การออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำร้อนด้วยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

Design and Fabrication of Water Heater with Electromagnetic Induction Heating

จีระพงศ์ ศรีวิชัย[1*]

Geerapong Srivichai[1*]

ABSTRACT

The purpose of this research was to design and fabricate water heater with electromagnetic induction heating by half-bridge series resonant circuit inverter. The load was an induction coil, which was wound under the vessel of 16 cm diameter of containing 1 l water with shielded lid. The testing on the performance of the fabricated prototype, which was controlled by adjusting resonant frequency from 20 to 40 kHz and the output power from 2 to 0.5 kW found that it could boil one liter of water within 3.5 minutes. Meanwhile, the boiling time became approximately twice for the normal electric water heater. The overall efficiencies of the half-bridge inverter and the induction water heater are approximately 95 % and 85 %, respectively, which is very promising for further research.

Key words: Induction coil, Half-bridge inverter

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำร้อนด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ทำงานด้วยอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ชนิดวงจรเรโซแนนท์อนุกรม ภาระเป็นขดลวดเหนี่ยวนำพันอยู่ใต้ภาชนะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ที่ทำจากสเตนเลสสตีลบรรจุน้ำ 1 ลิตร มีฝาปิด ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นโดยควบคุมการปรับความถี่ ตั้งแต่ความถี่เรโซแนนท์และสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ในช่วง 20 ถึง 40 kHz ค่ากำลังไฟฟ้าควบคุมในช่วง 2 ถึง 0.5 kW พบว่าสามารถต้มน้ำ 1 ลิตรให้เดือดภายใน 3.5 นาที ขณะที่เครื่องทำน้ำร้อนชนิดขดลวดความร้อนทั่วไปจะใช้เวลามากกว่าประมาณเท่าตัว ส่วนประสิทธิภาพโดยรวมของอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องทำน้ำร้อนที่สร้างขึ้นมีค่าประมาณ 95%และ 85% ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ถึงแนวโน้มที่ดีสำหรับการวิจัยขั้นต่อไป

คำสำคัญ: ขดลวดเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

[1*] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 Tel. 032-405560 Fax. 032-414455 Email : Hgeerapongs@gmail.comH , Hgeerapong@hotmail.comH

Department of Electrical Technology. Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University. Phetchaburi 76000 ,Thailand.

[*]Corresponding author: Tel.0-3240-5560, Fax.0-3241-4455, E-mail address: geerapong@gmail.com

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ จากในอดีตจนถึงปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ขั้นต้นโดยรวมของประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งในปี 2549 ประเทศไทยมีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1,548 พันบาร์เรลต่อวันหรือเพิ่มขึ้นร้อยละ1.8 จากปี 2548 กลุ่มผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าอาจแบ่งได้เป็นหลายกลุ่มแต่กลุ่มที่มีการใช้มากกลุ่มหนึ่ง คือ กลุ่มอุตสาหกรรม อาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 55.5 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2549) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการใช้พลังไฟฟ้าค่อนข้างมากและยังมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี จากการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยทั่วไป สาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มพลังงานดังกล่าวข้างต้น คือ เครื่องทำน้ำร้อน เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนมีการใช้กระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยทั่วไป ในส่วนการให้ความร้อนกับน้ำเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำร้อนโดยทั่วไปมักจะใช้ขดลวดความร้อน(heating coil) เป็นสำคัญ ซึ่งพิจารณาถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนภายใน จะพบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดความร้อนจะถ่ายเทจากขดลวดเข้าสู่โลหะตัวกลางแล้วจึงถ่ายเทให้กับน้ำอีกต่อหนึ่ง จึงเป็นไปได้ที่จะทำให้ประสิทธิภาพต่ำ

งานวิจัยของ สายชลและคณะ (2551) ได้ศึกษาเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้หลักการขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไปคล้องเกี่ยวที่ภาชนะ และทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นจึงเกิดเป็นความร้อน ส่วนวงจรกำลังใช้คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้ IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) เป็นตัวสวิทช์เพียงหนึ่งตัว การปรับกำลังสามารถทำได้โดยการปรับความถี่ เครื่องต้นแบบมีขนาด 650 วัตต์ ทำงานในช่วงความถี่ 25 ถึง 31 kHz สามารถให้ความร้อนแก่น้ำที่ปริมาตร 0.5 ลิตร จากอุณหภูมิห้องถึง 100 ^{o}C ได้ภายในเวลา 8 นาที ส่วนงานวิจัยของ Tanaka (1989) ได้ศึกษาเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยมีหลักการพิจารณาเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อหาอินดักแตนซ์และความต้านทานเทียบเท่าของขดลวดเหนี่ยวนำ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุของภาชนะแต่ละชนิด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ภาชนะให้เหมาะสมต่อไป

หากมองว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนอยู่ที่แนวทางการลดความต้านทานความร้อนของระบบลง ทางออก คือ เปลี่ยนวัสดุที่ใช้อยู่ในขณะนี้ หรือลดความหนาของผนังที่กั้นอยู่ระหว่างขดลวดทำความร้อนและน้ำลงให้มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเลือกใช้วิธีเปลี่ยนระบบการให้ความร้อนไปใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (induction heating) เพราะการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้จะทำให้ผิวท่อโลหะร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนสู่น้ำได้โดยตรง ทำให้ความต้านทานความร้อนต่ำกว่าการใช้ขดลวดความร้อนแบบเดิม จึงคาดว่าจะทำให้ประสิทธิภาพของการทำน้ำร้อนดีขึ้น เป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องตามนโยบายเร่งด่วนของนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

