

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแส ด้วยฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์ Single-Phase Grid Connected Bidirectional Inverter with Double-band Hysteresis Current Control

ตะวัน ลาเสือ¹, ธาดา ชวนาพิทักษ์¹, โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง^{1*}

หัตถุละ สภาวะจันทร์¹ และ พีรวัฒน์ มีสุข²

Tawan Lasue¹, Tada Chawanapitak¹, Koson Chaicharoenaudomrung^{1*}

Hatta Sawachan¹ and Peerawat Meesuk²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹Department of Electrical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

²Electrical Engineering and Automation Control System Program, Department of Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author email: koson.c@cit.kmutnb.ac.th

Received 7 Aug 2022 Revised 14 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนออินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแสด้วยฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์ ซึ่งมีโหมดการทำงาน 2 โหมด ได้แก่ โหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ โคร่งสร้างการควบคุมประกอบด้วยวงรอบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตัวควบคุมพีเอและออคัยการควบคุมแบบฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในวงรอบกระแส สมรรถนะการควบคุมด้วยวิธีที่นำเสนอถูกตรวจสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และชุดทดสอบต้นแบบพิกัด 300 วัตต์ จาก

ผลการจำลองสถานการณ์และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกัน ผลการทดสอบการทำงานในโหมดเรียงกระแสแสดงให้เห็นได้ว่ากริดจ่ายกำลังไฟฟ้า 355 วัตต์ ผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลดตัวต้านทาน สำหรับการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์กำลังไฟฟ้าที่ถ่ายโอนเข้าสู่กริดมีค่าเท่ากับ 281 วัตต์ โดยแรงดันไฟฟ้าด้านไฟฟ้ากระแสตรงของทั้ง 2 โหมดยังคงถูกรักษาไว้ที่ 400 โวลต์ นอกจากนี้ยังมีผลการทดสอบผลตอบสนองในสถานะชั่วขณะที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยระบบควบคุมสามารถรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตคงที่ 400 โวลต์

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส, อินเวอร์เตอร์กริดไทน์, วงจรแปลงผันสองทิศทาง

Abstract

This article presents a single-phase grid connected bidirectional inverter with hysteresis current control. It can operate in two modes: rectifier mode and inverter mode. The control consists of a voltage control loop that uses a PI controller and double-band hysteresis controls the current in the current loop. The control performance of the proposed method was verified by simulation using MATLAB/Simulink program and a 300 W single-phase bidirectional inverter prototype. The simulation results and experimental results show that is consistent. The experimental results of the rectifier mode show that the grid supplies 355 watts of power through the bidirectional inverter to the resistive load. Operating in inverter mode, the power transferred to the grid is 281 watts, with the DC voltage in both modes was still regulated at 400 V. In addition, there are transient responses showing the efficiency of DC voltage regulation.

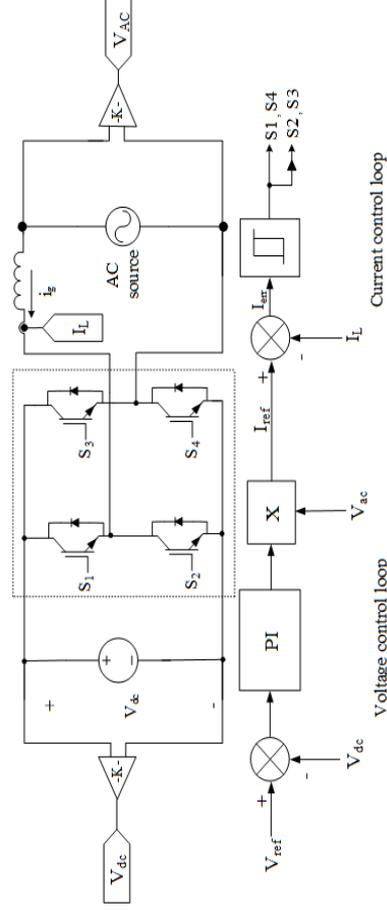
Keywords: Single-phase inverter, Grid tie inverter, Bidirectional power converter

บทนำ

ในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้นไม่ว่าจะเป็น โซลาร์เซลล์ หรือแหล่งกักเก็บพลังงานจำพวกแบตเตอรี่ (Khezri, Mahmoudi and Haque ,2020) (Sangwongwanich, Yang and Blaaberger,2016) (Zhang, Sun, Li, Lu, and Zhao, 2018) โดยตั้งที่กล่าวมาเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งหากต้องการแปลงเป็นแหล่งจ่ายกระแสสลับเพื่อจ่าย

ให้กับกริดการไฟฟ้าหรือจำเป็นต้องการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ จำเป็นต้องอาศัยวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง โดยบทความนี้จะกล่าวถึงอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ทำงานในโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ (เจตน บัญญัติแรก และรัชชานนท์ แซ่มัญชิตย์, 2564) (เขตพล อิมทิม และรัชชัย ผ่องแผ้ว, 2562) (ชินวัตร มีช้าง และสะการเดือน สันธิวาส, 2560)

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบมีสวิตช์ไอจีบีทีทั้ง 4 ตัว การทำงานโดยทำหน้าที่แปลงไฟฟ้กระแสตรงเป็นไฟฟ้ฟ้ากระแสสลับได้ โดยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะต้องมีการควบคุมกระแสที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์ (i_g) และแรงดันที่ตีซิปส์ (V_{dc}) ดังรูปที่ 1 ตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์ริซีส ในคอนเวอร์เตอร์นี้วงจรควบคุมแรงดัน (V_{dc}) ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ และวงรอบการควบคุม



