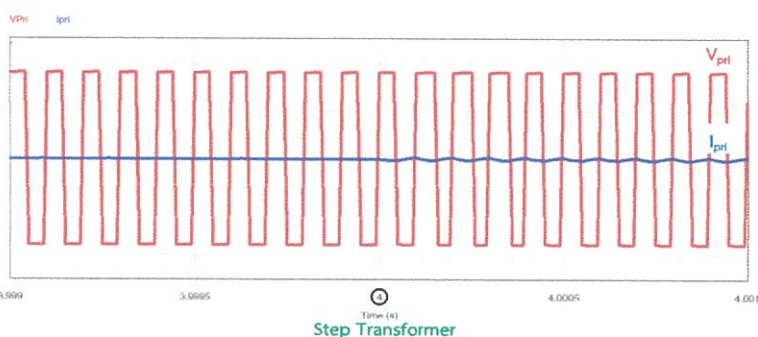


(ก) ชั้นตอนที่ 1



(ข) ชั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.33 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าชั้นตอนต่างๆ



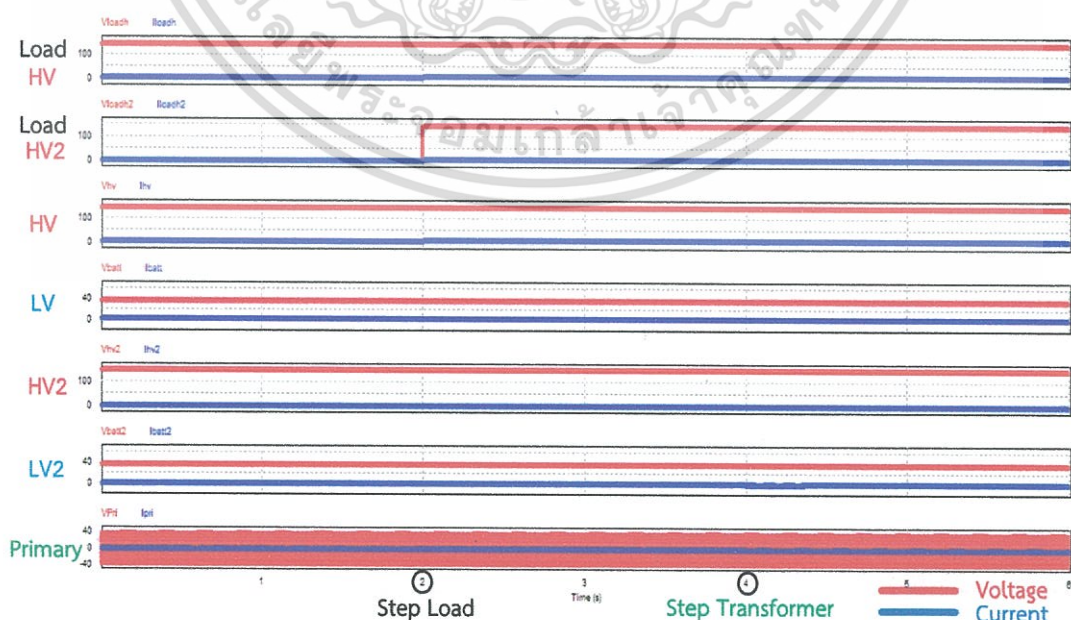
รูปที่ 4.34 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

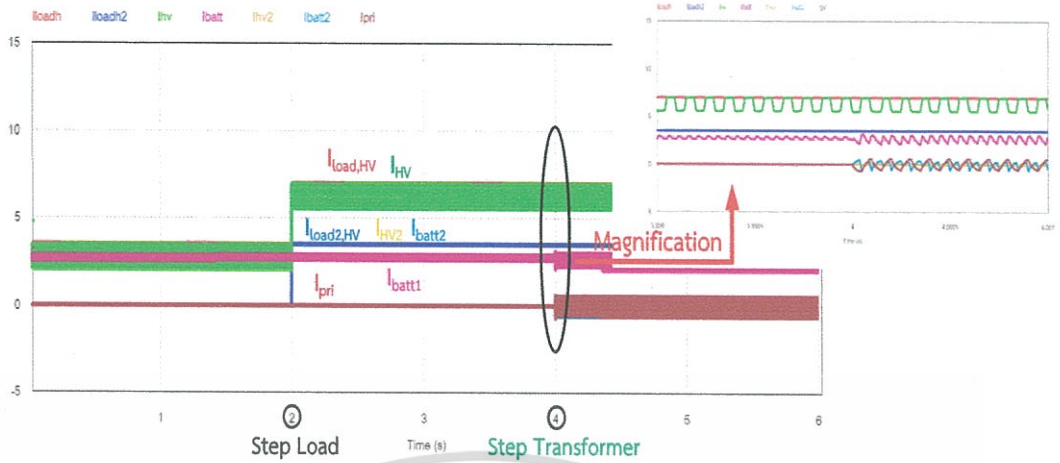
การจำลองวงจร M^2C^3 ในรูปแบบนี้จะเหมือนกับ 4.6.1 แต่ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพของการจำลองรูปแบบนี้ โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันขณะทำการจำลองขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 4.35 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ดังรูปที่ 4.36 ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าแต่ละบัสแรงดันไฟฟ้า เพื่อถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขณะทำงานในขั้นตอนต่างๆ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.37(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 1 ดังรูปที่ 4.37(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.38(ก) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจรที่ 2 ดังรูปที่ 4.38(ข) แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.39(ก) และขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.39(ข) และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 4.40 จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าแต่ละบัสจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามขั้นตอนต่างๆ ในรูปแบบนี้กระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะเป็นภาระไฟฟ้าขณะที่ยังไม่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าแต่เมื่อทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางของกระแสของวงจร M^2C^3 ที่ 1 ขึ้นและเมื่อเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะทำให้มีพลังงานไฟฟ้าถ่ายโอนมาจ่ายให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

การคำนวณประสิทธิภาพของรูปแบบนี้จะคิดจากกำลังไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่างๆ ที่ซึ่งขั้นตอนที่ 1 จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 99.63% ขั้นตอนที่ 2 ที่มีการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 99.72% และขั้นตอนที่ 3 ที่มีหม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อรหว่างวงจร M^2C^3 จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 99.73%

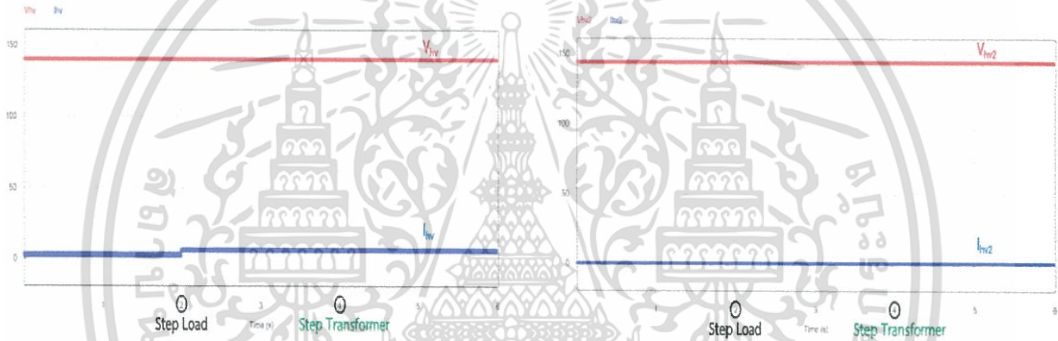


รูปที่ 4.35 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



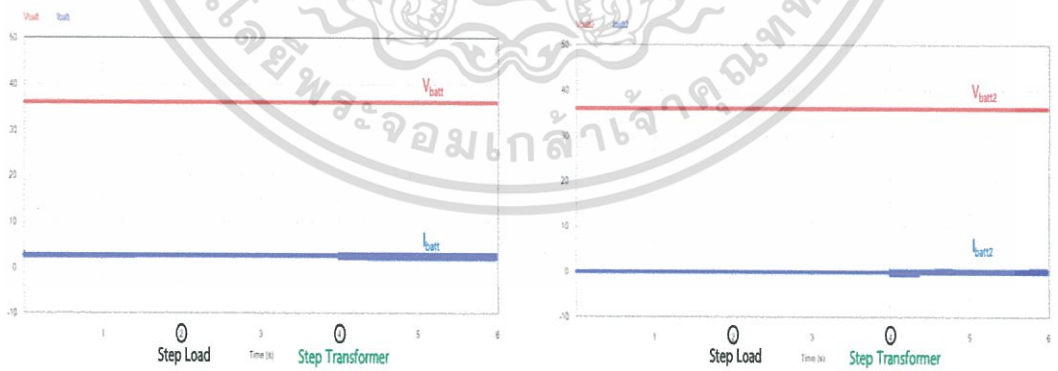
รูปที่ 4.36 ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ



(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.37 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

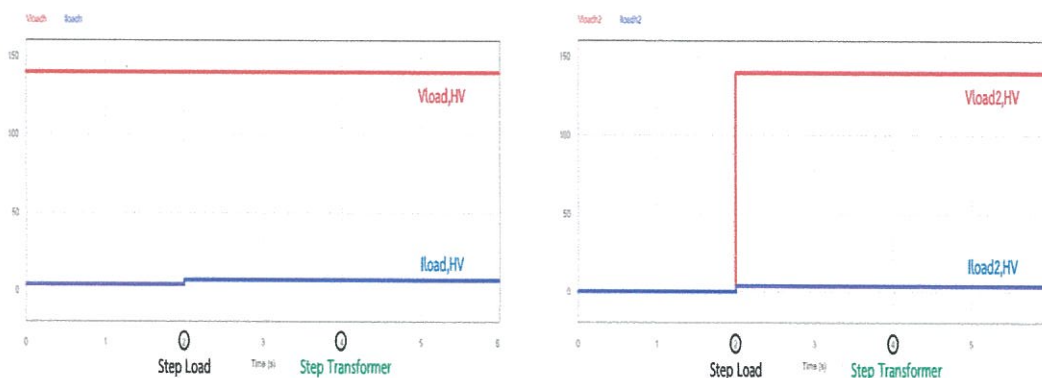


(ก) ชุดวงจรที่ 1

(ข) ชุดวงจรที่ 2

รูปที่ 4.38 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของแต่ละชุดวงจร

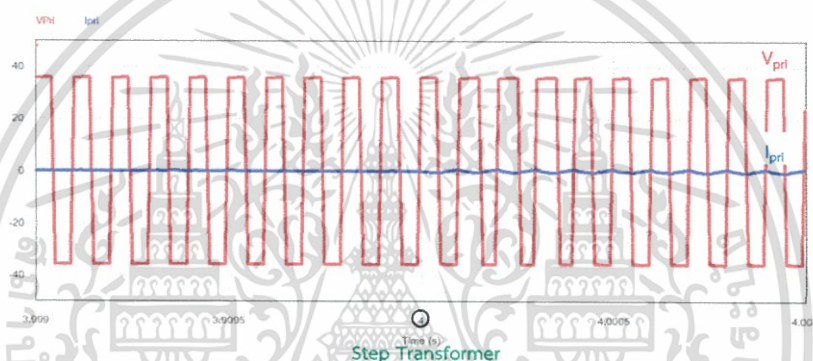
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ขั้นตอนที่ 1

(ข) ขั้นตอนที่ 2

รูปที่ 4.39 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าขั้นตอนต่างๆ

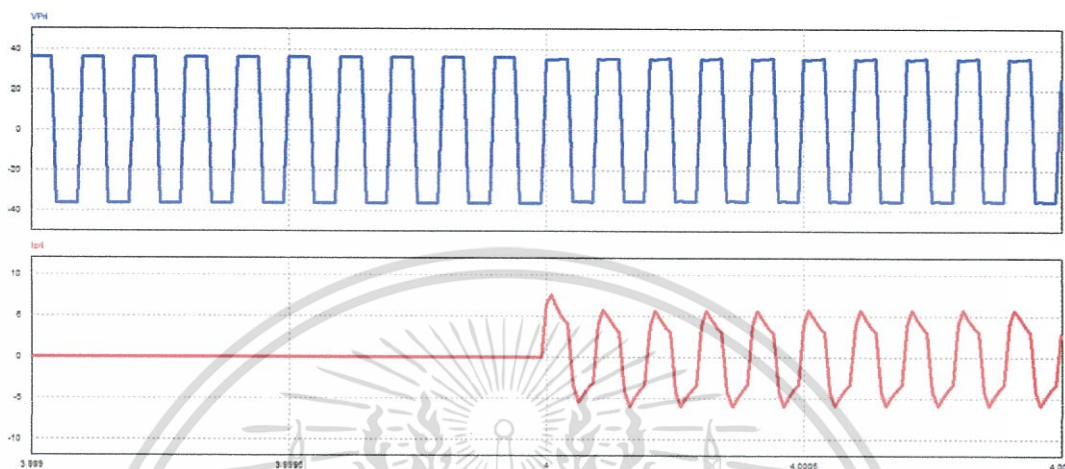


รูปที่ 4.40 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

4.7 การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าในขณะที่มุมสัญญาณความถี่ของหม้อแปลงไม่ตรงกัน

การจำลองการทำงานของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าในขณะที่มุมสัญญาณความถี่ของหม้อแปลงไม่ตรงกัน (Phase-Shift Transformer) ที่ซึ่งเป็นการจำลองที่มุมเฟสสัญญาณความถี่ทั้งสองฝั่งของหม้อแปลงไม่ตรงกันจะส่งผลให้เกิดทิศทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่าง 2 ชุดวงจรที่เชื่อมต่ออยู่กับหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งสามารถทำการควบคุมการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจากการทำการปรับมุมเฟส โดยมุมเฟสและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุม ส่งผลให้การจำลองนั้นจะทำการใส่มุมสัญญาณของแต่ละชุดวงจรให้มีความแตกต่างกันประมาณ 2 องศาซึ่งจะทำให้มีการถ่ายโอนผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าดังรูปที่ 4.41 ขณะที่มุมสัญญาณของหม้อแปลงไฟฟ้าชุด 1 นำหน้าชุดที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสขึ้น และเมื่อให้มุมสัญญาณของชุดที่ 2 นำหน้าชุดที่ 1 ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้ามีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าเหมือนกับรูป 4.41

จากการจำลองจึงส่งผลให้สามารถควบคุมการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่าง 2 ชุดวงจรผ่าน หม้อแปลงความถี่สูงได้โดยการควบคุมมอดูเลชันความถี่ของสวิตช์กำลัง โดยที่แรงดันไฟฟ้าในแต่ละ บัสคงที่ตลอดเวลาหรือในแต่ละชุดวงจรมีการทำงานในรูปแบบปกติตลอดเวลา



รูปที่ 4.41 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

4.8 สรุป

บทนี้เป็นการจำลองการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่ซึ่งจะทำการจำลองโดยการให้ชุดวงจร M^2C^3 ชุดที่ 1 ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าภายในชุดวงจรจนเข้าสู่สถานะปกติจึงเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำและสุดท้ายจะเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้เป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าให้กับอีกชุดวงจรหนึ่ง ซึ่งการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 จะใช้หลักการสมดุลพลังงานในแต่ละบัสแรงดันไฟฟ้า รวมไปถึงหลักการของการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลทำให้วงจร M^2C^3 มีการทำงานเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกกระดบแรงดันไฟฟ้า โดยที่ กำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งจะต้องมีค่าเท่ากัน

ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0 นั้นจะมีข้อจำกัดอยู่อย่างหนึ่งคือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะเป็นอินฟินิตบัส (Infinite Bus) ที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาคงที่ ทำให้ในการจำลองการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 นี้จะต้องศึกษาที่ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันไฟฟ้าต่างๆ และจากผลการจำลองจะเห็นว่าเมื่อวงจร M^2C^3 มีการสมดุลพลังงานแล้วจะไม่มีกระแสของกระแสไฟฟ้าภายในวงจร และเมื่อวงจร M^2C^3 ทำงานในรูปแบบลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจึงเกิดกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรขึ้นซึ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำจะส่งผลให้ขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่าเปลี่ยนแปลง อีกทั้งเมื่อเชื่อมต่อกับหม้อแปลงความถี่สูงจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานมาจากอีกชุดวงจรหนึ่งด้วย ซึ่งเป็นการลดกำลังไฟฟ้าของชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ 1 ในการจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า ส่งผลให้ในขณะที่มีการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงเข้ามาในระบบจะช่วยลดการทำงานของบัสแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1 อีกทั้งยังสามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลของชุดวงจรที่ 1 เกิดความผิดปกติขึ้น (Fault) ซึ่งชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าจะทำงานเป็นแหล่งพลังงานสำรองซึ่งกันและกันจึงช่วยให้ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีความเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในแต่ละลักษณะการทำงานนั้นจะมีค่าดังตารางที่ 4.2 ที่จะเห็นว่าประสิทธิภาพของวงจรในการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงจะมีค่าสูงกว่าการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำเนื่องจากที่บัสแรงดันสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้าน้อยกว่าภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันต่ำ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงความถี่สูงขณะวงจรทำงานขณะลดระดับแรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับ 97.74% และขณะเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า 99.22%

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 ในรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกัน

รูปแบบการจำลอง	ตำแหน่งของภาระไฟฟ้า	ประสิทธิภาพของวงจร (%)	ประสิทธิภาพขณะเพิ่มภาระไฟฟ้า (%)	ประสิทธิภาพขณะเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าและหม้อแปลงความถี่สูง (%)
ลดระดับแรงดันไฟฟ้า	Load LV	97.29	97.56	97.05
	Load HV	99.54	99.73	99.65
เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า	Load LV	98.45	98.86	98.88
	Load HV	99.63	99.72	99.73

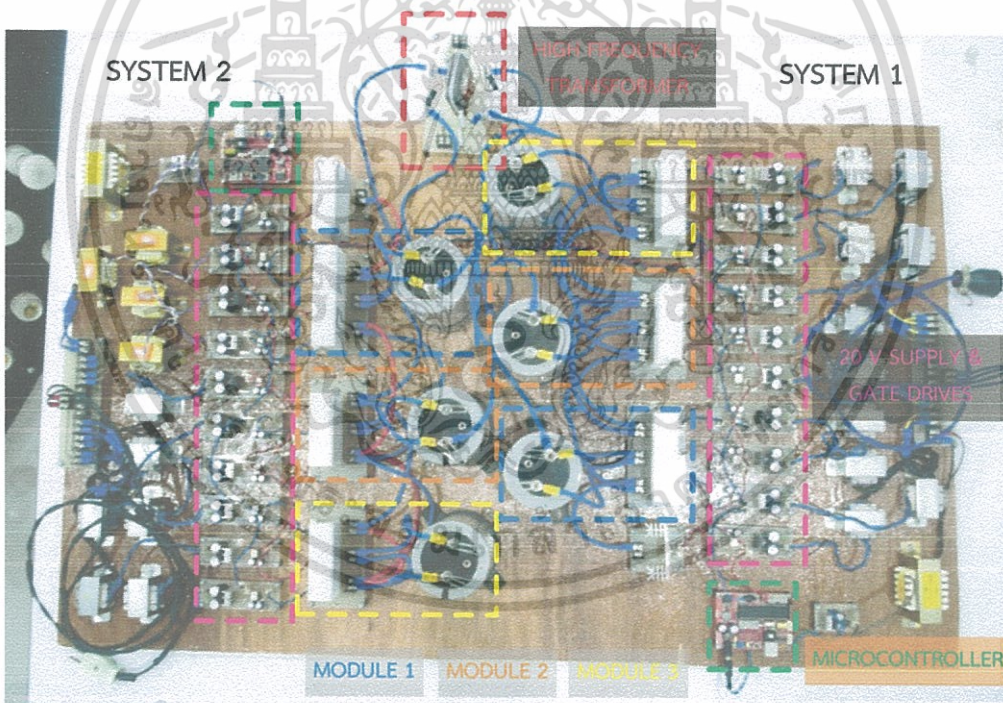
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก พิกัดของเครื่องต้นแบบมีขนาด 500 W โดยมีโครงสร้างวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อผ่านหม้อแปลงความถี่สูงตามบทที่ 3 ซึ่งเครื่องต้นแบบจะแสดงดังรูปที่ 5.1 จะประกอบไปด้วยวงจรควบคุมและกำลังดังนี้ ชุดวงจรควบคุมจะประกอบไปด้วยวงจรขับสัญญาณ (Gate Drive) ที่ใช้เป็นชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ชุดกำลังไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุและสวิตช์กำลัง (Mosfet) และหม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)



รูปที่ 5.1 เครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า

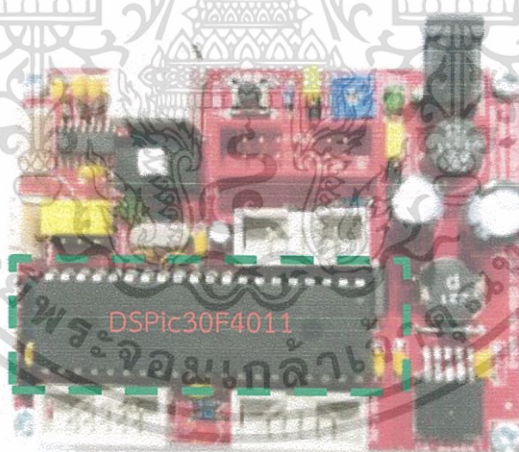
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การออกแบบชุดวงจรควบคุม

การออกแบบชุดวงจรควบคุม ซึ่งเป็นชุดวงจรที่สำคัญในวงจร M^2C^3 เนื่องจากเป็นชุดสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า โดยชุดควบคุมและประมวลผลนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ และมีชุดขับสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าเพียงพอต่อการนำกระแสของสวิตช์กำลัง ซึ่งชุดวงจรควบคุมนั้นจะประกอบไปด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดวงจรขับสัญญาณ

5.2.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

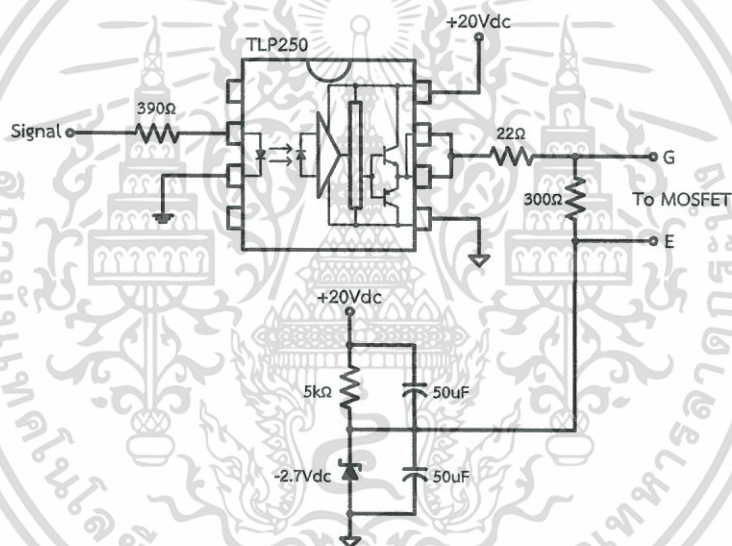
วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ทำหน้าที่หลักในการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตช์ของสวิตช์กำลัง ที่ซึ่งการสร้างสัญญาณควบคุมจะใช้ CPU (Control Processor Unit) ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันไฟฟ้า 5V ความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 10kHz 2 สัญญาณ ซึ่งมี duty cycle (Duty cycle) 50% มุมเฟสต่างกัน 180 องศา และมีค่าเดดไทม์ (Dead time) 5 μ s สัญญาณที่ได้นั้นจะนำไปผ่านชุดวงจรขับสัญญาณก่อนที่จะจ่ายไปให้กับสวิตช์กำลังเพื่อไปควบคุมวงจร M^2C^3 ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เป็นตัวประมวลผล วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์ต้นแบบนั้นจะใช้ของ ET-BASE dsPIC30F แสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2.2 วงจรขับสัญญาณ

วงจรขับสัญญาณ (Gate Drive) มีหน้าที่หลักคือการขยายสัญญาณควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณมีขนาดเพียงพอต่อการควบคุมการสวิตช์ให้สามารถนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ โดยตัวขับสัญญาณที่ใช้จะเป็น TLP250 ที่โครงสร้างภายในจะสามารถแยกกราวด์ระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งป้องกันความเสียหายจากวงจรกำลังได้ โดยที่วงจรขับสัญญาณนี้จะรับแรงดันไฟฟ้า 20V และสัญญาณควบคุมที่สร้างขึ้นจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะมีขนาดแรงดันที่ 5V ส่งผลให้เมื่อนำมาผ่านชุดวงจรขับสัญญาณจึงได้สัญญาณควบคุมที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ +15 V และ -3 V ซึ่งสัญญาณขาลบจะช่วยให้หยุดนำกระแสได้รวดเร็วและนานพอที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุคายประจุออกให้หมดซึ่งโครงสร้างของชุดวงจรขับสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 5.3 และอุปกรณ์ต้นแบบจะแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณ

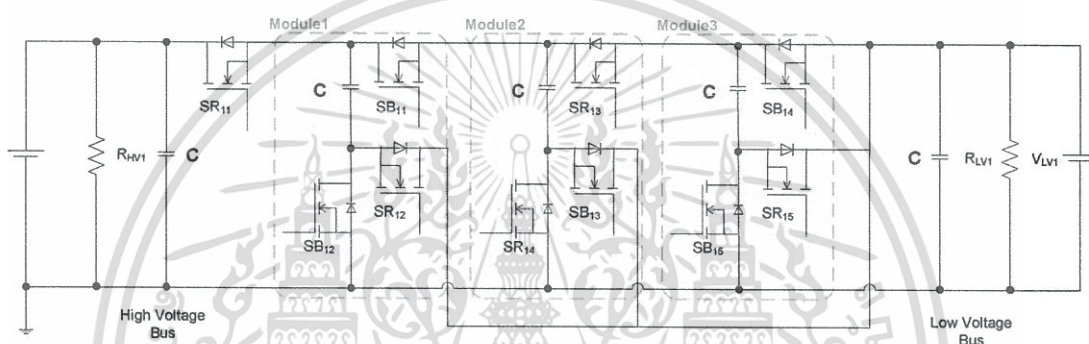


รูปที่ 5.4 อุปกรณ์ไฟเลี้ยงและขับสัญญาณ

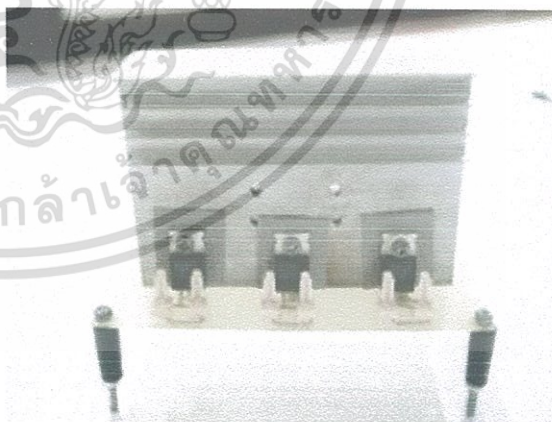
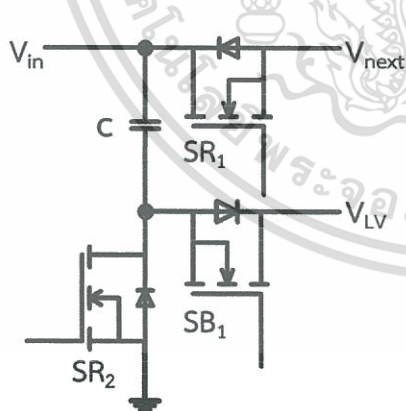
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การออกแบบชุดวงจรกำลัง

ในการออกแบบชุดวงจรกำลังนั้นจะขออธิบายเฉพาะชุดคอนเวอร์เตอร์ 1 โมดูลเท่านั้นดังรูปที่ 5.5 เนื่องจากว่าแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลจะมีโครงสร้างเหมือนกันทุกอย่าง ซึ่งใน 1 ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลจะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ 1 ตัวและสวิตช์กำลัง 3 ตัว โดยในที่นี้จะใช้สวิตช์กำลังเป็นมอสเฟต (Mofset) ทั้งหมดในชุดวงจร M^2C^3 เพื่อทำการสวิตช์ให้เกิดการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าขึ้น โดยชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล 1 ดังรูปที่ 5.6 ที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุขนาด $2200\mu\text{F}$ และสวิตช์กำลังรหัส FQP630 ดังรูปที่ 5.7(ก) และ(ข) ตามลำดับ

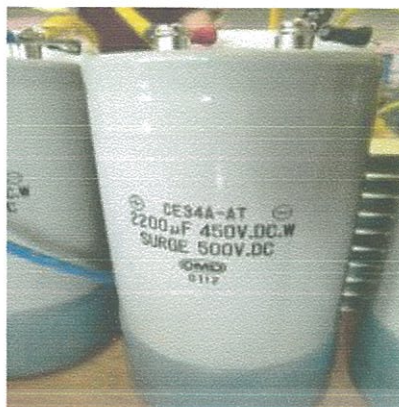


รูปที่ 5.5 วงจร M^2C^3 ที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล 3 ชุด



รูปที่ 5.6 วงจรชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตัวเก็บประจุ



(ข) มอสเฟสกำลัง

รูปที่ 5.7 อุปกรณ์ในชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล



รูปที่ 5.8 หม้อแปลงความถี่สูง

5.4 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงที่เป็นส่วนสำคัญของวิทยานิพนธ์นี้จะมีทฤษฎีอยู่ในบทที่ 3 โดยหม้อแปลงความถี่สูงนั้นจะต้องรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้อย่างน้อยเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ และมีความถี่เท่ากับความถี่สวิตช์ ซึ่งมีความถี่ที่สูงมาก ส่งผลให้หม้อแปลงนั้นมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ซึ่งจากที่ใช้งานที่ความถี่สูงนั้นจึงนำแกนเฟอร์ไรท์มาใช้เป็นแกนแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งแกนเฟอร์ไรท์นั้นมีคุณสมบัติคือ

