

การออกแบบตู้อบชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์แบบให้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น ด้วยความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

เลิศพันธ์ เพียรสร้างสรรค์ สิ่งทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และอภิรัตน์ อูร์โสภณ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
ผู้ติดต่อ: 53010352504@msu.ac.th (043)754316

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบตู้อบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ให้ความร้อน ด้วยการเหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อสร้างให้เกิดความร้อนบนแผ่นเหล็กแทนการใช้ขดลวดความร้อนแบบเดิม ซึ่งจะได้อพื้นที่ผิวสำหรับการพาความร้อนที่มากขึ้น ทั้งการให้ความร้อนลักษณะนี้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการสร้างความร้อนด้วยขดลวดความร้อน การ จำลองได้ออกแบบตู้อบให้มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 3 กิโลวัตต์ ใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด ความถี่เรโซแนนซ์ 24 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าขดลวดเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพร้อยละ 98.54 ควบคุมกำลังของตู้อบได้ด้วยวิธีการควบคุมช่วงภาระการทำงานของสวิตช์เพียงตัวเดียว มีช่วงกำลังไฟฟ้า 1,219.4 ถึง 2,401.3 วัตต์ต่อชุดขดลวด เมื่อกำหนดอุณหภูมิแผ่นเหล็กคงที่ 120 องศาเซลเซียสจะมีอุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยประมาณ 100 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ ตู้อบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ขดลวดเหนี่ยวนำ

1. บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นกิจกรรมที่จำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทตู้อบเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองพลังงานมากในการใช้งานแต่ละครั้ง สาเหตุหนึ่งเกิดจากวิธีการสร้างความร้อนของตู้อบที่ส่วนใหญ่จะใช้ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ด้วยการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนจากความต้านทานของขดลวดเอง แล้วให้อากาศรอบๆ ขดลวดเป็นตัวพาความร้อนไปยังบริเวณต่างๆ ภายในตู้อบ ขนาดของขดลวดความร้อนจึงมีผลโดยตรงกับปริมาณการพาความร้อน ทั้งการให้ความร้อนในลักษณะนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งได้สูญเสียไปกับตัวขดลวดเอง

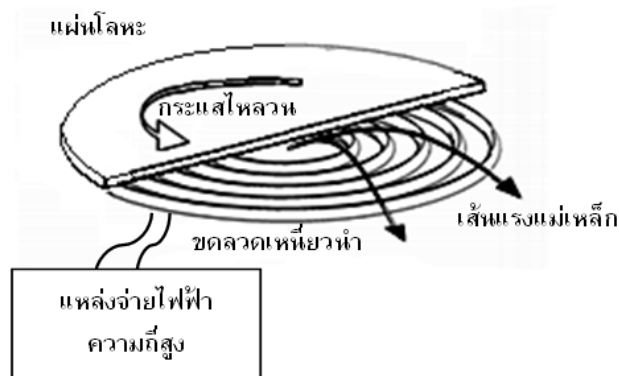
วิธีการสร้างความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นคือ ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction Heating) เป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการป้อนไฟฟ้า

กระแสสลับที่มีความถี่ปานกลาง คือตั้งแต่ 3 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ [1] ให้กับขดลวดเหนี่ยวนำที่มีสถานะเรโซแนนซ์ที่ความถี่เดียวกัน ส่งผลทำให้เกิดกระแสไหลวนในวัสดุแม่เหล็กที่อยู่ใกล้เคียงและเกิดความร้อนขึ้นบนผิววัสดุนั้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และมีความสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นการนำวิธีการสร้างความร้อนดังกล่าวมาประยุกต์ใช้แทนการสร้างความร้อนแบบเดิม จึงสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้

จากข้อดีของการสร้างความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่กล่าวไว้ จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างความร้อนภายในตู้อบ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การประยุกต์ใช้วิธีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมาใช้แทนการให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อนแบบเดิมเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ออกแบบตู้อบมีขนาด 108,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 3 กิโลวัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่สูงตลอดการทำงาน