ภาพที่ 1 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมด้วยฮิสเตอร์ริซีสแบบซิงเกิลแบนด์

กระแส (i_g) ใช้ตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์ริซีสแบบซิงเกิลแบนด์ ซึ่งเป็นวิธีที่เรียบง่ายเมื่อเทียบกับวิธีการปรับเบิกลูเอมหรือวิธีเวกเตอร์การสวิตช์ อย่างไรก็ตามการควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ริซีสแบบซิงเกิลแบนด์จะมีความถี่สวิตช์สูง ทำให้เกิดการสูญเสียจากการสลับสวิตช์ (Switching Loss) ใกล้เคียงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์ริซีสแบบดับเบิลแบนด์ (Komurcugil, 2015) (Komurcugil and Kukrer, 2015)

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ริซีสแบบดับเบิลแบนด์สำหรับอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริด โดยดำเนินการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบขนาดพิกัด 300 W ดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยันสมรรถนะของการควบคุมที่นำเสนอ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

โดยทั่วไปวงจรฟูลบริดจ์ ประกอบด้วย สวิตช์ 4 ตัว ดังรูปที่ 2 ซึ่งปกติจะนิยมขับ นำสวิตช์ให้ตัดต่อวงจรไขว้กัน เพื่อสร้าง แรงดันออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสวิตช์ของ วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ทำงานพร้อม กันเป็นคู่' ซึ่งจะได้สัญญาณขาออกเป็น รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

1. ผลตอบสนองของกระแสที่กิริต (i_g) ในสถานะคงตัวกับการสับสวิตช์ของ วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

การสับสวิตช์ของวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ที่แสดงในรูปที่ 2 นั้นการ เปิด/ปิด สวิตช์แต่ละรูปแบบนั้นจะส่งผลให้ เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสที่กิริต (i_g) ที่แตกต่างกันโดยสามารถวิเคราะห์ ผลกระทบได้เป็นกรณีนี้ที่แรงดันที่กิริต (v_g) เป็นบวกและเป็นลบ ในกรณีที่แรงดันกิริต

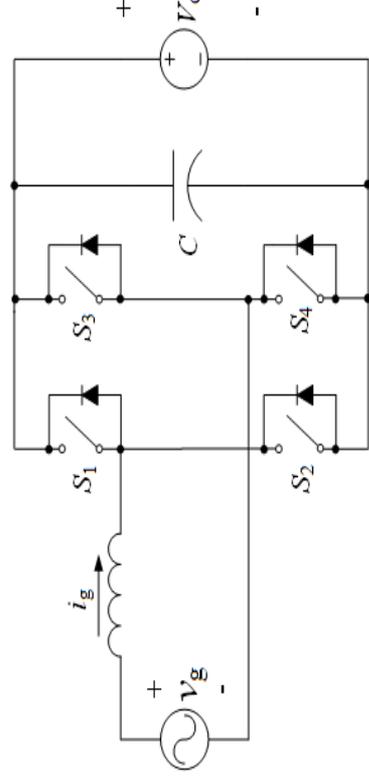
เป็นบวก ($+v_g$) และแรงดันที่กิริตเป็นลบ ($-v_g$) รูปแบบการสับสวิตช์สามารถเป็นไปได้หลายรูปแบบสำหรับในบทความนี้ได้ทำการวิเคราะห์ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ในการพิจารณาถือว่าสวิตช์เป็นอุดมคติและไม่มีค่าความต้านทานแฝงในตัวเมียนำ

- รูปแบบการสับสวิตช์จะไม่ทำให้เกิดการลัดวงจรที่แรงดันกระแสตรงขาออก
- การสับสวิตช์ของวงจรงจรฟูลบริดจ์จะสับสวิตช์เป็นคู่

- การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่กิริตเป็นการพิจารณาในสถานะคงตัว
- พิจารณา V_g เท่ากับค่ายอดของแรงดันที่กิริต (311 V) และ แรงดันของเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ (V_o) เป็นค่าที่ (400 โวลต์)

ไม่มีการกระเพื่อม



ภาพที่ 2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่พิจารณา

การพิจารณากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยพิจารณาจากแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L) โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

จัดสมการใหม่ได้

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_L \Delta T \quad (2)$$

โดย

Δi_L คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่

ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

V_L คือ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

ΔT คือ ช่วงเวลาการสับสวิตซ์

เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาไม่นำค่าความเหนี่ยวนำ (L) และช่วงเวลากลับสับสวิตซ์ (ΔT) มาพิจารณาด้วยเนื่องจากเป็นค่าคงที่และกำหนดให้ช่วงเวลากลับสวิตซ์เท่ากับทุกช่วงเวลา กำหนดให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) คือกระแสที่

กริต (i_g) จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (3)

$$\Delta i_g = \Delta i_L \alpha V_L \quad (3)$$

ตารางที่ 1 รูปแบบการสับสวิตซ์เพื่อใช้ควบคุมกระแสที่กริตขณะแรงดันกริตเป็นบวก

สวิตซ์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
1	on	off	off	on	ลดลง (-) เพิ่มขึ้น (+)
2	on	off	off	on	ลดลง (-) เพิ่มขึ้น (+)

