

อินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์

สุขุม หลานไทย¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างแบบจำลองเตาหลอมโลหะ โดยใช้หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติ เพื่อใช้สำหรับงานวัสดุศาสตร์ และทดสอบการทำงานของแบบจำลองโดยใช้ ชิ้นงานที่ต้องการให้ความร้อน เป็นเหล็กขนาด M6, M8, M 10 และศึกษาอิทธิพลของความถี่ในการแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้กับวัสดุโดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการลดความถี่เทียบกับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน

ผลการลดความถี่เทียบกับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน พบว่าที่ความถี่ในการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ต่ำลง จะใช้เวลาในการทำให้ชิ้นงานร้อนลดลงด้วย เนื่องจากเป็นสภาวะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าต่ำสุด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดมีค่ามากที่สุด

2. ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของค่าความถี่ที่ใช้งาน

ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของค่าความถี่ที่ใช้งาน พบว่าที่สภาวะรีโซแนนซ์จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อ การให้ความร้อนโดยอาศัยการเหนี่ยวนำ เพราะเป็นสภาวะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าต่ำสุด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดและเกิดเป็นพลังงานความร้อนได้มากที่สุด

3. ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดที่ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่แตกต่างกัน

ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดที่ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่แตกต่างกัน พบว่าที่ค่าความถี่เท่ากันและค่าของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสเอาท์พุทอินเวอร์เตอร์มีค่าลดลง ดังนั้นที่ ค่าความถี่เดียวกันและค่าของตัวเก็บประจุต่างกัน การดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดก็จะแตกต่างกันออกไป

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติ วัสดุศาสตร์ อิทธิพลของความถี่ในการแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

AN AUTOMATIC VARIABLE FREQUENCY INVERTER FOR MATERIAL APPLICATIONS

SUKHUM HLANTHAI¹

ABSTRACT

This research has the objective. For study designs and it builds the metal blast furnace model. By use the principle works of Automatic Variable Frequency Inverter for Material Applications. and work use the worker of the model by at want for the heat. Be the size iron as M6, M8, M10. Study the influence of the frequency. The energy carrying forward influence of the translation frequency in for is the heat one inventory with by have testing as follows.

1. The frequency decrement compares with and while it uses in the heat giving.

The one compares with and while it uses in the heat giving. Meet the frequency acting to switch inverter meet the low frequency to use the time in the doing to give the hot work acting. Will use in the decreasing doing for the hot work and because of be the condition of impedance in the decreasing. Make the electric current to be valuable most

2. The electric current pull of the frequency value at use

The electric current pull of the frequency value at use. Meet the condition acting of resonance. It will be the most most heat condition at be appropriate for The heat giving by live the induction. And because be the condition impedance. It is valuable minimumly. Energy can be heat be born and most.

3. The electric current pull of the capacitor is different.

The electric current pull of the capacitor is different. Meet the times value acting The frequency value is same and The capacitor value goes up. Will do the inverter current valuable to decrease low. Thus at the frequency value is same and The inverter current value picks to load differently. The electric current pull of will go out.

Keywords: Automatic Variable Frequency Inverter, Material Applications, the influence of the frequency is the heat one inventory.

¹ Lecturer, technology electrical. Faculty of Industrail technology. rajabhatpactburee University.

