

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง
ที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก
**Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped
Converter with Electrical Grounding Isolation for Microgrid Applications**



T119427



เลขหมู่.....
เลขเรียกเก็บ..... **119427**
วัน,เดือน,ปี..... - 7 S.A. 2554

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

ปฏิญญาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped
Converter with Electrical Grounding Isolation for Microgrid Applications**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง
ที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก
Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter
with Electrical Grounding Isolation for Microgrid Applications



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย

รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **วจนรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง
ที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก**

ผู้จัดทำ

- 
1. นายทศพล รตเวสสนันท์
 2. นายปิยวัฒน์ สังข์สิงห์
 3. นายพงศกร สินธุพัฒน์สุข
 4. นายศุภเศรษฐ์ วงศ์อ่อนดี

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ประภาษ ไพรสวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบ
สองทิศทางที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานใน
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

นายทศพล รตเวสสนันท์
นายปิยวัฒน์ สังข์สิงห์
นายพงศกร สินธุพัฒนสุข
นายศุภเศรษฐ์ วงศ์อ่อนดี

ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ประภาส ไพโรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธกิจฉบับนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดคาปาซิเตอร์แคลมป์(M²C³) แบบสองทิศทางที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มีความสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยอาศัยชุดอุปกรณ์สวิตช์กำลังและตัวเก็บประจุหลายตัวที่ใช้หลักการของการชาร์จและดิสชาร์จแบบสมมูล การใช้งานจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงนี้สามารถทำได้โดยการใช้หม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อกับวงจร M²C³ การใช้หม้อแปลงความถี่สูงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อเสถียรภาพของวงจรเนื่องจากวงจรต้องการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางและการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างวงจร M²C³ สองระบบ ในบทความนี้ได้แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลจากการทดสอบวงจรเพื่อยืนยันหลักการที่ได้นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation for Microgrid Applications

Tossapol

Ratavessnun

Piyawat

Sangsing

Pongsakorn

Sintupatsuk

Supaseth

Wongondee

Asst. Prof. Dr. Surin

Khomfoi

Supervisor

Assoc. Prof. Prapart

Prisuwana

Supervisor

2010

ABSTRACT

The design and implementation paradigm of a bidirectional multilevel modular capacitor clamped dc – dc converter (M^2C^3) with electrical grounding isolation for dc microgrid applications are presented in this Thesis. M^2C^3 can generate a multilevel high frequency ac output voltage by using a duplicated power switches and capacitors module together with a method of charge and discharge balance. Utilizing those multilevel high frequency ac output voltages, M^2C^3 can interconnect with high frequency transformer. The high frequency transformer is a key of M^2C^3 reliability because M^2C^3 requires a bidirectional power flow and ground isolation to interface between a first and a second M^2C^3 . The simulation study and experimental result with a developed 3kVA prototype are also performed to confirm the proposed methodology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะ และได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสุวรรณา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำผอย ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการทั้งสองท่าน ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ดร.วราชาติ แซ่ก๊ก ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำในการปรับปรุงและซ่อมแซมวงจร รวมถึงให้คำปรึกษา ในการทำโครงการวิจัยนี้

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

ขอขอบคุณโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้และประสบการณ์มาช่วยในการทำโครงการวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางด้านการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

ทศพล	รตเวสสนันท์
ปิยวัฒน์	สังข์สิงห์
พงศกร	สินธุ์พัฒนสุข
ศุภเศรษฐ์	วงศ์อ่อนดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และห้ามอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 วงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบเดิม.....	6
2.2.1 Flyback Converter.....	6
2.2.2 Push-Pull Converter.....	7
2.2.3 Full Bridge Converter.....	7
2.2.4 Flying Capacitor Multilevel DC-DC converter.....	8
2.3 วงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ.....	9
2.3.1 โครงสร้างแบบโมดูล.....	10
2.3.2 การควบคุมทำงานของสวิตช์.....	11
2.3.3 การแปลงระดับแรงดันหลายระดับและการไหลของพลังงานสองทิศทาง.....	13
2.3.4 การต่อเชื่อมแหล่งจ่าย – โหลดหลายแหล่ง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจร M^2C^3	17
2.3.6 การสร้างเอาต์พุตแบบแยกโดด	17
2.4 การออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูง	19
2.4.1 แกนแม่เหล็ก	19
2.4.2 ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ใช้งาน	21
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	25
3.1 บทนำ.....	25
3.2 วงจร M^2C^3	25
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม.....	28
3.3.1 วงจรไฟเลี้ยง	29
3.3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	29
3.3.3 วงจรขับเคลื่อน.....	32
3.4 การออกแบบวงจรกำลัง	33
3.4.1 วงจรสวิตช์	33
3.4.2 ตัวเก็บประจุ.....	36
3.5 ชุดแหล่งจ่ายต้นไฟฟ้า.....	37
3.5.1 แหล่งจ่ายทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง.....	38
3.5.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำ.....	39
3.6 หม้อแปลงความถี่สูง	39
3.7 ข้อควรระวัง	42
3.8 สรุป.....	43
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง	44
4.1 บทนำ.....	44
4.2 การจำลองวงจร M^2C^3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	44
4.2.1 หลักการทำงานของวงจร M^2C^3	44
4.2.2 หลักการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่าง M^2C^3 สองระบบโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง	48
4.2.3 การจำลองวงจร M^2C^3 เพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบ DC Microgrid	51
4.3 การทดสอบชิ้นงานต้นแบบวงจร M^2C^3	56

4.3.1 การแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า	56
4.3.2 การเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 สองระบบด้วยหม้อแปลงความถี่สูง.....	60
4.3.3 การทดสอบวงจรโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับไมโครกริดและแบตเตอรี่	62
4.3.5 การทดสอบวงจร M^2C^3 เพื่อหาประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 และกระแสกระเพื่อมที่ ภาระไฟฟ้าแต่ละขนาด.....	73
บทที่ 5 บทสรุป เสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	75
5.1 บทสรุป	75
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง.....	76
5.3 แนวทางการพัฒนา	76
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVI้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1	แผนการดำเนินโครงการ.....	3
รูปที่ 1.2	แผนผังโครงการที่ดำเนินการ.....	4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 2.1	Flyback Converter.....	7
รูปที่ 2.2	Push-Pull Converter.....	7
รูปที่ 2.3	Full Bridge Converter.....	8
รูปที่ 2.4	Flying Capacitor DC-DC converter.....	8
รูปที่ 2.5	โมดูลวงจร M^2C^3	10
รูปที่ 2.6	วงจร M^2C^3 ที่ประกอบด้วย 4 โมดูล แปลงแรงดันได้ 5 ระดับ.....	11
รูปที่ 2.7	ลำดับการชาร์จ – คายประจุ.....	12
รูปที่ 2.8	สถานะการทำงาน.....	12
รูปที่ 2.9	สัญญาณควบคุมสวิตช์.....	13
รูปที่ 2.10	ทิศทางการไหลของพลังงานในวงจร M^2C^3	15
รูปที่ 2.11	แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล.....	16
รูปที่ 2.12	การเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 ผ่านทางหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อ แยกกราวด์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้า.....	18
รูปที่ 2.13	การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงแบบแยกกราวด์ทางไฟฟ้า ทางไฟฟ้าจากวงจร M^2C^3	18
รูปที่ 2.14	แกนแม่เหล็กรูปร่างต่างๆ.....	20
รูปที่ 2.15	B-H curve ของแกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ที่มีและไม่มีช่องว่างอากาศ.....	20
รูปที่ 2.16	แรงดันที่ไม่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 1$).....	22
รูปที่ 2.17	แรงดันที่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 2$).....	23

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ

รูปที่ 3.1	วงจร M^2C^3 สองระบบซึ่งใน M^2C^3 แต่ละชุดจะประกอบไปด้วย 3..... โมดูลและเชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูง	27
รูปที่ 3.2	ชิ้นงานจริง M^2C^3 2 ระบบซึ่งใน M^2C^3 แต่ละชุดจะประกอบไปด้วย 3..... โมดูลและเชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูง	27
รูปที่ 3.3	แสดงบล็อกไดอะแกรม(Block diagram)ของวงจรควบคุม.....	28
รูปที่ 3.4	วงจรควบคุมที่มีวงจรไฟเลี้ยง วงไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเคลื่อน.....	28

รูปที่ 3.5	วงจรไฟเลี้ยงที่มีอุปกรณ์สำคัญ คือหม้อแปลง 220V/9V DB104G.....29 และ 7805
รูปที่ 3.6	แสดงการทำงานของแต่ละขา ของ PIC4431.....30
รูปที่ 3.7	วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ PIC4431 และมี XTAL ภายนอก.....30
รูปที่ 3.8	สัญญาณ SR และ SB ที่มีแรงดัน 5 V โดยทั้ง 2 สัญญาณจะมี.....31 เฟสตรงข้ามกัน(180°, Out of phase)
รูปที่ 3.9	สัญญาณ PWM 2 สัญญาณที่แสดงถึงเดดไทม์(Dead time).....31
รูปที่ 3.10	วงจรขับเคลื่อนที่มี IC 74AC74 ,74AC00 ,CD4039 ,LM311.....32 และ หม้อแปลง
รูปที่ 3.11	สัญญาณที่เข้าจะมีแรงดัน 5 V และออกวงจรขับเคลื่อนจะมี33 แรงดัน 15V
รูปที่ 3.12	วงจร M^2C^3 ที่มี 3 โมดูล.....34
รูปที่ 3.13	แผงผังวงจรมอสเฟส เบอร์ IRFP450.....34
รูปที่ 3.14	มอสเฟส N-Channel เบอร์ IRFP450.....35
รูปที่ 3.15	รูปขึ้นงานจริงของวงจรกำลังใน 1 โมดูลที่มีสวิตช์มอสเฟส 3 ตัว.....35
รูปที่ 3.16	ตัวเก็บประจุภายในวงจรกำลังที่มีขนาด 2000uF 450V _{dc}36
รูปที่ 3.17	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองด้านที่เชื่อมต่อกับ M^2C^337
รูปที่ 3.18	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาด 96 V.....38
รูปที่ 3.19	แบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อด้านแรงดันต่ำ.....39
รูปที่ 3.20	แกนเฟอร์ไรท์ที่ใช้เป็นแกนของหม้อแปลงความถี่สูง.....41
รูปที่ 3.21	หม้อแปลงความถี่สูง.....42

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

รูปที่ 4.1	วงจร M^2C^3 สำหรับการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....44
รูปที่ 4.2	วงจร M^2C^3 สำหรับการจำลองในโหมดแปลงแรงดันลง.....45
รูปที่ 4.3	สัญญาณแรงดันที่ได้จากการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....45
รูปที่ 4.4	สัญญาณแรงดันที่ได้จากการจำลองในโหมดแปลงแรงดันลง.....46
รูปที่ 4.5	สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์แต่ละโมดูลในโหมด.....46 แปลงแรงดันขึ้น
รูปที่ 4.6	สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์แต่ละโมดูลในโหมด.....47 แปลงแรงดันลง
รูปที่ 4.7	สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับในโหมดแปลงแรงดันขึ้น.....48
รูปที่ 4.8	สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับในโหมดแปลงแรงดันลง.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลง VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9	สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุในโหนด Va1, Va2 และ Va349
	เทียบกับกราวด์ของวงจร
รูปที่ 4.10	สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด Va1 เทียบกับ.....50
	โหนด Va2
รูปที่ 4.11	สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด Va2 เทียบกับ.....50
	โหนด Va3
รูปที่ 4.12	สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด Va1 เทียบกับ.....51
	โหนด Va3
รูปที่ 4.13	รูปแบบการนำ M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์มาประยุกต์ใช้งาน.....52
รูปที่ 4.14	วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์ ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม.....53
	คอมพิวเตอร์
รูปที่ 4.15	สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดอัดประจุ (Charge).....54
รูปที่ 4.16	สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดคายประจุ (Discharge).....55
รูปที่ 4.17	สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดแรงดันสมดุล.....56
รูปที่ 4.18	ชิ้นงานจริงวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์ด้วยหม้อแปลงความถี่สูง.....57
รูปที่ 4.19	สัญญาณแรงดันและกระแสในโหมดการแปลงแรงดันขึ้น.....57
รูปที่ 4.20	สัญญาณแรงดันและกระแสในโหมดการแปลงแรงดันลง.....58
รูปที่ 4.21	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่หนึ่ง.....59
รูปที่ 4.22	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่สอง.....59
รูปที่ 4.23	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่สาม.....60
รูปที่ 4.24	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง.....61
รูปที่ 4.25	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง.....61
รูปที่ 4.26	สัญญาณแรงดันของหม้อแปลงความถี่สูงที่ฝั่งปฐมภูมิกับทุติยภูมิ.....62
รูปที่ 4.27	วงจรที่ใช้ทดสอบในสภาวะการทำงานปกติ.....63
รูปที่ 4.28	การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์ด้วย.....64
	หม้อแปลงความถี่สูง
รูปที่ 4.29	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ไม่โครกริตของระบบที่หนึ่ง.....64
	ในสภาวะปกติ
รูปที่ 4.30	สัญญาณแรงดันและกระแสที่ไม่โครกริตของระบบที่สอง.....65
	ในสภาวะปกติ
รูปที่ 4.31	สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ของระบบที่หนึ่ง.....65
	ในสภาวะปกติ
รูปที่ 4.32	สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ของระบบที่สอง.....66
	ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.33 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับ M^2C^366	
ระบบที่หนึ่ง	
รูปที่ 4.34 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง.....67	
ในสภาวะปกติ	
รูปที่ 4.35 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง.....67	
ในสภาวะปกติ	
รูปที่ 4.36 แรงดันและกระแสที่ไม่โครกริตของระบบที่สองเมื่อ.....68	
ตัดไมโครกริตระบบที่หนึ่งออก	
รูปที่ 4.37 แรงดันและกระแสที่เบตเตอร์ของระบบที่หนึ่ง เมื่อ.....69	
ตัดไมโครกริตระบบที่หนึ่งออก	
รูปที่ 4.38 แรงดันและกระแสที่เบตเตอร์ของระบบที่สองเมื่อ.....69	
ตัดไมโครกริตระบบที่หนึ่งออก	
รูปที่ 4.39 แรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้าเมื่อ.....70	
ตัดไมโครกริตระบบที่หนึ่งออก	
รูปที่ 4.40 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงเมื่อ.....70	
ตัดไมโครกริตระบบที่หนึ่งออก	
รูปที่ 4.41 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง.....71	
ในสภาวะปกติ	
รูปที่ 4.42 แรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้าเมื่อไม่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....72	
ในระบบที่หนึ่ง	
รูปที่ 4.43 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงเมื่อไม่มีแหล่งจ่าย.....72	
ในระบบที่หนึ่ง	
รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ใน.....73	
โหมดแปลงแรงดันขึ้น	
รูปที่ 4.45 ประสิทธิภาพของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ใน.....73	
โหมดแปลงแรงดันลง	
รูปที่ 4.46 กระแสกระแสเพื่อมของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ใน.....74	
โหมดแปลงแรงดันขึ้น	
รูปที่ 4.47 กระแสกระแสเพื่อมของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ใน.....74	
โหมดแปลงแรงดันลง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อยกอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แรงดันที่จุดต่อร่วมของแต่ละโมดูล.....16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XI อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากสภาวะในปัจจุบันเกิดปัญหาขึ้นมากมายทั้งทางด้านสภาวะอากาศของโลกหรือสภาวะทางเศรษฐกิจต่างส่งผลต่อการหาแหล่งพลังงานเนื่องจากทรัพยากรพลังงานที่ได้จากฟอสซิลนั้นมีจำนวนลดลงอย่างมาก รวมถึงราคาของเชื้อเพลิงดังกล่าว ยังมีความผันผวนไปในแนวทางที่สูงขึ้นตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจและการเมืองของโลกดังนั้นจึงเกิดการตื่นตัวในการหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงสูงขึ้น ด้วยสาเหตุนี้ประเทศไทยจึงได้พัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียนให้เป็นที่นิยมใช้มากขึ้น เพื่อเป็นการที่จะนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ภายในประเทศในปริมาณมากขึ้น เพื่อช่วยลดการใช้ทรัพยากรจากฟอสซิลและลดปริมาณเงินในการซื้อทรัพยากรจากฟอสซิล อีกทั้งยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมโลกอีกด้วย แต่การจะนำพลังงานหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้นั้นต้องผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนนั้นจะได้ไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีคือ ลดการสูญเสียขณะส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยปราศจากการสูญเสียอันเป็นผลมาจากตัวเหนี่ยวนำแฝงในสายส่ง แต่อย่างไรก็ตามไฟฟ้ากระแสตรงก็ยังมีข้อเสียคือ ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นยกเว้นระดับแรงดันได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาหนึ่งในนั้นคือวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับคือการนำแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งมาประยุกต์ใช้เพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตามที่ต้องการ ทำให้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าของเรานั้นมีขนาดเล็กลง ในปัจจุบันวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับมีหลายชนิด อาทิเช่น วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter), วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์-เตอร์ (Push-Pull Converter), ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter) และวงจรฟลายอิงคาปาซิเตอร์คอนเวอร์เตอร์ (Flying Capacitor Multilevel DC – DC Converter, FCMDC) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวงจรที่ได้กล่าวถึงนั้นจะมีข้อเสียอยู่บางประการดังเช่น วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์มีข้อเสียคือวงจรมีตัวเหนี่ยวนำ ทำให่วงจรมีน้ำหนักมาก, วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ มีข้อเสียคือ ส่งผ่านพลังงานได้ทิศทางเดียว, วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ มีข้อเสียคือ มีการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์ (Switch Utilization) ที่ไม่ดี กล่าวคือ เมื่อใช้ในพิกัดกำลังไฟฟ้าที่เท่ากันวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต้องใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่มีพิกัดสูงกว่า และวงจรฟลายอิงคาปาซิเตอร์คอนเวอร์เตอร์ มีข้อเสียคือการควบคุม

ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน จึงทำให้เกิดการคิดค้นวงจรใหม่ขึ้นมาที่เรียกว่า วงจร Multilevel Modular Capacitor – Clamped DC to DC Converter (M^2C^3) ซึ่งมีข้อดีคือ ควบคุมการสวิตช์ง่าย, ไม่ใช่ตัวเหนี่ยวนำในวงจรทำให้วงจรมีน้ำหนักเบา, สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง, วงจรมีความน่าเชื่อถือสูงเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นโมดูล เป็นต้น ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงในภายหลัง และเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ระบบจึงได้ทำการเพิ่มหม้อแปลงความถี่สูงเข้าไประหว่าง M^2C^3 สองระบบ ทำให้มีข้อดีคือในกรณีที่บางแหล่งจ่ายไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ หม้อแปลงจะทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งได้ รวมทั้งยังแยกกราวด์วงจรสองวงจรได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเพิ่มแรงจูงใจในการใช้พลังงานทดแทน
2. เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบไมโครกริด
3. เพื่อลดจำนวนแบตเตอรี่ที่นำมาต่อในระบบพลังงานสำรอง
4. เพื่อนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาประเทศในอนาคต

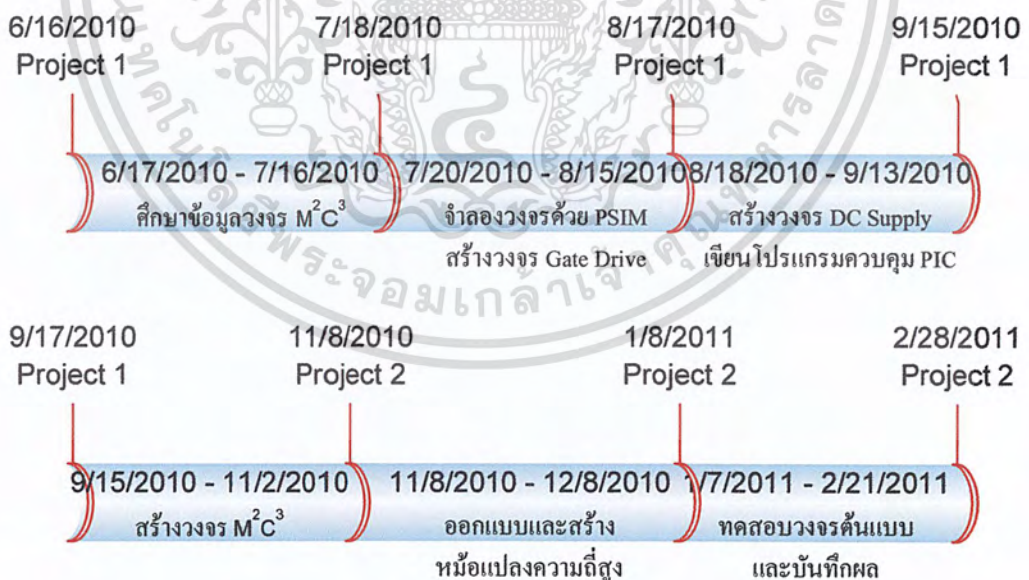
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้เราจะศึกษาและสร้างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับโดยใช้เทคนิค M^2C^3 ที่มีการเชื่อมต่อผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ความสามารถของวงจรและประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

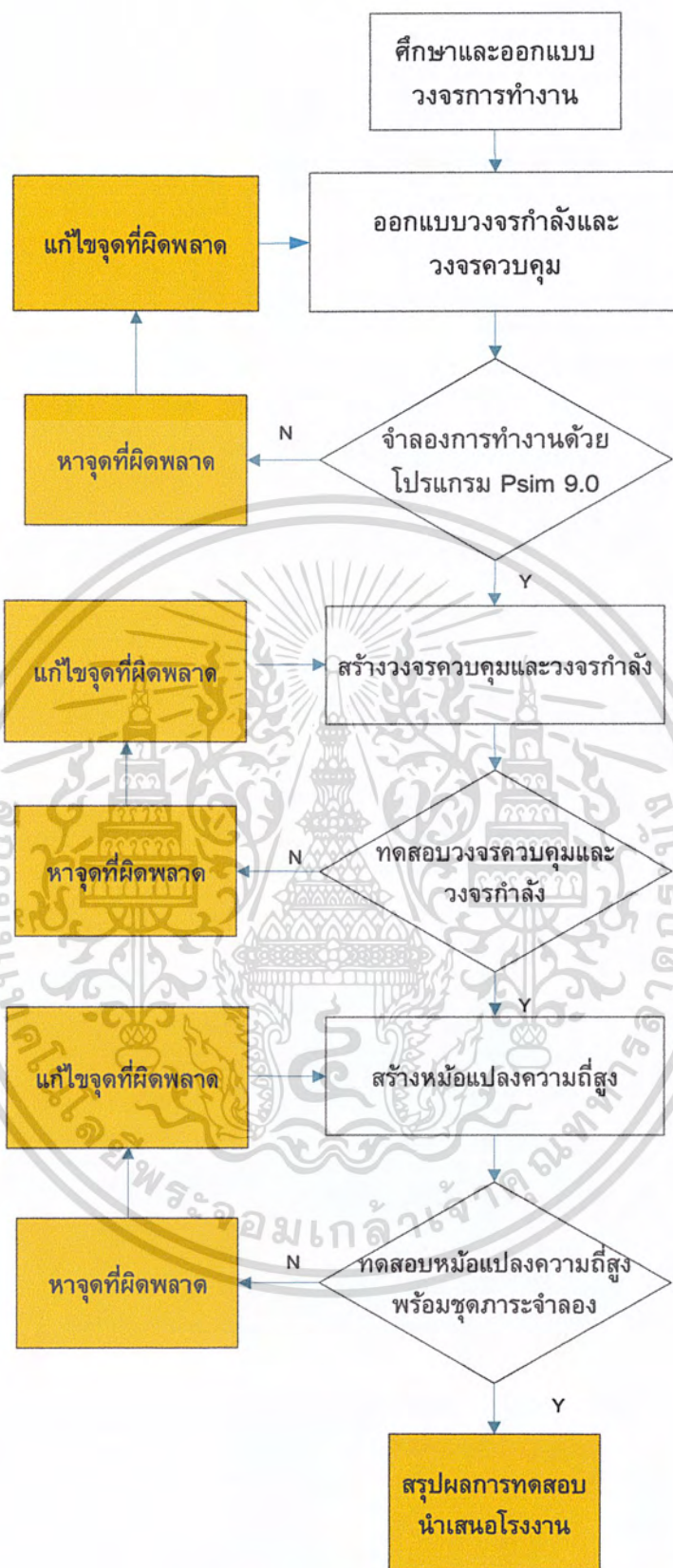
1. ศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย อาทิเช่น ระบบไมโครกริด , วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดคาปาซิเตอร์เคลมป์ (M^2C^3) หม้อแปลงความถี่สูง
2. จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมดรวมทั้งศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. ออกแบบและสร้างวงจร M^2C^3 ชุดแรกเพื่อทำการศึกษาวงจร M^2C^3 ให้ต้องแท้และสร้างวงจร M^2C^3 ชุดที่สอง
4. ออกแบบและสร้างหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อนำมาต่อระหว่างวงจร M^2C^3 2 วงจร
5. จัดทำสรุป, ขั้นตอนการทำ, สรุปผลการทดลอง รวมทั้งบันทึกค่าที่ได้เพื่อรวบรวมและนำไปเสนอต่ออาจารย์สำหรับวิชาโครงการนักศึกษาในระดับปริญญาตรี

1.5 แผนการดำเนินโครงการ



รูปที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แผนผังโครงการที่ดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. โครงการวิจัยนี้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำการทดลองมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีภายในประเทศ
3. โครงการวิจัยนี้เป็นการบูรณาการของวิทยาการด้านต่าง ๆ คือด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทฤษฎีทางระบบควบคุม และวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังเข้าด้วยกันซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ศึกษาและทำวิจัยในสาขาดังกล่าว

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

ปฏิญญาพันธฉบับนี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการนำหม้อแปลงความถี่สูงมาประยุกต์รวมกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางเพื่อทำการแยกกรวด์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาวัตถุประสงค์ของโครงการของเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานทางที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสหลายระดับแบบสองทิศทางโดยใช้เทคนิคแบบ M^2C^3 และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกำลัง วงจรควบคุม วงจรขับสัญญาณเกต และการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อโปรแกรมว่า Psim 9.0 เพื่อยืนยันหลักการที่ได้นำเสนอและผลการทดลองวงจร M^2C^3 ที่ใช้หม้อแปลงความถี่สูง

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วย รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงบทความวิชาการ และโปสเตอร์นำเสนอผลงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

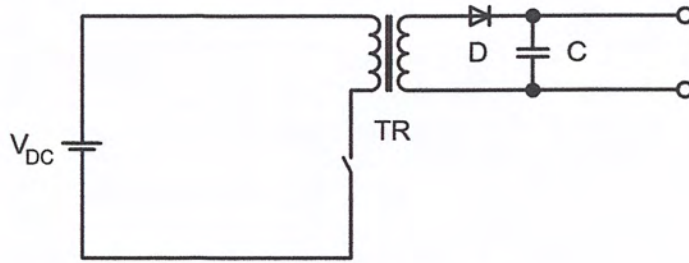
การศึกษาทางด้านอุปกรณ์แปลงผันพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้อุปกรณ์แปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับเองนั้นก็ยังมีลักษณะการทำงานและคุณสมบัติต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับในโครงงานนี้วงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่นำมาศึกษาคือชนิด Multilevel modular Capacitor Clamped DC-DC Converter (M^2C^3) ที่สามารถส่งกำลังได้สองทิศทาง เพราะลักษณะที่เป็นโมดูลของตัววงจรซึ่งทำให้วงจรมีลักษณะคล้ายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันอัตโนมัติที่มีหลายแท็ป (Tap) เพื่อเลือกใช้ระดับแรงดันต่างๆ กัน ความสามารถในการควบคุมการไหลของพลังงานได้สองทิศทาง และความสามารถในการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายภาระไฟฟ้าได้หลายชุด

2.2 วงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบเดิม

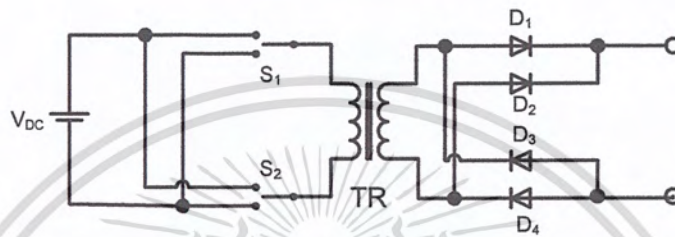
วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันมีหลายวงจร เช่น วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter), วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter), พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter) และวงจรฟลายอิงคาปาซิเตอร์คอนเวอร์เตอร์ (Flying Capacitor Multilevel DC – DC Converter, FCMD) ซึ่งแต่ละวงจรมีข้อดีและข้อเสียจะแสดงได้ดังนี้

2.2.1 Flyback Converter

วงจรชนิดนี้มีข้อดีคือเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการประกอบและยังส่งผลให้ง่ายต่อการควบคุมแบบ closed loop ด้วย นอกจากนี้วงจรชนิดนี้ยังมีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงความถี่สูงอีก แต่อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือแรงดันที่ได้จากฝั่งเอาต์พุตจะมีขนาดเป็นสองเท่า ดังนั้นอุปกรณ์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถทนแรงดันได้เป็นสองเท่าด้วย นอกจากนี้ในวงจรนี้ยังใช้ตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีน้ำหนักมากและมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้วงจรมีขนาดใหญ่อีกด้วย และวงจรยังสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้เพียงทิศทางเดียว รูปวงจรแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Flyback Converter



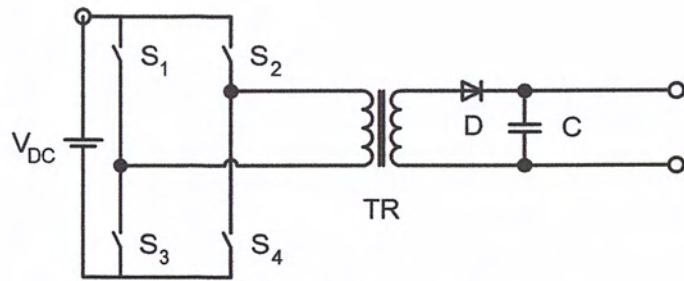
รูปที่ 2.2 Push-Pull Converter

2.2.2 Push-Pull Converter

วงจรแปลงผันระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประเภทนี้มีข้อดีคือวงจรมีขนาดเล็กกะทัดรัดและยังสามารถแยกกราวด์ทางไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับวงจรชนิด Flyback converter ด้วยเช่นกัน แต่ในทางกลับกันก็มีข้อเสียเช่นเดียวกับวงจร Flyback converter คือเรื่องพิกัดแรงดันของสวิตช์และการส่งผ่านกำลังได้ทิศทางเดียว รูปวงจรแสดงในรูปที่ 2.2

2.2.3 Full Bridge Converter

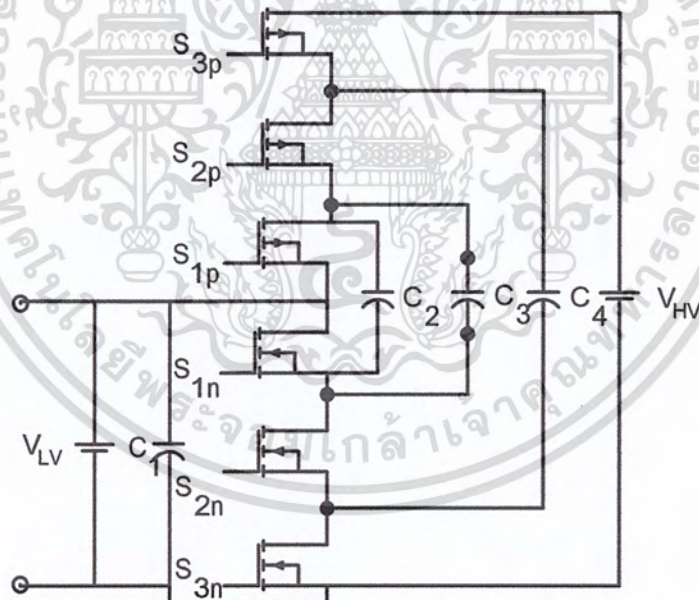
ข้อดีของวงจรแบบ Full bridge converter ที่โดดเด่นคือสามารถส่งผ่านกำลังได้สองทิศทางและยังสามารถทำงานได้ทั้งเป็นวงจรแปลงผันแรงดันกระแสตรงหรือวงจรอินเวอร์เตอร์ก็ได้ แต่ก็มีข้อเสียของวงจรประเภทนี้ก็คือกราวด์ของสวิตช์จะลอยอยู่เนื่องจากสวิตช์ต้องต่อกับด้านแรงดันบวกของวงจรและประเด็นเรื่องการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ (Switch Utilization) รูปวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Full Bridge Converter

2.2.4 Flying Capacitor Multilevel DC-DC converter

วงจรชนิดนี้มีข้อดีเช่นเดียวกับวงจรชนิด Full Bridge converter คือสามารถส่งกำลังได้สองทิศทาง สามารถส่งผ่านกำลังได้สองทิศทาง และนอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มแรงดันได้เป็นระดับและตัววงจรยังมีน้ำหนักเบาเนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ แต่วงจรชนิดนี้ก็มีข้อเสียคือโครงสร้างของวงจรซับซ้อน ทำให้การเพิ่มหรือลดระดับแรงดันเป็นไปได้ยาก และสวิตช์ที่ใช้ในวงจรมีจำนวนมากทำให้การควบคุมสวิตช์นั้นทำได้ยากอีกด้วย แสดงรูปวงจรในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Flying Capacitor DC-DC converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรแปลงผันระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ (Multilevel modular Capacitor Clamped DC-DC Converter, M^2C^3)

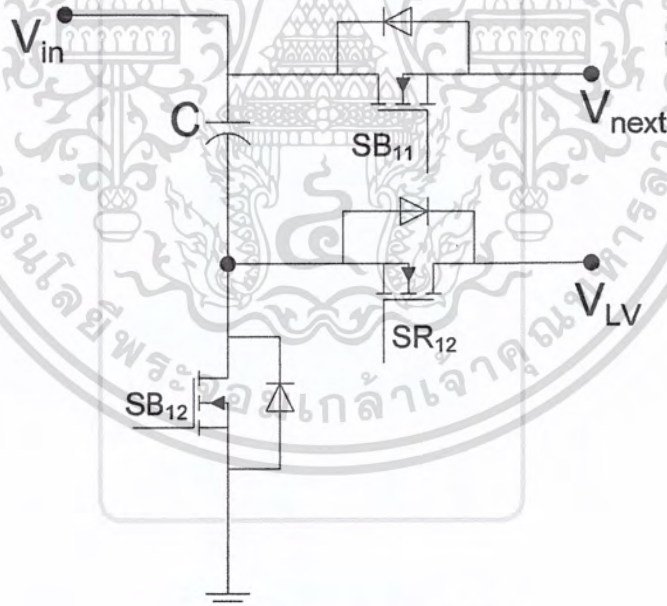
ในปัจจุบันวงจร M^2C^3 ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในยานพาหนะไฮบริด (ใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงร่วมกับพลังงานไฟฟ้า) หรือใช้กับยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน เช่น พลังงานไฮโดรเจน ซึ่งระบบไฟฟ้าในยานพาหนะจำพวกนี้จะเป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและมีระดับแรงดันที่แตกต่างกันอยู่สองระดับ คือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งมีแรงดันสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งจะเชื่อมต่อกันด้วยวงจร M^2C^3 ซึ่งมีข้อเด่นคือ ไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำในวงจร, สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง, วงจรมีความน่าเชื่อถือสูงเพราะโครงสร้างที่เป็นโมดูลและวงจรสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้จึงสามารถนำภาระไฟฟ้ากระแสสลับหรือหม้อแปลงมาเชื่อมต่อได้ [1] วงจร M^2C^3 มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) เพราะมีข้อดีที่เด่นชัดคือ

- ใช้ตัวเก็บประจุในเก็บพลังงานแทนการใช้ตัวเหนี่ยวนำ ทำให้วงจรมีน้ำหนักเบากว่าวงจรที่มีการใช้ตัวเหนี่ยวนำที่พิกัดกำลังเดียวกัน
- มีค่าแรงดันกระแสเฟรมและกระแสเฟรมที่ฝั่งขาออกต่ำ
- สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง ทำให้เชื่อมต่อระหว่างบัสของไมโครกริดกับแบตเตอรี่ได้
- มีรูปแบบการควบคุมสวิตช์ที่ง่าย ไม่ซับซ้อน
- สามารถแท็ปแรงดันได้หลายระดับแรงดัน
- ลักษณะโครงสร้างวงจรเป็นโมดูลหลายโมดูลประกอบกัน จึงทำให้สะดวกในเพิ่มหรือลดระดับการแปลงผันแรงดัน
- สามารถนำหม้อแปลงความถี่สูงมาต่อเชื่อมวงจร M^2C^3 สองชุดเพื่อให้อุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าและแยกกราวด์แต่ละชุด ทำให้เพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ใช้และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

2.3.1 โครงสร้างแบบโมดูล

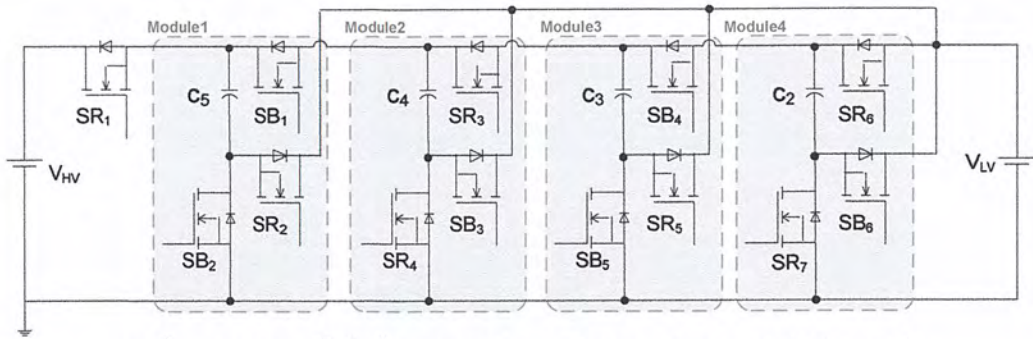
ลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของวงจร M^2C^3 คือการที่มีโครงสร้างแบบโมดูล โดยที่โมดูลแต่ละโมดูลที่ใช้ในวงจรนั้นสามารถทำงานหรือส่งข้าม (Bypass) ได้ โดยโมดูลแต่ละชุดจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์สามตัวและตัวเก็บประจุหนึ่งตัวเพื่อให้ได้โมดูลที่มีจุดต่อสามจุดดังแสดงในรูปที่ 2.5

การเชื่อมต่อแต่ละโมดูลเพื่อประกอบเป็นวงจร M^2C^3 นั้นทำได้โดยการเชื่อมต่อ V_{next} ของโมดูลก่อนหน้าเข้ากับ V_{in} ของโมดูลถัดไป และเชื่อมต่อ V_{LV} ของทุกโมดูลเข้าด้วยกัน สำหรับในโมดูลแรกสุด จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับฝั่งแรงดันสูงซึ่งอาจจะเป็นระบบไฟฟ้าจากส่วนกลางหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงใดๆผ่านสวิตช์ SR_1 ส่วนในโมดูลสุดท้ายของวงจรจะต่อจุด V_{next} และ V_{LV} เข้าด้วยกันเพื่อต่อเข้ากับด้านแรงดันต่ำเช่น แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้ เป็นต้น ในการส่งข้ามโมดูลที่ใดก็สามารถทำได้โดยการกำหนดให้สวิตช์ตัวบนสุดของโมดูลที่ต้องการจะส่งข้าม (เช่น สวิตช์ SB_1 ของโมดูลที่หนึ่ง ในรูปที่ 2.6) ให้ทำงานตลอดเวลา และกำหนดให้สวิตช์ที่เหลือไม่ทำงาน



รูปที่ 2.5 โมดูลวงจร M^2C^3

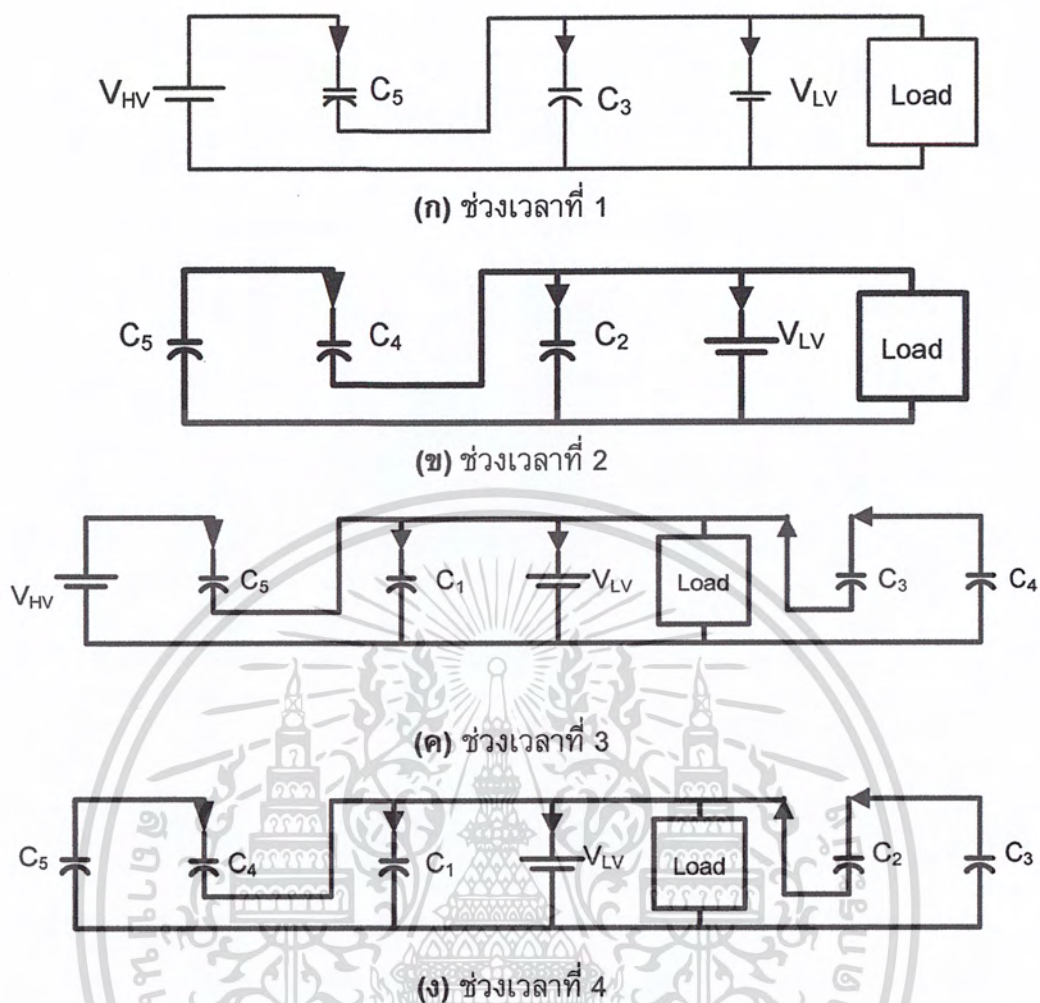
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



