การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด ขอนแก่น

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงอย่างง่าย สำหรับเหล็กผสมคาร์บอนทรงกระบอก

A Basic of High Frequency Induction Heater Machine for Cylindrical Ferrite Carbon Shape

ไพบูลย์ บุบผา
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
1761 ถ. พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์: 0-2321-6930-9 ต่อ 1212, 1213 โทรสาร: 0-2321-4444 E-mail: Phaib@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบาย การออกแบบเครื่องให้ความร้อนเหนี่ยวนำความถี่สูงอย่างง่าย สำหรับเหล็กผสมคาร์บอนทรงกระบอก โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงาน ซึ่งเครื่องนี้ประกอบด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบโหลดรีโซแนนซ์อนุกรม

เครื่องให้ความร้อนเหนี่ยวนำความถี่สูงสามารถปรับกำลังไฟฟ้าและปริมาณความร้อนได้ด้วยควบคุมความถี่ เครื่องนี้ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮริตซ์ กำลังไฟฟ้าด้านขาเข้าอยู่ในช่วง 0.5 – 1 กิโลโวลท์ ที่ช่วงความถี่ 20 – 48 กิโลเฮริตซ์ เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกินขนาด 0.5 – 1.5 เซนติเมตร

Abstract

This paper describes a design of “A basic of high frequency induction heater machine for cylindrical ferrite carbon shape” It mainly uses electromagnetic to induce for heating. This machine consist electronics circuits such as rectifier circuit, filter circuit and series resonance load Inverter.

The “High frequency induction heater machine” can adjust electrical power and heat volume by control frequency. It work for input voltage 220 volts at frequency 50 hertz. Electrical power input between 0.5 to 1 kilovolts ,frequency rang 20 to 48 kilohertz. We use for diameter 0.5 to 1.5 cm.

1.บทนำ

ทุกวันนี้ได้มีการนำเอาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้เป็นสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำกันมากขึ้น ซึ่งการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นปรากฏการณ์ของการเหนี่ยวนำโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่ากระแสไฟฟ้าสลับในวงจรทางด้านขดปฐมภูมิ จะก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำและเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสทางด้านทุติยภูมิ จากหลักการดังกล่าวจึงได้นำมาใช้ ในการให้ความร้อนเหนี่ยวนำกับชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเป็นสารเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

2. ทฤษฎีพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction Heating)

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเกิดจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและทางความร้อนร่วมกัน โดยมีสาเหตุมาจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) ,ปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin Effect) และ การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ซึ่งจากสาเหตุมูลฐานทั้งสามสามารถอธิบายการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำโดยย่อได้ดังนี้ เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเข้าสู่ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ที่มีชิ้นงานอยู่ภายใน กระแสไฟฟ้ากระแสสลับจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กคล้องผ่านขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กที่คล้องผ่านชิ้นงานที่เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กนี้ จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไหลในชิ้นงาน โดยกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงาน ในระดับความลึกผิว (δ , Skin Depth) กระแสไหลรอบชิ้นงานเป็นเส้นทางปิดจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ซึ่งความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสเหนี่ยวนำความต้านทานสมมูลย์ของเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปบริเวณอื่นโดยการแผ่รังสีที่บริเวณผิว ,การพาความร้อน และ การนำความร้อน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของชิ้นงานเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} = \sqrt{\frac{\rho}{\mu\pi f}} \qquad (1)$$

δ = ความลึกผิว (Skin Depth)
μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กชิ้นงาน
ρ = สภาพความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน
f = ความถี่กระแสไฟฟ้า

3.ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงอย่างง่าย สำหรับเหล็กผสมคาร์บอนทรงกระบอกมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ในการทำงานดังนี้คือ

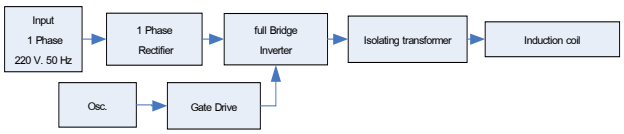
วงจรกำเนิดความถี่ ซึ่งจะใช้วงจรกำเนิดความถี่ขนาด 25 KHz โดยใช้ไอซี XR-2207 เป็นไอซีกำเนิดความถี่ เพื่อป้อนความถี่ให้กับวงจรขับเกทของ มอสเฟท ต่อไป