- สามารถใช้งานได้ที่ความถี่สูง
- มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูง
- การสูญเสียที่แกนเหล็กและความร้อนที่เกิดจากกระแสไหลวนนั้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเลือกใช้แกน EC เป็นแกนของหม้อแปลงที่ซึ่งจะทำงานที่ความถี่ 10 kHz และวิธีการคำนวณเพื่อหาขนาดของแกนและขดลวดของหม้อความถี่สูงนั้นจะแสดงดังต่อไปนี้

$$A_p = \frac{P_{OUT}}{2 \cdot k \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J} \quad (5.1)$$

$$P_{OUT} = 2 \cdot k \cdot A_p \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J \quad (5.2)$$

เมื่อ $A_p = A_s \cdot A_w$ จะได้

$$P_{OUT} = 2 \cdot k \cdot A_s \cdot A_w \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J \quad (5.3)$$

กำหนดให้ A_s ประมาณ $22A_w$

$$A_w = 0.85 \times 1.5 = 127.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

ดังนั้น A_s ประมาณ $280.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ดังนั้นเราจึงใช้

$$A_w = 127.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_s = 280.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

นำค่า A_s และ A_w ที่ได้มาแทนในสมการที่ (5.3)

$$P_{OUT} = 2 \times 3.57 \times 10^{-8} \times 0.6 \times 10 \times 10^3 \times 3 \times 10^6 = 1287 \text{ watt}$$

ถ้าใช้ $V_{MAX} = 220V$

$$I_{MAX} = 5.85A$$

$$N_1 = N_2 = \frac{V}{4 \cdot B_{MAX} \cdot A_s \cdot f_s} \quad (5.4)$$

$$= \frac{220}{4 \times 0.6 \times 280 \times 10^{-6} \times 10^4}$$

$$= 32.679 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขนาดลวดได้จาก

$$\frac{I}{J} = \frac{5.85}{3 \times 10^6}$$

$$= 1.95 \text{ mm}$$

รัศมีขนาด 1.95 mm ดังนั้นต้องใช้ขดลวดขนาด SWG 18

5.5 สรุป

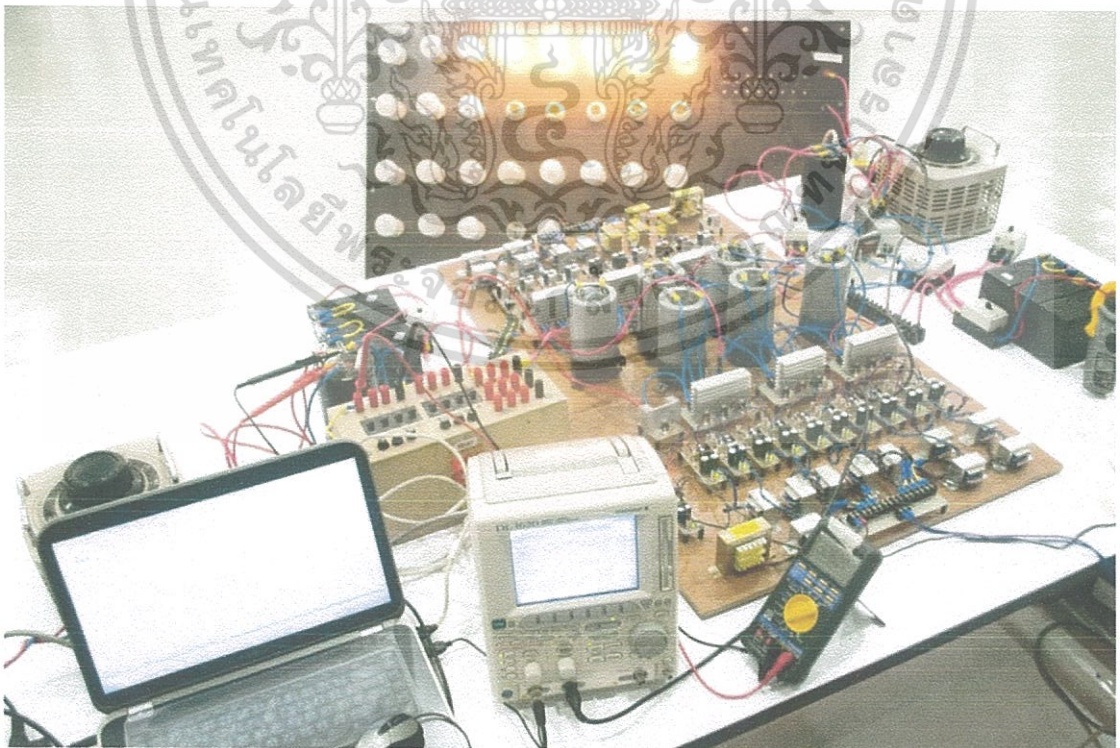
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าที่ซึ่งมีอุปกรณ์ของวงจร M^2C^3 ที่สำคัญ อาทิเช่น วงจรควบคุมที่ประกอบไปด้วยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณสวิตช์ที่ซึ่งเป็นชุดที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณที่มีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา เพื่อนำไปขับสวิตช์กำลังในชุดวงจรกำลัง โดยที่ชุดวงจรกำลังนั้นจะมีลักษณะเด่นคือเป็นชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมาเชื่อมต่อกันหลายๆชุด และมีการอธิบายถึงการออกแบบและการคำนวณหาขนาดและขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อนำหม้อแปลงความถี่สูงมาเชื่อมต่อระหว่าง 2 ชุดวงจร M^2C^3 ส่งผลให้เกิดการแยกกราวด์ระหว่าง 2 ชุดวงจรและยังเป็นการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างกันอีกด้วย

บทที่ 6

การทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง หลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า

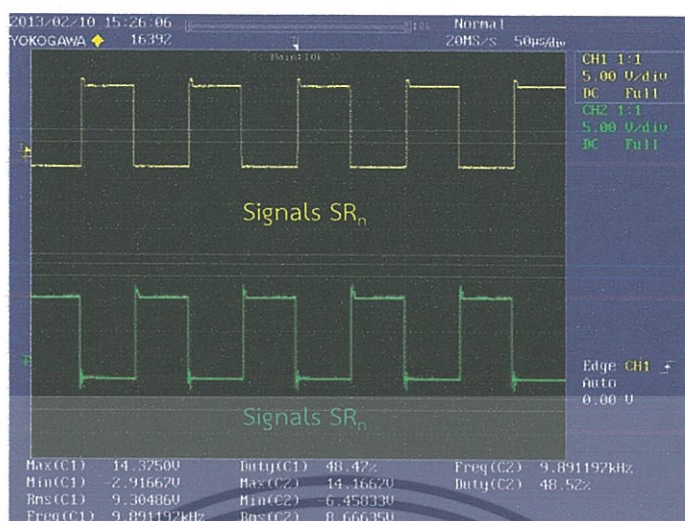
6.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานระหว่างบัสแรงดันทั้งสองบัสและการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง วงจร M^2C^3 จะรับสัญญาณสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณที่มีมุมเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งการทดสอบเครื่องต้นแบบจะเริ่มจากการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 เพียงชุดเดียว เมื่ออยู่สภาวะคงที่จะทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าเพื่อให้เสมือนกับการนำไปใช้จริงในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก หลังจากนั้นจึงเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 อีกชุดเข้ามาผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยรวมไปถึงการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น สองชุดวงจรมีคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่ไม่เท่ากัน และอัตราส่วนของหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้เชื่อมต่อมีอัตราส่วนสองต่อหนึ่ง ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของวงจร M^2C^3 การทดสอบเครื่องต้นแบบแสดงดังรูปที่ 6.1 ประกอบไปด้วยวงจร M^2C^3 2 ชุดเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งแต่ละชุดจะเชื่อมต่ออยู่กับแบตเตอรี่ 12V 7.2Ah จำนวน 3 ลูก และอุปกรณ์ในการวัด



รูปที่ 6.1 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



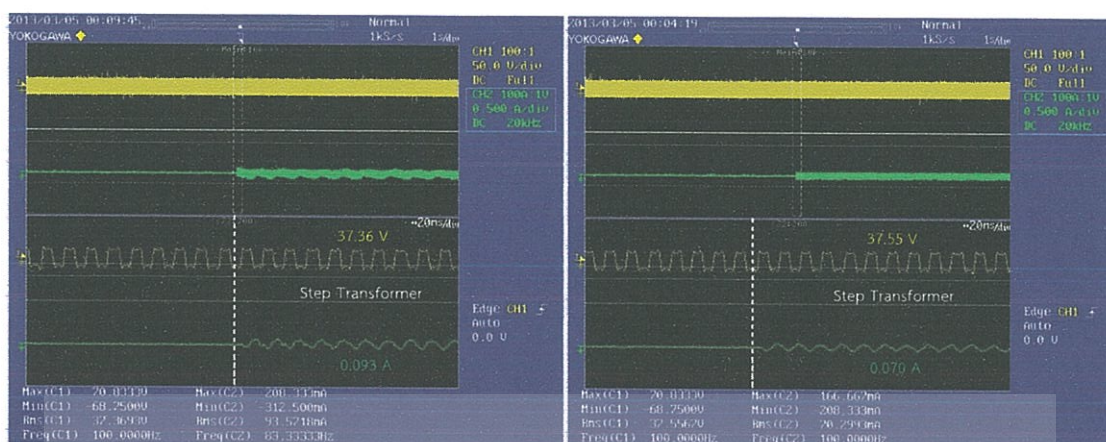
รูปที่ 6.2 สัญญาณควบคุมที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและมีมุมเฟสตรงข้ามกัน

6.2 การทดสอบวงจรขับสัญญาณ

การควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะแบ่งสัญญาณควบคุมออกเป็น 2 สัญญาณที่มีรูปคลื่นเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมและมีมุมเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณควบคุมจะต้องผ่านวงจรขับสัญญาณก่อนที่จะนำไปจ่ายให้กับสวิตช์กำลัง โดยที่แรงดันไฟฟ้าจะมีขนาดเท่ากับ 15V กับ -3V โดยที่ให้มีแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบเนื่องจากการต้องการให้สวิตช์มีการหยุดนำกระแสที่รวดเร็วเพียงพอเพื่อป้องกันช่วงเวลาการสวิตช์ที่พร้อมกันดังรูปที่ 6.2

6.3 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง

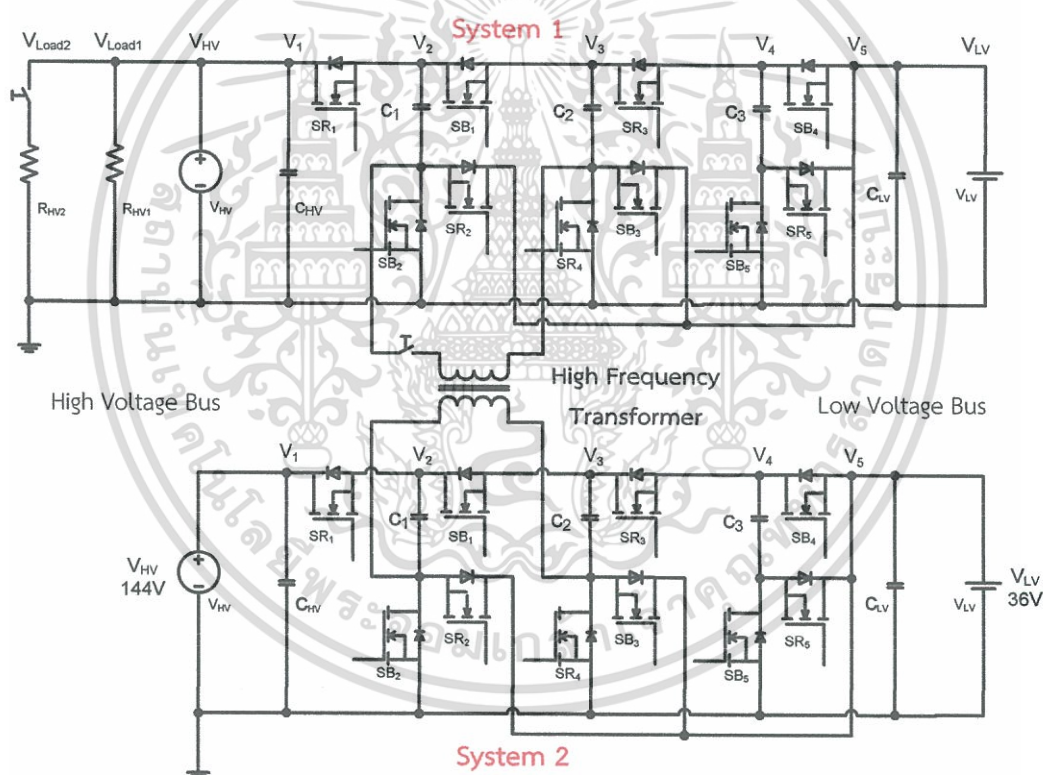
การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการแยกโหนดทางไฟฟ้าและถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างชุดวงจร M^2C^3 โดยเชื่อมต่ออยู่กับขั้วลบของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่มีความถี่เท่ากับความถี่สัญญาณควบคุมการสวิตช์ ซึ่งในการทดสอบจะทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 แต่ละชุดมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน จึงทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของทั้งสองฝั่งของหม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.3(ก) ที่เป็นแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางฝั่งปฐมภูมิ และแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางฝั่งทุติยภูมิจะแสดงดังรูปที่ 6.3(ข) ซึ่งการทดสอบนี้ที่มีแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองชุดวงจรเท่ากันนั้นจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ถ่ายโอนผ่านหม้อแปลงความถี่สูงจะมีขนาดที่น้อยมาก เสมือนไม่เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงและเมื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของหม้อแปลงความถี่สูงจะมีค่าเท่ากับ 84.31%



(ก) ปฐมภูมิ

(ข) ทุตติยภูมิ

รูปที่ 6.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

รูปที่ 6.4 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโศดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันสูง

6.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับสำหรับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีการะไฟฟ้าเชื่อมต่อกับบัสแรงดันสูง ทั้งที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

6.4.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโศดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงดังรูปที่ 6.4 จะทำการทดสอบโดยเริ่มจากให้ชุดวงจรที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจึงทำการเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงซึ่งจะเรียกว่ารูปแบบปกติ (Normal Conditions) หลังจากนั้นทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงซึ่งจะเรียกว่ารูปแบบการเพิ่มภาระไฟฟ้า (Step Loads) และจึงทำการเชื่อมต่อระหว่าง 2 ชุดวงจรผ่านหม้อแปลงความถี่สูง (Step Transformer) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะทำการเก็บข้อมูลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในทุกบัสแรงดัน

6.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

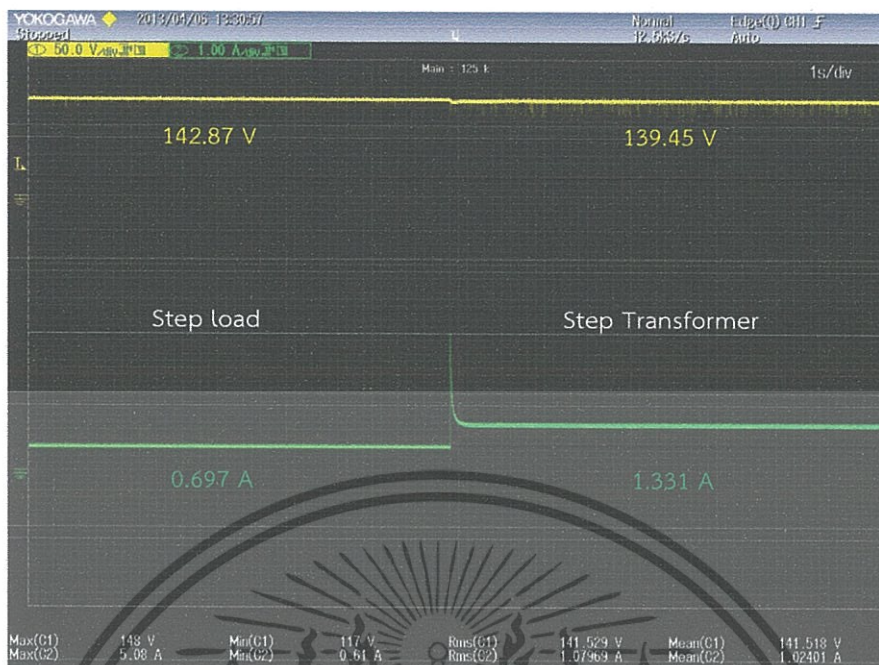
- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่อกับวงจร M^2C^3 ทั้ง 2 ชุดผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

6.4.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

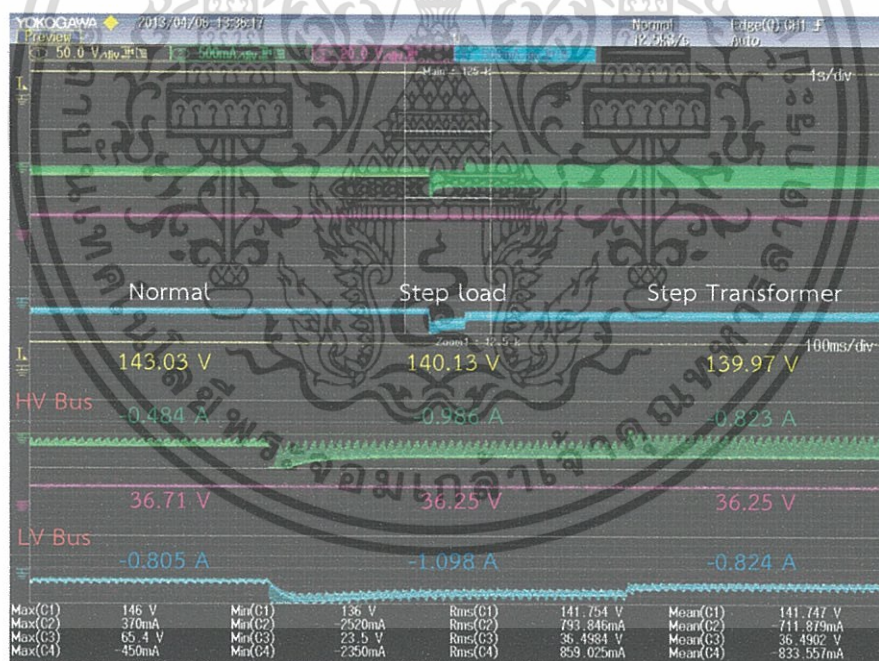
การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงตามขั้นตอนการทดสอบนั้น จะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้ามีการถ่ายโอนตามหลักการสมดุลพลังงาน ที่ซึ่งจะถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังบัสแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าตามอัตราส่วนการแปลงผัน โดยผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบขึ้นอยู่กับการทำงานของวงจร M^2C^3 ในกรณีที่ไม่มีภาระไฟฟ้าคือ รูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้การทดสอบทั้งสองแบบในสภาวะไดนามิก (Dynamic State) เพื่อแสดงทิศทางการถ่ายโอนพลังงานในแต่ละบัสแรงดันขณะที่มีการไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันสูง

6.4.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.7 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าในขั้นตอนที่ 1 (Normal Conditions) จะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากทั้งสองบัสแรงดันไฟฟ้าไปจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าเนื่องจากว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงขณะเชื่อมต่ออยู่กับภาระไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผัน ส่งผลให้เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง (Step Load) บัสแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 จะต้องถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้ามากขึ้นซึ่งดูได้จากกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเข้ามา (Step Transformer) จะเห็นว่าที่หม้อแปลงความถี่สูงจะมีกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงว่ามีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง รวมไปถึงยังช่วยลดการทำงานของแต่ละบัสแรงดันไฟฟ้าของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

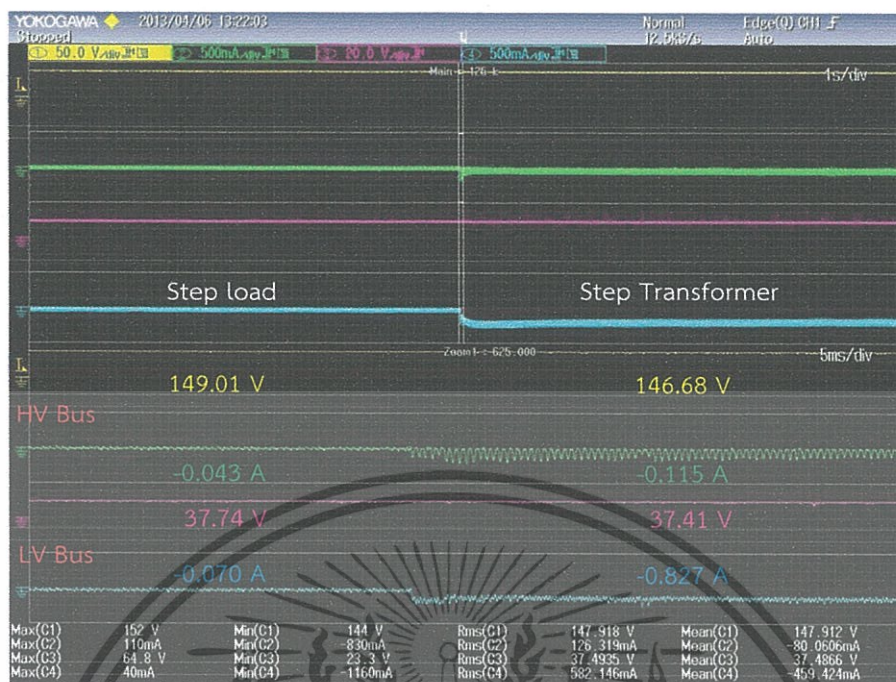


รูปที่ 6.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

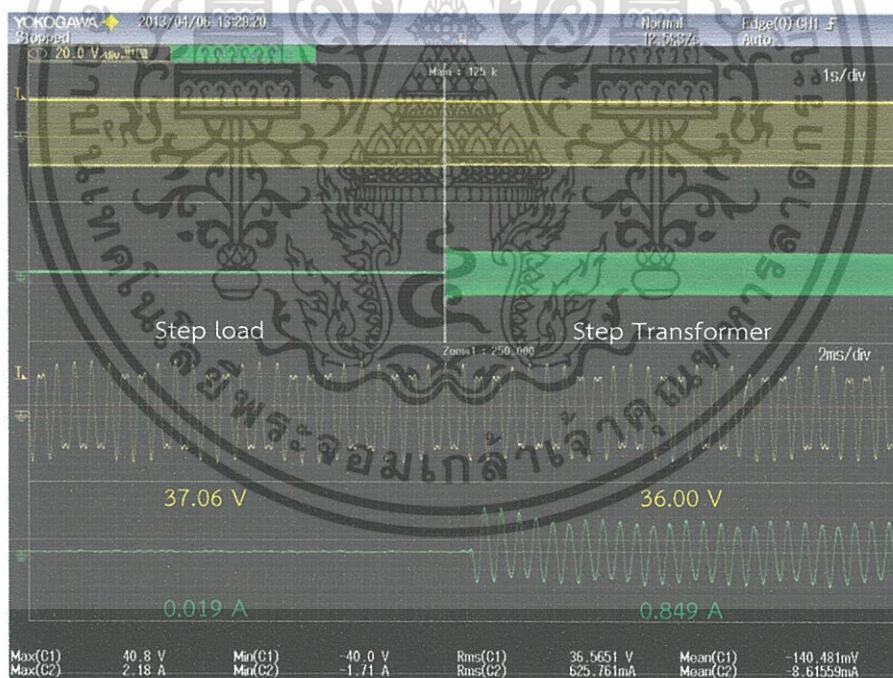


รูปที่ 6.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดววงจรที่ 2

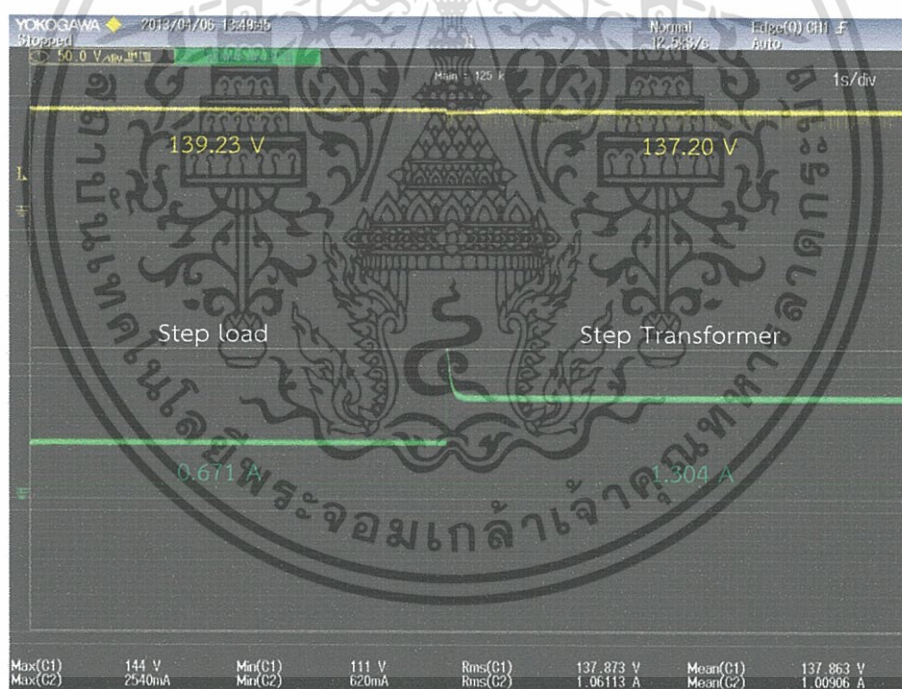


รูปที่ 6.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

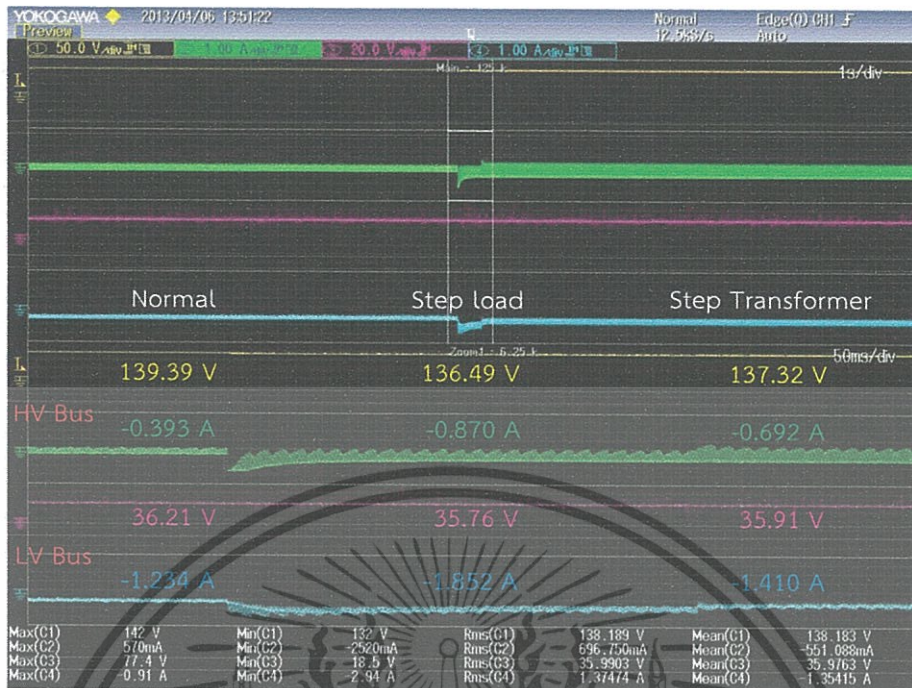
6.4.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.10 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.11 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.12 จะเห็นว่าการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจะคล้ายกับหัวข้อที่ 6.4.5 แต่กระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าจะเห็นว่าการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำสูงขึ้นซึ่งเป็นการช่วยบัสแรงดันสูงในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะเห็นว่าชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 จะถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้ามาให้กับภาระไฟฟ้าและยังเป็นการลดภาระของบัสแรงดันไฟฟ้าในชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