2. ทฤษฎีการเหนี่ยวนำความร้อน

การสร้างความร้อนโดยการเหนี่ยวนำมีพื้นฐานมาจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในขดลวด โดยมีหลักการคือ เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งผ่านบ่วงวงจรไฟฟ้าบ่วงหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงจรถูกเหนี่ยวนำ



รูปที่ 1 การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

ในรูปที่ 1 เมื่อป้อนกระแสไฟสลับให้กับขดลวดตัวนำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก โดยจำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงแปรผันตรงกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อน ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะแปรผันตรงตามขนาดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ ส่งผลให้เกิดกระแสไหลวนบริเวณผิวของแผ่นโลหะใกล้เคียง เกิดเป็นความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวนั้น โดยมีระยะลึกผิวความร้อนเป็นไปตามปรากฏการณ์ทางผิว (Skin depth effect) คือ

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \mu_r \pi \cdot f}} \quad (1)$$

เมื่อ δ คือ ระดับความลึกผิวของชั้นโลหะ

ρ คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะ

μ_0 คือ ค่าความซาบซึมได้ของสุญญากาศ

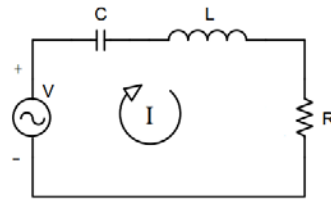
μ_r คือ ค่าความซาบซึมแม่เหล็กสัมพัทธ์ของชั้นโลหะ

f คือ ความถี่ของสัญญาณกระแสสลับ

ดังนั้นโลหะประเภทที่สามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำได้ดีจึงควรมีค่าความลึกผิวที่ต่ำ มีค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์และมีค่าความต้านทานจำเพาะที่สูง จึงจะไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณความถี่ที่สูงมากก็สามารถทำให้เกิดความร้อนได้ดี จากงานวิจัย [2 , 3] พบว่าเหล็กมีคุณสมบัติที่ดีกว่าทองแดงและอลูมิเนียม โดยให้ค่าความลึกผิวเท่ากับ 0.11 มิลลิเมตร ณ ความถี่ประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์

2.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

เมื่อเขียนโพลดเหนี่ยวนำให้อยู่ในรูปวงจรสมมูลย์ จะมีรูปแบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

ในรูปที่ 2 เป็นวงจรสมมูลย์ของโพลดเรโซแนนซ์ กำหนดแรงดันตกคร่อมโพลดคือ V เขียนสมการผลรวมของแรงดันได้ดังนี้

$$V(s) - \frac{I(s)}{sC} - sLI(s) - RI(s) = 0 \quad (2)$$

$$V_R(s) = RI(s) \quad (3)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$V(s) - \frac{V_R(s)}{sCR} - \frac{sLV_R(s)}{R} - V_R(s) = 0 \quad (4)$$

ดังนั้น

$$V_R(s) = \frac{sR/L}{s^2 + sR/L + 1/LC} V(s) \quad (5)$$

ซึ่งการตอบสนองของระบบขึ้นอยู่กับตัวส่วน คือ

$$s = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (6)$$

ดังนั้นการจะทำให้วงจรมีเสถียรภาพจึงต้องอยู่ในเงื่อนไขโดยต้องกำหนดให้

$$\left(\frac{R}{2L}\right)^2 < \frac{1}{LC} \quad (7)$$

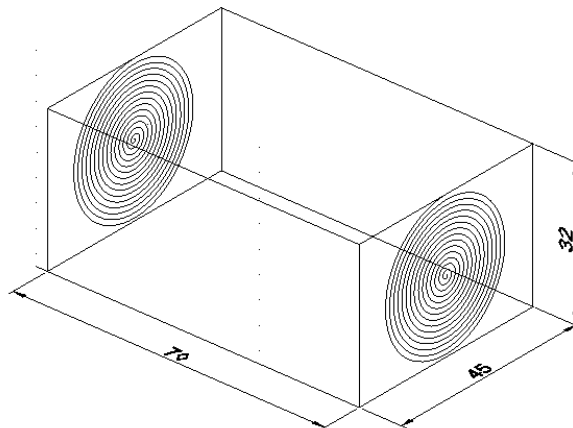
และความถี่เรโซแนนต์ มีสมการเป็น

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

ซึ่งในการทำงานต้องใช้ความถี่สวิตช์ที่มากกว่าความถี่เรโซแนนต์เล็กน้อยจึงจะสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ถ้าหากใช้ความถี่ที่น้อยกว่าอาจทำให้ชุดสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์เสียหายได้

