

การออกแบบและสร้างเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Implementation of Induction Heater Controlled by Microcontroller

มงคล บุญยง¹, วิชพรพล วรรณสนธิ¹, ประชา คำภักดี¹, วรการ วงศ์สายเชื้อ¹, และ สุริยา ไชคสวัสดิ์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของวงจรควบคุมเลือกใช้เทคนิคการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ ระบบถูกออกแบบเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่นและจัดวงจรเรโซแนนซ์เป็นแบบอนุกรมทางด้านเอาต์พุตโดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยระบบสามารถที่จะปรับกำลังไฟฟ้าได้ด้วยการปรับความถี่ในการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างขึ้นสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าได้โดยใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยปรับค่าความถี่ได้จาก 20 kHz - 30 kHz

คำสำคัญ เครื่องเหนี่ยวนำความร้อน วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่น วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

Abstract

This research presents the design and implementation of an induction heater controlled by a microcontroller. The controlling technique is pulse width modulation. The system is designed by using a half bridge inverter in series resonant output circuit via a high frequency transformer. The power can be controlled by varying the switching frequency of the inverter. The testing results show that the power of the prototype can be changed by the control signals from the microcontroller. The frequency can be adjusted between 20 kHz - 30 kHz.

Keywords: induction heater, half bridge inverter, series resonant circuit

บทนำ

ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนนั้นวิธีการทำอยู่หลายวิธี วิธีหนึ่งที่คุ้นเคยกันดีคือการให้ความร้อนแบบขดลวดความร้อน โดยความร้อนที่ได้นั้นมาจากกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50 เฮิร์ตซ์) ที่ไหลอยู่ในขดลวดทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งวิธีนี้มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากมีความสูญเสียค่อนข้างมากในขดลวด ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเป็นการให้ความร้อนแบบขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า หลักการของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำคือทำให้กระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลผ่านขดลวด ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความถี่สูงตัดผ่านชิ้นงานและเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงานนั้น [1] ซึ่งกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ความร้อนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ผิวของชิ้นงาน การถ่ายเทพลังงานจากขดลวดมายังชิ้นงานจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเท่านั้นโดยที่ขดลวดและชิ้นงานไม่ต้องสัมผัสกัน ทำให้ปลอดภัยในการใช้งาน เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น การเผาโลหะ การชุบแข็งโลหะ การเชื่อมโลหะ การหลอมโลหะ [2] หรือใช้เป็นเตาหุงต้ม

ในการที่จะทำให้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพที่ดีนั้นจำเป็นต้องมีระบบควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปการควบคุมเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะใช้วงจรรวมหรือไอซีต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือเมื่อลักษณะงานเปลี่ยนแปลงไปก็ต้องเปลี่ยนไอซีหรือเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้การควบคุมเหมาะสมกับงานที่เปลี่ยนไปนั้น ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำแทน เนื่องจากสามารถแก้ไขเพียงโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่องานมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ทำให้สะดวกกับการใช้งานมากขึ้น อีกทั้งยังง่ายต่อการเพิ่มความสามารถพิเศษอื่นๆ เช่น ระบบเฝ้าระวังและป้องกัน เป็นต้น

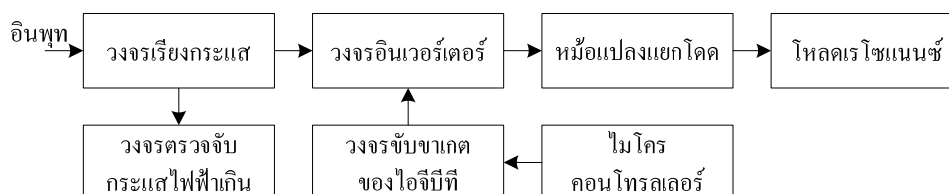
วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนขนาดเล็กที่ให้กำลังงานความร้อนไม่เกิน 100 W ซึ่งสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าได้โดยใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยปรับค่าความถี่ได้จาก 20 kHz - 30 kHz