วงจรหน่วงเวลามีไว้เพื่อหน่วงเวลาการขับนำ มอสเฟท ของวงจรขับเกทซึ่งวงจรนี้จะประกอบไปด้วย IC เบอร์ 4011 และ 40106 ซึ่งทั้ง 2 ตัวนี้จะเป็น IC MOS ทั้งคู่

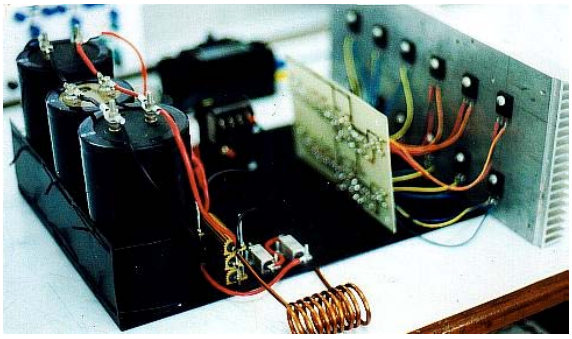
วงจรขับเกทวงจรนี้จะทำหน้าที่ขับนำ มอสเฟท ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์ ซึ่งภายในเครื่องนี้จะมีชุดวงจรขับเกท 2 ชุด เพื่อง่ายต่อการแยกกราวด์ก่อนที่จะไปขับนำ มอสเฟท

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ในการจ่ายสัญญาณ sine wave ให้กับหม้อแปลงส่งผ่านกำลังความถี่สูงอีกครั้งหนึ่ง และ วงจรอินเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมการจ่ายสัญญาณมาจากวงจรขับนำ มอสเฟท อีกที

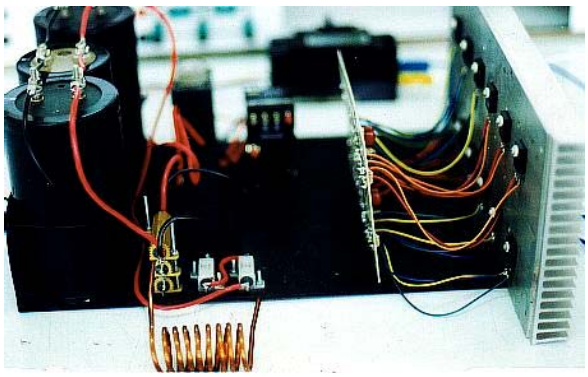
วงจรจ่ายไฟภาคกำลังซึ่งวงจรนี้จะรับแรงดันไฟขนาด 220 Volt 50Hz เข้ามา แล้วเปลี่ยนให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนที่จะส่งไปเลี้ยงวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งภาค เอาท์พุต ของวงจรจ่ายไฟนี้มีขนาด 311 Volt DC และเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงมีบล็อกไดอะแกรมทำงานดังนี้ และแสดงตัวเครื่องจริงดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ



รูปที่ 2 การยึดอุปกรณ์และจัดวางวงจรต่าง ๆ ของเครื่อง



รูปที่ 3 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงต้นแบบ

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองการให้ความร้อนและกำลังไฟฟ้าอินพุต

ในการทดสอบจะวัดอุณหภูมิโดยวัดที่บริเวณผิวของชิ้นงานเป็นองศาเซลเซียสดังตารางที่ 1 โดยทดสอบกับเหล็กทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร แล้วทำการปรับความถี่การทำงานของอินเวอร์เตอร์ค่าต่าง ๆ กัน ส่วนในตารางที่ 2 เป็นการทดสอบให้ความร้อนกับเหล็กทรงกระบอกตันขนาดต่าง ๆ กัน โดยให้ความถี่การทำงานของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ในการทดสอบใช้ความถี่รีโซแนนซ์ของชุดโหลดประมาณ 100 กิโลเฮิร์ต

ตารางที่ 1ให้ความร้อนกับชิ้นงานเหล็กทรงกระบอกกลวงความถี่ต่าง ๆ

เวลา (S.)	5	10	15	20	25	30	35	40
F=25 KHz	56	74	92	108	126	140	151	158
F=35 KHz	85	114	142	158	172	192	208	221
F=45 KHz	120	157	179	207	232	261	294	315