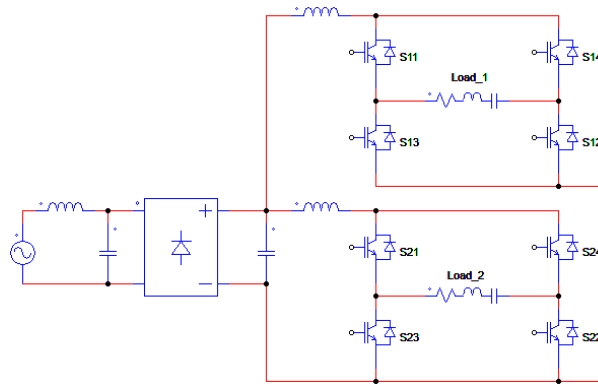
3. การออกแบบตู้อบ

กำหนดให้ตู้อบมีขนาดกำลังไฟฟ้า 4 กิโลวัตต์ โครงสร้างประกอบขึ้นจากเหล็ก ขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 45×70×32 เซนติเมตร



รูปที่ 3 ขนาดของตู้อบและตำแหน่งขดลวดเหนี่ยวนำ

ในรูปที่ 3 ด้านข้างของตู้อบเป็นตำแหน่งสำหรับวางขดลวดเหนี่ยวนำและเป็นตำแหน่งสำหรับวางแผ่นเหล็กบางในแนวเดียวกันด้วย กำลังไฟฟ้ามากที่สุดที่ให้กับขดลวดเหนี่ยวนำอยู่ที่ชุดละ ไม่เกิน 1.5 กิโลวัตต์ ติดตั้งพัดลมขนาดเล็กด้านบนของตู้อบเพื่อใช้สำหรับสร้างอากาศหมุนเวียนภายในตู้



รูปที่ 4 วงจรเรโซแนนต์อินเวอร์เตอร์สำหรับขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด

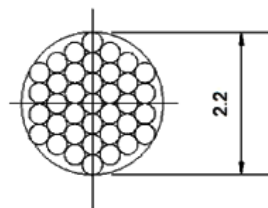
3.1 วงจรเรโซแนนต์อินเวอร์เตอร์

วงจรเรโซแนนต์ที่ออกแบบสำหรับใช้ขับขดลวดเหนี่ยวนำทั้งสองชุด แสดงดังรูปที่ 4 ใช้วงจรเรโซแนนต์อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่นต่อขนานกัน โดยแต่ละชุดสามารถขับขดลวดเหนี่ยวนำด้วยกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 1.5 กิโลวัตต์ วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ของขดลวดเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแสดงด้วยชุดเรโซแนนต์อนุกรม Load_1 และ Load_2 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4 ใช้โอบิปีทีเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ขับโดยวิธี Asymmetrical control [5] เนื่องจากสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้โดยการปรับค่าภาระการทำงาน (Duty cycle) จึงไม่ต้องปรับความถี่ในช่วงที่กว้างเพราะจะส่งผลต่อค่าตัวประกอบกำลังที่ลดต่ำลง

3.2 ขดลวดเรโซแนนต์

ขดลวดที่ใช้ในตู้อบออกแบบโดยใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 30 SWG มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.31496 มิลลิเมตร มีค่าความต้านทาน 0.221 โอห์ม-เมตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ความยาว 32 เมตร ใช้ขดลวดจำนวน 37 เส้น ตีเกลียวเข้าด้วยกันเพื่อช่วยลดผลของปรากฏการณ์ความถี่ผิวอันเนื่องมาจากความถี่ใช้งาน ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของการรวมกันเท่ากับ 2.20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมของลวดเหนี่ยวนำ

นำขดลวดที่ตีเกลียวกันแล้วมาพันเป็นวงขดลวด (Spiral coil) จำนวน 65 รอบการพัน คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำ [6] ได้ดังนี้

$$L_w \approx 451 \text{ uH}, R_w \approx 0.2 \Omega, C_w \approx 61.1 \text{ nF}$$

