

เตาหุงต้มความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับสองเอาต์พุต ที่ปรับกำลังไฟฟ้าแบบแยกอิสระ ด้วยวิธีการปรับแรงดันแบบอสมมาตร

Induction Cooking for Two Outputs Independent Power Adjustment by Asymmetrical Control

กันตภณ โลงนพันธ์¹, สุรเชษฐ์ มิตสานนท์², อัมพล พิชัยเชิด³ และปณิธาน จักขุจันทร^{4*}

Kantaphon Lonphan¹, Surachet Mitsanon², Aumpol Pichaicherdand³ and Panithan Chakkuchan⁴

^{1,2}สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

^{1,2}Department of Electrical Power Engineering Technology Faculty of Industrial Technology,
Pibulsongkram Rajabhat University

³สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

⁴สาขาวิศวกรรมซ่อมบำรุงอากาศยาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³Department of Mechanical Technology, Faculty of Technical Education

⁴Department of Aircraft Maintenance Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep

* Corresponding Author: E-mail address: panithan.c@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเตาหุงต้มความร้อนแบบเหนี่ยวนำแบบสองเอาต์พุต โดยสามารถปรับกำลังเอาต์พุตแบบแยกอิสระ โดยใช้ไอซี dsPIC30F2020 ควบคุมสัญญาณขับสวิตซ์อินเวอร์เตอร์ ระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับฝั่งอินพุต 230V มีขนาดกำลังไฟฟ้าอินพุต 3 kW ทำงานที่ย่านความถี่เรโซแนนซ์ 35-40 kHz สามารถปรับกำลังไฟฟ้าทางฝั่งเอาต์พุตด้วย วิธีการควบคุมปรับแรงดันอสมมาตรแบบเฟสสมดุลงสัญญาณดิวิตซ์ไคเคิล 10% - 50% เพื่อแบ่งให้กระแสไหลผ่านสวิตซ์อินเวอร์เตอร์ และแบ่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็น 2 ชุด เพื่อให้สามารถทำงานได้โดยที่มีโหลดฝั่งเอาต์พุต 2 ชุด แยกการทำงานความร้อนให้เป็นอิสระจากกันโดยมีสวิตซ์สร้างสัญญาณความถี่สูง และขดลวดเหนี่ยวนำให้ความร้อน จากการทดลองในการต้มน้ำให้เดือด ที่ดิวิตซ์ไคเคิล 10% ใช้เวลาประมาณ 12 นาที และที่ดิวิตซ์ไคเคิล 50% ใช้เวลาประมาณ 3 นาที

คำสำคัญ : อินเวอร์เตอร์, เรโซแนนซ์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ, การปรับสัญญาณแบบอสมมาตร

ABSTRACT

This paper proposes a dual-output induction heater that can adjust the output power separately using the IC dsPIC30F2020. Inverter drive signal control. The 230V input side voltage system has an input power size of 3 kW. It works in a resonance frequency range of 35-40 kHz. The output side power can also be adjusted.

The standard phase-balanced voltage control is a 10% - 50% duct cycle signal to divide the flow through the switch at the inverter and divide in two sets the operation of an inverter so that it can operate with a load on the outlet. Two sets separate the heat operation separately by having a high-frequency signal switch. And the inductive cylinder conducts heat. From testing to boiling water at the cylinders, it takes approximately 12% of the time, and it takes about 3 minutes.

Keyword: Inverter, Resonant, Microcontroller, Induction heating, Duty cycle Asymmetrical.

1. บทนำ

การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำคือการสร้างความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้าผ่าน ขดลวดตัวนำ เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นบนขดลวด จากนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในโลหะที่นำไปใกล้ขดลวดตัวนำ ซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นบนโลหะ จะสร้างความร้อนขึ้น และจากความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเทคโนโลยี การสร้างความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำนี้เป็นทางเลือกหนึ่งของการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพ ในเรื่องการสร้างความร้อนภายในระยะเวลาอันสั้น มีชุดวงจรขนาดเล็ก ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังและ มลพิษที่เหมือนกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสามารถสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นได้โดยง่าย มีความสะดวก รวดเร็ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลาย เต่าหุงต้มแบบเหนี่ยวนำความร้อนที่อาศัยหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงได้ถูกนำมาใช้ในงานครัวเรือนกันอย่างแพร่หลาย[1]-[3] ซึ่งวงจรที่ถูกนำมาใช้มีอยู่มากเช่น วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์(Full-Bridge inverter) วงจรควอไซน์ เรโซแนนซ์(Quasi resonant) วงจรคลาสดีอินเวอร์เตอร์(Class-D inverter) เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ใช้