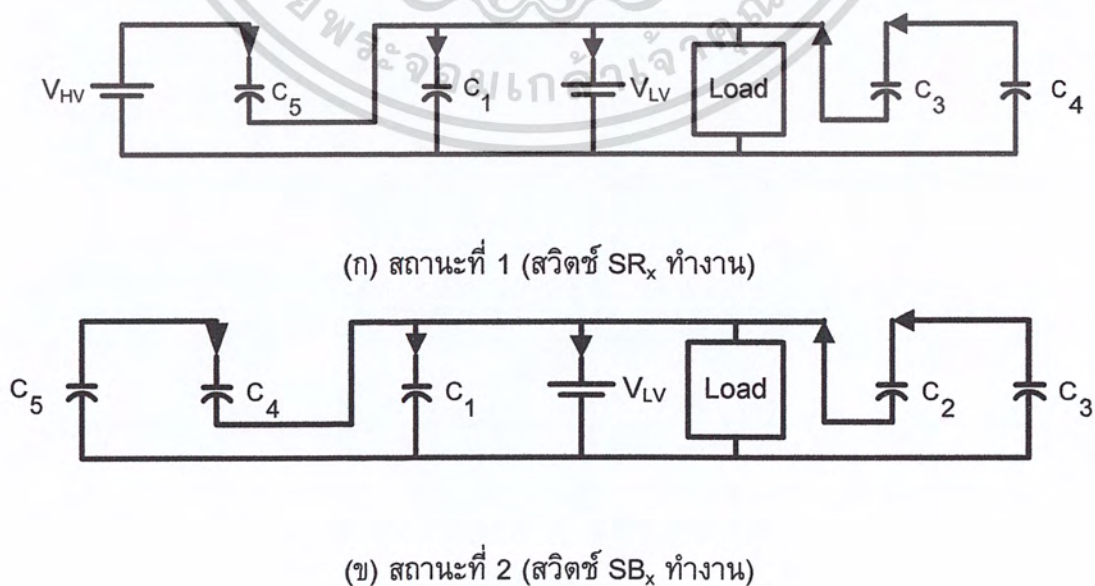
รูปที่ 2.6 วงจร M^2C^3 ที่ประกอบด้วย 4 โมดูล แปลงแรงดันได้ 5 ระดับ

2.3.2 การควบคุมทำงานของสวิตช์

ในการทำงานของวงจร M^2C^3 จำเป็นต้องใช้การทำงานของสวิตช์เพื่อช่วยในการเก็บและคายประจุในตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่เก็บพลังงานไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า ในกรณีที่ใช้วงจร M^2C^3 4 ระดับเช่นเดียวกับในรูปที่ 2.6 ลำดับการทำงานของสวิตช์ในแต่ละช่วงเวลาเริ่มตั้งแต่รอบการทำงานแรกจะแสดงได้คือ ในรูปที่ 2.7 (ก) แสดงการทำงานในช่วงเวลาแรกของวงจร โดยแรงดัน V_{HV} จะทำการชาร์จตัวเก็บประจุ C_5 จากนั้นในช่วงเวลาที่สอง ตัวเก็บประจุ C_5 จะคายประจุเพื่อชาร์จตัวเก็บประจุ C_4 ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7 (ข) ในช่วงเวลาถัดมา ตัวเก็บประจุ C_4 จะคายประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_3 ในขณะเดียวกันแรงดัน V_{HV} จะทำการชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_5 เช่นเดียวกับในช่วงเวลาที่ 1 ซึ่งการชาร์จประจุให้กับ C_3 และ C_5 สามารถทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกันได้จะเห็นได้ในรูปที่ 2.7 (ค) และในช่วงเวลาที่ 4 ถูกแสดงโดยรูปที่ 2.7 (ง) ตัวเก็บประจุ C_5 ก็จะชาร์จประจุให้กับ C_4 และเช่นเดียวกับในช่วงเวลาก่อนหน้า C_3 สามารถชาร์จประจุให้กับ C_2 ได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจากจุดนี้จะเห็นได้ว่าตัวเก็บประจุทั้งหมดในวงจรได้มีการชาร์จและคายประจุครบทั้งหมดแล้ว ทำให้ทราบถึงการทำงานของวงจร M^2C^3 ในช่วงสภาวะคงตัว ได้เป็น 2 สถานะดังในรูปที่ 2.8 (ก) และ 2.8 (ข) ตามลำดับ

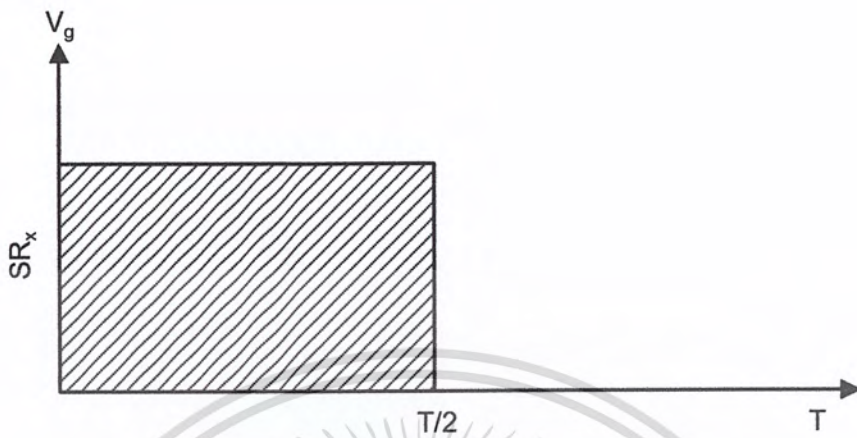


รูปที่ 2.7 ลำดับการชาร์จ - คายประจุ

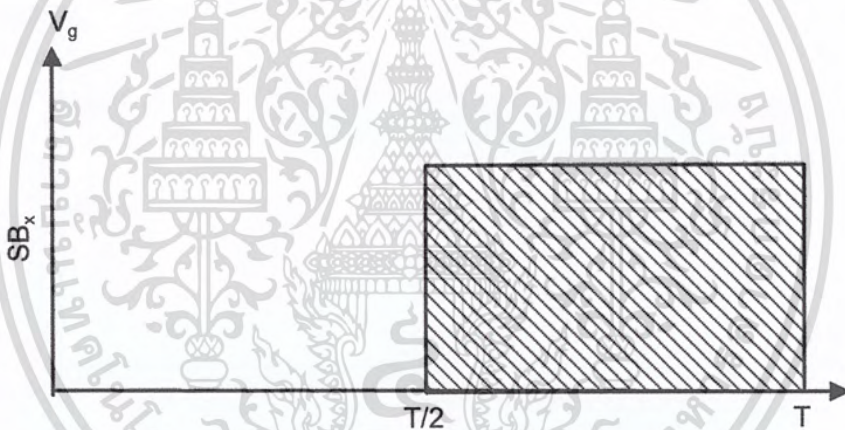


รูปที่ 2.8 สถานะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณสำหรับควบคุมสวิตช์ SR_x (สถานะที่ 1)



(ก) สัญญาณสำหรับควบคุมสวิตช์ SB_x (สถานะที่ 2)

รูปที่ 2.9 สัญญาณควบคุมสวิตช์

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าในสถานะที่ 1 จะสวิตช์ที่ทำงานคือสวิตช์ $SR_1 - SR_7$ และสวิตช์ $SB_1 - SB_6$ ทำงานในช่วงสถานะที่ 2 ดังนั้นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ทั้งหมดจึงเป็นสัญญาณที่มามีการทำงานเพียงครั้งหนึ่งของคาบการสวิตช์ดังเช่นในรูปที่ 2.9

2.3.3 การแปลงระดับแรงดันหลายระดับและการไหลของพลังงานสองทิศทาง

ด้วยลักษณะโครงสร้างแบบโมดูลของวงจร M^2C^3 นี้ทำให้วงจรดังกล่าวมีความสามารถในการแปลงระดับแรงดันได้เป็นจำนวนเท่าของแรงดันฝั่งแรงสูงหรือแรงต่ำ และยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้อีกด้วย ซึ่งอัตราการแปลงผัน (Conversion Ratio; CR) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$CR = n + 1 \quad (2.1)$$

โดยที่

CR คือ อัตราแปลงผัน (Conversion Ratio)

n คือ จำนวนโมดูลที่ทำงานในวงจร

กล่าวคือหากในวงจร M^2C^3 มีโมดูลที่ต่อกันอยู่ 4 โมดูลและไม่มีโมดูลใดถูกส่งข้าม วงจรดังกล่าวจะมีแรงดันฝั่งแรงดันสูงเป็น 5 เท่าของแรงดันฝั่งแรงดันต่ำ ในกรณีที่ฝั่งแรงดันต่ำมีแรงดันเท่ากับ 48 V จะทำให้ฝั่งแรงดันสูงมีแรงดันเท่ากับ 240 V นั่นเอง

คุณสมบัติอีกประการของวงจร M^2C^3 คือการส่งผ่านพลังงานได้สองทิศทาง โดยใช้หลักการของการสมมูลพลังงานในปลายของแต่ละฝั่งของวงจร พลังงานจะสามารถไหลผ่านจากฝั่งแรงดันสูงไปยังฝั่งแรงดันต่ำหรือไหลจากฝั่งแรงดันต่ำกลับไปหาฝั่งแรงดันสูงก็ได้ ซึ่งเงื่อนไขในการกำหนดทิศทางการไหลของพลังงานจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแหล่งจ่ายแรงดัน (Ratio of Voltage Source: RVS) โดย RVS จะเป็นไปตามสมการที่ 2.2

$$RVS = \frac{V_{HV}}{V_{LV}} \quad (2.2)$$

โดยที่

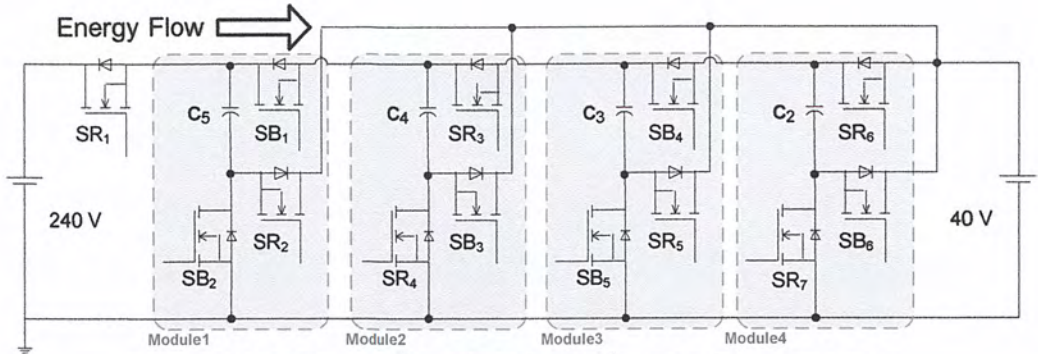
RVS คือ อัตราส่วนของแหล่งจ่ายแรงดัน

V_{HV} คือ ระดับแรงดันฝั่งแรงดันสูง

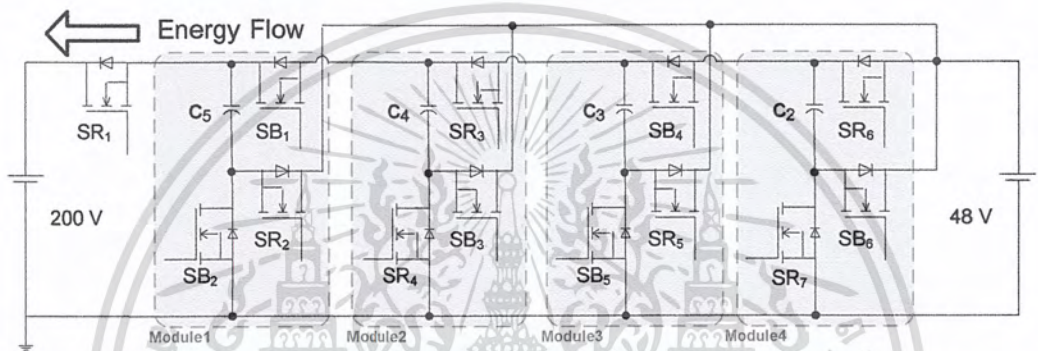
V_{LV} คือ ระดับแรงดันฝั่งแรงดันต่ำ

ในรูปที่ 2.10 (ก) แสดงทิศทางการไหลของพลังงานจะมีทิศทางจากฝั่งแรงดันสูงไปฝั่งแรงดันต่ำ เมื่อ RVS มีค่าเท่ากับ 6 และ CR มีค่าเป็น 5 แต่เมื่อฝั่งแรงดันสูงมีแรงดันลดลงเหลือ 200 V ทำให้ RVS เปลี่ยนไปเป็น 4.16 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า CR ทำให้พลังงานไหลกลับทิศทางไปจากฝั่งแรงดันต่ำไปยังฝั่งแรงดันสูงดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ข) และรูปที่ 2.10 (ค) ระดับแรงดันฝั่งแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 240 V ทำให้ RVS เพิ่มขึ้นมาจนมีค่าเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นค่าเดียวกับ CR จำทำ
ให้พลังงานที่ปลายทั้งสองฝั่งสมดุลกัน ซึ่งจะทำให้ไม่มีพลังงานไหลในวงจร

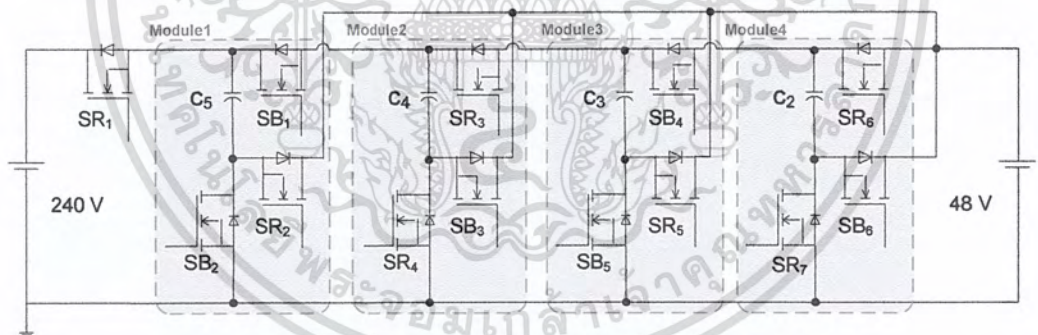
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) พลังงานไหลจากฝั่งแรงดันสูงไปยังฝั่งแรงดันต่ำ ($RVS > CR$)



(ข) พลังงานไหลจากฝั่งแรงดันต่ำไปยังฝั่งแรงดันสูง ($RVS < CR$)



(ค) ไม่มีพลังงานไหลในวงจร ($RVS = CR$)

รูปที่ 2.10 ทิศทางการไหลของพลังงานในวงจร M^2C^3

2.3.4 การต่อเชื่อมแหล่งจ่าย - โหลดหลายแหล่ง

ด้วยลักษณะที่เป็นโมดูลของวงจร M^2C^3 ทำให้เกิดแรงดันต่อเนื่องที่จุดต่อของโมดูลแต่ละโมดูล ซึ่งแรงดันต่อเนื่องนี้สามารถนำไปใช้ในการเชื่อมต่อหลายแหล่งจ่ายสำหรับระบบที่ต้องการระดับแรงดันที่หลากหลายได้ ดังรูปที่ 2.11

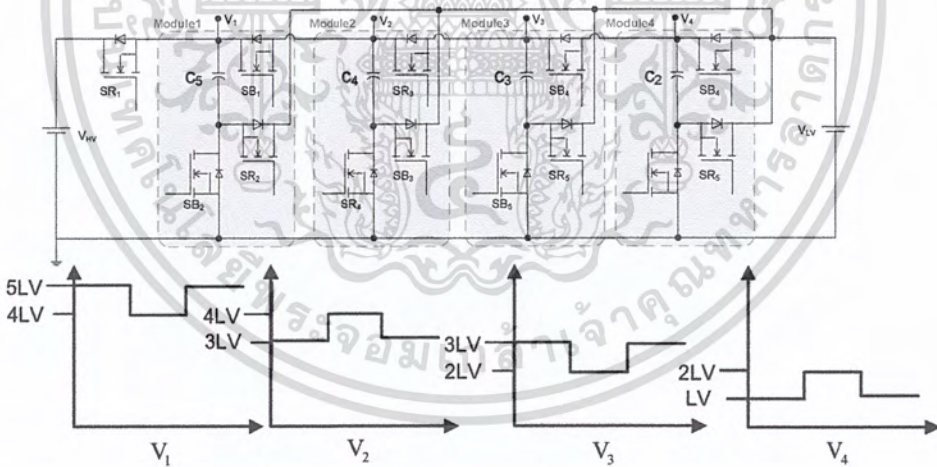
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ได้จากจุดต่อร่วมระหว่างโมดูลจะมีขนาดเป็นจำนวนเท่าของระดับแรงดันด้านแรงดันต่ำเมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อให้ได้ระดับแรงดันกระแสตรงจึงจำเป็นต้องจับคู่จุดต่อที่อยู่ติดกันออกไปตามที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1

ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถนำแหล่งจ่ายหรือโหลดต่อเข้ากับวงจร M^2C^3 ได้ โดยในกรณีที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงที่มีขนาดมากกว่าแรงดันตกคร่อมจุดต่อใดๆ แหล่งจ่ายนั้นจะจ่ายกำลังกลับคืนให้กับวงจร M^2C^3 ได้เช่นเดียวกับการต่อแหล่งจ่ายเข้าที่ฝั่งแรงดันสูง และในทางตรงกันข้ามเมื่อนำระดับแรงดันนั้นมาต่อเพื่อจ่ายให้กับโหลด วงจร M^2C^3 ก็จะจ่ายกำลังให้กับโหลดนั้นเช่นกัน

ตารางที่ 2.1 แรงดันที่จุดต่อร่วมของแต่ละโมดูล

สถานะ	สวิตช์ที่ทำงาน	V_1	V_2	V_3	V_4
1	SR_x	$5V_{LV}$	$4V_{LV}$	$3V_{LV}$	$2V_{LV}$
2	SB_x	$4V_{LV}$	$3V_{LV}$	$2V_{LV}$	$1V_{LV}$



รูปที่ 2.11 แรงดันที่ได้จากจุดต่อระหว่างโมดูล

2.3.5 การสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจร M^2C^3

ถึงแม้ว่าวงจร M^2C^3 จะเป็นวงจรแปลงระดับแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรง แต่ด้วยการทำงานของสวิตช์ที่มีลักษณะการทำงานเพียง 2 แบบดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้วงจร M^2C^3 สามารถประยุกต์เพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับออกมาได้เช่นกัน โดยแรงดันกระแสสลับที่สร้างได้จากวงจร M^2C^3 นั้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ที่มีความถี่เท่ากับ ความถี่สวิตช์ของวงจร ด้วยลักษณะนี้เองที่ทำให้วงจร M^2C^3 สามารถเชื่อมต่อแบบไฮบริดจ์ได้

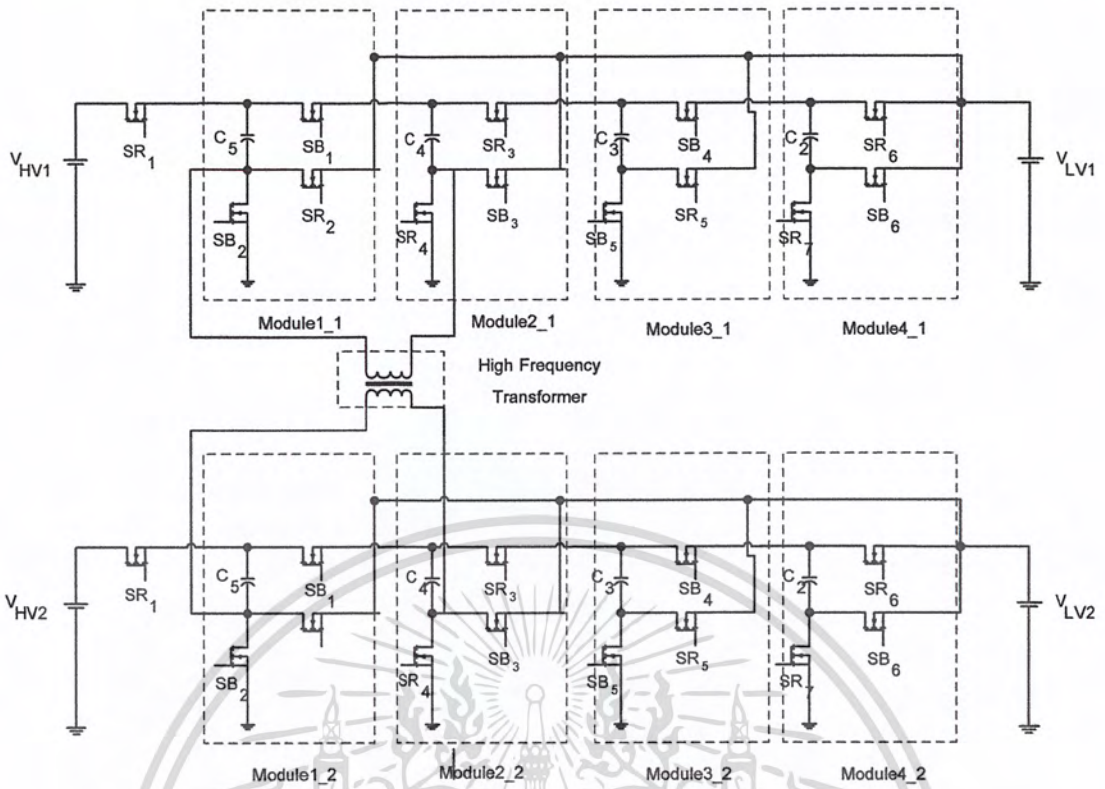
สำหรับการนำแรงดันกระแสสลับจากวงจร M^2C^3 นั้นใช้หลักการเดียวกับการเชื่อมต่อแหล่งจ่าย - โหลดหลายแหล่ง จะแตกต่างกันในส่วนของตำแหน่งที่ทำการเชื่อมต่อ ในกรณีของการต่อแหล่งจ่าย - โหลดหลายแหล่งแบบกระแสตรงจะทำการต่อแหล่งจ่ายหรือโหลดเข้ากับจุดต่อของโมดูลที่อยู่ถัดไป แต่ในกรณีของการนำแรงดันกระแสสลับมาใช้นั้น จำเป็นต้องต่อคร่อมขั้วลบของตัวเก็บประจุในโมดูลที่อยู่ติดกันแทน ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันกระแสสลับที่มีขนาดเท่ากับ $\pm V_{LV}$ สำหรับทุกๆโมดูล

โดยแรงดันกระแสสลับที่สร้างได้นี้สามารถนำไปใช้กับโหลดกระแสสลับ หรือนำไปผ่านการกรองกระแสเพื่อให้ได้แรงดันกระแสตรง และรวมไปถึงนำไปจ่ายให้กับหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบอื่นๆได้ด้วยเช่นกัน

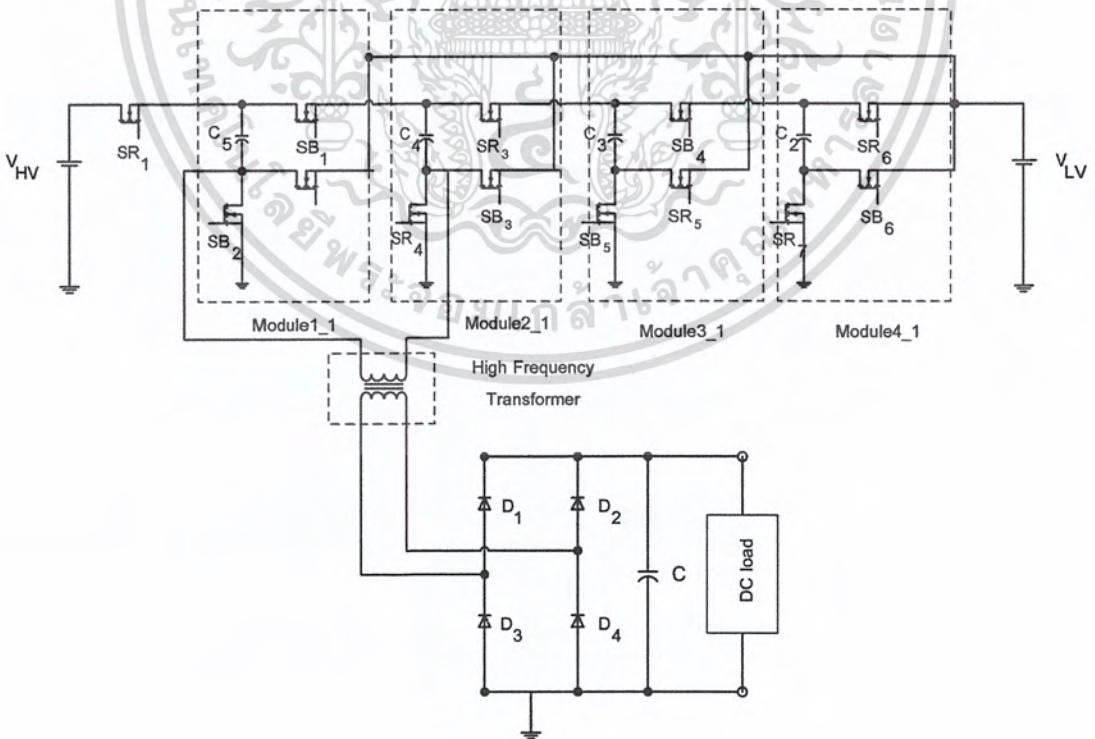
2.3.6 การสร้างเอาต์พุตแบบแยกกราวด์

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าวงจร M^2C^3 ที่ได้ทำการศึกษานั้นสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงหรือกระแสสลับได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ต่อภาระเข้ากับวงจร นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มประโยชน์ใช้สอยให้กับวงจร M^2C^3 นี้ได้อีกโดยการเชื่อมต่อวงจรนี้เข้ากับหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อสร้างเอาต์พุตแบบแยกกราวด์ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าโดยตรงหรือนำไปเชื่อมต่อกับวงจร M^2C^3 อีกชุดหนึ่งก็ได้เช่นกัน

วัตถุประสงค์ของการสร้างเอาต์พุตแบบแยกกราวด์จากวงจร M^2C^3 นี้เนื่องมาจากหลักการการทำงานของ M^2C^3 คือการรักษาสมดุลของพลังงานทั้งสองฝั่งของวงจร ซึ่งในกรณีที่มีภาระทางไฟฟ้าอื่นต่อเข้ากับวงจรโดยตรง ภาระนั้นอาจรับกวนสมดุลของพลังงานที่ฝั่งปลายทั้งสองของวงจรได้ ซึ่งการแยกภาระดังกล่าวออกจากวงจรทางไฟฟ้าจะสามารถแก้ปัญหาตรงนี้ได้ จึงเป็นที่มาของแนวคิดนี้



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 ผ่านทางหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อแยกกราวด์ทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงแบบแยกกราวด์ทางไฟฟ้าจากวงจร M^2C^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อหม้อแปลงกำลังความถี่สูงเข้ากับจุดที่ต้องการต่อภาระภายนอกเพิ่มเติม ซึ่งจะทำให้ลักษณะแรงดันที่ผ่านออกมาจากหม้อแปลงมีลักษณะเป็นแรงดันสี่เหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ดังเช่นที่ได้กล่าวไว้แล้ว อย่างไรก็ตามแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าก็สามารถสร้างได้จากแนวคิดนี้เช่นกัน โดยทำการเชื่อมต่อวงจรกรองกระแสกับฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงอีกชั้นหนึ่ง

2.4 การออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูง

การออกแบบหม้อแปลงกำลังความถี่สูงนั้นมีหลักการเหมือนกับการออกแบบหม้อแปลงกำลังทั่วไป ซึ่งใช้หลักการของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบมีดังนี้

- ขนาดของกำลังเอาต์พุต
- ขนาด รูปร่าง และความถี่ของแรงดันและกระแสที่ใช้
- ประสิทธิภาพและกำลังสูญเสีย
- คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลอื่นๆ

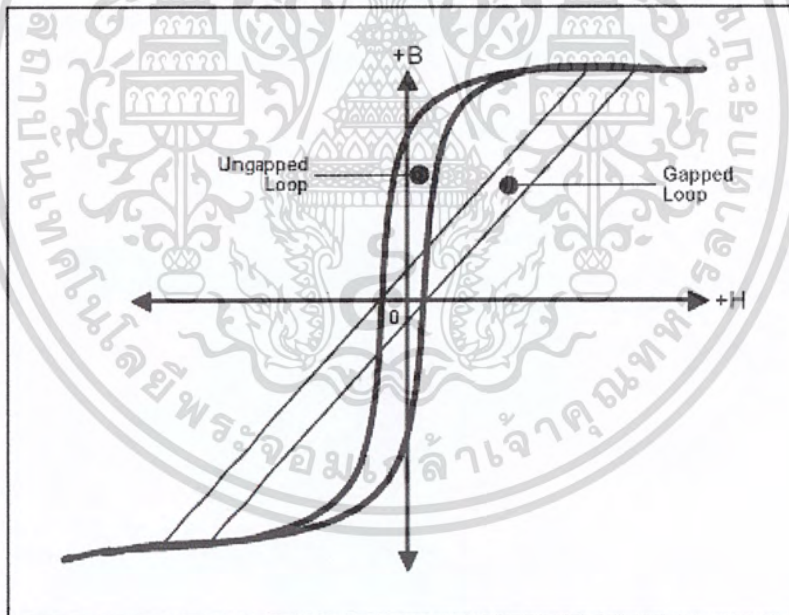
โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ทำหม้อแปลงความถี่สูงต้องสอดคล้องกับการใช้งานของหม้อแปลงด้วย นั่นคือการใช้แกนแม่เหล็ก ขนาดและจำนวนรอบของขดลวดที่นำมาใช้ รวมไปถึงลักษณะและชนิดของฉนวนที่ใช้กับหม้อแปลงความถี่สูง

2.4.1 แกนแม่เหล็ก

แกนแม่เหล็กที่นิยมใช้กับหม้อแปลงความถี่สูงนั้น จะเป็นแกนแม่เหล็กที่ทำมาจากเฟอร์ไรต์ (Ferrite) โดยเฟอร์ไรต์เป็นสารประกอบของโลหะออกไซด์ซึ่งจัดว่าเป็นเซรามิกชนิดหนึ่งซึ่งสามารถใช้เป็นแกนแม่เหล็กสำหรับหม้อแปลงที่ทำงานได้ถึงระดับเมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเหตุผลที่แกนแม่เหล็กชนิดนี้ได้รับความนิยมสำหรับการใช้งานเป็นแกนแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูงเนื่องจากค่าความสูญเสียในแกนและราคาที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับแกนแม่เหล็กชนิดอื่น เช่น แกนชนิดพาวเดอร์เมทัล (Powdered Metal) และถึงแม้ตัวแกนชนิดเฟอร์ไรต์จะมีค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กอิมิตัวที่ต่ำกว่าแกนชนิดอื่น แต่การทำงานที่ความถี่สูงนั้นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิมิตัวไม่ใช่เป็นข้อจำกัดของการทำงานโดยเฉพาะกับการใช้งานของหม้อแปลงชนิดจำกัดที่ควรพิจารณาคือความสูญเสียในแกนมากกว่า [2]



รูปที่ 2.14 แกนแม่เหล็กรูปร่างต่างๆ



รูปที่ 2.15 B-H curve ของแกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ที่มีและไม่มีช่องว่างอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ใช้งาน

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าวงจร M^2C^3 สามารถสร้างแรงดันกระแสสลับที่มีรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ความถี่สวิตช์ ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อใช้งานร่วมกับวงจรดังกล่าวจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วยเช่นกัน โดยสมการสำหรับการออกแบบจำนวนรอบที่ใช้ร่วมกับหม้อแปลงความถี่สูงที่มีรูปคลื่นเป็นสี่เหลี่ยมคือ

$$N = \frac{V}{2n \cdot B_{\max} \cdot S \cdot f_s} \quad (2.3)$$

โดยที่

- N คือ จำนวนรอบของขดลวด
- V คือ ระดับแรงดันที่
- B_{\max} คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด
- S คือ พื้นที่ผิวของแกน
- f_s คือ ความถี่ของการสวิตช์
- n คือ ตัวคูณลักษณะกระแส DC Magnetizing

สำหรับตัวคูณการแสด DC Magnetizing นี้พิจารณาได้จากรูปคลื่นของแรงดันที่ใช้ร่วมกับหม้อแปลง 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]

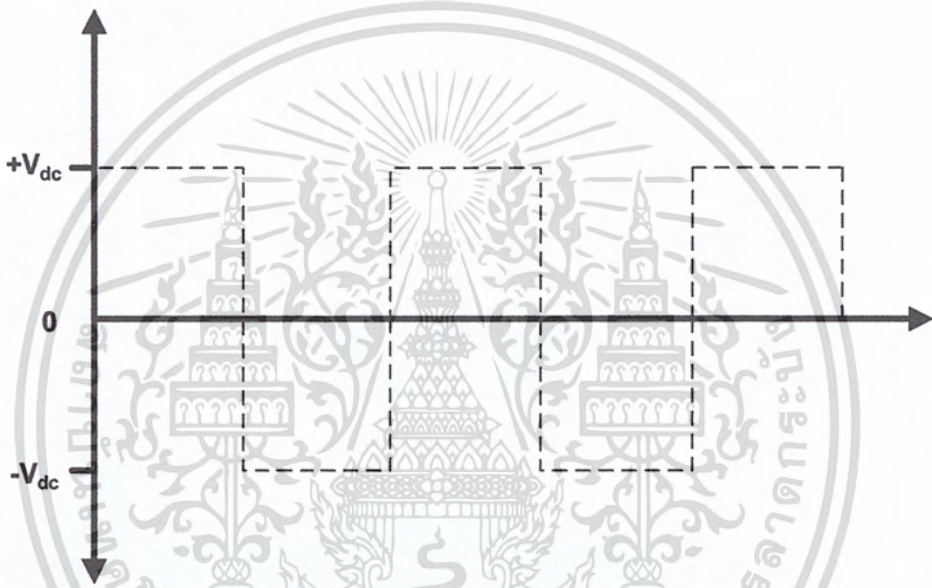
เมื่อคำนึงถึงขีดจำกัดของหน้าตัดของแกนแม่เหล็กซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถใส่ลวดเข้าไปได้ในแกน จะเป็นไปตามสมการ

$$k \cdot W = N_1 \cdot A_{w1} + N_2 \cdot A_{w2} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

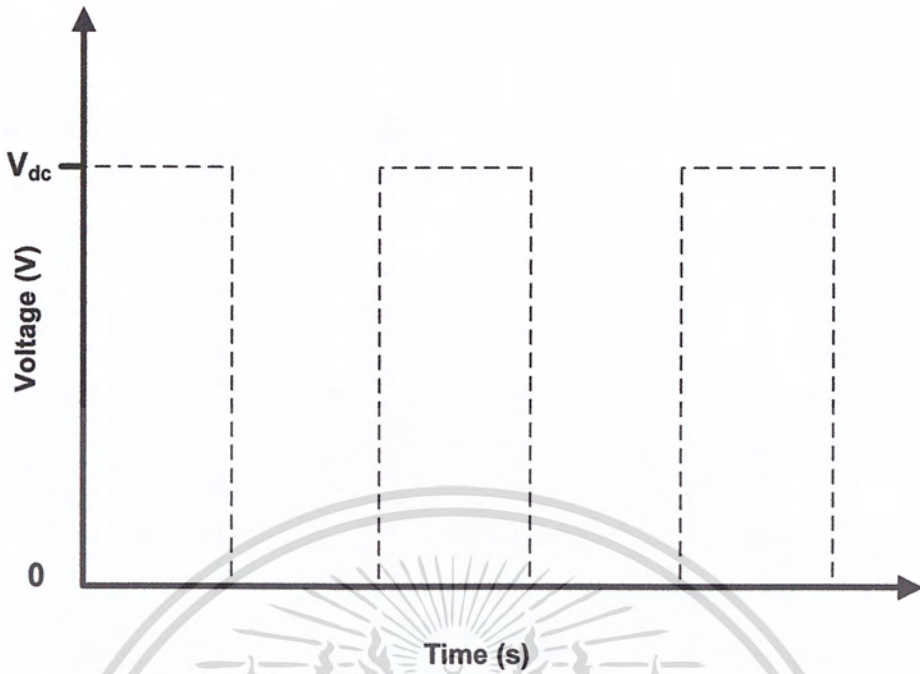
โดยที่

- W คือ พื้นที่ของหน้าต่างแกนแม่เหล็ก
- k คือ ตัวประกอบการใช้งานหน้าต่าง
- N คือ จำนวนขดลวดที่ฝั่งปฐมภูมิหรือฝั่งทุติยภูมิ
- A_v คือ พื้นที่หน้าตัดลวดฝั่งปฐมภูมิหรือฝั่งทุติยภูมิ



รูปที่ 2.16 แรงดันที่ไม่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แรงดันที่มีกระแส DC Magnetizing ($n = 2$)

และ

$$A_w = \frac{I_{rms}}{J} \quad (2.5)$$

โดยที่

I_{rms} คือ กระแสประสิทธิผลในขดลวด
 J คือ ความหนาแน่นกระแส

เมื่อนำสมการที่ (2.5) แทนลงในสมการที่ (2.4) จะได้ว่า

$$k \cdot W = N_1 \cdot \frac{I_{rms1}}{J} + N_2 \cdot \frac{I_{rms2}}{J} \quad (2.6)$$

แทนสมการที่ (2.6) ลงในสมการที่ (2.3) และจัดรูปใหม่จะได้

$$W \cdot S = \frac{V_1 \cdot I_{rms1} + V_2 \cdot I_{rms2}}{4k \cdot B_{max} \cdot S \cdot f_s \cdot J} = A_p \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว $V_1 I_{rms1} = V_2 I_{rms2} = P_{out}$ ทำให้สมการ (2.7) เหลือเพียง

$$A_p = W \cdot S = \frac{P_{out}}{2k \cdot B_{max} \cdot S \cdot f_s \cdot J} \quad (2.8)$$

ซึ่ง A_p จะแสดงขีดจำกัดทางกายภาพของแกนแม่เหล็กนั้นๆ ในสภาวะการทำงานทางแม่เหล็กที่ต้องการใช้งาน โดยค่าของตัวแปรต่างๆ สามารถหาได้จากข้อมูลของแกนแม่เหล็กที่ผู้ผลิตแกนแม่เหล็กกำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างเครื่องวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง(M^2C^3) โดยการนำหม้อแปลงความถี่สูงไปต่อร่วมกับ M^2C^3 สองระบบ เพื่อแยกวงจร M^2C^3 ทั้งสองระบบออกจากกันทางไฟฟ้า(Ground Isolated) ซึ่งเครื่องต้นแบบ M^2C^3 จะใช้หลักการที่สมดุลทางพลังงานไฟฟ้าทั้งสองด้านที่เชื่อมต่ออยู่กับเครื่องต้นแบบและ M^2C^3 สามารถเพิ่มหรือลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามสมการ

$$V_{HIGH} = (N + 1) \cdot V_{LOW} \quad (3.1)$$

โดยที่

V_{HIGH} คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันสูง
 V_{LOW} คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ
 N คือ จำนวนชุดโมดูล

3.2 วงจร M^2C^3

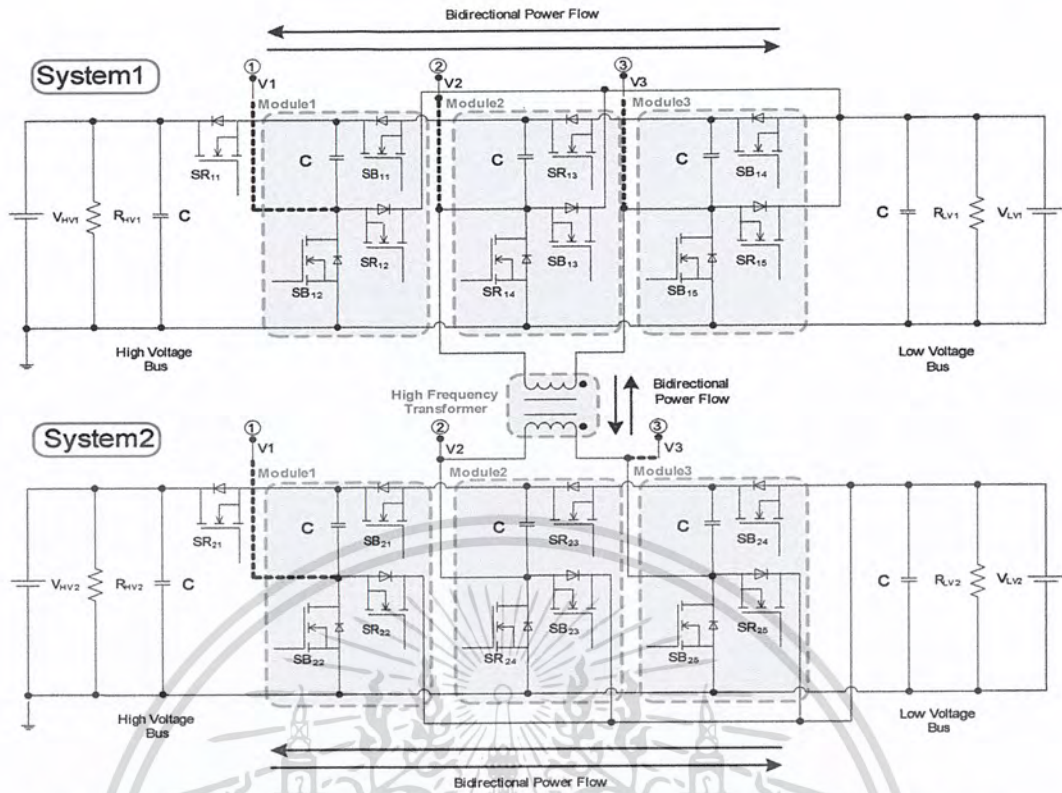
เครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นนี้จะมี 3 โมดูลที่มีความสามารถเพิ่มและลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 4 เท่าและทั้งสองด้านของแรงดันไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับ M^2C^3 จะต้องเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแต่เนื่องจากด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะเชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทดแทนอาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านวงจรเรียงกระแส(Rectifier) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งพลังงานทดแทนเหล่านี้จะมีการผลิตไฟฟ้าออกมาไม่คงที่จึงต้องมีอุปกรณ์ M^2C^3 ไว้เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้สม่ำเสมอและลดแรงดันไฟฟ้าให้พอดีกับอุปกรณ์สะสมพลังงานเช่น แบตเตอรี่ ที่เชื่อมต่ออยู่ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งสามารถเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสำรองให้กับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก(Microgrid)