อุปกรณ์และวิธีการ

1 โครงสร้างโดยรวมของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

แผนผังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

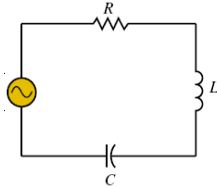


รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

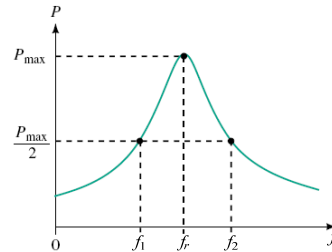
- 1) วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) วงจรอินเวอร์เตอร์ จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 20 kHz - 30 kHz ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นแบบครึ่งคลื่น
- 3) หม้อแปลงแยกโดด มีหน้าที่หลักในการแยกโหลดเรโซแนนซ์และวงจรอินเวอร์เตอร์ออกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายในกรณีที่เกิดการลัดวงจร และยังมีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าเอาท์พุทของหม้อแปลงที่จะจ่ายให้โหลดเรโซแนนซ์เพิ่มมากขึ้น
- 4) โหลดเรโซแนนซ์ ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำซึ่งต่อกันแบบอนุกรม ที่สภาวะเรโซแนนซ์ กระแสจะไหลผ่านโหลดมากที่สุดทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ในการทดลองจะใช้เฉพาะตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นเนื่องจากมีค่าความต้านทานแฝงอยู่ในตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำอยู่แล้ว
- 5) วงจรขั้วขาเกตของไอจีบีที อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งไอจีบีทีซึ่งอยู่ในวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณมาขั้วที่ขาเกต และสัญญาณที่จะนำมาขั้วนั้นจะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดที่ไอจีบีทีต้องการด้วย เช่น ต้องสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เพียงพอกับการซาร์จขาเกตได้ ซึ่งสัญญาณควบคุมที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถนำมาขั้วขาเกตของไอจีบีทีได้โดยตรง จึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของขาเกตไอจีบีที
- 6) วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าเกิน ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ไอจีบีทีไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไป โดยใช้ Current Transducer เป็นตัววัดกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านเข้าไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่ง Current Transducer จะแปลงกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังชุดป้องกันเพื่อตัดวงจรทั้งหมดเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน
- 7) ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนสร้างสัญญาณที่จะนำไปขั้วขาเกตของไอจีบีที ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7-LPC2148 [3] มาตรฐานสัญญาณนี้โดยใช้เทคนิคการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ (PWM: Pulse Width Modulation)

2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม [4] ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2 ค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจร คือ $Z = R + j(X_L - X_C)$ สภาวะเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อค่ารีแอกแตนซ์เป็นศูนย์หรือ $X_L = X_C$ ความถี่ที่ทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ $f_r = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ จะเห็นได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรมีค่าต่ำที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 3 และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์



รูปที่ 2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังไฟฟ้าของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

กำลังไฟฟ้าของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมถูกควบคุมโดยการปรับความถี่สวิทซ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่น ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อความถี่สวิทซ์มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์เรโซแนนซ์ และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ในการปรับความถี่สวิทซ์นั้นจะใช้สัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7-LPC2148 ทางพอร์ต PWM2 และ PWM4 สามารถปรับความถี่ได้จากรีจิสเตอร์ PWMMR0 และปรับ duty cycle ได้จากรีจิสเตอร์ PWMMR1 ถึง PWMMR4 ตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการความถี่สวิทซ์ $f_s = 25 \text{ kHz}$ และ duty cycle = 40% สามารถกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ได้ดังนี้

$$PWMMR0 = \frac{PCLK}{2f_s} = \frac{30,000,000}{2(25,000)} = 600 \text{ เมื่อ PCLK คือ ความถี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์}$$

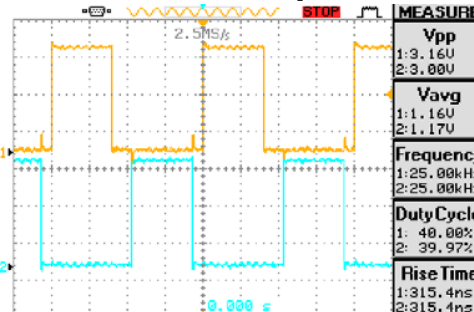
PWMMR1 = 60 ใช้กำหนดจุดที่สัญญาณ PWM2 เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1