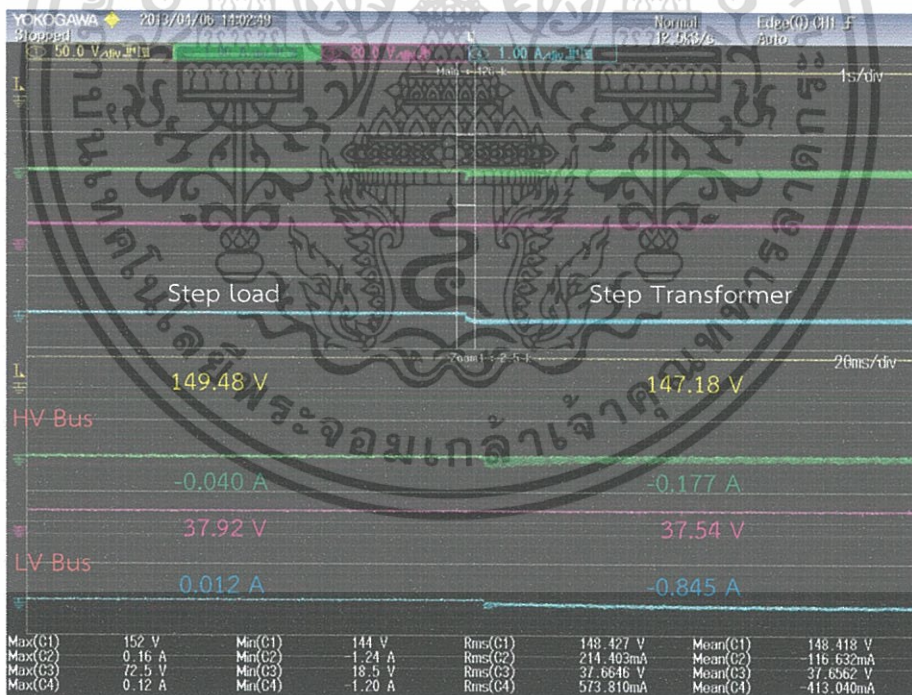


รูปที่ 6.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

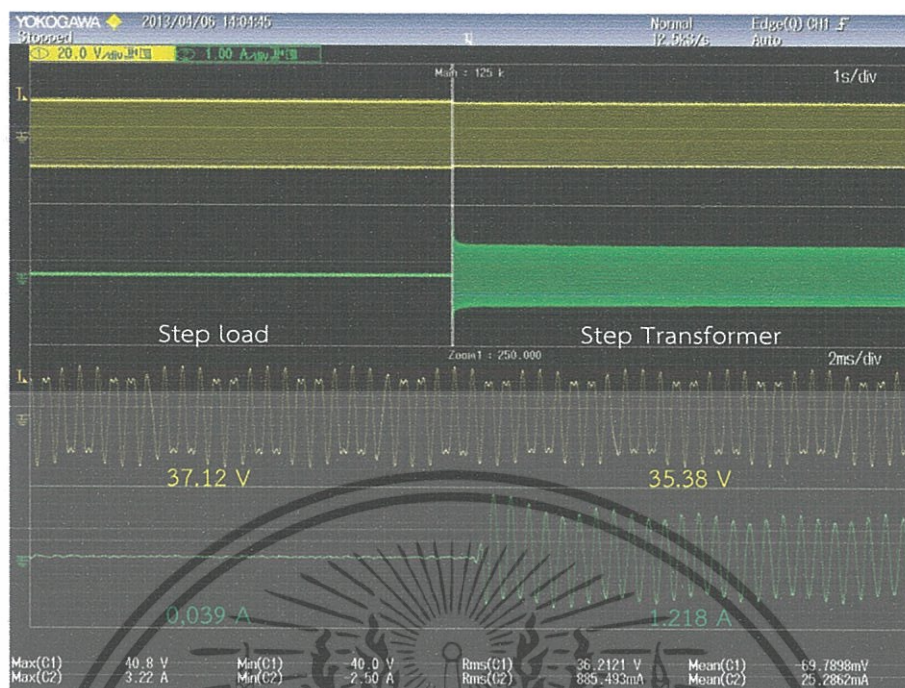


รูปที่ 6.10 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 1

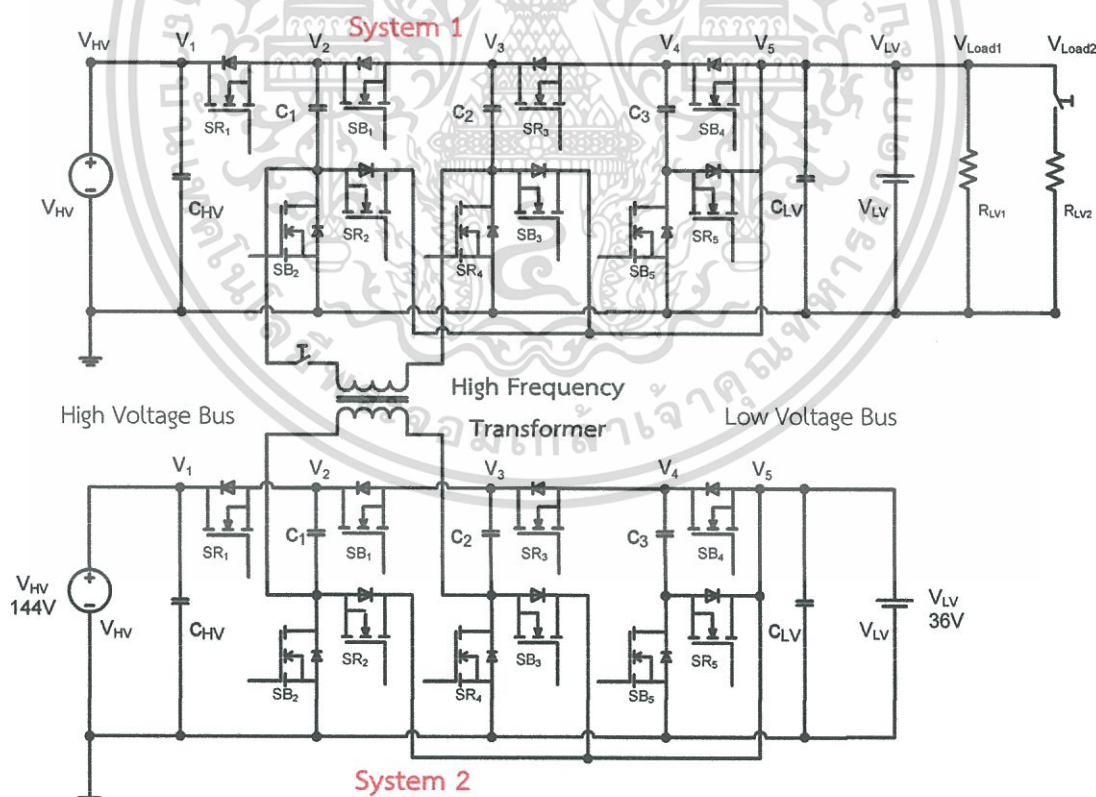


รูปที่ 6.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจรที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 6.13 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโศดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำ

6.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับสำหรับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีการะไฟฟ้าเชื่อมต่อกับบัสแรงดันต่ำ ทั้งที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

6.5.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโศดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำดังรูปที่ 6.13 จะมีวิธีการทดสอบที่เหมือนกันกับหัวข้อ 6.4 แต่จะแตกต่างกันตรงที่ตำแหน่งของภาระไฟฟ้า จะทำการศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดัน โดยจะกำหนดให้วงจร M^2C^3 มีการเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ ขณะที่วงจร M^2C^3 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันและรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า และทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ หลังจากนั้นจึงเชื่อมชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง

6.5.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

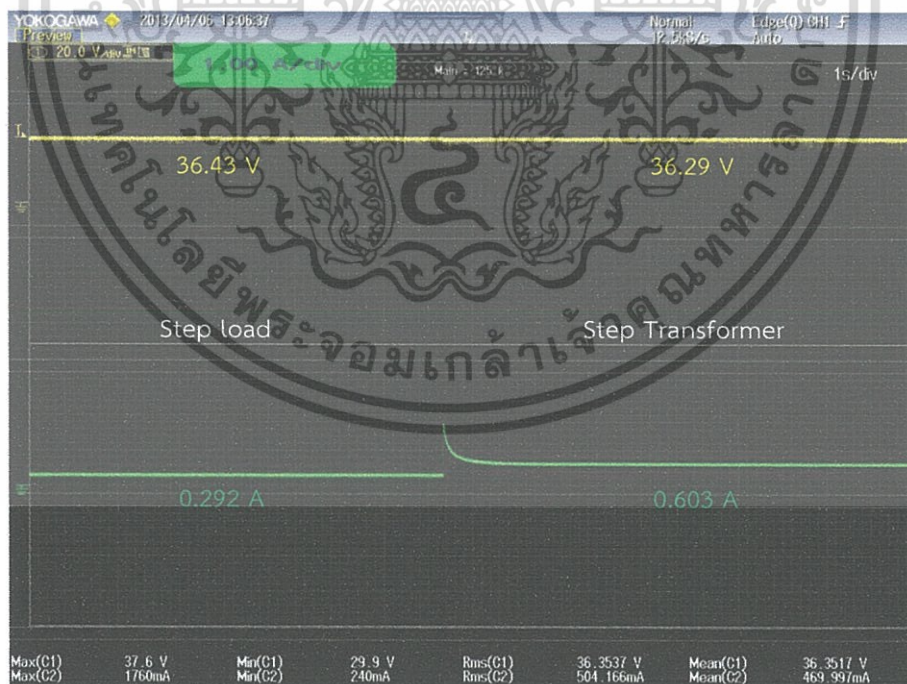
- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่ภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่ วงจร M^2C^3 ทั้ง 2 ชุดผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

6.5.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำตามขั้นตอนการทดสอบนั้น จะเป็นการทดสอบที่คล้ายกับการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง ซึ่งในการทดสอบจะให้วงจร M^2C^3 ทำงานในสภาวะไดนามิก โดยที่จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการทำงานคือ รูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

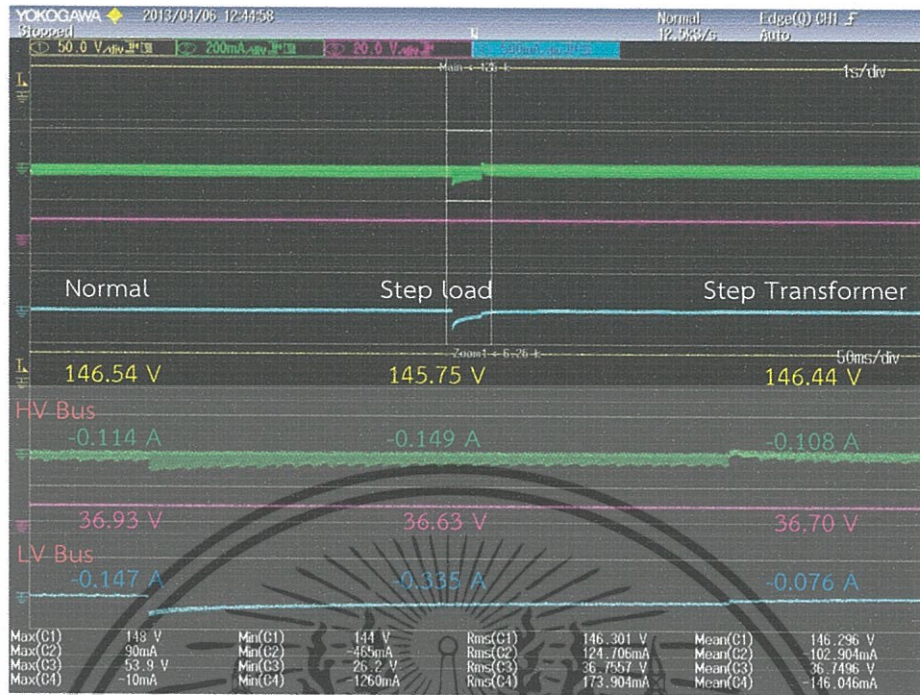
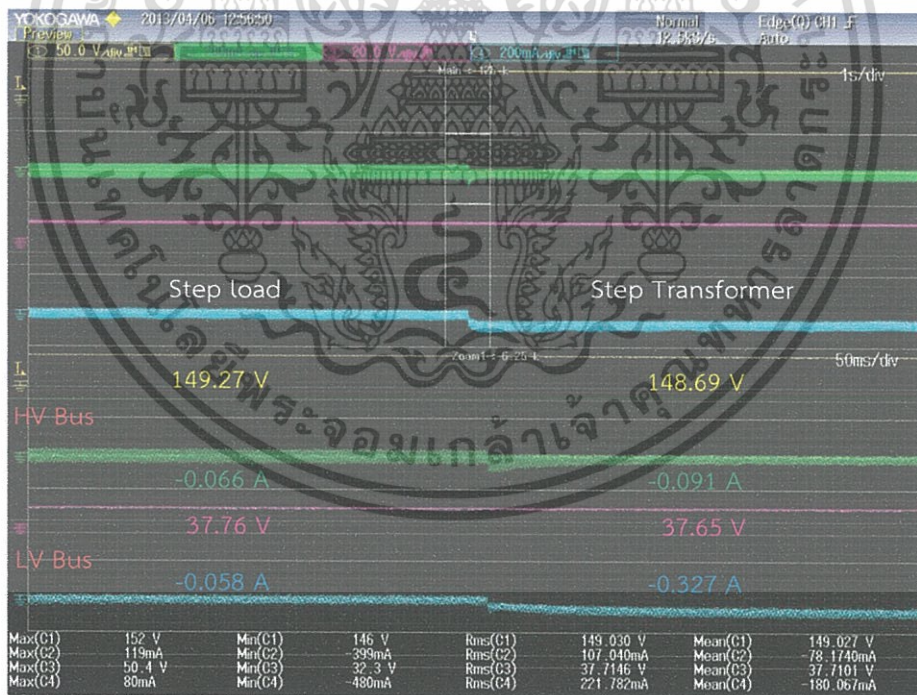
6.5.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโคจรทางไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.15 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.16 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.17 จะเห็นว่าบัสแรงดันสูงมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้ามาให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันต่ำและเมื่อทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานเพิ่มมากขึ้นหลังจากนั้นทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่บัสต่างๆของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีค่าลดลง

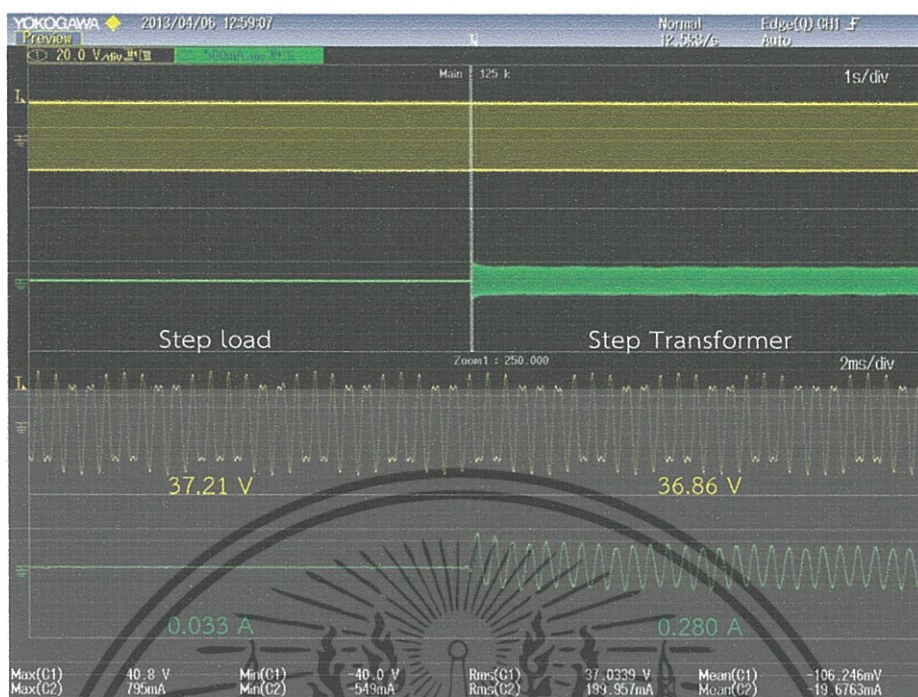


รูปที่ 6.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.15 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดวจร M^2C^3 ที่ 1รูปที่ 6.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดวจร M^2C^3 ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

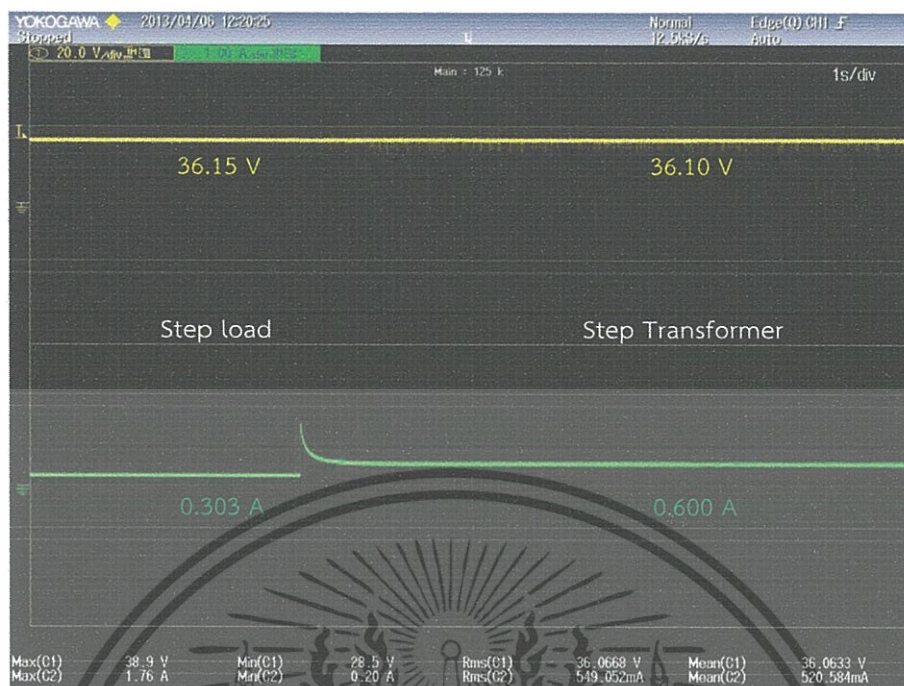


รูปที่ 6.17 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

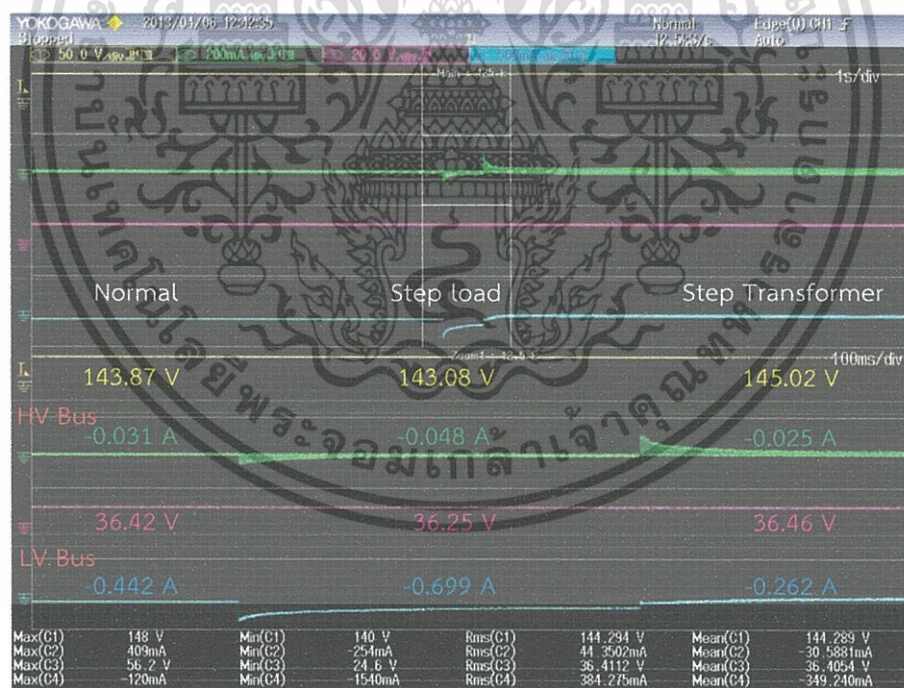
6.5.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ที่บัสแรงดันต่ำ

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.18 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.19 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.20 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.21 จะเห็นว่าการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าจะมาจากบัสแรงดันต่ำเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงมีค่าต่ำกว่าบัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผัน ซึ่งเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำก็จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าจะถูกถ่ายโอนมาจากบัสแรงดันต่ำ หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงเข้ามา ส่งผลให้ลดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



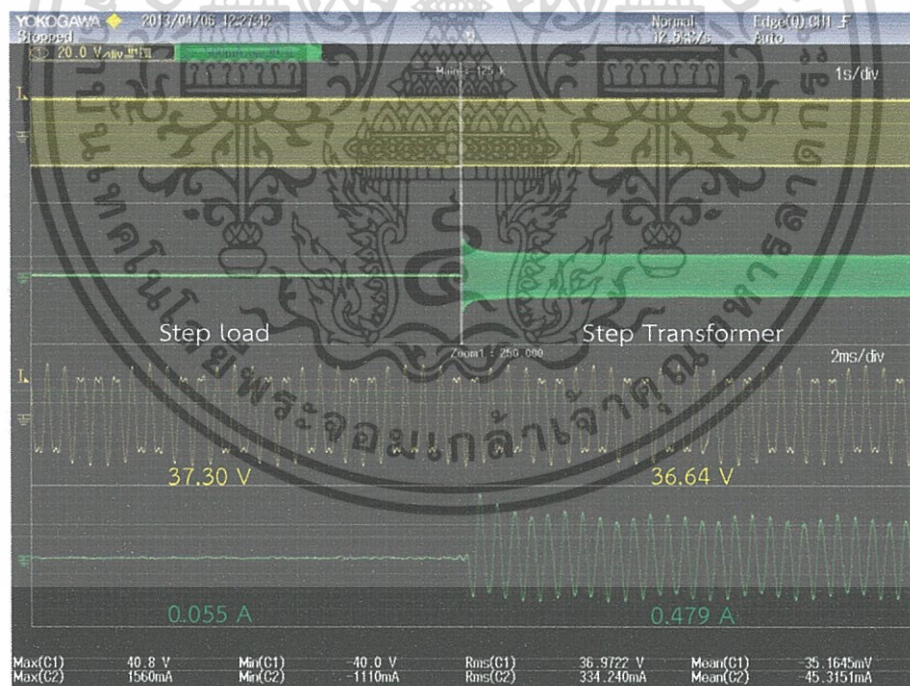
รูปที่ 6.18 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

รูปที่ 6.19 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

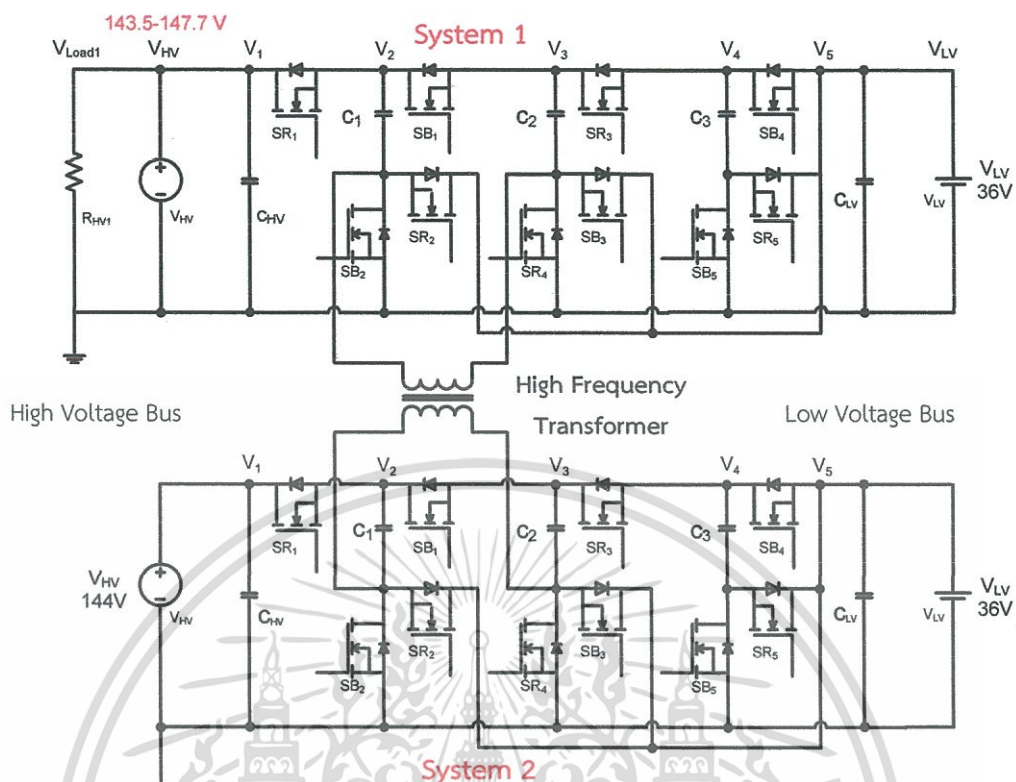


รูปที่ 6.20 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จุดวงจร M²C³ ที่ 2



รูปที่ 6.21 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.22 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

6.6 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

6.6.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับสำหรับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในสถานะไดนามิก

6.6.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงดังรูปที่ 6.22 จะทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 โดยเริ่มจากสถานะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ ส่งผลให้ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

6.6.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จากที่มีค่าน้อยกว่าไปจนถึงค่าที่มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผันแล้วทำการวัดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันไฟฟ้า

6.6.4 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

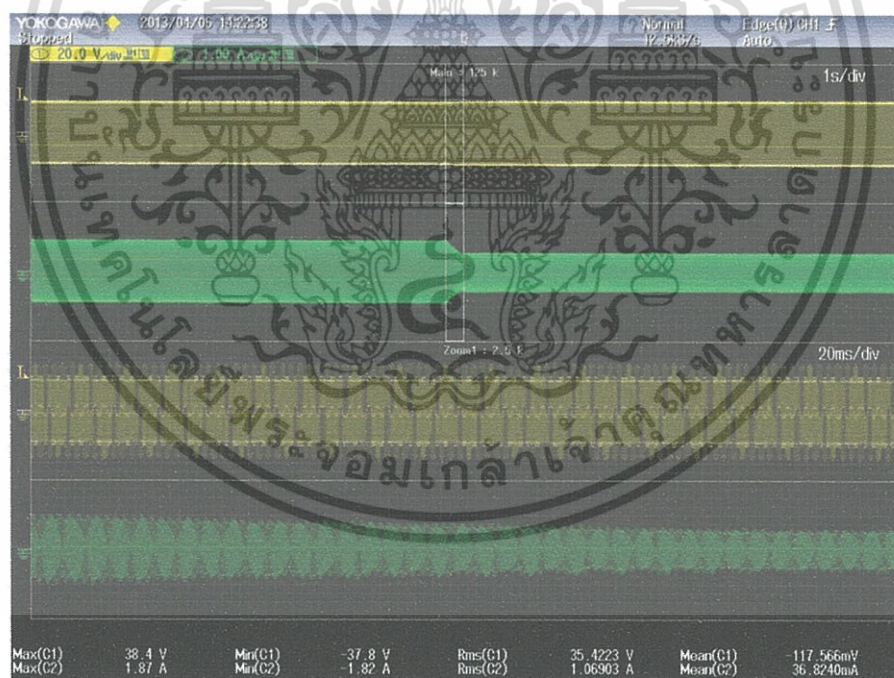
ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของบัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.23 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.24 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.25 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.26 จะเห็นว่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้ามีความคงที่ต่อเนื่องขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ที่ซึ่งเริ่มแรกชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้ามักมีค่าใกล้เคียงศูนย์และเมื่อคู่ที่บัสแรงดันต่ำจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามักมีขนาดที่สูงมากและมีทิศทางเป็นลบ ทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำไปให้กับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ามากกว่าบัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผัน ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกจากบัสแรงดันสูงสูงขึ้นเพื่อไปจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าแทนที่ของบัสแรงดันต่ำ ซึ่งการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจร M^2C^3 นั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดตามหลักการของการสมดุลพลังงานไฟฟ้าทั้งภายในชุดวงจร M^2C^3 และระหว่างชุดวงจร M^2C^3 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 6.23 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

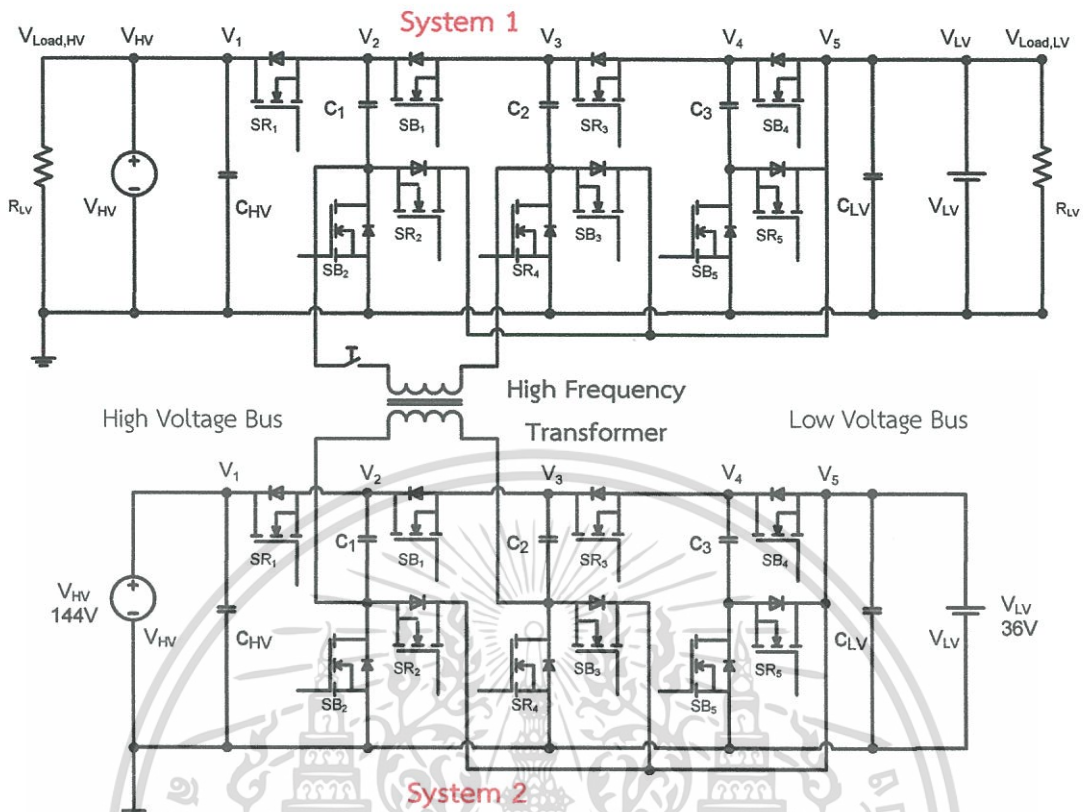
รูปที่ 6.24 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.25 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดวจร M^2C^3 ที่ 2