ในการออกแบบเครื่องต้นแบบวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง(M^2C^3) โดยการนำหม้อแปลงความถี่สูงไปต่อร่วมกับ M^2C^3 สองระบบ เพื่อแยกวงจร M^2C^3 ทั้งสองระบบออกจากกันทางไฟฟ้าจะทำการจำลองด้วยโปรแกรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

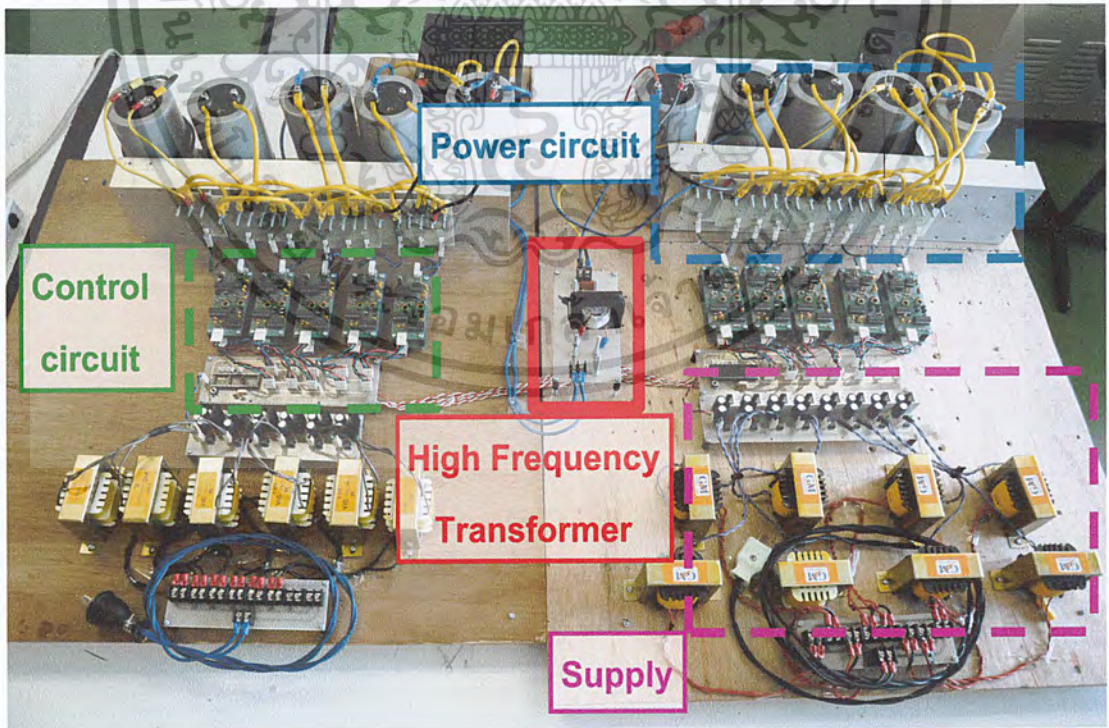
คอมพิวเตอร์ PSIM เพื่อศึกษาถึงการถ่ายโอนพลังงานระหว่างกันของแรงดันไฟฟ้าทั้งสองด้าน ซึ่งจะจำลองให้มีการทำงานแบบเพิ่มแรงดัน(Step up) แรงดันต่ำ(Step down) และการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงให้กับอีกชุดของ M^2C^3 จากผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งานจริงจึงนำไปสู่การสร้างเครื่องต้นแบบนี้และได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ วงจรควบคุม(Control circuit) วงจรกำลัง(Power circuit) และหม้อแปลงความถี่สูง(High frequency transformer)

ในวงจรควบคุมมีหน้าที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม(Square wave, duty cycle = 50%) ออกเป็น 2 สัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกันเพื่อไปขับสวิตช์ให้กับวงจรกำลังและวงจรควบคุมจะประกอบไปด้วยวงจรแรงดันไฟฟ้ต่ำอาทิเช่น วงจรไฟเลี้ยง(Supply 5V) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) และวงจรขับเคลื่อน(Gate drive) ส่วนวงจรกำลังมีหน้าที่สวิตช์(Switching) เพื่อให้ตัวเก็บประจุภายในของแต่ละโมดูลมีการชาร์จและดีสชาร์จ(Charge/Discharge) ตลอดเวลาซึ่งในแต่ละโมดูลจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตช์(Switching) 3 ตัวและตัวเก็บประจุภายใน (Capacitor) 1 ตัวโดยตัวเก็บประจุต้องมีขนาดพิกัดที่เท่ากันเพื่อป้องกันผลกระทบจากกระแสกระเพื่อม (Current ripple) ส่วนของหม้อแปลงความถี่สูงจะทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานให้กับ M^2C^3 สองระบบและยังทำการแยกกราวด์ทางไฟฟ้า M^2C^3 สองระบบออกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะส่งผลกระทบต่อถึงกันดังรูปวงจรที่ 3.1 และรูปชิ้นงานจริงที่ 3.2

จากคุณสมบัติของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับที่มีการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้กล่าวมาข้างต้น นั้นจะสามารถทำงานเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถนำแรงดันออกไปใช้งานได้หลายระดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพให้ระบบสูงขึ้น



รูปที่ 3.1 วงจร M^2C^3 สองระบบซึ่งใน M^2C^3 แต่ละชุดจะประกอบไปด้วย 3 โมดูลและเชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูง

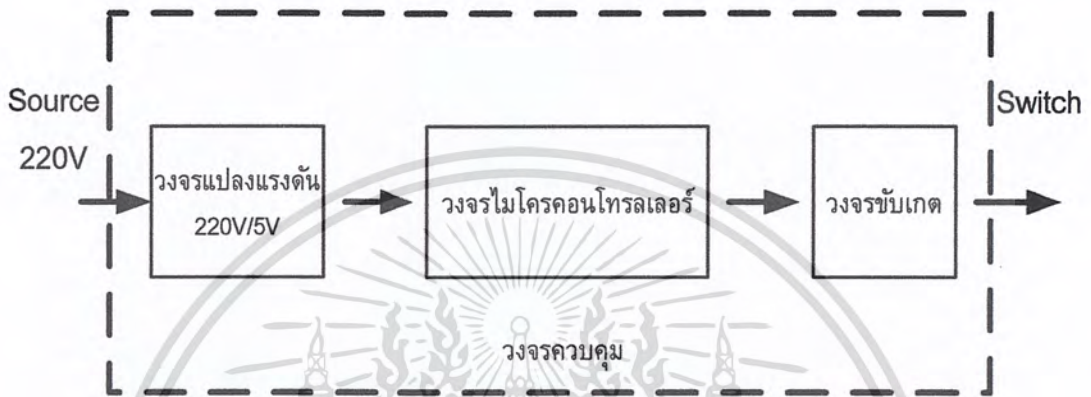


รูปที่ 3.2 เครื่องต้นแบบ M^2C^3 2 ระบบซึ่งใน M^2C^3 แต่ละชุดจะประกอบไปด้วย 3 โมดูลและเชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูง

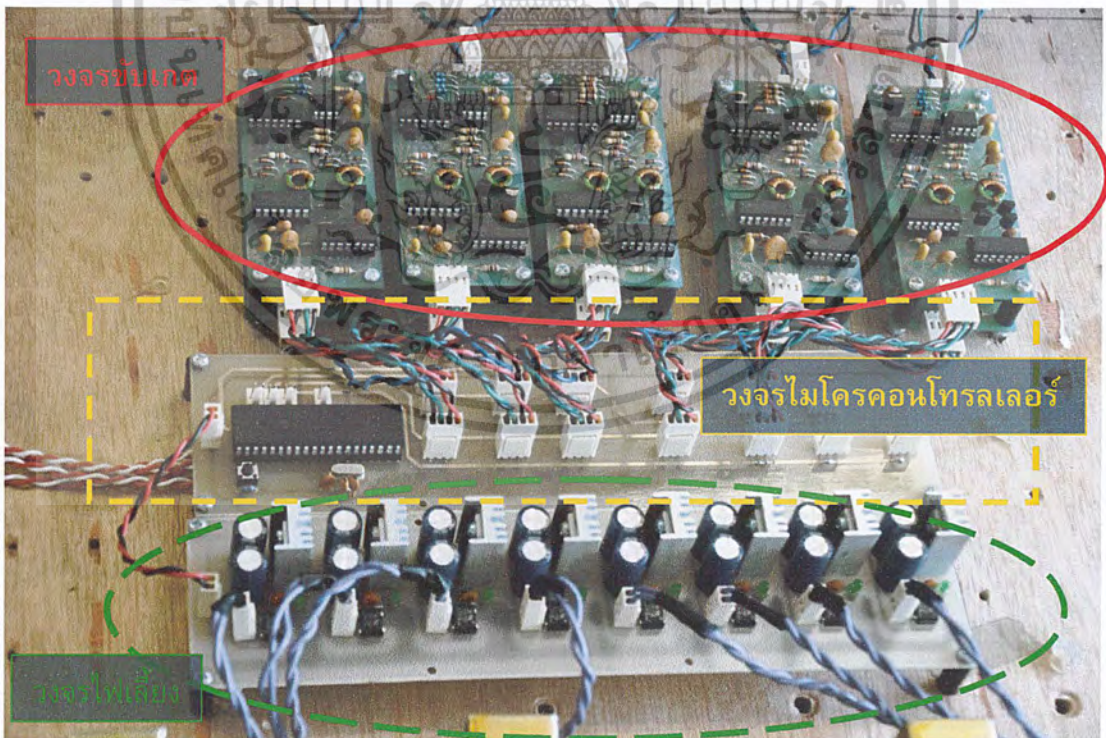
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

โครงสร้างพื้นฐานสำหรับชุดวงจรควบคุมจะแสดงบล็อกไดอะแกรม(Block diagram) ดังรูปที่ 3.3 และรูปชิ้นงานจริงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะประกอบด้วย วงจรไฟเลี้ยง วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขับเคลื่อน อีกทั้งชุดวงจรควบคุมจะสามารถแยกกราวด์ทางไฟฟ้า ออกจากวงจรกำลังโดยหม้อแปลงที่อยู่ในวงจรขับเคลื่อน

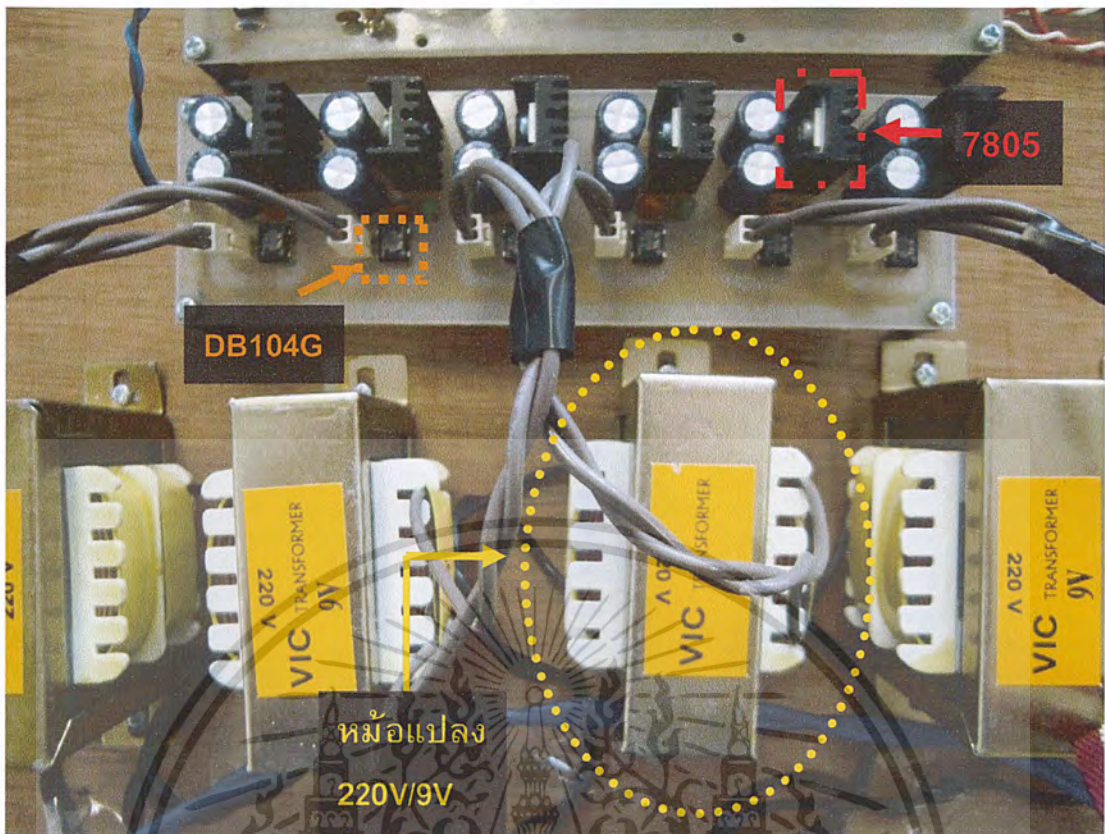


รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรม(Block diagram)ของวงจรควบคุม



รูป 3.4 วงจรควบคุมที่มีวงจรไฟเลี้ยง วงไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรไฟเลี้ยงที่มีอุปกรณ์สำคัญ คือหม้อแปลง 220V/9V DB104G และ 7805

3.3.1 วงจรไฟเลี้ยง

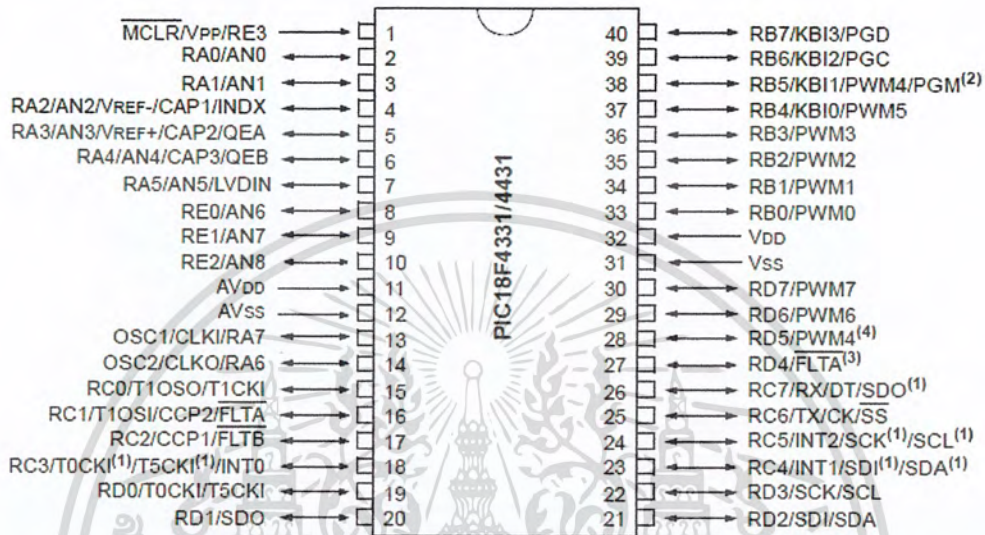
วงจรไฟเลี้ยงจะประกอบไปด้วยหม้อแปลง 220V/9V อุปกรณ์เรียงกระแส(Rectifier) DB104G และตัวปรับแรงดัน(Regulator) 7805 ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งการทำงานจะเริ่มจากต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(220V)ผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงเหลือ 9V แล้วผ่านอุปกรณ์เรียงกระแสเพื่อแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหลังจากนั้นจะนำไปผ่านตัวปรับแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันขาออกจากวงจรไฟเลี้ยงเป็น +5V ซึ่งแรงดันที่ได้จะนำไปขับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขั้วเกิด

3.3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

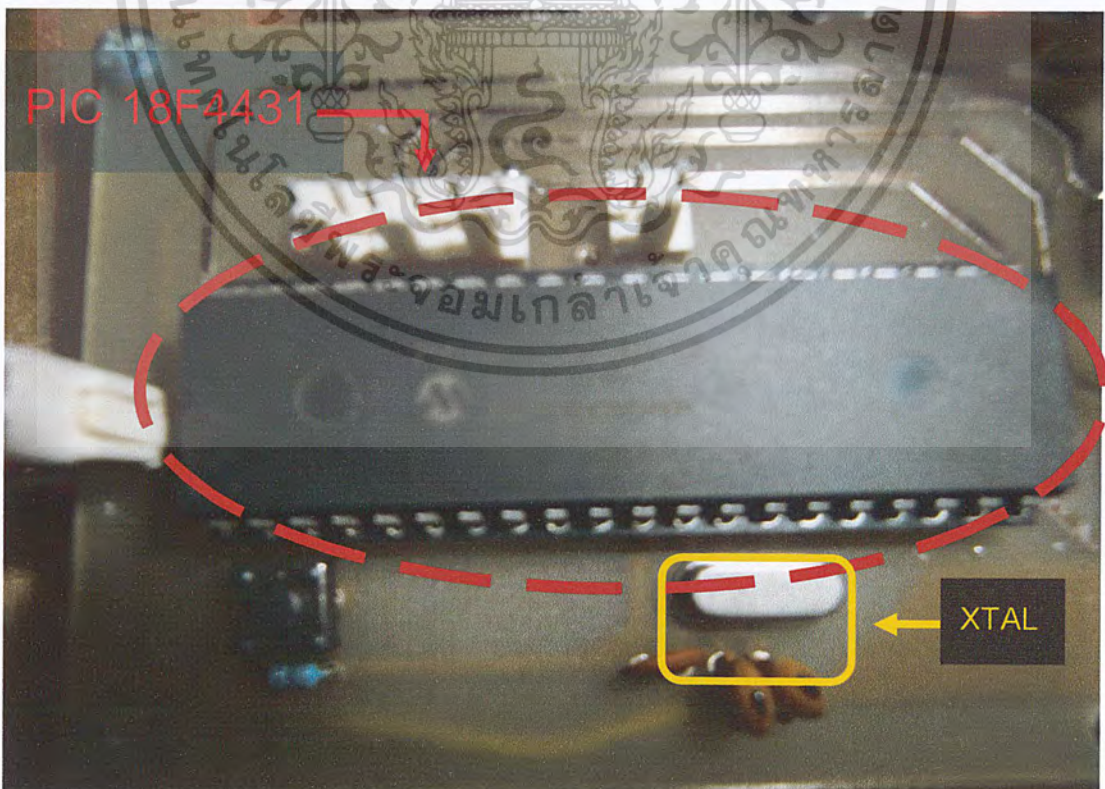
วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ PIC4431 ที่รับแรงดันไฟจาก วงจรไฟเลี้ยง ให้เข้าขา 11 และ 12 กราวด์ที่ขา 12 และ 31 แล้วขาที่ 1 จะเป็นขาที่ใช้รีเซ็ต(Reset) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ และขาที่ 33-38 จะให้เป็นขาออกของสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 3.6 และในชิ้นงานจริงจะต้องมีคริสตัล(XTAL) ภายนอกเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา(Clock) ให้กับอุปกรณ์ PIC4431 ดังรูปชิ้นงานจริงที่ 3.7 ซึ่งใน PIC4431 ใช้สัญญาณสี่เหลี่ยม(Square wave) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 สัญญาณ(SR และ SB) มีรูปคลื่นตรงข้ามกัน โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนดิวตี้ไซเคิล(Duty cycle) 50% ที่ความถี่สวิตช์ 10kHz และจะนำสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมพลิจูด(Amplitude) เท่ากับ 5 V ผ่านวงจรขั้วเกต ดังรูปที่ 3.8 และสัญญาณ Square wave สัญญาณที่สร้างออกมาจะต้องมีเดดไทม์(Dead time) เพื่อไม่ให้สวิตช์ทำงานพร้อมกันซึ่งป้องกันการลัดวงจรดังรูปที่

3.9

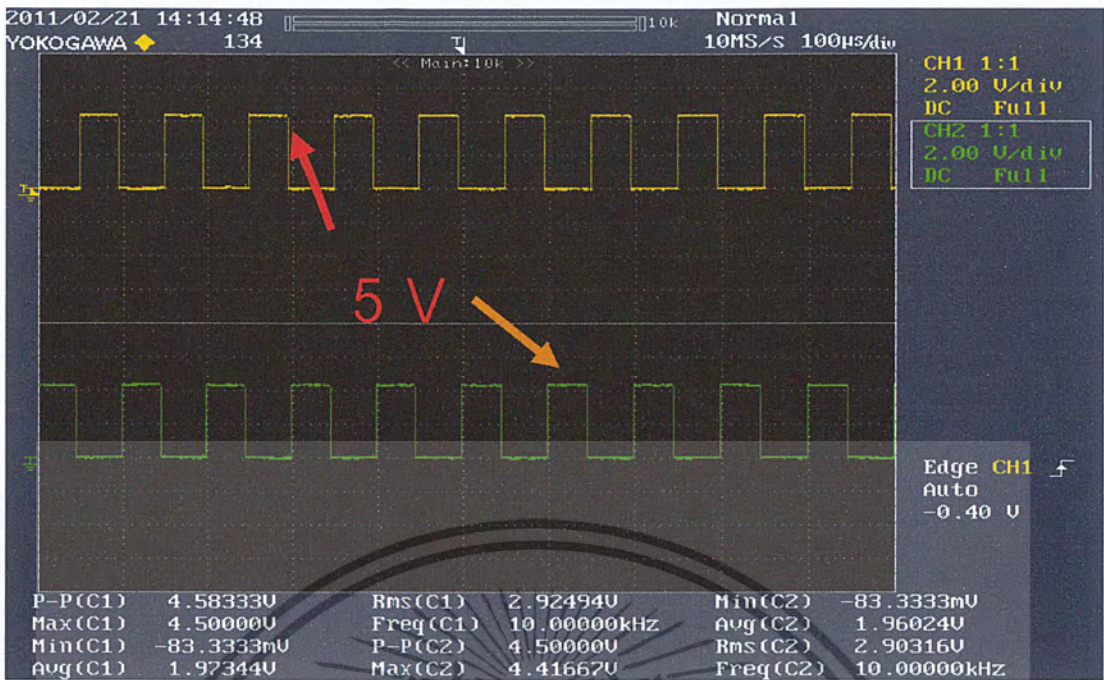


รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของแต่ละขา ของ PIC4431

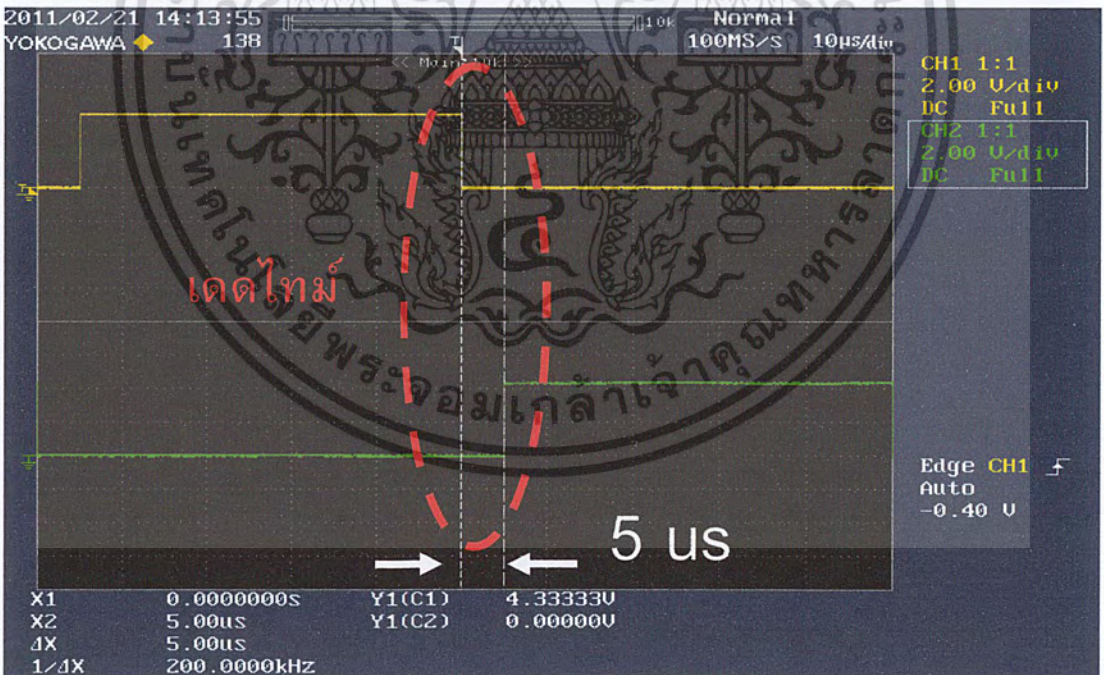


รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ PIC4431 และมี XTAL ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 สัญญาณ SR และ SB ที่มีแรงดัน 5 V โดยทั้ง 2 สัญญาณจะมีเฟสตรงข้ามกัน (180° , Out of phase)

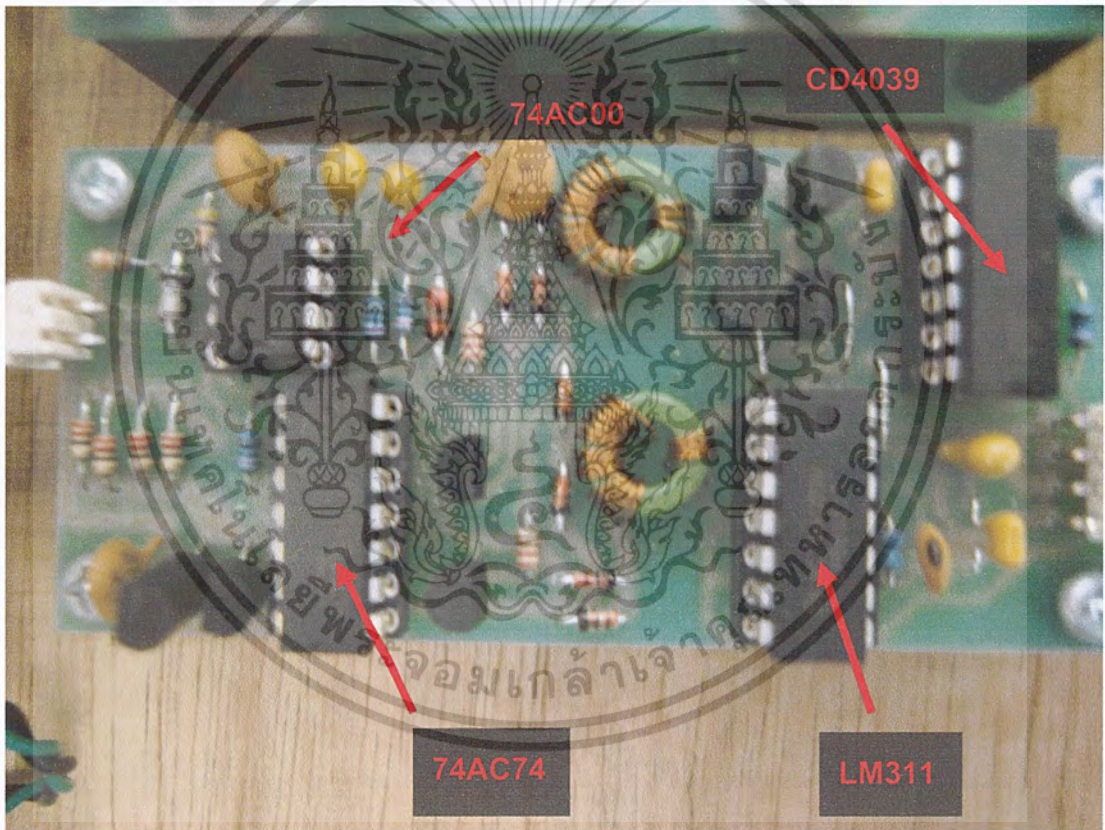


รูปที่ 3.9 สัญญาณ PWM 2 สัญญาณที่แสดงถึงเดดไทม์(Dead time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

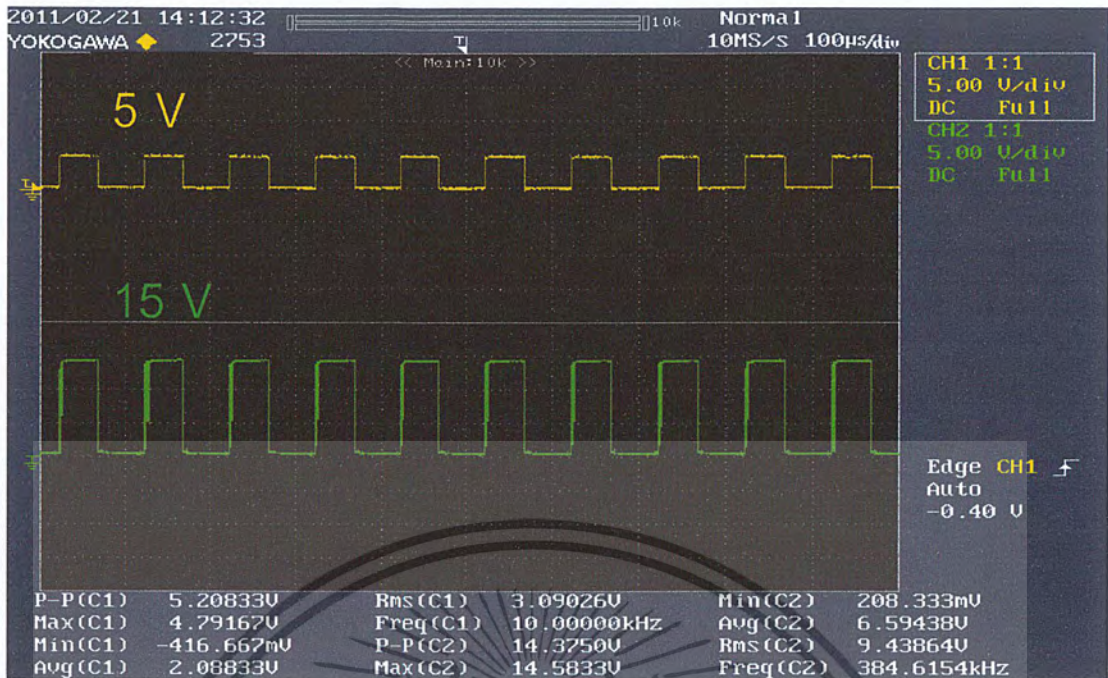
3.3.3 วงจรขับเกต

วงจรขับเกต จะมี IC หลักๆอยู่ 4 เบอร์คือ 74AC74 74AC00 CD4039 LM311 มีหน้าที่สำหรับการแยกสัญญาณระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณเกตของมอสเฟส เพื่อเชื่อมต่อกับหม้อแปลงทั้งสองตัว โดยหม้อแปลงตัวแรกจะเป็นหม้อแปลงสำหรับการส่งจ่ายกำลังเพื่อเป็นไฟเลี้ยงวงจร และ หม้อแปลงตัวที่สองสำหรับการส่งจ่ายสัญญาณขับเกตดังรูปที่ 3.10 เพื่อที่จะยกระดับแรงดันของสัญญาณควบคุมให้ได้ +15โวลต์ดังรูปที่ 3.11 โดยที่ชุดขับเกตนี้มีหม้อแปลงที่แยกกราวด์ในตัว (แยกวงจรควบคุมกับวงจรกำลังออกจากกัน) ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ คือเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นทำให้สัญญาณไม่ย้อนกลับมาทางด้านวงจรควบคุม



รูปที่ 3.10 วงจรขับเกตที่มี IC 74AC74 ,74AC00 ,CD4039 ,LM311 และ หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 สัญญาณที่เข้าจะมีแรงดัน 5 V และออกวงจรขับเคลื่อนจะมีแรงดัน 15V

3.4 การออกแบบวงจรกำลัง

โครงสร้างพื้นฐานสำหรับชุดวงจรกำลังไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย วงจรสวิตช์ และตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 3.12 และจะเห็นว่าทั้งสองด้านจะถูกเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงและจะมีตัวเก็บประจุภายนอกต่อขนานกับแหล่งจ่ายด้วย เพื่อให้แรงดันที่จะเข้า M^2C^3 มีแรงดันไฟฟ้าที่เรียบ

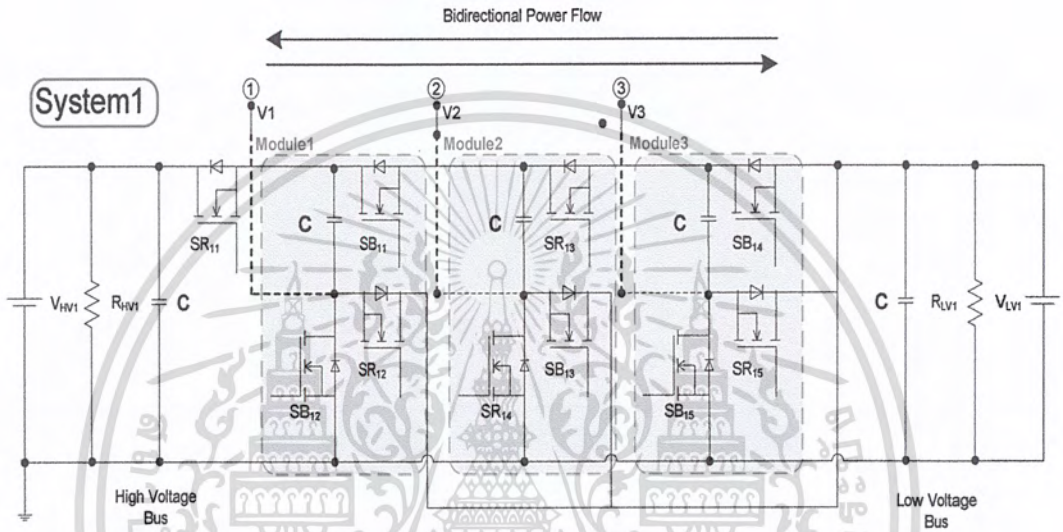
3.4.1 วงจรสวิตช์

ในโครงงานนี้ได้ใช้อุปกรณ์สวิตช์จะเป็นมอสเฟสเบอร์ IRFP450 ที่มีลักษณะเป็น N-channel ดังรูปที่ 3.13 และรูปชิ้นงานจริงที่ 3.14 ด้วยคุณสมบัติที่มีการทนแรงดันได้สูง อีกทั้งยังใช้งานที่ความถี่สวิตช์สูง ซึ่งในสภาวะการทำงานจะมีค่าความสูญเสียต่ำ แรงดันไฟตกคร่อมต่ำ สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างและคุณสมบัติของมอสเฟส เบอร์ IRFP450 ดังนี้

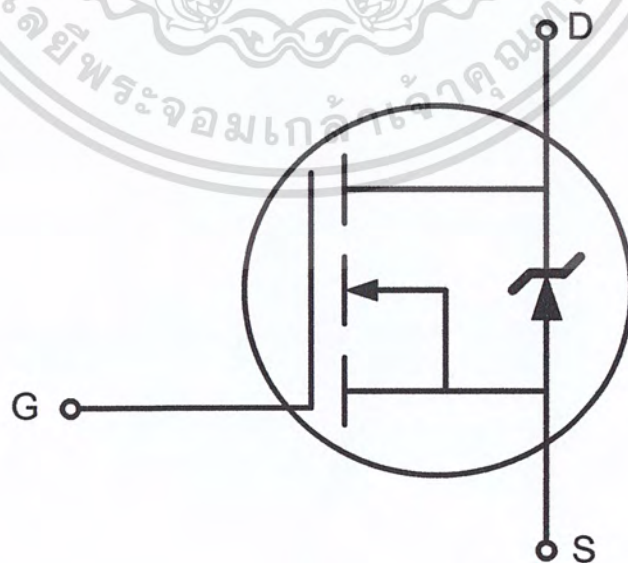
- ทนกระแสสูงสุด 15 A แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 500 V ที่อุณหภูมิ 25°C
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 150°C
- ทำงานได้ที่ความถี่สูง
- การสวิตช์ได้เร็ว(Fast switching)
- ตัวจับยึดจะไม่เชื่อมต่อกับขาเดรน(Isolated central mounting hole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในวงจรกำลังจะมี 3 โมดูล และในแต่ละโมดูลจะมีมอสเฟส 3 ตัวดังรูปชิ้นงานที่ 3.15 โดยสัญญาณสวิตช์จะมีการทำงานใน 2 ลักษณะคือ SR และ SB ที่ทำงานสลับกันซึ่งสัญญาณจะถูกสร้างมาจาก PIC4431 และผ่านวงจรขั้วเบด หลังจากนั้นสวิตช์ที่มีการ on/off และให้สัญญาณมีดีวีทีไอเคิล 50%จะไปทำให้ตัวเก็บประจุมีการสะสมและคายประจุสลับกันอย่างสมดุลไม่เกิดประจุค้างในตัวเก็บประจุ

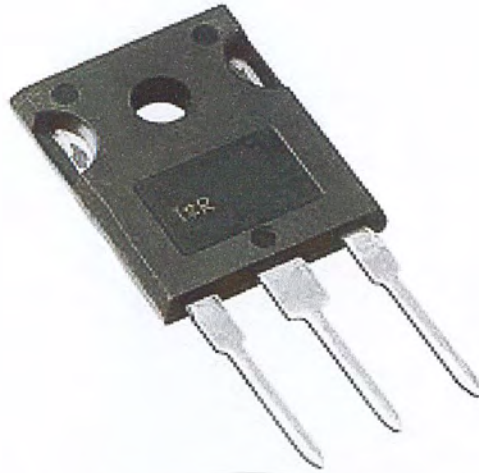


รูปที่ 3.12 วงจร M^2C^3 ที่มี 3 โมดูล

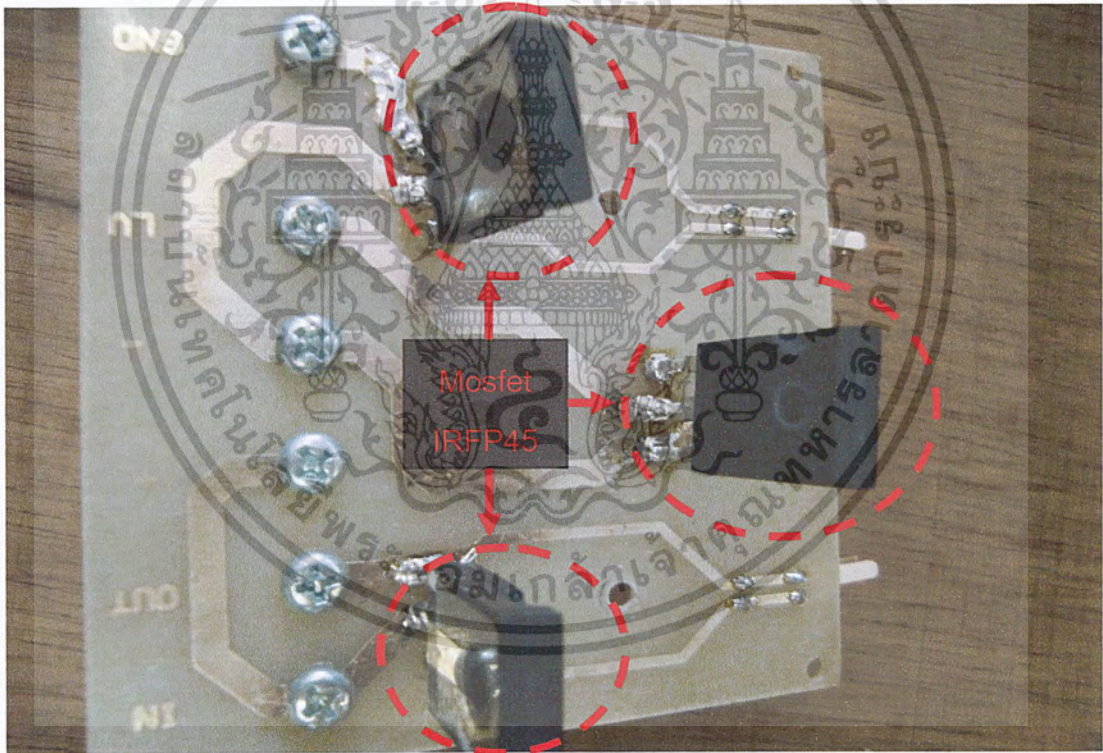


รูปที่ 3.13 แผงผังวงจรมอสเฟส เบอร์ IRFP450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 มอสเฟส N-Channel เบอร์ IRFP450



รูปที่ 3.15 รูปชิ้นงานจริงของวงจรกำลังใน 1 โมดูลที่มีสวิตช์มอสเฟส 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุภายในชุดโมดูล(Module) แต่ละโมดูลต้องมีขนาดเท่ากันเพื่อให้กระแสกระเพื่อม(Ripple current) ที่ตัวเก็บประจุมีค่าน้อยที่สุดรวมทั้งลดการสูญเสียที่เกิดในตัวเก็บประจุ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ที่พิกัด 2200 μF 450 V_{dc} ดังรูปที่ 3.16 หน้าที่ของตัวเก็บประจุภายในชุดโมดูลนี้จะเป็นตัวสะสมและถ่ายโอนพลังงานให้ได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มและลดเป็นจำนวนเท่าของแหล่งจ่ายด้วยการสะสมพลังงานที่เกิดจากการสวิตช์