แนวคิดและหลักการออกแบบ

1.พื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (induction heating) เป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและทางความร้อนร่วมกันโดยมีสาเหตุจากทั้งการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic induction) ปรากฏการณ์ที่ผิว (skin effect) และการถ่ายเทความ

ร้อน (Heat Transfer) ซึ่งจากสาเหตุมูลฐานทั้งสามสามารถอธิบายการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำโดยย่อได้ดังนี้ (Davies and Simpson,1979) เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำที่มีชิ้นงานที่เป็นโลหะอยู่ภายใน กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในขดลวดคล้องผ่านชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานเป็นโลหะสนามแม่เหล็กที่คล้องผ่านชิ้นงานจะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลโดยกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานในบริเวณความลึกระดับผิว (skin depth) ของชิ้นงานกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลของเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดการถ่ายเทไปสู่บริเวณอื่นๆ โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีที่บริเวณผิวของโลหะที่เกิดความร้อนดัง (Figure 1) แสดงการให้ความร้อนด้วยหลักการกระแสเหนี่ยวนำอย่างง่าย กล่าวคือ ถ้าวางชิ้นงานไว้ในขดลวด หรือใกล้กับขดลวดชิ้นงานนั้นจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนภายในและเกิดความร้อนขึ้น

2. แนวคิดในการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

เครื่องที่สร้างขึ้นต้องมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง ซึ่งหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องกำหนดความต้องการหรือข้อจำกัดการทำงานของเครื่อง เช่น ค่าความถี่ที่จะนำไปควบคุมในการสวิทช์ และภาชนะที่จะนำมาใช้ ดังนั้นการออกแบบประกอบไปด้วยการกำหนดขนาดพิกัดของอุปกรณ์แต่ละอย่างในงานวิจัย ได้แก่ วงจรเรียงกระแสไฟตรง วงจรดีซีลิงค์ อินเวอร์เตอร์ วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ วงจรส่วนขับเกต และชุดขดลวดที่จะนำมาต่อให้เป็นภาระเรโซแนนซ์ จากบล็อกไดอะแกรม (Figure 2) ประกอบไปด้วย

1 วงจรเรียงกระแสไฟตรง (rectifier circuit) หน้าที่ของวงจรส่วนนี้ คือ แปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ $220V_{ac}$ $50Hz$ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง $310V_{dc}$ เพื่อเป็นแรงดันขาเข้าให้กับอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งวงจรในส่วนนี้ใช้ไดโอดชนิดเต็มบริดจ์แบบ module เบอร์ KBPC50A10 M ขนาดพิกัดทนแรงดันได้ 1,000 โวลท์ กระแส 50 แอมแปร์ ทำหน้าที่ดังกล่าว แสดงดัง (Figure 3)

2 วงจรดีซีลิงค์ (DC link) ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรส่วนเรียงกระแสให้เรียบ โดยปราศจากคลื่นริปเปิล เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น และนำไปเป็นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งในส่วนนี้ใช้ตัวเก็บประจุพิกัด 4,700 μF 450 V_{dc} ต่อขนานกับวงจรเรียงกระแส แสดงใน (Figure 4)

3 อินเวอร์เตอร์ (inverter) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟกระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟกระแสสลับ (AC) ความถี่สูงซึ่งเตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะเป็นวงจรภาระเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมโดยมีวงจรอินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมนี้แสดงใน (Figure 5)

เมื่อพิจารณาวงจร Figure 5 จะมีคู่สวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ (V_{s2}) จะได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ $+V_d$ และค่าแรงดันต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสไหลผ่านภาระ (i_L) จะเป็นคลื่นไซน์ ซึ่งจะเห็นว่าวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์มีแรงดันตกคร่อมภาระ และกระแสไหลผ่านภาระเป็นครึ่งหนึ่งของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ในทาง

ปฏิบัติช่วงเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งเรียกว่าค่าเวลาเว้นว่าง (dead time) โดยจะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์จากการนำกระแสเป็นไม่นำกระแส หรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ IGBT แบบmodule เบอร์ MG50Q2YS40 ชนิด N channel พิกัดแรงดันสูงสุด 1,200 โวลท์ และกระแสสูงสุด 50 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ทำการตัดต่อไฟกระแสตรงไปเป็นไฟกระแสสลับที่ความถี่ 20 ถึง 40 kHz

4 วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ (pulse generator) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ เพื่อควบคุมการทำงานของ IGBT กำลังทั้ง 2 ตัวในอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ TL494 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์สามารถปรับความถี่ 20 ถึง 40 kHz และปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ได้ แสดงวงจรใน (Figure 6)

5 วงจรส่วนขับเกต (gate drive circuit) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์จากไอซีเบอร์ TL494 ให้มีขนาดสูงขึ้นเป็น 12 โวลท์ เพื่อไปขับขาเกตของ IGBT กำลังให้ทำงาน พร้อมทั้งทำหน้าที่แยกกราวนด์ระหว่างวงจรกำลังกับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสงเบอร์ TLP 250 เพื่อป้องกันการลัดวงจรเข้าสู่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ดังแสดงใน (Figure 7)