ตารางที่ 2 รูปแบบการสับสวิตซ์เพื่อใช้ควบคุมกระแสที่กริตขณะแรงดันกริตเป็นลบ

สวิตซ์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
1	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+) ลดลง (-)
2	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+) ลดลง (-)

จากการพิจารณาตามตารางที่ 1 และ

คุณลักษณะที่กำหนดมาข้างต้นทำให้ทราบ

ได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่กิริตเป็น

ขณะแรงดันกิริตเป็นบวกและเป็นลบดัง

ตารางที่ 2

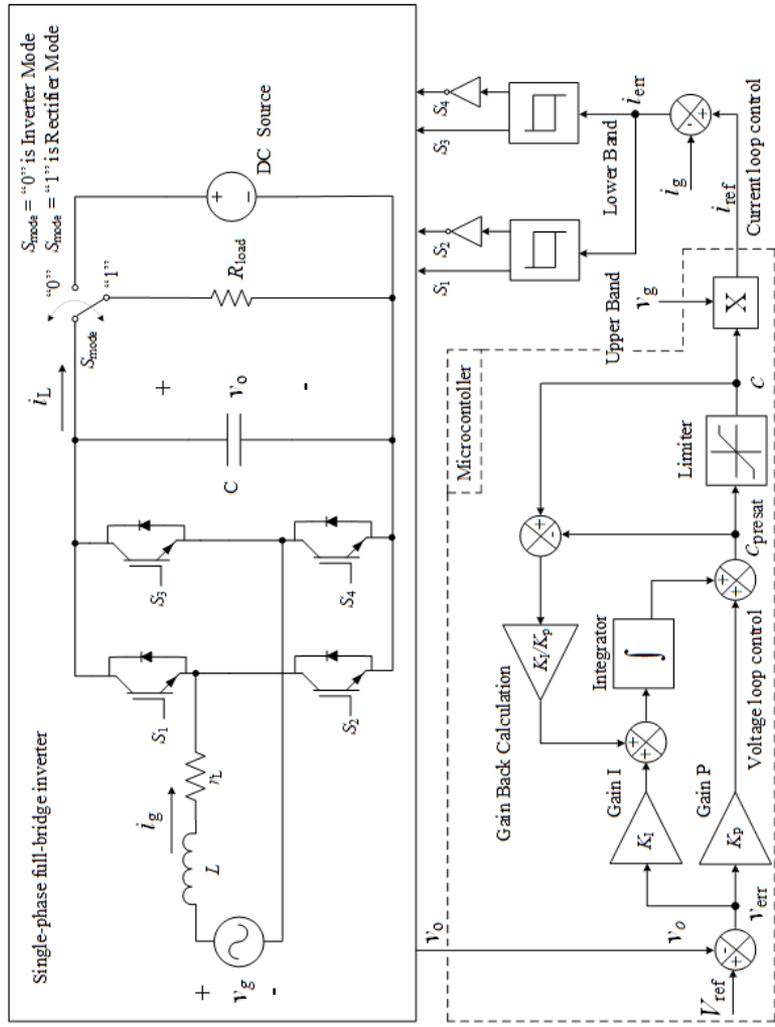
2. หลักการควบคุมของอินเวอร์เตอร์ 1

เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกิริต

โครงสร้าง การควบคุมของ

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อม

กิริตแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกิริตที่ควบคุมด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิล

แบนด์

การควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำคัญ

ประกอบด้วย ส่วนของวงรอบนอก (วงรอบ

แรงดัน) และวงรอบใน (วงรอบกระแส)

โดยสองวงรอบสำคัญนี้มิใช่เพื่อการควบคุม

แรงดันที่เอาต์พุต (V_o) และวงรอบกระแสมี

ไว้เพื่อควบคุมกระแสที่กิริต(i_g) ให้เป็นไซน์

(Sinusoidal) โดยภายในวงรอบแรงดันจะ

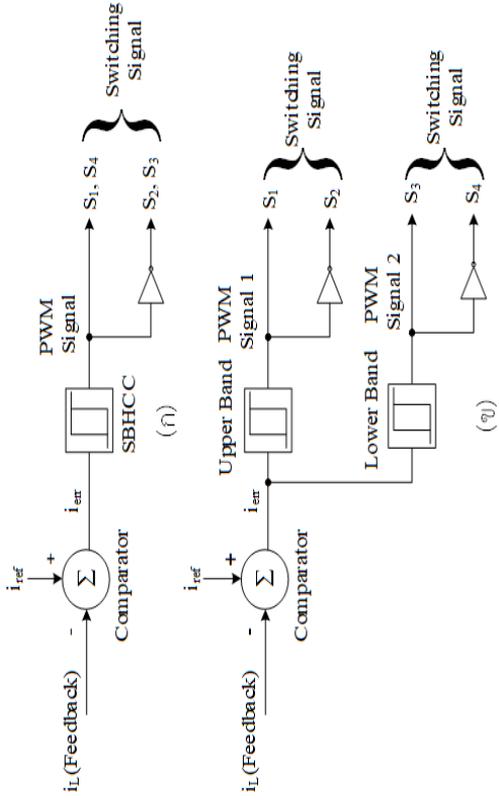
ใช้เทคนิคการควบคุมแบบแปรผันตรง (P)