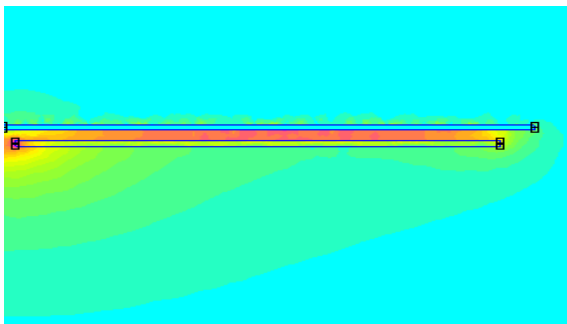
- เมื่อ L_w เป็นความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำ
- R_w เป็นความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ
- C_w เป็นความจุแฝงจากการพันของขดลวด

4. ผลการจำลองการทำงาน

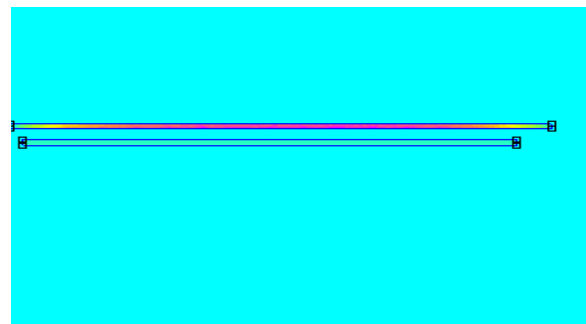
การจำลองการทำงานของตู้อบจะแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ การจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อมีแผ่นเหล็กวางร่วมอยู่ด้วย จำลองการทำงานชุดเหนี่ยวนำความร้อน และการจำลองการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม FEMM 4.2 [4] มีรายละเอียดดังนี้

4.1 จำลองโครงสร้างชุดเหนี่ยวนำ

เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชุดเหนี่ยวนำ จำลองโดยให้ขดลวดเหนี่ยวนำวางอยู่ด้านล่างของแผ่นเหล็กชนิด 1010 Carbon steel ความหนา 2 มิลลิเมตร มีระยะห่างจากแผ่นเหล็ก 5 มิลลิเมตร ผ่านกระแสให้ขดลวด 15 แอมป์ ด้วยความถี่เรโซแนนซ์ 24 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 6



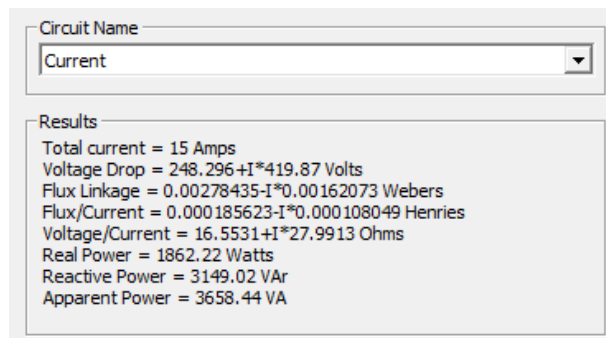
ก. ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก



ข. ความหนาแน่นของกระแส

รูปที่ 6 ผลการจำลองชุดเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 6 เห็นได้ว่าความหนาแน่นของกระแสเหนี่ยวนำจะปรากฏอย่างมากที่บริเวณแผ่นเหล็กบาง และได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ข้อมูลผลจากการจำลอง

จากผลการจำลอง ทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเหนี่ยวนำที่รวมค่าอิมพีแดนซ์ของแผ่นเหล็กบางเข้าไว้ด้วยแล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ $Z_{LOAD} = 16.55 + j27.99 \Omega$ หากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำได้ผลดังนี้ $R_W = 0.241 \Omega$, $L_W = 431 \mu\text{H}$, $R_{STEEL} = 16.31 \Omega$ และ $L_{STEEL} = 245.42 \mu\text{H}$ นำพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้หาค่าตัวเก็บประจุของขดลวดเหนี่ยวนำด้วยสมการที่ 8

$$24 \times 10^3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{185.62 \times 10^{-6} C}}$$