การควบคุมมีหลายวิธีเช่น การปรับความถี่ โดยจะปรับความถี่อยู่ในย่านที่สูงกว่าเรโซแนนซ์[4]-[6] มีผลเสียคือประสิทธิภาพจะลดต่ำลงเมื่อปรับความถี่สูงขึ้น การเลื่อนมุมเฟสเป็นปรับกำลังโดยการเลื่อนเฟสการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่งการควบคุมวิธีนี้จะปรับความถี่ตามเพื่อควบคุมการทำงานให้สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์และการปรับพัลส์แบบ อสมมาตร สามารถควบคุมได้ที่ความถี่คงที่ แต่ทั้งการเลื่อนมุมเฟสและการปรับพัลส์แบบ อสมมาตร นี้จะใช้ได้ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์เท่านั้นซึ่งเหมาะกับวงจรที่ต้องการกำลังสูง[7]-[10] ซึ่งถูกใช้ในวงจรคลาสดีชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน มีการทำงานที่ความถี่คงที่ แต่วงจรกำลังมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับวงจรอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแบบเต็มบริดจ์แต่มีกำลังเพียงครึ่งเดียวของวงจรอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแบบเต็มบริดจ์[11]-[15] ความร้อนที่ใช้ในหุงต้มมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักประกอบกับภาชนะที่ใช้โดยทั่วไปเป็นสแตนเลส ซึ่งมีผลทำให้พารามิเตอร์ของโหลดเปลี่ยนแปลงไม่มาก ดังนั้นการควบคุมแบบความถี่สวิตซ์คงที่จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเพราะไม่ซับซ้อนและราคาถูก

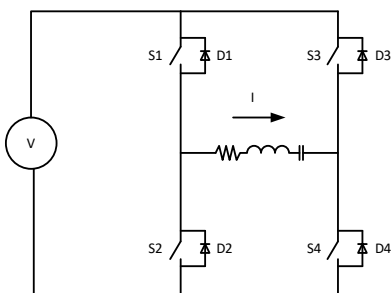
บทความนี้ได้นำเสนอเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำแบบสองเอาต์พุต โดยสามารถปรับกำลังเอาต์พุตแบบแยกอิสระ โดยใช้ไอซี dsPIC30F2020 ควบคุมสัญญาณขับสวิตซ์

อินเวอร์เตอร์ ระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับฝั่งอินพุต 230V มีขนาดกำลังไฟฟ้าอินพุต 3 kW ทำงานที่ย่านความถี่เรโซแนนซ์ 35-40 kHz สามารถปรับกำลังไฟฟ้าทางฝั่งเอาต์พุตด้วย วิธีการควบคุมปรับแรงดันอสมมาตรแบบเฟสสมมูล สัญญาณควิตซ์ไซเคิล 10% - 50% เพื่อแบ่งให้กระแสไหลผ่านสวิตช์ที่อินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง / วิธีทดลอง

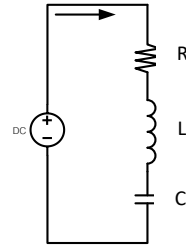
2.1 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์

อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมก็คือคอนเวอร์เตอร์ที่แปลงกำลังจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งจะเรียกว่าเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเพราะมีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุวางอนุกรมกันกับโหลดความต้านทาน การสวิตช์จะทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยที่ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าความถี่สวิตช์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant) ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกันจึงมองเห็นเป็นโหลดมีค่าเฉพาะความต้านทานเท่านั้น และเพื่อให้เกิดแรงดันพัลส์สลับที่โหลดการทำงานของสวิตช์จะต้องทำงานในลักษณะสลับกันทำงาน