6 ชุดภาระเรโซแนนท์ ในงานวิจัยนี้จะต่อภาระการเรโซแนนซ์เป็นแบบอนุกรม โดยจะใช้ลวดทองแดงเบอร์ 30 SWG จำนวน 24 เส้นตีเกลียว พันเป็นรูปก้นหอย 38 รอบ จะได้ค่าอินดั๊กแตนซ์ (L) ประมาณ 11 mH แล้วนำค่าอินดั๊กแตนซ์ (L) ที่ได้ไปคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ (C) เพื่อให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ (ไมตรี, 2539) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_T{}^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad (3)$$

เมื่อ Z คือ อิมพีแดนซ์ในวงจร (หน่วย : Ω)

R คือ ความต้านทานในวงจร (หน่วย : Ω)

X_L คือ อินดักตีฟรีแอคแตนซ์ (หน่วย : Ω)

X_C คือ คาปาซีตีฟรีแอคแตนซ์ (หน่วย : Ω)

X_T คือ รีแอคแตนซ์รวมในวงจร (หน่วย : Ω)

เมื่อวงจรเกิดสภาวะเรโซแนนซ์จะได้เพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรเท่ากับหนึ่ง นั้นคือค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของวงจรมีค่าเท่ากับความต้านทาน R ภายในเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจะได้ $Z = R$ และ $Z_T = X_L - X_C = 0$

หรือ $X_L = X_C$ จะได้ $2\pi f_r L = \dfrac{1}{2\pi f_r C}$

ดังนั้นจะได้ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (4)$$

เมื่อ f_r คือ ความถี่เรโซแนนซ์ (หน่วย : Hz)

L คือ อินดั๊กแตนซ์ (หน่วย : H)

C คือ คาปาซิแตนซ์ (หน่วย : μF)

คำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อ $L = 11mH$ และ $C = 0.5\mu F$ แทนค่าในสมการที่ (4) จะได้ f_r = 21.5 kHz.

วิธีการทดสอบ

ทดสอบการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้นโดยใช้ภาชนะสแตนเลสบรรจุน้ำปริมาตร 1 ลิตร วางภาชนะห่างจากขดลวดเหนี่ยวนำ 0.5 เซนติเมตร โดยมีการทดสอบดังต่อไปนี้ (Figure 8)

1. ทดสอบการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้นโดย

1.1 ทดสอบวงจรส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ (pulse generator) ของไอซี TL494 ทำการวัดสัญญาณขาออกจากขา8 (CH_1) และ ขา11 (CH_2) โดยใช้ออสซิโลสโคป แบบ isolated channel รุ่น TDS 2024 แสดงใน (Figure 9)

1.2 ทดสอบวงจรขับเกต โดยใช้ออสซิโลสโคป แบบ isolated channel รุ่น TDS 2024 วัดสัญญาณขาออก ที่ขา 6 ของ TLP 250 ทั้ง 2 ตัว (CH1 และ CH2) ดังแสดงใน (Figure 10)

1.3 ทดสอบอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายกำลังให้กับชุดภาระเรโซแนนท์ ด้วยออสซิโลสโคป แบบ isolated channel รุ่น TDS 2024 เพื่อวัดแรงดัน (V_{Load}) และกระแส (I_{Load}) ของขดลวดเหนี่ยวนำแล้ว บันทึกผล หลังจากนั้นคำนวณหากำลังของอินเวอร์เตอร์ด้วยสมการที่ใช้ในการประเมินดังนี้ (วริษฐ์และคณะ, 2544.)

$$P_{Load} = V_{Load} I_{Load} \cos\theta \qquad (5)$$

ค่าความต้านทานสมมูล

$$R_{eq} = \frac{V_{Load}}{I_{Load}} \cos\theta \qquad (6)$$

กำลังไฟฟ้าขาเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์

$$P_{DC} = V_{DC} I_{DC} \qquad (7)$$

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

$$\eta_e = \frac{P_{Load}}{P_{DC}} \times 100\% \qquad (8)$$

2. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้น โดย

2.1 ผลของอุณหภูมิของน้ำเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่สวิทช์เทียบกับเวลาในการทดสอบครั้งนี้ จะใช้ภาชนะสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร บรรจุน้ำปริมาตร 1 ลิตร วางภาชนะห่างจากขดลวดเหนี่ยวนำ 0.5 เซนติเมตร แล้วทำการทดสอบปรับเปลี่ยนความถี่สวิทช์ในย่านความถี่ 20 ถึง 40kHz พร้อมกับทำการบันทึกผล หลังจากนั้นคำนวณด้วยสมการที่ใช้ในการประเมินกำลังไฟฟ้าด้านขา-ออกพิจารณาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของน้ำที่ต้ม ดังสมการที่ (9) (วริษฐ์ และคณะ, 2544.)

$$P_o = \frac{\Delta Q_{heat}}{\Delta t} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} \qquad (9)$$

เมื่อ P_o คือ กำลังงานที่น้ำได้รับ (kW)

ΔQ_{heat} คือ ปริมาณความร้อนใช้ในการต้มน้ำ (kJ)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ (s)

m คือ มวลของน้ำ (kg)

