



Renewable Energy Applications Laboratory
(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineer)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

รายงานฉบับสมบูรณ์

แบบสรุปโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2552

เรื่อง

อินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์พลังงาน

เสนอโดย

ดร. สุรินทร์ คำฝอย หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Bangkok, THAILAND

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์พลังงาน

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอชุดต้นแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาด 1 kW ซึ่งไฮบริดอินเวอร์เตอร์นี้ประกอบไปด้วยอินเวอร์เตอร์ 4 ชุด คือ ชุดอินเวอร์เตอร์หลักซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์สามเฟสทั่วไป แบบ 6 สวิตช์กำลัง 1 ชุด และอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แบบเอชบริดจ์ แบบ 4 สวิตช์กำลัง 3 ชุด รวมทั้งเทคนิคที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณ PWM ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนี้จะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ต่ำ อีกทั้งไฮบริดอินเวอร์เตอร์จะใช้สวิตช์กำลังน้อยกว่าอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบคาสเคดทั่วไป งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB ในการจำลองการทำงาน ซึ่งผลการจำลองได้เสนอให้เห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานที่กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ เช่นเดียวกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับ

RCH

TK

7872

· 165

๗8๖๑๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 116915
วันเดือนปี..... 16 ส.ย. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10726604

Hybrid Inverter for Solar Cell and Fuel Cell Applications

ABSTRACT

This research presents a prototype of 1 kW hybrid inverter 3 phase drive. This hybrid inverter consists of four inverters: main inverter and auxiliary inverter. The main inverter is a conventional 3 phases inverter (six switches). The three auxiliary inverters are a single phase H-Bridge inverter (four switches). The modified PWM technique is also developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel. Simulink/MATLAB is used to simulate the circuit operation and control signal. The results show that this alternative topology can be applied for high power applications as a multilevel inverter.



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. บทนำ	1
2. พลังงานทดแทน	1
3. ไมโครกริด(Micro-grid)	3
4. การประยุกต์ใช้ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	6
5. คุณสมบัติไฮบริดอินเวอร์เตอร์	6
6. หลักการสร้างสัญญาณควบคุมไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	7
7. โครงสร้างของไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	8
8. วิธีการใช้งานไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	11
9. ข้อควรระวังในการใช้งาน	14
10. การทดสอบไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	14
11. สรุป	18
เอกสารอ้างอิง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 1	บล็อกไดอะแกรมของระบบจ่ายไฟขนาดเล็ก	4
รูปที่ 2	ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์สำหรับประยุกต์ใช้ไมโครกริด	5
รูปที่ 3	ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก 3 เฟส	5
รูปที่ 4	สัญญาณเมื่อคุณเลขชั้นแบบ 5 ระดับ	8
รูปที่ 5	การกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์รอง	8
รูปที่ 6	วงจรไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	9
รูปที่ 7	รูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุท	9
รูปที่ 8	รูปมมบนของไฮบริดอินเวอร์เตอร์	10
รูปที่ 9	รูปด้านหน้าของไฮบริดอินเวอร์เตอร์	10
รูปที่ 10	การเปิดสวิตช์ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	11
รูปที่ 11	การเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง	11
รูปที่ 12	ปุ่ม Start เพื่อเปิดอินเวอร์เตอร์	12
รูปที่ 13	รูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 Hz	12
รูปที่ 14	ปุ่มปรับความถี่ลดลง	13
รูปที่ 15	ปุ่มปรับความถี่ขึ้น	13
รูปที่ 16	การปิดสวิตช์ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์	13
รูปที่ 17	การเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง	14
รูปที่ 18	(ก)รูปถ่าย สัญญาณเกตสำหรับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์หลัก (ข)รูปบน สัญญาณเกตสำหรับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์รอง	15
รูปที่ 19	สัญญาณแรงดันไลน์จากการจำลองทางคณิตศาสตร์	15
รูปที่ 20	สัญญาณแรงดันไลน์ที่วัดได้จากชิ้นงาน ที่ความถี่ 50 Hz	16
รูปที่ 21	สัญญาณแรงดันเฟสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์	16
รูปที่ 22	สัญญาณกระแสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์	17
รูปที่ 23	ผลการทดลองจริงที่ได้ รูปคลื่นบนเป็นแรงดัน รูปคลื่นล่างเป็นกระแส	17
รูปที่ 24	เปรียบเทียบแรงดันเฟสกับแรงดันไลน์ของไฮบริดอินเวอร์เตอร์	18

**อินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์พลังงาน
(Hybrid Inverter for Solar Cell and Fuel Cell Applications)**

1. บทนำ

ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ (Hybrid Inverter) ได้มีการใช้ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กหรือไมโครกริด (Microgrid) ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้าสายส่งแรงดันต่ำที่จ่ายไฟฟ้าให้กับหมู่บ้านหรือกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวง โดยอาจมีระบบผลิตไฟฟ้า (Power plant) อยู่เพียงระบบเดียว หรือหลายๆ ระบบในพื้นที่นั้นๆ นอกจากนี้ ไฮบริดอินเวอร์เตอร์สามารถนำมาใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายจากพลังงานทดแทน (Renewable Energy Source) เช่น แหล่งจ่ายพลังงานจากแสงอาทิตย์, แหล่งจ่ายพลังงานจากลม, เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้สามารถนำไปเชื่อมต่อกับไฮบริดอินเวอร์เตอร์ได้โดยตรงเพื่อการประยุกต์ใช้ในพิกัดกำลังสูง

2. พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทนหมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะศักยรูป และสถานรูปการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิตและการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม สำหรับผู้ใช้ในเมือง และชนบท ซึ่งในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว ยังรวมถึงการพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์เพื่อการใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย งานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานพัฒนาพลังงานทดแทน ซึ่งมีโครงการที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายใต้แผนงานนี้คือ โครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงาน และมีความเชื่อมโยงกับแผนงานพัฒนาชนบทในโครงการจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเตอรืด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้า โดยงานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทนจะเป็นงานประจำที่มีลักษณะการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆ ในเชิงกว้างเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ทั้งในด้านวิชาการเชิงทฤษฎี และอุปกรณ์เครื่องมือทดลอง และการทดสอบ รวมถึงการส่งเสริมและเผยแพร่ ซึ่งจะเป็นการสนับสนุน และรองรับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพร้อมในการจัดตั้งโครงการใหม่ๆ ในโครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงานและโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น การติดตามความก้าวหน้าและร่วมมือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาต้นแบบ ทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินความเหมาะสมเบื้องต้น และเป็นงานส่งเสริมการพัฒนาโครงการที่กำลังดำเนินการให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนสนับสนุนให้โครงการที่เสร็จสิ้นแล้วได้นำผลไปดำเนินการส่งเสริม และเผยแพร่และการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไป

ความต้องการกำลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีปริมาณสูงขึ้นตามเวลาและการพัฒนาของประเทศ โดยในการผลิตกำลังไฟฟ้าแหล่งพลังงานส่วนใหญ่จะใช้ ถ่านหิน, น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานประเภทฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไป อีกทั้งในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ยังก่อให้เกิด ในโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เพื่อที่จะบรรเทาปัญหาหามลภาวะนี้ การประยุกต์ใช้งานแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เช่น เซลล์พลังงาน (Fuel Cell) และเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

- เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและทำจากสารที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน แคลเมียม เป็นต้น

เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System)
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System)
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

- พลังงานลม (Wind Generator)

พลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความกดดันของบรรยากาศซึ่งปัจจุบันมีการนำเอาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้นเนื่องจากพลังงานลมไม่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการซื้อหาแต่อย่างเหมือนกับพลังงานแสงอาทิตย์แต่ในประเทศไทยบางพื้นที่ยังมีปัญหาในการวิจัยพัฒนานำเอาพลังงานลมมาใช้งานเนื่องจากปริมาณของลมไม่สม่ำเสมอตลอดปีแต่ก็ยังต้องมีพื้นที่บางพื้นที่ที่สามารถนำเอาพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการเปลี่ยนจากพลังงานลมออกมาเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกล ก็ได้แก่กังหันลม นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีกังหันลมกังหันลมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะแบ่งตามการจัดวางแกนของใบพัดซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

- กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine VAWT)
- กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine HVWT)

- เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างหนึ่งคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างกันที่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นออกแบบมาให้มีการเติมสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบตลอดเวลา นั่นคือการเติมไฮโดรเจนและออกซิเจนตลอดเวลาซึ่งช่วยขจัดปัญหาความจุที่จำกัดของแบตเตอรี่ออกไป นอกจากนี้ที่ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเข้าทำปฏิกิริยาเมื่อมันถูกอัดประจุหรือคายประจุ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและค่อนข้างเสถียร

สารตั้งต้นที่ใช้โดยทั่วไปในเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนที่ด้านแอโนด และก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (เซลล์ไฮโดรเจน) โดยปกติแล้วเมื่อมีสารตั้งต้นไหลเข้าสู่ระบบ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็จะไหลออกจากระบบไปด้วย ดังนั้นการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ ตราบเท่าที่เราสามารถควบคุมการไหลได้

3. ไมโครกริด(Micro-grid)

แนวคิดของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro-grid) ที่กล่าวถึงในบทความฉบับนี้หมายถึง ระบบไฟฟ้าสายส่งแรงดันต่ำที่จ่ายไฟฟ้าให้กับหมู่บ้านหรือกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวง โดยอาจมีระบบผลิตไฟฟ้า (Power plant) อยู่เพียงระบบเดียว หรือหลายๆ ระบบในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้านี้จะเป็นระบบผสมผสาน (Hybrid system) ระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และจากพลังงานอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลังงานหมุนเวียน ขนาดของระบบไมโครกริดที่กล่าวถึงนี้จะแบ่งเป็นระบบ 1 phase มีขนาดไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ และระบบ 3-phase มีขนาดไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ ส่วนลักษณะของภาระทางไฟฟ้า (ผู้ใช้ไฟฟ้าจากระบบ) ของระบบไมโครกริดนั้นจะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การใช้เพื่อการเกษตร อุตสาหกรรมขนาดเล็กในชนบท สถานีบริการสำหรับชุมชน โรงพยาบาลชุมชน โรงเรียนในชุมชนและบ้านพักอาศัย เป็นต้น ซึ่งอาจแบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าจากระบบได้เป็นกลุ่ม

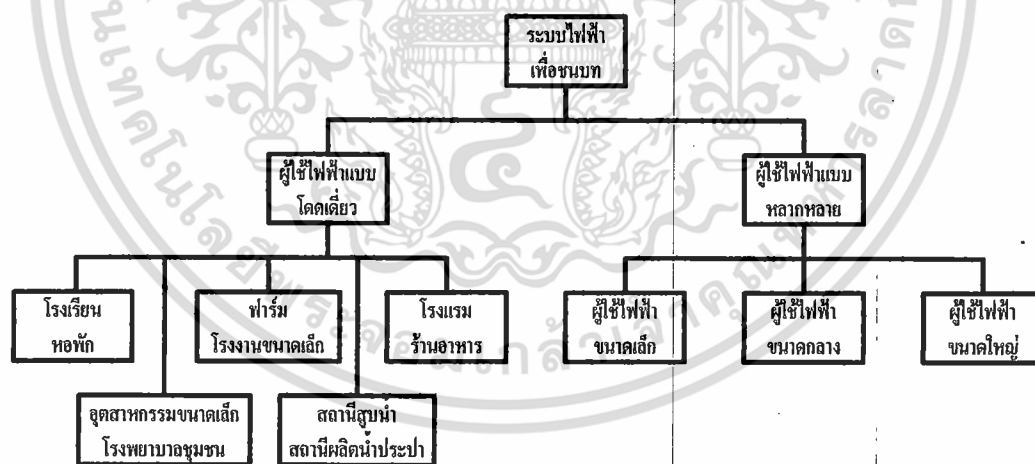
ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในระบบไมโครกริด แหล่งผลิตไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่จ่ายไฟให้ระบบนั้นมีอยู่หลายเทคโนโลยี ซึ่งอาจแบ่งได้ดังนี้ (Michel, 2002)

(a) Single generator without storage คือ การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ดีเซล/เบนซิน เดินเครื่องเพื่อผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลา 3-4 ชั่วโมง/วัน ความมั่นคงและเสถียรรูปของระบบแบบนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

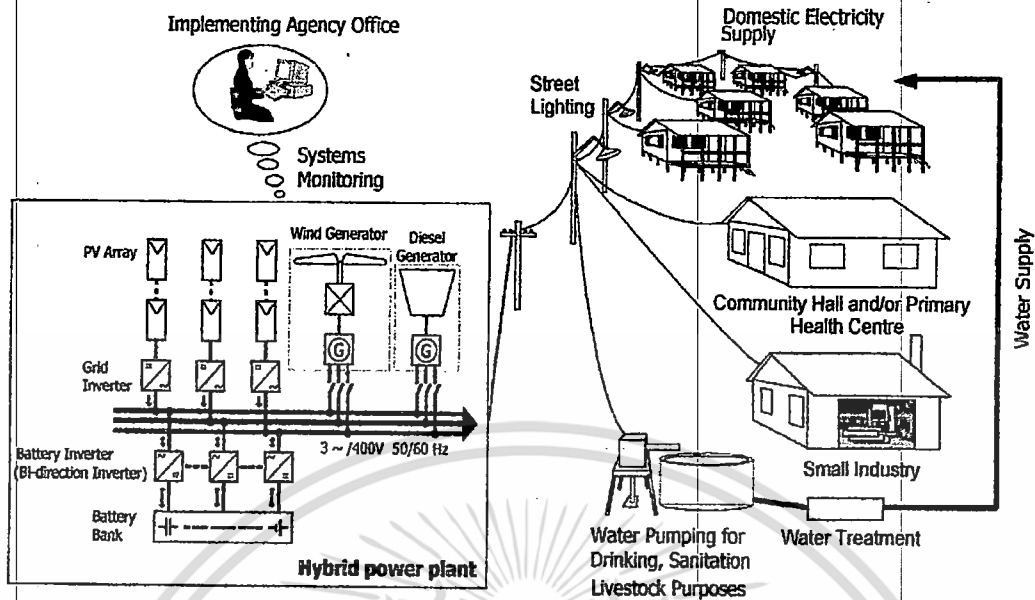
สามารถทำได้ง่ายโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัว เดินเครื่องสลับกัน ข้อดีของระบบนี้คือเงินลงทุนระบบที่ต่ำ แต่ก็มีข้อเสียคือมีค่าบำรุงรักษาและค่าขนส่งเชื้อเพลิงสูง