ภาพที่ 1 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์

สำหรับกระแสที่โหลดมีลักษณะเกือบจะเป็นคลื่นไซน์ในกรณีที่โหลดมีค่าตัวประกอบกรหน่วงที่ต่ำและความถี่ในการทำงานใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ เพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลอย่างง่ายดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้วงจร

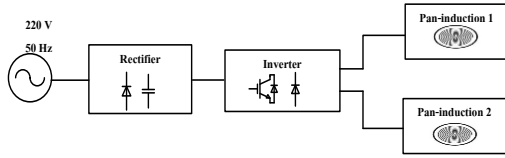
การวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดเรโซแนนซ์ สัญญาณกระแสของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ เมื่ออินเวอร์เตอร์ที่ทำงานใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์โหลดที่มีค่าตัวประกอบกรหน่วงต่ำ ส่วนกระแสที่โหลดมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ดังนั้นก็จึงสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จาก

$$P_{load} = I_{1,rms} \times V_{1,rms} \quad (1)$$

เมื่อแทนค่า $I_{1,rms}$ และ $V_{1,rms}$ จะได้

$$P_{load} = \frac{2I_m V_m}{\pi} \quad (2)$$

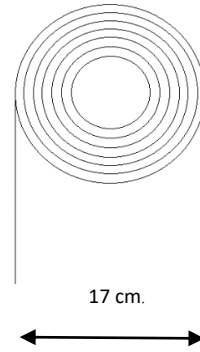
2.2 อินเวอร์เตอร์โร้ซแมนซ์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์



ภาพที่ 3 โครงสร้างเตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำให้ความร้อนสำหรับสองเอาต์พุต

เตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าโดยอาศัยความร้อนจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์สองเอาต์พุต มีลักษณะโครงสร้างของวงจรประกอบด้วย จะเป็นส่วนแรกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ โดยจะประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดันโดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50Hz จากการไฟฟ้าและทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์

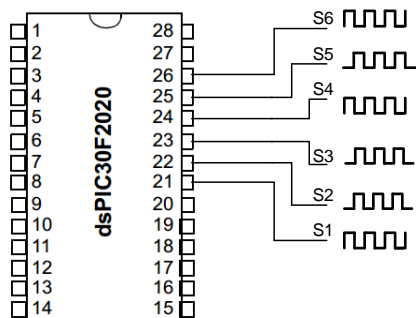
โดยทั่วไปแล้วขดลวดเหนี่ยวนำจะทำขึ้นจากทองแดง ทั้งนี้เพราะทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีทำให้มีกำลังสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำต่ำ ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงอย่างไรก็ดีเนื่องจากความหนาแน่นของกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำมีค่าสูง ความร้อนที่เกิดจากกระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำจะมีค่ามาก เนื่องจากกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำมีค่าสูง ขดลวดเหนี่ยวนำที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีลักษณะเป็นดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ได้ออกแบบ

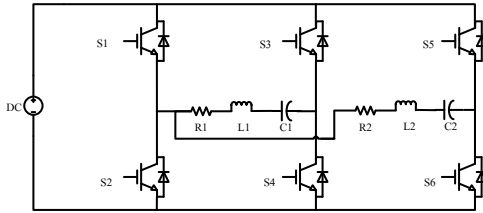
2.2.2 ชุดควบคุมสัญญาณ PWM

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ขา 21, 22, 23, 24, 25 และ 26 เพื่อควบคุมการทำงานของไอจีบีทีทั้ง 6 ตัวในวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ dsPIC30F2020 ซึ่งสามารถปรับความถี่ เดทไทม์ และค่าวัฏจักรหน้าที่ได้



ภาพที่ 5 สัญญาณที่ออกจากขาของ dsPIC30F2020

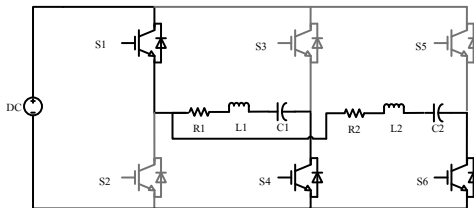
2.2.2 หลักการทำงานของวงจรการควบคุมแบบปรับแรงดันแบบอสมมาตรโดยแบ่งเป็นโหมดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 6 วงจรอินเวอร์เตอร์ 2 เอาต์พุต ที่ใช้ในงานวิจัย