$$C = 0.237 \mu\text{F}$$

หาประสิทธิภาพการทำงาน

$$\text{Eff} = \frac{R_{STEEL}}{R_{STEEL} + R_W} \times 100\% \quad (9)$$

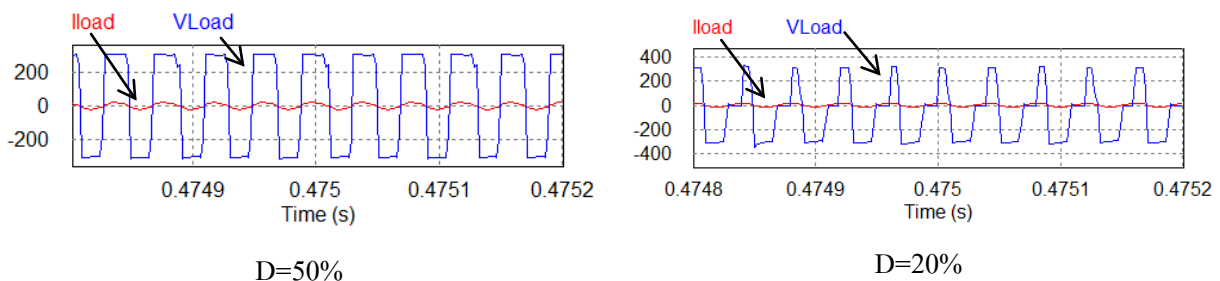
$$= \frac{16.31}{16.31 + 0.241} \times 100\%$$

$$= 98.54\%$$

ซึ่งได้ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 98.54 และเห็นได้ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้

4.2 จำลองการทำงานขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

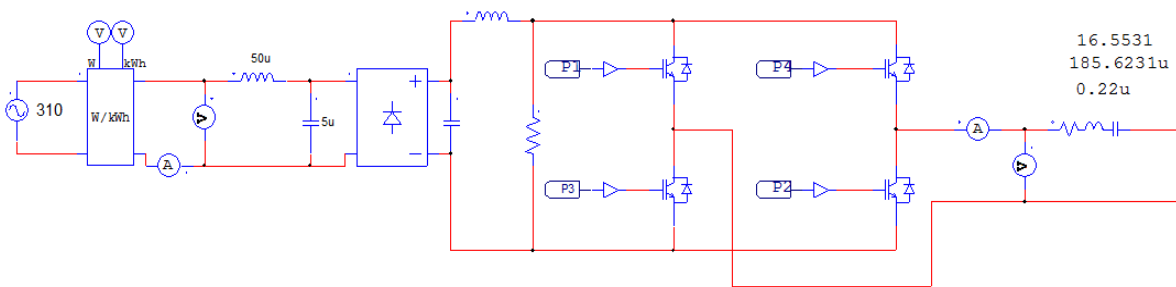
จากรูปที่ 4 ในงานวิจัยนี้เลือกปรับกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับภาระการทำงานของไอจีบีทีตัวที่ S14 และ S24 ของแต่ละชุดการทำงาน ชุดโหลด Load_1 และ Load_2 กำหนดขึ้นด้วยพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองโครงสร้างขดลวดเหนี่ยวนำเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุที่มีจำหน่ายคือ 0.22 μF ใช้โปรแกรม PSIM 4.2 จำลองการทำงานวงจรไว้ 2 กรณีได้แก่ กรณีปรับช่วงภาระการทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ และกรณีปรับช่วงภาระการทำงาน 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า ผลการจำลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปคลื่นกระแสและแรงดันโหลด

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า

ข้อมูล	D = 20%	D=50%
แรงดันตกคร่อม โหลด	168.2 V _{RMS}	210.0 V _{RMS}
กระแสไหลผ่าน โหลด	7.28 A _{RMS}	10.5 A _{RMS}
กำลังไฟฟ้าที่โหลด	1,017.72 W	2,056.18 W
กำลังไฟฟ้าที่จ่าย	1,219.41 W	2,401.32 W
ประสิทธิภาพ	83.46%	85.63%



รูปที่ 10 จำลองวงจรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม PSIM 4.2