PWMMR2 = 300 ใช้กำหนดจุดที่สัญญาณ PWM2 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0

PWMMR3 = 360 ใช้กำหนดจุดที่สัญญาณ PWM4 เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1

PWMMR4 = 600 ใช้กำหนดจุดที่สัญญาณ PWM4 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0

สัญญาณ PWM2 และ PWM4 ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 4

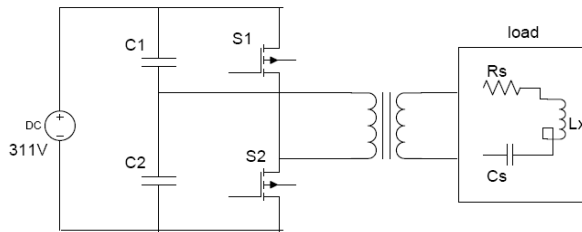


รูปที่ 4 สัญญาณ PWM2 (รูปบน) และ PWM4 (รูปล่าง) ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

ผลการทดลอง

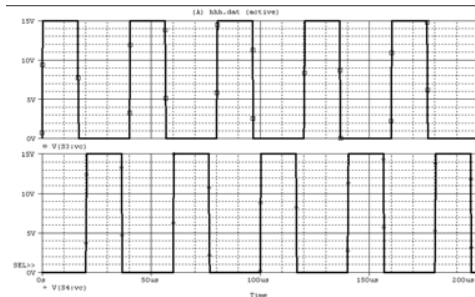
1 จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม

วงจรอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงแยกโดด และโหลดเรโซแนนซ์ ถูกจำลองขึ้นด้วยโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 5 โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุตเป็น 311 V ซึ่งเป็นการสมมติว่าได้ผ่านวงจรเรียงกระแสมาแล้ว พารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าดังนี้ คือ duty cycle = 40%, $f_s = 25 \text{ kHz}$, $R_s = 0.94 \ \Omega$, $L_x = 128 \ \mu\text{H}$, $C_s = 0.3 \ \mu\text{F}$ ซึ่งจะได้ $f_r = 1/(2\pi\sqrt{128 \ \mu\text{H} \times 0.3 \ \mu\text{F}}) = 25.68 \text{ kHz}$ สวิตช์ที่ใช้ในการจำลองเลือกใช้สวิตช์ที่เป็นแบบอุดมคติแทนไอจีบีที สัญญาณขับขาเกทไอจีบีที แรงดันตกคร่อมหม้อแปลง แรงดันตกคร่อมโหลด และกระแสผ่านโหลด แสดงในรูปที่ 6 ถึง 9

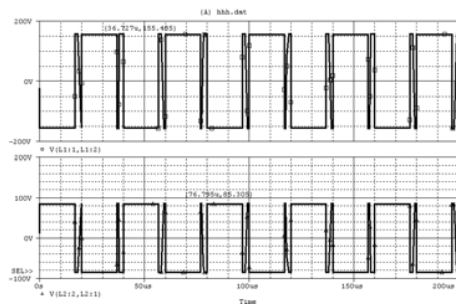


รูปที่ 5 วงจรที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม

จากรูปที่ 6 จุดที่ทำการวัดสัญญาณ คือ วัดคร่อมขาเกทไอจีบีทีของสวิตช์ทั้งสองตัว จะเห็นได้จากสัญญาณว่า สวิตช์ S1 และสวิตช์ S2 จะสลับกันทำงาน โดยที่เมื่อสวิตช์ S1 ทำงาน S2 จะไม่ทำงาน และเมื่อสวิตช์ S2 ทำงาน S1 จะไม่ทำงาน

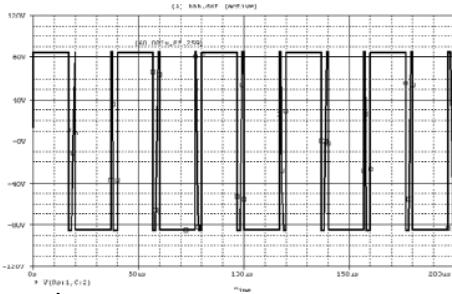


รูปที่ 6 สัญญาณจำลองขับขาเกทไอจีบีทีของสวิตช์ S1 (รูปบน) และ S2 (รูปล่าง)