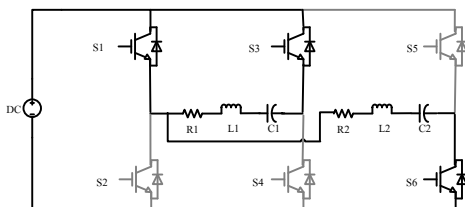
จากภาพที่ 6 ในวงจรอินเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วยสวิตช์ทั้งหมด 6 ตัว นั่นคือ สวิตช์ $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ โดยจะมีลักษณะการทำงานดังนี้คือที่เอาต์พุตตัวที่หนึ่งจะใช้คู่สวิตช์ S_1, S_4 และ S_2, S_3 ที่เอาต์พุตตัวที่สองใช้คู่สวิตช์ S_1, S_6 และ S_2, S_5 และจะทำงาน ON - OFF สลับกันไปเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

โหมดการทำงานที่ 1



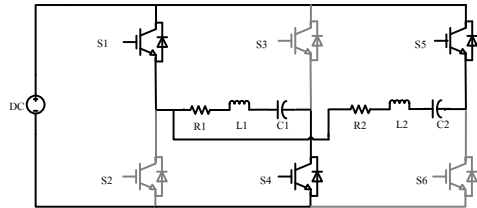
ภาพที่ 7 โหมดการทำงานที่ 1 สวิตช์ S_1, S_4 และ S_6 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 2



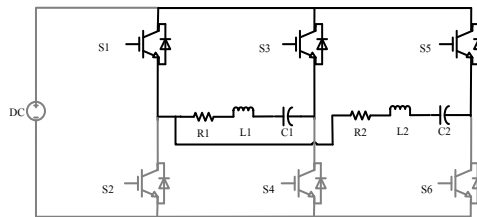
ภาพที่ 8 โหมดการทำงานที่ 2 สวิตช์ S_1, S_3 และ S_6 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 3



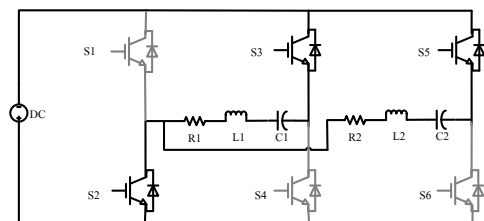
ภาพที่ 9 โหมดการทำงานที่ 3 สวิตช์ S_1, S_4 และ S_5 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 4



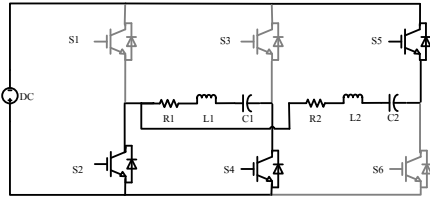
ภาพที่ 10 โหมดการทำงานที่ 4 สวิตช์ S_1, S_3 และ S_5 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 5



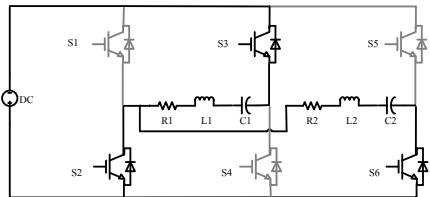
ภาพที่ 11 โหมดการทำงานที่ 5 สวิตช์ S_2, S_3 และ S_5 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 6



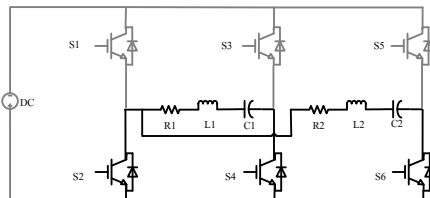
ภาพที่ 12 โหมดการทำงานที่ 6 สวิตช์ S_2, S_4 และ S_5 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 7



ภาพที่ 13 โหมดการทำงานที่ 7 สวิตช์ S_2, S_3 และ S_6 ทำงาน

โหมดการทำงานที่ 8



ภาพที่ 14 โหมดการทำงานที่ 8 สวิตช์ S_2, S_4 และ S_6 ทำงาน

จากภาพที่ 7 - 14 แสดงการทำงานของโหมดอินเวอร์เตอร์อยู่ 8 โหมด ในช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ซึ่งใน 1 คาบเวลา