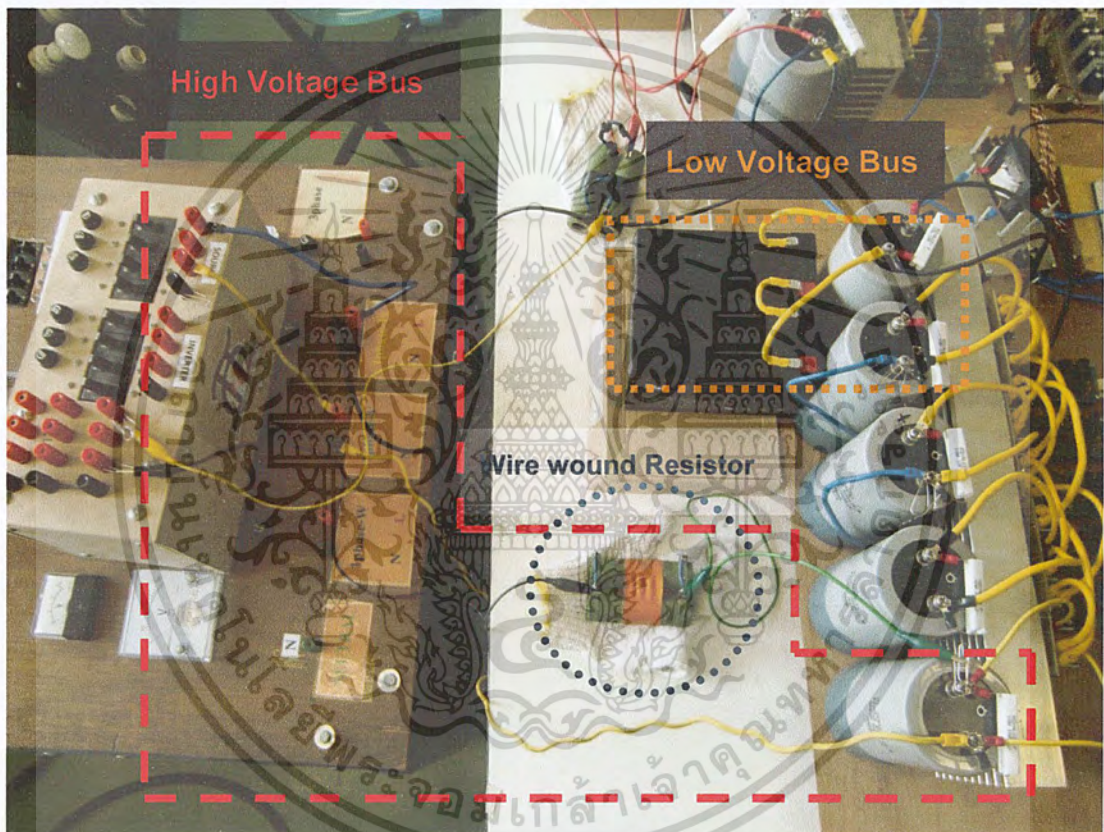


รูปที่ 3.16 ตัวเก็บประจุภายในวงจรกำลังที่มีขนาด 2000 μF 450 V_{dc}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ชุดแหล่งจ่ายดันไฟฟ้า

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองด้านของ M^2C^3 จะต้องมีคุณสมบัติกันตาม $V_{HIGH} = (N+1)V_{LOW}$ ในโครงการนี้จะมีจำนวนโมดูล 3 โมดูลทำให้เพิ่มและลดทอนแรงดันได้ 4 เท่าจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงทั้ง 2 ชุดต้องมีขนาดแรงดัน 96 V เนื่องจากผลของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำทั้ง 2 ชุดเชื่อมต่ออยู่กับแบตเตอรี่ขนาด 24 V ดังรูปที่ 3.17 และจะเห็นว่ามีส่วนต้านทานชนิดไวร์วาวด์(Wire wound Resistor) เพื่อเป็นตัวหน่วงกระแสที่เกิดขณะเปิด/ปิดสวิตซ์(On/Off Switch) แทนการตัดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง

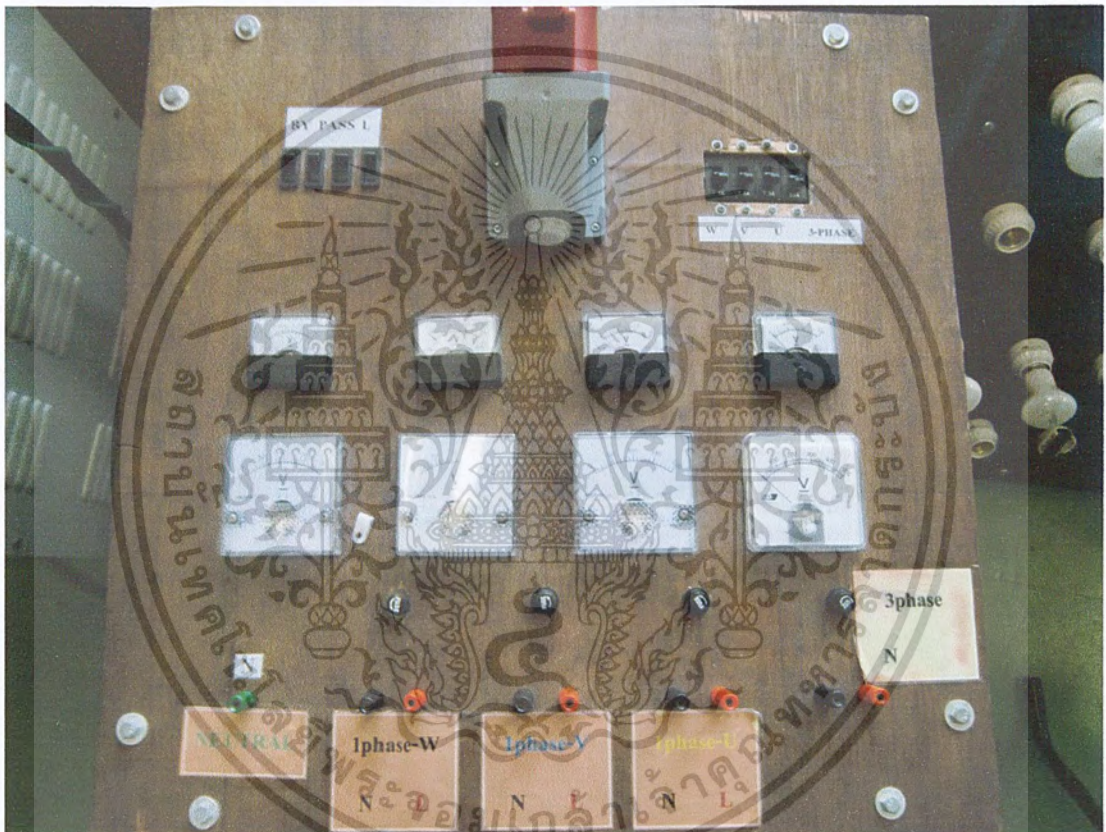


รูปที่ 3.17 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองด้านที่เชื่อมต่ออยู่กับ M^2C^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 แหล่งจ่ายทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง

แหล่งจ่ายทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงนั้นต้องเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจึงสามารถนำพลังงานทดแทนมาเชื่อมต่อเข้ากับ M^2C^3 ได้ อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล แต่ในโครงการนี้จะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านอุปกรณ์เรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) ดังรูป 3.18 เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.18 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาด 96 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำ

แหล่งจ่ายทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำนั้นเราจะใช้แบตเตอรี่ 2 ตัวที่มีพิกัดรวม 24V, 7AH/20HR มาเป็นตัวสะสมพลังงานและเป็นตัวสำรองไฟฟ้าขณะที่ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงไม่มีการผลิตไฟฟ้าหรือเกิดฟอลต์ดังรูปที่ 3.19

3.6 หม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูง(High frequency transformer) จะใช้แกนเฟอร์ไรท์ ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งแกนเฟอร์ไรท์มีคุณสมบัติ สามารถใช้งานได้ที่ความถี่สูง มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูง และการสูญเสียที่แกนเหล็กและความร้อนที่เกิดจากกระแสไหลวนต่ำ หม้อแปลงความถี่สูงมีหน้าที่เป็นตัวถ่ายโอนพลังงานระหว่างชุด M^2C^3 2 ชุดเข้าด้วยกันซึ่งทำให้ M^2C^3 สามารถช่วยกันจ่ายโหลดได้และถ้าเกิดชุดใดชุดหนึ่งมีปัญหา M^2C^3 อีกชุดหนึ่งก็จะส่งพลังงานมาช่วยโดยการผ่านหม้อแปลงความถี่สูงได้อีกด้วยและแรงดันที่เข้าหม้อแปลงความถี่สูงจะเชื่อมเข้ากับขาลบของตัวเก็บประจุภายในโมดูลดังรูป 3.21 ซึ่งเป็นแรงดันกระแสสลับจึงสามารถสรุปได้ว่า



รูปที่ 3.19 แบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อด้านแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่าง M^2C^3 ออกจากกัน
- ช่วยถ่ายโอนพลังงานระหว่าง M^2C^3 ขณะที่ M^2C^3 ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการเสียหาย
- เพิ่มความหลากหลายให้กับ M^2C^3
- เพิ่มประสิทธิภาพให้กับ M^2C^3

ซึ่งจะแสดงวิธีการคำนวณหาแกนและขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูงดังนี้

กำหนดให้หม้อแปลงทำงานที่ความถี่ 10 kHz และใช้แกน EC ในการทำวิธีการคำนวณ

$$A_p = \frac{P_{OUT}}{2 \cdot k \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J} \quad (3.2)$$

สมการสำหรับรูปคลื่นที่ไม่มี DC Magnetizing Current เมื่อย้ายข้างสมการจะได้

$$P_{OUT} = 2 \cdot k \cdot A_p \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J \quad (3.3)$$

$$P_{OUT} = 2 \cdot k \cdot A_s \cdot A_w \cdot B_{MAX} \cdot f_s \cdot J \quad (3.4)$$

กำหนดให้ A_s ประมาณ $22 A_w$

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

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

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

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

นำค่าที่ได้มาแทนในสมการที่ (3.4)

$$P_{OUT} = 3 \times 2.03 \times 0.6 \times 10 \times 10^3 \times 3 \times 10^6 = 234 \text{ watt}$$

ถ้าใช้ $V_{MAX} = 220 \text{ V}$

$$A_{MAX} = 1.472 \text{ A}$$

$$N_1 = N_2 = \frac{V}{4 \cdot B_{MAX} \cdot A_s \cdot f_s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$= 32679 \text{ รอบ}$$

หาขนาดลวดได้จาก

$$\frac{I}{J} = \frac{1.4}{3 \times 10^6}$$

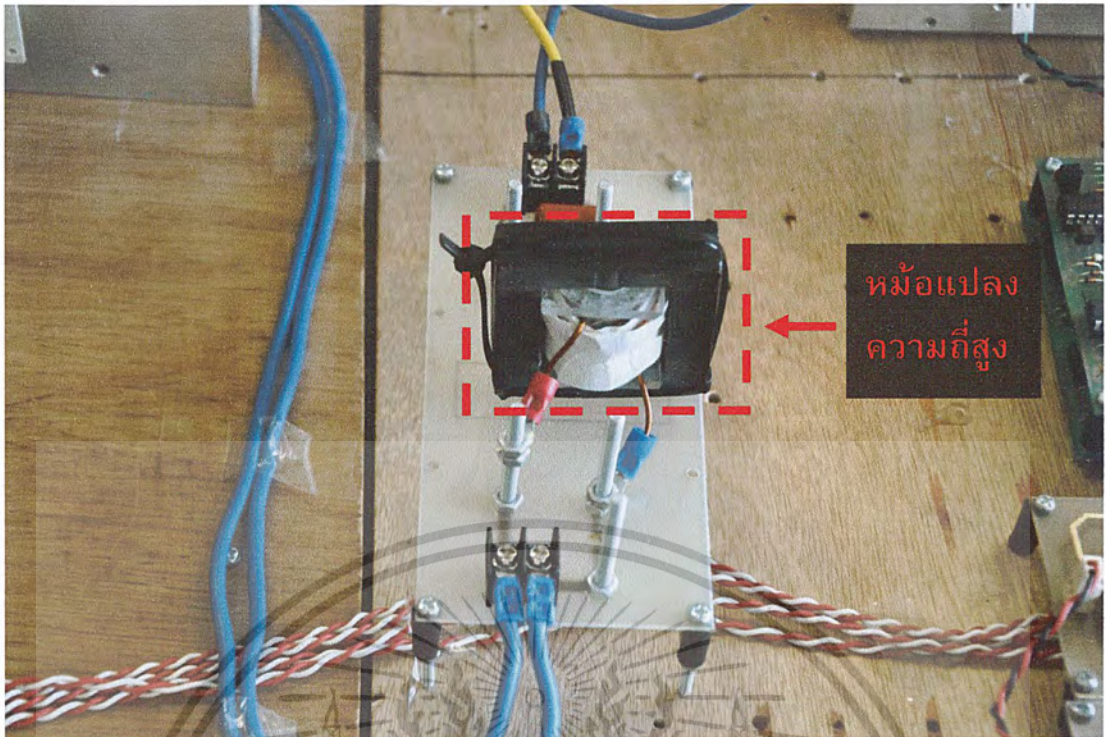
$$= 0.4667 \text{ mm}^2$$

รัศมีขนาด 0.3854 mm ดังนั้นต้องใช้ขนาดลวดขนาด SWG 21



รูปที่ 3.20 แกนเฟอโรไรท์ที่ใช้เป็นแกนของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 หม้อแปลงความถี่สูง

3.7 ข้อควรระวัง

การใช้งานเริ่มต้นควรจะต้องถอดแบตเตอรี่ก่อนแล้วเปิดชุดวงจรควบคุมแล้วตรวจสอบแรงดันที่ขั้วตัวเก็บประจุทุกตัว หลังจากนั้นก็ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงเข้าไปในระบบและขณะปิดวงจรจะต้องตัดแหล่งจ่ายแรงดันสูงออกจากระบบก่อนแล้วค่อยถอดแบตเตอรี่ออกจากระบบ หลังจากนั้นให้ดิสชาร์จ(Discharge) แรงดันที่อยู่ในตัวเก็บประจุทุกตัวออกไปให้หมด เนื่องจากป้องกันอันตรายจากแรงดันที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ

และในการพันหม้อแปลงความถี่สูงจะต้องใช้ความประณีตสูง และการพันลวดในแกนเหล็กหม้อแปลงแต่ละรอบจะต้องมีความสวยงามและเท่ากันในแต่ละชั้น เพื่อให้การไหลของเส้นแรงแม่เหล็กมีความสม่ำเสมอ อีกทั้งยังเป็นการลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในหม้อแปลงความถี่สูงทั้งจากกระแสไหลวน(Eddy current) และฮิสเตอร์รีซิส(Hysteresis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ 2 ชุด โดยมีหม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมระหว่างกัน โดยจะแยกเป็นส่วนต่างๆ ออกมาอธิบายอย่างละเอียด โดยการเพิ่มหรือลดแรงดันจะสามารถทำได้เป็น $n+1$ ซึ่ง n คือจำนวนโมดูลที่ใช้ และในตัวเก็บประจุภายในแต่ละตัวต้องมีขนาดเท่ากันเพื่อให้กระแสกระเพื่อม (Current ripple) มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน และเนื่องจากสัญญาณมีคาบการทำงาน 50% ทำให้มีการชาร์จและดิสชาร์จสมดุลกัน และในเครื่องต้นแบบนี้จะมีหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อช่วยถ่ายโอนพลังงานระหว่างสองชุดเมื่อบางกรณีที่มีชุดหนึ่งเกิดการเสียหายจะทำให้อีกชุดหนึ่งจะถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงมาช่วยจ่ายโหลดให้อีกชุดหนึ่งได้และทั้งสองชุดจะแยกกราวด์ออกจากกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

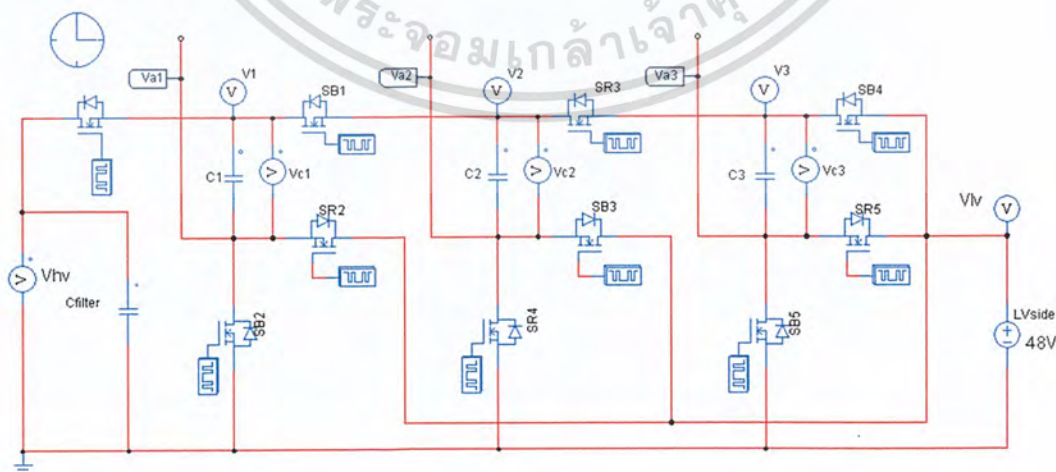
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเสนอถึงผลการจำลองวงจร M^2C^3 ด้วยโปรแกรม PSIM 9.0 เพื่อยืนยันหลักการการทำงานของวงจรตามทฤษฎี เป็นแนวทางในการสร้างชิ้นงานจริง และเสนอการทดสอบชิ้นงานจริง เพื่อแสดงการทำงานของวงจร และเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2 การจำลองวงจร M^2C^3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

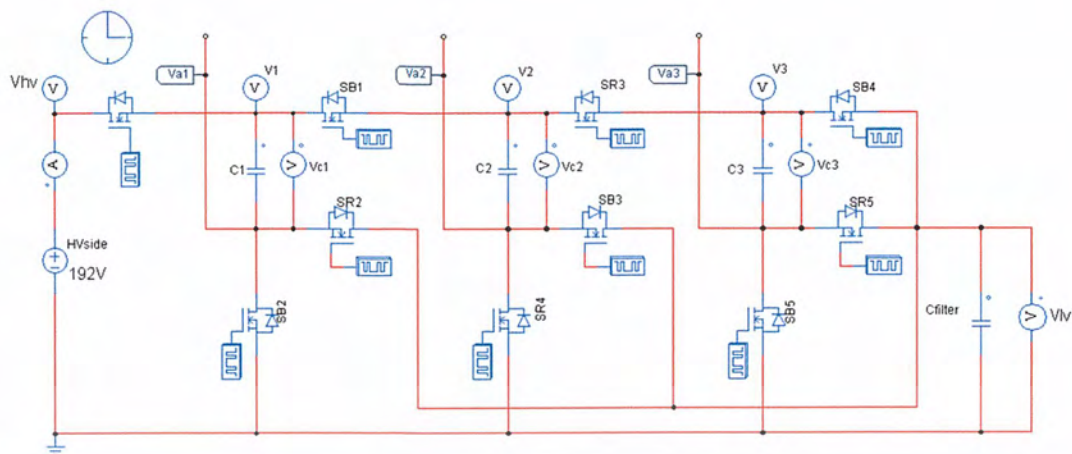
4.2.1 หลักการทำงานของวงจร M^2C^3

เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร M^2C^3 จึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองวงจรตามทฤษฎี การทำงานของวงจร M^2C^3 จะอาศัยหลักการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ของตัวเก็บประจุในแต่ละระดับ ทำให้อุปกรณ์ M^2C^3 สามารถแปลงระดับแรงดันได้เสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง เพราะฉะนั้นในการจำลองจะแสดงให้เห็นในโหมดแปลงแรงดันขึ้น (Step up) และโหมดแปลงแรงดันลง (Step down) โดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 2200 μF และความถี่ในการสวิตช์คือ 10 kHz จำนวนโมดูลในวงจรมี 3 โมดูล ซึ่งจะแปลงแรงดันได้ 4 ระดับ สำหรับการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้น จะมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 48 Vdc ต่อที่ด้านแรงดันต่ำของวงจร M^2C^3 ซึ่งวงจรที่ใช้ในการจำลองแสดงในรูปที่ 4.1 และสำหรับโหมดแปลงแรงดันลงจะใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 196 Vdc ต่ออยู่ที่ด้านแรงดันสูงของวงจร โดยแสดงวงจรที่ใช้สำหรับการจำลองในรูปที่ 4.2



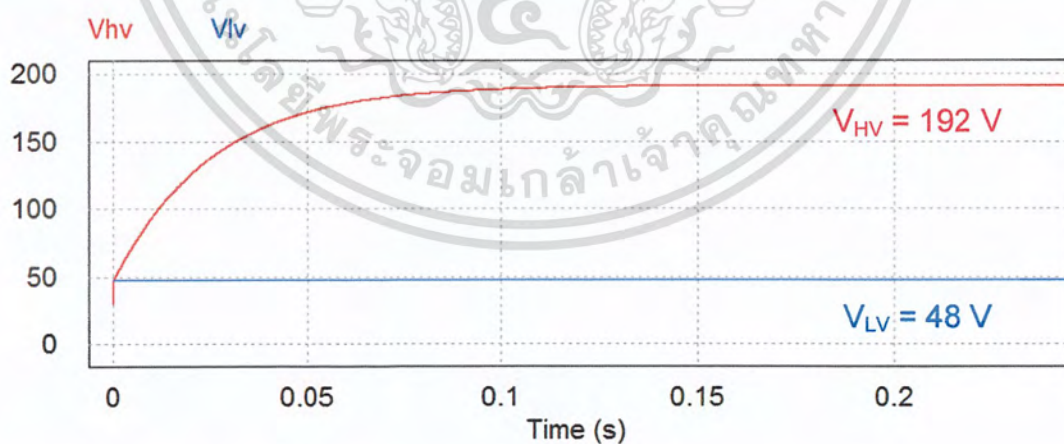
รูปที่ 4.1 วงจร M^2C^3 สำหรับการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



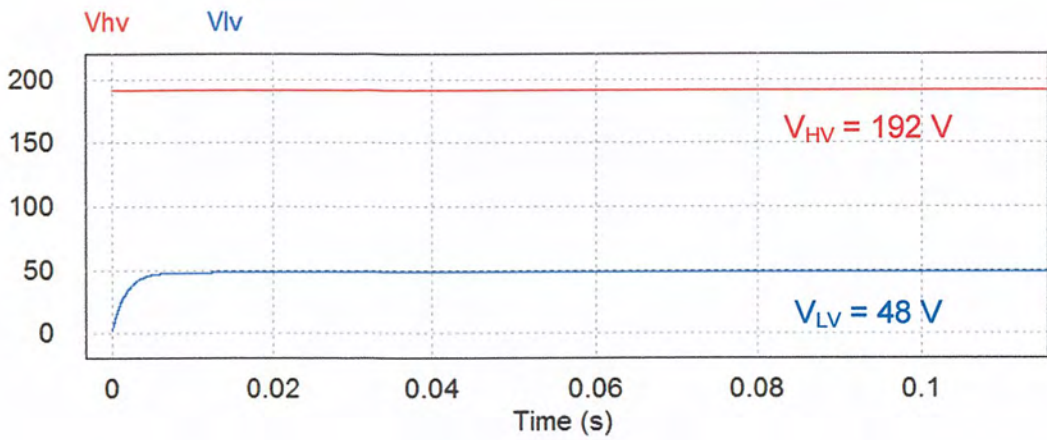
รูปที่ 4.2 วงจร M^2C^3 สำหรับการจำลองในโหมดแปลงแรงดันลง

สำหรับผลการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้นจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3 และโหมดแปลงแรงดันลงแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่าวงจรสามารถแปลงระดับแรงดันขึ้นและแปลงแรงดันลงได้ โดยใช้หลักการอัดประจุและคายประจุในตัวเก็บประจุที่แต่ละระดับของวงจร M^2C^3 ผลการจำลองที่แสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ได้จากการวัดแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับเทียบกับกราฟของวงจร



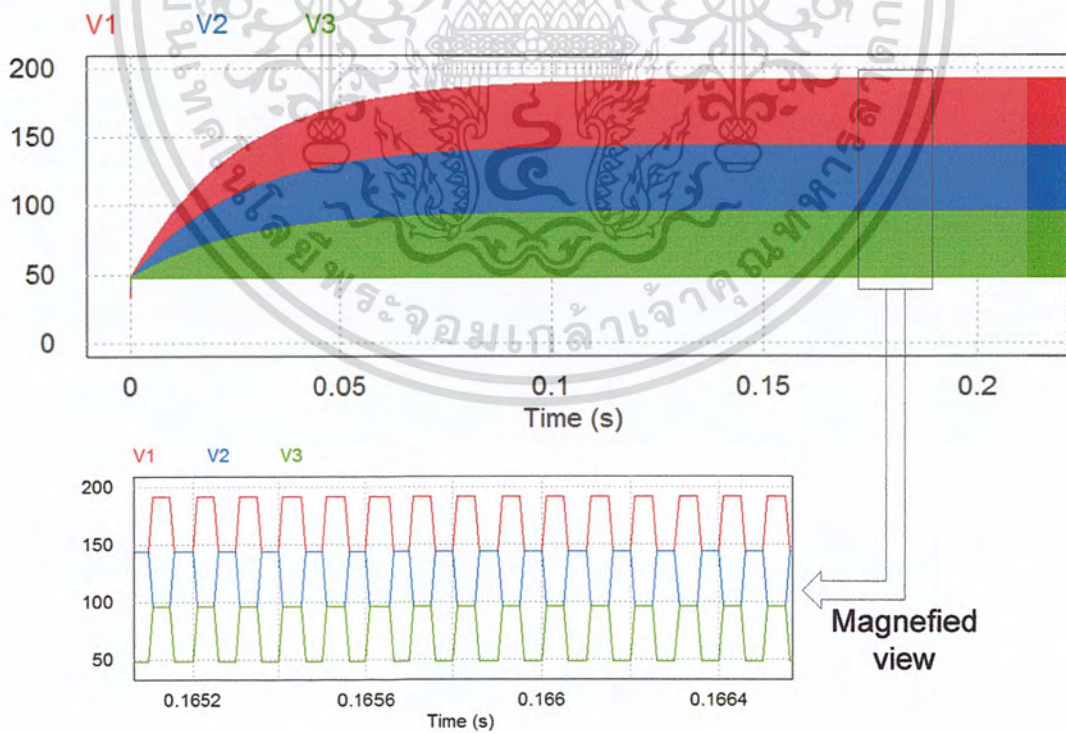
รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันที่ได้จากการจำลองในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



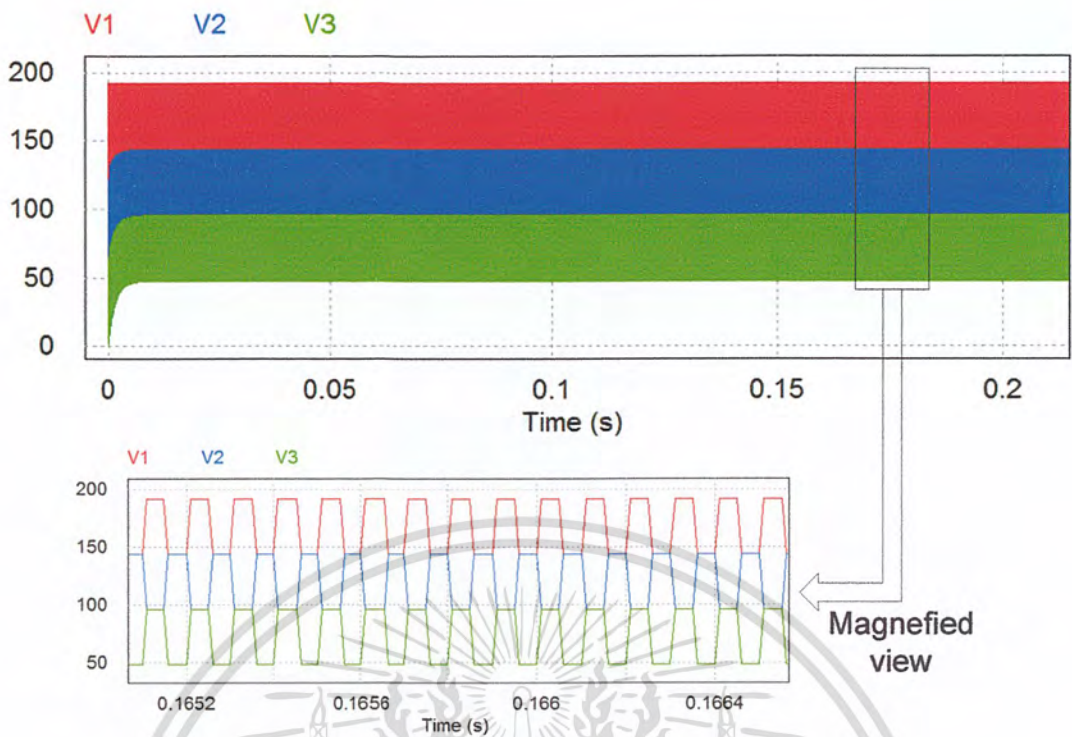
รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันที่ได้จากการจำลองในโหมดแปลงแรงดันลง

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าทั้งสองโหมดการทำงานจะมีรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความถี่ เนื่องจากตัวเก็บประจุที่อยู่ในแต่ละโมดูลจะต้องมีการอัดประจุและคายประจุตลอดเวลาที่วงจรทำงาน โดยแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์ของวงจรในช่วงสภาวะคงตัวจะมีระดับแรงดันต่างกันอยู่เท่ากับแรงดันที่ต่ำสุดของวงจร (ในที่นี้คือ 48 Vdc) ด้วยเหตุนี้จึงไม่ควรนำแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์แท้ไปออกมาใช้งาน เพราะว่ามีผลกระทบของแรงดันค่อนข้างสูง



รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์แต่ละโมดูลในโหมดแปลงแรงดันขึ้น

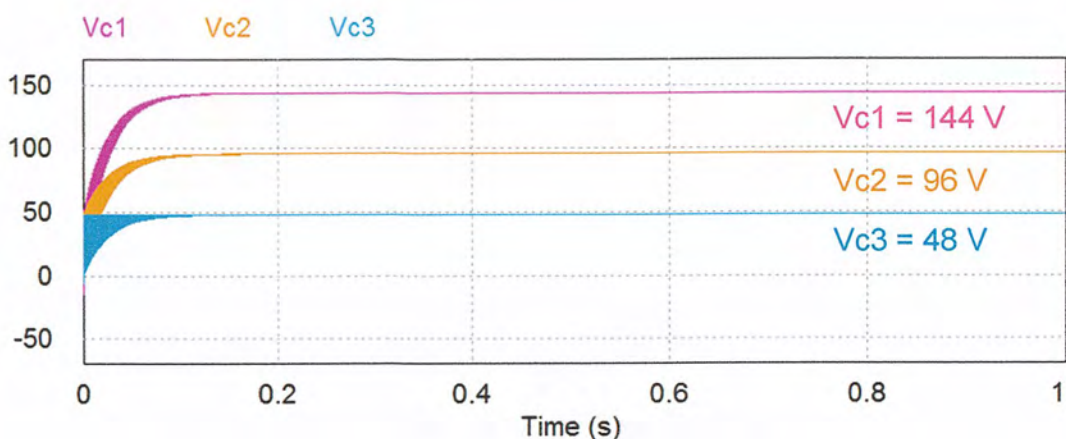
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



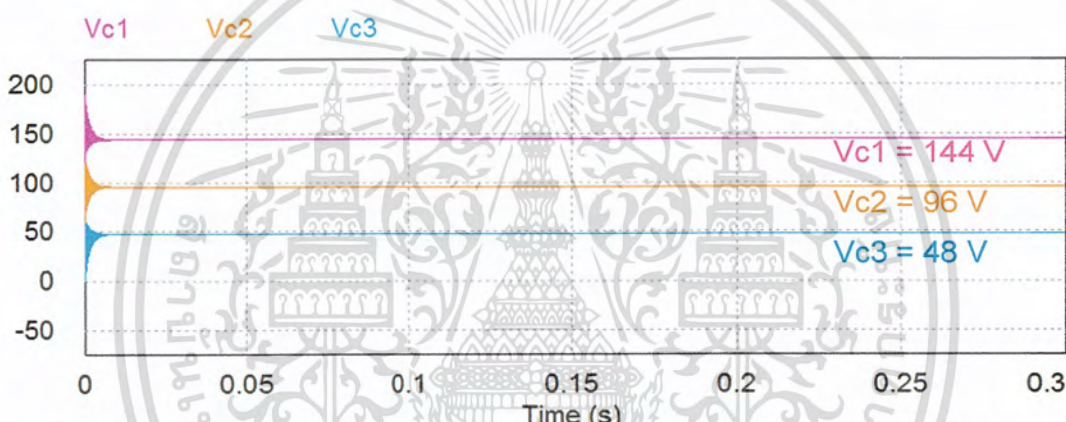
รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุเทียบกับกราวด์แต่ละโมดูลในโหมดแปลงแรงดันลง

ในการแก้ปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจร M^2C^3 สามารถทำได้โดยแก้ปแรงดันที่ขั้วบวกกับขั้วลบของตัวเก็บประจุแต่ละระดับโมดูล เหมือนกับการใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีการกระเพื่อม เนื่องจากตัวเก็บประจุที่อยู่ในแต่ละโมดูลมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเรียบ ถ้าหากตัวเก็บประจุที่นำมาใช้ในแต่ละโมดูลมีขนาดเล็ก จะทำให้การอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูลทำงานที่แรงดันไม่ต่อเนื่อง การแก้ปแรงดันที่ตัวเก็บประจุก็ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อม

ขนาดของแรงดันที่แก้ปจากตัวเก็บประจุในแต่ละโมดูลจะมีขนาดอยู่ระหว่างแรงดันสูงสุดกับแรงดันต่ำสุดที่ปลายของวงจรทั้งสองด้าน โดยจะได้ขนาดแรงดันเป็นจำนวนเท่า ดังที่แสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการทำงานโหมดแปลงแรงดันขึ้น และรูปที่ 4.8 สำหรับการทำงานในโหมดแปลงแรงดันลง จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มการทำงานของวงจรจะมีสัญญาณชั่วขณะเนื่องจากตัวเก็บประจุในช่วงเริ่มต้นมีแรงดันเป็นศูนย์ จึงต้องใช้เวลาในการอัดประจุและคายประจุตามการทำงานของวงจร หลังจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัว จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ



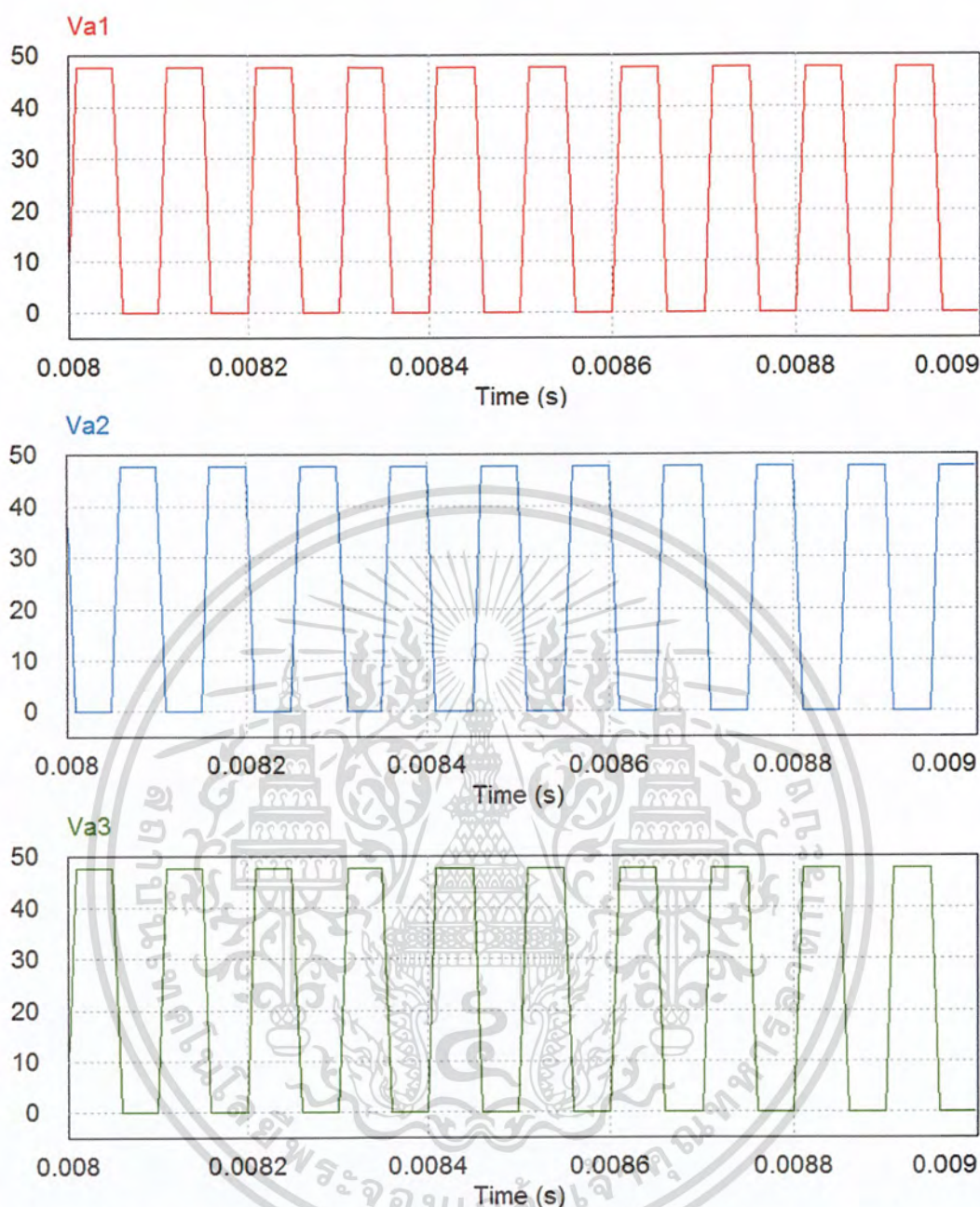
รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับในโหมดแปลงแรงดันขึ้น



รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับในโหมดแปลงแรงดันลง

4.2.2 หลักการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่าง M^2C^3 สองระบบโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง

แรงดันที่โหนด V_{a1} , V_{a2} และ V_{a3} ในรูปที่ 4.1 ซึ่งก็คือแรงดันที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่หนึ่ง, ตัวเก็บประจุโมดูลที่สองและตัวเก็บประจุโมดูลที่สาม ตามลำดับ สัญญาณแรงดันที่โหนดเหล่านี้ในแต่ละโมดูลจะมีขนาดแรงดันเท่ากันทุกโมดูล ซึ่งรูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่โหนด V_{a1} , V_{a2} และ V_{a3} เทียบกับกราวด์ของวงจร M^2C^3 แสดงดังรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันที่โหนด V_{a1} กับ V_{a3} จะมีเฟสตรงกัน และโหนด V_{a2} จะมีเฟสตรงข้ามกับโหนด V_{a1} V_{a3} [4] ระดับแรงดันทุกโหนดเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความถี่ 10 kHz โดยมีขนาดแรงดันอยู่ระหว่าง 0 – 48 V



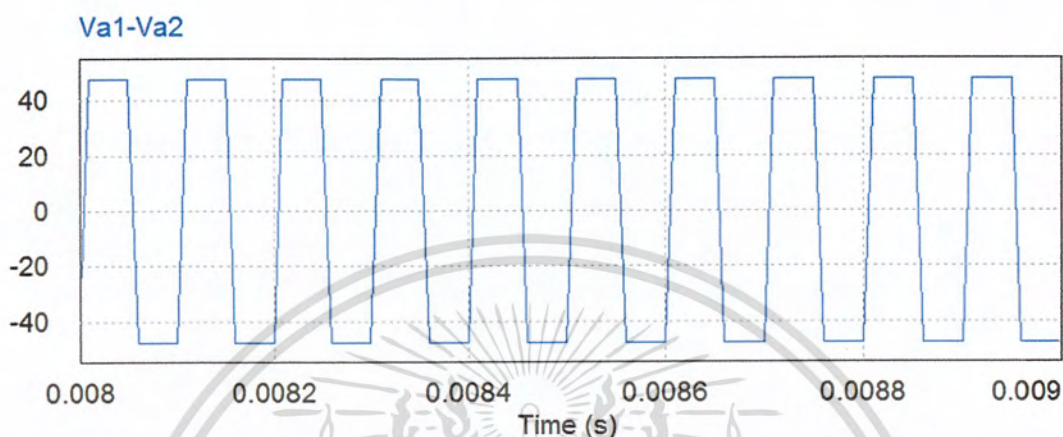
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุในโหมด Va1, Va2 และ Va3 เทียบกับกราวด์ของวงจร

เมื่อทำการจำลองวงจรและวัดแรงดันที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่หนึ่งเทียบกับขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่สองจะได้รูปสัญญาณแรงดันดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่สองเทียบกับขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่สามแสดงในรูปที่ 4.11 และสัญญาณแรงดันที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่หนึ่งเทียบกับขั้วลบของตัวเก็บประจุโมดูลที่สามแสดงในรูปที่ 4.12

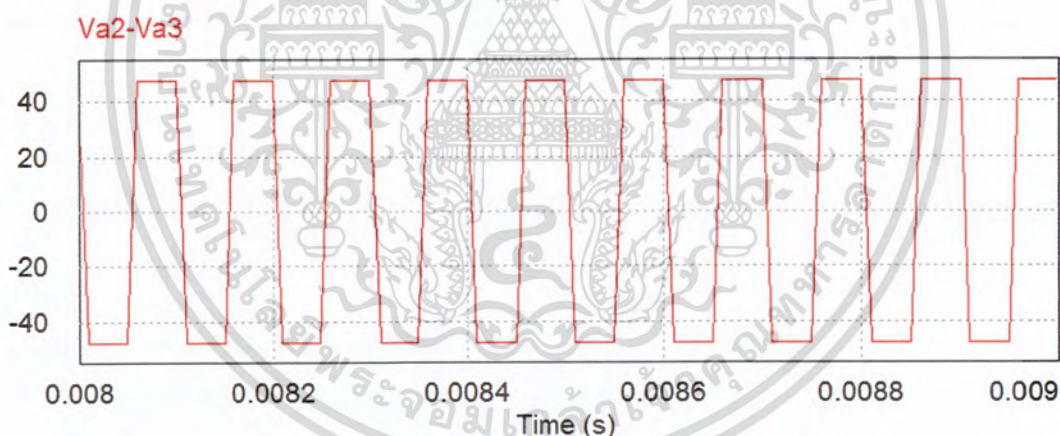
จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันที่ได้ในรูปที่ 4.10 และ 4.11 เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 10 KHz เท่ากับความถี่การทำงานของสวิตช์ และขนาดของแรงดันที่ได้จะมีค่ายอดคือ ± 48 Vpeak ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่ต่างกันระหว่างโมดูลในแต่ละระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หรือการรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันที่ได้จากการวัดระหว่างโหนดที่ไม่ได้อยู่ติดกัน (V_{a1} กับ V_{a3}) จะได้แรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเป็นศูนย์ เพราะว่าทั้งสองโหนดนี้มีขนาดแรงดันที่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน เพราะฉะนั้นจุดที่จะนำหม้อแปลงความถี่สูงมาเชื่อมต่อกับวงจรจะต้องเป็นขั้วลบของตัวเก็บประจุในโมดูลที่อยู่ติดกัน