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg)

ΔT คือ อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไปโดยการต้มน้ำ (^oC) และประสิทธิภาพของระบบ

$$\eta_{system} = \frac{P_o}{P_{DC}} \times 100\% \qquad (10)$$

2.2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องชนิดขดลวดความร้อนทั่วไป โดยนำเครื่องที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มาทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้ขดลวดความร้อนทั่วไป ภายใต้เงื่อนไขการใช้กำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน คือ 1.5 kW แล้วบันทึกผล

ผลและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์

จาก Figure 11 จะเห็นว่ากำลังด้านขาออกสามารถวัดขนาดแรงดันและกระแสด้านขาออกได้ประมาณ 160 โวลท์ 39 แอมแปร์ ค่าตัวประกอบกำลัง $\cos\theta$ ประมาณ 0.29 ($\theta = 73^o$) สามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ดังสมการที่ (5) จะได้เท่ากับ 1,832 W ทำการวัดไฟกระแสตรงที่เข้าอินเวอร์เตอร์จะได้แรงดันประมาณ 311 โวลท์ และวัดกระแสได้ 6.2 แอมแปร์ สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ ดังสมการที่ (7) จะได้เท่ากับ 1,928 W และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ η_e จากสมการที่ (8) ได้เท่ากับ 95 %

2. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้น

2.1 ผลของอุณหภูมิของน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนความถี่สวิทช์เทียบกับเวลาจะเห็นได้ว่า เมื่อนำผลการทดสอบมาแสดงใน (Figure 12) ที่ความถี่ 20 kHz จากเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนให้เดือดด้วยเวลาเพียง 3 นาทีครึ่ง แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น 30 kHz จะใช้เวลาให้น้ำเดือดประมาณ 8 นาทีครึ่ง และเมื่อความถี่เป็น 40 kHz จะหรี่ต่ำสุด เพื่อไม่ให้น้ำเดือดแต่จะเป็นการอุ่น กรณีทำน้ำร้อนที่กำลังวัตต์ต่างๆ บันทึกผลแล้ววาดกราฟประกอบการพิจารณา (Figure 13) จะเห็นได้ว่าในการทำน้ำร้อนให้เดือดใช้เวลาประมาณ 3 นาทีครึ่งที่กำลังวัตต์ 2 kW และเมื่อกำลังวัตต์ลดลงเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนจะนานขึ้นและเมื่อกำลังวัตต์ต่ำสุด 0.5 kW น้ำจะไม่สามารถเดือดได้เลย จากจุดประสงค์ของการออกแบบวงจร คือการประยุกต์ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์กับการทำน้ำร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะฉะนั้นโหลดที่แท้จริงของวงจร คือ น้ำที่ใช้ในการต้ม

ผลการทดสอบเครื่องที่สร้างขึ้นโดยการทำน้ำร้อนปริมาตร 1 ลิตรจากอุณหภูมิ 26 ^{o}C ให้เดือดได้ในเวลา 3.5 นาที และเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการที่ (9) โดยที่ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าประมาณ 4.18 kJ/kg จะสามารถหากำลังขาออกได้ประมาณ 1,630 W ในขณะที่กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 1,928 W ดังนั้นสามารถหาประสิทธิภาพของระบบได้เท่ากับ 85 %

2.2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องชนิดขดลวดความร้อนทั่วไป จะเห็นได้ว่าเมื่อนำข้อมูลจากการบันทึกผลมาวาดกราฟ (Figure 14)

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนให้เดือดที่ปริมาตรน้ำ 1 ลิตรเท่ากัน เครื่องที่สร้างขึ้นจะใช้เวลาในการทำน้ำให้เดือดเพียง 5 นาที ในขณะที่เครื่องชนิดขดลวดความร้อนทั่วไปจะใช้เวลาในการทำน้ำให้เดือดถึง 10 นาที

อย่างไรก็ดี ผลของความถี่ในการสวิทช์มีการเปลี่ยนแปลงค่า X_c และ X_L จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากการทดสอบค่าความถี่ในการสวิทช์อยู่ในช่วง 20 ถึง 40 kHz โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ที่วงจรควบคุม พบว่าที่ค่าความถี่เดียวกันผลของการดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดก็จะย่อมแตกต่างกันออกไป ถ้าความถี่ในการสวิทช์สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์มากๆ จะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น และการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดก็จะยิ่งน้อยลง แต่เมื่อลดค่าความถี่ลงมาให้ใกล้เคียงกับค่าความถี่เร-โซแนนท์จะทำให้การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าไปยังภาระจะเพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการให้น้ำเดือดเร็วขึ้น แต่การที่จะทำงานที่ความถี่เรโซแนนท์จะต้องมีการศึกษาการทำงานของวงจรอย่างละเอียดเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์สวิทช์ เพราะว่าที่ความถี่เรโซแนนท์ ค่าของแรงดันกับกระแสจะอินเฟสกัน ดังนั้นช่วงความถี่เรโซแนนท์จึงเป็นช่วงที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ของ กระวีและชัยณรงค์ (2544) กล่าวไว้ว่าในการให้ความร้อนโดยใช้ความถี่สูงๆ จ่ายเข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำนี้เองก็จะทำให้เกิดการจับตัวของไฟฟ้ากระแสสลับที่ผิวนอกของตัวนำ (Skin-effect) และจะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของชิ้นโลหะนั้นๆ การรับกระแสจำนวนมากเข้ามาในชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนสะสมในชิ้นงานอย่างรวดเร็ว