รูปที่ 6.26 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.27 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดตทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหลากหลายภาวะไฟฟ้า

6.7 การทดสอบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดตทางไฟฟ้าในขณะที่เชื่อมต่อกับภาวะไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า

6.7.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดตทางไฟฟ้าในขณะที่มีการเชื่อมต่อกับภาวะไฟฟ้าทั้งสองบัสแรงดันเพื่อให้มีความครอบคลุมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

6.7.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดตทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับภาวะไฟฟ้าทั้งสองบัสแรงดันดังรูปที่ 6.27 ซึ่งภาวะไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในแต่ละบัสแรงดันไฟฟ้าจะมีขนาด 200 W และให้ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานอยู่ในรูปแบบโหลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

6.7.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฏิกิริยาของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าทั้งสองบัสแรงดัน และทำการจำลองแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า และทำการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดัน

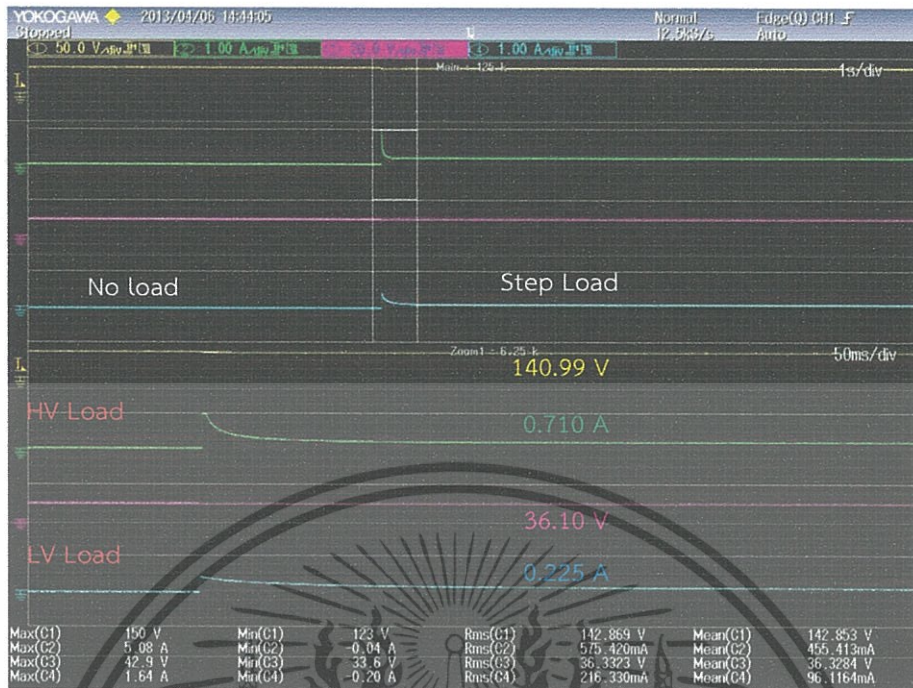
6.7.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อหลากหลายภาระ

ไฟฟ้า

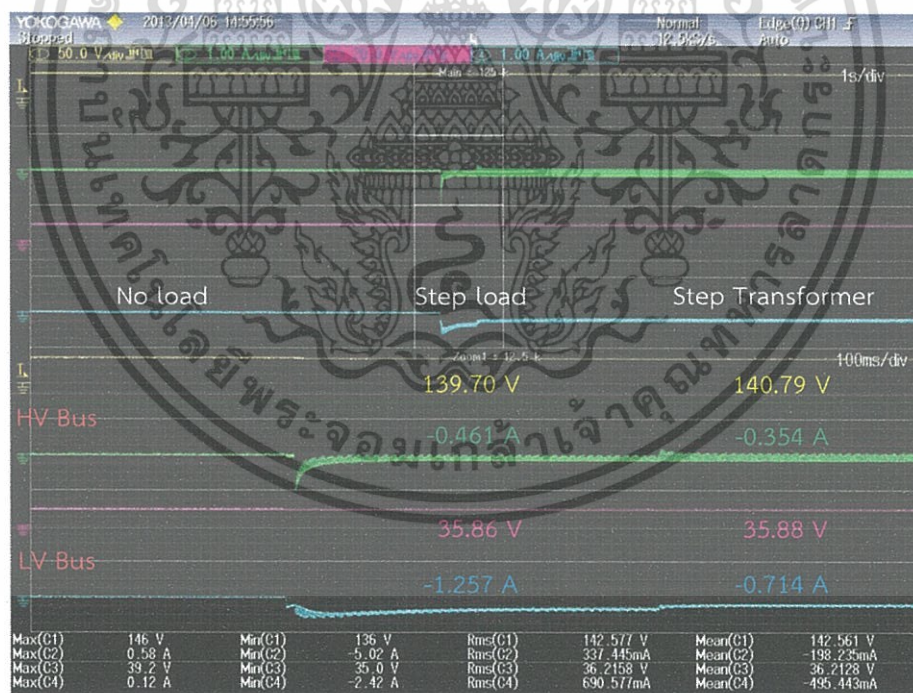
การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่หลากหลายภาระไฟฟ้า จะให้ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ซึ่งเป็นการทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าทั้งสองที่เชื่อมต่ออยู่ ซึ่งในการทดสอบจะให้อยู่ในสถานะแบบไดนามิก

6.7.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อหลากหลายภาระไฟฟ้าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

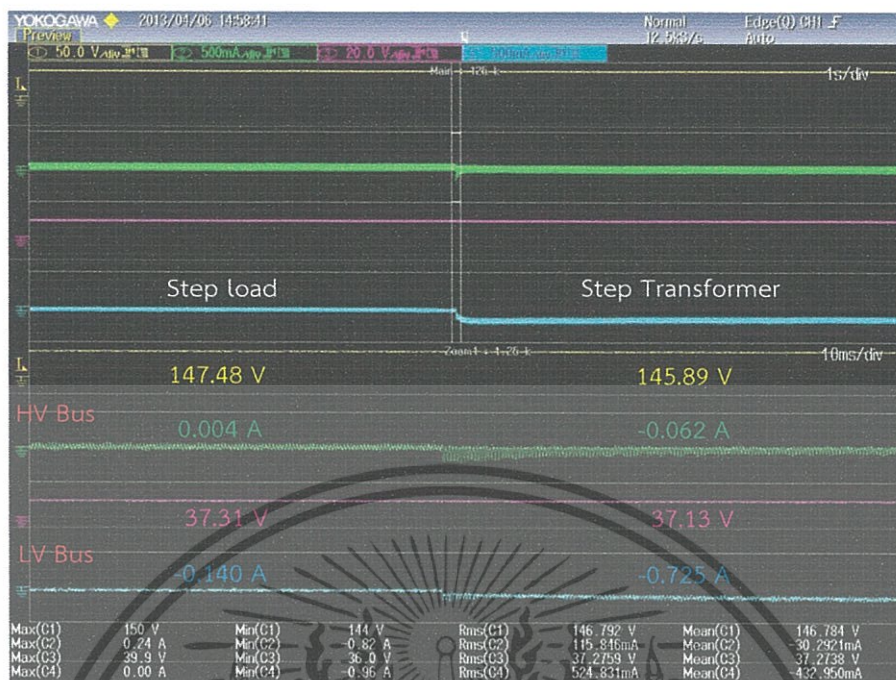
ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่ออยู่กับภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า ที่ซึ่งจะให้ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานอยู่ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างดรูปที่ 6.28 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.29 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.30 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.31 จะเห็นว่าในขั้นตอนที่ 1 (No load) จะมีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปให้กับบัสแรงดันต่ำ เมื่อทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าทั้งสองบัสเข้ามา จะเห็นว่าทั้งสองบัสแรงดันไฟฟ้าจะถ่ายโอนพลังงานไปให้กับภาระไฟฟ้าทั้งสองบัสและทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงก็จะมีถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ไปให้กับภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่



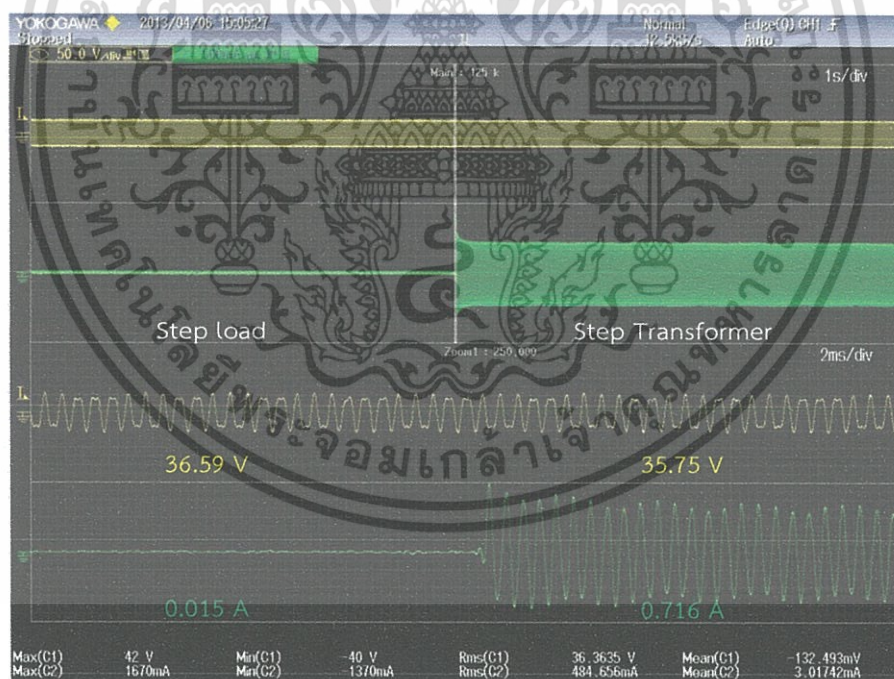
รูปที่ 6.28 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

รูปที่ 6.29 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.30 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2



รูปที่ 6.31 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

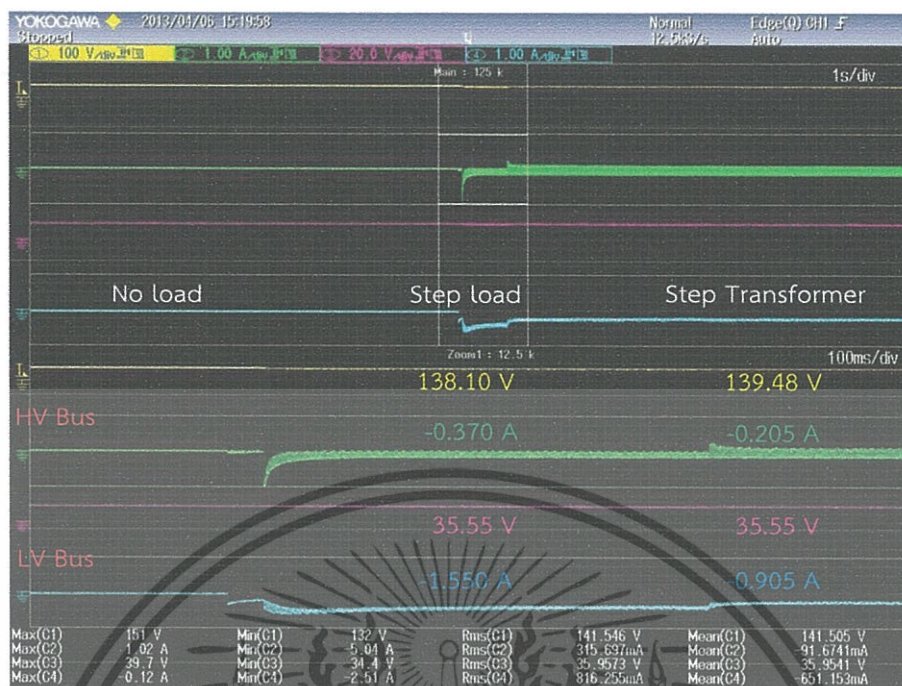
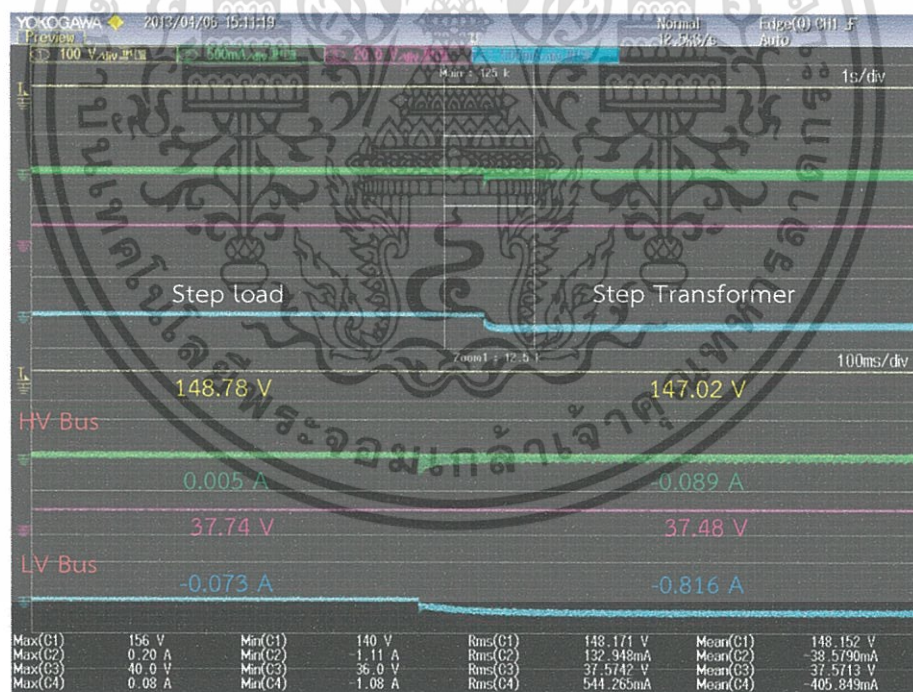
6.7.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าหลายภาระไฟฟ้าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าขณะเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่หลากหลายแรงดันไฟฟ้า ที่ซึ่งจะให้ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานอยู่ในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างดรูปที่ 6.32 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.33 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.34 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.35 จะเห็นว่าในขั้นตอนที่ 1 (Normal Condition) จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าตามรูปแบบของการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่หลากหลายจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดเพื่อถ่ายโอนพลังงานและรักษาแรงดันให้มีความคงที่กับภาระไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ไปยังชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1



รูปที่ 6.32 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

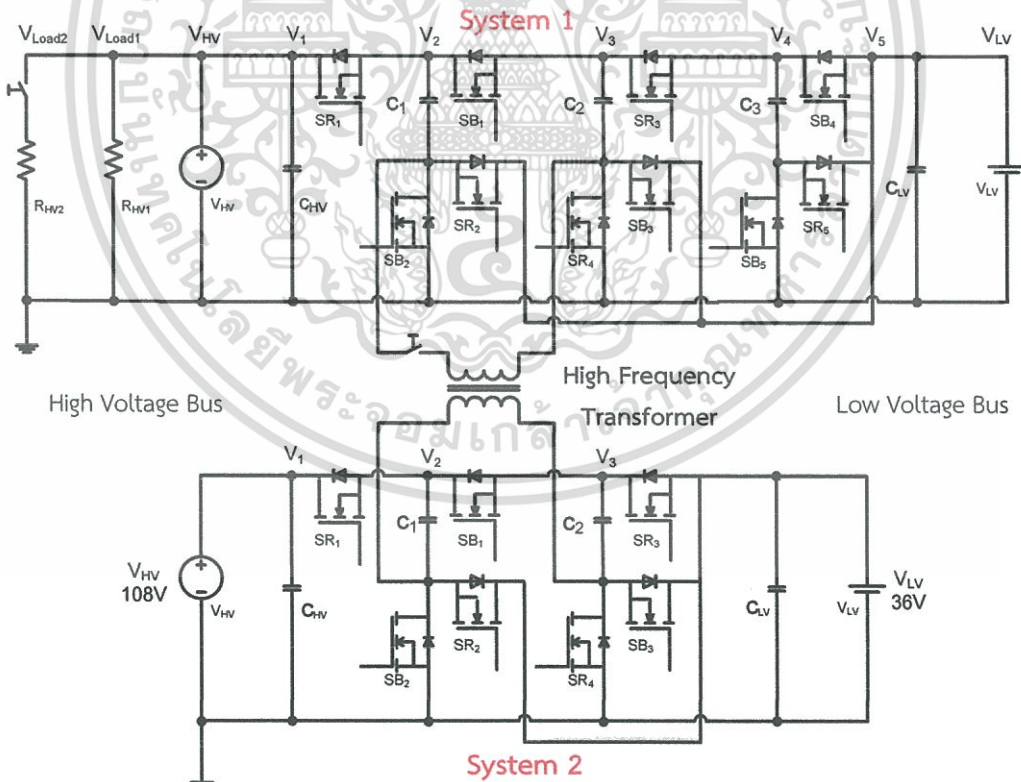
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.33 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1รูปที่ 6.34 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.35 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 6.36 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันขณะเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

6.8.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นรูปแบบของการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการนำไปใช้งานจริง

6.8.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันและเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงดังรูปที่ 6.36 ซึ่งวิธีการทดสอบจะเหมือนกับหัวข้อ 6.4 จะเริ่มจากการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ที่ทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีขนาดสูงขึ้น และทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากัน

6.8.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

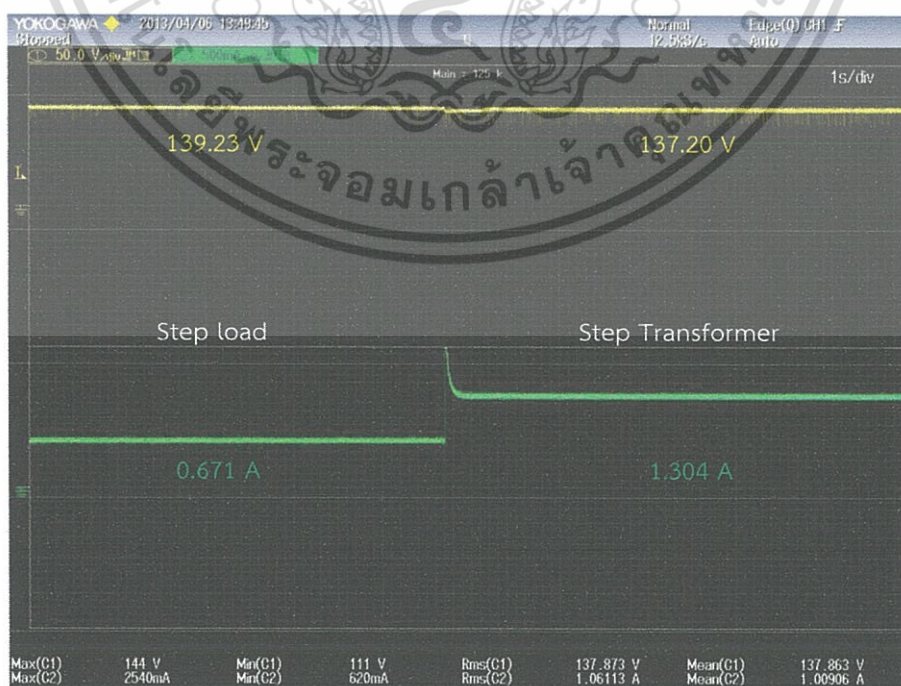
- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่ไม่เท่ากันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

6.8.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากัน

การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงที่ 2 ชุดวงจรที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากันตามขั้นตอนการทดสอบนั้น ที่ซึ่งเป็นการทดสอบในขณะที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบโหลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้านั้น จะส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในชุดวงจร M^2C^3 ในสถานะไดนามิก

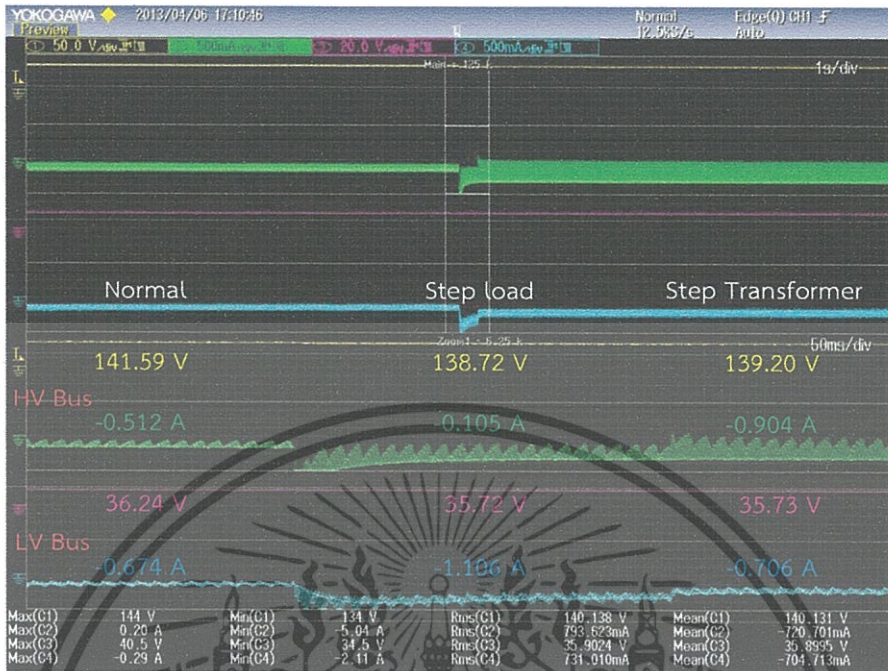
6.8.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบโหลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบโหลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างดรูปที่ 6.37 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.38 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.39 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มือแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.40 จะเห็นว่าในขณะที่มีภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในขั้นตอนที่ 1 นั้นจะทำให้เกิดการช่วยกันถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากทั้งสองบัสแรงดัน เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าให้กับบัสแรงดันสูงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงมีค่าลดลงใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าของบัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผันทำให้กระแสไฟฟ้าที่ถ่ายโอนให้กับภาระไฟฟ้าจะมาจากบัสแรงดันต่ำและเมื่อทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าและลดการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำอีกด้วย

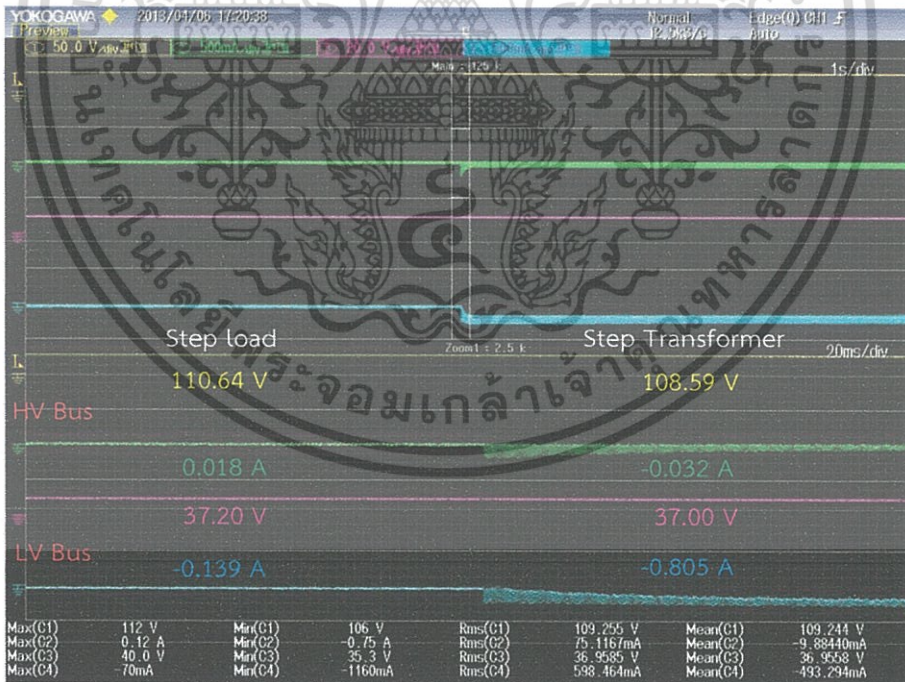


รูปที่ 6.37 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

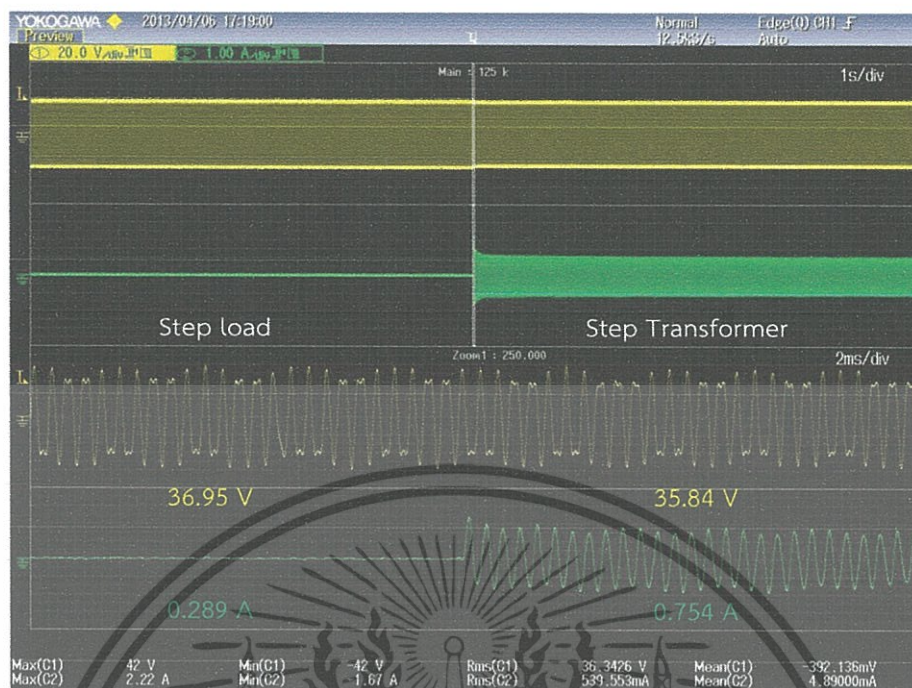


รูปที่ 6.38 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชูดวงจร M²C³ ที่ 1



รูปที่ 6.39 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชูดวงจร M²C³ ที่ 2

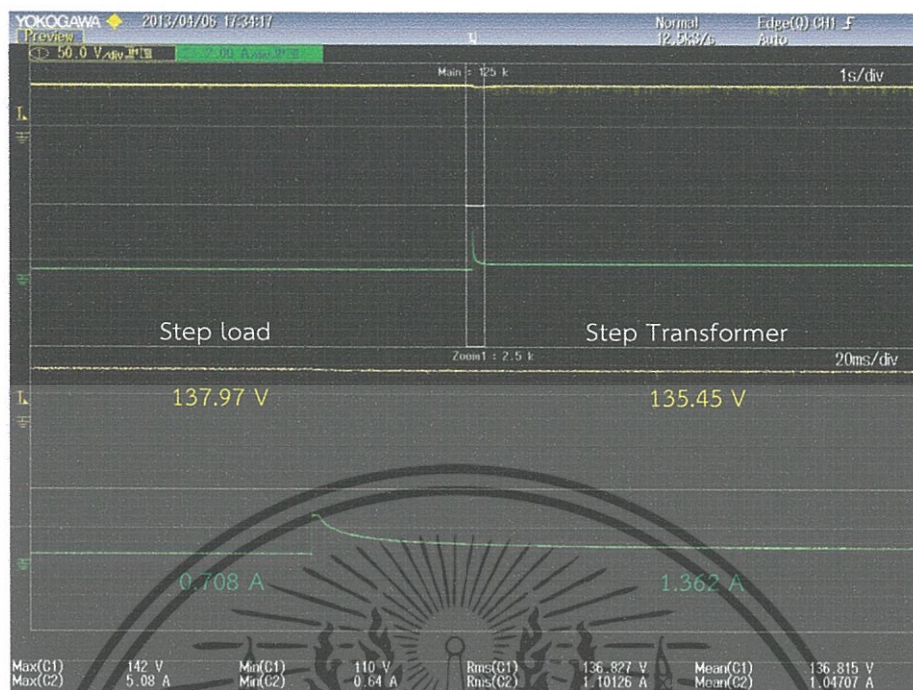
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