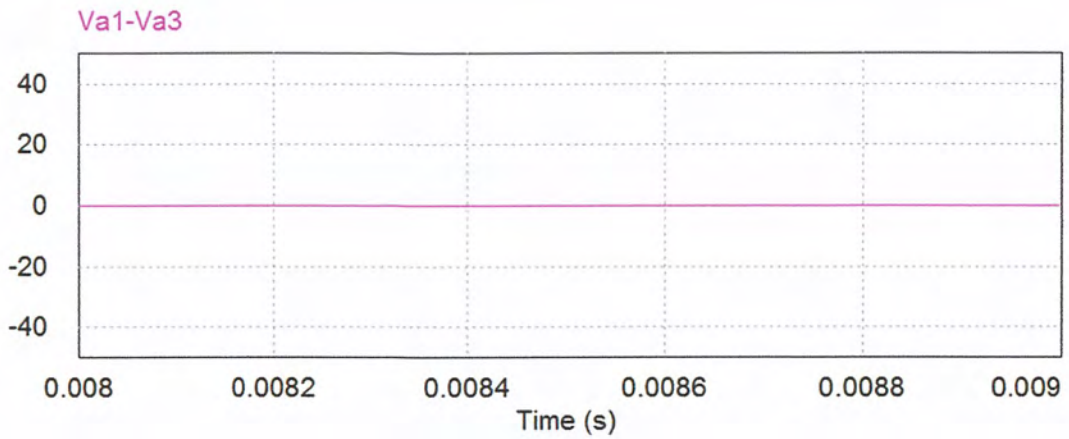


รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด V_{a1} เทียบกับโหนด V_{a2}



รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด V_{a2} เทียบกับโหนด V_{a3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากโหนด Va1 เทียบกับโหนด Va3

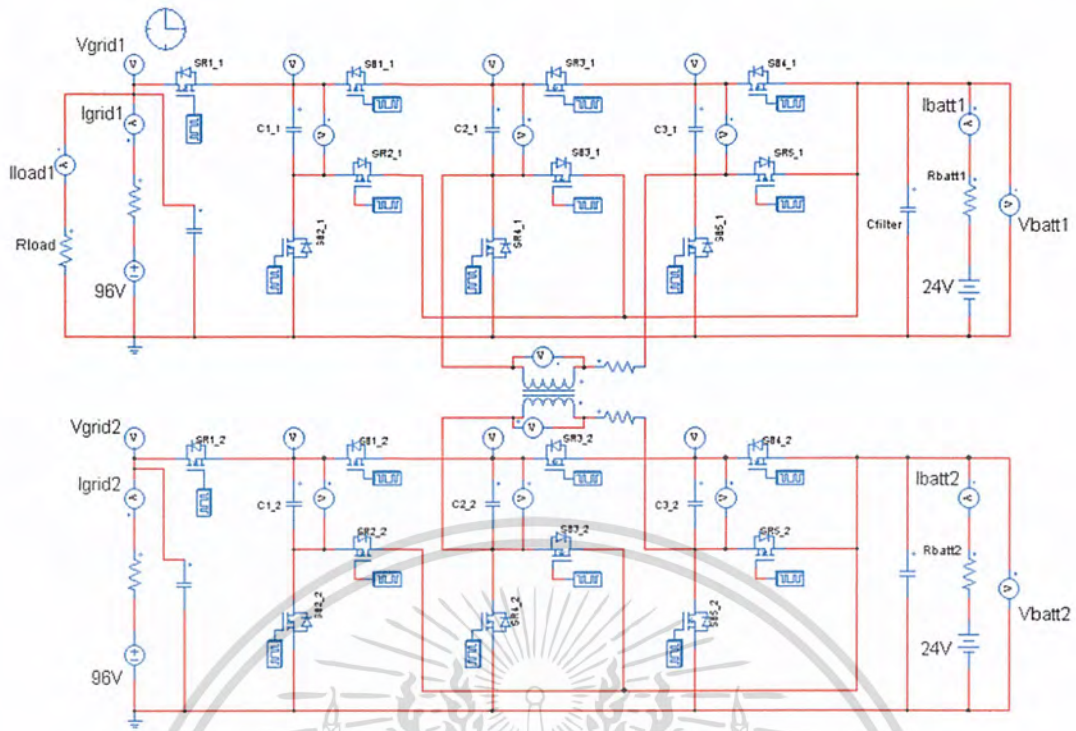
4.2.3 การจำลองวงจร M^2C^3 เพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบ DC Microgrid

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำวงจร M^2C^3 มาประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริด โดยที่แสดงรูปแบบการประยุกต์ในรูปที่ 4.13 ซึ่งด้านแรงดันสูงของวงจร M^2C^3 จะเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริด และด้านแรงดันต่ำของวงจรจะต่อกับแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าจะสามารถไหลจากไมโครกริดเข้าสู่แบตเตอรี่เพื่ออัดประจุ หรือจะไหลออกจากแบตเตอรี่ไปจ่ายพลังงานให้ภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับไมโครกริดก็ได้ เนื่องจากวงจร M^2C^3 มีคุณสมบัติในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง โดยทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันทั้งสองด้านของวงจร และจำนวนโมดูลที่ใช้งาน พิกัดแรงดันที่ใช้ในการจำลองที่แบตเตอรี่ของวงจร M^2C^3 ทั้งสองชุดคือ 24 Vdc จำนวนโมดูลในวงจรมี 3 โมดูล ซึ่งจะแปลงแรงดันได้ 4 ระดับ สมมติให้วงจร M^2C^3 ทั้งสองระบบเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดที่มีแรงดันคงที่คือ 96 Vdc วงจรที่ใช้ในการจำลองแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 รูปแบบการนำ M²C³ ที่มีการแยกกราวด์มาประยุกต์ใช้งาน

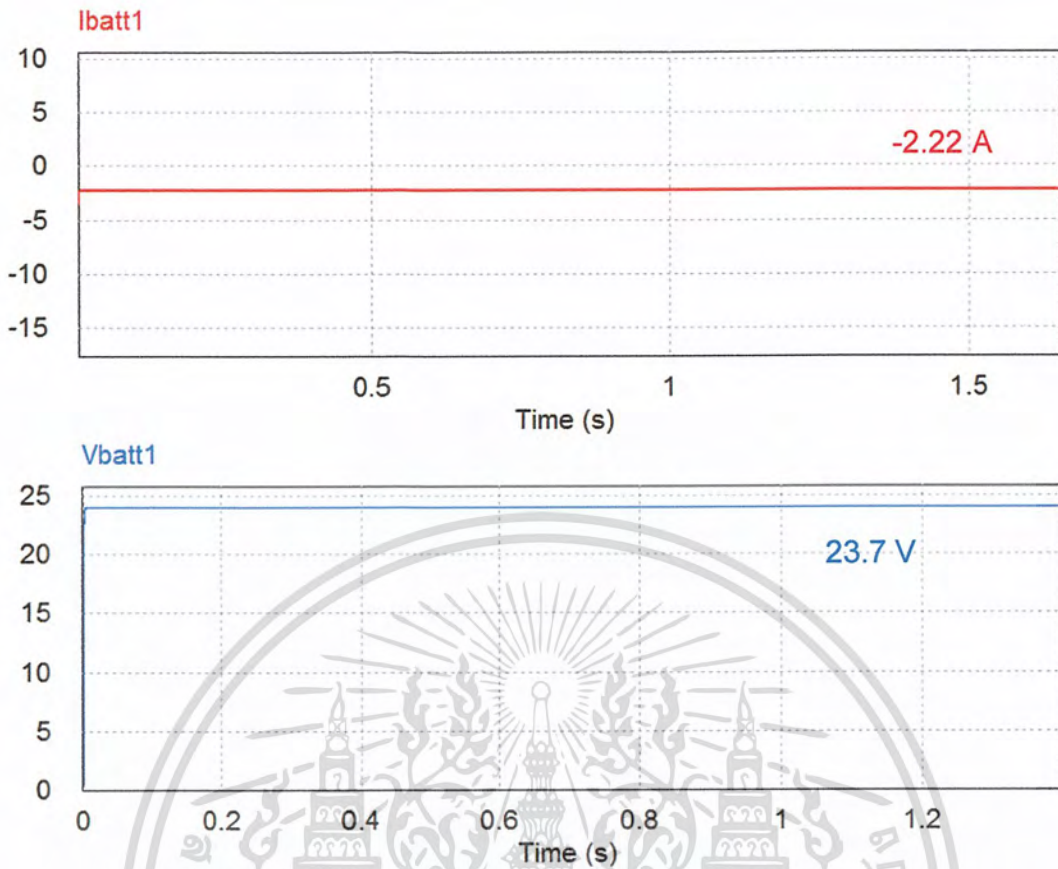
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 วงจร M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์ ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

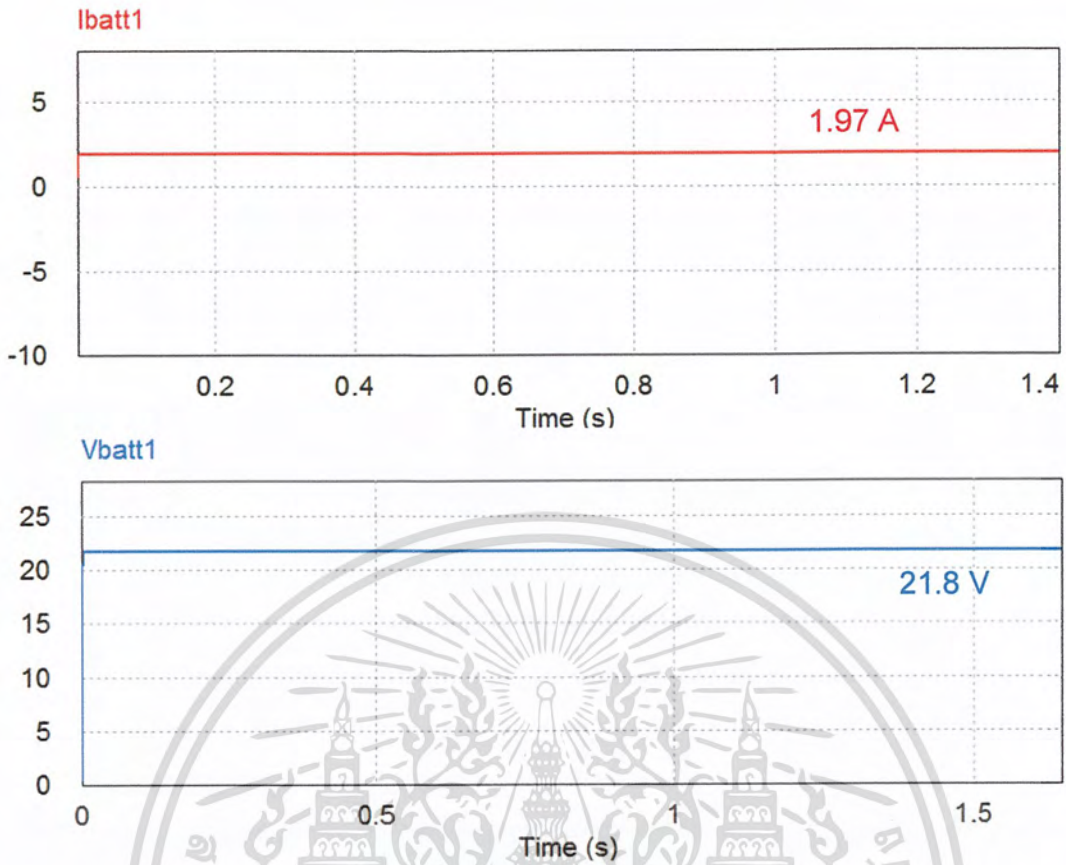
ในการจำลองจะแสดงให้เห็นในโหมดการอัดประจุแบตเตอรี่ (Charge) เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้า, โหมดการคายประจุของแบตเตอรี่ (Discharge) เพื่อช่วยในการจ่ายกำลังให้กับภาระไฟฟ้า และโหมดที่แรงดันทั้งสองด้านมีความสมดุล ซึ่งจะไม่มีกำลังไฟไหลหรืออาจจะมีความน้อยมาก ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถดูได้จากทิศทางของกระแสที่ไหล และขนาดของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะแสดงให้เห็นในผลการจำลอง ถ้าหากกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าเป็นลบ ถ้ากระแสไหลออกจากแบตเตอรี่จะมีค่าเป็นบวก

โหมดการอัดประจุจะเกิดขึ้นเมื่อระบบไมโครกริดมีแรงดันเกินหรือแรงดันที่แบตเตอรี่มีขนาดลดลงเนื่องจากจ่ายพลังงานให้ภาระไฟฟ้า ในการจำลองจะสมมติให้แรงดันที่ไมโครกริดมีขนาด 96 Vdc และแรงดันที่แบตเตอรี่ในระบบที่หนึ่งลดลงเหลือ 22 Vdc (แบตเตอรี่ปกติมีแรงดันไฟฟ้าเซลล์ละ 2 V ซึ่งในวงจรนี้มีแรงดันที่แบตเตอรี่ 24 V จึงเสมือนว่าใช้แบตเตอรี่ 12 เซลล์ และในการจำลองวงจรในโหมดการอัดประจุ กำหนดให้แรงดันแต่ละเซลล์เหลือประมาณ 1.8 V จึงให้แบตเตอรี่ในวงจรที่จำลองมีแรงดันประมาณ 22 V) ผลการจำลองแสดงในรูปที่ 4.15



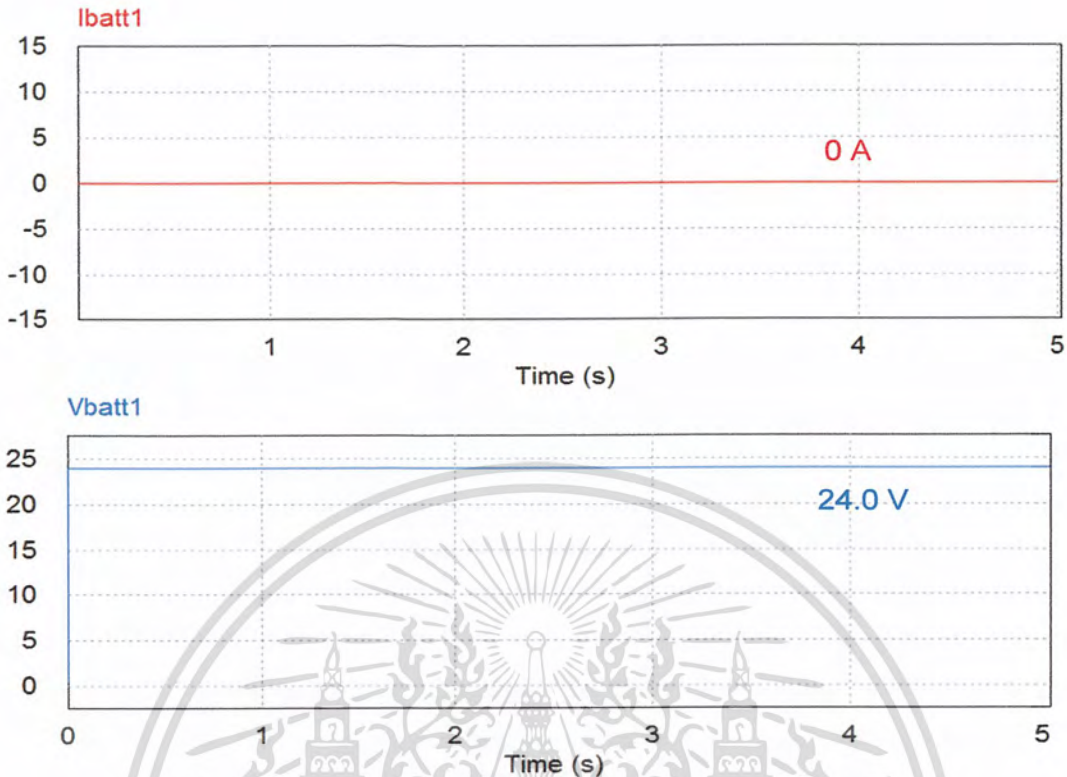
รูปที่ 4.15 สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดอัดประจุ (Charge)

จากผลการจำลองจะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าไหลเข้าสู่แบตเตอรี่เนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่มีค่าเป็นลบและแรงดันที่แบตเตอรี่มีขนาดสูงขึ้น เพราะฉะนั้นวงจร M^2C^3 สามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) แต่ไม่สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ในโหมดการอัดประจุได้ จึงเหมาะกับการอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อใช้สำรองพลังงานไฟฟ้า ปริมาณของกระแสจะขึ้นอยู่กับความต่างของแรงดันระหว่างแรงดันที่ด้านแรงดันต่ำของวงจร M^2C^3 ซึ่งเป็นอัตรากับแรงดันที่ด้านแรงดันสูงของวงจร กับแรงดันที่แบตเตอรี่ เพราะฉะนั้นถ้าหากเกิดแรงดันเกินที่ไม่โครกริตที่มีขนาดสูง จะทำให้เกิดการอัดประจุเกิน (Over-charge) ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อม มีอายุการใช้งานสั้นลง หรืออาจทำให้แบตเตอรี่บวมและระเบิดได้ เพราะฉะนั้นการใช้งานวงจร M^2C^3 เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่จะต้องใช้กับระบบไมโครกริตที่มีเสถียรภาพดี หรือต้องมีระบบป้องกันให้กับแบตเตอรี่ในกรณีที่เกิดแรงดันเกินที่ไม่โครกริตด้วย



รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดคายประจุ (Discharge)

โหมดการคายประจุของแบตเตอรี่จะเกิดในสภาวะที่แรงดันที่ไม่โครกริตตก เนื่องจากเกิดความผิดพลาดในระบบที่ด้านไมโครกริตหรือในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพราะความเข้มแสงไม่เพียงพอ ในการจำลองเราจะให้แรงดันที่แบตเตอรี่มีขนาด 24 Vdc สมมติให้แรงดันที่ไม่โครกริตมีขนาด 86.5 Vdc (แรงดันตกประมาณ 10%) ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปจ่ายให้ภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับไมโครกริต เนื่องจากทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นค่าบวก และระดับแรงดันที่แบตเตอรี่มีขนาดลดลง จากผลการจำลองวงจรสามารถยืนยันได้ว่าวงจร M^2C^3 มีคุณสมบัติในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางและประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริตได้



รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแสและแรงดันที่แบตเตอรี่ในโหมดแรงดันสมดุล

ในสภาวะปกติของระบบคือแรงดันที่ไม่โครกริตมีขนาด 96 Vdc และแบตเตอรี่ถูกอัดประจุจนเต็ม (24 Vdc) จะไม่มีพลังงานไหลผ่านวงจร M^2C^3 เนื่องจากแรงดันทั้งสองด้านของวงจรสมดุลกัน จากผลการจำลองในรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าไม่มีกระแสไหลเข้าหรือออกจากแบตเตอรี่ และแรงดันที่แบตเตอรี่คงที่ที่ 24 Vdc

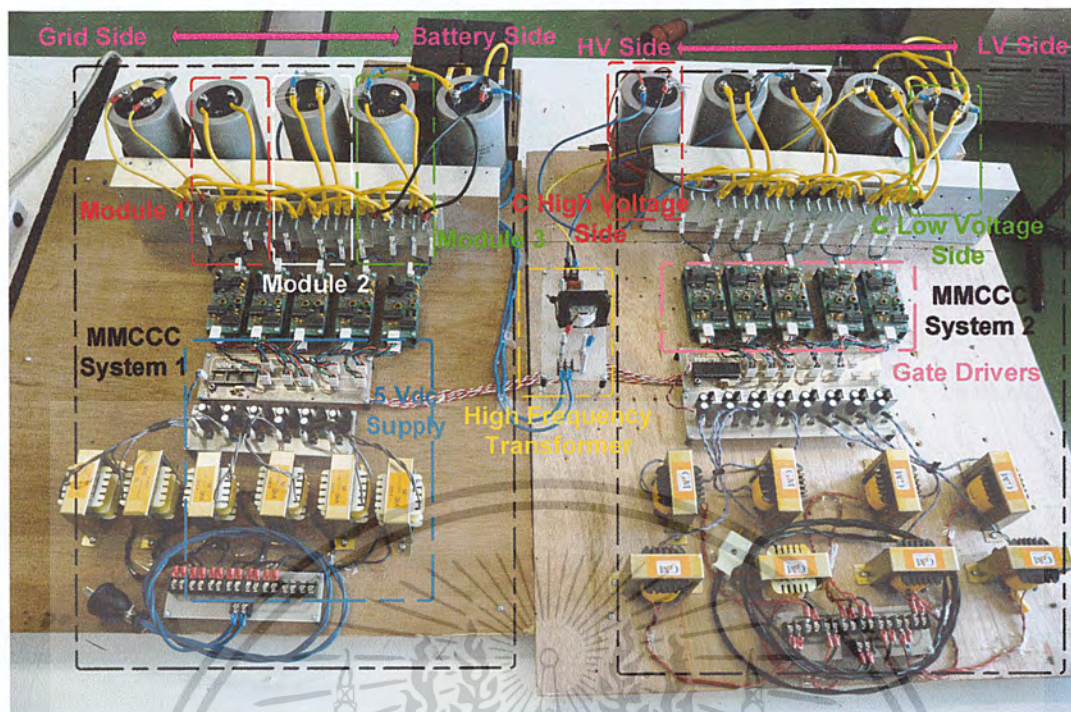
4.3 การทดสอบชิ้นงานต้นแบบวงจร M^2C^3

4.3.1 การแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า

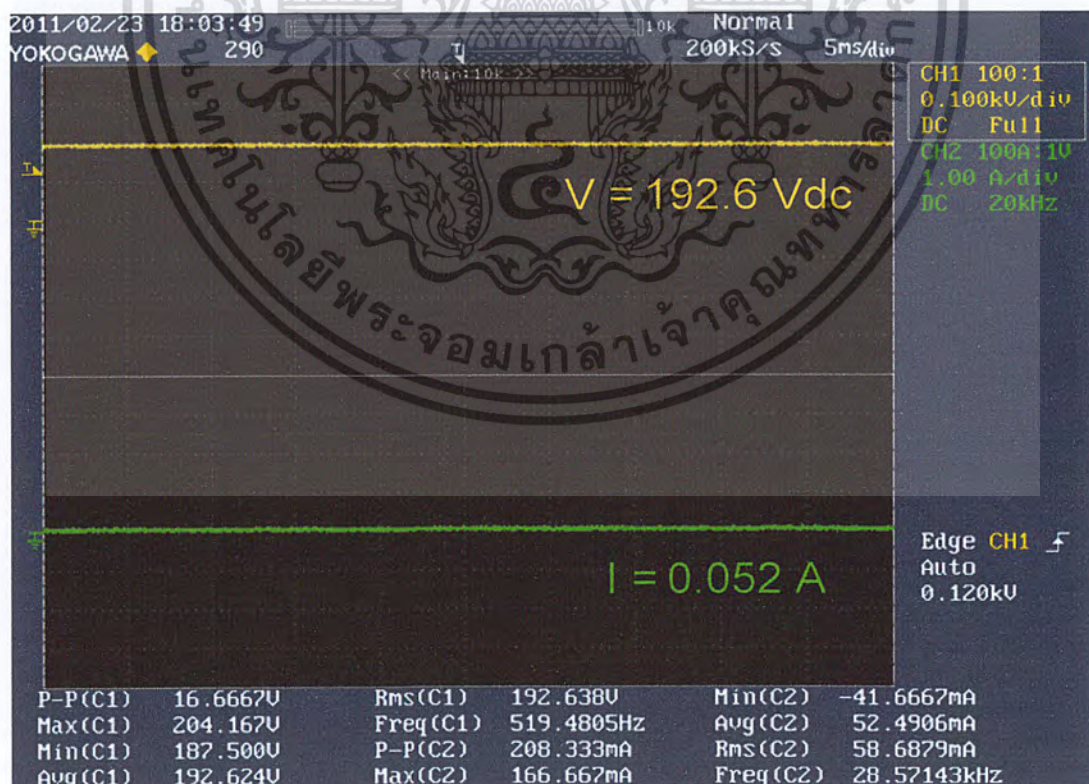
ในการทดสอบวงจร M^2C^3 เพื่อพิสูจน์ว่าวงจรนั้นมีความสามารถในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งขึ้นและลง จึงได้ทำการทดสอบให้เห็นจริง ชิ้นงานวงจรที่ทำการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.18 โดยผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 4.19 คือการทำงานในโหมดการแปลงแรงดันขึ้น โดยที่ด้านแรงดันต่ำของวงจรต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกปรับแรงดันให้มีขนาด 48 Vdc วัดแรงดันที่ด้านแรงดันสูงของวงจรได้ 192.6 Vdc และสำหรับโหมดการลดแรงดัน เราจะปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีขนาด 192 Vdc แล้วเชื่อมต่อกับวงจรที่ด้านแรงดันสูง ทำการวัดแรงดันที่ด้านแรงดันต่ำจะมีขนาด 48.2 Vdc ซึ่งแสดงผลการทดลองในรูปที่

4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

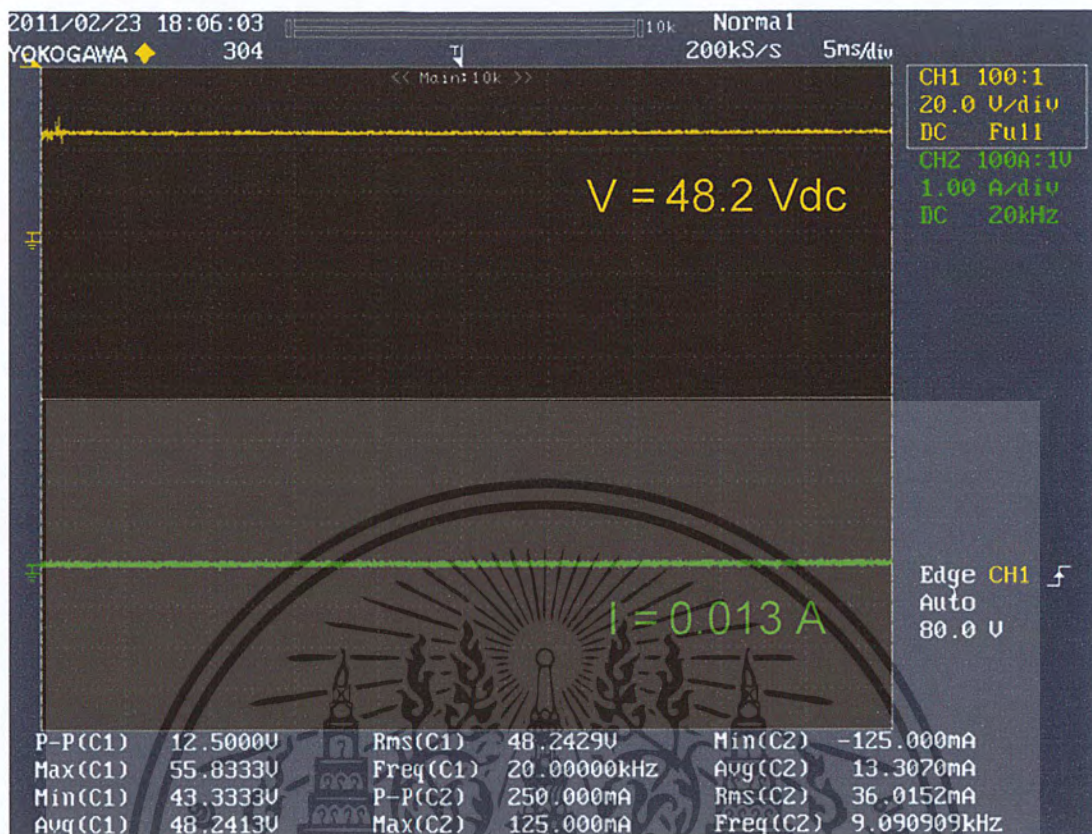


รูปที่ 4.18 ชิ้นงานจริงวงจร M²C³ ที่มีการแยกกราวด์ด้วยหม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 4.19 สัญญาณแรงดันและกระแสในโหมดการแปลงแรงดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

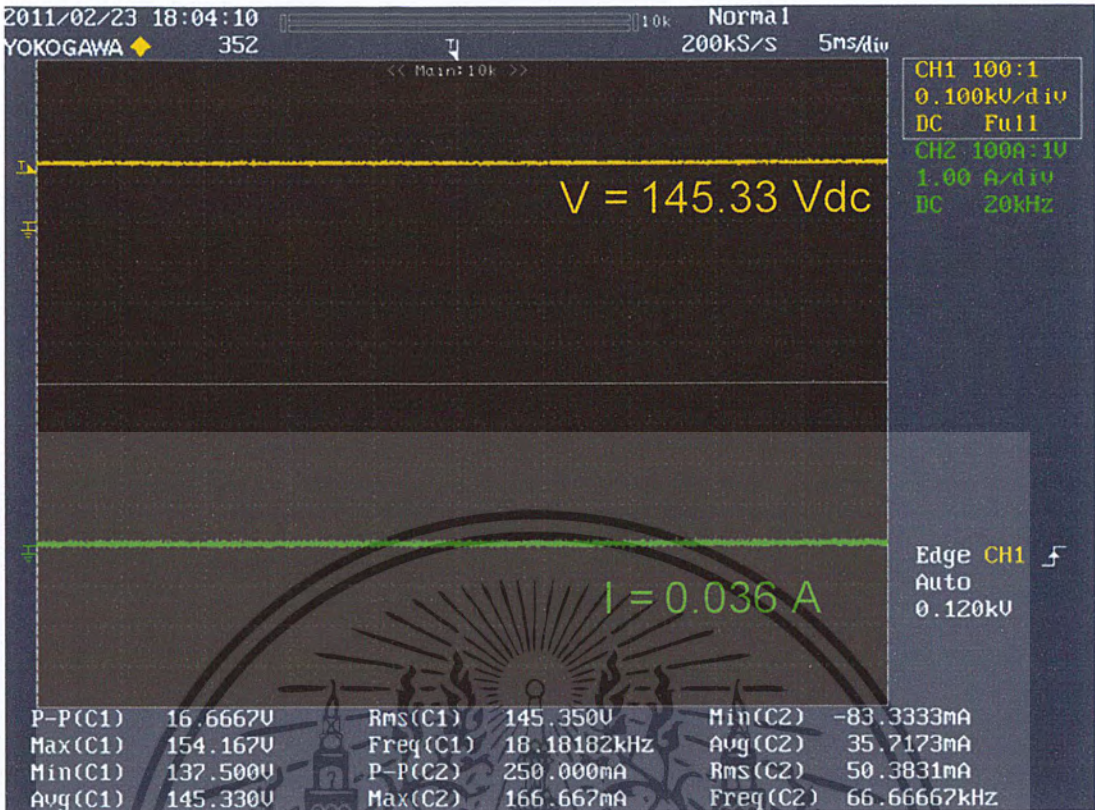


รูปที่ 4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสในโหมดการแปลงแรงดันลง

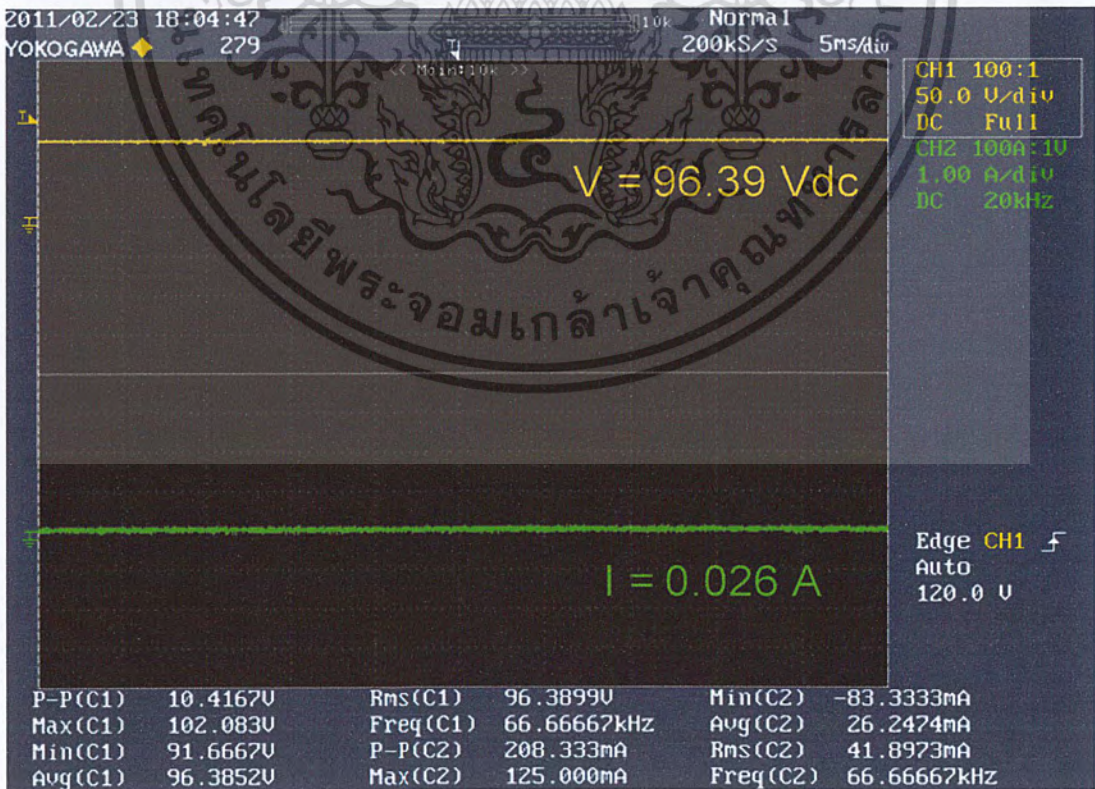
การแปลงแรงดันขึ้นและแปลงแรงดันลงจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล เพราะในการทดสอบจะต่อเครื่องมือวัดที่วงจรด้านตรงข้ามกับด้านที่ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าและไม่มีการต่อภาระไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถแปลงระดับแรงดันได้

สำหรับแรงดันที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับโมดูลซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อย สัญญาณแรงดันที่จุดนี้สามารถเก็บไปใช้งานได้สำหรับภาระไฟฟ้าบางชนิดที่ใช้งานที่ระดับแรงดันต่ำกว่าแรงดันของระบบไมโครกริด โดยสัญญาณแรงดันของตัวเก็บประจุที่โมดูลที่หนึ่งมีขนาด 145.3 Vdc แรงดันที่ตัวเก็บประจุโมดูลที่สองมีขนาด 96.4 Vdc และแรงดันที่ตัวเก็บประจุโมดูลที่สามมีขนาด 48.1 Vdc ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.21 รูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุโมดูลที่สาม จะมีขนาดเท่ากับแรงดันที่ด้านแรงดันต่ำของวงจร ฉะนั้นวงจร M^2C^3 ที่มีจำนวนโมดูล 3 โมดูล จะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

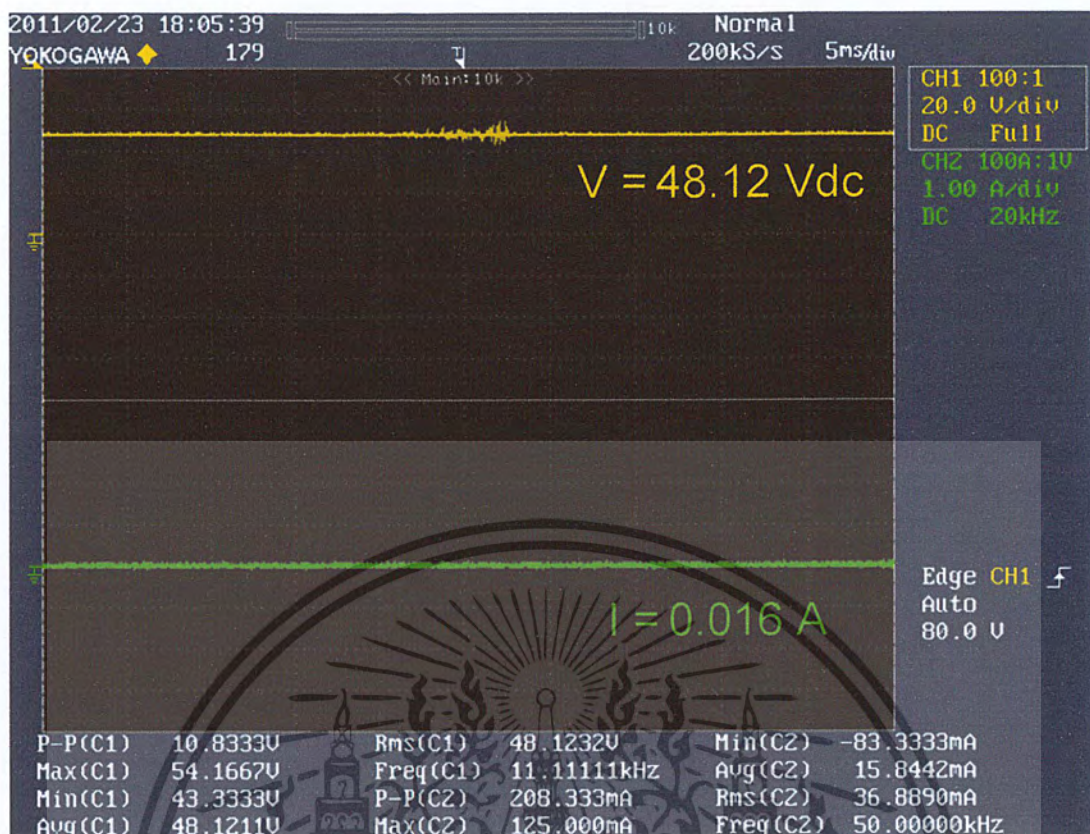


รูปที่ 4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่หนึ่ง



รูปที่ 4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

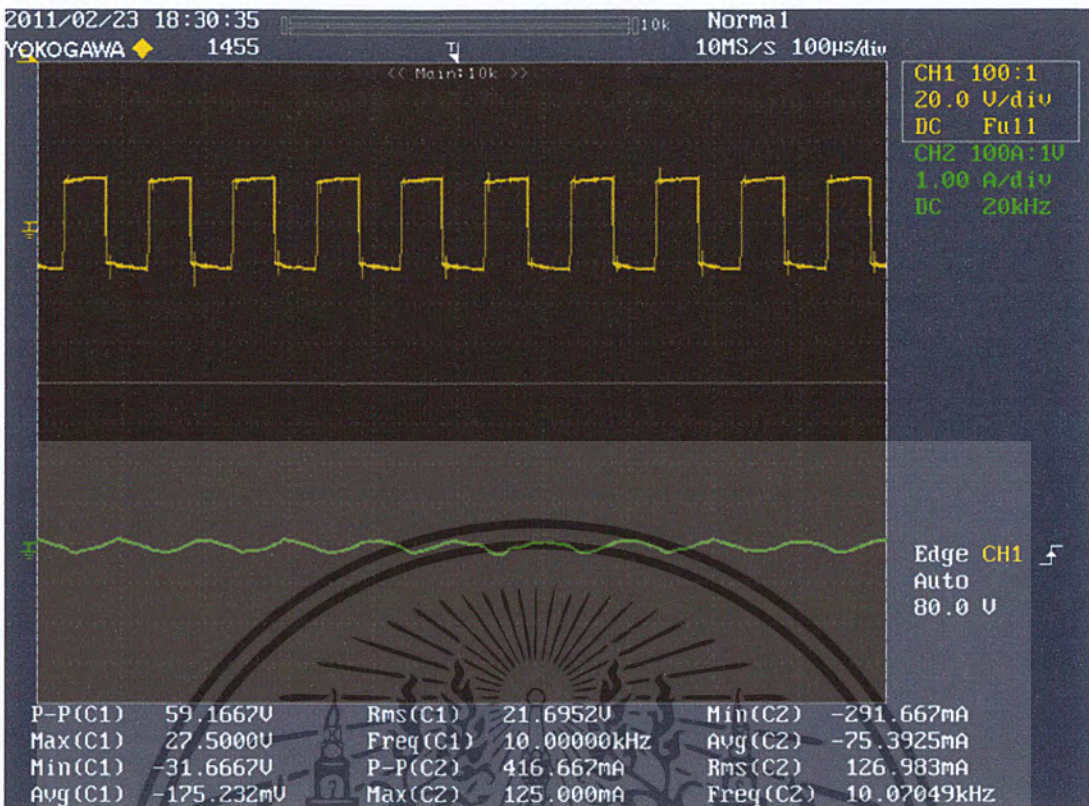


รูปที่ 4.23 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุของโมดูลที่สาม

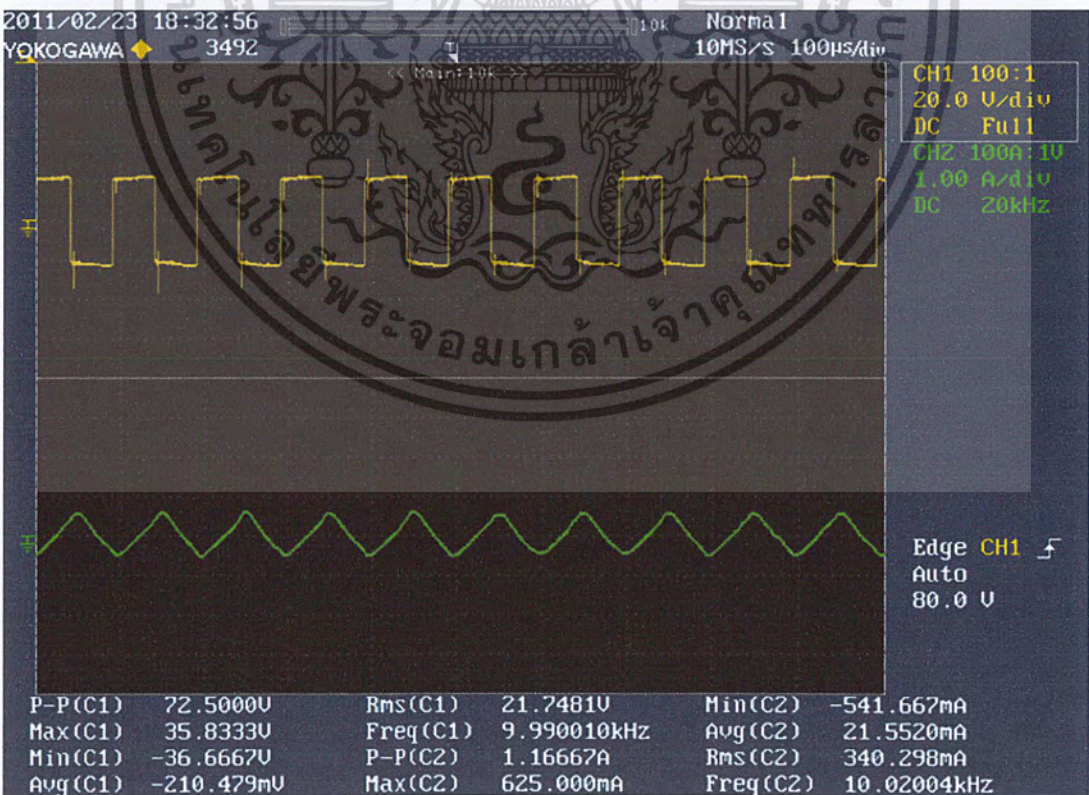
4.3.2 การเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 สองระบบด้วยหม้อแปลงความถี่สูง