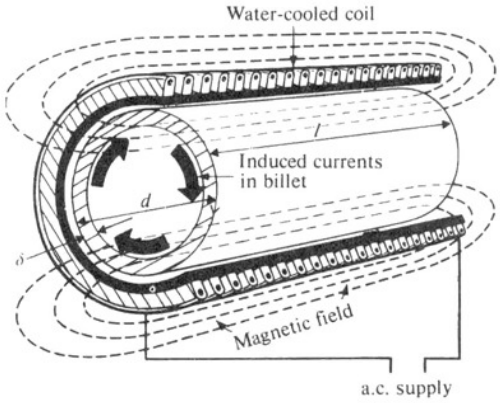

Figure 1 Induction heating fundamentals

ที่มา : Davies and Simpson, (1979)

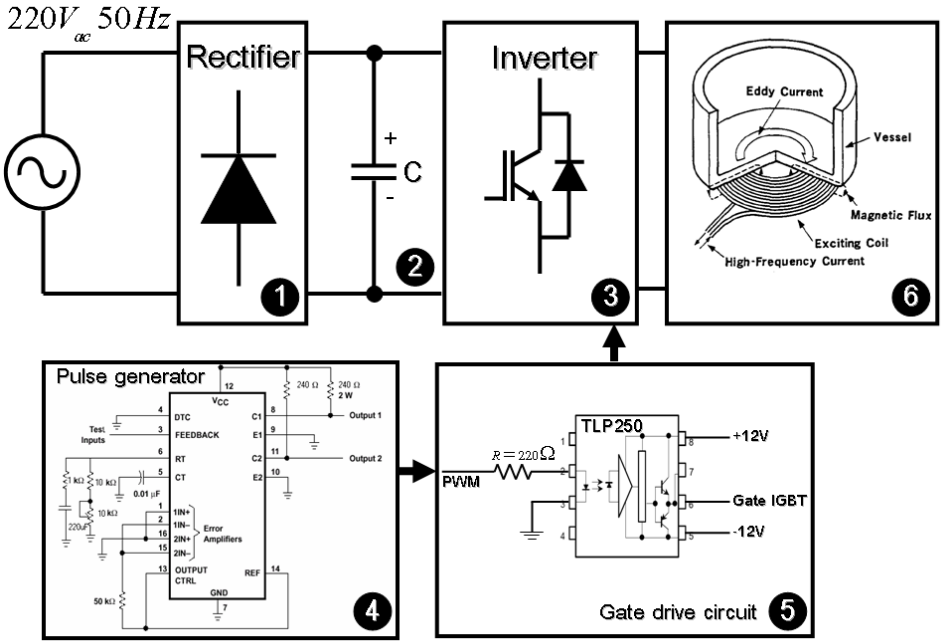

Figure 2 Block diagram of water heater with electromagnetic induction heating

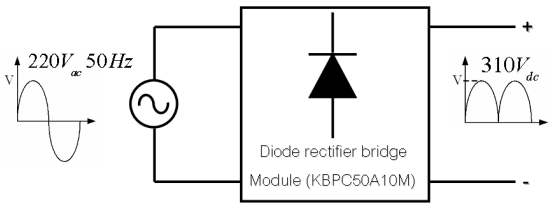

Figure 3 Rectifier circuit

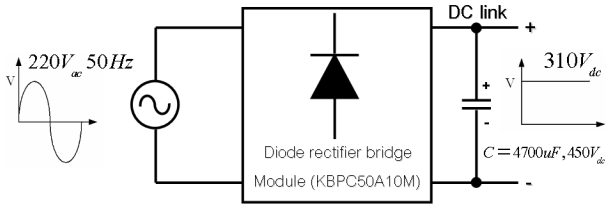

Figure 4 DC link circuit

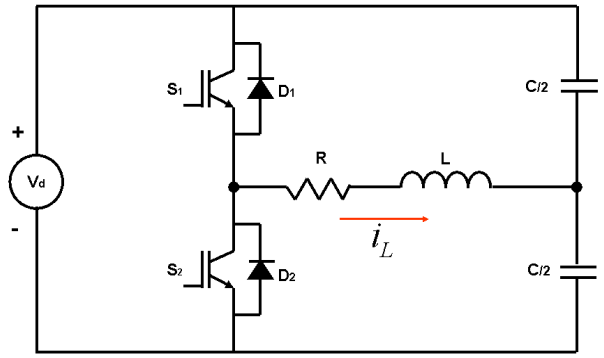

Figure 5 Half-bridge series resonant circuit inverter

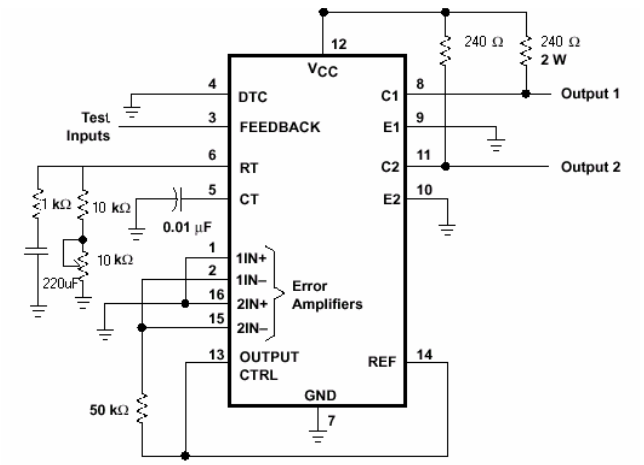