(b) Single generator with storage คือ ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซลกับแบตเตอรี่ ระบบกักเก็บผลิตไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ ระบบนี้สามารถให้บริการไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง จากการประจุและคายประจุแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมในกรณีระบบพลังงานหมุนเวียนหากต้องการให้มีไฟฟ้าใช้อย่างเพียงพอต่อความต้องการสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าและขนาดความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งหมายถึงเงินลงทุนระบบที่จะสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ระบบแบบนี้ก็มีข้อดีเนื่องจากมีค่าดำเนินการระบบที่ต่ำกว่าระบบ (a)

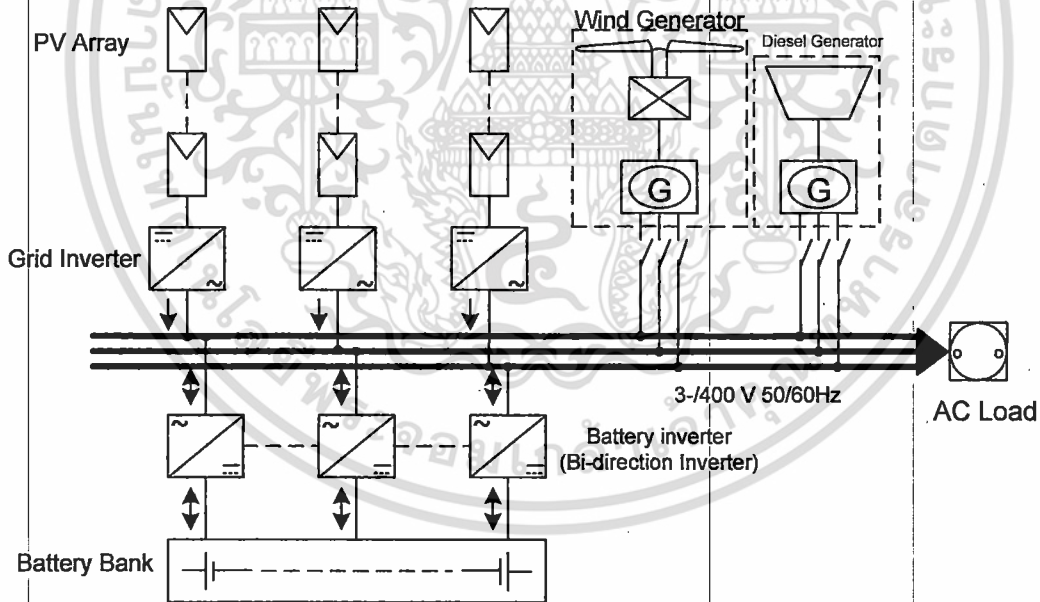
(c) Hybrid plant คือ ระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้อาจได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้ากังหันน้ำ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซล/เบนซิน ในกรณีนี้ระบบไฮบริดจ์จะหมายถึงระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตรวมไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ โดยมีแหล่งพลังงานหลักมาจากพลังงานหมุนเวียนอย่างน้อยหนึ่งชนิดในกรณีนี้หมายถึงแสงอาทิตย์และมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บสะสมพลังงาน ข้อดีของระบบไฮบริดจ์คือมีค่าดำเนินการระบบที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ (a) เงินลงทุนระบบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ (b) ระบบมีความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าและรูปแบบของระบบเครือข่ายการจ่ายกำลังไฟฟ้าในอนาคตอันใกล้ซึ่งได้แสดงดังรูป



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบจ่ายไฟขนาดเล็ก



รูปที่ 2 ไฮบริดอินเวอร์เตอร์สำหรับประยุกต์ใช้ไม่ โครกริด



รูปที่ 3 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก 3 เฟส

ภายใต้กรอบของงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบคาสเคด รวมทั้งเทคนิคที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณ PWM ซึ่งเทคนิคที่น่าเสนอนี้จะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตซ์ต่ำ อีกทั้งไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์แบบใหม่ี่จะใช้สวิตซ์กำลังน้อยกว่าแบบอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบคลาสเคททั่วไป

4. การประยุกต์ใช้งานไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์

การประยุกต์ใช้งานของไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะสามารถใช้งานอุตสาหกรรมบางประเภท ได้มีความต้องการใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่พิกัดกำลังงานสูงๆ อาทิเช่น อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่และอุปกรณ์ FACTS ในระบบส่งกำลัง ดังนั้นอินเวอร์เตอร์หลายระดับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถรองรับความต้องการดังกล่าว โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์หลายระดับจะแบ่ง 3 โครงสร้างวงจร ซึ่งรูปแบบของแต่ละโครงสร้างวงจร ข้อดี-ข้อเสีย การกำเนิดสัญญาณควบคุม รวมทั้งการออกแบบของอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไฮบริดจ์แบบคลาสเคท เป็น โครงสร้างหนึ่งที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง การประยุกต์ใช้งานของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงแบบแยก (Separate dc Source, SDCS) ดังนั้นเราจึงสามารถเชื่อมต่อโดยตรงกับแหล่งจ่ายแรงดันจากพลังงานทดแทน (Fuel cell, Photovoltaic, Wind Energy) และ/หรือแบตเตอรี่ แต่ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ คือจำนวนสวิตซ์กำลังที่เพิ่มขึ้นและต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าถ้าต้องการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแส

5. คุณสมบัติไฮบริดอินเวอร์เตอร์

ไฮบริดอินเวอร์เตอร์มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- สามารถลดจำนวนของสวิตซ์กำลังในระบบอินเวอร์เตอร์ และจะส่งผลให้ค่าการสูญเสียในระบบอินเวอร์เตอร์เนื่องจากการสวิตซ์ลดลง
- ไฮบริดอินเวอร์เตอร์แบบนี้ สามารถสร้างได้ง่ายโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ที่มีใช้อยู่แล้วในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป
- สามารถเพิ่มจำนวนเอชบริดจ์ในแต่ละเฟสในกรณีที่ต้องการเพิ่มแรงดันเอาต์พุท หรือเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน หรือต้องการลดแรงดันฮาร์มอนิกเมื่อต้องการให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สวิตซ์ต่ำๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลักการสร้างสัญญาณควบคุมไฮบริดอินเวอร์เตอร์

หลักการกำเนิดสัญญาณ PWM ที่จะควบคุมไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับ จะนำเอาแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองมาอนุกรมกัน ซึ่งจะทำให้ได้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับ มีแรงดันเอาต์พุตแบบ PWM แบบขั้นบันได (Stair cases) ที่สามารถรองรับการทำงานที่ระดับแรงดันและกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้ สำหรับโครงงานนี้อินเวอร์เตอร์ชุดหลักจะใช้สัญญาณควบคุมขั้นบันได(180°) ส่วนอินเวอร์เตอร์รองใช้สัญญาณควบคุม SPWM (Sinusoidal PWM) จากที่ทั้งสองสัญญาณนั้นต่างกัน สัญญาณ SPWM ของอินเวอร์เตอร์รอง จึงถูกเปลี่ยนแปลงสัญญาณไซน์อ้างอิงปกติ เพื่อให้ทำงานร่วมกับสัญญาณขั้นบันไดของอินเวอร์เตอร์หลักซึ่งแสดงในสมการ (1)

$$f(t) = \begin{cases} m_a \sin(\omega t) - \frac{1}{2}; T = 0 - \pi \\ m_a \sin(\omega t) + \frac{1}{2}; T = \pi - 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