4.3 การจำลองการกระจายอุณหภูมิภายในตู้

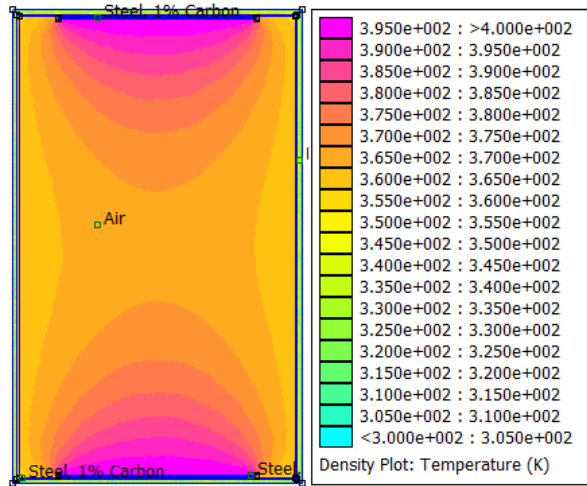
คำนวณหาเวลาของการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นเหล็ก เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของแผ่นเหล็กที่นำมาใช้ดังนี้

ความจุความร้อนจำเพาะ	448 J · kg ⁻¹ · K ⁻¹
ความหนาแน่น	7874 kg/m ³
ปริมาตรของแผ่นเหล็ก	1.61 × 10 ⁻⁴ m ³
เส้นผ่านศูนย์กลาง	32 × 10 ⁻² m

กำหนดให้อุณหภูมิสุดท้ายบนแผ่นเหล็ก 120 องศาเซลเซียส จะได้พลังงานความร้อนบนแผ่นเหล็กเท่ากับ Q = 53,903.5 จูล หากกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นเหล็กจาก 25 องศาเซลเซียส ถึง 120 องศาเซลเซียสของแผ่นเหล็กทั้ง 2 แผ่น ภายในเวลา 1 นาที ได้เท่ากับ

$$P = \frac{2 * 53,903.5}{60} = 1,797 \text{ วัตต์}$$

การจำลองการไหลของอุณหภูมิภายในตู้ด้วยโปรแกรม FEMM 4.2[4] กำหนดให้ภายในตู้มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศเท่ากับ $150 \text{ W/m}^2\text{K}$ กำหนดให้แผ่นเหล็กมีอุณหภูมิคงที่ 120 องศาเซลเซียส ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 11 อากาศไหลเวียนภายในตู้จะช่วยพาความร้อนออกจากผิวเหล็กและกระจายอยู่ภายในตู้ อุณหภูมิที่แสดงต่ำสุดมีค่าประมาณ 92 องศาเซลเซียส ที่ด้านหน้าและหลังของตู้ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ประมาณ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 11 ผลจำลองการกระจายอุณหภูมิภายในตู้

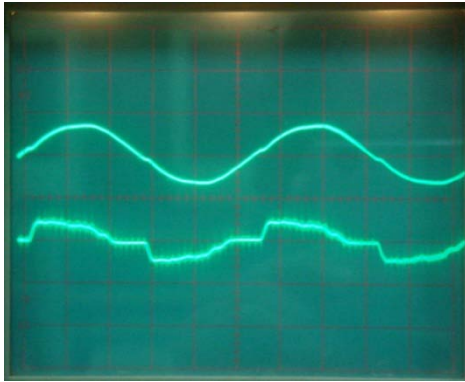
4.4 การทดลองตู้ขึ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

ทดลองการทำงานของชุดเหนี่ยวนำ โดยการป้อนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับขนาด $110 \text{ V}_{\text{rms}}$ ให้กับภาคกำลังที่ต่อกันแบบเรโซแนนต์เต็มคลื่นด้วยความถี่ที่ประมาณ 30 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนต์ เพื่อควบคุมให้กำลังสูญเสียในขณะสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ (ZVS) กำหนดระยะเวลาหน่วง (Dead time) ของการสวิตช์ไว้ที่ 1.5 ไมโครวินาที แล้วปรับเปลี่ยนช่วงภาระการทำงานในช่วงระหว่าง 1 0-20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อตรวจสอบค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการรวมถึงอุณหภูมิบนแผ่นเหล็กคาร์บอน ใช้เวลาทดสอบ 2 นาที