Figure 6 Pulse generator circuit of IC TL 494

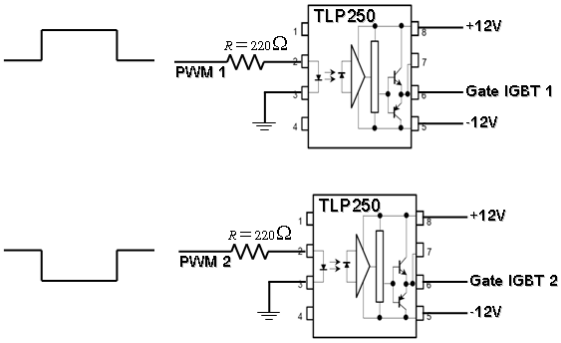

Figure 7 Gate drive circuit

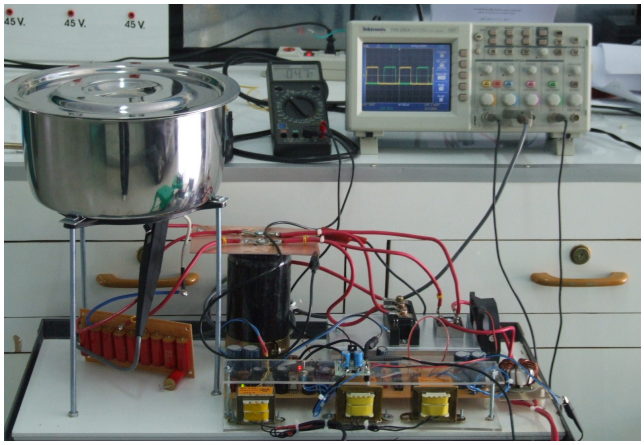

Figure 8 The prototype of water heater with electromagnetic induction heating

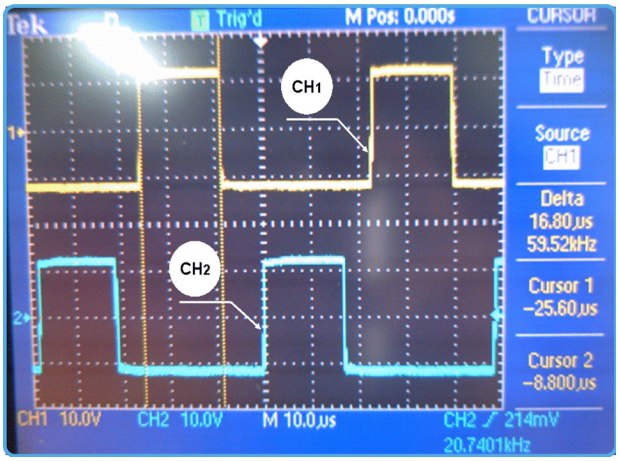

Figure 9 Output voltage waveforms of TL 494

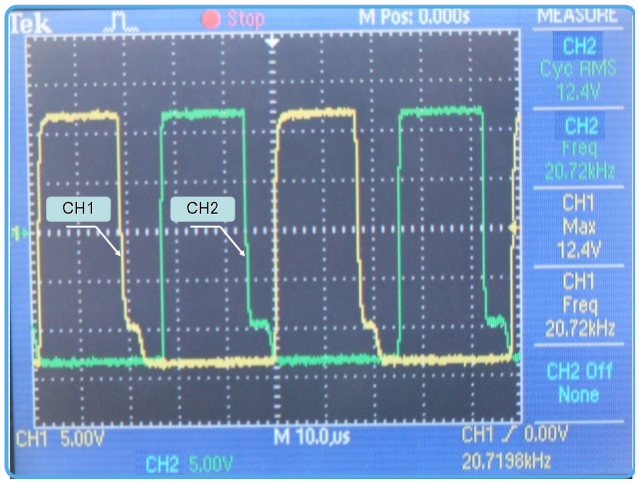

Figure 10 Output voltage waveforms of TLP 250

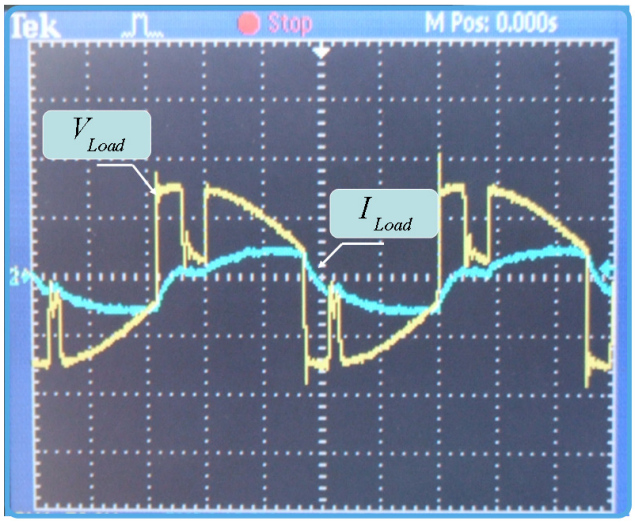

Figure 11 The waveforms voltage (V_{Load}), current (I_{Load}) at the induction coil