$f(t)$ = สัญญาณอ้างอิง PWM ของอินเวอร์เตอร์รอง

m_a = ดัชนีการมอดูเลต (0-1.0)

T = คาบเวลาของรูปคลื่น

สัญญาณพาหะ ที่ใช้จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมแบบหลายแถบ สำหรับโครงงานนี้จะใช้สัญญาณจำนวน 2 แถบ โดยจำนวนแถบบริดจ์ของสามเหลี่ยมนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของอินเวอร์เตอร์เอชบริดจ์ที่ใช้ ต่อเฟสและความกว้างของสัญญาณ PWM คำนวณได้จากสมการ (2), (3)

$$\frac{T_{PW,A}}{T_C} = \begin{cases} 2|f(t)|; f(t) \geq Tri_A \\ 0; f(t) < Tri_A \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{T_{PW,B}}{T_C} = \begin{cases} 2|f(t)|; f(t) \leq Tri_B \\ 0; f(t) > Tri_B \end{cases} \quad (3)$$

$T_{PW,A}$ = ความกว้างพัลส์ PWM ของสวิทช์ S_2

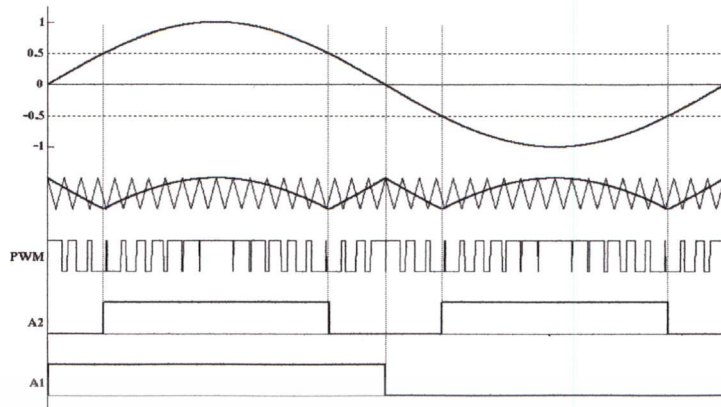
$T_{PW,B}$ = ความกว้างพัลส์ PWM ของสวิทช์ S_1

T_C = คาบเวลาของรูปคลื่นพาหะ

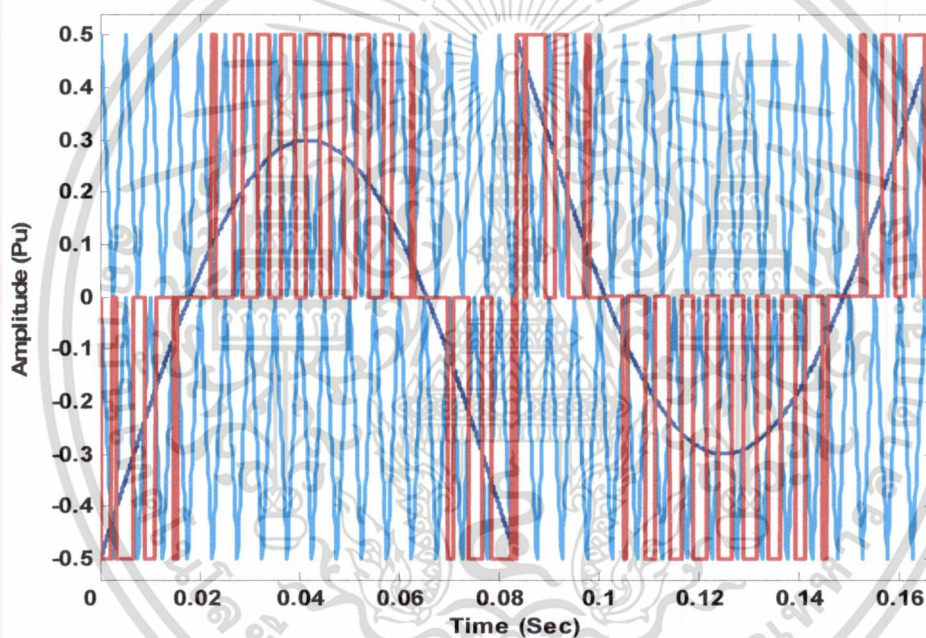
Tri_A = แอมพลิจูดของพาหะสามเหลี่ยมของ S_2 และ S_4

Tri_B = แอมพลิจูดของพาหะสามเหลี่ยมของ S_1 และ S_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 สัญญาณมอดดูเลชั่นแบบ 5 ระดับ

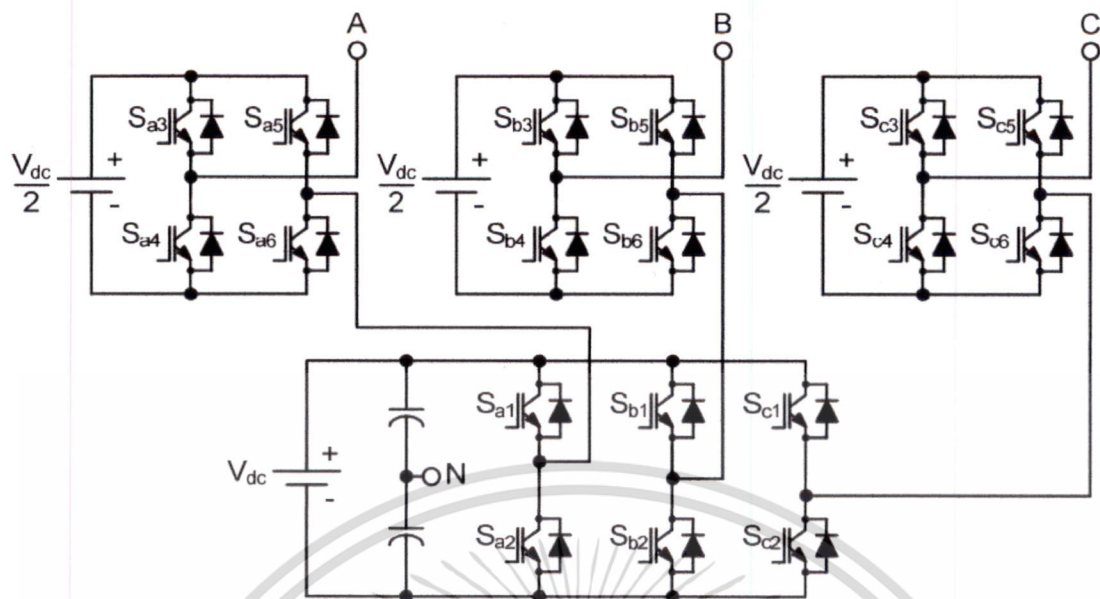


รูปที่ 5 การกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์รอง

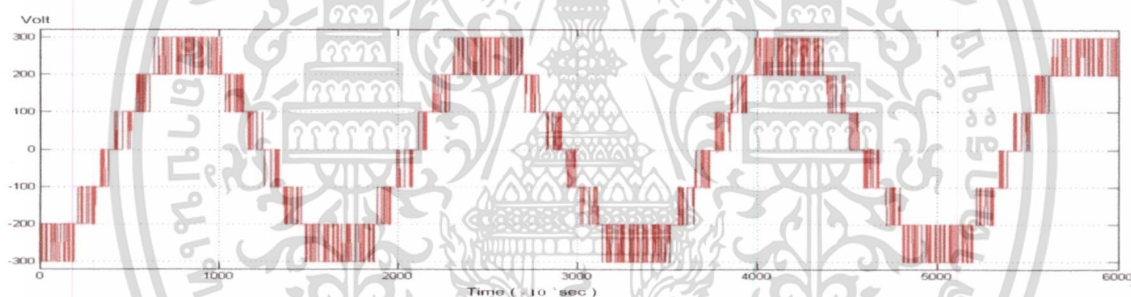
7. โครงสร้างของไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์

ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์หลายระดับโครงสร้างจะประกอบไปด้วยอินเวอร์เตอร์สองชุดดังรูปที่ 1 คือ อินเวอร์เตอร์หลักซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสโดยทั่วไป แบบ 6 สวิตช์กำลัง และอินเวอร์เตอร์รองซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แบบเอชบริดจ์ แบบ 4 สวิตช์กำลังซึ่งต่ออนุกรมกันอยู่ ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทที่มีลักษณะคล้ายรูปคลื่นไซน์(Sine Wave) ดังรูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



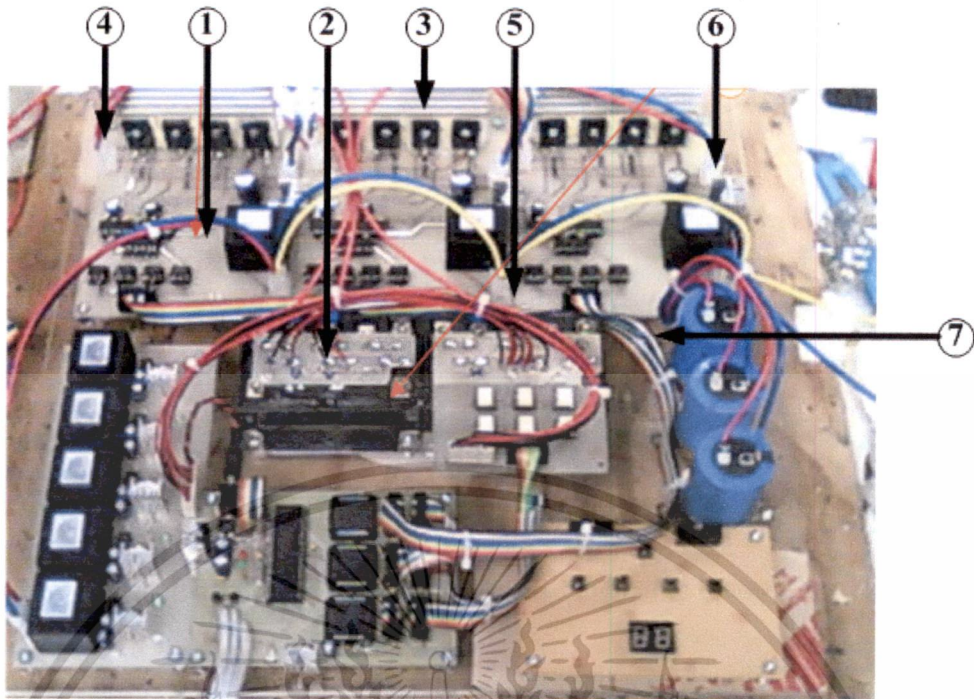
รูปที่ 6 วงจรไฮบริดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



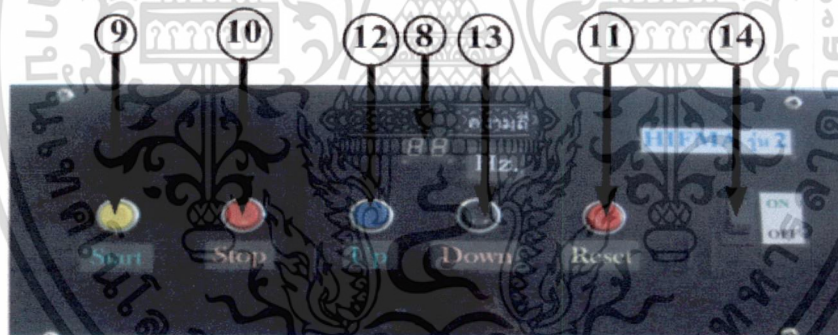
รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันไลน์เอาต์พุต

องค์ประกอบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นจริง ที่มีพิกัด 3 kVA , 220 V , 50 Hz จะประกอบไปด้วยการออกแบบวงจรหลักสองส่วนคือวงจรกำลังและวงจรควบคุม โดยวงจรควบคุมจะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรกำลังที่มีชุดอินเวอร์เตอร์หลักและชุดอินเวอร์เตอร์รองต่ออนุกรมกัน ซึ่งวงจรกำลังจะมีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันสูงกว่าอินเวอร์เตอร์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 รูปมุมบนของไฮบริดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 9 รูปด้านหน้าของไฮบริดอินเวอร์เตอร์

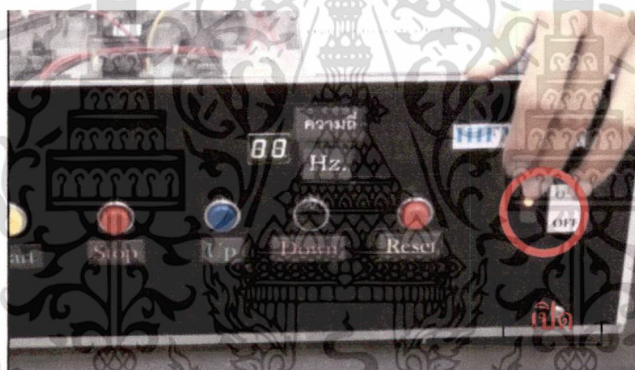
- ① อินเวอร์เตอร์รอง
- ② อินเวอร์เตอร์หลัก
- ③ แผงระบายความร้อน
- ④ จุดเชื่อมต่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้านเอาต์พุต
- ⑤ จุดเชื่อมต่อรับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์
- ⑥ จุดเชื่อมต่อรับไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต
- ⑦ สายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ⑧ จอแสดงผล
- ⑨ ปุ่มเริ่มต้นการทำงาน
- ⑩ ปุ่มหยุดการทำงาน
- ⑪ ปุ่มรีเซ็ตการทำงาน
- ⑫ ปุ่มปรับความถี่ขึ้น
- ⑬ ปุ่มปรับความถี่ลง
- ⑭ สวิตช์เปิดและปิด

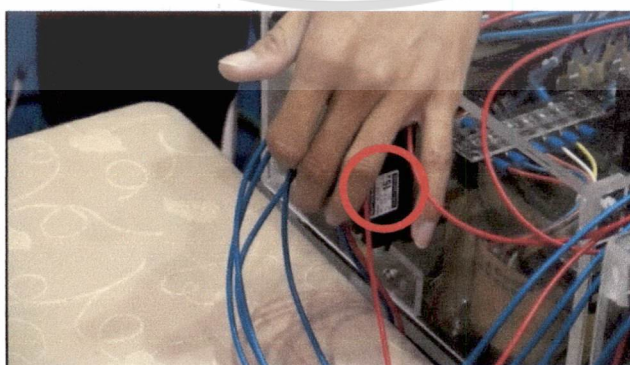
8. วิธีการใช้งานไฮบริดจันเวอร์เตอร์

1. เปิดสวิตช์ไฮบริดจันเวอร์เตอร์



รูปที่ 10 การเปิดสวิตช์ไฮบริดจันเวอร์เตอร์

2. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง เพื่อจ่ายพลังงานให้อินเวอร์เตอร์แต่ละตัว