1. จากภาพที่ 7 โหมดการทำงานที่ 1 สวิตช์ S_1, S_4 และ S_6 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_2, S_3 และ S_5 หยุดการทำงานเพื่อป้องกัน สวิตช์ทำงานพร้อมกัน จะทำให้ลัดวงจรได้

2. จากภาพที่ 8 โหมดการทำงานที่ 2 สวิตช์ S_1, S_3 และ S_6 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_2, S_4 และ S_5 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

3. จากภาพที่ 9 โหมดการทำงานที่ 3 สวิตช์ S_1, S_4 และ S_5 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_2, S_3 และ S_6 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

4. จากภาพที่ 10 โหมดการทำงานที่ 4 สวิตช์ S_1, S_3 และ S_5 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_2, S_4 และ S_6 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

5. จากภาพที่ 11 โหมดการทำงานที่ 5 สวิตช์ S_2, S_3 และ S_5 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_1, S_4 และ S_6 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

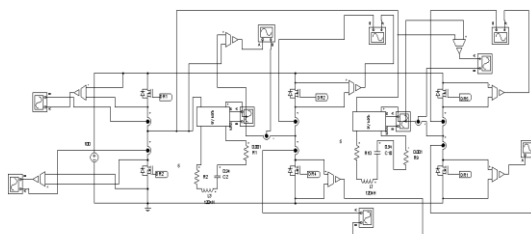
6. จากภาพที่ 12 โหมดการทำงานที่ 6 สวิตช์ S_2, S_4 และ S_5 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_1, S_3 และ S_6 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

7. จากภาพที่ 13 โหมดการทำงานที่ 7 สวิตช์ S_2, S_3 และ S_6 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_1, S_4 และ S_5 หยุดการทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

8. จากภาพที่ 14 โหมดการทำงานที่ 8 สวิตช์ S_2, S_4 และ S_6 ทำงาน โดยที่ สวิตช์ S_1, S_3 และ S_5 หยุดการทำงาน จะเป็นการทำงานคล้ายกับ โหมดที่ 4 แต่จะสลับทำงานฝั่งกึ่งด้านล่าง เพื่อให้กระแสไหลผ่านชุดโหลด

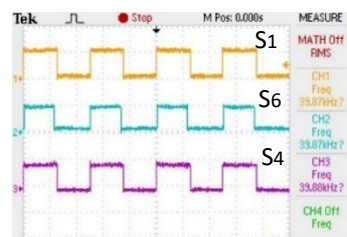
3. ผลการจำลองและผลการทดสอบ

การจำลองการทำงานของวงจร นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณของขดเหนี่ยวนำ และนำค่าที่วัดได้จากขดลวดที่ออกแบบ แล้วนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไปจำลองการทำงานในภาวะคงตัว (Steady State) ในคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ทราบถึงการควบคุมการทำงานของวงจรเรียงกระแส และอินเวอร์เตอร์ ทั้ง 2 เอ้าท์พุท ขนาดของแรงดันและกระแสที่ส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์ในวงจรเพื่อให้แน่ใจว่าในการทำงานจริงจะไม่เกินพิกัดของอุปกรณ์ และในส่วนของวงจรจำลองการทำงานของระบบเตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า 1 เฟส 230 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายเข้าไปสู่อินเวอร์เตอร์โดยมีการควบคุมความถี่ในการสวิตช์ของสัญญาณก่อนที่จะส่งความถี่สูงไปยังไอจีบีที เพื่อให้ไอจีบีทีจ่ายแรงดันให้กับวงจรเรโซแนนซ์ อนุกรม โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบจริง จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันและกระแสที่ไหลและการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ สอดคล้องกันตามทฤษฎี



ภาพที่ 15 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์สองเอ้าท์พุทที่ใช้ในงานวิจัย