จากตารางที่ 1 พบว่าปริมาณความร้อนที่ชิ้นงาน จะสัมพันธ์กับค่าของความถี่ กล่าวคือ ยิ่งความถี่สูงขึ้น ปริมาณความร้อนที่ชิ้นงานก็จะสูงตามด้วย และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับเวลากล่าวคือถ้าเวลายิ่งมากความร้อนที่ชิ้นงานก็จะสูงตามด้วย

ตารางที่ 2ให้ความร้อนกับชิ้นงานเหล็กทรงกระบอกตันความถี่ 40 KHz

เวลา (S.)	5	10	15	20	25	30	35	40
ϕ6.5 mm.	84	181	183	206	235	258	285	325
ϕ9.5 mm.	79	110	139	164	186	208	235	259
ϕ13 mm.	80	118	149	179	200	234	259	299

จากตารางที่ 2 ความร้อนที่ชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อขนาดของชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้เหมาะกับงานที่จะนำไปใช้อีกทีหนึ่ง

5.วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ อาศัยปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและทางความร้อนร่วมกันโดยมีสาเหตุมาจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏการณ์ผิว และการถ่ายเทความร้อน ทำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงานเองเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งมีส่วนสำคัญ คือแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับความถี่สูงและขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

การออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะแบ่งเป็นสองส่วน คือส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนของวงจรภาคกำลังจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ เป็นไฟตรงแล้วจึงป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบโหลดรีโซแนนซ์อนุกรมแบบฟูลบริดจ์เพื่อแปลงเป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง ที่มีโหลดประกอบด้วยหม้อแปลงส่งผ่านกำลัง ตัวเก็บประจุและขวดลวดให้ความร้อน การทำงานของอินเวอร์เตอร์จะใช้

มอสเฟทกำลังทำหน้าที่เป็นสวิตช์ซึ่งถูกต่อในลักษณะขนานกันเพื่อเพิ่มอัตราทนกระแสและมีวงจรสนับเบอร์สำหรับลดการสูญเสียที่มอสเฟทกำลัง ในส่วนของวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วย วงจรกำเนินสัญญาณที่รับอินพุตเป็นแรงดันแล้วทำการเปลี่ยนเป็นความถี่ วงจรควบคุมสัญญาณ วงจรขับเกท วงจรป้องกันกระแสและแรงดันเกินเพื่อป้องกันการเสียหายของมอสเฟท และวงจรตรวจค่ากระแสเป็นศูนย์ที่คอยตรวจค่ากระแสเอาต์พุตและป้อนกลับมาควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์

จากการทดสอบการทำงานเครื่องสามารถรับอินพุตที่ป้อนให้กับเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงเป็นไฟสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ เครื่องให้ความร้อนที่สร้างขึ้นนี้สามารถให้ความร้อนกับเหล็กผสมคาร์บอนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร

ปัญหาของบทความ สามารถสรุปได้ดังนี้

1.การเลือกใช้อุปกรณ์ในภาคกำลังในส่วนของอินเวอร์เตอร์จากค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นไม่มีจำหน่าย อีกทั้งบางอย่างยังมีความเปราะบางและสูญเสียได้ง่าย จำเป็นต้องใช้ค่าใกล้เคียงและใช้วิธีการถอดจากเครื่องที่ใช้แล้วมาดัดแปลงใช้ในการสร้าง

2. มอสเฟทที่ใช้มีอัตราทนกระแสต่ำทำให้จำเป็นต้องใช้มอสเฟทต่อขนานกันหลายตัว ทำให้มีขนาดของแผ่นระบายความร้อนใหญ่และวงจรขับเกทจำเป็นต้องจ่ายกระแสได้สูง

3.ปริมาณความร้อนที่เกิดในวงจรค่อนข้างสูงทั้งในส่วนของสนับเบอร์ มอสเฟท และแกนเฟอร์ไรท์ขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นหม้อแปลงการส่งผ่านกำลัง ทำให้เครื่องต้องมีขนาดใหญ่เพื่อระบายอากาศ และการระบายความร้อนสำหรับมอสเฟทและสนับเบอร์จำเป็นต้องมีพัดลม

4. ขดลวดให้ความร้อน นั้นมีจำนวนรอบน้อยมีค่าเหนี่ยวนำต่ำมากทำให้ไม่สามารถใช้เป็นโหลดโดยตรงของอินเวอร์เตอร์ได้ จึงต้องใช้หม้อแปลงเพื่อเพิ่มค่าเหนี่ยวนำทำให้เกิดการสูญเสียที่หม้อแปลงส่งผ่านกำลังบ้าง