และแบบอินทิเกรต (I) ร่วมกัน อย่างไรก็ตาม

หากไม่มีลิมิตเตอร์ไว้จำกัดกระแสที่ก

ริที่จะทำให้ช่วงเริ่มต้นจะมีกระแสที่กิริตสูงเกินกว่าที่สวิตช์ไอจีบีทีจะทนได้ จึงมีความจำเป็นต้องมีลิมิตเตอร์และแอนติไวฟ (Anti-Windup) ช่วยในการป้องกันจำกัดกระแสที่กิริตและป้องกันการสะสมของอินทิเกรตเตอร์ (I) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต (V_o) มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) โดยหลักการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำแรงดันอ้างอิง เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสตรงขาออกเพื่อหาความผิดพลาด (V_{err}) นำไปขยายความผิดพลาดด้วยตัวควบคุมและใส่เข้าสู่วงรอบควบคุมกระแสต่อไป สำหรับวงรอบควบคุมกระแสเป็นการควบคุมปริมาณกระแสกลับ จึงยากต่อการควบคุมด้วยพีไอ จึงใช้เทคนิคฮิสเทอรีซิสเปิด/ปิด การทำงานไอจีบีทีเป็นลำดับตามการเคลื่อนตัวของปริมาณกระแสขอบเขตที่กำหนด กระแสอ้างอิง (i_{ref}) ได้มาจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์คูณด้วยแรงดันกิริต เพื่อให้เป็นปริมาณกระแสกลับ จากนั้นค่ากระแสผิดพลาด (i_{err}) คือผลต่างระหว่างกระแสที่กิริต (i_g) และกระแสอ้างอิง (i_{ref}) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับขอบเขตกระแสบน (HB) และ

ขอบเขตศูนย์ (HO) และขอบล่าง (HL) ผลที่ได้จะเป็นรูปแบบของการ ปิด-เปิดสวิตช์ไอจีบีทีโดยมีลักษณะกระแสที่กิริตเทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเทอรีซิสโดยทั่วไปในวงรอบควบคุมกระแสจะใช้เทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเทอรีซิสแบบซิงเกิลแบนด์ (Single band hysteresis current control; SBHCC) ซึ่งกำหนดความกว้างของแบนด์ที่ตั้งแสดงในภาพที่ 4 (ก) สำหรับเทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์ (Double band hysteresis current control; DBHCC) ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) เทคนิคนี้มีการสลับสวิตช์ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมกระแสแบบซิงเกิลแบนด์ ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของการควบคุมกระแสด้วยฮิสเทอรีซิสแบบซิงเกิลแบนด์และแบบดับเบิลแบนด์ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การควบคุมกระแสด้วยฮิสเทรีซิส

(ก) Single-Band Hysteresis Current Control

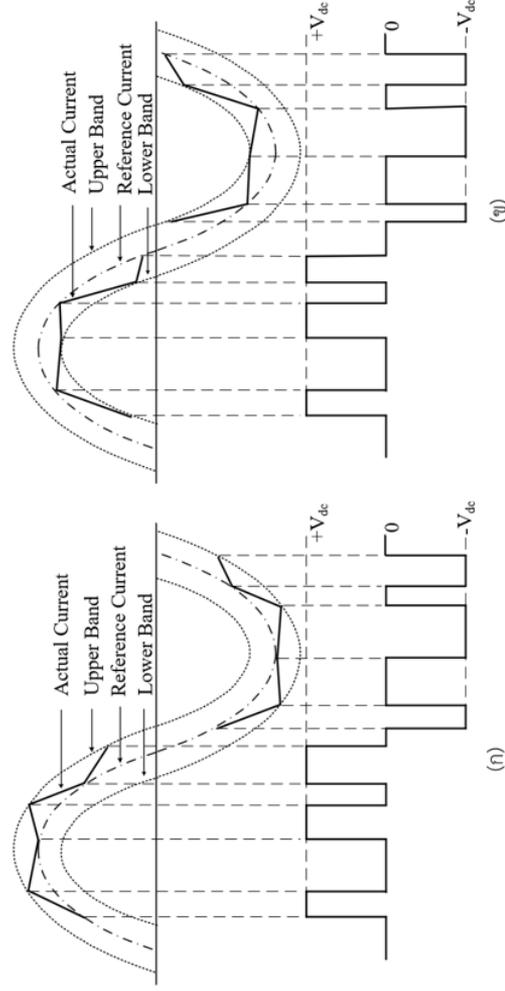
(ข) Double-band Hysteresis Current Control

ตารางที่ 3 Single-Band Hysteresis Current Control

สวิตช์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
แรงดันกริดเป็นบวก (vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	off	off	on	ลดลง (-)
แรงดันกริดเป็นลบ (-vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	off	off	on	ลดลง (-)

ตารางที่ 4 Double-band Hysteresis Current Control

สวิตช์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
แรงดันกริดเป็นบวก (vg)	on	off	off	on	เพิ่มขึ้น (+)
	on	on	off	off	ลดลง (-)
แรงดันกริดเป็นลบ (-vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	on	off	off	ลดลง (-)



ภาพที่ 5 การทำงานของฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิ้ลแบนด์