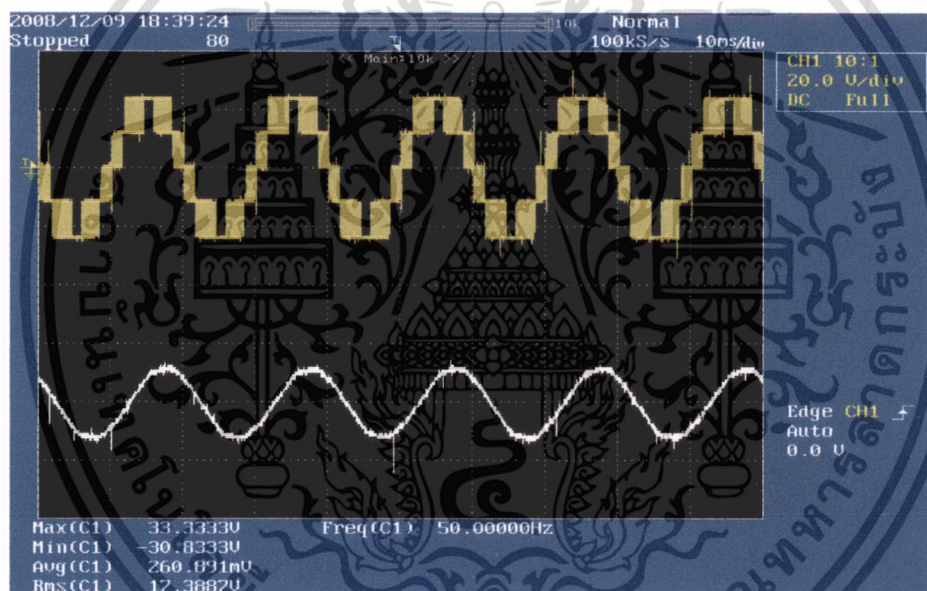
รูปที่ 11 การเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กดปุ่ม Start เพื่อเปิดอินเวอร์เตอร์สังเกตความถี่ที่จอแสดงผลจะอยู่ที่ 50Hz



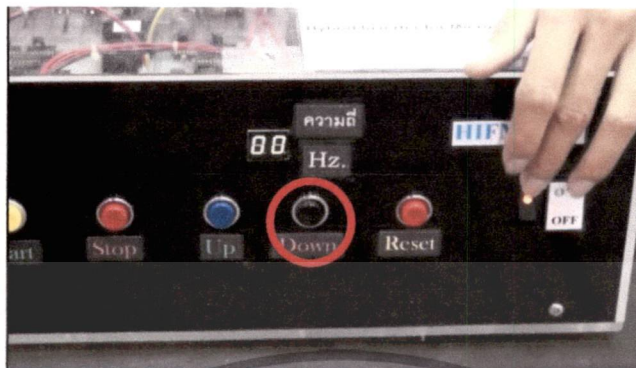
รูปที่ 12 กดปุ่ม Start เพื่อเปิดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 Hz

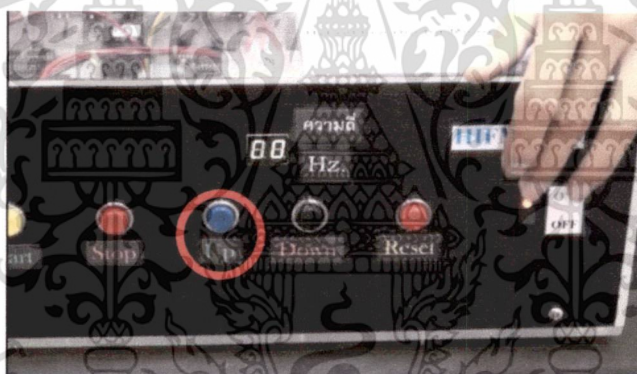
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.เมื่อต้องการลดความถี่ให้กดปุ่ม Down



รูปที่ 14 ปุ่มปรับความถี่ลดลง

5.เมื่อต้องการเพิ่มความถี่ให้กดปุ่ม Up



รูปที่ 15 ปุ่มปรับความถี่ขึ้น

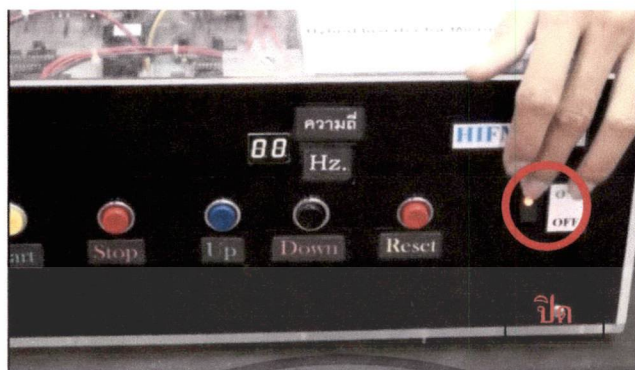
6.เมื่อต้องการให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงานกดปุ่ม Stop ความถี่จะค่อยๆลดลงจนกระทั่งเป็น 0 Hz



รูปที่ 16 การปิดสวิทช์ไฮบริดจ์อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง



รูปที่ 17 การเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายพลังงานจำลอง

9. ข้อควรระมัดระวังในการใช้งาน

1. ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ควรตั้งไว้ในที่ร่มที่ปราศจากความชื้น
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงควรแยกกราวด์กัน
3. ก่อนจ่ายโหลดควรทำการตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแต่ละเฟสให้มีค่า 220 โวลต์