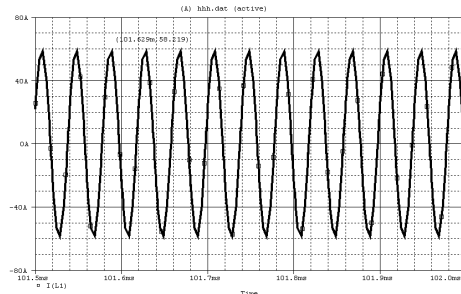


รูปที่ 7 สัญญาณแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง ด้านปฐมภูมิ (รูปบน) และด้านทุติยภูมิ (รูปล่าง)

สัญญาณแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงจากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า สัญญาณที่ได้เป็นรูปสัญญาณพัลส์ที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบที่เกิดจากการสวิตช์ แต่แรงดันในด้านทุติยภูมิจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันด้านปฐมภูมิ เพราะในการออกแบบหม้อแปลงได้ออกแบบให้เป็นหม้อแปลงลดทอนแรงดัน โดยฝั่งปฐมภูมิวัดค่าได้ 155.485 V และฝั่งทุติยภูมิวัดค่าได้ 85.305 V ซึ่งในการออกแบบหม้อแปลงลดทอนแรงดัน ได้ออกแบบให้อัตราส่วนระหว่างหม้อแปลงมีค่าเป็น 1.83 เท่า



รูปที่ 8 สัญญาณจำลองแรงดันตกคร่อมโหลด

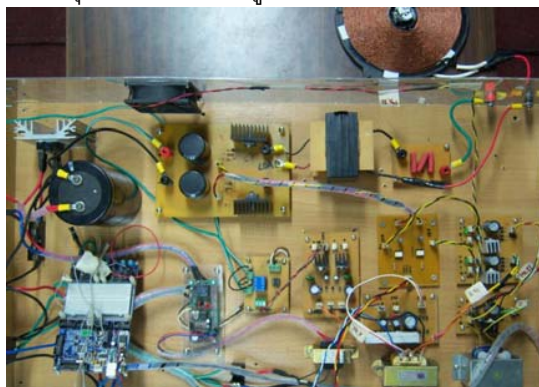


รูปที่ 9 สัญญาณจำลองกระแสที่ไหลผ่านโหลด

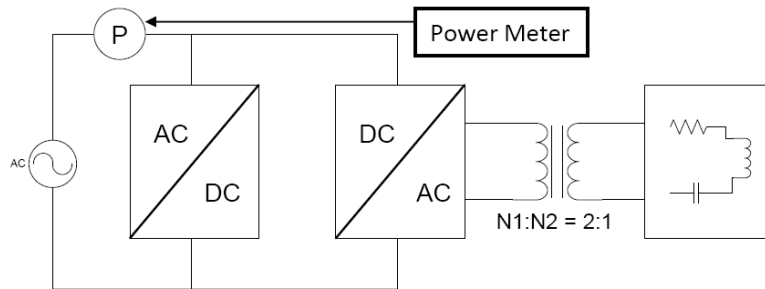
จากรูปที่ 8 สัญญาณแรงดันตกคร่อมโหลดที่ได้เป็นรูปสัญญาณพัลส์ที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบที่มีค่า 85.259 V ซึ่งค่าแรงดันตกคร่อมโหลดนั้นใกล้เคียงกันกับค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง ส่วนรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านโหลดนั้นจะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีค่า $58 A_{\text{peak}}$