(ก) โหมดเรียงกระแส

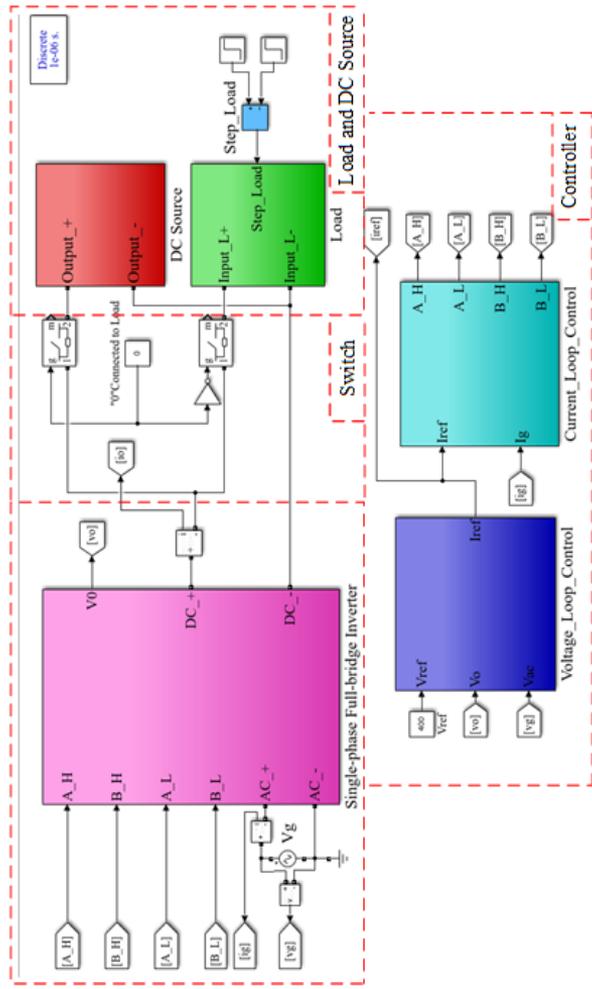
(ข) โหมดอินเวอร์เตอร์

ผลที่ได้จากรูปแบบของการ ปิด-เปิด สวิตช์ไอจีบีทีของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมด้วยฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิ้ลแบนด์ มีลักษณะ กระแสที่กริด ขณะควบคุมในโหมดเรียง กระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ แสดงใน ภาพที่ 5

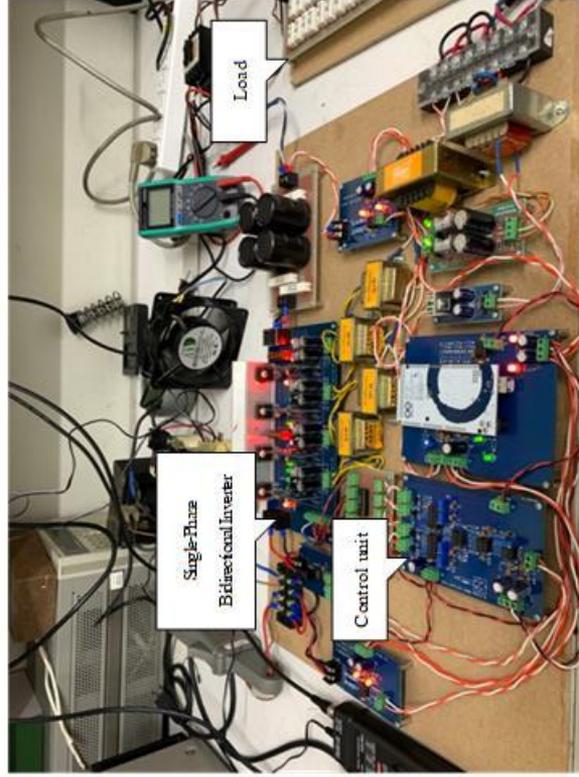
ผลการดำเนินงาน

การจำลองสถานการณ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดแสดงในภาพ ที่ 6 โดยจะจำลองการทำงานในโหมดเรียง กระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์โดยเมื่อปรับ

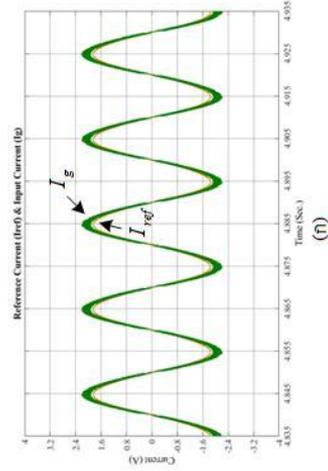
ลอจิกที่สวิตช์ (Switch) เท่ากับศูนย์จะทำให้ ให้เบรกเกอร์ เชื่อมต่อวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทาง กับโหมด ความต้านทานและเมื่อหากปรับลอจิกสวิตช์ เท่ากับหนึ่งจะทำให้เบรกเกอร์เชื่อมต่อวงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส กับแหล่งจ่าย กระแสตรง ในภาพที่ 7 แสดงภาพรวมของ อุปกรณ์ทดสอบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางต้นแบบพิกัด 300 W โดยมี แรงดันกริด 230 V 50 Hz ตัวเหนี่ยวนำ 10.8 mH โหมดตัวต้านทาน 500 Ω และ ควบคุมด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560