การทดสอบสัญญาณขับเคลื่อนของไอจีบีทีทั้งสองตัวนั้นจะต้องมีช่องว่างของช่วงเวลาวิกฤตอยู่เล็กน้อยเพื่อป้องกันการลัดวงจรของอินเวอร์เตอร์ โดยในที่นี้มีค่าอยู่ประมาณ 2 μ s ซึ่งเหมาะกับค่าการทำงานและหยุดทำงานของไอจีบีที ลักษณะสัญญาณขับไอจีบีทีทั้งสองตัวที่ได้จากการวัด แสดงในภาพที่ 16

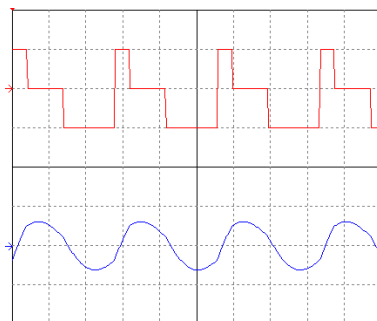


(ก)

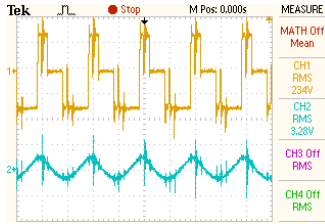


(ข)

ภาพที่ 16 สัญญาณขับไอจีบีที $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$
($V_{GS2} : 5V/div, V_{GS3} : 5V/div, V_{GS5} : 5V/div, Time : 10 \mu s /div$)

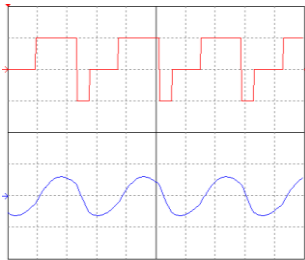


(ค)

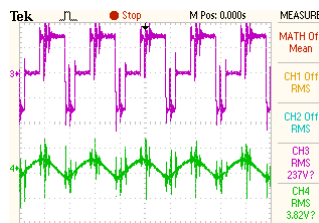


(ข)

ภาพที่ 17 ผลการจำลอง(ก)และผลการทดสอบ(ข) สัญญาณแรงดันและกระแสที่ออกจากเอาต์พุต 1 ที่ค่า duty 10 % (V_o :200V/div, i_o :10V/div, Time :10 μ S /div)

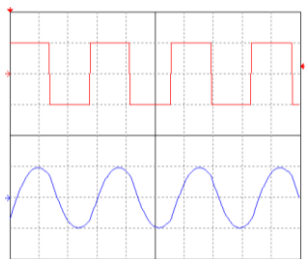


(ก)

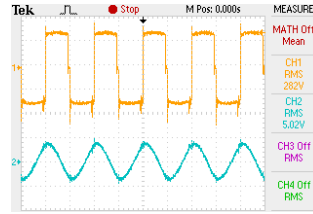


(ข)

ภาพที่ 18 ผลการจำลอง (ก) และผลการทดสอบ (ข) สัญญาณแรงดันและกระแสที่ออกจากเอาต์พุต 2 ที่ค่า duty 10 % (V_o :200V/div, i_o :10V/div, Time :10 μ S /div)

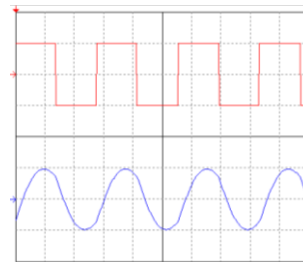


(ก)

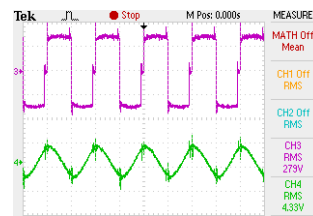


(ข)

ภาพที่ 19 ผลการจำลอง(ก)และผลการทดสอบ(ข) สัญญาณแรงดันและกระแสที่ออกจากเอาต์พุต 1 ที่ค่า duty 50 % (V_o :200V/div, i_o :10V/div, Time :10 μ S /div)



(ก)