2 ทดสอบปรับค่ากำลังไฟฟ้าด้วยการปรับความถี่

หลังจากการจำลองด้วยโปรแกรมแล้ว วงจรต่างๆ ได้ถูกสร้างขึ้นมาประกอบเป็นเครื่องเหี่ยวนำความร้อนดังรูปที่ 10 เพื่อทดสอบปรับค่ากำลังไฟฟ้าด้วยการปรับความถี่โดยกำหนดให้ duty cycle = 40%, $f_s = 20 \text{ kHz} - 30 \text{ kHz}$ ซึ่งครอบคลุมความถี่เรโซแนนซ์ 25.68 kHz ใช้หม้อแปลงที่มีอัตราส่วนรอบเป็น 2:1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทเท่ากับ 120 V แล้วต่อ Power Meter เข้ากับวงจรดังรูปที่ 11 เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท(P) ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุท(V) และค่ากระแสไฟฟ้าอินพุท(I) ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 และความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สวิตช์กับค่ากำลังไฟฟ้าอินพุทแสดงดังกราฟในรูปที่ 12



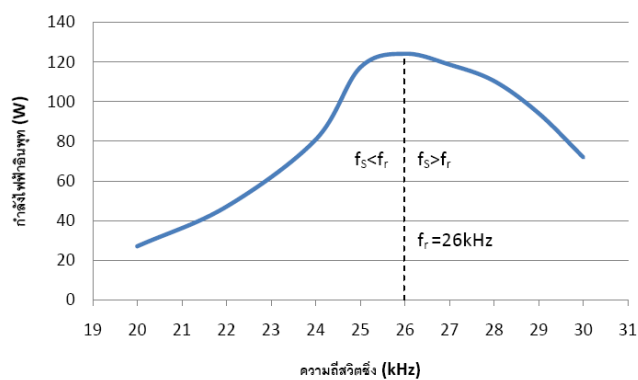
รูปที่ 10 เครื่องเหี่ยวนำความร้อนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้น



รูปที่ 11 การต่อ Power Meter เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุท และค่ากระแสไฟฟ้าอินพุท

ตารางที่ 1 กำลังไฟฟ้าอินพุท แรงดันไฟฟ้าอินพุท และกระแสไฟฟ้าอินพุทเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 120 V ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆ กัน

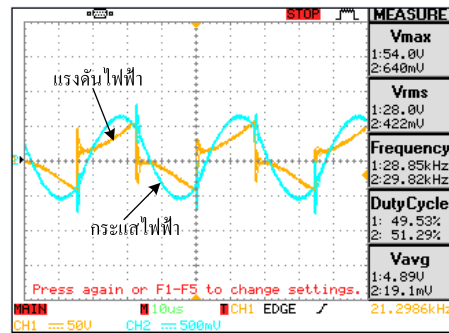
f_s (kHz)	P_i (W)	V_i (V)	I_i (A)
20	27.1	119.6	0.367
22	47.1	121.1	0.524
24	80.9	121.7	1.017
25	117.3	120.5	1.342
26	124.2	120.6	1.448
27	118.7	120.4	1.400
28	110.4	120.2	1.360
29	94.1	122.0	1.133
30	71.9	120.1	0.943



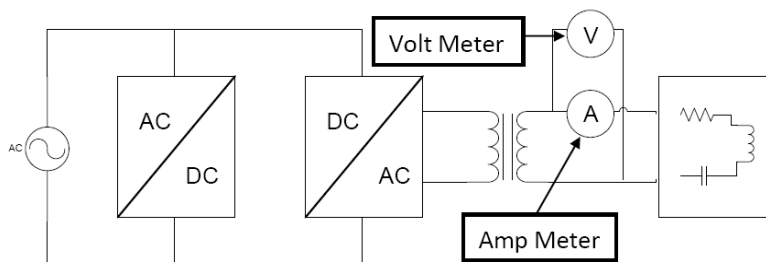
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สวิตซ์ซึ่งกับค่ากำลังไฟฟ้าอินพุทเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 120 V

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 26 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าอินพุทมีค่าสูงสุด คือ 124.2 W ที่ความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่า 26 kHz กำลังไฟฟ้าอินพุทจะมีค่าลดลง ซึ่งกราฟที่ได้มีความคล้ายคลึงกับกราฟในทางทฤษฎีในรูปที่ 3 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลดแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งวัดสัญญาณโดยใช้ออสซิลโลสโคปเป็น volt meter และใช้ current probe เป็น amp meter ดังแสดงในรูปที่ 14 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณจำลองในรูปที่ 8