ในการทดสอบวงจร M^2C^3 สองระบบที่เชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงความถี่สูงที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบคือ 1:1 จะทดสอบโดยให้แรงดันที่ด้านแรงดันสูงของ M^2C^3 ทั้งสองชุดต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาด 96 Vdc และที่ด้านแรงดันต่ำของวงจรจะต่อกับแบตเตอรี่มีแรงดัน 24 Vdc ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ แสดงสัญญาณที่วัดได้ในรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าขนาดแรงดันมีค่าประมาณ +24 V และ -24 V โดยอ่านค่าจากช่องที่สเกลในรูป แต่ถ้าดูค่าสูงสุด (Max) และค่าต่ำสุด (Min) จะมีค่าสูงกว่า +24 V กับ -24 V เพราะมีแรงดันสไปค์เกิดขึ้นเล็กน้อย สัญญาณแรงดันทั้งฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 10 kHz ในส่วนของกระแสไฟฟ้าจะเห็นได้ว่ามีปริมาณกระแสไฟฟ้าไหล เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าทั้งสองด้านของวงจรและทั้งสองระบบไม่สมดุลกัน และสัญญาณแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิจะมีเฟสตรงกันข้ามดังที่แสดงในรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

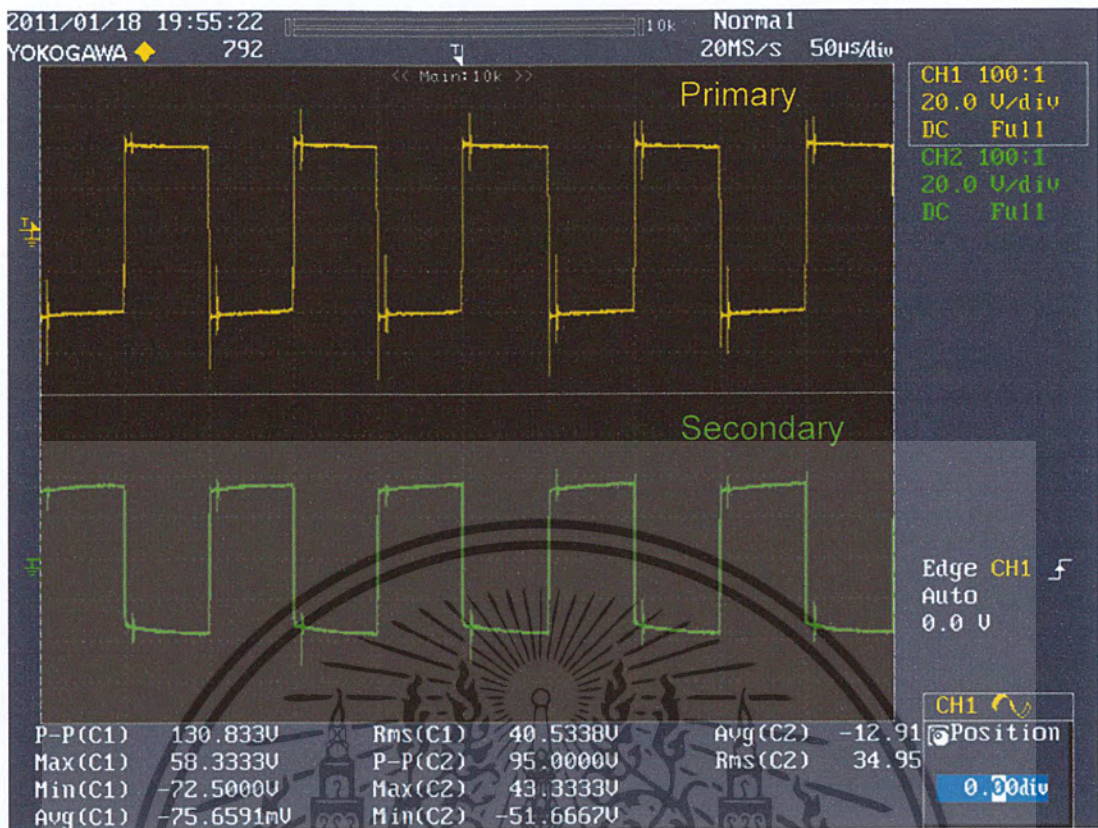


รูปที่ 4.24 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 4.25 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

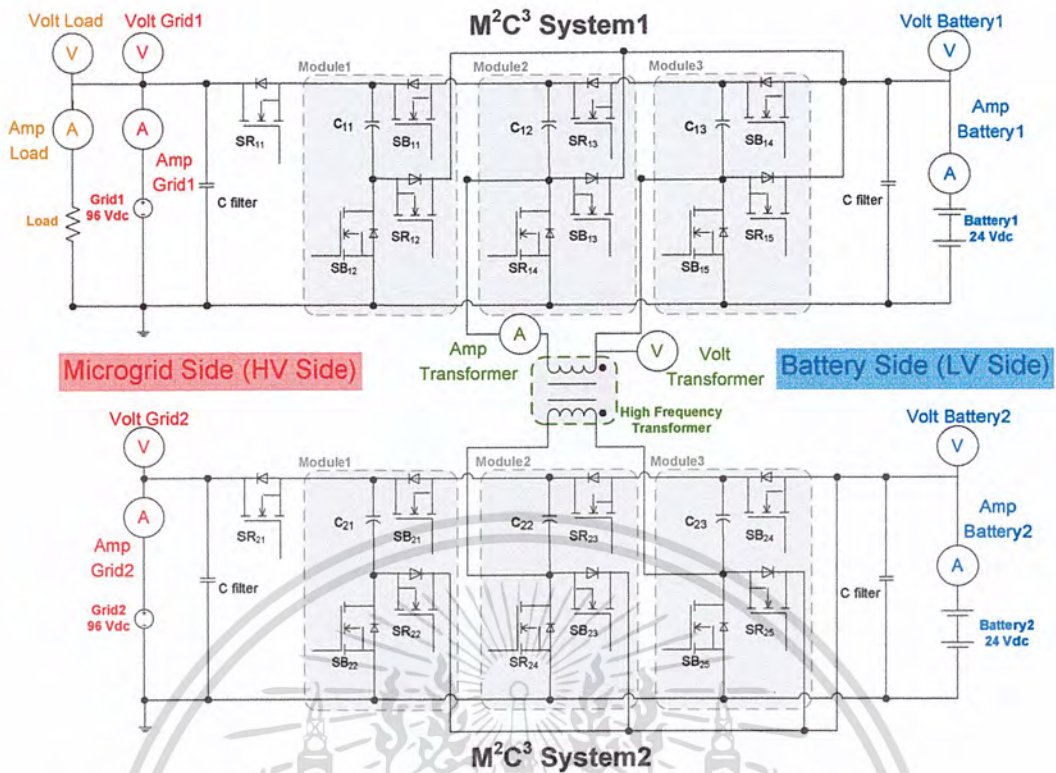


รูปที่ 4.26 สัญญาณแรงดันของหม้อแปลงความถี่สูงที่ฝังปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

4.3.3 การทดสอบวงจรโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับไมโครกริดและแบตเตอรี่

การทดสอบวงจร M^2C^3 ในหัวข้อนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวงจรเมื่อนำวงจรมาประยุกต์ใช้งานในระบบไมโครกริด ซึ่งรูปวงจรที่ใช้ในการทดสอบและจุดต่อเครื่องมือวัดเพื่อแสดงผลการทดสอบมีดังรูปที่ 4.27 ในการทดสอบวงจร จะให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแบตเตอรี่มีค่าเป็นบวก และทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าภาระไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก

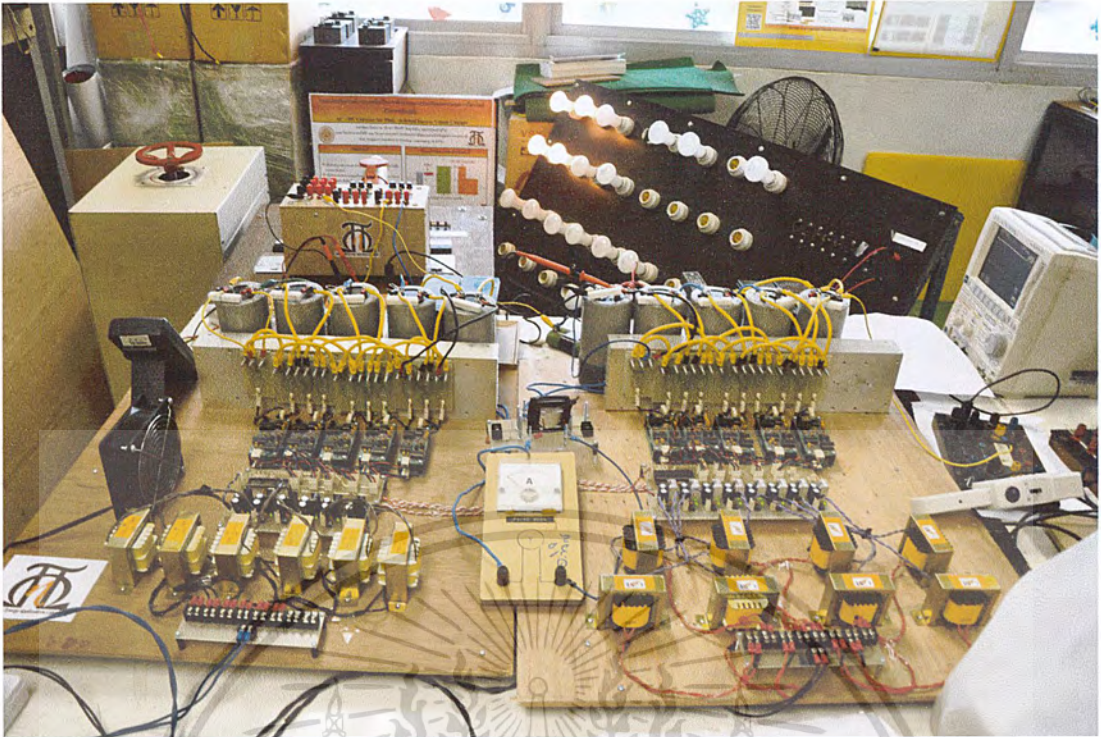
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



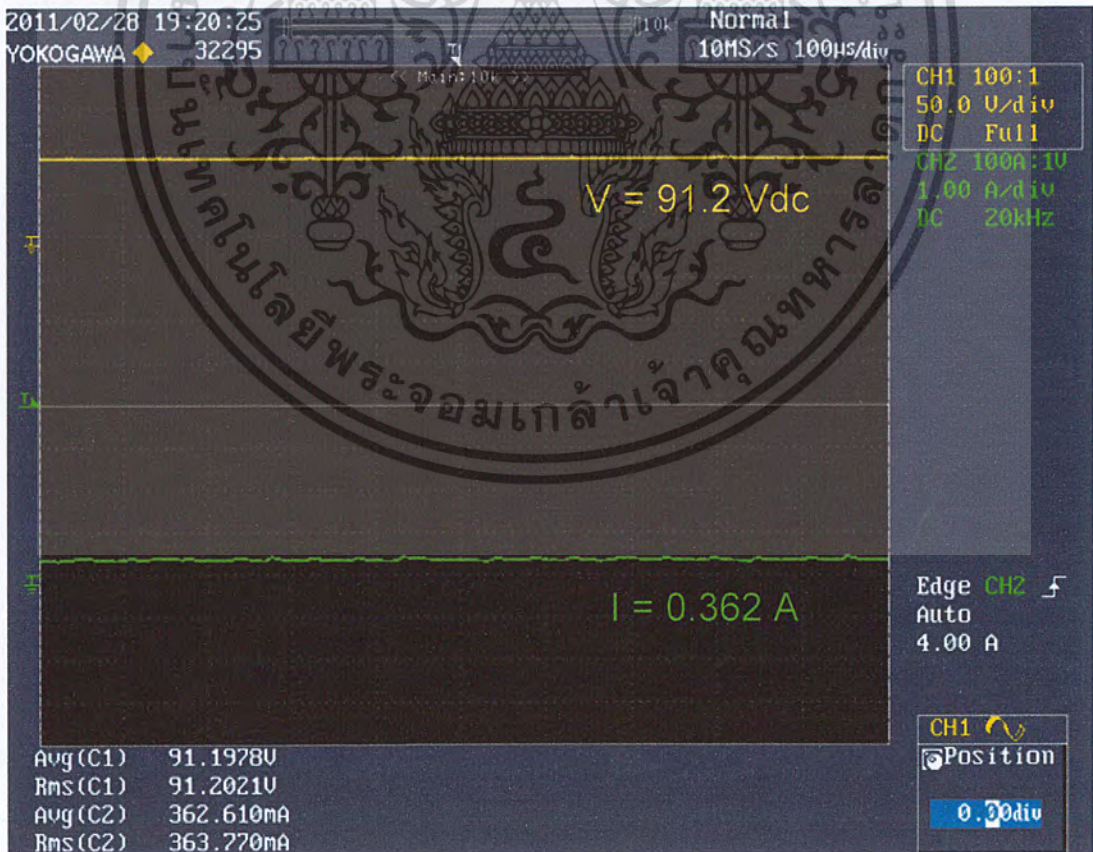
รูปที่ 4.27 วงจรที่ใช้ทดสอบในสภาวะการทำงานปกติ

ในการทดสอบแรกคือ การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่สภาวะการทำงานปกติของทั้งระบบ โดยมีแรงดันที่ไม่โครกริตดิงที่ 96 Vdc วงจร M^2C^3 ทั้งสองชุดเชื่อมต่อกับไมโครกริตที่ด้านแรงดันสูง มีโหลดหลอดไฟต่ออยู่ที่แรงดัน 96 Vdc จำนวน 4 หลอด คิดเป็นขนาดประมาณ 100 W ที่ด้านแรงดันต่ำของวงจรจะต่ออยู่กับแบตเตอรี่ขนาด 24 Vdc ดังที่แสดงในรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28 ทำการวัดแรงดันกับกระแสที่ไมโครกริตของ M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง, แรงดันกับกระแสที่ไมโครกริตของ M^2C^3 ระบบที่สอง, แรงดันกับกระแสที่แบตเตอรี่ของ M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง, แรงดันกับกระแสที่แบตเตอรี่ของ M^2C^3 ระบบที่สอง, แรงดันกับกระแสที่ภาระไฟฟ้า และสัญญาณแรงดันกับกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงฝั่งปฐมภูมิ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.29 รูปที่ 4.30 รูปที่ 4.31 รูปที่ 4.32 รูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 ตามลำดับ จากผลการทดลองในรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 จะเห็นว่ามีการไหลออกจากไมโครกริตและแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับวงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง แรงดันที่ไมโครกริตระบบที่หนึ่งมีแรงดันตกมากกว่าไมโครกริตระบบที่สอง และแบตเตอรี่ของระบบที่หนึ่งมีการจ่ายกระแสให้ภาระไฟฟ้ามมากกว่าแบตเตอรี่ระบบที่สอง เนื่องจากมีภาระไฟฟ้าต่ออยู่กับวงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง ในรูปที่ 4.32 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้ามี่ขนาดประมาณ 105 W และจากรูปที่ 4.33 มีกระแสไหลในขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูงประมาณ 0.6 A แรงดันมีขนาด 20.1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

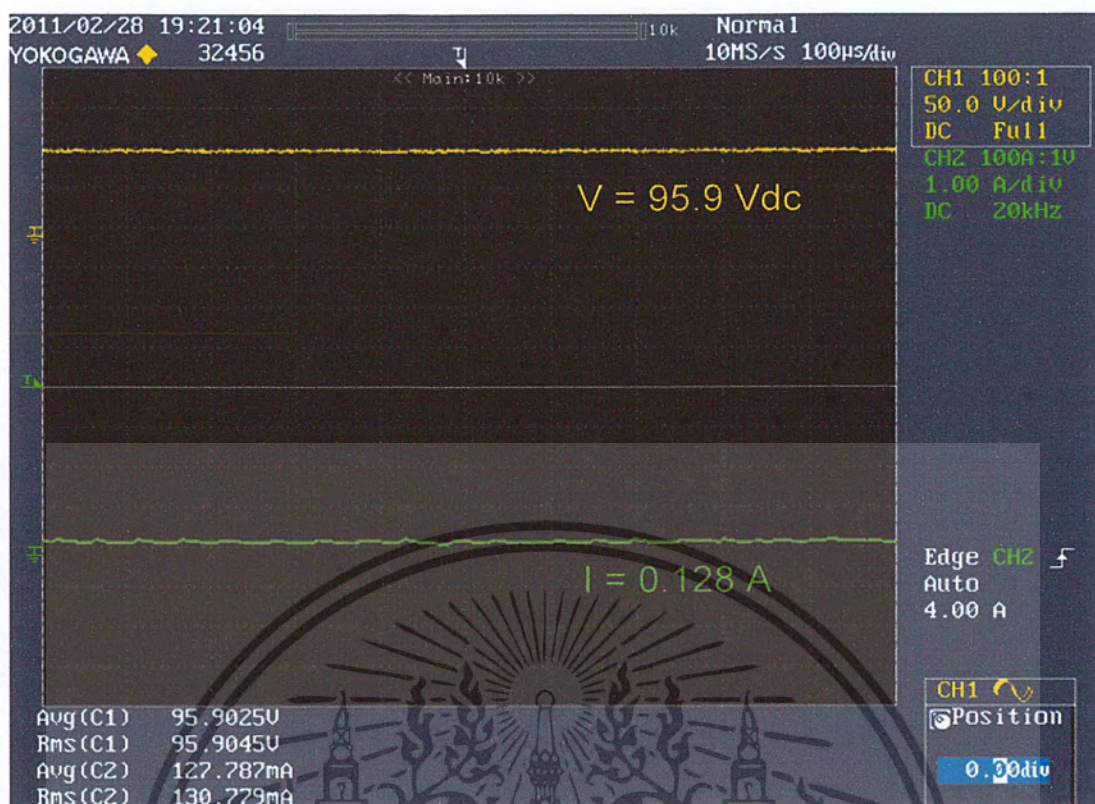


รูปที่ 4.28 การทดสอบวงจร M^2C^3 ที่มีการแยกกราวด์ด้วยหม้อแปลงความถี่สูง

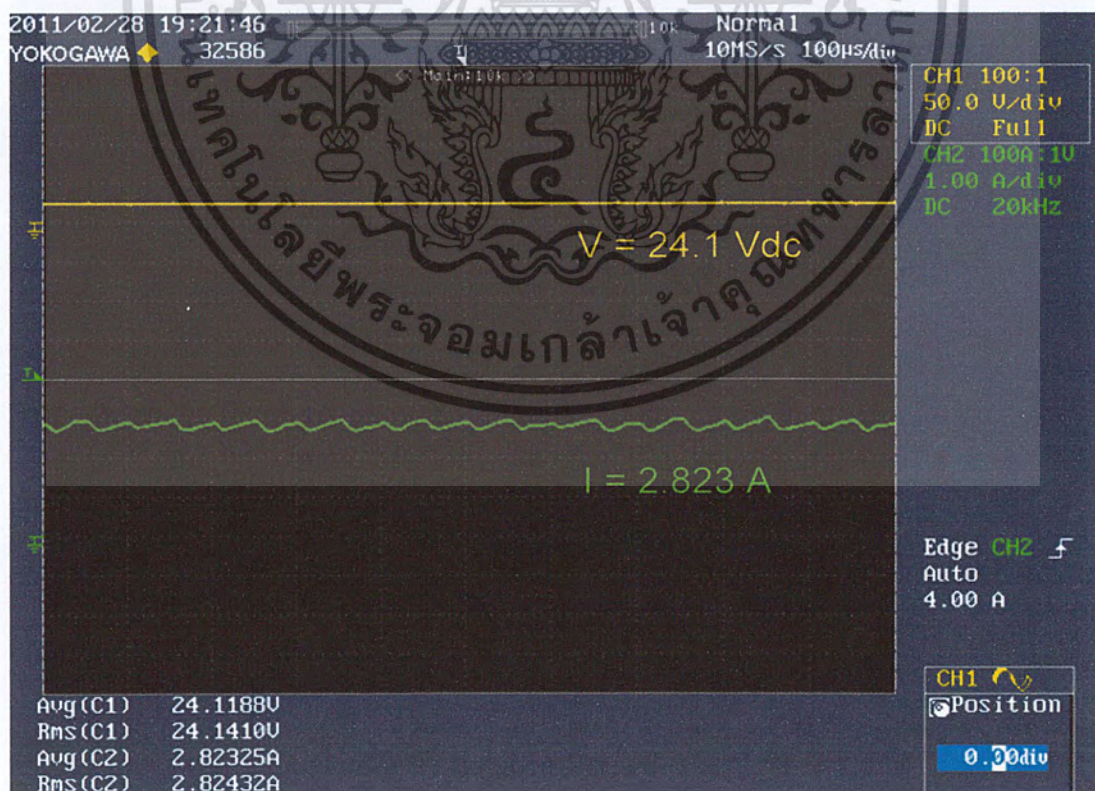


รูปที่ 4.29 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ไมโครกริดของระบบที่หนึ่งในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

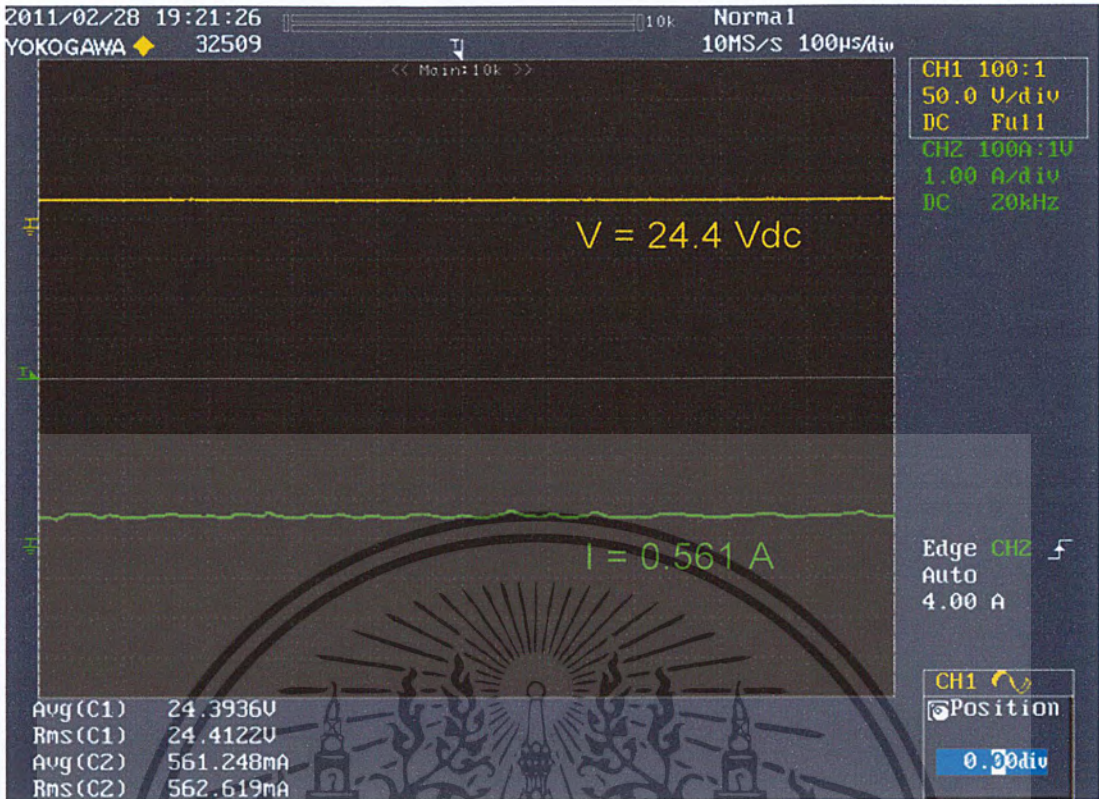


รูปที่ 4.30 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ไมโครกริดของระบบที่สองในสภาวะปกติ

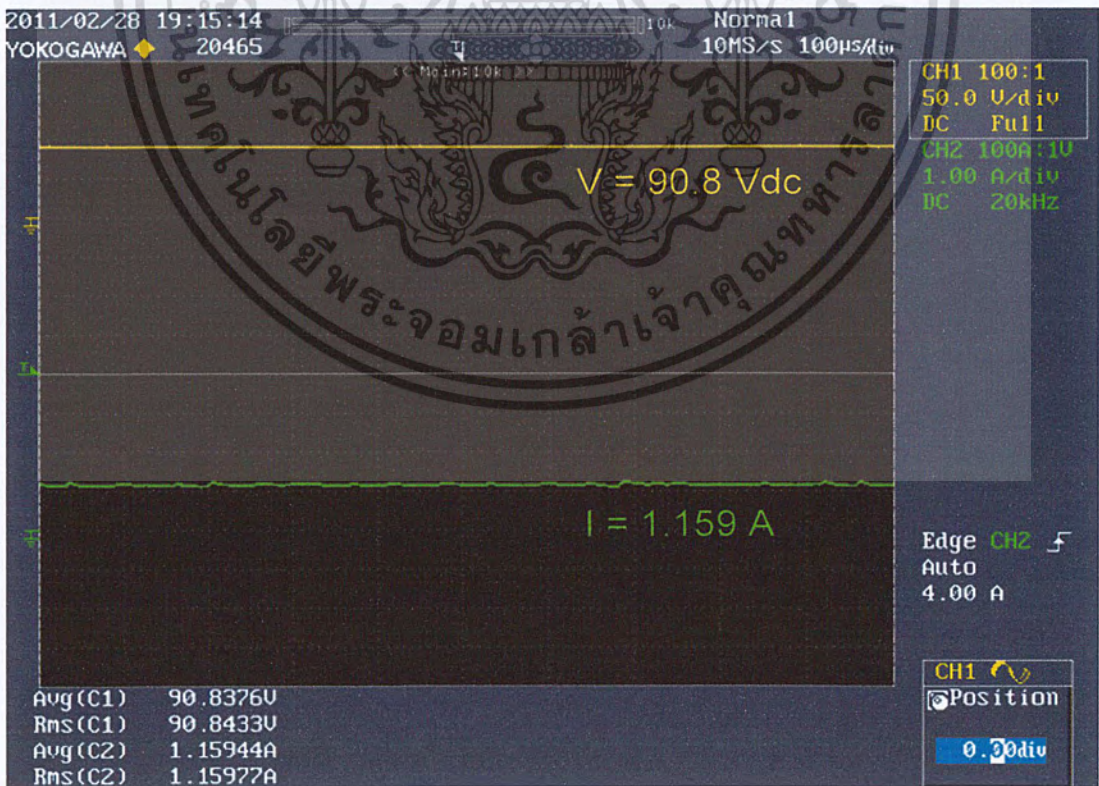


รูปที่ 4.31 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ของระบบที่หนึ่งในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

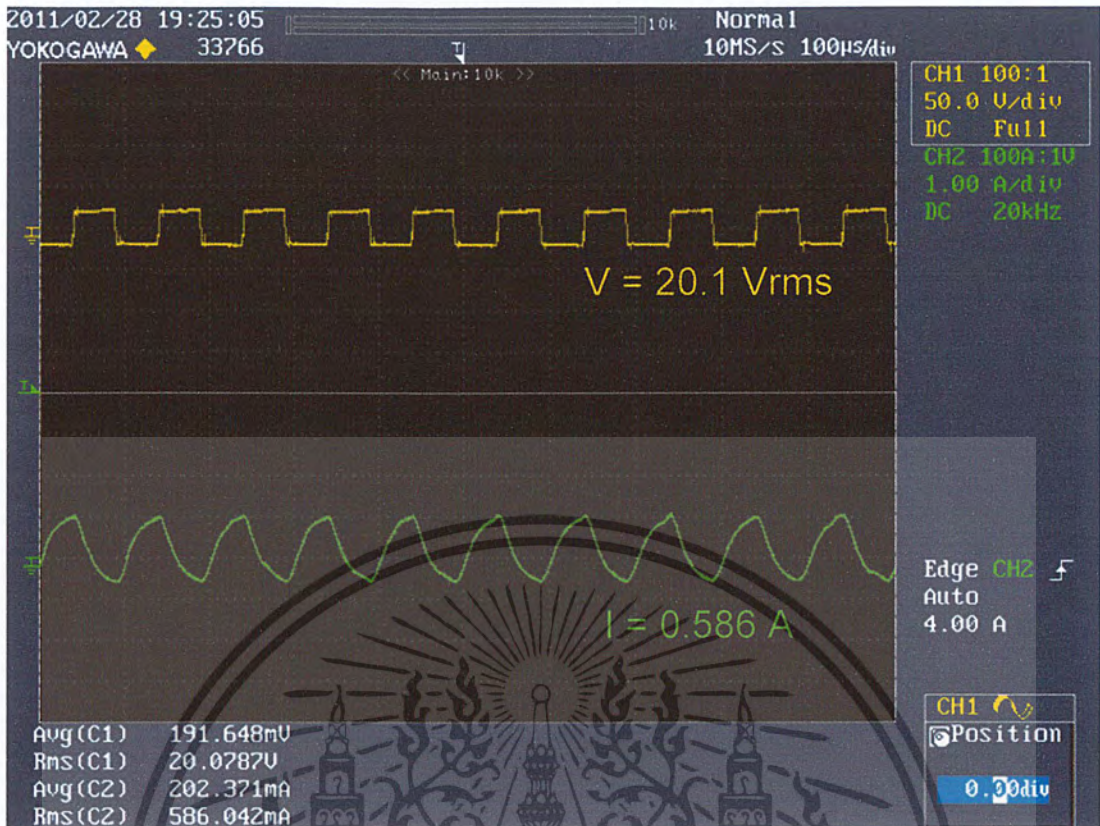


รูปที่ 4.32 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ของระบบที่สองในสภาวะปกติ

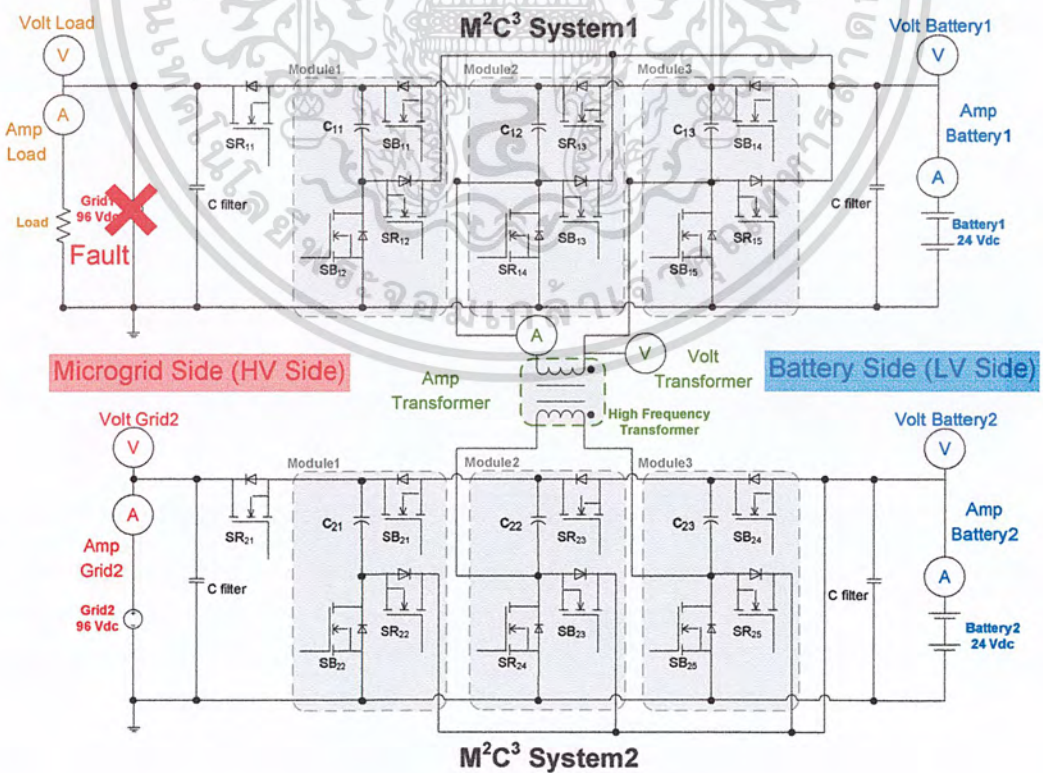


รูปที่ 4.33 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับ M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



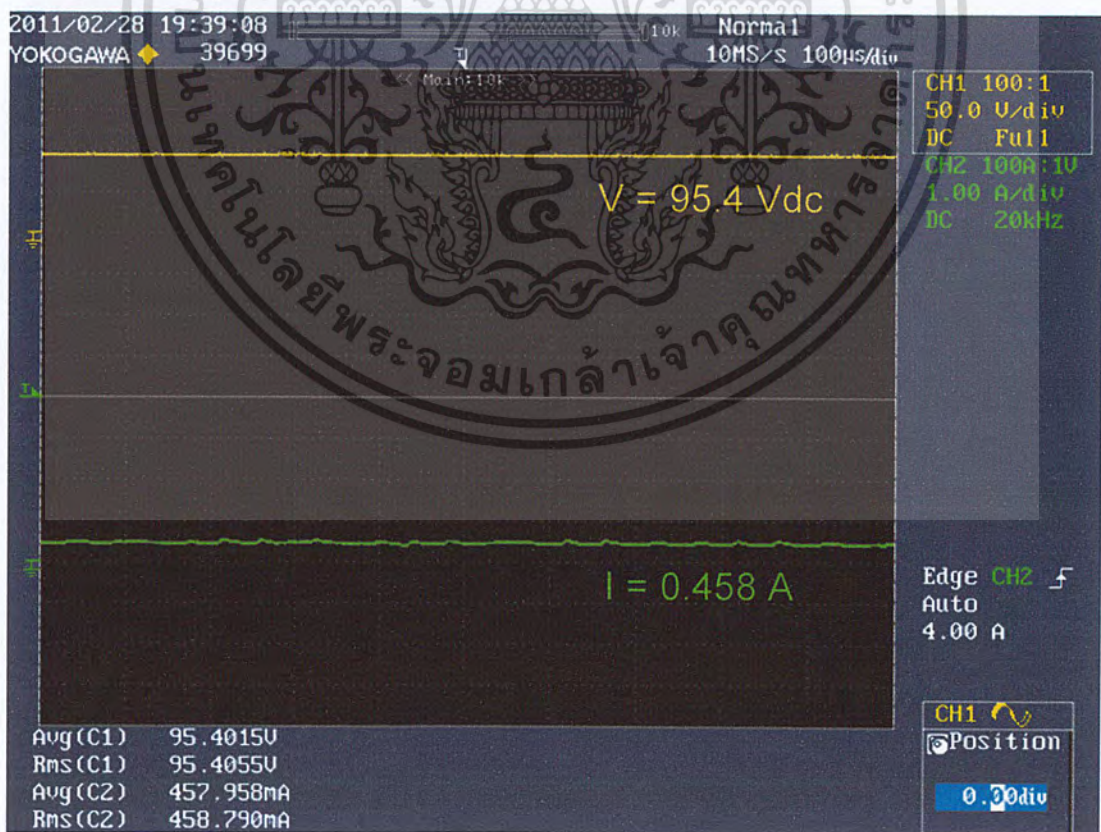
รูปที่ 4.34 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงในสภาวะปกติ



รูปที่ 4.35 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงในสภาวะปกติ

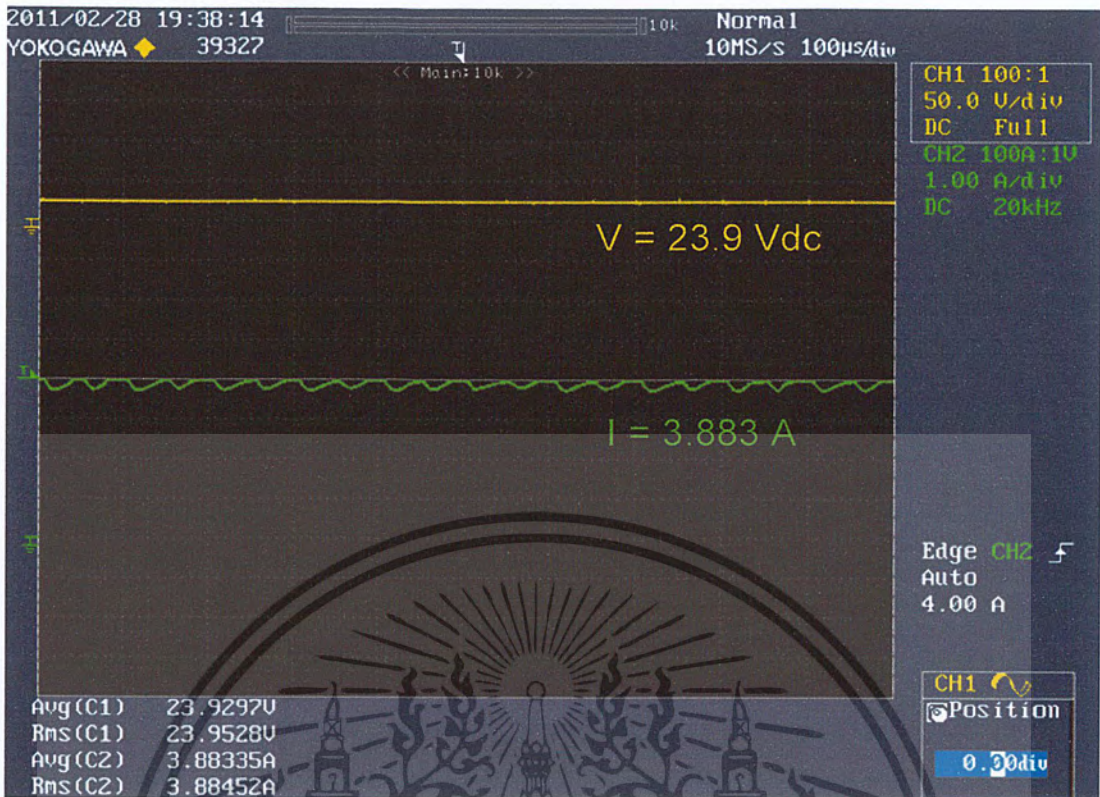
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบวงจรในสภาวะที่เกิดความผิดพลาดขึ้นที่ด้านแรงดันสูงของวงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง จะจำลองให้ด้านไมโครกริดของวงจร M^2C^3 ชุดที่หนึ่งเกิดความผิดพลาดทำให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรออก ซึ่งมีวงจรแสดงในรูปที่ 35 ทำการวัดสัญญาณแรงดันกับกระแสที่เบตเตอร์ของ M^2C^3 ระบบหนึ่ง สัญญาณแรงดันกับกระแสที่เบตเตอร์ของ M^2C^3 ระบบที่สอง สัญญาณแรงดันกับกระแสที่ไมโครกริดของ M^2C^3 ระบบที่สอง สัญญาณแรงดันกับกระแสที่ภาระไฟฟ้า และสัญญาณแรงดันกับกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.36 รูปที่ 4.37 รูปที่ 4.38 รูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 ตามลำดับ ผลการทดสอบในรูปที่ 4.37 จะเห็นว่ามีการแสดงออกจากเบตเตอร์สูงขึ้นกว่ากรณีที่วงจรทำงานในสภาวะปกติ เพราะว่าเบตเตอร์จะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านวงจร M^2C^3 ให้กับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่อีกด้านของวงจรในระบบที่หนึ่ง และในรูปที่ 4.36 กับรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าการดึงกระแสจากไมโครกริดและเบตเตอร์ของระบบที่สองเพิ่มขึ้นจากกรณีแรก เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่ระบบที่หนึ่งโดยผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ในกรณีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้ามีขนาดประมาณ 130 W จากรูปที่ 4.40 จะเห็นได้ว่ามีปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มมากขึ้นด้วย เพราะไมโครกริดและเบตเตอร์ของระบบที่สองต้องช่วยส่งกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่วงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง

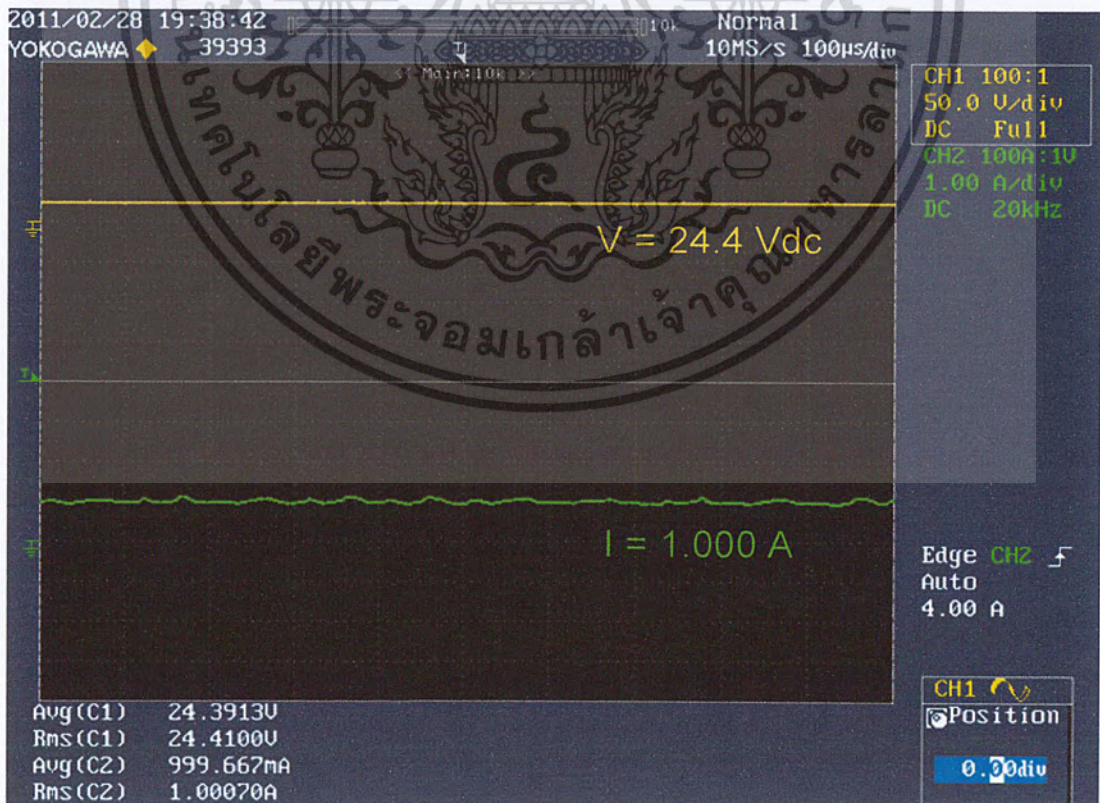


รูปที่ 4.36 แรงดันและกระแสที่ไมโครกริดของระบบที่สอง เมื่อตัดไมโครกริดระบบที่หนึ่งออก