\

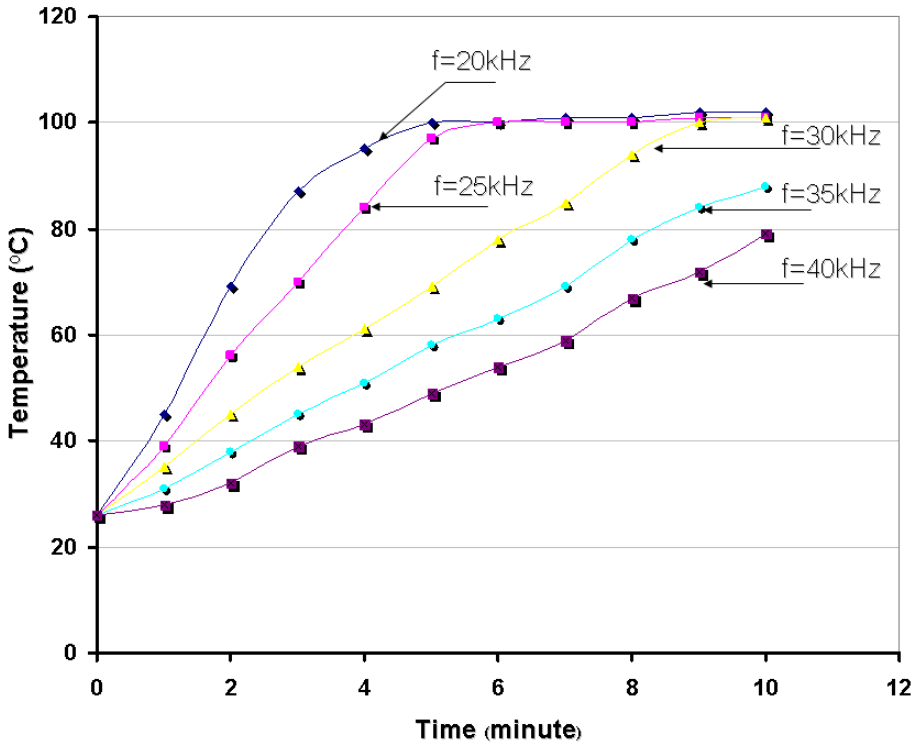

Figure 12 Change of water temperature with time at different frequency

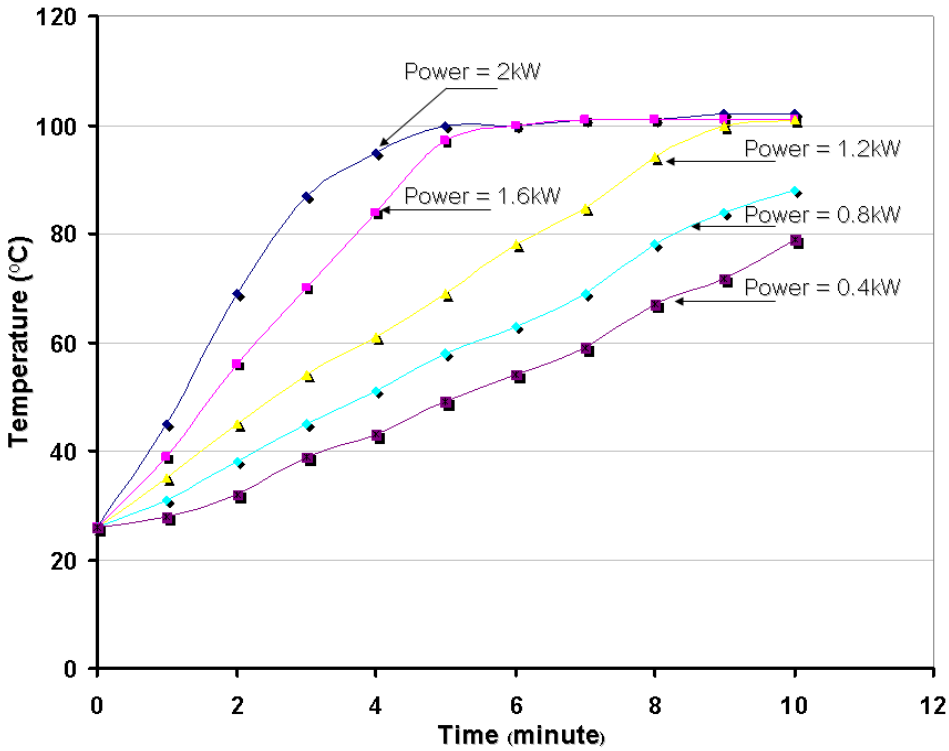

Figure 13 Change of water temperature with time at different power input

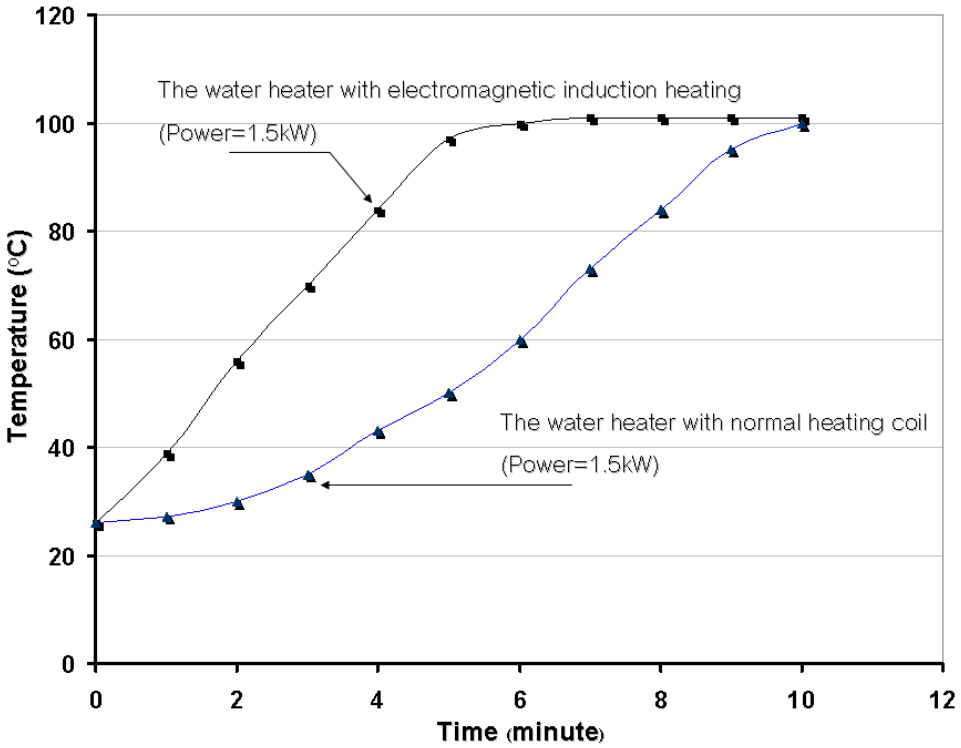

Figure 14 Comparison of temperature change with time between the water heater with electromagnetic induction heating and the water heater with normal heating coil

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเครื่องทำน้ำร้อนที่สร้างขึ้น สามารถให้ความร้อนแก่ภาชนะส่งผ่านไปยังน้ำโดยการใช้วิธีการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นที่ภาชนะ ซึ่งในภาชนะหุงต้มเป็นเส้นทางปิดทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current) เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ภาชนะและจะถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำที่อยู่ภายในภาชนะ ทำให้น้ำเดือดได้ในที่สุด เครื่องที่สร้างขึ้นตอบสนอง ณ ย่านความถี่ 20 kHz สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจนเดือดได้ในเวลาไม่เกิน 3.5 นาที ซึ่งเร็วกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องชนิดขดลวดความร้อนทั่วไป จะเห็นว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง

อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ ยังต้องมีการพัฒนาในด้านต่างๆ อีก เช่น เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสม ในการพัฒนารูปแบบครั้งต่อไปสามารถที่จะพัฒนาให้เล็กลงและสะดวกในการติดตั้งใช้งานได้ และเนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ เป็นตัวทำหน้าที่เปลี่ยนจากไฟกระแสตรงไปเป็นไฟกระแสสลับและแรงดันที่ภาระจะเท่ากับ $V_{DC}/2$ จึงทำให้ได้กำลังเพียงครึ่งเดียว ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่านี้ ควรเปลี่ยนไปใช้อินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ เนื่องจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์แรงดันที่ภาระจะเท่ากับ V_{DC} กระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำความถี่สูงจะมีค่าสูงและเป็นกระแสไหลที่ผิว จึงทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำร้อน นอกจากนี้ยังควรเพิ่มวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ระบบอีกด้วย

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552

เอกสารอ้างอิง

กระวี จันทรสีมาวรรณ และชัยณรงค์ ศักดิ์ศรี. 2544. การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.2549.รายงานสถานการณ์พลังงาน ในปี 2549 และแนวโน้มปี 2550. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานกรุงเทพฯ

วริษฐ์ ธรรมศิริโรจน์, วิจิตร กิณเรศ และวีระเชษฐ์ ขันเงิน. 2544. การออกแบบและวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์คลาส อี แบบสวิตช์ที่แรงดันศูนย์ สำหรับการประยุกต์ใช้ในเตาหุงต้มอาหาร โดยการเหนี่ยวนำ,น. 470. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, 22-23 พฤศจิกายน 2544. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สายชล ชุดเจือจีน, วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ, สายัณห์ เกลี้ยงสิน, และชยันต์ คุ้มภัย. 2551. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงโดยสวิตช์เดี่ยวสำหรับเตาหุงต้มชนิดเหนี่ยวนำ. น. 851-852. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิชาการ ครั้งที่ 1, 27-29 สิงหาคม 2551. โรงแรมธรรมรินทร์ธนา จังหวัดตรัง.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. 2539. ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเล่ม 3. ภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา.

Tanaka T. 1989. A new induction cooking range for heating and kind of metal vessels. *In* IEEE Transactions on Consummer Electronics, Vol.35, No.3. p. 636.

Davies, J. and Simpson, P.1979. Induction Heating Handbook. McGraw-Hill. Great Britain, pp. 1-377.

Received 2 April 2009
Accepted 31 July 2009