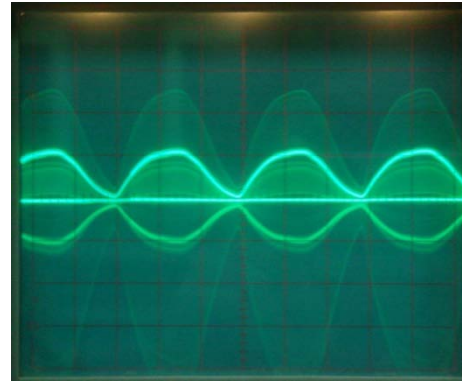
ตารางที่ 1 ผลการทดลองป้อนแรงดัน 110 โวลท์ นาน 2 นาที

ช่วงภาระ (เปอร์เซ็นต์)	กระแส RMS (แอมป์)	แรงดัน RMS (โวลท์)	กำลังไฟฟ้าเข้า (วัตต์)	เพาเวอร์แฟคเตอร์	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
10	2.04	109.2	191.6	0.87	82
15	2.40	109.6	234.1	0.90	89
20	3.06	106.4	310.5	0.91	98

เห็นได้ว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าค่อนข้างดีถึงแม้จะปรับช่วงภาระการทำงานเหลือเพียงแค่ 10 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม ในกระบวนการทำงานจริงของตู้อบจะไม่กำหนดค่าภาระการทำงานนี้ไว้เกินกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้เกินจากที่ออกแบบไว้ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในวงจรกำลัง

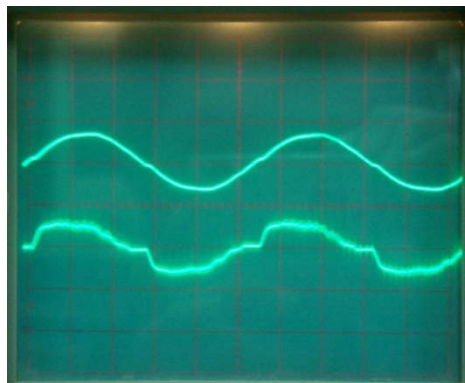


ก. รูปคลื่นแรงดัน (บน) และกระแส (ล่าง) ขาเข้า

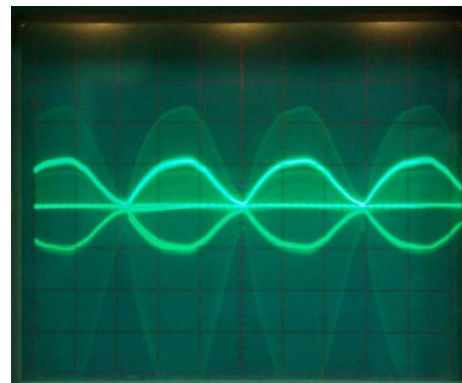


ข. แรงดันที่โหลดเหนี่ยวนำ

รูปที่ 12 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ D=10%



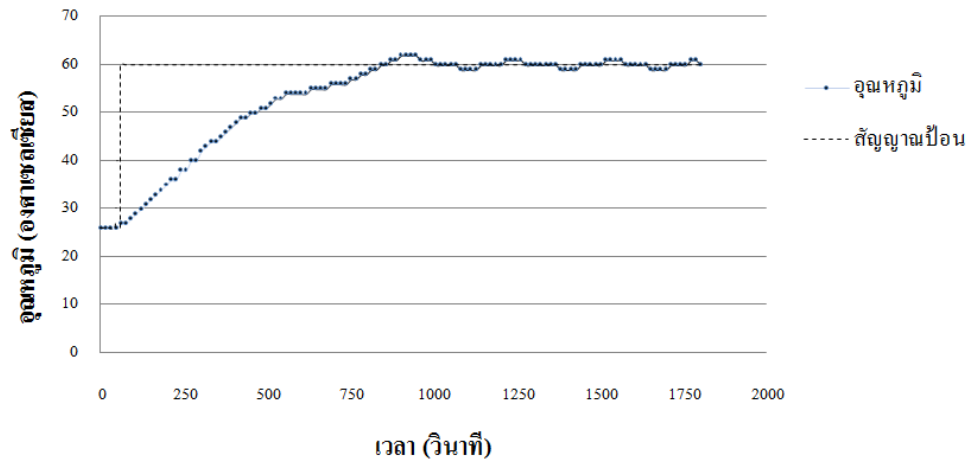
ก. รูปคลื่นแรงดัน (บน) และกระแส (ล่าง) ขาเข้า