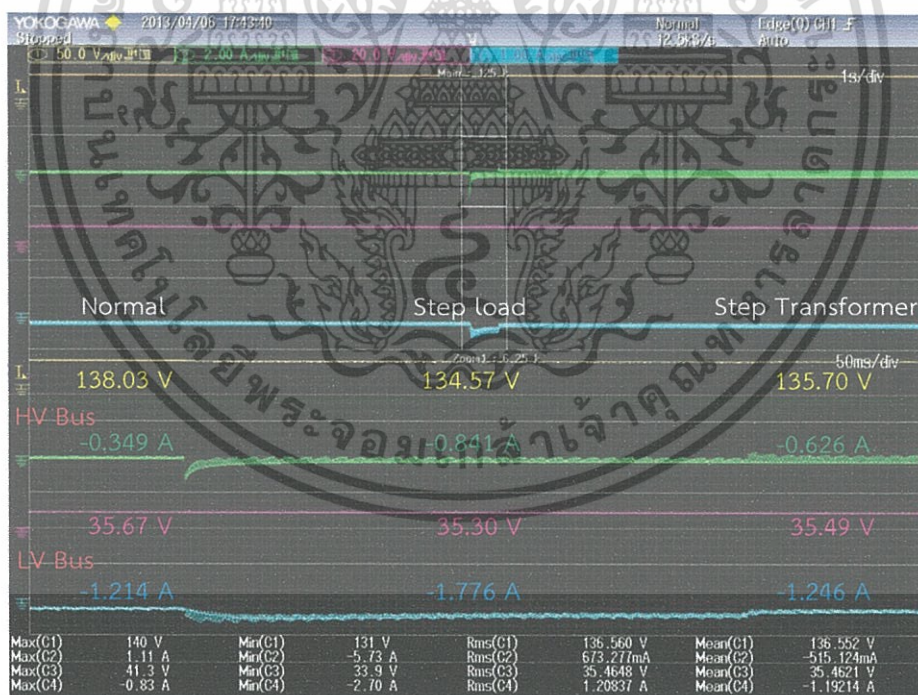
รูปที่ 6.40 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

6.8.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

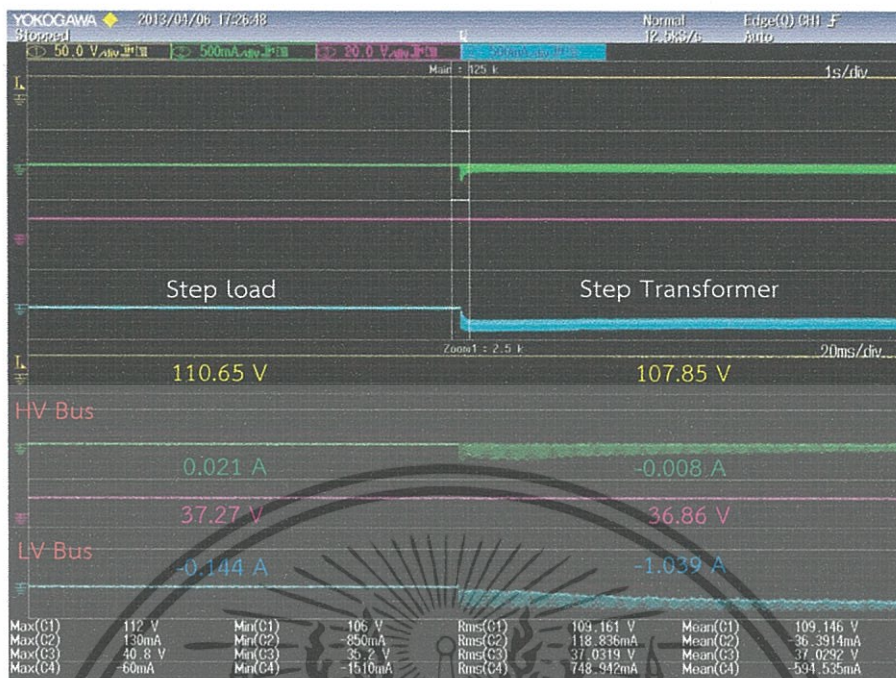
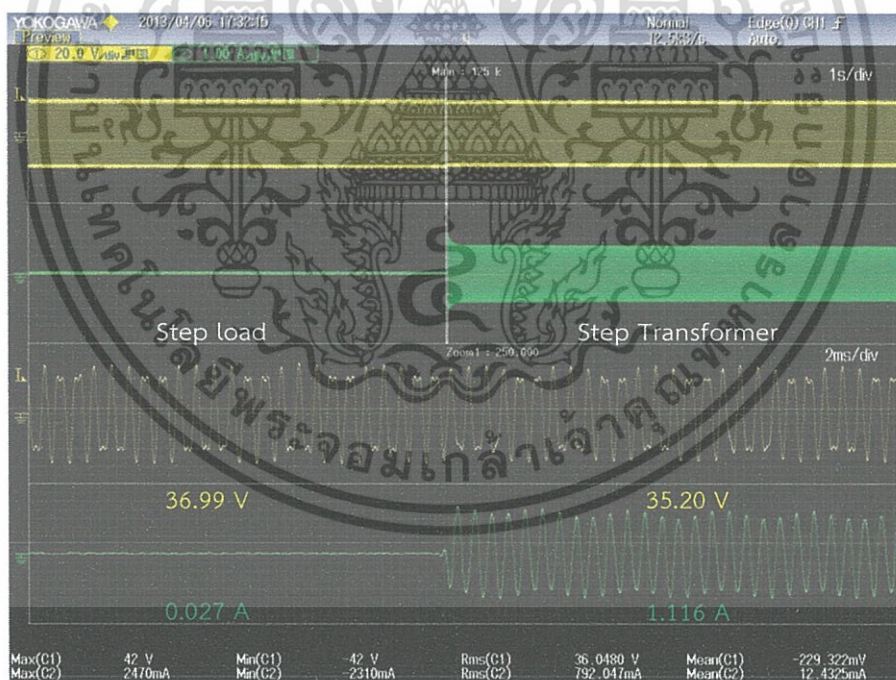
ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างดรูปที่ 6.41 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.42 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.43 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.44 จะเห็นว่าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้านี้บัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะมีการถ่ายโอนพลังงานมากกว่าปกติทั้งที่มีภาระไฟฟ้าปกติและมีการเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้ามา ซึ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะทำให้ลดการทำงานของบัสแรงดันต่ำลงเนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2



รูปที่ 6.41 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

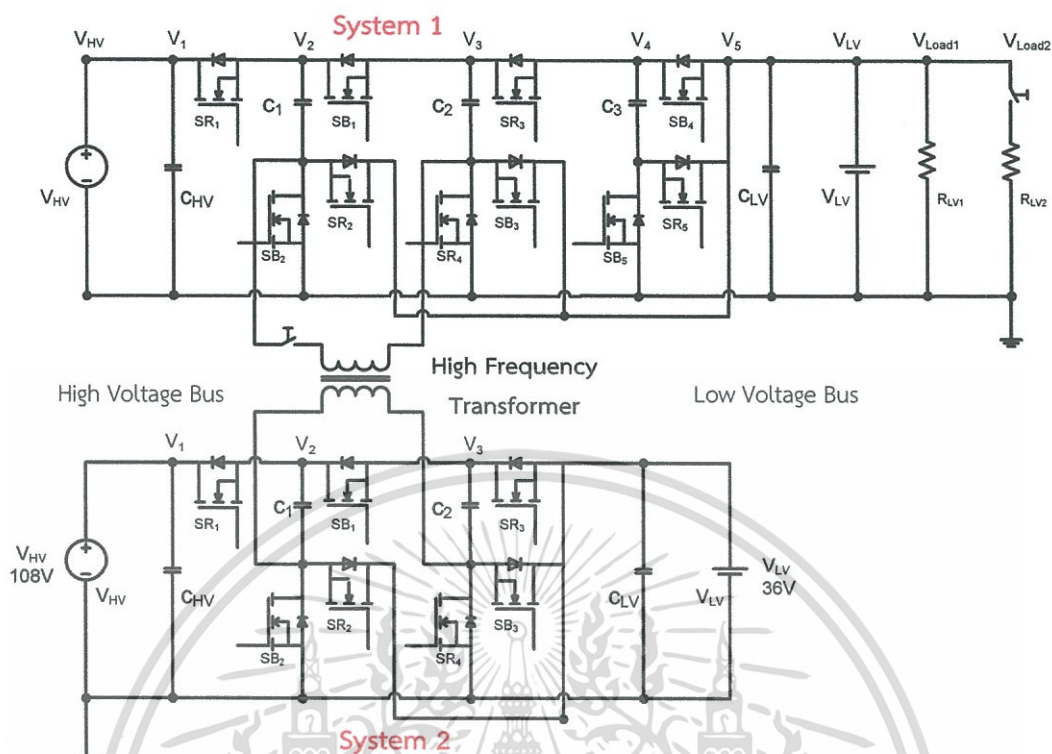
รูปที่ 6.42 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.43 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดวจร M^2C^3 ที่ 2

รูปที่ 6.44 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.45 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันขณะเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

6.9 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

6.9.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลมีจำนวนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นรูปแบบของการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการนำไปใช้งานจริง

6.9.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันและเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำดังรูปที่ 6.45 ซึ่งวิธีการทดสอบจะเหมือนกับหัวข้อ 6.5 จะเริ่มจากการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ที่ทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีขนาดสูงขึ้น และทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.9.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อับสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อับสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลที่ไม่เท่ากันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

6.9.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

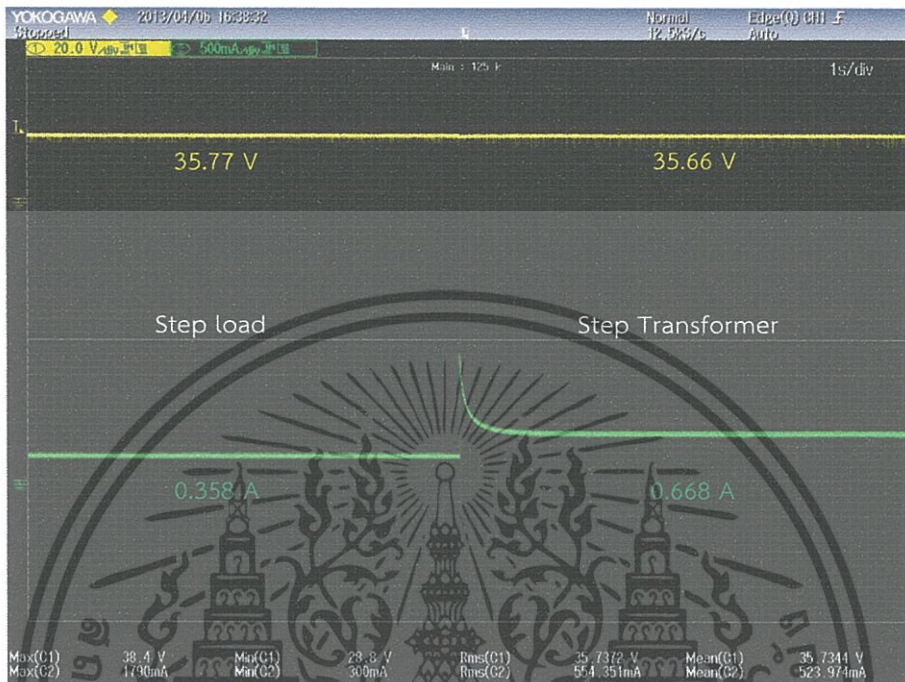
การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำที่ 2 ชุดวงจรมีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ไม่เท่ากันตามขั้นตอนการทดสอบนั้น ที่ซึ่งเป็นการทดสอบในขณะที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้านั้น จะส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในชุดวงจร M^2C^3 ในสภาวะไดนามิก

6.9.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

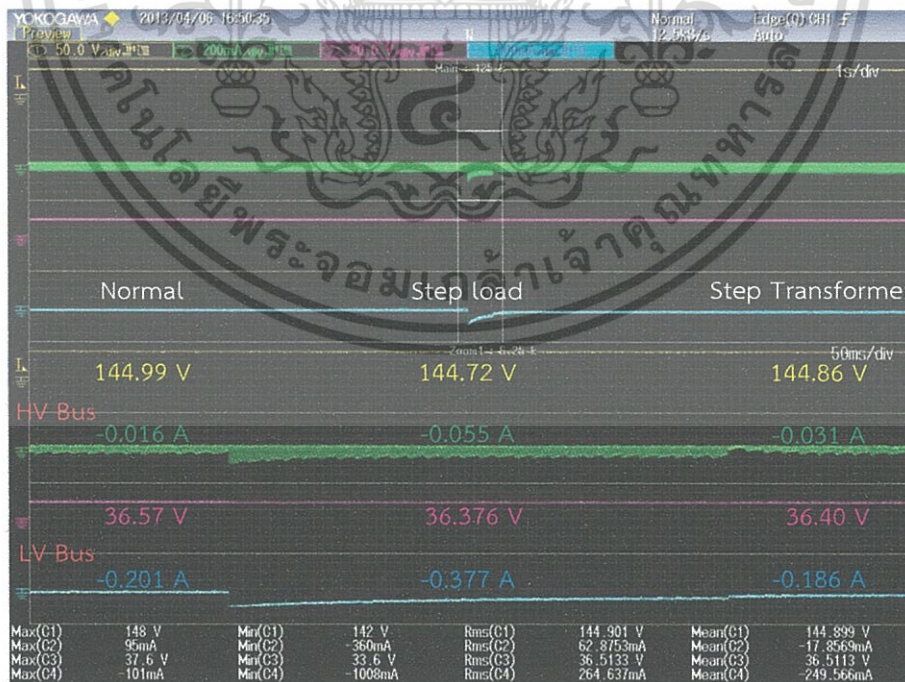
ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างดรูปที่ 6.46 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.47 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.48 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.49 จะเห็นว่าในขณะที่มีภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงในขั้นตอนที่ 1 นั้นจะทำให้เกิดการช่วยกันถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากทั้งสองบัสแรงดัน เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าให้กับบัสแรงดันสูงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงมีค่าลดลงใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าของบัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผันทำให้กระแสไฟฟ้าที่ถ่ายโอนให้กับภาระไฟฟ้าจะมาจากบัส

แรงดันต่ำและเมื่อทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M²C³ ที่ 1 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าและลดการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำอีกด้วย

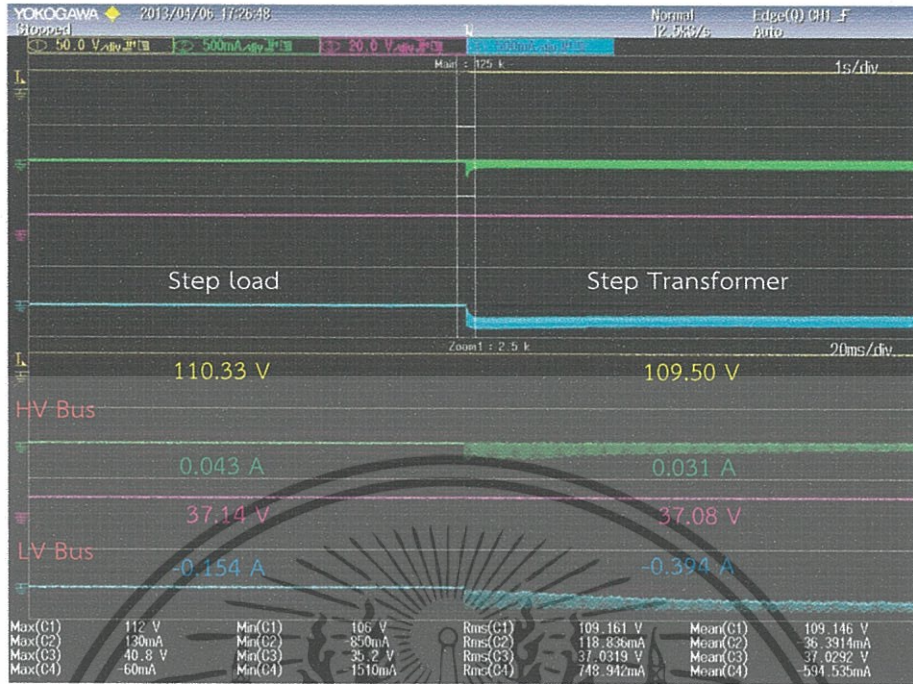


รูปที่ 6.46 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

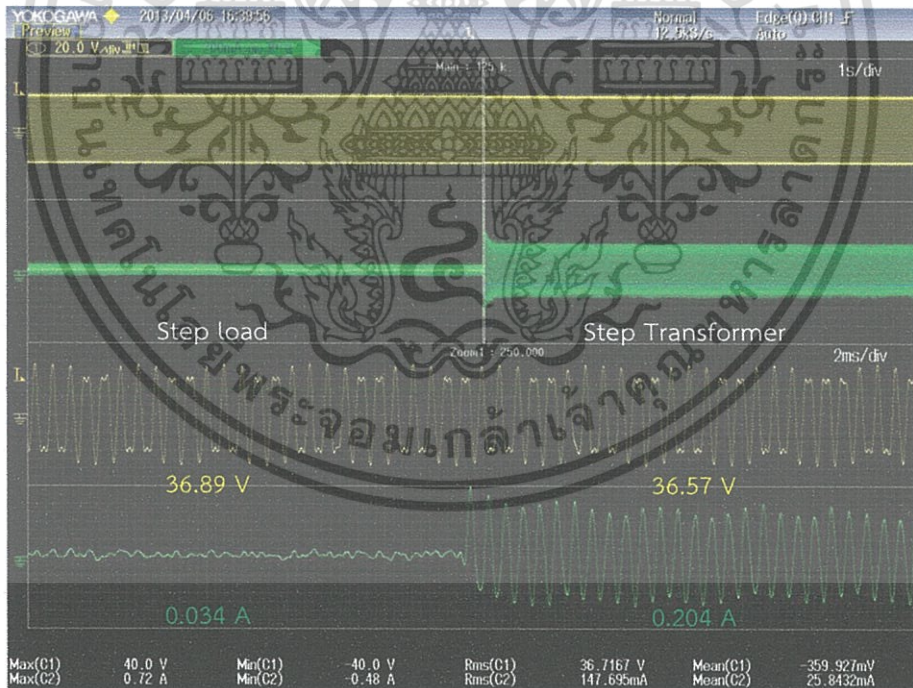


รูปที่ 6.47 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชดวจร M²C³ ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.48 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 2



รูปที่ 6.49 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

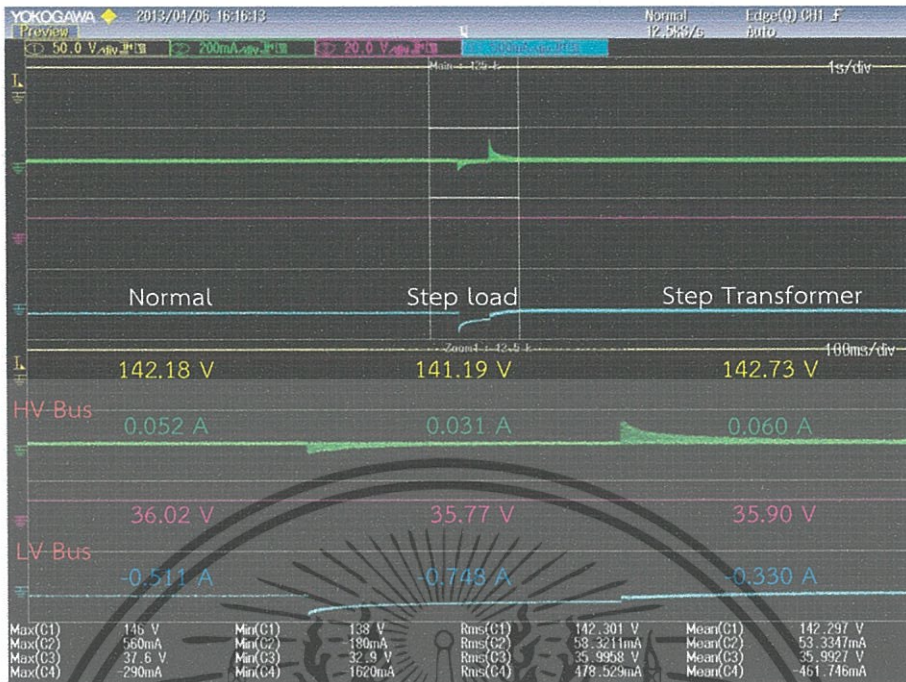
6.9.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้างรูปที่ 6.50 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.51 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.52 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.53 จะเห็นว่าชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าขณะที่ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าในขั้นตอนที่ 1 จะเห็นว่าบัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำตัวเป็นภาระไฟฟ้าในวงจร เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของบัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำตามอัตราส่วนการแปลงผัน ซึ่งดูได้จากกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเป็นบวกในทุกขั้นตอนการทำงานเสมือนบัสแรงดันสูงเป็นภาระไฟฟ้าอีกจุดหนึ่ง

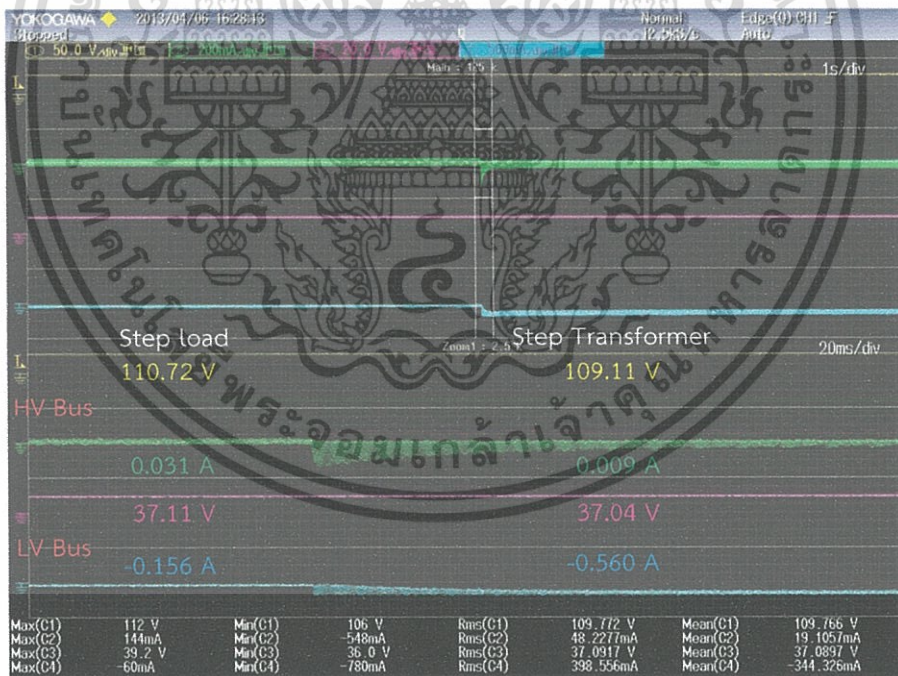


รูปที่ 6.50 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

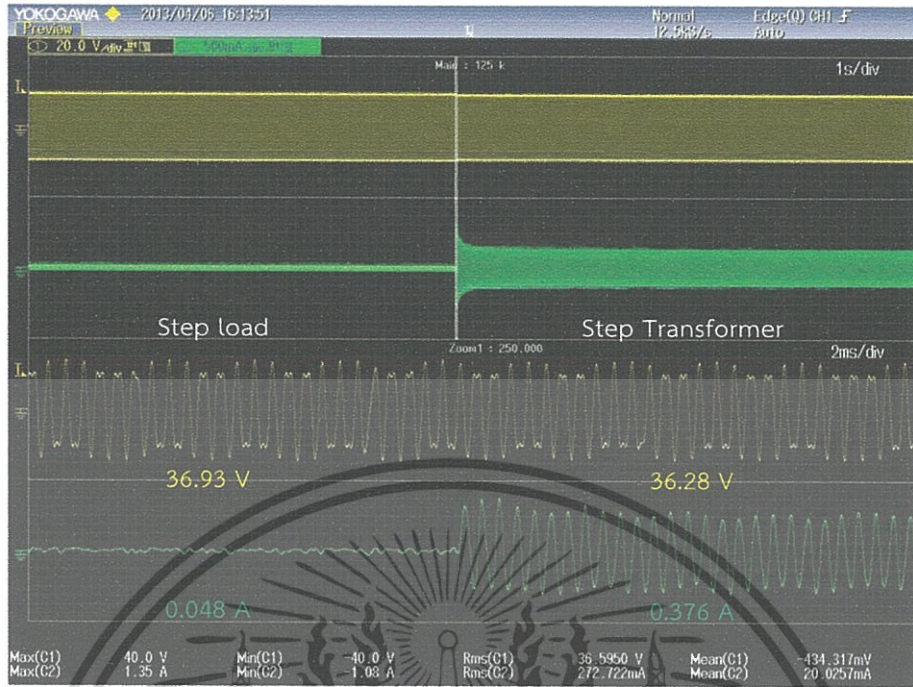


รูปที่ 6.51 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 1

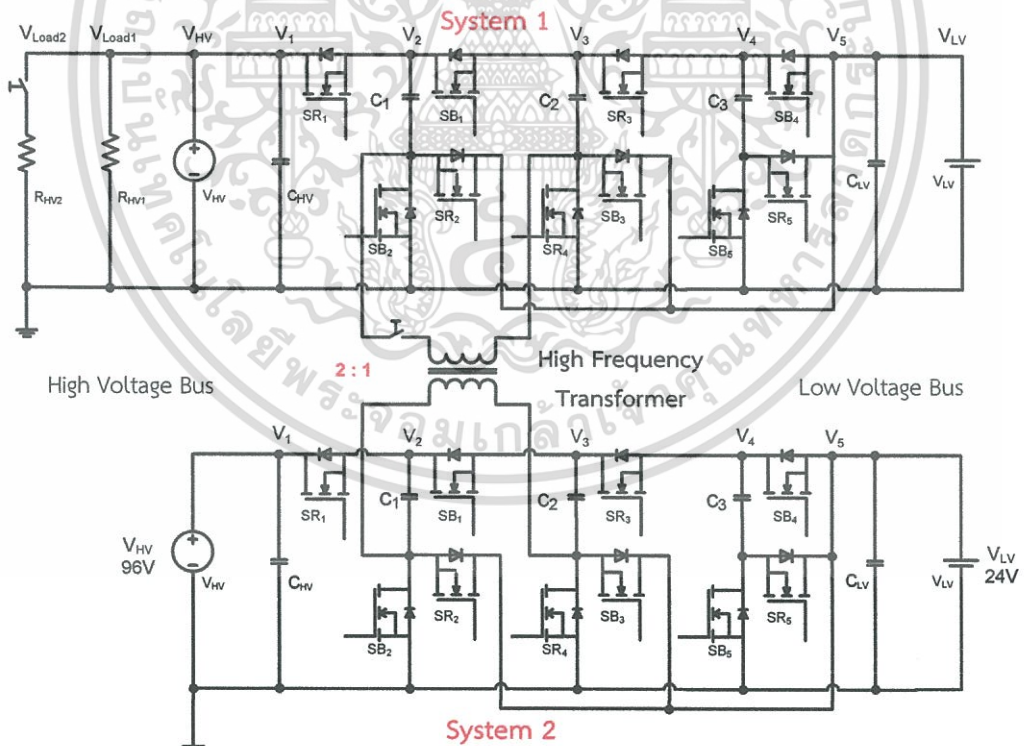


รูปที่ 6.52 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.53 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 6.54 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดเมนทางไฟฟ้าที่อัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากันขณะที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.10 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันขณะที่มีภาระไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันสูง

6.10.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้มีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการนำไปใช้งานจริง

6.10.2 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงดังรูปที่ 6.54 จะมีวิธีการทดสอบเหมือนกับหัวข้อ 6.4 จะเริ่มจากการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ที่ทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีขนาดสูงขึ้น และทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีอัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากัน

6.10.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

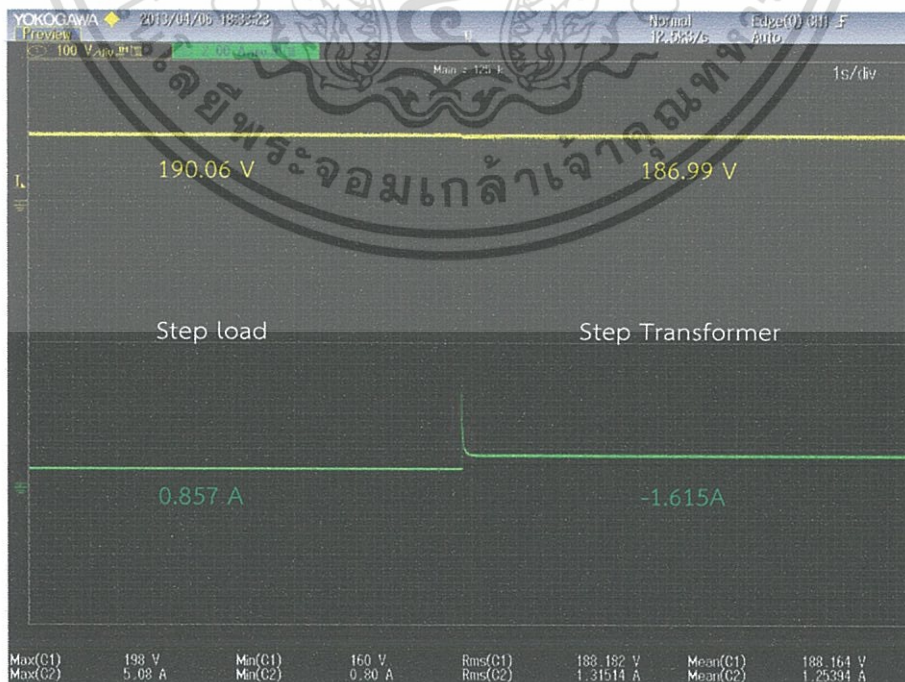
- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีอัตราส่วนหม้อแปลงที่ไม่เท่ากันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

6.10.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงตามขั้นตอนการทดสอบนั้น ที่ซึ่งเป็นการทดสอบในขณะที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในชุดวงจร M^2C^3 ทั้งสองรูปแบบในสภาวะไดนามิก