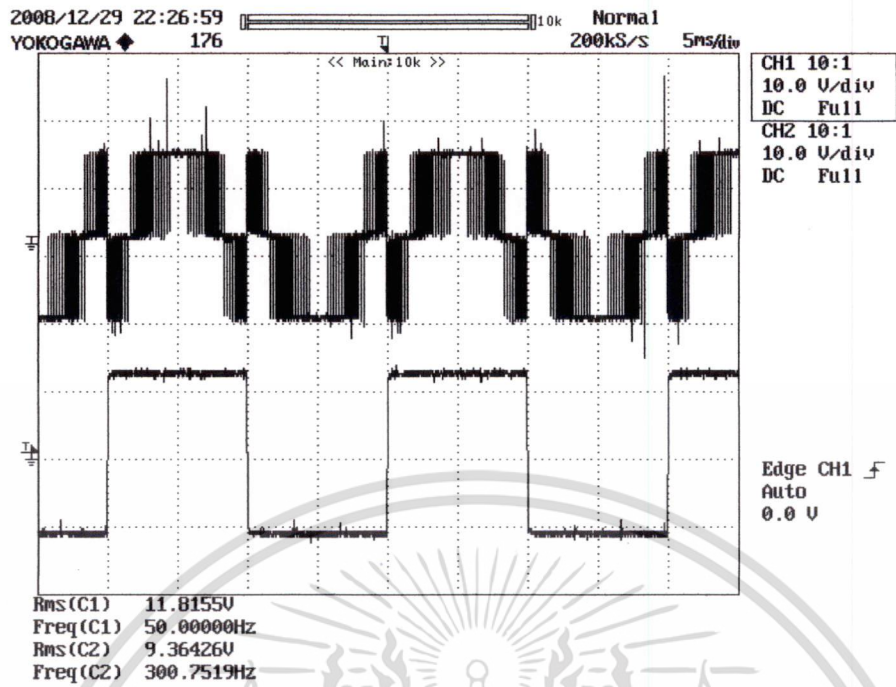
10. การทดสอบไฮบริดอินเวอร์เตอร์

การทดสอบชุดต้นแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ได้ทำการทดสอบสัญญาณการทำงาน ขณะต่อเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขนาด 1 แรงม้า ทั้งที่ความถี่ 50 Hz และความถี่ 60 Hz ที่แรงดันไฟตรงสำหรับอินเวอร์เตอร์หลัก 48 Volt อินเวอร์เตอร์รอง 24 Volt วงจรคอนโทรลที่ใช้ควบคุมวงจรกำลัง

● สัญญาณเกท

สัญญาณเกทสำหรับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์รองคือรูป 18(ข)รูปล่าง18(ค)เป็นสัญญาณเกทสำหรับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์หลัก

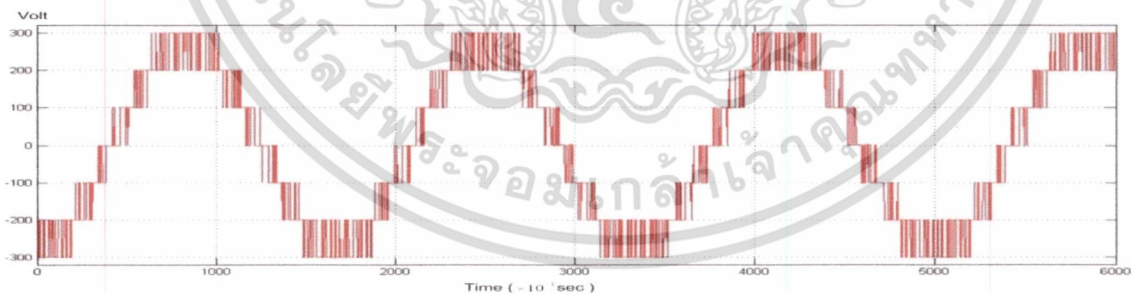
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 (ก)รูปล่าง สัญญาณเกตสำหรับสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์หลัก
(ข)รูปบน สัญญาณเกตสำหรับสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์รอง

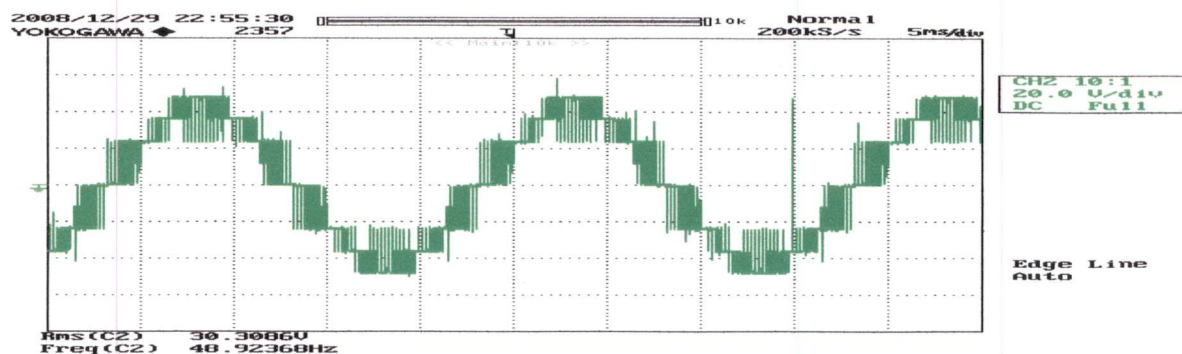
- สัญญาณแรงดันไลน์

สัญญาณแรงดันไลน์ จากการจำลองทางคณิตศาสตร์เราจะได้แรงดันไลน์ดังรูปที่ 19 และเมื่อเราทำการทดลองไฮบริดอินเวอร์เตอร์เราจะได้แรงดันไลน์ดังรูปที่ 20



รูปที่ 19 สัญญาณแรงดันไลน์จากการจำลองทางคณิตศาสตร์

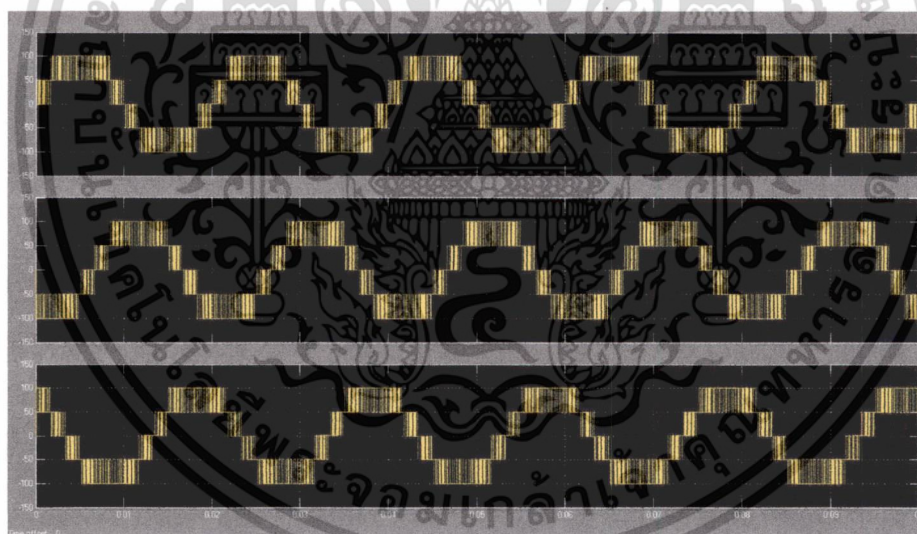
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 สัญญาณแรงดันไลน์ที่วัดได้จากชิ้นงาน ที่ความถี่ 50 Hz

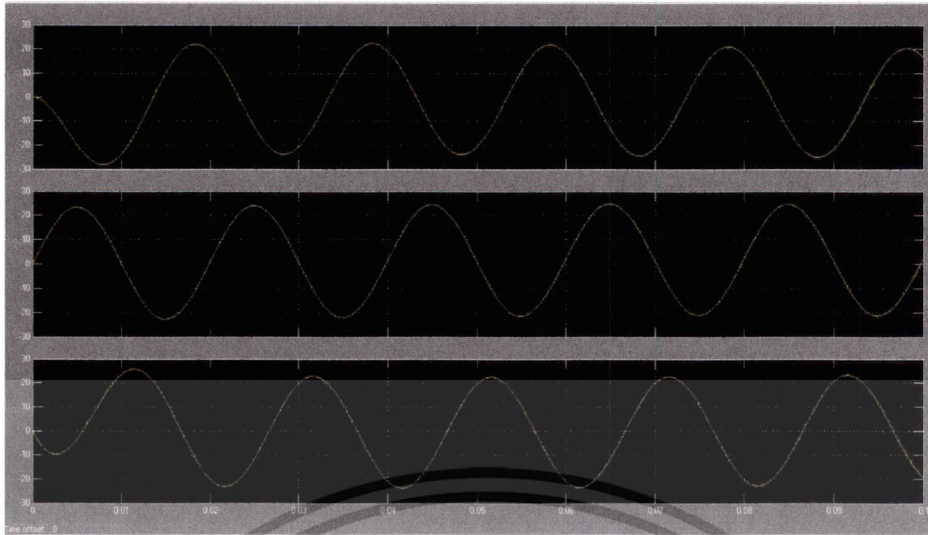
- สัญญาณแรงดันเฟส

สัญญาณแรงดันเฟส แรงดันเฟสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ดังรูปที่ 21 ส่วน 22 เป็นสัญญาณกระแสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ และรูป 23 เป็นแรงดันเฟสและกระแสจากการทดลองชุดต้นแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์