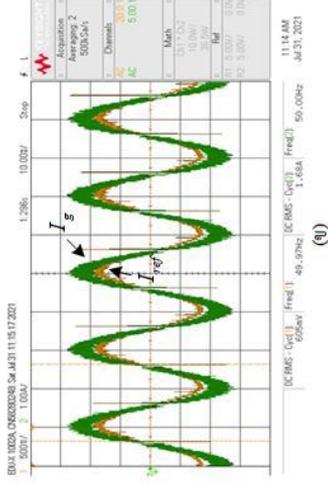
ภาพที่ 6 การจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทาง



ภาพที่ 7 ชุดทดสอบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบซ็อมกริต



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 กระแสที่กริดในโหมดเรียงกระแส

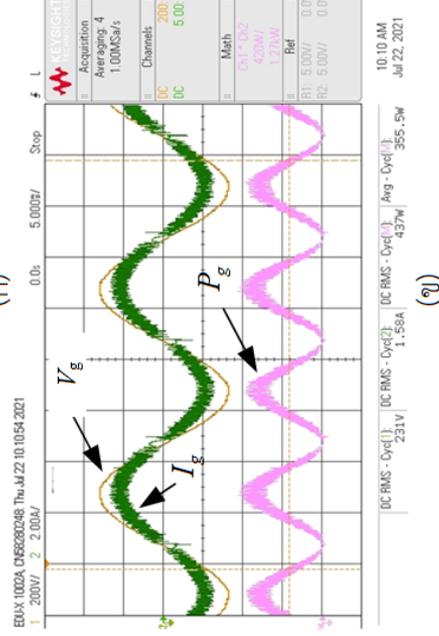
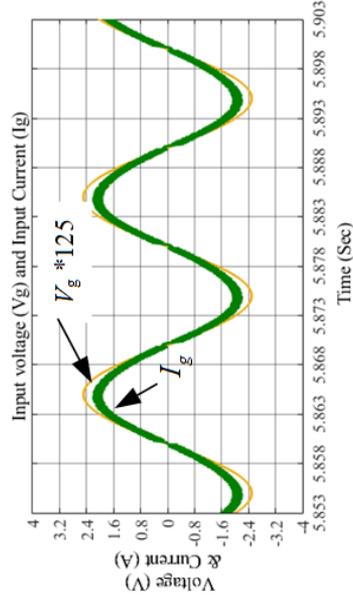
(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ

จากภาพที่ 8 (ก) เป็นผลการจำลองสถานการณ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสทำงานในโหมดเรียงกระแสโดยจะเห็นว่าเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นบวก (แรงดันที่กริดเป็นบวก) การแกว่งของกระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนบน ($I_{ref} + H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) และเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นลบ (แรงดันที่กริดเป็นลบ) การแกว่งของกระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนล่าง ($I_{ref} - H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ใน

ภาพที่ 8 (ข) แสดงผลทดสอบกระแสที่กริดในโหมดเรียงกระแสภาพที่ 9 (ก) แสดงผลการจำลองสถานการณ์การนำกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่กริดในโหมดเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ามีเฟสตรงกัน ซึ่งหมายถึงกระแสไหลออกจากกริด ในภาพที่ 9 (ข) แสดงผลการทดสอบกระแสและแรงดันที่กริดในโหมดเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ากริดจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 355 วัตต์

กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 355 วัตต์



ภาพที่ 9 กระแสและแรงดันกริดในโหมดเรียงกระแส

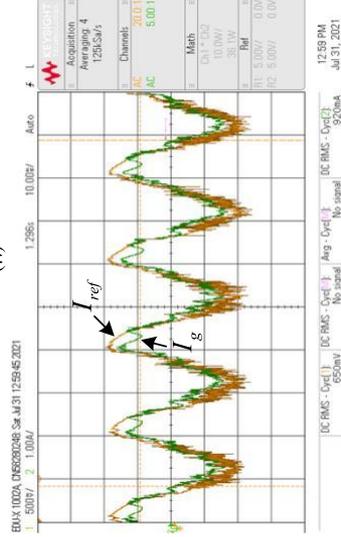
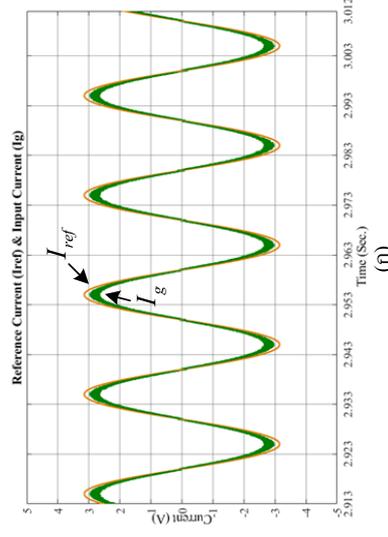
- (ก) ผลการจำลองสถานการณ์
- (ข) ผลการทดสอบ

สำหรับผลการจำลองสถานการณ์ วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางใน โหมดอินเวอร์เตอร์แสดังในภาพที่ 10 (ก) ซึ่งการควบคุมกริดที่กริดจะเหมือนกับ การทำงานในโหมดเรียงกระแสเพียงแต่ จะต่างกันเล็กน้อยกล่าวคือ เมื่อกระแส อ้างอิง (I_{ref}) เป็นบวก (แรงดันที่กริดเป็น ลบ) การแกว่งของกริดที่กริด (I_g) จะอยู่

ระหว่างแบนกลาง ($I_{ref} - H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) และเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นลบ (แรงดันที่กริดเป็นบวก) การแกว่งของ กระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนกลาง ($I_{ref} + H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ในภาพ ที่ 10 (ข) เป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ระหว่างกระแสที่กริดกับกระแสอ้างอิงที่ เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จากผลการ

ทดสอบดังกล่าวพบว่ากระแสมีความผิดเพี้ยนเนื่องจากกำลังสูญเสียที่หม้อแปลงของหม้อแปลงที่ใช้สำหรับแยกกราวด์

(Isolated transformer) โดยขนาดพิกัดของหม้อแปลงดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของระบบที่ทดสอบ



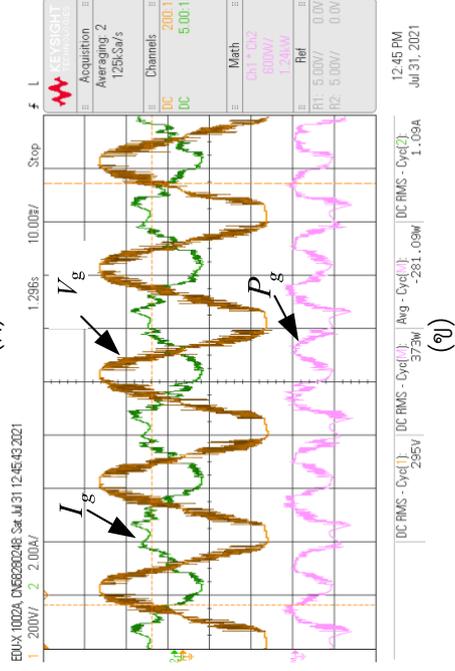
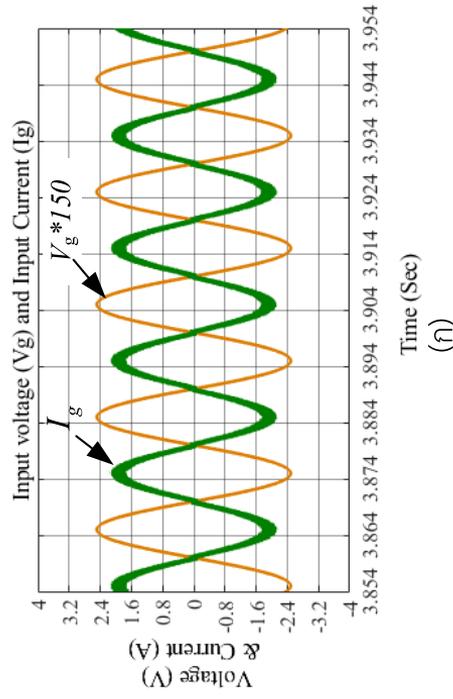
ภาพที่ 10 กระแสที่กริดในหม้อเดินเวอเตอร์

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ

ภาพที่ 11 (ก) แสดงผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสและแรงดันที่กริด โดยจะสังเกตเห็นว่ามีความต่างเฟสกัน 180° ซึ่งหมายถึงกระแสไหลเข้ากริด ผลการทดสอบกระแสและแรงดันกริดในหม้อเดินเวอเตอร์แสดงใน

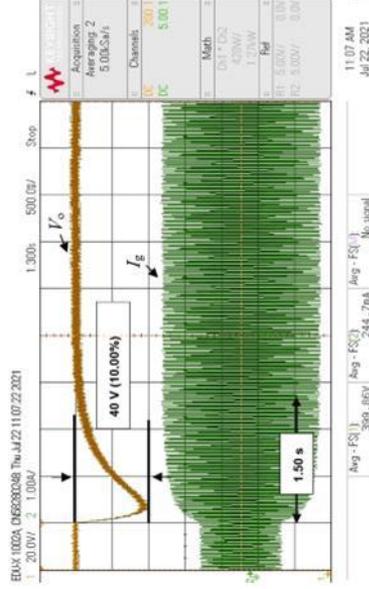
ภาพที่ 11 (ข) จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปคลื่นสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต (I_E) จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีการติดตามกระแสอ้างอิง (I_{ref}) โดยมีกำลังไฟฟ้าที่กริด (P_E) เท่ากับ -281.09 วัตต์



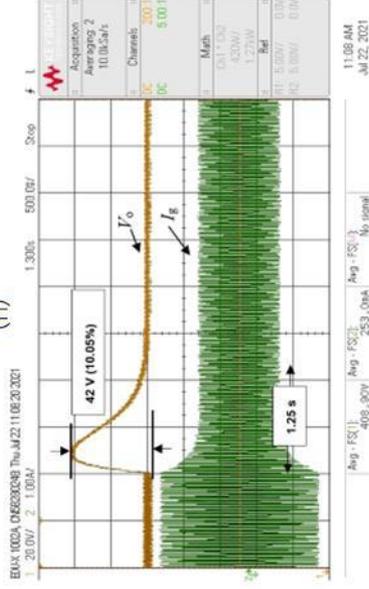
ภาพที่ 11 กระแสและแรงดันกริดในโหนดอินเวอร์เตอร์

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 12 ผลการทดสอบสภาวะชั่วคราว

- (ก) กรณีโหลดเพิ่มจาก 50% โหลดเป็น 100% โหลด
- (ข) กรณีโหลดลดจาก 100% โหลด เป็น 50% โหลด