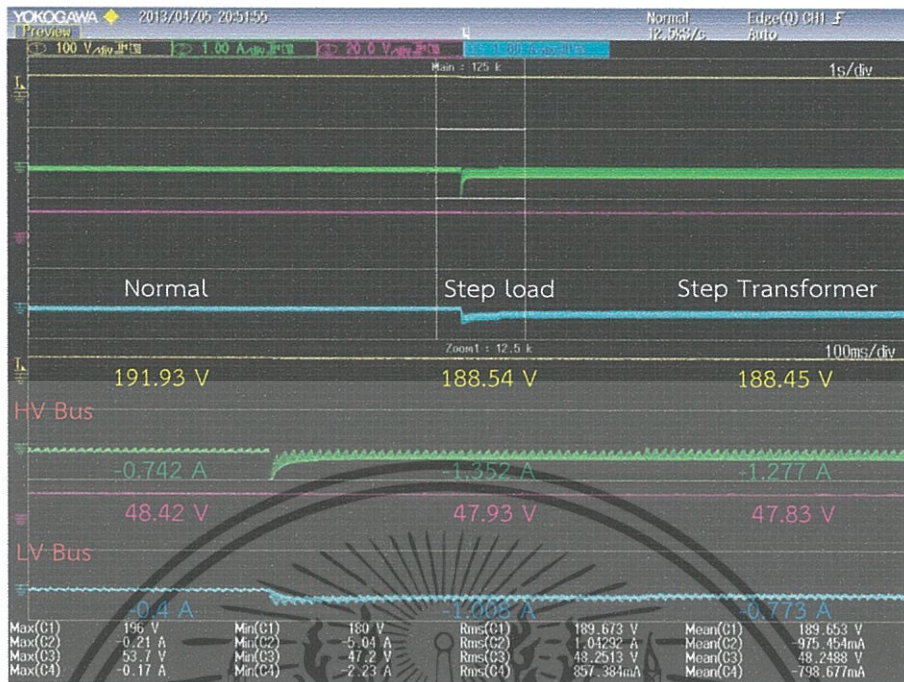
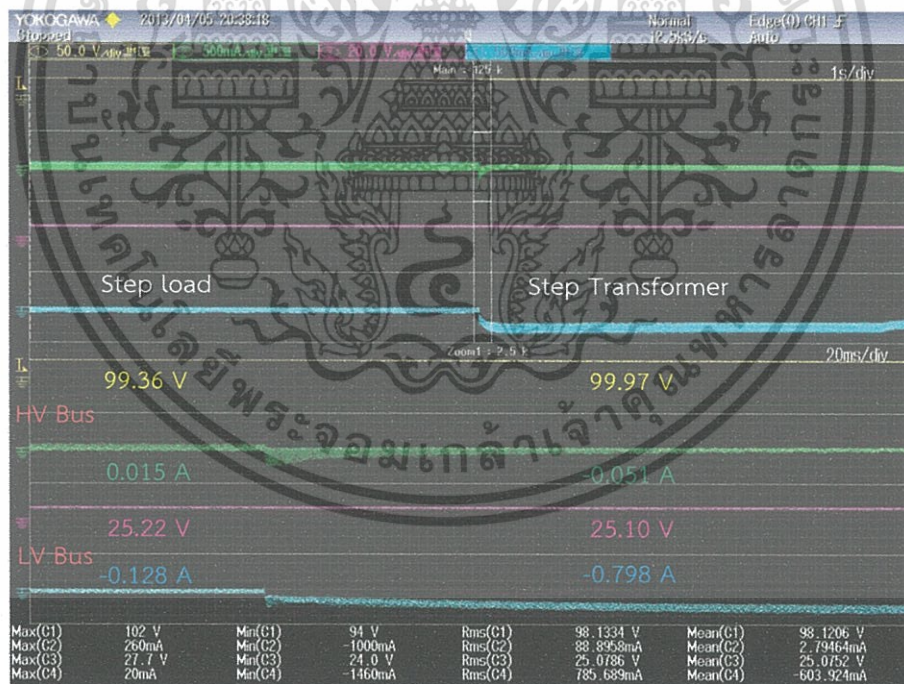
6.10.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าบัสแรงดันสูงดังรูปที่ 6.55 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.56 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.57 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.58 จะเห็นว่าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้านั้นภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงจะรับพลังงานจากบัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำ ซึ่งดูได้จากรูปต่างๆของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าติดลบทั้งหมด แสดงว่ามีการถ่ายโอนพลังงานออกจากบัสแรงดัน และเมื่อทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูง กระแสไฟฟ้าของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จะมีขนาดที่ลดลงและหม้อแปลงความถี่สูงจะมีกระแสไฟฟ้าที่สูงมากขึ้น แสดงว่ามีการถ่ายโอนพลังงานจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 มาช่วยถ่ายโอนให้กับภาระไฟฟ้าให้มีความคงที่ต่อเนื่อง

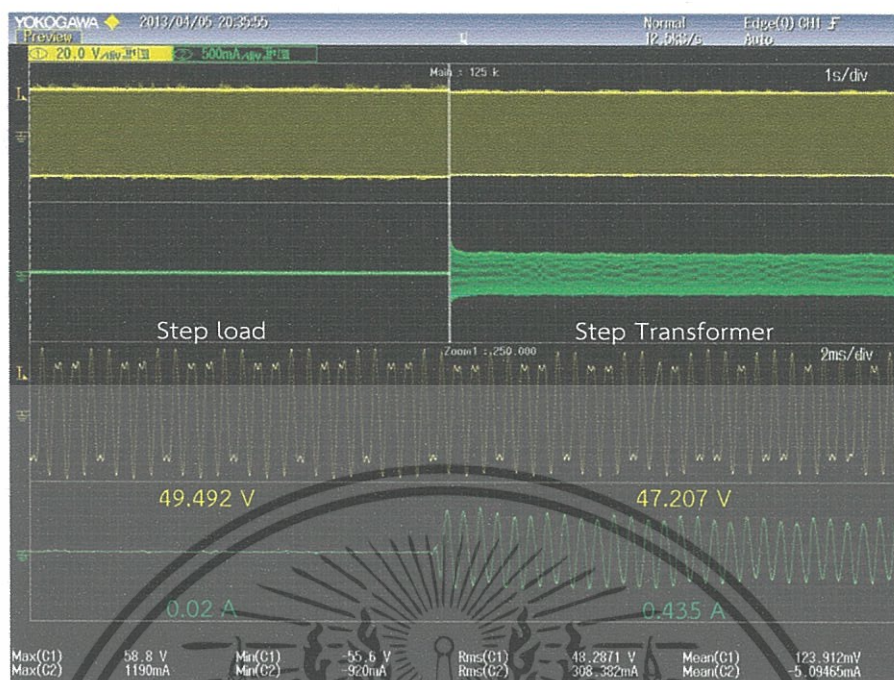


รูปที่ 6.55 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.56 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1รูปที่ 6.57 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2

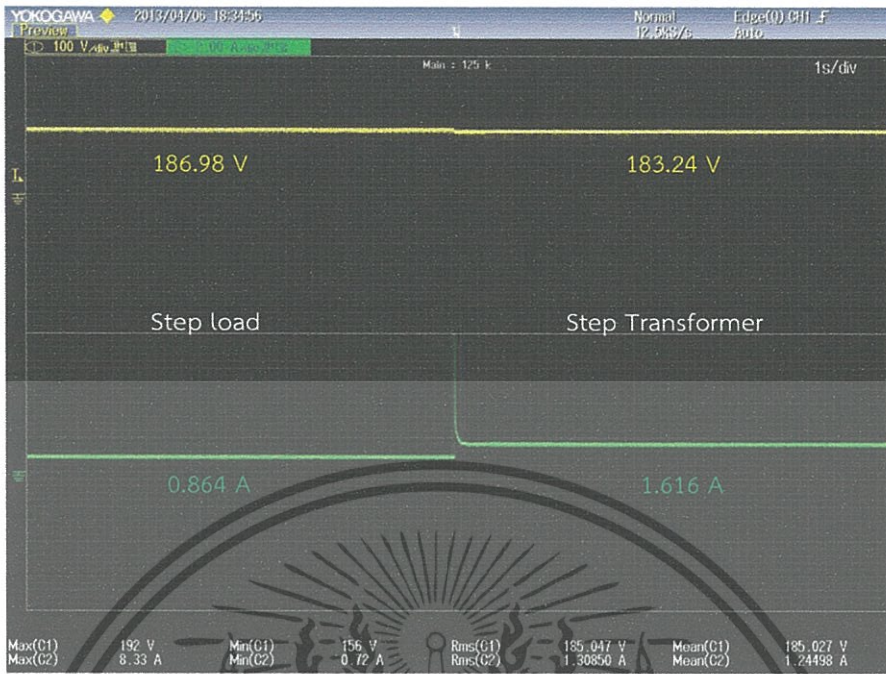
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



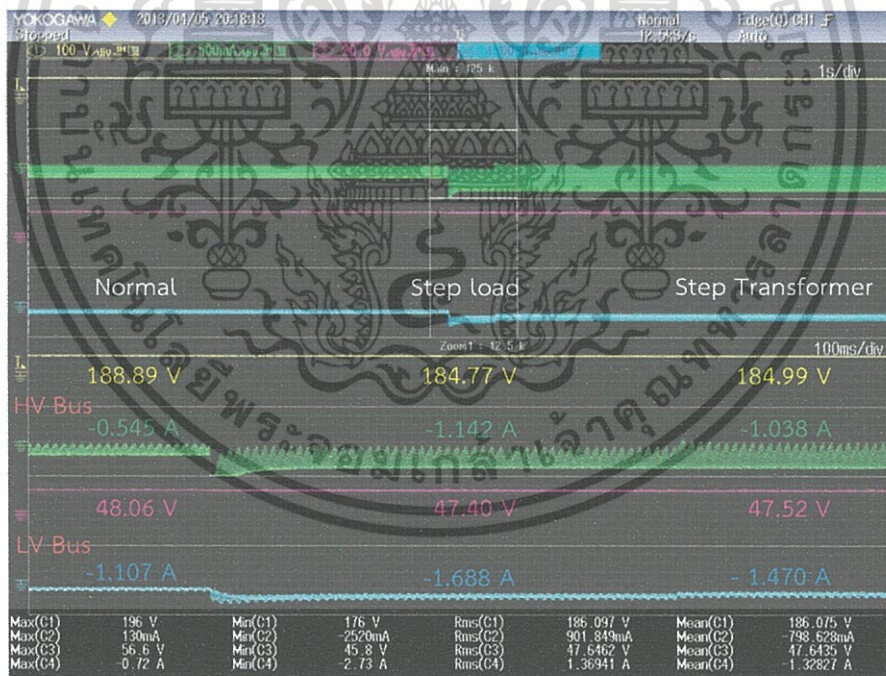
รูปที่ 6.58 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

6.10.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.59 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.60 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.61 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.62 จะเห็นว่าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในขั้นตอนที่ 1 จะมีกระแสไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำสูงกว่าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงก็จะทำให้มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำๆเพิ่มสูงขึ้น และทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะสามารถลดการถ่ายโอนพลังงานจากชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ซึ่งกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันจะมีขนาดลดลง

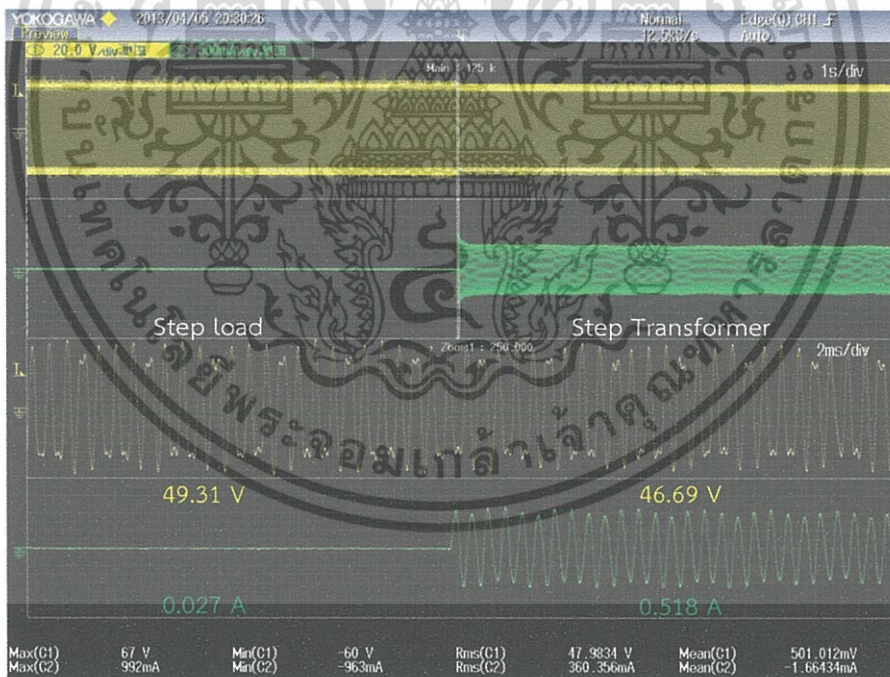


รูปที่ 6.59 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า



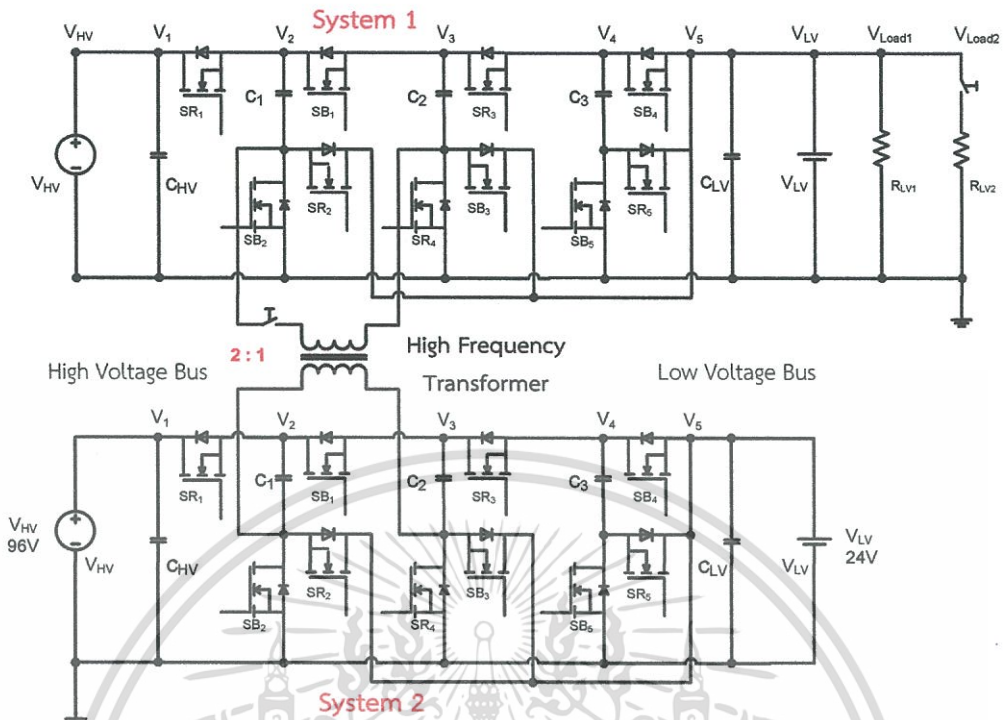
รูปที่ 6.60 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.61 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 2

รูปที่ 6.62 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.63 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าที่อัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากันขณะเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำ

6.11 การทดสอบวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันขณะที่มีการะไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับบัสแรงดันต่ำ

6.11.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการนำวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้มีความหลากหลายของแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการนำไปใช้งานจริง

6.11.2 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าในขณะที่อัตราส่วนไม่เท่ากันที่เชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำดังรูปที่ 6.63 จะมีวิธีการทดสอบเหมือนกับหัวข้อ 6.5 จะเริ่มจากการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำให้กับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ที่ทำงานอยู่ในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีขนาดสูงขึ้น และทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีอัตราส่วนหม้อแปลงไม่เท่ากัน

6.11.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับสัญญาณ พร้อมทั้งวัดสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งต้องมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน
- ทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันสูงในแต่ละชุดวงจร M^2C^3 ที่มีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผันของวงจร M^2C^3
- ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของหม้อแปลงความถี่สูงทั้งสองฝั่ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงกับขั้วลบบของตัวเก็บประจุของชุดวงจรที่ 1 ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างสองชุดวงจร
- ทำการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำที่มีขนาด 200 W และเพิ่มภาระไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 400 W แล้วจึงทำการเชื่อมต่อชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ที่มีอัตราส่วนหม้อแปลงที่ไม่เท่ากันผ่านหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละบัสแรงดันในทุกขั้นตอน

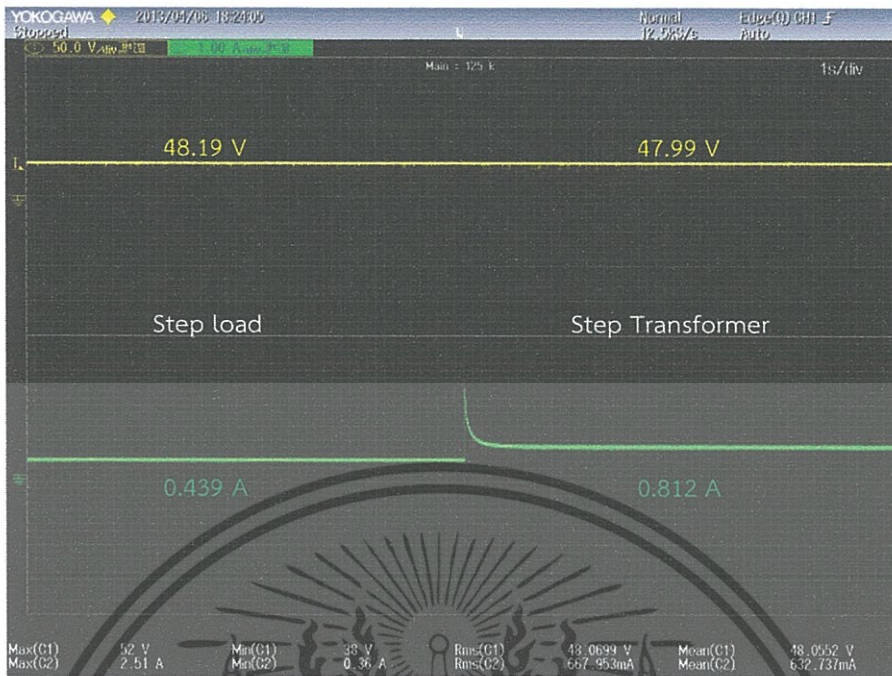
6.11.4 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำตามขั้นตอนการทดสอบนั้น ที่ซึ่งเป็นการทดสอบในขณะที่บัสแรงดันสูงของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 มีการทำงานในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในชุดวงจร M^2C^3 ทั้งสองรูปแบบในสภาวะไดนามิก

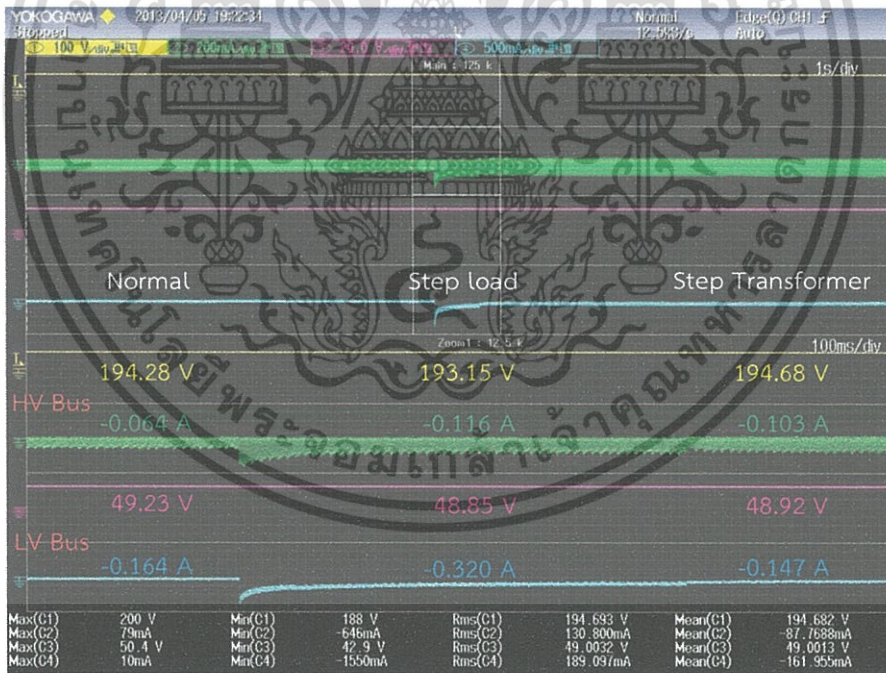
6.11.5 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าบัสแรงดันต่ำดังรูปที่ 6.64 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.65 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.66 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.67 จะเห็นว่าในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้านั้นบัสแรงดันต่ำจะมีการถ่ายโอนพลังงานที่น้อยกว่ารูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันสูงไปยังบัสแรงดันต่ำ ซึ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า แต่ในขณะที่ทำการทดสอบแรงดันที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 จึงมีการถ่าย

โอนพลังงานที่น้อยมากสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

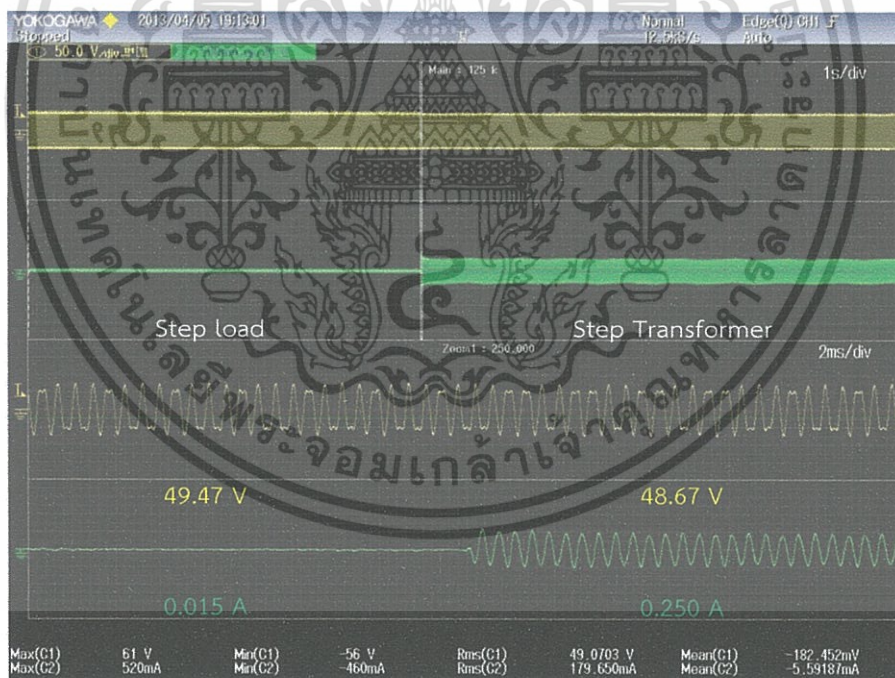


รูปที่ 6.64 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า



รูปที่ 6.65 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

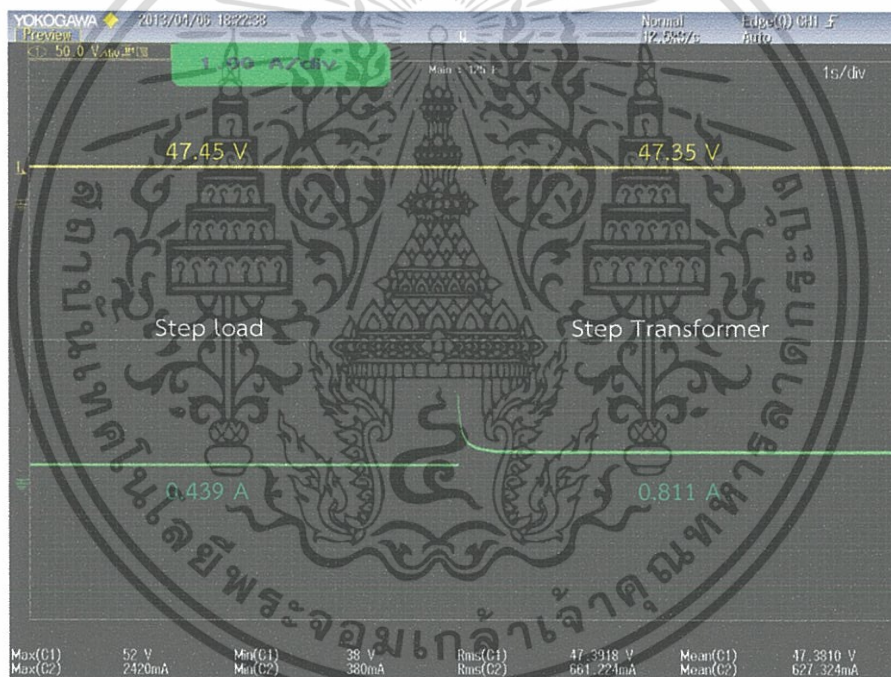
รูปที่ 6.66 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2

รูปที่ 6.67 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

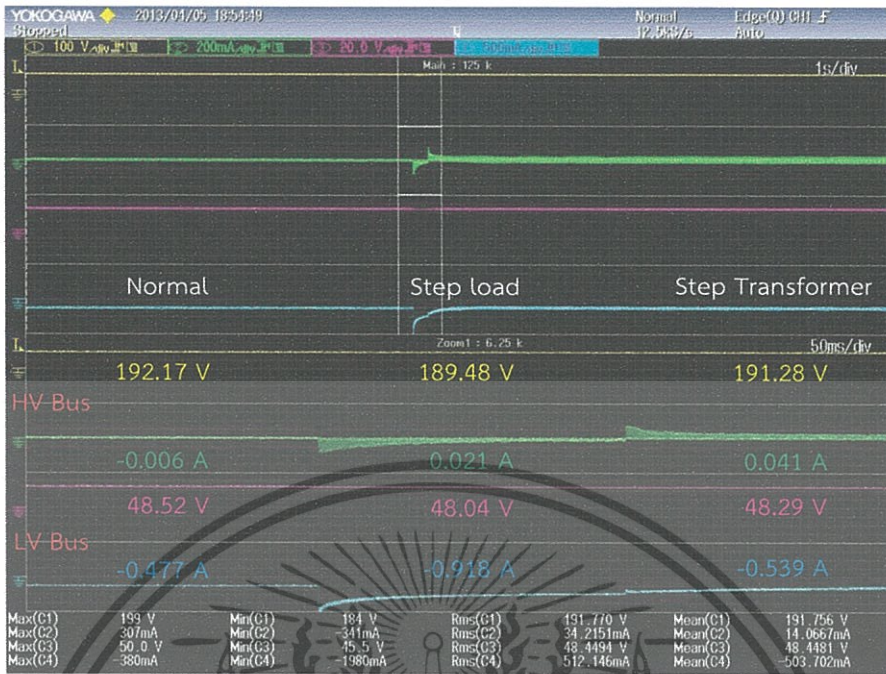
6.11.6 ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่อัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูงไม่เท่ากันในขณะที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบวงจร M^2C^3 ที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า จะได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าแรงดันสูงดังรูปที่ 6.68 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ดังรูปที่ 6.69 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 2 ดังรูปที่ 6.70 และแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูงดังรูปที่ 6.71 จะเห็นว่าในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้านั้น ภาระไฟฟ้าที่บัสแรงดันต่ำจะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากบัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 เท่านั้น ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากบัสแรงดันต่ำมากขึ้นและเมื่อทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูงจึงทำให้ลดการถ่ายโอนพลังงานที่บัสแรงดันต่ำของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1

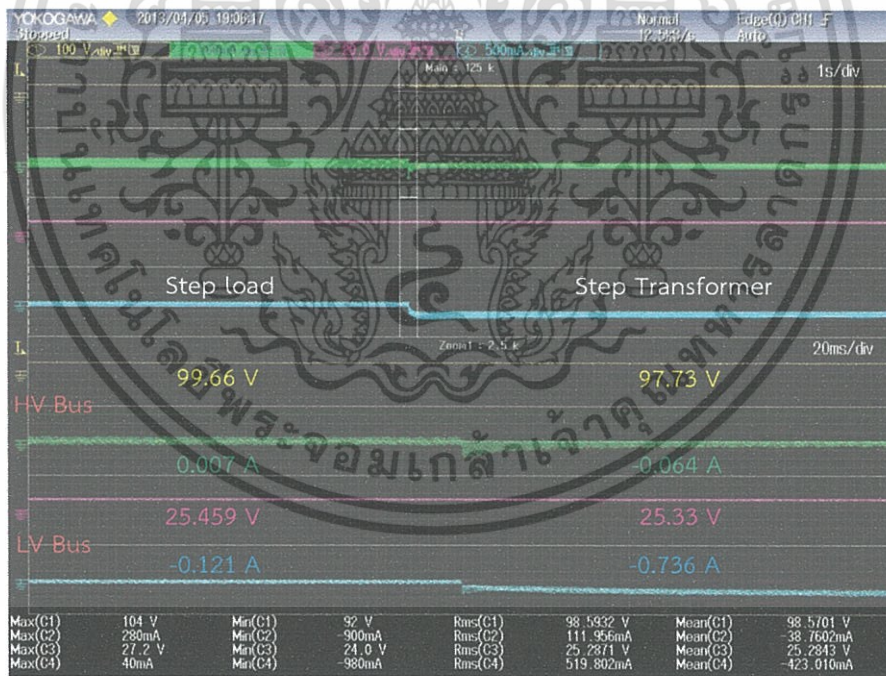


รูปที่ 6.68 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.69 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 1



รูปที่ 6.70 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ชุดวงจร M²C³ ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