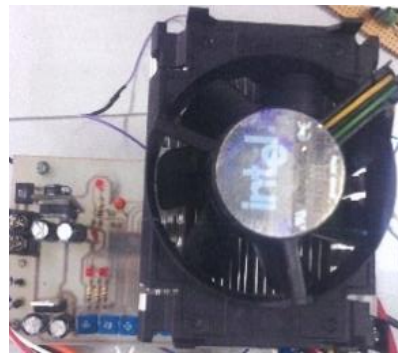
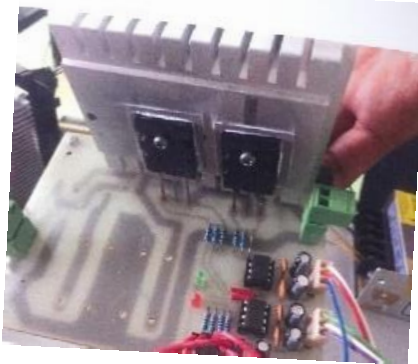
(ข)

ภาพที่ 20 ผลการจำลอง(ก)และผลการทดสอบ(ข) สัญญาณแรงดันและกระแสที่ออกจากเอาต์พุต 2 ที่ค่า duty 50 % (V_o :200V/div, i_o :10V/div, Time :10 μ S /div)

จากภาพที่ 17, 18,19 และ 20 (ก) ผลการจำลอง แรงดันและกระแสที่ เอาท์พุตจากอินเวอร์เตอร์ เมื่อปรับสัญญาณควบคุมตัวที่ไซเคิล 10% , 50% และ ภาพที่ 17, 18,19 และ 20 (ข) เป็นการวัดสัญญาณ แรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งผลการจำลองและผลทดลองจริงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์

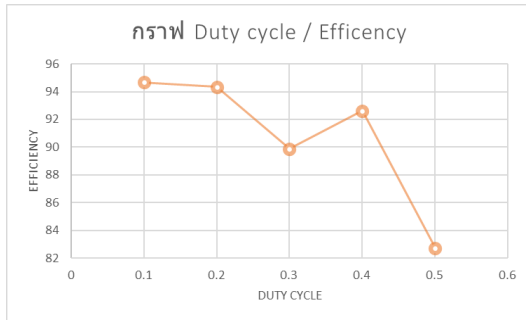
ดีวีดีซีเคิล (%)	กระแสต้านอินพุต (A)	กำลังต้านอินพุต (W)	กำลังต้านเอาต์พุต 1 (W)	กำลังต้านเอาต์พุต 2 (W)	ประสิทธิภาพ (%)
10	5.5	1,220	568	587	94.6
20	7.0	1,535	725	723	94.3
30	9.3	2,045	942	896	89.8
40	12.0	2,630	1,242	1,194	92.6
50	14.1	3,100	1,290	1,275	82.7



ภาพที่ 21 ชุดวงจรภาคกำลังและวงจรขับนำเกต



ภาพที่ 22 วัดอุณหภูมิที่หม้อหุงต้มแบบเหนียวน้ำที่ 1 และ 2 ได้ความร้อนประมาณ 97 °C



ภาพที่ 22 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวงจร

จากตารางที่ 1 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ด้านออกที่ตัวเหนี่ยวนำของ ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน สามารถคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพได้จากสมการหาประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ตัวดีไอซีเคิล 50%

$$\eta = \left(\frac{P_o}{P_{in}} \right) \times 100 = \left(\frac{1,290 + 1,275}{3,100} \right) \times 100 = 82.74\%$$

4. สรุปผล

จากการทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบ เหนี่ยวนำแบบสองเอาต์พุตโดยใช้การควบคุมการทำงานอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็ม บริดจ์ สามารถปรับระดับความร้อนของเอาต์พุตทั้งสองได้ 5 ระดับ โดยการปรับแรงดันอสมมาตรแบบ เฟสสมมูล สามารถสร้างสัญญาณควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์ที่มี โไอจีบีที 6 ตัวได้ และสามารถแก้ไขคำสั่งเพื่อปรับ ความถี่ คำวัฏจักรหน้าทีและช่วงเวลาวิกฤตได้โดย โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ได้อุณหภูมิของความ ร้อนที่เพิ่มหรือลดลงตามความต้องการได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สถาบันวิจัย และพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงาน วิจัย ในครั้งนี้ และนำผลงานวิจัยไปใช้ในการบูรณา การบริการวิชาการเชิงพื้นที่ เพื่อช่วยเหลือกลุ่ม เกษตรกรและกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตลอดจนจะเป็น ประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชพงศ์ ประเสริฐสิน, และวีรวัฒน์ ประสิทธิ ไกร. 2557. “เตาอย่างกระทะร้อนแบบ เหนี่ยวนำ.” ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ.
- [2] เกียรติศักดิ์ ผาสุกมุล, และวิริยะ พิเชฐจำเริญ. 2550. “รีโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการ ควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- [3] José M. Burdío, Fernando Monterde, José R. García, Luis A. Barragán, and Abelardo Martínez. 2005. “A Two-Output Series- Resonant Inverter for Induction-Heating Cooking Appliances.” IEEE Transaction on Industrial