ข. แรงดันที่โหลดเหนี่ยวนำ

รูปที่ 13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ D=20%

ทดลองการทำงานของตู้อบต้นแบบโดยตั้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 110 โวลท์ พร้อมวัดอุณหภูมิในตู้อบทุก 15 วินาที ใช้เวลาทดสอบ 30 นาที แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ภายในเวลา 30 นาที

จากรูปที่ 14 เริ่มต้นการกำหนดอุณหภูมิ จากนั้นจึงเริ่มการทำงานของตู้อบที่เวลา 60 วินาที ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส การทำงานของตู้สามารถเพิ่มอุณหภูมิจาก 26 องศาเซลเซียส ไปถึง 60 องศาเซลเซียส ภายในเวลาประมาณ 15 นาที

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบตู้อบขนาดเล็กโดยสร้างความร้อนขึ้นด้วยความร้อนเหนี่ยวนำเพื่อใช้แทนตู้อบแบบเดิมที่มีใช้อยู่ ในปัจจุบัน ตัวเครื่องออกแบบให้มีขนาดความจุ 100,800 ลูกบาศก์เซนติเมตร กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3 กิโลวัตต์ ขับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ไอจีบีทีด้วยเทคนิค Asymmetrical control มีความถี่โชนาต์ 24 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลการจำลองการทำงานให้ค่าประสิทธิภาพของชุดเหนี่ยวนำความร้อนประมาณร้อยละ 98.54 สามารถปรับกำลังได้ด้วยการปรับช่วงภาระการทำงานของไอจีบีที เพียงตัวเดียว จากการทดลองจริงโดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ และกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าตู้อบสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้จาก 26 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส ภายในเวลาประมาณ 15 นาที โดยใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 610 วัตต์และมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.9

จากภาพผลจำลองการทำงานของชุดเหนี่ยวนำพบว่าการกระจายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กบริเวณด้านหลังของขดลวดเหนี่ยวนำในปริมาณมาก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วัสดุแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสูงๆ แต่มีค่าความต้านทานต่ำวางประกบที่ด้านหลังของขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้สะดวกโดยที่ไม่เกิดความร้อนขึ้นในวัสดุแม่เหล็กนั้น และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้สามารถทำให้ดีขึ้นได้ด้วยการเพิ่มอัตราความเร็วของอากาศภายในตู้อบหรือกำหนดบริเวณส่งผ่านอากาศให้ไหลเวียนอย่างเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัท ธารงไทย อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัท ธารงไทย อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Valentin Nemkow “Basics of Induction Technique Part 2” URL: <http://www.fluxtrol.com>, access on 21/01/2012.
- [2] Young-Sup Kwon, Sang-Bong Yoo and Dong-Seok Hyun (1999) “Half-Bridge Series Resonant Inverter for Induction Heating Applications with Load-Adaptive PFM Control Strategy” IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition vol. 1 1999 p. 575- 581.
- [3] Yuki Kawaguchi, Eiji Hiraki, Toshihiko Tanaka and Mutsuo Nakaoka. “Basic Study of a Phase-Shifted Soft Switching High-Frequency Inverter with Boost PFC Converter for Induction Heating” Journal of Power Electronics vol. 8 No. 2 April 2008 pp. 192-198.
- [4] David Meeker “Finite Element Method Magnetics Version 4.2 User’s Manual”
- [5] Saichol Chudjuarjeen and Chayant Koompai. “Asymmetrical Control with Phase Lock Loop for Induction Cooking Appliances” IEEE Proceedings of ECTI-CON 2008.
- [6] Inder Bahl “Lump Elements for RF and Microwave Circuit” Artech House Inc. Norwood MA.

บทความนี้ส่งเข้ามาเมื่อ 3 กรกฎาคม 2555 และได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์เมื่อ 14 สิงหาคม 2555