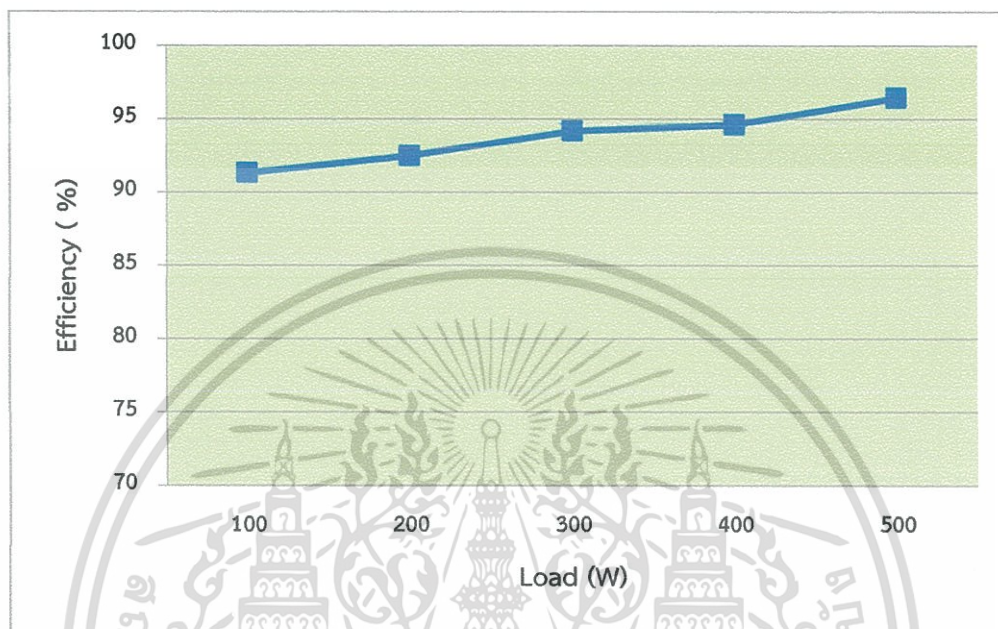
รูปที่ 6.71 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงความถี่สูง

6.12 สรุป

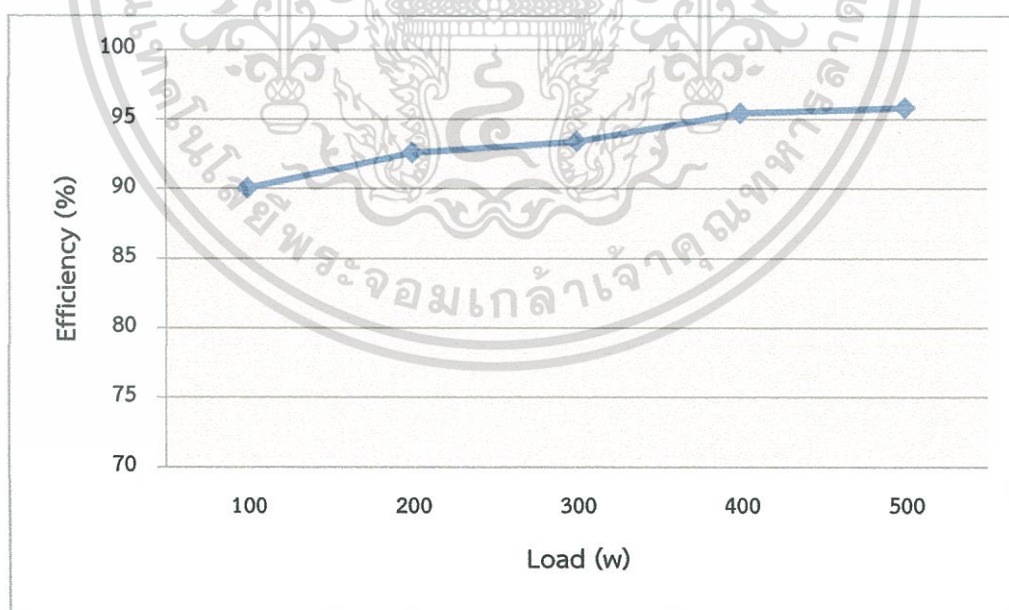
การทดสอบเครื่องต้นแบบชุดวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็กนั้นจะทำการทดสอบทั้งที่เป็นระบบแบบปกติและการนำชุดวงจร M^2C^3 ไปประยุกต์ อาทิเช่น จำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันและอัตราส่วนของหม้อแปลงความถี่สูงที่ไม่เท่ากันเพื่อเพิ่มความหลากหลายต่อการนำเชื่อมต่อการไฟฟ้าที่มีหลากหลายแรงดันไฟฟ้า โดยที่ในแต่ละรูปแบบจะแบ่งการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ออกเป็น 2 รูปแบบคือ การทำงานในรูปแบบลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานของบัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำที่แตกต่างกัน ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการเชื่อมต่อการไฟฟ้าในแต่ละบัสแล้วจึงทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้ามา หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในทุกบัสแรงดันไฟฟ้าเพื่อรักษากำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าให้มีความคงที่ต่อเนื่อง อีกทั้งยังทำการทดสอบวงจร M^2C^3 ด้วยการเชื่อมต่อการไฟฟ้าทั้งสองบัสของชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 และทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 อย่างทันทีทันใด ซึ่งจะเห็นว่า การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าภายในชุดวงจร M^2C^3 นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ทันทีตามหลักการของการสมดุลพลังงานไฟฟ้า

เมื่อนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะชุดวงจร M^2C^3 มีการแยกโดดทางไฟฟ้าและชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ทำงานในรูปแบบต่างๆ มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพจะเห็นว่า ประสิทธิภาพการทำงานในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น แบบปกติ ชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลไม่เท่ากันและอัตราส่วนของหม้อแปลงไม่เท่ากันนั้น จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันในขณะที่เชื่อมต่อการไฟฟ้าที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยที่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 91-97% ดังรูปที่ 6.72 รูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 90-96% ดังรูปที่ 6.73 และประสิทธิภาพของหม้อแปลงความถี่สูงจะเท่ากับ 84.31%



รูปที่ 6.72 ประสิทธิภาพในรูปแบบลดระดับแรงดัน



รูปที่ 6.73 ประสิทธิภาพในรูปแบบเพิ่มระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาวะไฟฟ้า วงจร M^2C^3 ใช้หลักการของการสมดุลพลังงานไฟฟ้าและการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุจากการทำงานของสวิตช์กำลังส่งผลให้เกิดการอนุกรมและขนานกันของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลทำให้วงจรนี้สามารถเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามอัตราส่วนการแปลงผัน อีกทั้งตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลจะมีแรงดันไฟฟ้าที่หลากหลายระดับแรงดัน ที่ซึ่งทำให้วงจรนี้ทำงานเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกกระดับแรงดันไฟฟ้าได้ (Tap-Changed DC Transformer)

วงจร M^2C^3 ยังสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยการเชื่อมต่อที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุในแต่ละชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูล ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้มาเชื่อมต่อกับหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้วงจรสามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างกัน ส่งผลให้วงจร M^2C^3 สามารถทำงานเป็นแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้า (Back-up system) ทำให้วงจรมีข้อเด่นในเรื่องของเสถียรภาพเนื่องจากถ้ามีชุดวงจรใดเกิดความผิดปกติ วงจรอีกชุดหนึ่งจะถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูงมาช่วยจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าทำให้แรงดันไฟฟ้ามีความคงที่ และคุณสมบัติของหม้อแปลงยังแยกกราวด์ออกจากกันส่งผลให้ไม่เกิดความเสียหายระหว่างชุดวงจร ซึ่งเมื่อรวมจากข้อเด่นของวงจร M^2C^3 อาทิเช่น สามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าได้สองทิศทาง ควบคุมการทำงานง่าย และสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าได้หลากหลายระดับ จึงทำให้วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้ามีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

การจำลองและทดสอบของวงจร M^2C^3 นั้นจะจำลองรูปแบบของสภาวะไดนามิก (Dynamic State) ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าและหม้อแปลงความถี่สูงตามลำดับ เพื่อศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่บัสแรงดันต่างๆรวมไปถึงที่หม้อแปลงความถี่สูง ที่มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากชุดวงจรที่ 2 ไปยังชุดวงจรที่ 1 ตามหลักการสมดุลพลังงานไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงความถี่สูงจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.31% และประสิทธิภาพของชุดวงจร M^2C^3 ในรูปแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 91-97% และรูปแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 90-96%

7.2 ข้อเสนอแนะ

วงจร M^2C^3 จะต้องทำการเชื่อมต่อบัสแรงดันต่ำก่อนเพื่อให้ตัวเก็บประจุมีแรงดันไฟฟ้าตามอัตราส่วนการแปลงผัน ซึ่งในการเชื่อมต่อนั้นจะต้องระวังเรื่องของกระแสพุ่งเกิน (Inrush Current) ในขณะที่ทำการชิ่งโครนัสบัสแรงดันไฟฟ้า และในการบายพาสชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลนั้นจะต้องมีชุดสำรองและอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงชุดคอนเวอร์เตอร์โมดูลให้ถูกต้องเหมาะสม และในการเลือกใช้อุปกรณ์ควรเลือกให้มีขนาดของอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อให้วงจร M^2C^3 มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

ในการทดสอบเครื่องต้นแบบนั้นได้เกิดการรบกวนของสนามแม่เหล็กขึ้น EMI (Electro Magnetic Interference) ที่มาจากการใช้ของวงจร M^2C^3 ในย่านความถี่สูง ซึ่งการทดสอบได้ทำการแก้ปัญหาเบื้องต้นด้วยการเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าพารามิเตอร์แฝงให้น้อยที่สุดและทำการตีเกลียวและลดขนาดของสายตัวนำต่างๆ เพื่อให้ค่า EMI มีขนาดน้อยที่สุดและวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้านั้นจะต้องศึกษาลักษณะกราฟ B-H ของหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อป้องกันการอิ่มตัวของหม้อแปลงความถี่สูง

ซึ่งงานวิจัยนี้ยังสามารถที่จะนำไปต่อยอดวงจรได้โดยให้วงจรสามารถทำการแก้ปัญหาความผิดปกติได้โดยอัตโนมัติ และในการทดสอบวงจร M^2C^3 ควรนำไปใช้กับสถานที่จริงเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานให้เหมือนกับความเป็นจริงมากที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] S. Khomfoi, N. Praisuwana, L.M. Tolbert, "A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources including a Reconfiguration Technique" **IEEE ECCE**, 2010, pp. 3998-4005, Sep. 12-16, 2010.
- [2] R. Lasseter, "Microgrid, "Proc. **IEEE Power Engineering Society Winter Meeting**, 2002, pp. 305-308.
- [3] F. Z. Peng, Y. W. Li, L. M. Tolbert, "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer-Driven Microgrid," **IEEE Power and Energy Society General Meeting**, Alberta, Canada, July 26-30, 2009.
- [4] Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise, Ryohei Uchida, "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution -System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices," **37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, Korea, 2006, pp. 3148-3154.
- [5] D. Salomonson, and A. Sannino, "Low-Voltage DC Distribution System for Comercial Power System with Sensitive Electronic Loads," **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 22, no. 3, July 2007 pp 1620-1627
- [6] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC-DC Converter," **IEEE Transactions on Industry Applications.**, Nov./Dec. 2007. pp. 1628-1638.
- [7] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "5 kW Multilevel DC-DC Converter for Hybrid Electric and Fuel Cell Automotive Applications," **IEEE/IAS.**, Sept. 2007. pp. 628 – 635.

- [8] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC-DC Converter," **IEEE Transactions on Industry Applications.**, vol.43, no.6, Nov.-Dec. 2007. pp. 1628 - 1638.
- [9] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Bi-directional power management and fault tolerant feature in a 5-kW multilevel dc-dc converter with modular architecture," **IET Power Electronics.**, vol.2, no.5, Sept. 2009. pp. 595 - 604.
- [10] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A 5 kW Bi-directional Multilevel Modular DC-DC Converter (MMCCC) Featuring Built in Power Management for Fuel Cell and Hybrid Electric Automobiles," **IEEE/VPPC.**, Sept. 2007. pp. 208 - 214.
- [11] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Generating isolated outputs in a multilevel modular capacitor clamped dc-dc converter (MMCCC) for hybrid electric and fuel cell vehicles," **IEEE/PESC.**, June 2008. pp. 967 - 973.
- [12] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, William E. Webb, "Hybrid Electric Vehicle Power Management Solutions Based on Isolated and Nonisolated Configurations of Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter," **IEEE Transactions on Industrial Electronics.**, vol.56, no.8, Aug. 2009. pp. 3079 - 3095.
- [13] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Multiple-Load-Source Integration in a Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC-DC Converter Featuring Fault Tolerant Capability," **IEEE Transactions on Power Electronics.**, vol.24, no.1, Jan. 2009. pp. 14 - 24.
- [14] Zhguo Pan, Fan Zhang, Fang Z. Peng, "Power losses and efficiency analysis of multilevel dc-dc converters," **IEEE/APEC.**, vol.3, March 2005. pp. 1393 - 1398.
- [15] Fang Z. Peng, Fan Zhang, "A Novel compact DC/DC converter for 42 V systems," **Power Electronics in Transportation.**, 2002. pp. 143 - 148.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] H. Chung, A. Ioinovici, "Development of a generalized switched-capacitor DC/DC converter with bi-directional power flow," *IEEE/ISCAS.*, vol.3, May 2000. pp. 499 - 502.
- [17] On-Cheong Mak, Yue-Chung Wong, Adrian Ioinovici, "Step-up DC Power Supply Based on a Switched-Capacitor Circuit," *IEEE Transactions on Industrial Electronics.*, vol.42, no.1, Feb. 1995. pp. 90 - 97.
- [18] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Hybrid Electric Vehicle Power Management Solutions Based on Isolated and Nonisolated Configurations of Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter," *IEEE Transactions on Industry Applications.*, vol. 56, no. 8, Aug. 2009
- [19] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, William E. Webb, "Start-Up and Dynamic Modeling of the Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter," *IEEE Transactions on Power Electronics.*, vol.25, no.2, Feb. 2010. pp. 519 - 531.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ECTI-CON
2012

BOOK OF ABSTRACTS

16-18 May 2012
Phetchaburi, THAILAND



Green Technology



IEEE



IEEE



ECTI



THAI

เอกสารที่ IEEE ECTI THAI ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้กรรมสิทธิ์สงวน อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A dc to dc Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional Power Flow for a dc Microgrid Application

Pongsakorn Sintupatsuk

Electrical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
s4610608@kmitl.ac.th

Surin Khomfoi, Prapart Paisuwanna

Center of Excellence for Innovative Energy Systems
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kkhsurin@kmitl.ac.th, kpprapar@kmitl.ac.th

Abstract—A dc to dc multilevel modular capacitor clamped converter (M^2C^3) with electrical grounding isolation and bidirectional power flow for a dc microgrid application is proposed in this paper. The principle of this particular M^2C^3 is based upon volt-sec balance of capacitors connected as a modular cell in the circuit so that the M^2C^3 can be similarly operated as a dc transformer. The M^2C^3 can be interfaced between a battery and a dc grid. Moreover, two M^2C^3 can be interfaced using a high frequency transformer in order to achieve grounding isolation and exchange energy between M^2C^3 . The transferred energy would provide the fault tolerance ability in the case of a M^2C^3 is malfunctioned. Both grounding isolation and bidirectional power flow are one of key functions for dc microgrid applications. The simulation study is performed using PSIM 9.0. Also, the 3-kw prototype is developed to investigate the notion for a dc microgrid application.

Keyword: Dc to dc converter; dc microgrid; multilevel dc to dc converter; energy storage system

I. INTRODUCTION

Nowadays, renewable energy resources (RES) have had increasing penetration levels for grid connected distributed generation (DG). Photovoltaic, micro-turbine, wind turbine and fuel cell put forward many promising applications with high efficiency and low emissions. Together with power electronics technologies, these have delivered an important enhancement for interfacing RES and DG to a utility grid [1]. A microgrid concept is introduced in [2] to provide more system capacity and control flexibility when several RESs with different

electric behaviors are integrated in the same grid. There are two types of microgrids: dc microgrid and ac microgrid. A dc microgrid is smaller than ac microgrid and suitable for buildings applications; whereas, an ac microgrid is proper for local community grid which is required longer distribution lines. The main concept of microgrid that differs from a conventional utility grid is that the power generators are small; usually, a small DG or RES. These DGs and RESs are located close to the load (end users or consumers). Then, the generator and the load can be managed to achieve a local energy and power balance. The microgrid also offers extra degrees of freedom to optimize RESs connected to the utility grid; additionally, power quality requirements, system reliability and control flexibility would be achieved by using the microgrid concept as discussed in [3].

Power substation buildings of utilities in Thailand normally consist of large nonlinear electronic loads; for instance, protective relays, personal computers (PC), monitors, dc power supply for electronic devices, lighting, and adjustable speed drives (ASD) for air conditioning system. The electrical system used in power substation devices are a dc voltage equal to 125 V. A single phase 220 V, 50 Hz electrical system is used for PCs, monitors, and lighting; whereas, three phase 220/380 V, 50 Hz is utilized for the air conditioning system. A diesel generator set as a standby source is implemented so that net-zero energy for power substation buildings could be accomplished. The dc microgrid with superb quality distribution system for residential application has been proposed in [4], and

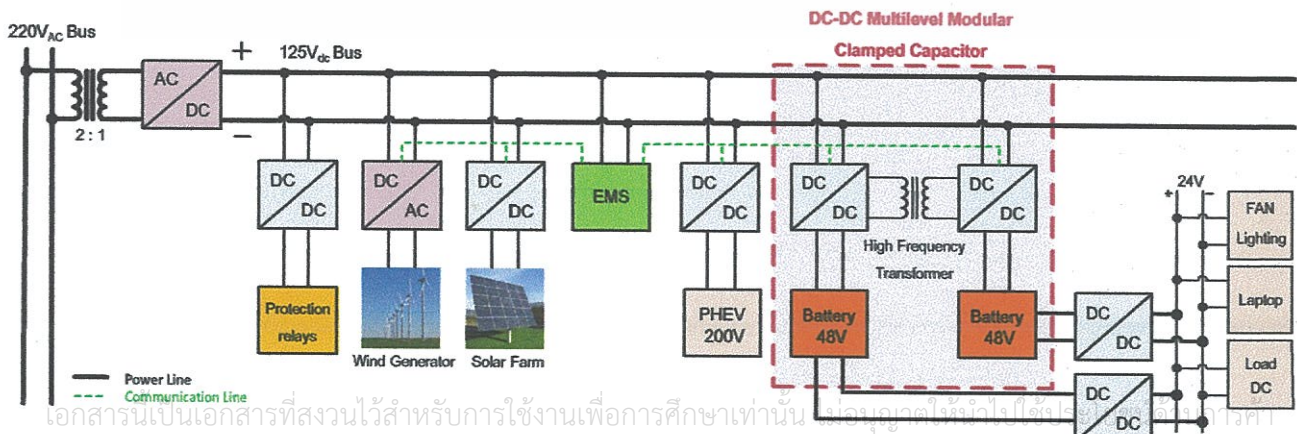


Figure 1. A proposed dc microgrid for power substation building.

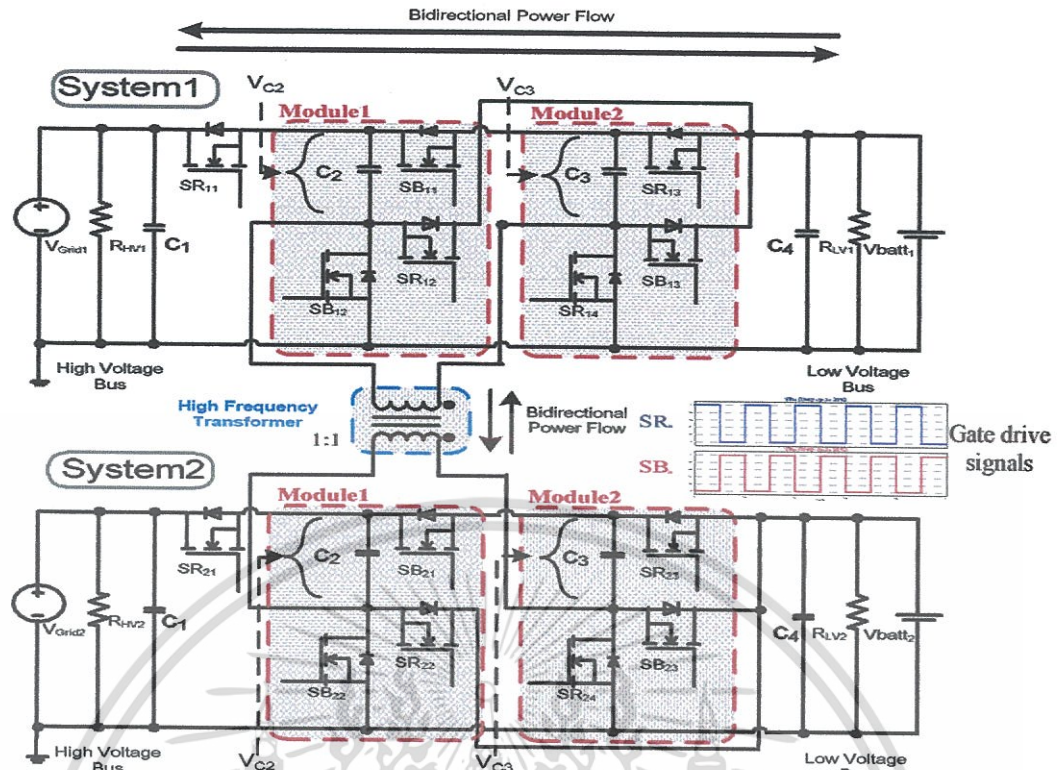


Figure 2. A dc to dc Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation.

the low voltage distribution system for commercial power systems with sensitive electronic loads has been investigated in [5]. For dc distribution in substation buildings, a dc to dc converter (about 10 kW) to change dc voltage levels for interfacing between a battery and a dc grid with grounding isolation is required. A possible structure for the dc microgrid applied in a substation building is illustrated in Fig. 1. As can be seen, RES such as Photovoltaic and wind turbine can be interface to the dc grid via a dc to dc converter and an ac to dc converter respectively. All dc loads such as protective relays, personal computers (PC), monitors, dc power supply for electronic devices, lighting are also connected to the dc grid. Two M^2C^3 are used to interface between dc grid and a set of batteries: this can be applied both storage energy and energy backup. The proposed dc microgrid may offer the premium power quality, higher reliability and higher efficiency than ac power grid as discussed in [4].

M^2C^3 has originally proposed by Khan [6] and the circuit operation together with ability to integrate multiple sources as clearly explained in [7]. However, limited research has focused on the application of M^2C^3 in dc microgrid which requires multiple dc voltage levels, electrical grounding isolation and bidirectional power flow functions. Therefore, M^2C^3 with electrical grounding isolation and bidirectional power flow for a dc microgrid application is developed in this paper. Both simulation and experimental results are performed to investigate the nation of use a M^2C^3 in a dc microgrid.

II. CIRCUIT OPERATION OF M^2C^3

The configuration of M^2C^3 is illustrated in Fig. 2. As can be seen, M^2C^3 consists of three power switches and a capacitor connected as a module. The voltage levels can be step-up or step-down by connecting a number of modules in

series as the relationship in (1). With a nature of a capacitor, volt-sec area during charge and discharge is equal; therefore, gate drive signals of SRs and SBs are out of phase with 0.5 duty cycle. With this gate drive signals, the current will flow to the side that the voltage is lower than the expected voltage level. For instance, the 48 V in battery side and 144 V for the grid side with three conversion ratio (k) are used in M^2C^3 . If the grid side has a voltage drop, the current will automatically flow to the grid side to supply energy to the grid: this will be the same phenomenal for the battery side. The current in M^2C^3 will not flow in the circuit if the voltage level is equal to the expected voltage level. One can see that M^2C^3 is operating like a dc transformer: the voltage level can be change with a turn ratio, but the power is equal with the both primary and secondary sides. In addition, a couple M^2C^3 can be interfaced via a high frequency transformer as shown in Fig. 2. This function offers both the fault tolerance and electrical grounding isolation as explained in [7]. The current will flow through the transformer if either M^2C^3 system requires the energy to supply the connected loads. What is more, electrical grounding isolation can provide a multiple dc voltage level with safety in a dc microgrid system. The voltages across C_2 and C_3 are depicted in Fig.3. We can see that the voltage V_{C3} is lower than voltage V_{C2} by the conversion ratio(k).

$$\frac{V_{Grid}}{V_{Batt}} = n + 1 = k \quad (1)$$

- V_{batt} = battery side voltage,
- V_{grid} = grid side voltage,
- n = the number of module,
- k = conversion ratio.

III. SIMULATION RESULTS

Simulation study of the proposed M^2C^3 as shown in Fig. 2 was performed by using PSIM 9.0. The switching frequency of this particular application is 10 kHz. The 48 V on battery side and 125 V on grid side are interfaced to M^2C^3 . The simulation results are shown in Fig. 4-Fig. 6. Fig. 4 shows the study on charging mode. As can be seen, the battery voltage level is lower than 48 V, so the current flows to the battery. The negative current also proves that the current flows to the battery side. In the case of discharging mode, the battery supplies the energy to the grid side with the positive current as shown in Fig. 5. This means that the voltage at the grid side is reduced; therefore, the energy is transferred to the grid side due to equal volt-sec area principle. This results illustrate that M^2C^3 can be performed as the energy storage and energy backup in a dc microgrid application.

Two system of M^2C^3 can be connected in parallel via a high frequency transformer as demonstrated in Fig. 2. The simulation results on parallel M^2C^3 is presented in Fig. 6. During normal condition, the current flowing through the transformer is nearly zero; whereas, the transformer current will increase if one system is required the energy to feed the load from others in the case that the M^2C^3 cannot supply their load alone. Fig. 6 demonstrates that M^2C^3 system 1 is disconnected from the dc grid and required the energy from M^2C^3 system 2 to help for serving the load demand at the system 1. Clearly, the transformer current flows from the system 2 to system 1 as shown in Fig. 6. This results show that the electrical grounding isolation and transferred energy between M^2C^3 can be achieved which are the key functions needed in a dc microgrid application.

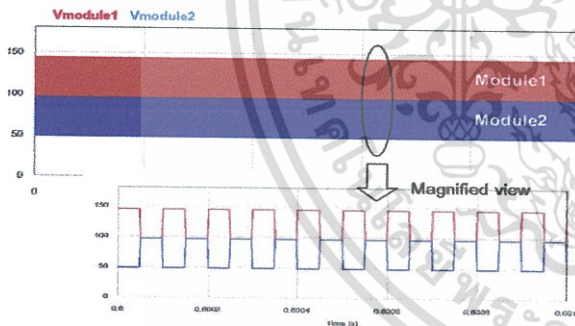


Figure 3. Output voltages at module 1 and module 2 of M^2C^3 shown in Figure 2.

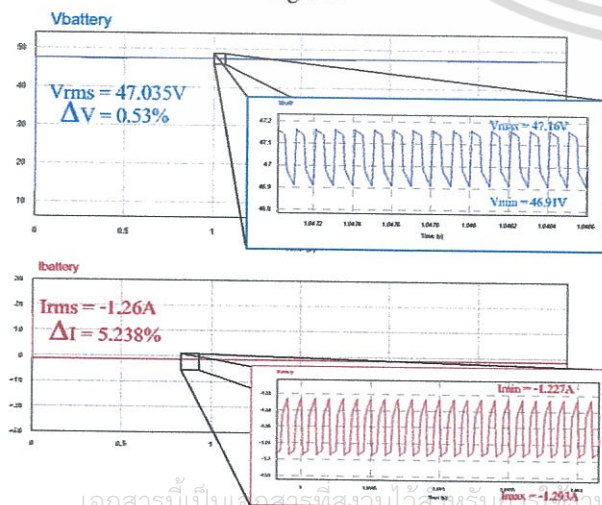


Figure 4. Battery voltage and current in charging mode.

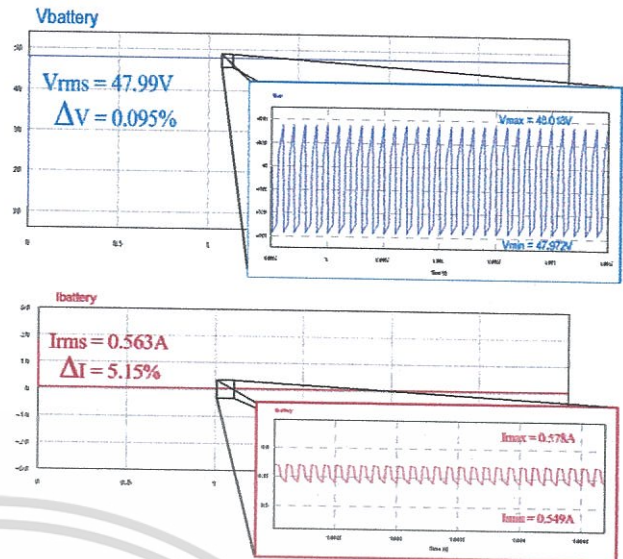


Figure 5. Battery voltage and current in discharging mode.