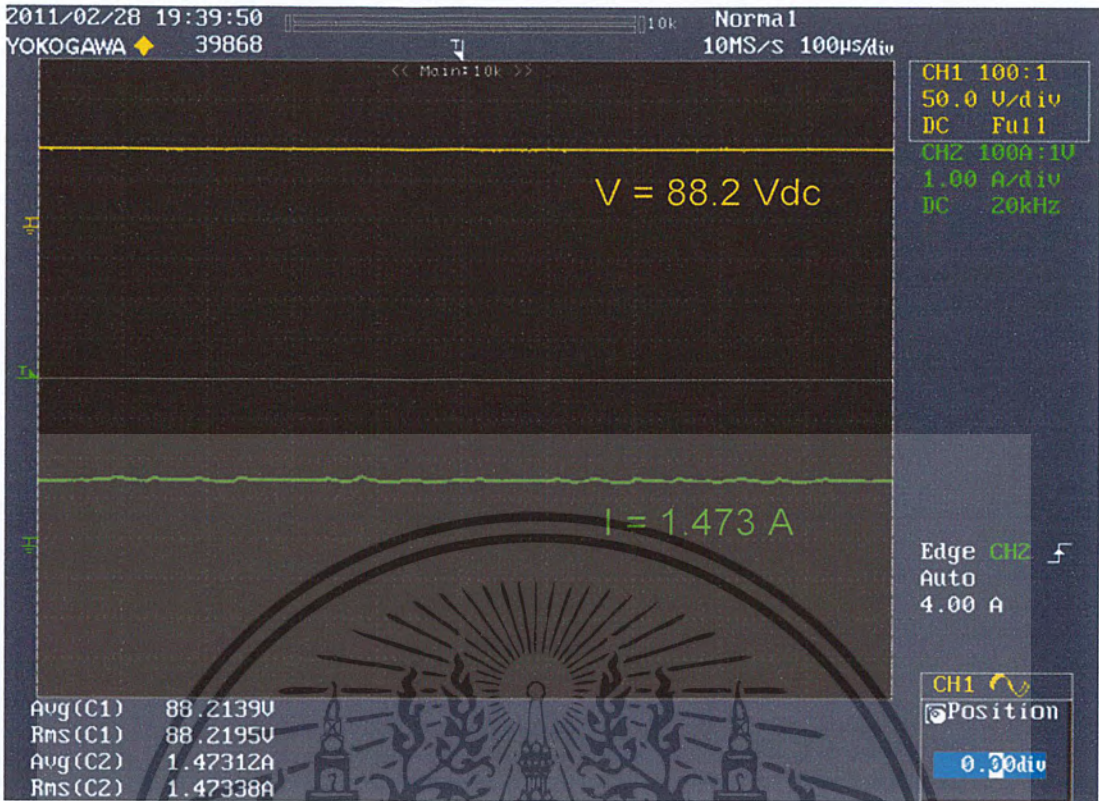
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นภาพหรือข้อความใด ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



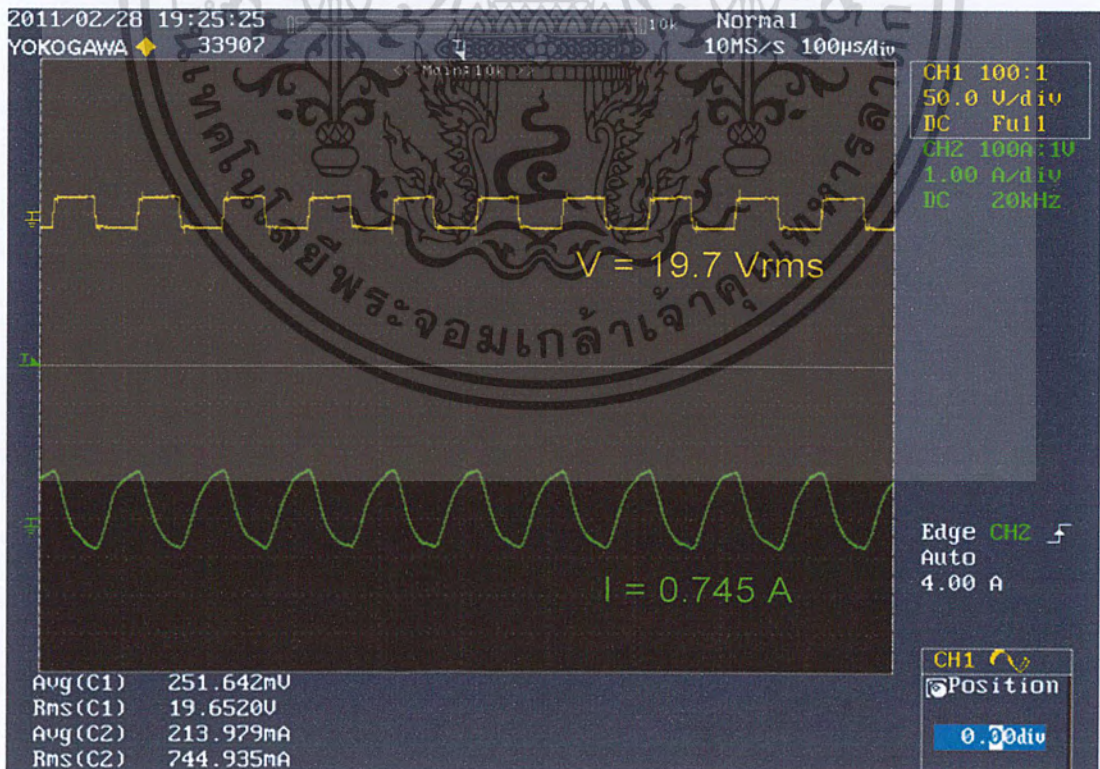
รูปที่ 4.37 แรงดันและกระแสที่เบตเตอร์ของระบบที่หนึ่ง เมื่อตัดไมโครกริดระบบที่หนึ่งออก



รูปที่ 4.38 แรงดันและกระแสที่เบตเตอร์ของระบบที่สอง เมื่อตัดไมโครกริดระบบที่หนึ่งออก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

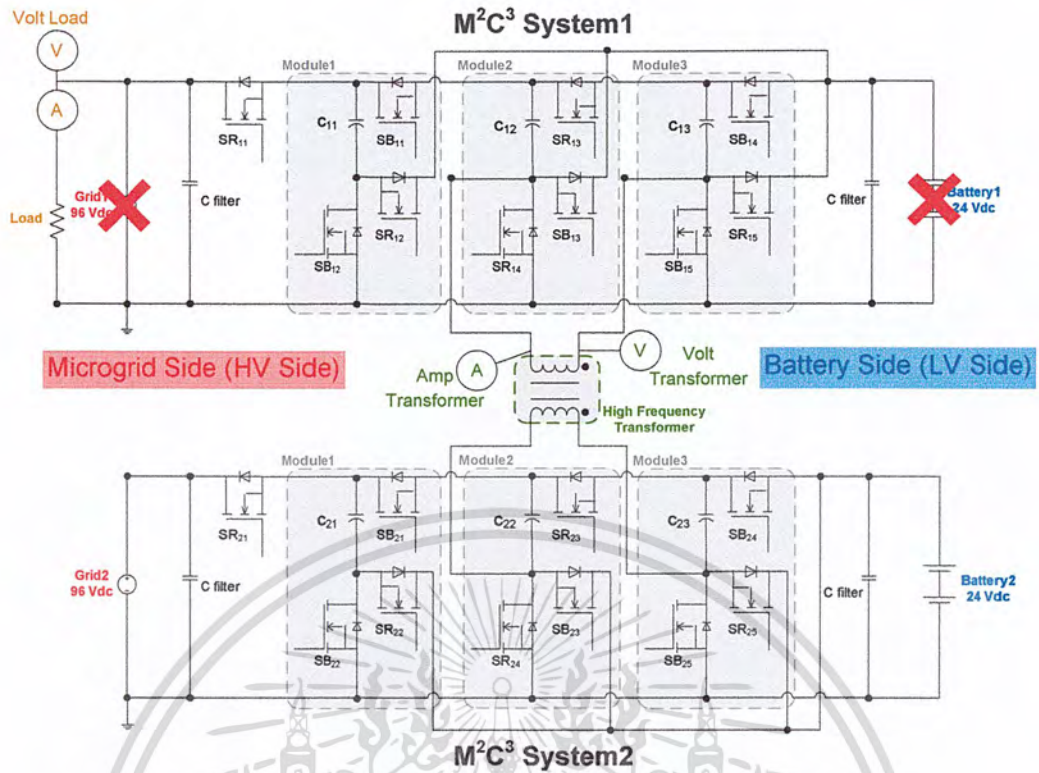


รูปที่ 4.39 แรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้า เมื่อตัดไมโครกริดระบบที่หนึ่งออก



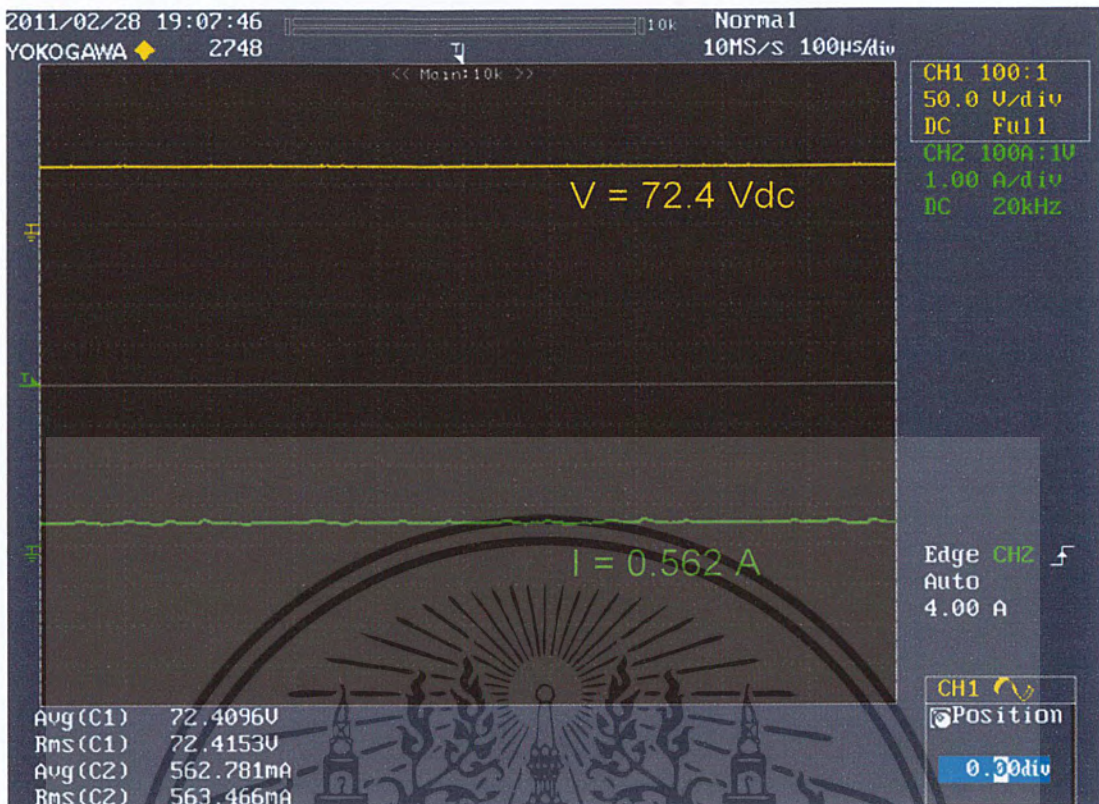
รูปที่ 4.40 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง เมื่อตัดไมโครกริดระบบที่หนึ่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

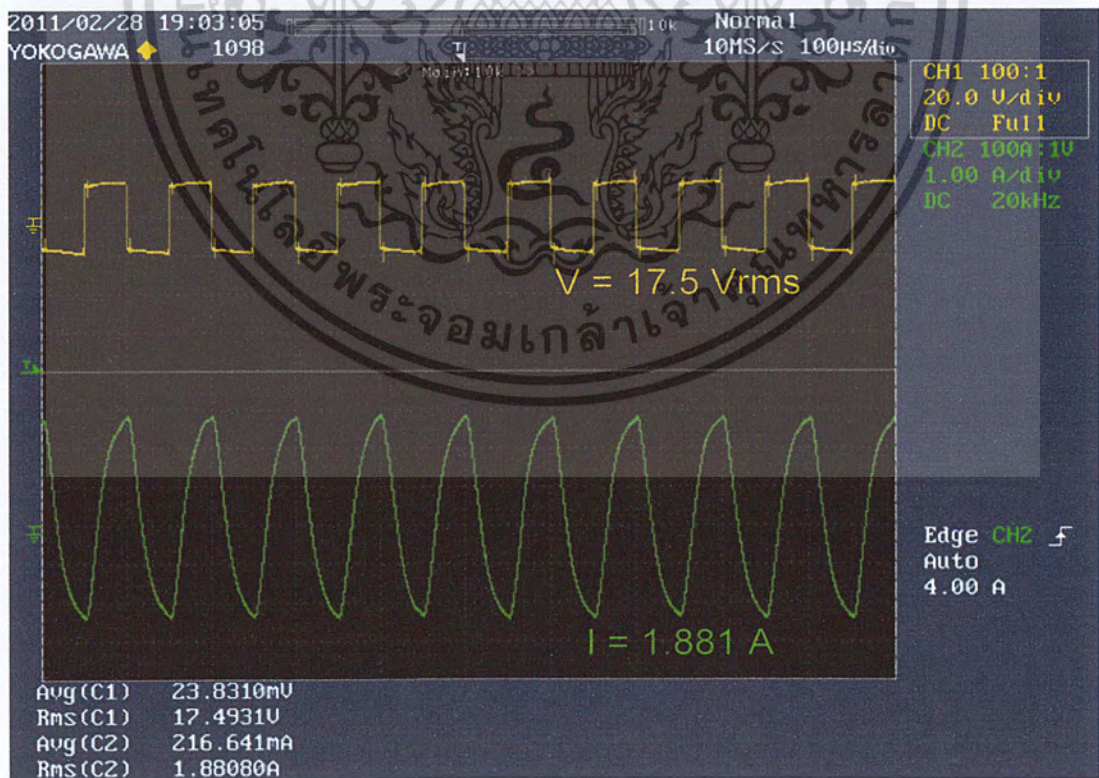


รูปที่ 4.41 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูงในสภาวะปกติ

ในกรณีที่วงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่งไม่ได้เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ เช่น มีการเปลี่ยนแบตเตอรี่หรือข้อมบารุง และถ้าหากเกิดความผิดพลาดที่ด้านไมโครกริดของวงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่งด้วยดังที่แสดงวงจรในรูปที่ 4.41 โดยจะจำลองกรณีที่วงจร M^2C^3 ของระบบที่หนึ่งซึ่งมีภาระไฟฟ้าต่ออยู่ จะไม่มีแหล่งจ่ายจากทั้งสองด้านของวงจร M^2C^3 ในระบบที่หนึ่ง เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าได้รับจะมาจากไมโครกริดและแบตเตอรี่ของ M^2C^3 ระบบที่สองเท่านั้น ทำการวัดสัญญาณแรงดันกับกระแสที่ภาระไฟฟ้าและสัญญาณแรงดันกับกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.42 และรูปที่ 4.43 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าได้รับมีขนาดประมาณ 41 W ที่แรงดัน 72.4 Vdc ขนาดกระแสที่ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูงมีขนาดเพิ่มขึ้นจากกรณีข้างต้น ถ้าหากดูตามวงจรจะเห็นว่าการแปลงระดับแรงดันเพียง 3 ระดับ (เหลือโมดูลที่ทำงานในระบบที่หนึ่งเพียง 2 โมดูล) จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้ามมีขนาดไม่ถึงพิกัด เพราะฉะนั้นถ้าหากเกิดกรณีนี้ขึ้น จะต้องมึระบบป้องกันให้กับภาระไฟฟ้า หรือสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มโมดูลที่ด้านแรงดันสูงของวงจร M^2C^3 ระบบที่หนึ่ง เพื่อให้ภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่สามารถทำงานที่พิกัดแรงดันได้



รูปที่ 4.42 แรงดันและกระแสที่ภาระไฟฟ้า เมื่อไม่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบที่หนึ่ง

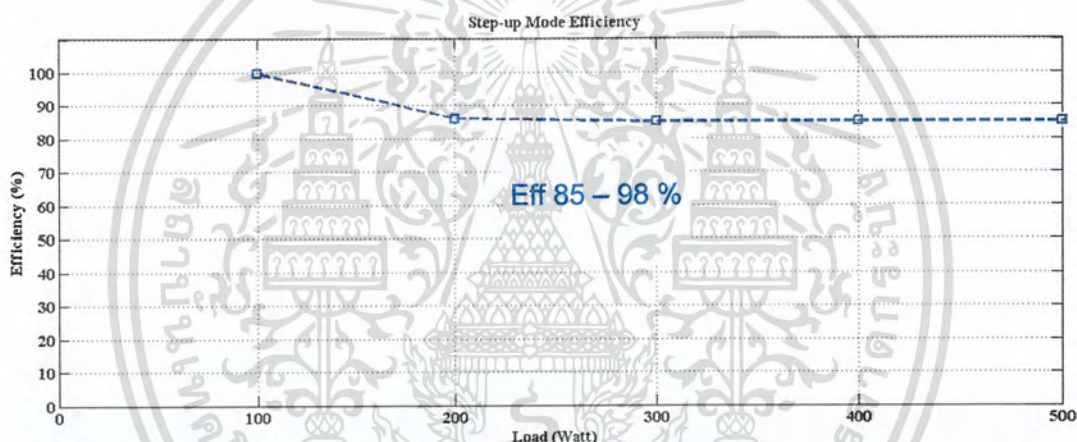


รูปที่ 4.43 แรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง เมื่อไม่มีแหล่งจ่ายในระบบที่หนึ่ง

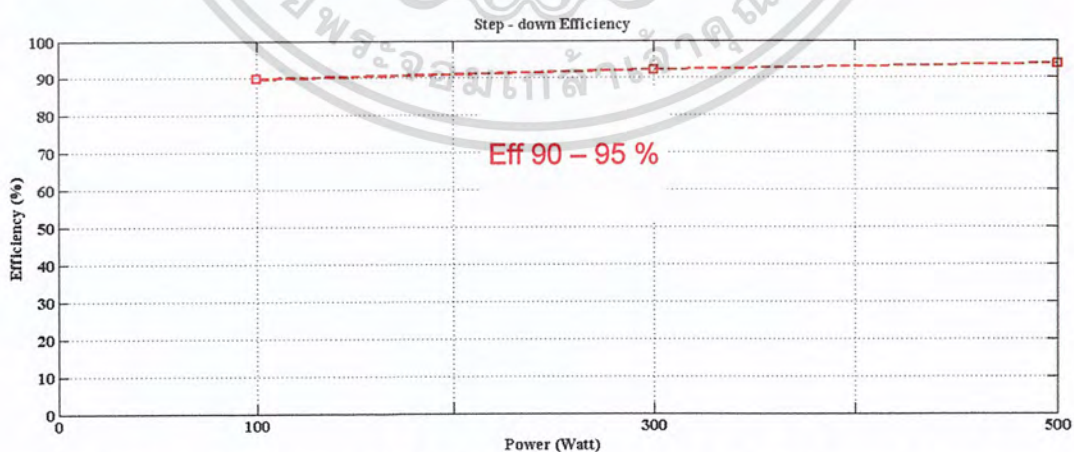
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การทดสอบวงจร M^2C^3 เพื่อหาประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 และกระแสกระเพื่อมที่ภาระไฟฟ้าแต่ละขนาด

การทดสอบในหัวข้อนี้จะทดสอบวงจรในโหมดแปลงระดับแรงดันขึ้นและแปลงระดับแรงดันลง เพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรที่มีการต่อภาระไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าขนาดต่างๆ ในโหมดการแปลงแรงดันขึ้น จะต่อแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 50 Vdc ที่ด้านแรงดันต่ำของวงจร และต่อโหลดไฟที่ด้านแรงดันสูงของวงจรซึ่งมีแรงดัน 200 Vdc ซึ่งจะได้ค่าประสิทธิภาพของวงจร M^2C^3 ที่ภาระไฟฟ้าขนาดต่างๆ ตามที่แสดงกราฟในรูปที่ 4.44 และสำหรับโหมดแปลงแรงดันลง จะต่อแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 200 Vdc ที่ด้านแรงดันสูงของวงจร และต่อโหลดไฟที่ด้านแรงดันต่ำของวงจรที่มีขนาด 50 Vdc ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ภาระไฟฟ้าขนาดต่างๆ ในโหมดแปลงแรงดันลง แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.45



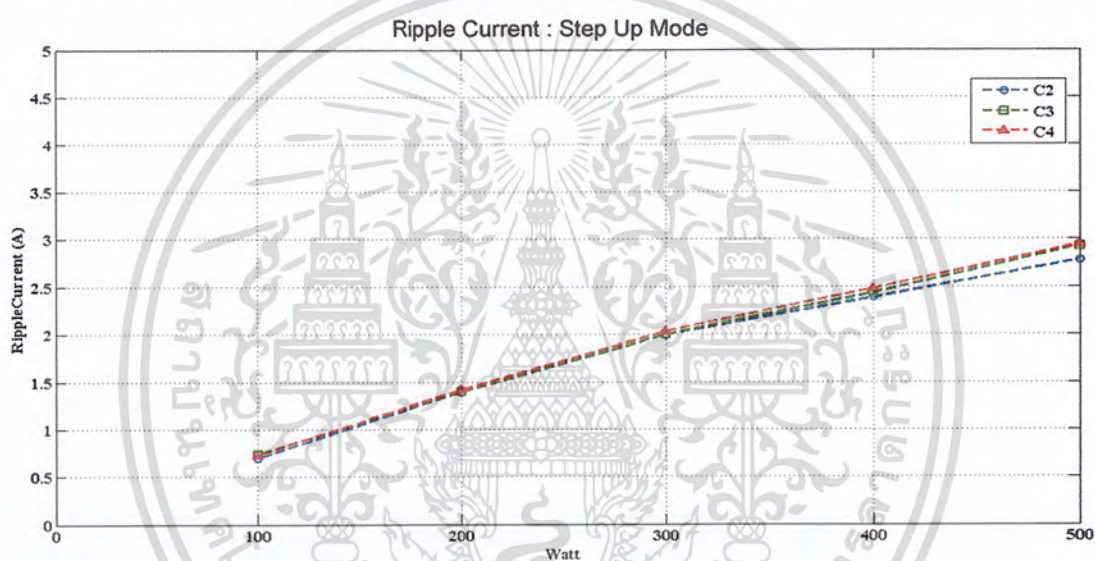
รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น



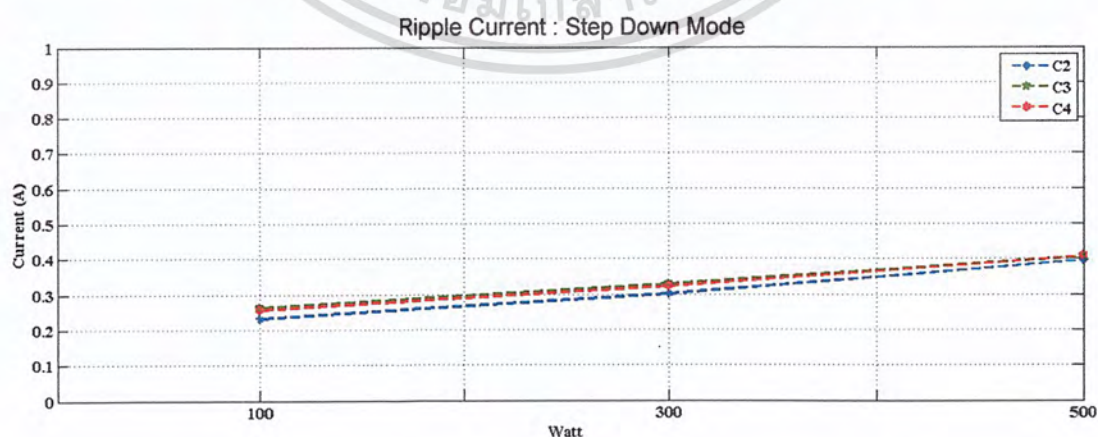
รูปที่ 4.45 ประสิทธิภาพของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ ในโหมดแปลงแรงดันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบวงจรเพื่อหาค่ากระแสกระเพื่อม จะทำการทดสอบทั้งในโหมดแปลงแรงดันขึ้นและแปลงแรงดันลง ซึ่งจะใช้ระดับแรงดันเท่ากับการทดสอบวงจรเพื่อหาประสิทธิภาพ โดยต่อภาระไฟฟ้าที่ด้านตรงข้ามของแหล่งจ่ายและเปลี่ยนขนาดภาระไฟฟ้าไปตามที่แสดงกราฟในรูปที่ 4.46 และรูปที่ 4.47 สำหรับโหมดการแปลงแรงดันขึ้นและโหมดแปลงแรงดันลง ตามลำดับ โดยค่ากระแสกระเพื่อมที่แสดงในกราฟจะเป็นกระแสที่ตัวเก็บประจุแต่ละระดับของวงจร สำหรับกระแสกระเพื่อมที่ด้านปลายทั้งสองด้านของวงจรจะมีค่าน้อยมากเพราะมีตัวเก็บประจุกรองอยู่ จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่ากระแสกระเพื่อมที่ตัวเก็บประจุแต่ละโมดูลจะมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยที่ค่ากระแสกระเพื่อมในโหมดเพิ่มแรงดันมีขนาดสูงกว่าโหมดลดแรงดัน และค่ากระแสกระเพื่อมจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อภาระไฟฟ้ามีขนาดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.46 กระแสกระเพื่อมของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ ในโหมดแปลงแรงดันขึ้น



รูปที่ 4.47 กระแสกระเพื่อมของ M^2C^3 ที่โหลดขนาด 100-500 วัตต์ ในโหมดแปลงแรงดันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป เสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

การศึกษาเทคโนโลยีเรื่องวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง(M^2C^3) โดยการนำหม้อแปลงความถี่สูงไปต่อร่วมกับ M^2C^3 สองระบบ เพื่อแยกวงจร M^2C^3 ทั้งสองระบบออกจากกันทางไฟฟ้า และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid)

ขั้นตอนแรกจะจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSIM เพื่อวิเคราะห์และศึกษาการถ่ายโอนพลังงานของ M^2C^3 ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงก่อนที่จะประยุกต์ใช้สร้างชิ้นงานจริง ซึ่งลักษณะเด่นของการที่มีหม้อแปลงความถี่สูงต่อร่วมกับ M^2C^3 สองระบบคือ

- 1) ช่วยจ่ายภาระไฟฟ้าให้กับระบบ M^2C^3 ที่เกิดการเสียหาย
- 2) สามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลากหลายชิ้น

ในการสร้างชิ้นงานจริงจะให้แรงดันสูงทั้งสองระบบเป็นแหล่งจ่ายไฟ 220 V ผ่านวงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และทางด้านแรงดันต่ำทั้งสองระบบจะให้ เป็นแบตเตอรี่ขนาด 24 V ในการทำงานแบบเพิ่มแรงดัน(Step up) จะทำงานเมื่อแหล่งจ่ายแรงดันสูงเกิดความผิดปกติ (Fault) แรงดันที่แบตเตอรี่จะถ่ายโอนพลังงานไปจ่ายให้ภาระไฟฟ้าทางด้านแรงดันสูงแทนทำให้ M^2C^3 มีการทำงานเสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง(UPS or Backup source)ให้กับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก และในการทำงานแบบลดแรงดัน(Step down) จะทำงานเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันน้อยกว่าแรงดันสูง แรงดันสูงจะถ่ายโอนพลังงานไปชาร์จแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานทำให้ M^2C^3 มีการทำงานเสมือนเป็นแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์(Battery charger) ซึ่งแรงดันที่เข้าแบตเตอรี่จะมีความสม่ำเสมอสูงเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับแบตเตอรี่สูงขึ้น และในการทดลองนี้จะเพิ่มความสามารถในการทำงานให้มากขึ้นโดยสามารถตัดแหล่งจ่ายแรงดันสูงของชุด M^2C^3 ของระบบที่สองออกไป จะเห็นว่ามีระบบที่หนึ่งมีการถ่ายโอนพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มสูงขึ้นไปช่วยจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบที่สองจึงเห็นววงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง(M^2C^3) โดยการนำหม้อแปลงความถี่สูงไปต่อร่วมกับ M^2C^3 สองระบบ เพื่อแยกวงจร M^2C^3 ทั้งสองระบบออกจากกันทางไฟฟ้าทำงานได้จริง และกระแสกระเป๋มของตัวเก็บประจุทั้งแบบเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลดทอนแรงดันจะมีทิศทางไปในแนวเดียวกันเมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพจะ ในขณะที่ทำการลดแรงดันจะมีค่าที่สูง แต่เมื่อเป็นสภาวะที่เพิ่มแรงดัน ประสิทธิภาพที่ได้จะลดลง เนื่องจากแหล่งจ่ายแรงดันของแบตเตอรี่และภาระทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อยู่

5.2 ข้อเสนอนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะ และข้อควรระวังดังต่อไปนี้

1. เครื่องต้นแบบนี้จะต้องมีการระบายความร้อนอย่างเพียงพอ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อเครื่องต้นแบบ
2. ตัวเก็บประจุที่ใช้ภายในเครื่องต้นแบบควรจะมีขนาดที่เท่ากันเพื่อป้องกันผลกระทบจากกระแสกระเพื่อมและตัวเก็บประจุภายนอกจะมีขนาดขึ้นอยู่กับภาระทางไฟฟ้า และแหล่งจ่ายทั้งสองด้านตามรายละเอียดในภาคผนวก ค
3. ตัวเก็บประจุต้องดูขั้วให้ถูกต้องก่อนที่จะต่อเข้ากับเครื่องต้นแบบเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในเครื่องต้นแบบได้
4. ควรตรวจสอบสัญญาณที่ออกจากชุดขับเทียบกับสัญญาณที่เข้าสวิตช์ว่าเป็นสัญญาณที่ถูกต้องก่อนจะทำการทดลองหรือต่อเข้ากับแหล่งจ่ายเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ในเครื่องต้นแบบ
5. ค่าความต้านทานแฝงภายในตัวเก็บประจุมีผลทำให้อายุการใช้งานตัวเก็บประจุน้อยลง

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ พิกัด และความหลากหลายในการใช้งานได้ ดังต่อไปนี้

1. โครงการวิจัยนี้ จะใช้สัญญาณสวิตช์ทั้ง 2 ชุดมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวเดียวกันทำให้ไม่สามารถแยกชุด M^2C^3 ออกจากกันได้โดยสมบูรณ์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการศึกษาการเขียนภาษาซีให้สัญญาณของทั้ง 2 ชุดมีการเริ่มต้นที่พร้อมกัน เพื่อป้องกันการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ
2. การเชื่อมต่อวงจร M^2C^3 สองระบบที่มีจำนวนโมดูลไม่เท่ากันหรือมีระดับแรงดันของแต่ละระบบไม่เท่ากัน สามารถทำได้โดยใช้หม้อแปลงความถี่สูงที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบตามอัตราส่วนของแรงดันต่ำสุดของทั้งสองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในการทดลองในแบบการเพิ่มแรงดันโดยการตัดแหล่งจ่ายแรงดันสูงออกจากระบบนั้นจะสามารถจ่ายภาระไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 500 วัตต์เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดเล็ก วิธีแก้คือการเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ให้มีขนาดที่พอเหมาะกะกับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก(Microgrid)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] 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 0-7803-9761-4/07, 2007, pp. 208 – 214.
- [2] "Magnetic Core Properties," originally titled "An Electrical Circuit Model for Magnetic Cores. " Unitrode Seminar Manual SEMIOOO, 1995
- [3] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, "การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง".
- [4] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "5 kW Multilevel DC-DC Converter for Hybrid Electric and Fuel Cell Automotive Applications," IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, 2007
- [5] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "Hybrid Electric Vehicle Power Management Solutions Based on Isolated and Non-isolated Configurations of Multilevel Modular Capacitor-Clamped Converter" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 56, NO. 8, AUGUST 2009
- [6] 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" 2008 IEEE
- [7] ธนัท ยงวิจิตรกุล ธันวี วิตนกรและธิดิ ไชยเทพ "วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวเก็บประจุแบบหลายระดับสำหรับแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก" ปรินูญานินพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551

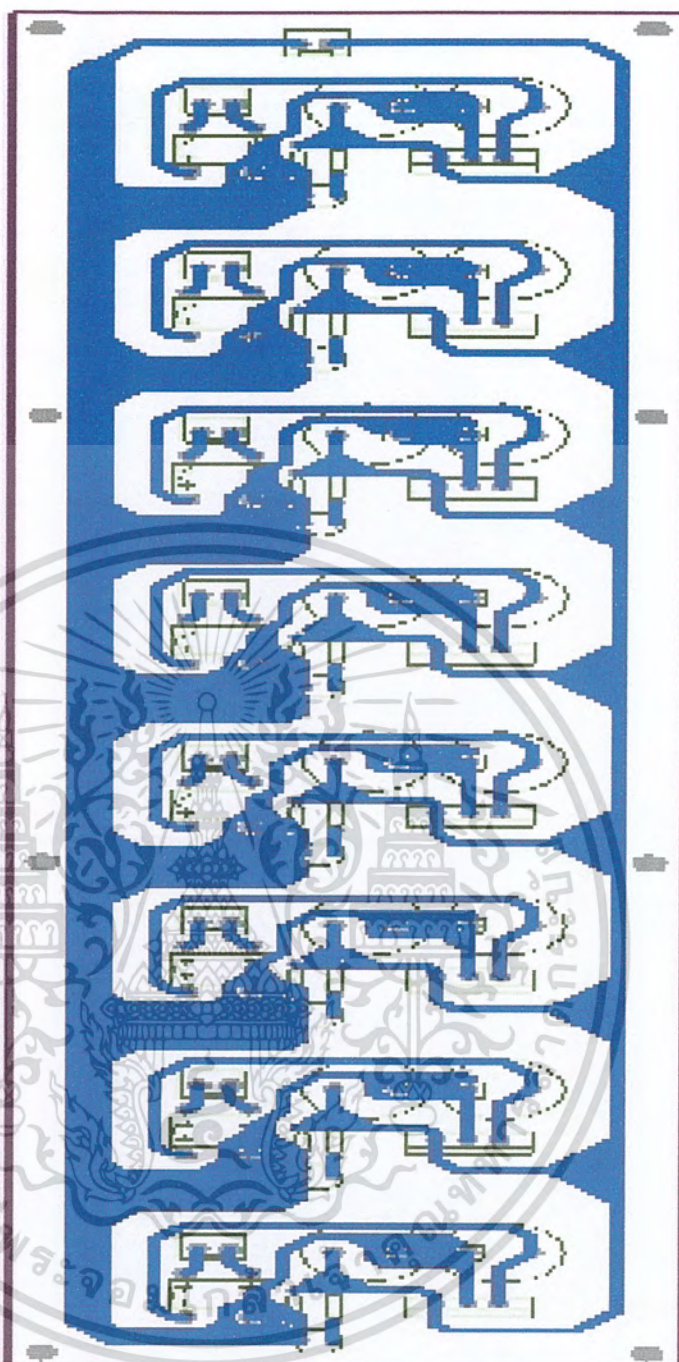
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

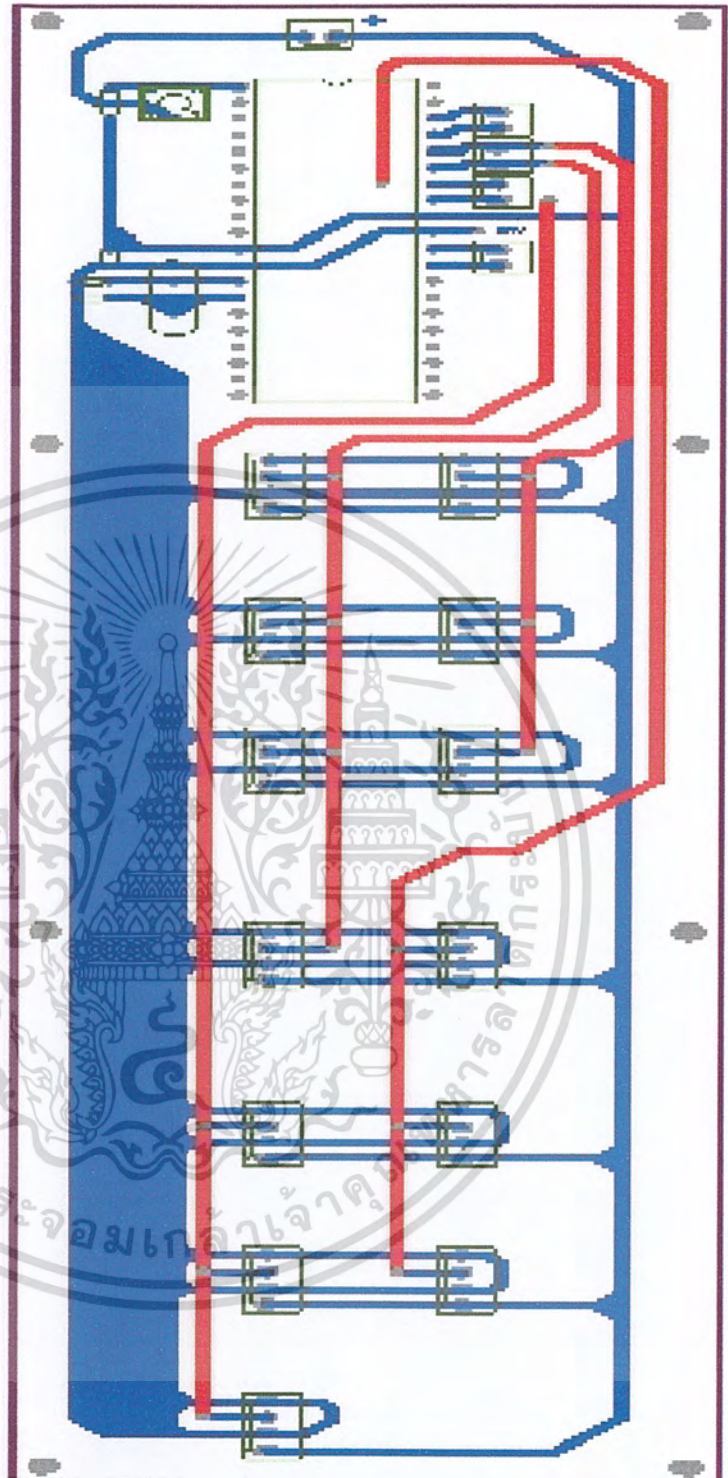


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



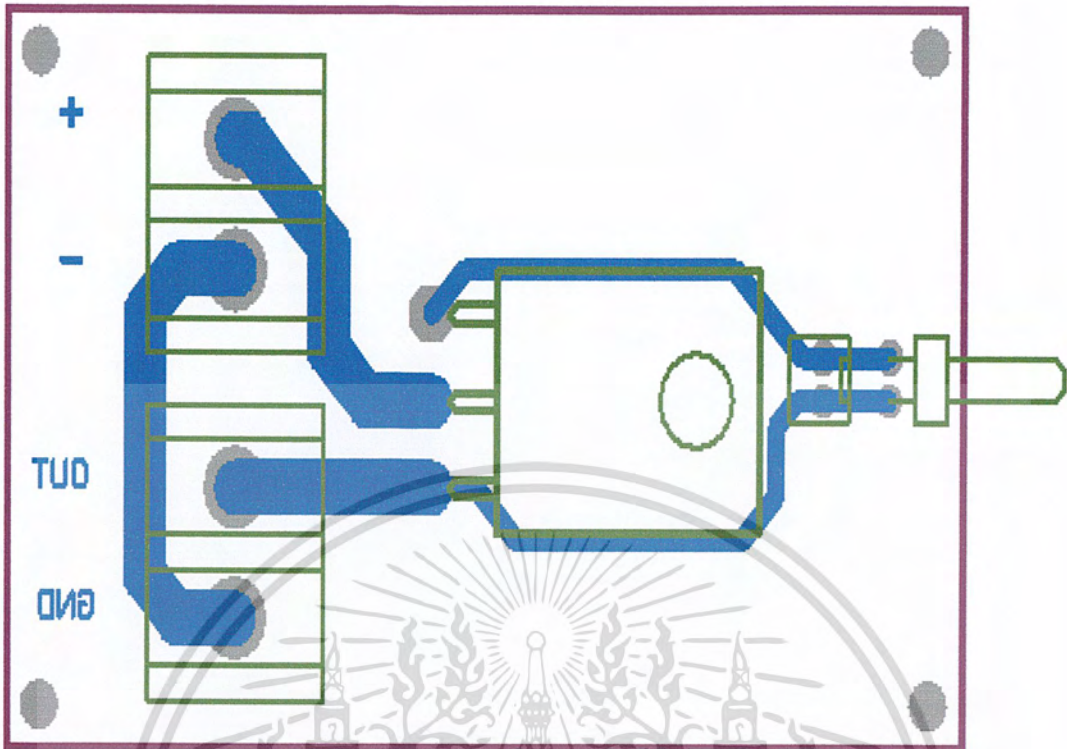
รูปที่ 1 ลายปรินวงจรไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