- Electronics. Vol.20, No.4 (July) : 815 - 822.
- [4] S. Chudjuarjeen, S. Jayasuriya, S. Yachiangkam, J.C. Jimenez,C.O.Nwankpa , K.Miu and A. Sangswang, .Analysis of Measurement Delay Errors in a DC-DC Buck-Boost Converter using Stochastic Differential Equations.in Proceeding of37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011), Melbourne, Australia; 2011.
- [5] Phankong, N., Jittakort, J., Chakkuchan P., Kirdpipat, P., Methavithit, W., & Anusurain, E. Electric Grill Using Energy from Battery. In: *2021 18th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. IEEE, 2021. p. 972-975.
- [6] Phankong, N., Chakkuchan, P., Jittakort, J., Paivimut, N., Kamonkhanthithon, C., & Chudjuarjeen, S. Photovoltaic Cell Energy Transfer System Using Series Connected Bidirectional Resonant Converters. In: *2021 18th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. IEEE, 2021. p. 976-979.
- [7] Chakkuchan, P., Chudjuarjeen, S., Phankong, N., Dangeam, S., Nawong, M., & Nintanavongsa, P. Full-Bridge Current Source Inverter Using Pulse Density Control for Induction Preheating of Welding Application.2022 25th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE, 2022. p. 1-4.
- [8] Nilboworn S, Mahamad K, Sangchay W, et al. Edge effect and its influence on the adjacent cavities in a composite insulator. UTK RRSEARCH JOURNAL.,2020; 14(1): 23-29.
- [9] C. Wisassakichai,P. Phaochoo, E. Anusurain, C. Kamonkhanthithorn, W. Methavithit, W.Sirichanon “ Database Bulging with Microsoft Excel for Voltage Drop Calculation according to Thai Electrical Code 2013 with C+ + Builder” UTK RRSEARCH JOURNAL.2018; 12(2): pp. 119-135.
- [10] B. Sriboonreung “ Two output power control of induction cooker with full bridge inverter controlled by asymmetrical voltage control” UTK RRSEARCH JOURNAL. 2019; 13(2): pp. 1-11.
- [11] J. Ekburanawat “ Full bridge switching power supply for a thermoelectric dehumidifier” UTK RRSEARCH JOURNAL. 2019; 13(2): pp. 53-63.
- [12] N. Phankong, J.Jittakort, P.Chakkuchan, S.Kitcharoenwat, V. Hathairatsiri, C. Wisassakwichai, S. Chudjuarjeen, “Induction

- Heating Application using Frequency Control Techniques for Hot Tensile Testing”, 2021 18th International Conference on Electrical Engineering /Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Pages 968-971.
- [13] N. Phankong, J. Jittakort, P. Chakkuchan, P. Kirdpipat, W. Methavithit, E. Anusurain, “ *Electric Grill Using Energy From Battery*”, 2021 18th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 972-975.
- [14] Aniket G. Kothalkar, Prof. Mangesh A. Ahire “ Hot Tensile Test – A Literature Review,” IJMTER International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, Date 2-4 July 2015, pp. 1772-1776.
- [15] M.Ganapathy, N.Li, J. Lin, M.Abspoel, D. Bhattacharjee, “ A Novel Grip Design for High- Accuracy Thermo- Mechanical Tensile Testing of Boron Steel under Hot Stamping Conditions, Experimental Mechanics, An International Journal Integrating Experimental Methods with the Mechanical Behavior of Materials and Structures, Date 21 Aug 2017, pp. 243-258