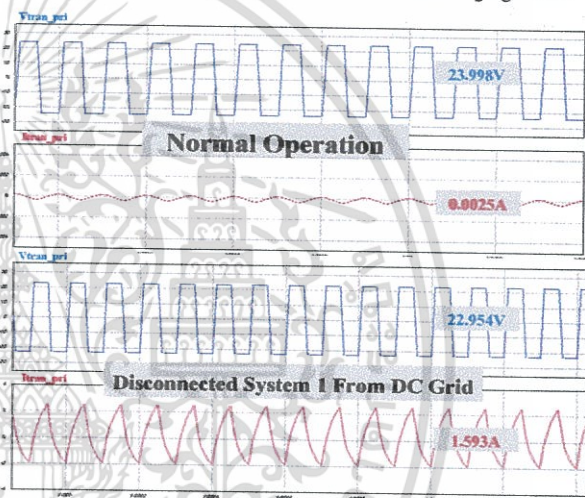


Figure 6. Energy transfer during normal operation and M^2C^3 system 1 is disconnected from the dc grid.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The 3-kw prototype of proposed dual M^2C^3 system was developed as shown in Fig. 7. All capacitors in M^2C^3 were 2,200 μF 450 V and MOSFETs (IRF 450) were used as power switches. Two M^2C^3 were interfaced with the high frequency transformer. Each M^2C^3 was connected to 125 V at the grid side and 48 V at battery side. Experimental results are illustrated in Fig. 8 – Fig. 10. Fig. 8 shows battery voltage and current during charging mode as confirmed by a negative current, whereas Fig. 9 demonstrates battery voltage and current during discharging mode showing a positive current. Fig. 10 illustrates the energy transfer mode during M^2C^3 system 1 is disconnected from the dc grid, so M^2C^3 is required the energy from the M^2C^3 system 2. As shown in Fig. 10, the transformer current is increased compared to a normal operation. Obviously, experimental results show that the bidirectional power flow, electrical grounding isolation and energy transfer between M^2C^3 can be accomplished and agree with simulation results. The results indicate that M^2C^3 is suitable to use in a dc microgrid application in the function of both energy storage and energy backup mode.

V. CONCLUSION

A dc to dc multilevel modular capacitor clamped converter (M^2C^3) with electrical grounding isolation and bidirectional power flow for a dc microgrid application has been proposed. The simulation study has also been performed using PSIM 9.0. The 3-kw prototype has been developed to investigate the notion for a dc microgrid application. The simulation and experimental results are in good agreement. The results show that the bidirectional power flow, electrical grounding isolation and energy transfer between M^2C^3 can be accomplished; therefore, M^2C^3 is suitable to use in a dc microgrid application in the function of both energy storage and energy backup mode.

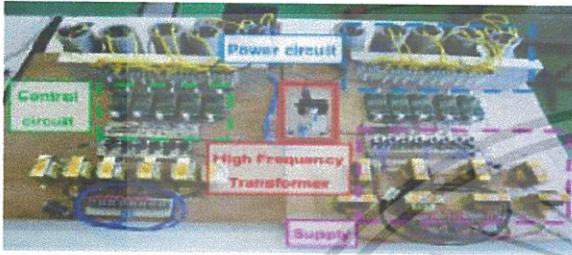


Figure 7. 3 kw prototype of proposed M^2C^3 .

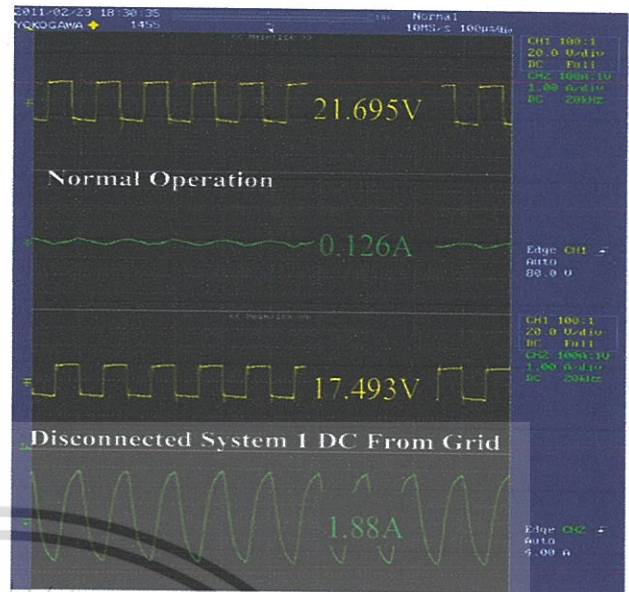


Figure 10. Experimental results of energy transfer mode during M^2C^3 is disconnected from the dc grid.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy for supporting research fund and King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang research fund

REFERENCES

- [1] S. Khomfoi, N. Praisuwanna, L.M. Tolbert, "A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources including a Reconfiguration Technique" *IEEE ECCE 2010*, pp. 3998-4005, Sep. 12-16, 2010.
- [2] R. Lasseter, "Microgrid," *Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002*, pp. 305-308.
- [3] F. Z. Peng, Y. W. Li, L. M. Tolbert, "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer-Driven Microgrid," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Alberta, Canada, July 26-30, 2009.
- [4] Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise, Ryohei Uchida, "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution -System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices," *37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Korea, 2006, pp. 3148-3154.
- [5] D. Salomonson, and A. Sannino, "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power System with Sensitive Electronic Loads," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, July 2007 pp 1620-1627
- [6] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC-DC Converter," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Nov./Dec. 2007, pp. 1628-1638.
- [7] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Hybrid Electric Vehicle Power Management Solutions Based on Isolated and Nonisolated Configurations of Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 8, Aug. 2009

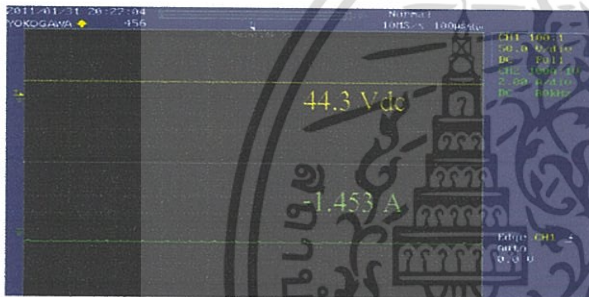


Figure 8. Experimental results in charging mode.

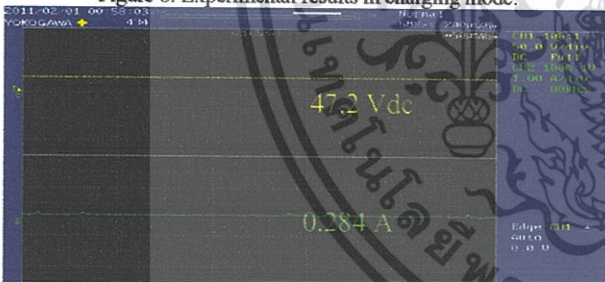
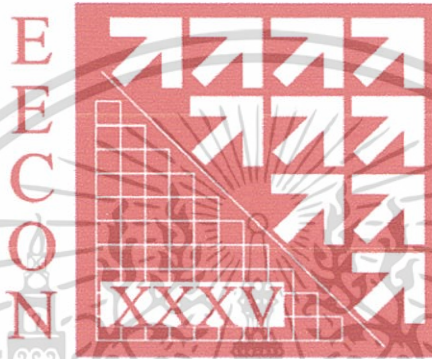


Figure 9. Experimental results in discharging mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 35th Electrical Engineering Conference (EECON-35)



SCHOOL OF
ENGINEERING
BANGKOK UNIVERSITY

NECTEC
a member of NSTDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า

A dc to dc Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional Power Flow for Multiple dc Load in dc Microgrid Application

พงศกร สินธุ์พัฒนสุข¹ สุรินทร์ คำผอย^{1,2} และ ประภษา ไพรสุวรรณ^{1,2}

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์: 0-2329-8311

E-mail: x4610608@kmitl.ac.th ¹kkhsurin@kmitl.ac.th และ ²kpprapar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ(M²C³) แบบสองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า หลักการทำงานจะขึ้นอยู่กับการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจร M²C³ ซึ่งวงจร M²C³ จะติดตั้งอยู่ระหว่างสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงกับแบตเตอรี่เพื่อถ่ายโอนพลังงาน วงจร M²C³ 2 ชุดจะเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งเป็นการแยกโดดทางไฟฟ้าสำรองพลังงานระหว่างชุดวงจร และวงจร M²C³ สามารถจ่ายไฟได้หลายระดับแรงดันโดยเชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล บทความนี้จะนำเสนอผลการจำลองผ่านโปรแกรม PSIM 9.0 และผลการทดลองเพื่อยืนยันวงจร M²C³ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่หลากหลาย

คำสำคัญ: วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ, ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

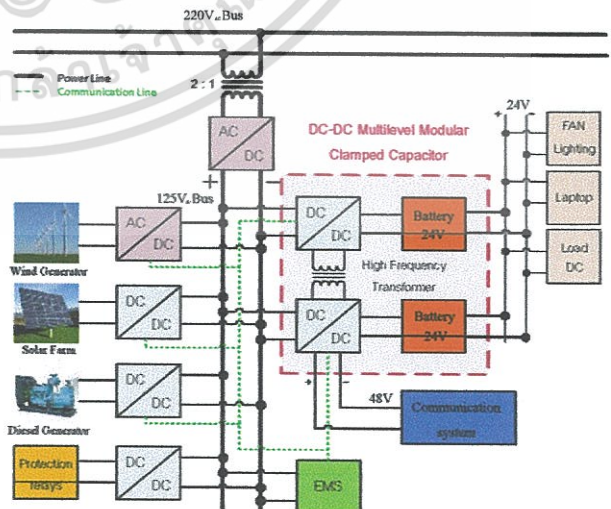
Abstract

A dc to dc multilevel modular capacitor clamped converter with electrical grounding isolation and bidirectional power flow for a various dc load in dc microgrid application is proposed in this paper. The principle of the particular M²C³ is based upon volt-sec balance of capacitors connect series as a modular cell in this circuit. The M²C³ can be interfaced between a battery and a dc grid. In addition M²C³ can be connect multiple dc load in each capacitor module. Two M²C³ can also be interfaced with high frequency transformer in order to achieve grounding isolation and exchange energy between M²C³. This is a key function for a dc microgrid. The simulation and experimental results are investigated. The results illustrate that the proposed M²C³ is promising technique for a dc microgrid application.

Keywords: dc microgrid, multilevel dc to dc converter

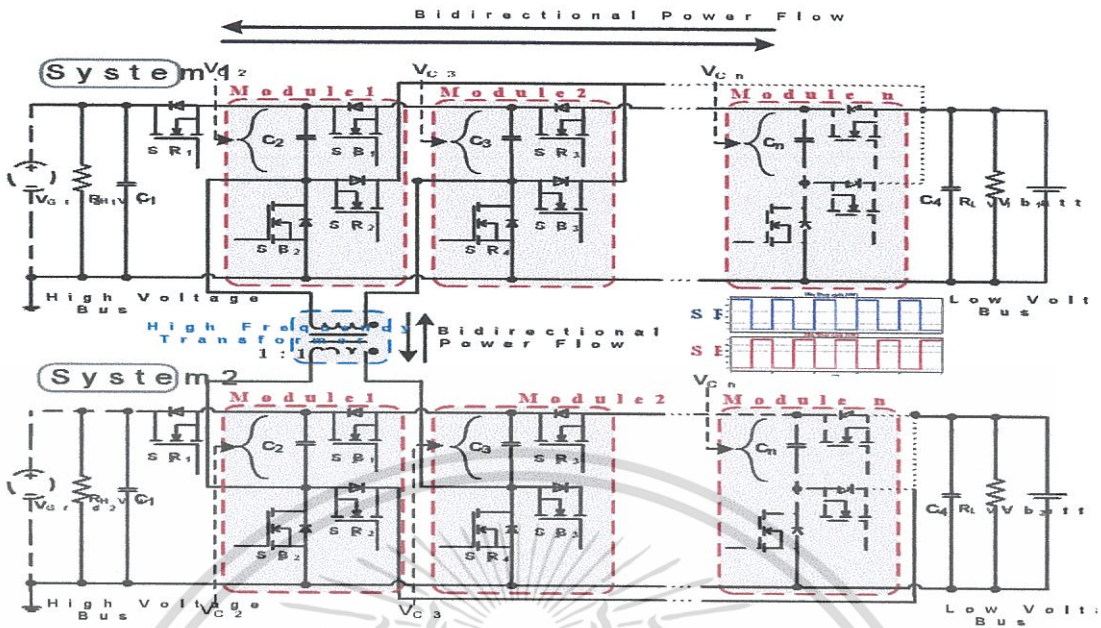
1. บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานทางเลือก (RES) เพื่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า(DG) ให้ได้ระดับกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งทั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม และเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น รวมไปถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งพลังงานทางเลือกกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด[1] จึงเกิดเป็นแนวคิดไมโครกริด(microgrid) [2] ซึ่งระบบไมโครกริดจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก(ac microgrid) และระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก(dc microgrid) โดยในบทความนี้จะเสนอเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเท่านั้น ซึ่งในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าและมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้กับภาระไฟฟ้าในอาคาร บ้านเรือนเป็นต้น โดยที่ใจความสำคัญของแนวคิดไมโครกริดคือจะมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กซึ่งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและระบบส่งจ่ายจะต้องอยู่ใกล้กับภาระไฟฟ้าโดยที่คุณภาพไฟฟ้า



รูปที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโคจรทางไฟฟ้า

ความน่าเชื่อถือและการควบคุมในระบบไมโครกริดจะอธิบายอยู่ใน [3]

ระบบสื่อสารและสถานีผลิตไฟฟ้าอยู่ในประเทศไทยจะประกอบไปด้วยการไฟฟ้าอีเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่ไม่เป็นเชิงเส้น อาทิเช่น คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ระบบตรวจวัด (monitor) แสงสว่าง และมอเตอร์ที่อยู่ในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทั้งสองระบบนี้จะทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน ในระบบสื่อสารจะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ -48V ส่วนในสถานีไฟฟ้าจะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 125V ซึ่งพัดลม แสงสว่าง และคอมพิวเตอร์แบบพกพาจะใช้แรงดัน 24V และมีระบบสำรองพลังงานเช่นแบตเตอรี่และเครื่องจักรดีเซลเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจำเป็นต้องมีวงจรแปลงผันแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงเพื่อช่วยเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและรักษาแรงดันไฟฟ้าให้กับกระแสไฟฟ้าและสายส่งแรงดันกระแสตรงที่เชื่อมต่ออยู่

ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กดังรูปที่ 1 จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าโดยผ่านวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงและกระแสตรงเป็นกระแสสลับตามลำดับ และมีกระแสไฟฟ้าที่เป็นแรงดันกระแสตรงที่ใช้แรงดันไม่เท่ากันเชื่อมต่ออยู่ ดังนั้นจึงขอเสนอวงจร M^2C^3 2 ชุดที่เชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงให้ติดตั้งอยู่ระหว่างสายส่งกับชุดแบตเตอรี่เพื่อทำหน้าที่หลักคือสะสมพลังงานและเป็นตัวถ่ายโอนพลังงานสำรอง อีกทั้งสามารถเชื่อมต่อแรงดันที่แตกต่างกันในตัวเก็บประจุที่อยู่แต่ละโมดูลได้ให้กับกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันหลายระดับ จึงช่วยลดอุปกรณ์แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงในส่วนต่างๆ ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กจึงมีเหมาะสมอย่างมากต่อการประยุกต์ใช้กับกระแสไฟฟ้าในอาคาร [4] และในระบบส่งจ่ายแรงดันต่ำในระบบอุตสาหกรรม มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง [5] อีกทั้งยังเพิ่มความ

น่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก วงจร M^2C^3 ได้ถูกสร้างขึ้นโดย Khan [6] ที่ซึ่งในวงจรสามารถทำงานได้ในแหล่งจ่ายที่มีความหลากหลายซึ่งจะอธิบายไว้ใน [7] บทความนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงที่ ซึ่งต้องการให้อุปกรณ์มีความสามารถถ่ายโอนพลังงานได้ทั้งสองฝั่ง รับแรงดันหลายระดับและแยกกราวด์ออกจากกัน ดังนั้นวงจร M^2C^3 2 ชุดที่เชื่อมกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูงจึงถูกพัฒนาและนำเสนอในบทความนี้ ทั้งการจำลองผ่านโปรแกรม PSIM 9.0 และผลการทดลองชิ้นงานจริง

2. หลักการทำงานของวงจร M^2C^3

วงจร M^2C^3 2 ชุดที่เชื่อมกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูงจะแสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าภายในวงจร M^2C^3 จะประกอบไปด้วย 3 สวิตช์กำลัง และ 1 ตัวเก็บประจุซึ่งเชื่อมต่อกันเป็น โมดูล ระดับแรงดันทั้งสองฝั่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนโมดูลที่เชื่อมต่อกันอยู่แบบอนุกรมภายในวงจร และในธรรมชาติของตัวเก็บประจุคือการที่สะสมและคายพลังงานเป็นไปอย่างสมดุล สัญญาเข้าสวิตช์ SR_n และ SB_n ทำงานที่ค่าดีดีไซเคิลที่ 0.5 เฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจากหลักสมดุลพลังงานนั้นทำให้กระแสไฟฟ้าจะไหลไปฝั่งที่แรงดันน้อยกว่าแรงดันที่กำหนดไว้ และแรงดันที่ตัวเก็บประจุจะมีค่ามากขึ้นเป็นจำนวนเท่าของแบตเตอรี่ในทุกลมอดูล ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้แรงดันฝั่งแบตเตอรี่ 24V และฝั่งสายส่งมีแรงดัน 144V ซึ่งเป็นอัตราส่วนแรงดันที่ 6 เท่า และถ้าแรงดันไฟฟ้าที่สายส่งลดลง กระแสจากฝั่งแบตเตอรี่จะถ่ายโอนมาฝั่งสายส่งทันทีจึงเรียกการทำงานนี้ว่าสำรองพลังงาน และถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ลดลง กระแสฝั่งสายส่งจะถ่ายโอนมาฝั่งแบตเตอรี่เพื่อสะสมประจุ และถ้าทั้งสองฝั่งมีแรงดันไฟฟ้าปกติจะไม่มีกระแสไหลอยู่ในวงจร ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองฝั่งจะต้องสัมพันธ์กับจำนวนโมดูลที่ติดตั้ง มากกว่านั้นในบทความนี้จะเพิ่มหม้อแปลงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานขณะเกิดผิดปกติขึ้นในชุดโมดูล กระแสจะไหลผ่านหม้อแปลงเพื่อไปให้กับภาระไฟฟ้า อีกทั้งยังแยกโคจรทางไฟฟ้าระหว่างวงจร M^2C^3 และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้กับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{V_{HV}}{V_{LV}} = N + 1 = CR \quad (1)$$

เมื่อ V_{HV} = แรงดันไฟฟ้าฝั่งแรงดันสูง(สายส่ง)
 V_{LV} = แรงดันไฟฟ้าฝั่งแรงดันต่ำ(แบตเตอรี่)
 CR = อัตราแปลงผันแรงดันไฟฟ้า
 N = จำนวนโมดูล

3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

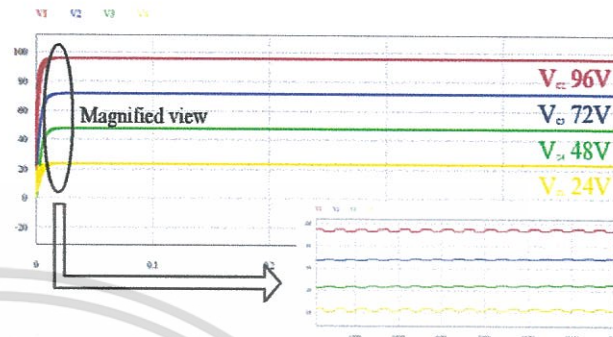
การจำลองวงจร M^2C^3 ตามรูปที่ 2 จะจำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0 ความถี่สวิตช์ 10 kHz แรงดันแบตเตอรี่ 24V และแรงดันที่สายส่ง 125V ซึ่งจะเชื่อมต่อกับวงจร M^2C^3 4 โมดูล ผลการจำลองจะแสดงตามรูปที่ 3-6 รูปที่ 3 จะแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าจะมีหลายระดับเป็นจำนวนเท่าของแรงดันที่แบตเตอรี่ รูปที่ 4 แสดงการทำงานแบบสะสมประจุ ซึ่งจะทำงานเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่า 24V ดังนั้นกระแสจะไหลเข้าไปสะสมพลังงานให้แบตเตอรี่ ทำให้กระแสเป็นค่าลบและในการทำงานแบบสำรองพลังงานให้กับระบบสายส่งคือแรงดันที่สายส่งมีค่าลดลงทำให้ กระแสจะไหลออกจากแบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานให้ระบบสายส่ง กระแสจึงเป็นค่าบวกดังรูปที่ 5 เมื่อแรงดันทั้งสองฝั่งมีค่าไม่เท่ากับที่กำหนดไว้ จะมีการถ่ายโอนพลังงานในวงจร M^2C^3 อย่างทันที

วงจร M^2C^3 2 ระบบที่เชื่อมขนานกันผ่านหม้อแปลงความถี่สูงตามรูปที่ 2 จะแสดงในรูปที่ 6 จะแบ่งออกเป็น 2 แบบในการจำลองคือแบบปกติและแบบที่ระบบที่ 1 เกิดความเสียหายผิดปกติขึ้นทำให้ไม่สามารถถ่ายโอนพลังงานให้กับสายส่งได้ ในแบบการทำงานปกติขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ในขณะที่ขั้วกันกระแสจะไหลผ่านหม้อแปลงเพิ่มขึ้นถ้าวงจรที่ 1 เกิดความเสียหายผิดปกติเพื่อช่วยให้ภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับชุดวงจร M^2C^3 ที่ 1 ยังคงทำงานต่อไปได้

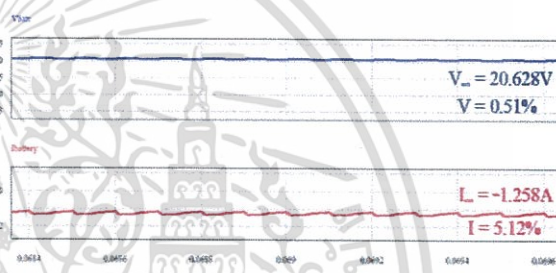
4. ผลการทดลอง

เครื่องต้นแบบวงจร M^2C^3 2 ชุดที่เชื่อมต่อกับหม้อแปลงความถี่สูงขนาด 3kW ได้แสดงดังรูปที่ 7 ตัวเก็บประจุทุกตัวในวงจรจะมีขนาด 2200 μF 450V และใช้ MOSFETs(IRF 450) เป็นสวิตช์กำลัง ซึ่งแต่ละระบบจะเชื่อมต่อกับระบบสายส่งที่ 125V และแบตเตอรี่ 24V ผลการทดลองจะแสดงตามรูปที่ 8-10 รูปที่ 8 แสดงแรงดันและกระแสในขณะที่ทำงานแบบสะสมประจุซึ่งกระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าลบในขณะที่ขั้วกันกระแสจะมีค่าเป็นบวกเมื่อทำงานในรูปแบบสำรอง

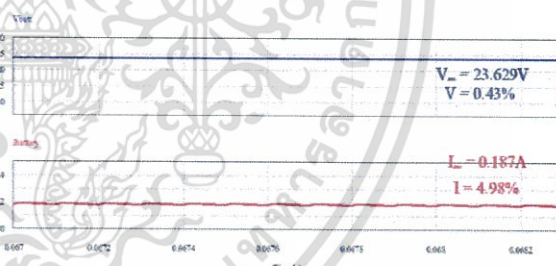
พลังงานดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จะแสดงการไหลของกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงขณะทำงานปกติและเกิดความผิดปกติกับระบบที่ 1 ซึ่งกระแสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการจำลองในการถ่ายโอนพลังงานของวงจร M^2C^3 ดังผล



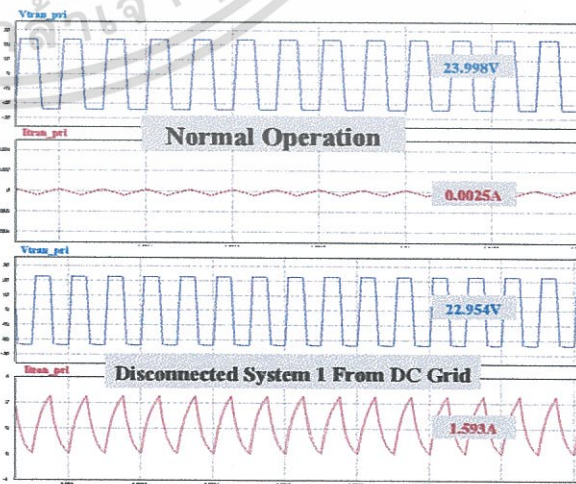
รูปที่ 3 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูล



รูปที่ 4 การจำลองการสะสมประจุให้แบตเตอรี่

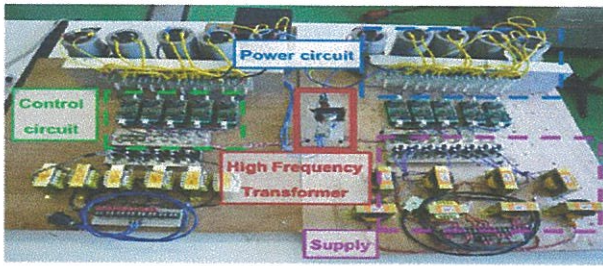


รูปที่ 5 การจำลองการสำรองพลังงานให้ระบบสายส่ง



รูปที่ 6 การถ่ายโอนพลังงานระหว่างระบบ M^2C^3 2 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



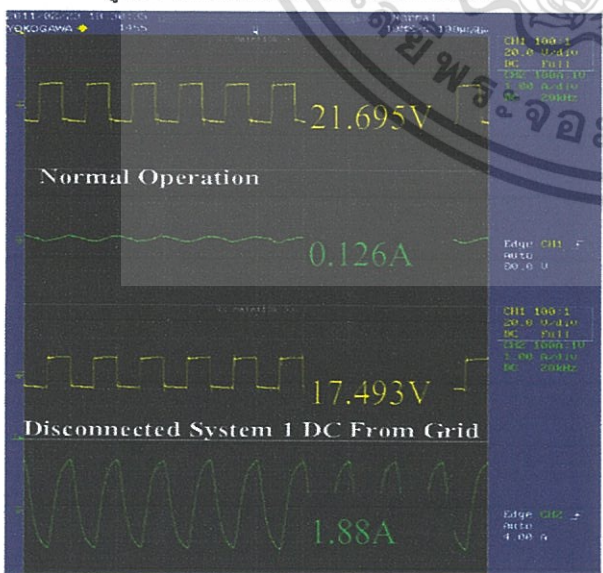
รูปที่ 7 เครื่องต้นแบบขนาด 3kW



รูปที่ 8 แรงดันและกระแสขณะสะสมประจุ



รูปที่ 9 แรงดันและกระแสขณะตำรองพลังงาน



รูปที่ 10 การถ่ายโอนพลังงานผ่านมือแปลงขณะระบบที่ 1 ถูกตัดออก

ให้อัจร M²C³ ที่มีการแยกโดทางไฟฟ้ามีความเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กทั้งการสำรองพลังงานและสะสมประจุให้กับแบตเตอรี่ อีกทั้งยังเชื่อมต่อกับภาระไฟฟ้าที่หลากหลาย

5. บทสรุป

บทความวิจัยนี้เสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ(M²C³) แบบสองทิศทางที่มีการแยกโดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่หลากหลาย ผลการจำลองและทดลองได้ถูกจำลองในบทความนี้ ซึ่งมีความสอดคล้องระหว่างกันเป็นอย่างดี ซึ่งได้แสดงการถ่ายโอนพลังงานภายในวงจร M²C³ และผ่านมือแปลงความถี่สูง ซึ่งการถ่ายโอนพลังงานจะเป็นไปอย่างทันที ดังนั้นวงจร M²C³ จึงเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณกระทรวงพลังงานและ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Khomfoi, N. Praisuwanna, L.M. Tolbert, "A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources including a Reconfiguration Technique" IEEE ECCE 2010, pp. 3998-4005, Sep. 12-16, 2010.
- [2] R. Lasseter, "Microgrid," Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002, pp. 305-308.
- [3] F. Z. Peng, Y. W. Li, L. M. Tolbert, "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer-Driven Microgrid," IEEE Power and Energy Society General Meeting, Alberta, Canada, July 26-30, 2009.
- [4] Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise, Ryohei Uchida, "DC Microgrid for Super High Quality Distribution -System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices," 37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Korea, 2006, pp. 3148-3154.
- [5] D. Salomonson, and A. Sannino, "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power System with Sensitive Electronic Loads," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 3, July 2007 pp 1620-1627
- [6] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "A Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC-DC Converter," IEEE Transactions on Industry Applications., Nov./Dec. 2007, pp. 1628-1638.
- [7] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Hybrid Electric Vehicle Power Management Solutions Based on Isolated and Nonisolated Configurations of Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter," IEEE Transactions on Industry Applications., vol. 56, no. 8, Aug. 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล นาย พงศกร สินธุ์พัฒนสุข
- วัน เดือน ปีเกิด 31 สิงหาคม พ.ศ. 2531
- ที่อยู่ 138 หมู่บ้านพาราไดซ์เทอเรส ถ.ร่มเกล้า
ต.คลองสามประเวศ อ.ลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ 10520
- ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปี พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ผลงานวิจัย [1] Pongsakorn Sintupatsuk, Surin Khomfoi, Prapart Paisuwanna,
“A dc to dc Multilevel Modular Capacitor Clamped
Converter with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional
Power Flow for a dc Microgrid Application,” ECTI-CON 2012,
Hua Hin, Thailand, 16-18 May 2012
- [2] พงศกร สินธุ์พัฒนสุข, สุรินทร์ คำฝอย, ประภาศ ไพรสุวรรณ,
“วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบ
สองทิศทางที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ
ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่หลากหลายภาระไฟฟ้า,” การประชุม
วิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON 35), นครนายก, 12-14
ธันวาคม 2555, หน้า 445 - 448.