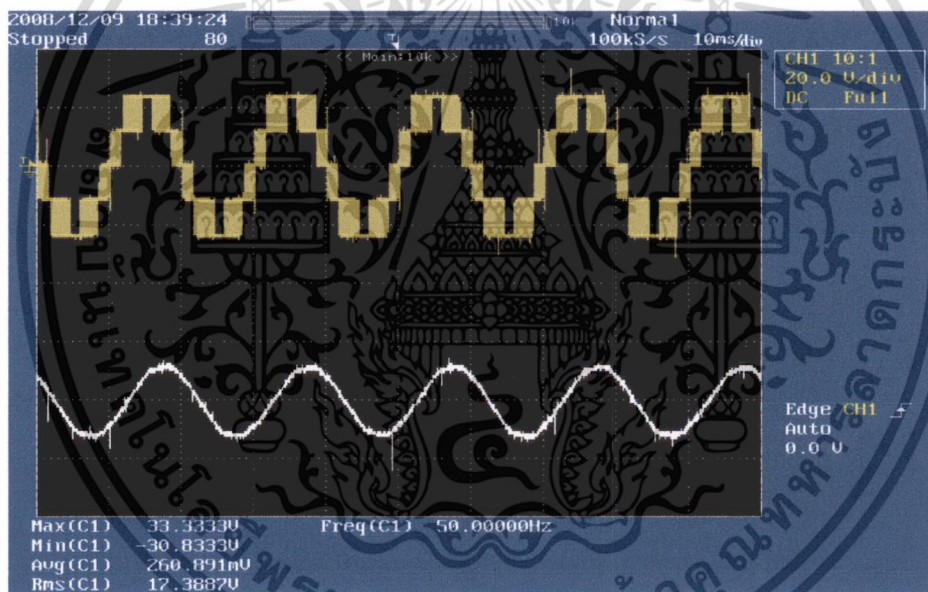


รูปที่ 21 สัญญาณแรงดันเฟสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



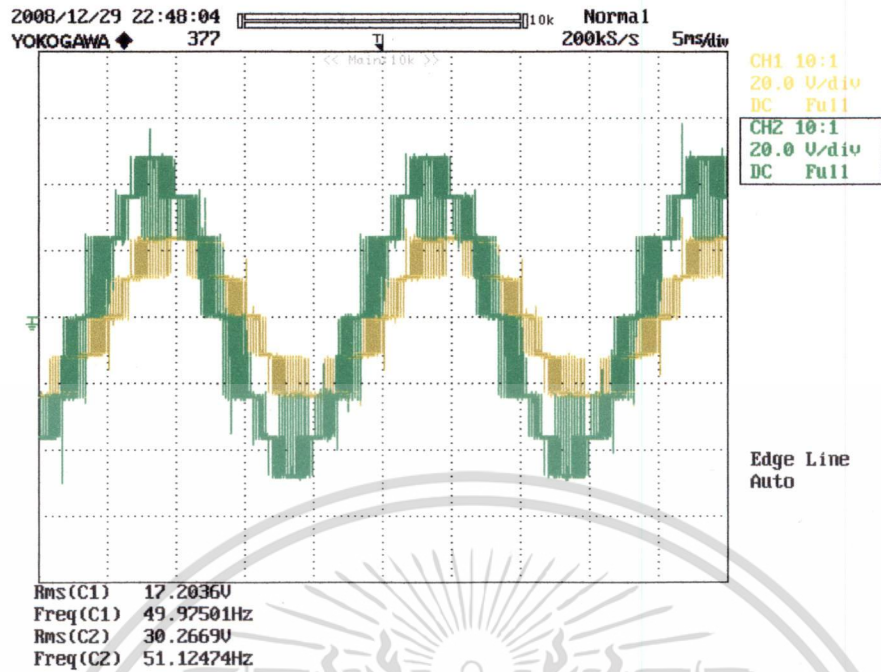
รูปที่ 22 สัญญาณกระแสจากการจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 23 ผลการทดลองจริงที่ได้ รูปคลื่นบนเป็นแรงดัน รูปคลื่นล่างเป็นกระแส

เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันเฟสกับแรงดันไลน์ในรูปที่ 24 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันเฟสกับแรงดันไลน์ที่ได้จากการบันทึกข้อมูล ค่า THD จะได้ 4.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 24 เปรียบเทียบแรงดันเฟสกับแรงดันไลน์ของไฮบริดอินเวอร์เตอร์

11. สรุป

จากผลการทดลองชุดต้นแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสรุปได้ว่าการทำงานร่วมกันของวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสทั่วไป 6 สวิตช์กำลัง และวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเอชบริดจ์ 4 สวิตช์กำลังซึ่งมีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่แยกแหล่งจ่าย ได้เปลี่ยนแรงดันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับที่มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้น และสามารถขับมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ โดยการทำงานของวงจรทั้งสองมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมโดยสร้างสัญญาณมาขับเกทของสวิตช์กำลังแต่ละตัวในวงจรอินเวอร์เตอร์ทั้งสอง ซึ่งการประยุกต์ใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้งานที่ กำลังและแรงดันไฟฟ้าสูงๆ เช่นเดียวกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เพื่อเพิ่มจำนวนระดับของสัญญาณแรงดันเอาต์พุต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kruangpradit, P., Jitnumsrup, V. and Saengsrithorn, S. 2002. Feasibility Study on Renewable Energy Electrification in Remote Villages Project. The International Conference on Village Power from Renewable Energy in Asia. Phitsanulok, Thailand, 11-14 November. pp. 4
- [2] Thompson, G., Saupin M.G., and Butler K. 1997. Hybrid Renewable Energy Systems for Rural Development. Workshop on Appropriate Energy Technologies for Sustainable Rural Development. Jakarta, Indonesia, 7 October. pp. 12
- [3] Jerome, M. W. and Robert F. Lee. 2000. Wide-Spread Implementation of Renewable Energy Projects in APEC Member Economics: Road Maps for Success. Prepare for Asia-Pacific Economic Cooperation Energy Working Group Expert Group on New Renewable Energy Technologies. Alternative Energy Development, Inc., November. pp. 31-46.
- [4] S. Khomfoi, L. M. Tolbelt, "Multilevel Power Converters." Power Electronics Handbook, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451 – 482.
- [5] Powersim Inc, *PSIM User's Guide Version 6*, Powersim Inc, 2003
- [6] ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตนนทบุรี (Research center of Alternative Center Energy)
- [7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย Electricity Gennerating Authority of Thailand เว็บไซต์ www.egat.co.th/re