ในภาพที่ 12 (ก) แสดงผลการทดสอบที่สภาวะชั่วคราว โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 50% โหลดเป็น 100% โหลด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมกระแสและแรงดันมีเสถียรภาพที่สภาวะชั่วคราวสามารถรองรับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ไม่ต่ำกว่า 400 โวลต์ โดยแรงดันด้านเอาต์พุตมีการฟุ้งขณะเปลี่ยนแปลงโหลดที่ 40 โวลต์ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เวลา 1.50 วินาที สำหรับผลการทดสอบที่สภาวะ

ชั่วคราวโดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 100% โหลด เป็น 50% แสดงในภาพที่ 12 (ข) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมกระแสและแรงดันมีเสถียรภาพที่สภาวะชั่วคราว โดยสามารถรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ไม่ต่ำกว่า 350 โวลต์ โดยแรงดันด้านเอาต์พุตมีการฟุ้งขึ้นขณะเปลี่ยนแปลงโหลดที่ 42 โวลต์ หรือ 10.05 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เวลา 1.25 วินาที

สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนออินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแสด้วยฮิสเทอรีซิสแบบดับเบิ้ลแบนด์ การทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 โหมดคือ โหมดเรียงกระแส และโหมดอินเวอร์เตอร์ โดยเมื่อวงจรทำงานในโหมดเรียงกระแส กำลังไฟฟ้าที่กริดมีค่าเป็นบวก และเมื่อวงจรทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ กำลังไฟฟ้าที่กริดมีค่าเป็นลบ การจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของการควบคุมที่นำเสนอมายังช่วยชดเชยการทดสอบจากการวัดจากต้นแบบพิกัด 300 วัตต์ จากผลการจำลองสถานการณ์และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกัน สำหรับในโหมดเรียงกระแสสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตได้ที่ 400 โวลต์ และกริดจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 355 วัตต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 97.80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในโหมดอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังกริดได้เท่ากับ -281 วัตต์ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบผลตอบแทนในสถานะช่วงขณะเพิ่มและลดโหลดจากเครื่องหนึ่งของพิกัดไปยังค่าพิกัดพบว่าการควบคุมที่นำเสนอยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าและความควบคุมกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

เจตน บัญญัติแรก และรัชชานนท์ แซ่มบัณฑิตย์. “วงจรถูกบริการอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและความคุมกระแสแบบฮิสเทอรีซิส.” ปริญาณินพจน์อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564.

ชินวัตร มีช้าง และสะภาวเดือน สันนิวาส. “ชุดวงจรแปลงผันพลังงานสองทิศทาง 1 เฟส ควบคุมโดยวิธีฮิสเทอรีซิส.” ปริญาณินพจน์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2560.

เชตุพล อิมทิม และรัชชัย ผ่องแผ้ว. “วงจรถ่ายผันระดับแรงดันสำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.” ปริญาณินพจน์อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยี

- วิศวกรรมไฟฟ้าวิทยาลัยเทคโนโลยี
อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562.
- Ariya Sangwongwanich, Yongheng
Yang, and Frede Blaabjerg,
“Sensorless reserved power
control strategy for two-stage
grid-connected Photovoltaic
systems”, IEEE 7th International
Symposium on Power
Electronics for Distributed
Generation Systems (PEDG),
2016.
- Geon-Hong Min, Kyung-Hwan Lee,
Jung-ik Ha and Myong Hwan
Kim, “Design and Control of
Single-Phase Grid-Connected
Photovoltaic Microinverter with
Reactive Power Support
Capability”, International Power
Electronics Conference (IPEC-
Niigata 2018 -ECCE Asia), 2018.
- Hasan Komurcugil, “Double-band
hysteresis current-controlled
single-phase shunt active filter
for switching frequency
mitigation”, International
Journal of Electrical Power &
Energy Systems, 2015, pp. 131-
140.
- Hasan Komurcugil and Osman
Kukrer, “Double-band hysteresis
current-controlled single-phase
shunt active filter for switching
frequency mitigation”,
International Journal of
Electrical Power & Energy
Systems, 2015, pp. 131-140.
- Li Zhang; Kai Sun, Yun Wei Li,
Xiaonan Lu, and Jinquan Zhao,
“A Distributed Power Control of
Series-Connected Module-
Integrated Inverters for PV Grid-
Tied Applications”, IEEE
Transactions on Power
Electronics, 2018, pp. 7698 -
7707.
- Minsoo Jang, Mihai Ciobotaru and
Vassilios G. Agelidis, “A Single-
Phase Grid-Connected Fuel Cell
System Based on a Boost-
Inverte”, IEEE Transactions on
Power Electronics, 2013, pp.
279 - 288.
- Rahmat Khezri, Amin Mahmoudi and
Mohammed H. Haque,
“Optimal Capacity of Solar PV

- and Battery Storage for
Australian Grid-Connected
Households”, IEEE Transactions
on Industry Applications, 2020,
pp. 5319 - 5329.
- Vitor F. Barbosa, Antônio O. Costa
Neto, Gustavo B. Lima, and Luiz
C. G. Freitas, “Analysis of a
Single-Phase Hybrid
Bidirectional Rectifier with
Series Voltage Compensation in
a Grid-Connected DC
Microgrid”, IEEE PES Innovative
Smart Grid Technologies
Conference - Latin America
(ISGT Latin America), 2019