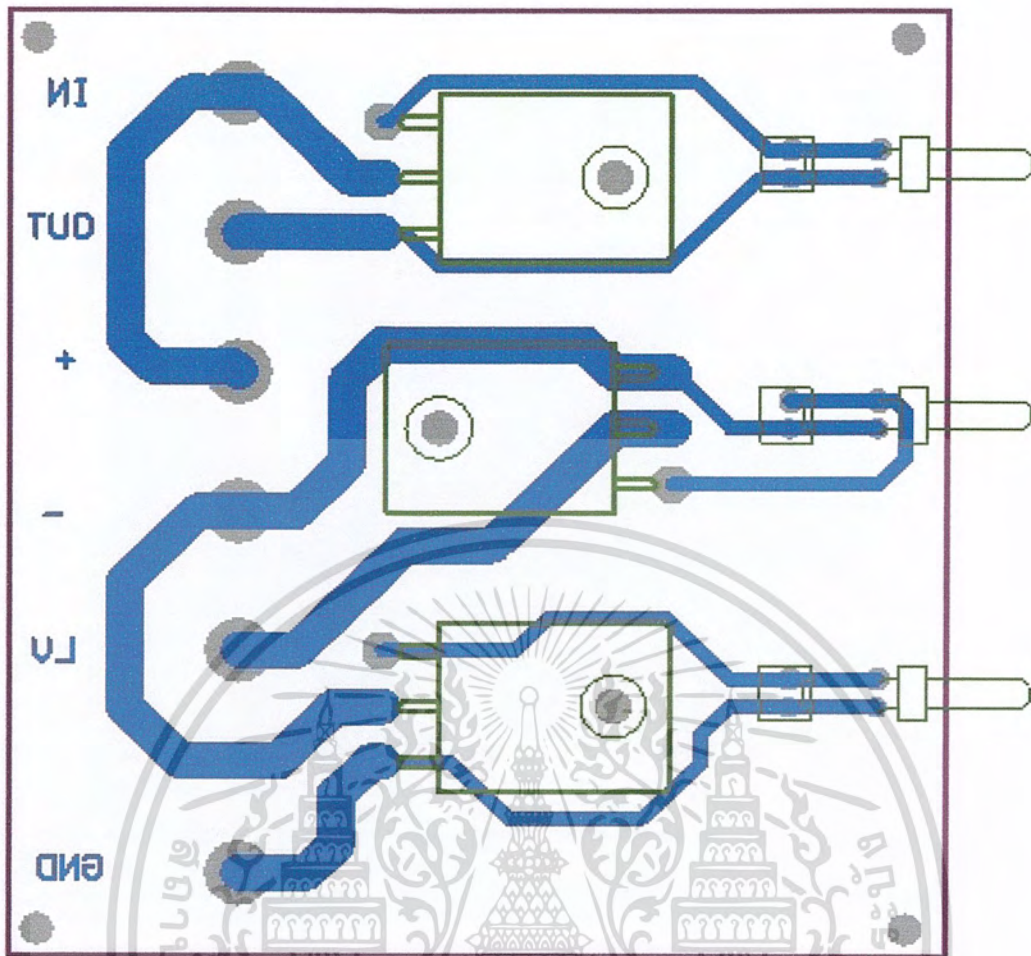
รูปที่ 2 ลายปริ้นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 สายปรี่วงจรกำลังแบบมอสเฟส 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


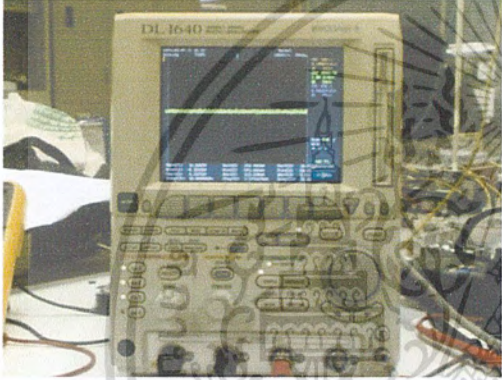
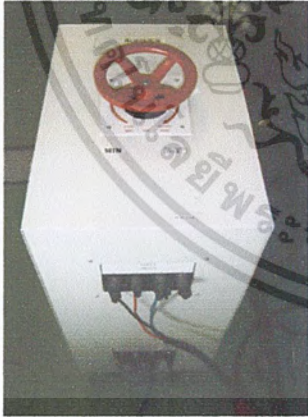


รูปที่ 4 ลายปรินต์วงจรกำลังที่มีมอเตอร์เฟส 3 ตัว


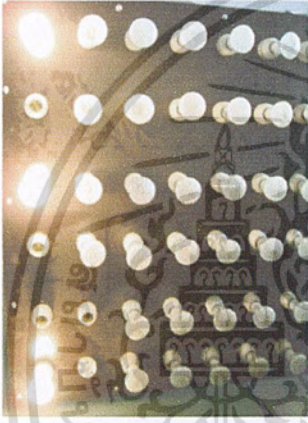

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>Multi meter</p>
	<p>Digital Oscilloscope (DL 1640) 2Ch.</p>
	<p>Variac 3 phase</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>Clamp Meter</p>
	<p>ชุดโหลด R</p>
	<p>หม้อแปลง 1:1</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



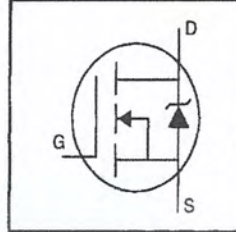
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = 500V$$

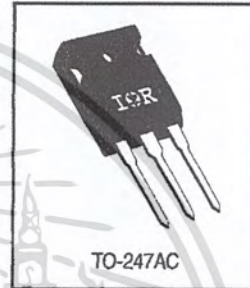
$$R_{DS(on)} = 0.40\Omega$$

$$I_D = 14A$$

Description

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

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



TO-247AC

 DATA
 SHEETS

Absolute Maximum Ratings


	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	14	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	8.7	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	56	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.5	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	760	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	8.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	19	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance


	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.65	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

IRFP450

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.40	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=8.4A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	9.3	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=8.4A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	150	nC	$I_D=14A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	20		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	80		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	47	—		$I_D=14A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	92	—		$R_G=6.2\Omega$
t_f	Fall Time	—	44	—		$R_D=17\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	2600	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	720	—		$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	340	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	14	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	56		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.4	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=14A, V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	540	810	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=14A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	4.8	7.2	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=50V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=7.0\text{nH}$, $R_G=25\Omega$, $I_S=14A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq 14A$, $di/dt\leq 130A/\mu s$, $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP450

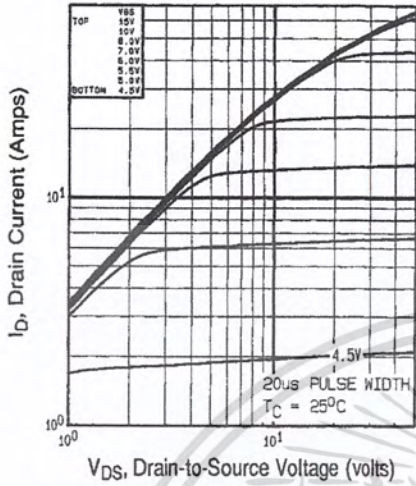


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

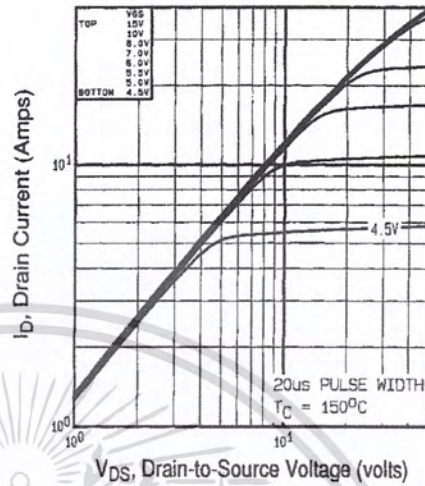


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=150^\circ\text{C}$

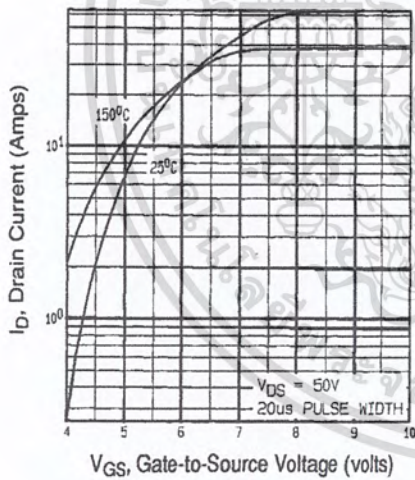


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

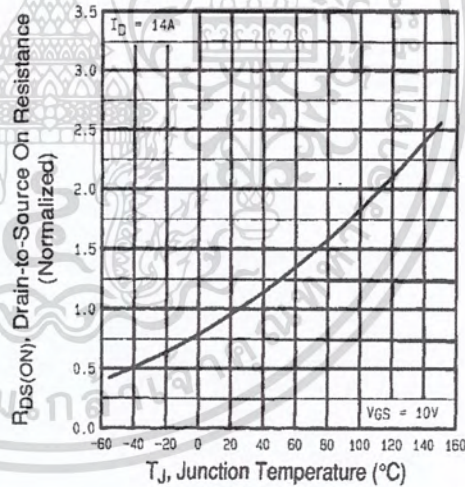


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450

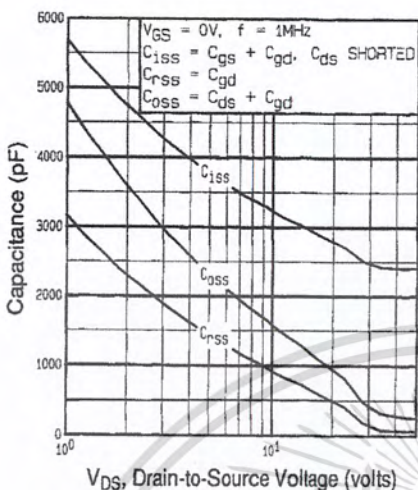


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

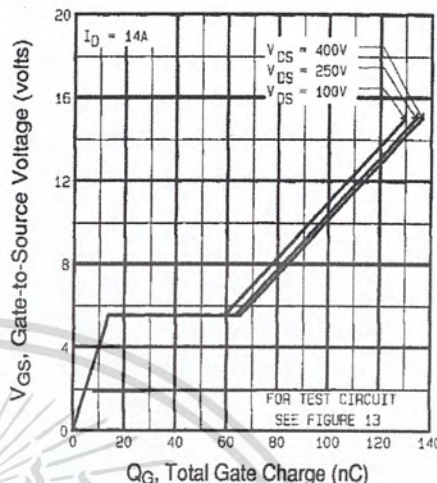


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

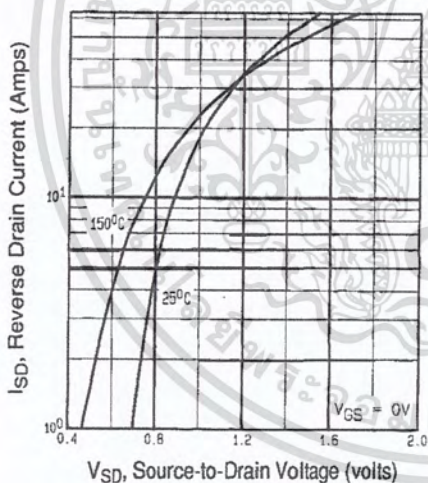


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

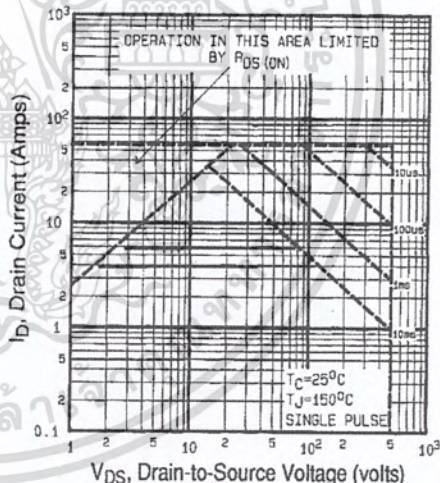


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP450

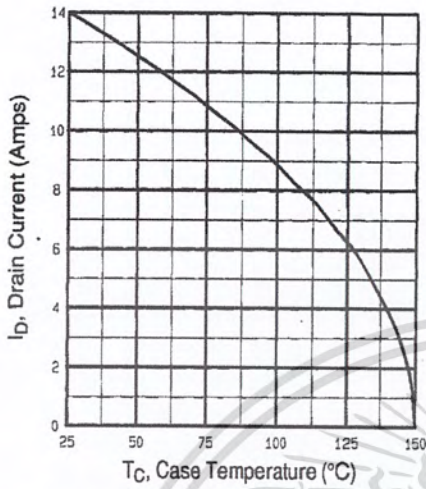


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

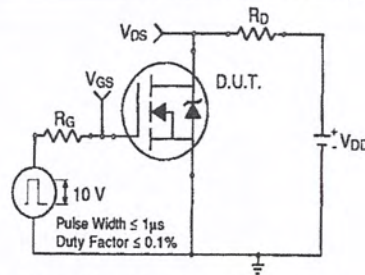


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

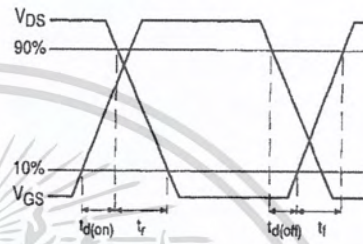


Fig 10b. Switching Time Waveforms

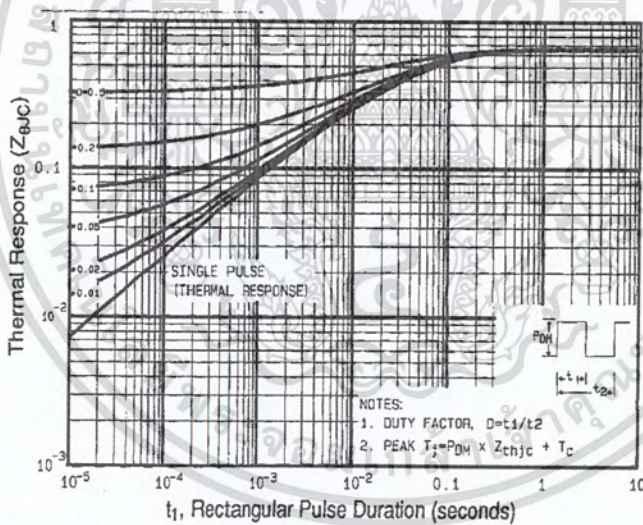


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450

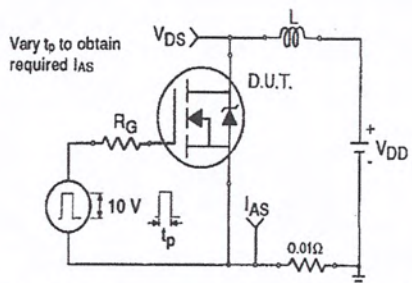


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

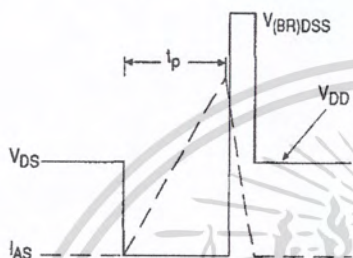


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

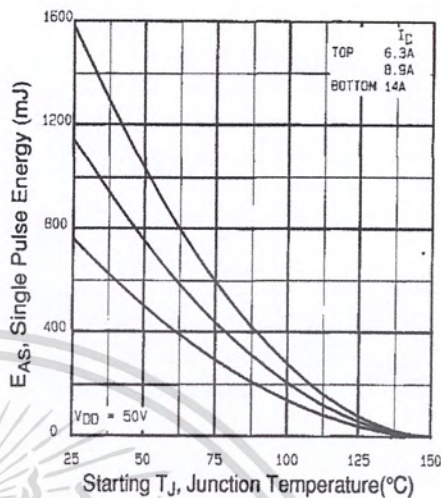


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

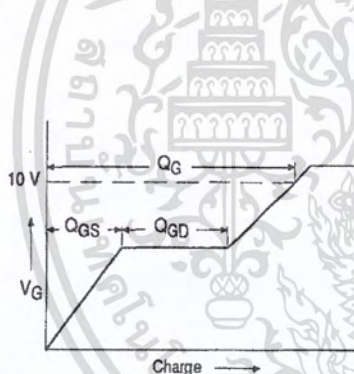


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

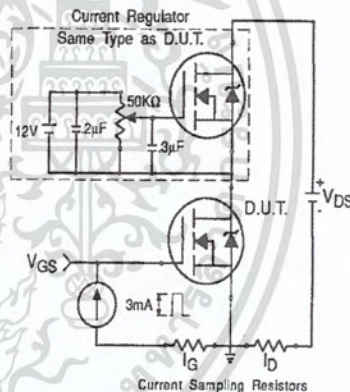


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

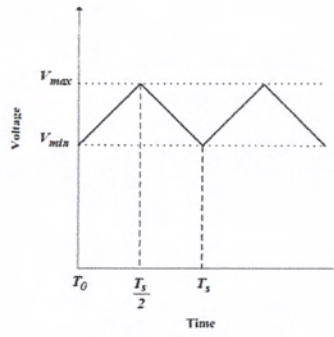
Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

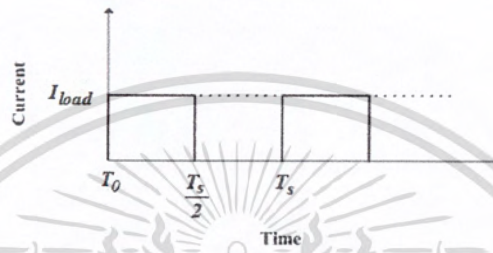
Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IROR Rectifier

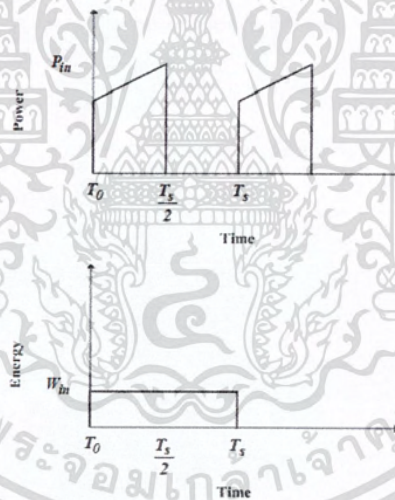
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แรงดันที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2 กระแสที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3 กำลังและพลังงาน

$$V_{in} = \frac{I}{C} \int_{T_0}^{T_s} I_{in} dt \tag{1}$$

$$V_{in} = \frac{I_{in} T_s}{2C} \tag{2}$$

$$C = \frac{I_{in} T_s}{2V_{in}} \tag{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทาง
ที่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก
**Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped
Converter With Electrical Grounding Isolation for Microgrid Application**

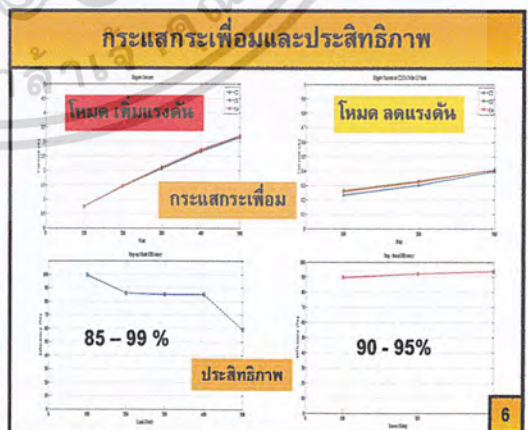
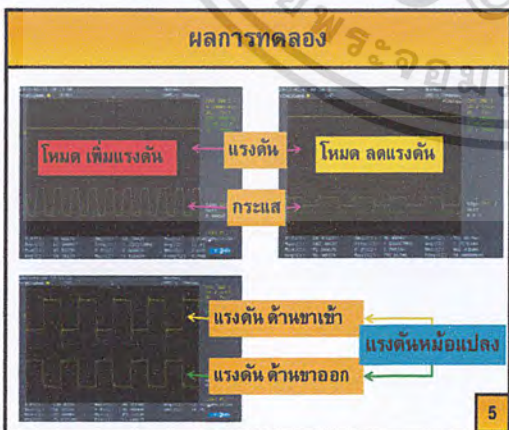
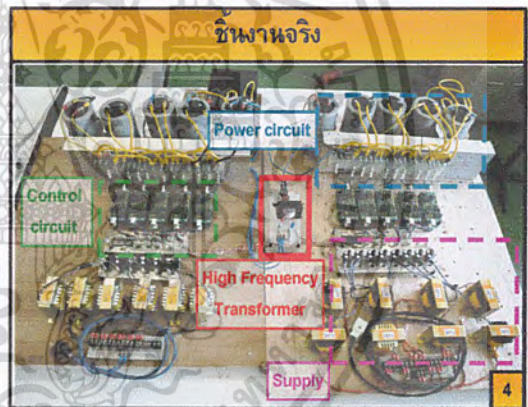
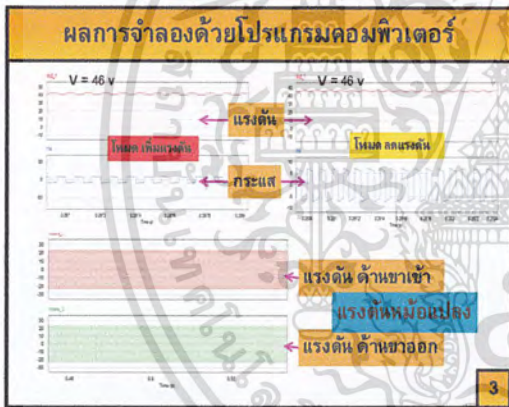


ทศพล รัตเวสสนันท์ ปิยวัฒน์ สังขสิงห์ พงศกร สินธุ์พัฒนสุข สุภเศรษฐ์ วงศ์อ่อนดี
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)



วัตถุประสงค์

- ศึกษาและออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อนำมาใช้กับวงจร MMCCC
- สร้าง MMCCC สองระบบโดยมีการแยกกราวด์ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง
- ศึกษาการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง
- สร้างวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับโดยไม่มีการใช้ตัวเหนี่ยวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโคจรทางไฟฟ้า สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

Bidirectional Power Flow DC-DC Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation for Microgrid Application

ทศพล รัตวสนันท์ ปิยวัฒน์ สังข์สิงห์ พงศกร สิริรุพัฒนาสุข สุกเศรษฐ์ วงศ์อ่อนดี
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยคลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10520 โทร/โทรสาร 0-2329-8311

บทคัดย่อ

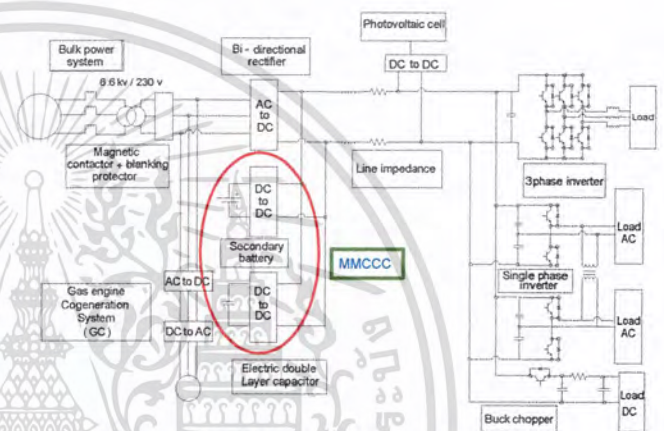
บทความนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดคาปาซิเตอร์แคลมป์(M²C) แบบสองทิศทางที่มีการแยกโคจรทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มีความสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยอาศัยชุดอุปกรณ์สวิทช์กำลังและตัวเก็บประจุหลายๆตัวที่ใช้หลักการของการชาร์จและดิสชาร์จแบบสมดุล การใช้งานจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงนี้สามารถทำได้โดยการใช้หม้อแปลงความถี่สูงเชื่อมต่อกับวงจร M²C การใช้หม้อแปลงความถี่สูงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อเสถียรภาพของวงจรเนื่องจากวงจรต้องการจ่ายไออนกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางและการแยกโคจรทางไฟฟ้าระหว่างวงจร M²C สองระบบ ในบทความนี้ได้แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบวงจร เพื่อยืนยันหลักการที่ได้นำเสนอ

คำสำคัญ: วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับ, การแยกโคจรทางไฟฟ้า, การจ่ายไออนกำลังแบบสองทิศทาง

Abstract

The design and implementation paradigm of a bidirectional multilevel modular capacitor clamped dc – dc converter (M²C) with electrical grounding isolation for dc microgrid application are presented in this paper. M²C can generate a multilevel high frequency ac output voltage by using a duplicated power switches and capacitors module together with a method of charge and discharge balance. Utilizing those multilevel high frequency ac output voltages, M²C can interconnect with high frequency transformer. The high frequency transformer is a key of M²C reliability because M²C requires a bidirectional power flow and isolate ground to interface between a first and a second M²C. The simulation study and experimental result with a developed 3kVA prototype are also performed to confirm the proposed methodology.

Keywords: Multilevel Modular Capacitor Clamped dc to dc Converter, grounding isolation, bidirectional power flow



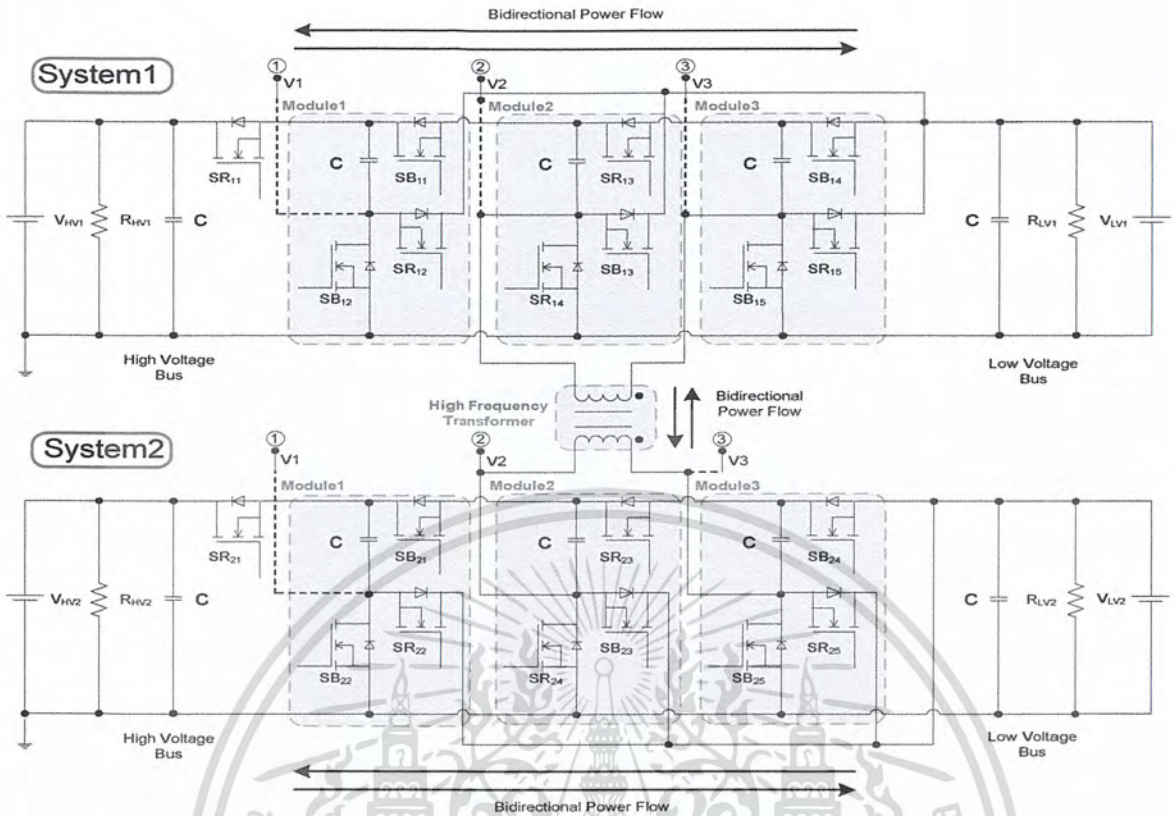
รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้งาน M²C ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

1. บทนำ

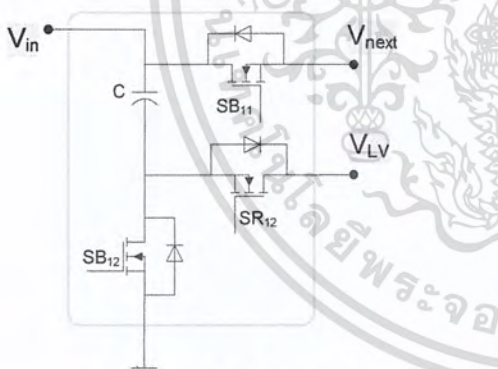
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก(Microgrid) เป็นระบบที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทน เช่น เซลล์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือกังหันลม ซึ่งจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมและถ่านหินช่วยลดมลภาวะทางอากาศได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนหลายๆแหล่งจะมีสัญญาณแรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแต่แรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นมีค่าไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง(DC-DC Converter) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยหน้าที่ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กคือเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้าและรักษาระดับแรงดันขาออกให้คงที่

บทความนี้ได้ทำการศึกษาและนำเสนอหลักการการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับแบบสองทิศทางที่มีการแยกโคจรทางไฟฟ้า(Electrical Isolation) ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบอื่นๆและวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงหลายระดับชนิดคาปาซิเตอร์แคลมป์แบบดั้งเดิมที่ถูกอธิบายใน [1-2] โดยมีข้อดีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่มีการแยก โดคทางไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 3 วงจร M²C³ หนึ่งโมดูล

- วงจร M²C³ สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้เมื่อมีโมดูลชุดใด ๆ 1 ใน วงจรเกิดความผิดปกติ (Fault) โดยวิธีบายพาส (Bypass)
- มีการแยก โดคทางไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงความถี่สูง (Isolation) ซึ่งจะ เพิ่มเสถียรภาพของระบบและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

2. วงจร M²C³

วงจร M²C³ สองระบบแสดงดังรูปที่ 2 โดยที่แต่ละระบบจะมี ลักษณะ โครงสร้างเป็น โมดูลและแต่ละ โมดูลจะประกอบด้วยตัวเก็บ ประจุหนึ่งตัวและมอสเฟตกำลังสามตัวดังรูปที่ 3 ซึ่งจะมีจุดต่อระหว่าง โมดูลอยู่ 3 จุด โดยจุดต่อ V_{IN} จะถูกต่อกับแบตเตอรี่แรงดันสูงหรือต่อกับ จุดต่อ V_{NEXT} ของโมดูลที่อยู่ข้างอยู่ใกล้แบตเตอรี่แรงดันสูงมากกว่า ส่วน จุดต่อที่เหลืออีกหนึ่งจุด V_{LV} จะถูกต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่แรงดันต่ำ ลักษณะ โครงสร้างแบบ โมดูลมีข้อได้เปรียบคือ ทำให้สะดวกในการ ติดตั้งหรือถอดออก สามารถเพิ่มหรือลดระดับแรงดันได้โดยง่าย จำนวน ของโมดูลที่ทำงานในวงจร (Conversion Ratio, CR) จะมีผลต่อทิศทางการ ไหลของกำลังไฟฟ้า ระหว่างบัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำ โดย M²C³ ทั้งสองระบบใน โครงงานวิจัยนี้มีค่า CR = 4 (วงจรสามารถเพิ่มหรือลด ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงสุด 4 เท่า) ซึ่งค่า CR สามารถคำนวณ ได้จากสมการที่ 1

- วงจร M²C³ ที่มีการแยก โดคทางไฟฟ้าจะใช้ตัวเก็บประจุแทนที่ การ ใช้ตัวเหนี่ยวนำทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบา
- สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทั้งสองทิศทาง (Bi-directional Power Flow) ระหว่างบัสแรงดันสูงและบัสแรงดันต่ำหรือระหว่าง M²C³ สองระบบ
- มีโครงสร้างแบบ โมดูล (Module) ทำให้สะดวกในการใช้งานวงจร
- แรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) และกระแสกระเพื่อม (Ripple Current) ทั้งขาเข้า (Input) และขาออก (Output) มีค่าต่ำ
- การควบคุมสวิตช์แต่ละตัวในวงจร M²C³ สามารถทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

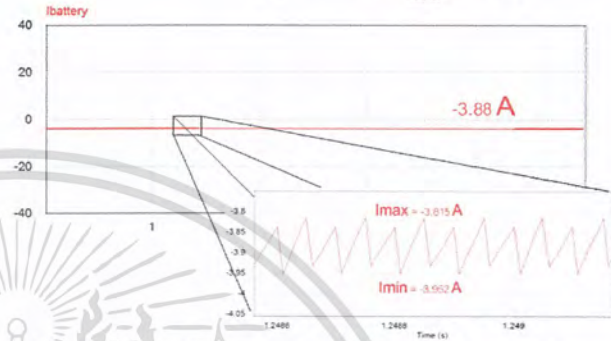
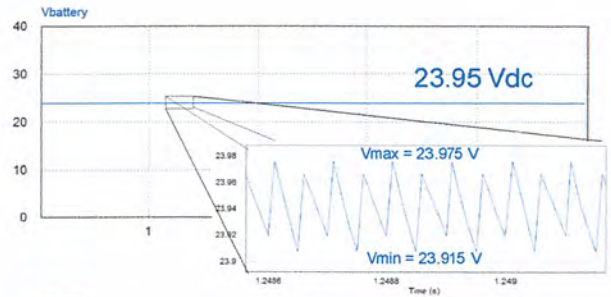
เมื่อ V_{HV} คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันสูงของคอนเวอร์เตอร์
 V_{LV} คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำของคอนเวอร์เตอร์
 n คือ จำนวนโมดูลในแต่ละระบบ

3. หลักการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่าง M²C³ สองระบบ

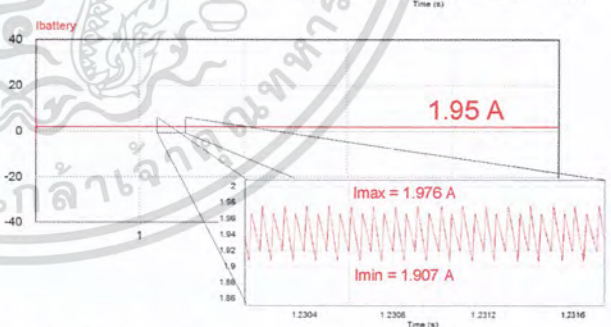
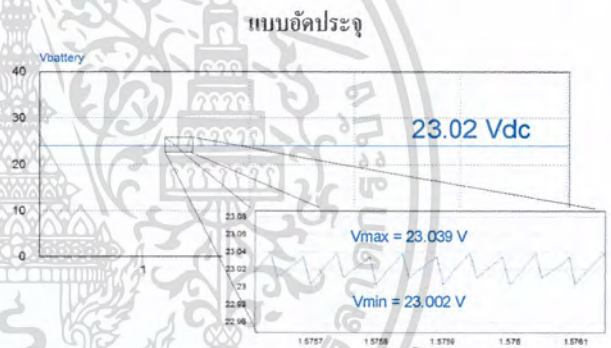
วงจร M²C³ สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นเป็นลักษณะ Square wave ในแต่ละโหนดคั้งที่แสดงในรูปที่ 2 โดยรูปคลื่นแรงดันในโหนดที่อยู่ติดกัน จะมีมุมเฟสต่างกันอยู่ 180 องศา [3] ซึ่งรูปคลื่นแรงดันแต่ละโหนดของ M²C³ ระบบที่หนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4 ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ M²C³ ทั้งสองระบบสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทางและมีการแยกโหนดทางไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แรงดันในโหนดที่สองกับโหนดที่สาม ของวงจร M²C³ ระบบที่หนึ่ง เพื่อเชื่อมต่อกับแรงดันในโหนดที่สองกับโหนดที่สาม ของวงจร M²C³ ระบบที่สอง

4. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

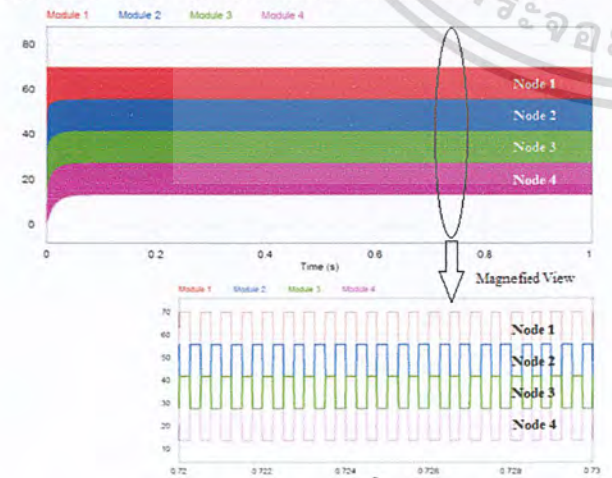
การจำลองการทำงานของวงจร M²C³ ที่มีการแยกโหนดทางไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Psim 9.0 เพื่อดูทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ในโหมดอัลประจุจะกำหนดให้แรงดันที่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (ด้านแรงดันสูงของวงจร) มีค่า 96 โวลต์ แรงดันที่แบตเตอรี่ (ด้านแรงดันต่ำของวงจร) มีค่า 22 โวลต์ และ วัตถุประสงค์ของแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าแบตเตอรี่ เนื่องจากมีทิศทางเป็นลบ และในโหมดคายประจุ กำหนดแรงดันที่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กเป็น 92 โวลต์ แรงดันที่แบตเตอรี่คือ 24 โวลต์ ผลการจำลองแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าไหลออกจากแบตเตอรี่ เพราะกระแสมีค่าเป็นบวก



รูปที่ 5 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ ในโหมดการทำงานแบบอัลประจุ



รูปที่ 6 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ ในโหมดการทำงานแบบคายประจุ



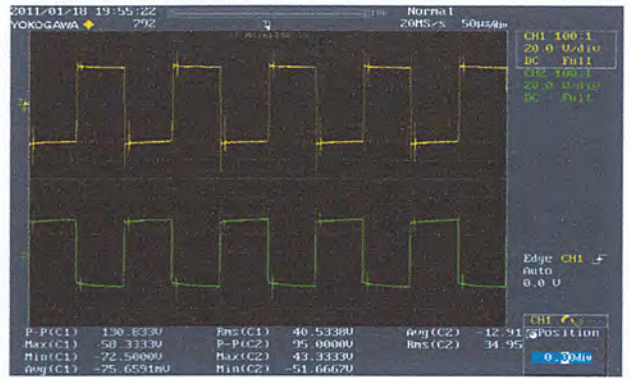
รูปที่ 4 สัญญาณแรงดันในแต่ละโหนดของวงจร M²C³ ระบบที่หนึ่ง ซึ่งได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การทดลองและผลการทดลอง

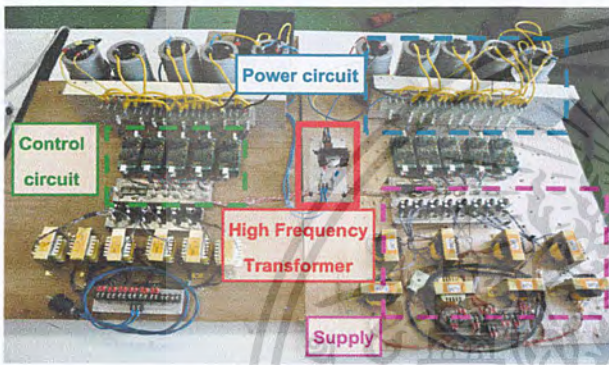
วงจร M²C³ สองชุดซึ่งทำงานร่วมกัน โดยส่งกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ในการทดสอบวงจรจริงในรูปที่ 7 ใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายแรงดันคั้งที่ 96 โวลต์ เชื่อมต่อกับวงจร M²C³ ทางฝั่งแรงดันสูง และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์อนุกรมกัน 2 ลูก ต่อทางด้านแรงดันต่ำของวงจร และกระแสไฟฟ้าจะคั้งที่ด้านแรงดันสูง (ต่อกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 96 โวลต์) โดยในการทดลองจะทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อวงจร M²C¹ กับไมโครกริดเพื่อสังเกตทิศทางกระแสของกำลังไฟฟ้า ในโหมดการอัดประจุจะเห็นว่าทิศทางกระแสของกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ แสดงผลการของสัญญาณแรงดันกับกระแสในรูปที่ 8 ในโหมดการคายประจุ ทดสอบโดยการตัดระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงออกจากระบบเพื่อจำลองในกรณีที่เกิดความผิดปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายกำลังให้กับภาระไฟฟ้าดังรูปที่ 9 โดยระยะเวลาที่แบตเตอรี่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้จะขึ้นอยู่กับทัศนคติความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่และภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่ สำหรับรูปสัญญาณแรงดันที่ฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงในสภาวะการทำงานปกติ (โหมด balance) แสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 สัญญาณแรงดันและกระแสที่หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 7 วงจรใช้งานจริง

6. สรุป

บทความฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบคาปาซิเตอร์แคลมป์ (M²C¹) โดยการนำหม้อแปลงความถี่สูงไปต่อร่วมกับ M²C¹ สองระบบ เพื่อแยกวงจรทั้งสองระบบออกจากกันทางไฟฟ้าและเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการทำงานของวงจร M²C¹ เพื่อวิเคราะห์และยืนยันหลักการการทำงานของวงจรก่อนที่จะนำไปสร้างชิ้นงานจริง และจากผลการทดสอบวงจร M²C¹ ซึ่งเห็นว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กได้ โดยอาศัยคุณสมบัติในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้อีกสารอึ้ง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Faisal H. Khan, Leon M. Tolbert, "5 kW Multilevel DC-DC Converter for Hybrid Electric and Fuel Cell Automotive Applications," IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, 2007.



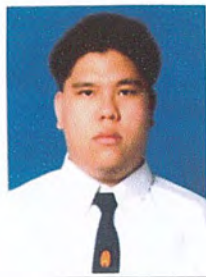
รูปที่ 8 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ใน โหมดการอัดประจุ



รูปที่ 9 สัญญาณแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ใน โหมดการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ – นามสกุล นายทศพล รตเวสสนันท์
 วัน เดือน ปีเกิด 31 ตุลาคม พ.ศ. 2531
 ที่อยู่ 9/8 หมู่ 13 ถ.เลียบลำลูกกาคลองแก้วฝั่งตะวันออก
 ตำบลบึงทองหลาง อำเภอลำลูกกา จังหวัด
 ปทุมธานี 12150

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัด กรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ โรงไฟฟ้าวังน้อย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่
 1 เมษายน 2553 ถึง 30 พฤษภาคม 2553



ชื่อ – นามสกุล นายปิยวัฒน์ สังข์สิงห์
 วัน เดือน ปีเกิด 5 ตุลาคม พ.ศ. 2531
 ที่อยู่ 100/172 รามคำแหง 118 แขวงสะพานสูง
 เขตสะพานสูง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10240

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท CPT Drives and Power จำกัด
 ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2553 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ชื่อ – นามสกุล นายพงศกร สินธุ์พัฒนสุข

วัน เดือน ปีเกิด 31 สิงหาคม พ.ศ. 2531

ที่อยู่ 159/401 หมู่บ้านพาราไดซ์เทอเรส ถนนร่มเกล้า36
แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
10520

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ โรงไฟฟ้าวังน้อย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่
1 เมษายน 2553 ถึง 30 พฤษภาคม 2553



ชื่อ – นามสกุล นายศุภเศรษฐ์ วงศ์อ่อนดี

วัน เดือน ปีเกิด 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532

ที่อยู่ 17-19 ศูนย์การค้าแฮปปี้แลนด์ 1 ลาดพร้าว
แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร
10240

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษกราฟไทยจำกัด บริษัทในเครือ SCG
Paperระหว่างวันที่ 24 มีนาคม 2553 ถึง 22 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้