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการใช้เครื่องและปัญหาที่กล่าวมามีข้อเสนอแนะดังนี้

1.การให้ความร้อนยังต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้น ควรที่จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องให้มากขึ้น โดยทำการเปลี่ยนค่าของโหลดให้มีค่าเหนี่ยวนำของหม้อแปลงลดลงหรือเพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุโหลดแต่จะมีผลต่อความถี่ของชุดโหลดและการเพิ่มกำลังจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนมอสเฟท หรืออัตราทนกระแสของมอสเฟทกำลัง โดยส่วนของวงจรควบคุมยังใช้ได้เหมือนเดิมเพราะมีประสิทธิภาพดี

2.การทำงานของอินเวอร์เตอร์ควรให้ทำงานที่โหมดกระแสต่อเนื่อง โดยให้ความถี่สวิตซึ่งมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงที่สุดกับความถี่รีโซแนนซ์ของโหลดซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องนั้นเพิ่มขึ้น แต่จำเป็นต้องเปลี่ยนมอสเฟทกำลังให้มีอัตราทนที่สูงขึ้น

3.ขดลวดให้ความร้อน เกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากความร้อนจากชิ้นงาน ดังนั้น ควรทำการระบายความร้อนสำหรับขดลวดให้ความร้อนด้วยการใช้ท่อทองแดงสร้างขดลวดให้ความร้อนแล้วใช้น้ำระบายความร้อนผ่านท่อแทนขดลวดให้ความร้อน

4.ทำการเพิ่มส่วนควบคุมสำหรับการควบคุมอัตโนมัติให้เครื่องทำงานที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอดเวลา ซึ่งทำได้โดยการตรวจค่าดิ้วตี้ไซเคิ้ลของสัญญาณที่ขับเกทแล้วแปลงให้เป็นแรงดันป้อนกลับเข้ามาสู่แรงดันอินพุต ในสวนของการกำเนิดสัญญาณ

5.การแก้ปัญหาเกี่ยวกับอัตราทนกระแสของมอสเฟทที่มีลักษณะเป็นโมดูล แต่จะมีราคาค่อนข้างแพง ซึ่งจะลดปัญหาการสูญเสียและความร้อนลงได้

6.ควรทดสอบและปรับปรุงวงจรสนับเบอร์ให้มีการสูญเสียในเรื่องของความร้อน ซึ่งอาจจะลดความถี่ของการทำงานหรือทำการระบายความร้อนที่ดีให้กับวงจรสนับเบอร์และมอสเฟสกำลัง

7.ถ้าสามารถใช้มอสเฟทที่อัตราทนกระแสสูงได้ ก็ทำให้เครื่องสามารถใช้ขดลวดให้ความร้อนเป็นโหลดกับอินเวอร์เตอร์ได้โดยตรงและยังเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่อง จึงจะมีผลดีต่อการให้ความร้อนกับชิ้นงานและประสิทธิภาพรวมของเครื่อง

8.การเพิ่มกระแสที่ขดลวดให้ความร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนด้วยวิธีการต่อชุดโหลดเป็นแบบขนาด และเพิ่มวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงอินพุต ของวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรเรียงกระแสแบบปรับมุมนำกระแสได้ หรือใช้วงจรปรับไฟตรงแบบชอปเปอร์ (Chopper)

6. เอกสารอ้างอิง

[1]มนัส สังวรศิลป , สมเกียรติ ศุภเดช “ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลซ์” , กรุงเทพมหานคร,สำนักพิมพ์ อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ , 2544

[2]ยืน ภู่วรวรรณ , “เทคนิคการประยุกต์ และ การใช้งานลิเนียร์ไอซี เล่ม 1“ ,กรุงเทพมหานคร,บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2521

[3]ยืน ภู่วรวรรณ , “ทฤษฎี และ การใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3“ , กรุงเทพมหานคร,บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2521

[4]สิทธิชัย โภไคยอุดม ,”วงจรขยายสัญญาณโอเปอร์เรชั่นแนล”, กรุงเทพมหานคร , บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด ,2522

[5]Van Valkenburg, “Analog Filter Design” ,USA. , Holt, Rinchart and Winston,1987.