และ 9 อันเนื่องมาจากการสวิตช์ของไอจีบีที เนื่องจากผู้วิจัยไม่มีเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่ความถี่สูงจึงไม่สามารถวัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตซึ่งมีความถี่ 20 kHz - 30 kHz ได้



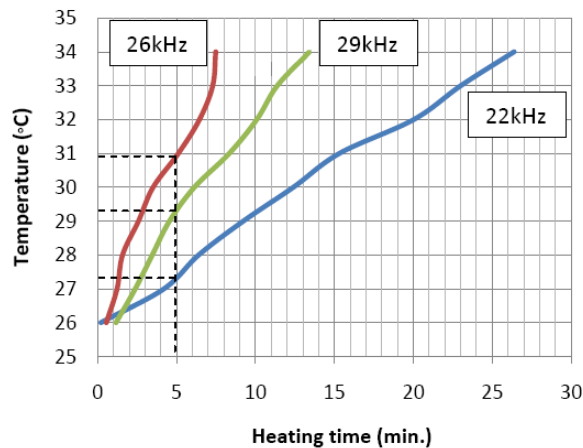
รูปที่ 13 สัญญาณแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลด



รูปที่ 14 การวัดสัญญาณแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลด

3 ทดสอบการให้ความร้อนกับน้ำที่ความถี่ต่าง ๆ

หลังจากทดสอบปรับค่ากำลังไฟฟ้าด้วยการปรับความถี่แล้ว เครื่องเหี่ยวนำความร้อนต้นแบบได้ถูกนำมาให้ความร้อนกับน้ำ 1 ลิตรจากอุณหภูมิ 26°C ถึง 34°C โดยกำหนดให้ duty cycle = 40%, $f_s = 22$ kHz, 26 kHz, และ 29 kHz ใช้หม้อแปลงที่มีอัตราส่วนรอบเป็น 2:1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตเท่ากับ 120 V ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต และค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าที่แสดงในตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่ความถี่ 22 kHz, 26 kHz, และ 29 kHz แสดงดังกราฟในรูปที่ 15



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่ความถี่ 22 kHz, 26 kHz, และ 29 kHz

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่าที่ความถี่ 26 kHz ใช้เวลาในการให้ความร้อน 7 นาทีเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 26°C ถึง 34°C ในขณะที่ความถี่ 29 kHz และ 22 kHz ใช้เวลา 13 นาทีและ 26 นาทีตามลำดับ แสดงว่าที่ความถี่ 26 kHz ซึ่งเป็นความถี่เรโซแนนซ์ เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและที่ความถี่ 29 kHz และ 22 kHz ให้กำลังไฟฟาลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางที่ 1 คือ $P_{26 \text{ kHz}} (124.2 \text{ W}) > P_{29 \text{ kHz}} (94.1 \text{ W}) > P_{22 \text{ kHz}} (47.1 \text{ W})$ อย่างไรก็ตามที่พิกัดกำลังไฟฟ้าอินพุทสูงสุด 124.2 W นั้นสามารถให้พลังงานความร้อนออกมาเพียง 29.3 kJ หรือคิดเป็นกำลังงานความร้อนเอาต์พุท 62.75 W จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่าเท่ากับ 50.5 % ซึ่งยังถือว่ามีความต่ำเนื่องจากหม้อแปลงและขดลวดเหนี่ยวนำยังมีค่าไม่เหมาะสม

บทสรุป

เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่นและวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนความถี่สวิตชิงของอินเวอร์เตอร์โดยใช้สัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7-LPC2148 และสามารถนำเครื่องต้นแบบไปประยุกต์ใช้เป็นเตาหุงต้มได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบในเบื้องต้นเครื่องต้นแบบจึงยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไปเพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้นทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Rudnev, D. Loveless, R. Cook, and M. Black, **Handbook of Induction Heating**, Marcel Dekker, New York, 2002.
- [2] Linn High Therm, **Induction Heating Devices for High Frequency Induction Soldering, Brazing and Joining**, 1994.
- [3] Philips Semiconductors, **LPC214x User Manual**, 15 August 2005.
- [4] Allan H. Robbins and Wilhelm C. Miller, **Circuit Analysis: Theory And Practice**, Delmar/Thomson Learning, Albany, NY, 2000.