บทนำ

อุตสาหกรรมโลหะเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานในการพัฒนาประเทศ โลหะในประเทศส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ในประเทศไทยได้มาจากการหลอมโลหะจากเศษโลหะเป็นหลัก โดยอุตสาหกรรมการผลิตโลหะจากเศษโลหะนี้ ได้แก่ อุตสาหกรรมหลอมอะลูมิเนียม อุตสาหกรรมหลอมตะกั่ว อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก และอุตสาหกรรมหลอมทองแดง สืบเนื่องจากปริมาณแร่ที่จะผลิตโลหะขั้นปฐมภูมิในประเทศไม่เพียงพอ มีผู้ประกอบการหลายรายจึงได้ผลิตโลหะจากเศษโลหะ ในแต่ละปีประเทศไทยมีการนำเข้า และส่งออกเศษโลหะ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับเศษโลหะในประเทศไม่เพียงพอและมีคุณภาพต่ำ เศษโลหะที่นำเข้าส่วนใหญ่เป็นเศษโลหะชั้นคุณภาพเพื่อนำมาปรับปรุงน้ำโลหะให้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้นการพัฒนาเตาหลอมโลหะที่ไม่ทำให้มีมลภาวะของเสียต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากเตาหลอมแบบเก่า ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวัสดุศาสตร์อีกประการหนึ่ง ซึ่งงานทางด้านวัสดุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการหลอมโลหะ องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของการหลอมโลหะ คือเตาหลอมโลหะ ซึ่งประเภทของเตาหลอมโลหะที่ใช้อยู่โดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของรูปแบบของการให้ความร้อน การให้ความร้อน สามารถที่จะใช้เชื้อเพลิงหรือกระแสไฟฟ้า การให้ความร้อนโดยการใช้เชื้อเพลิงมีความยุ่งยากและไม่สามารถควบคุมได้ง่าย ส่วนการใช้กระแสไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวกมากกว่า ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเตาหลอมโลหะแบบอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์ จึงมีความจำเป็นและเหมาะสม เพื่อที่จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถที่จะลดต้นทุนในการสร้างเตาหลอมโลหะจริง เนื่องจากแบบจำลองเป็นการย่อส่วนเตาหลอมโลหะ และสามารถที่จะใช้งานจริงได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้ผู้วิจัย จึงต้องการที่จะทดลองการหลอมโลหะโดยการใช้วิธีการอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์ เพื่อทดสอบตามเงื่อนไขต่าง ๆ และสร้างแบบจำลองให้สามารถใช้ได้จริง เพื่อที่จะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

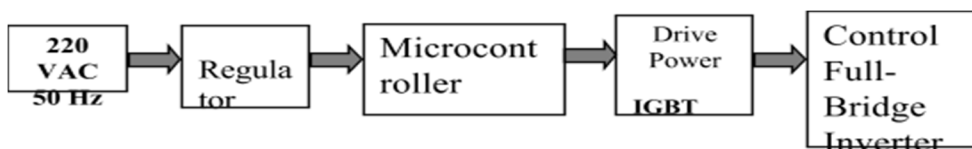
เพื่อสร้างแบบจำลองเตาหลอมโลหะแบบอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์ และสามารถจำลองการหลอมโลหะตัวอย่างได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยการศึกษาหลักการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าที่เกิดภายในชิ้นงาน การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังวงจรควบคุมการทำงาน การระบายความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาแนวคิด หลักการทำงาน และการออกแบบวงจร
2. ขั้นตอนในการสร้างอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์
3. การทดสอบและเก็บข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

แนวคิดและหลักการออกแบบ ในส่วนของงานวิจัยนี้

1. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์ เป็นวงจรทำหน้าที่สร้างสัญญาณ และส่งสัญญาณที่สร้างนั้นไปควบคุมการทำงานของสวิทช์ ไอจีบีที ในวงจรอินเวอร์เตอร์เต็มบริดจ์สัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะมีขนาดแรงดัน 15 โวลต์จะส่งไปที่ขาเกตของสวิทช์ ไอจีบีทีและจุดกราวด์จะต่อกับขาซอร์ส ของสวิทช์ ไอจีบีที สัญญาณควบคุมจะมีอยู่ 2 สัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของสวิทช์ไอจีบีทีแต่ละตัวการควบคุมแบบนี้จะทำให้สามารถควบคุมความถี่ของสัญญาณที่จะส่งไปยังอินเวอร์เตอร์เต็มบริดจ์ได้ ทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เต็มบริดจ์ได้



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการจุดชนวนของสวิทช์ ไอจีบีทีวงจรกำลังขึ้นตอนในการสร้างอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์

1. ศึกษาจาก เอกสารทางวิชาการ หนังสือ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ ที่มีเนื้อหาสอดคล้องเกี่ยวข้องกับงานวิจัยเรื่อง อินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์
2. สร้างแผนผังกรอบการดำเนินงานเพื่อจัดสร้างสิ่งประดิษฐ์นี้
3. ดำเนินการศึกษาออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์
4. ดำเนินการประกอบชุดอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติ
5. ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่อง ให้มีความสามารถปรับความถี่ที่ 20 kHz และให้ได้ความร้อน 200 °C ขึ้นไป

6. ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น โดย

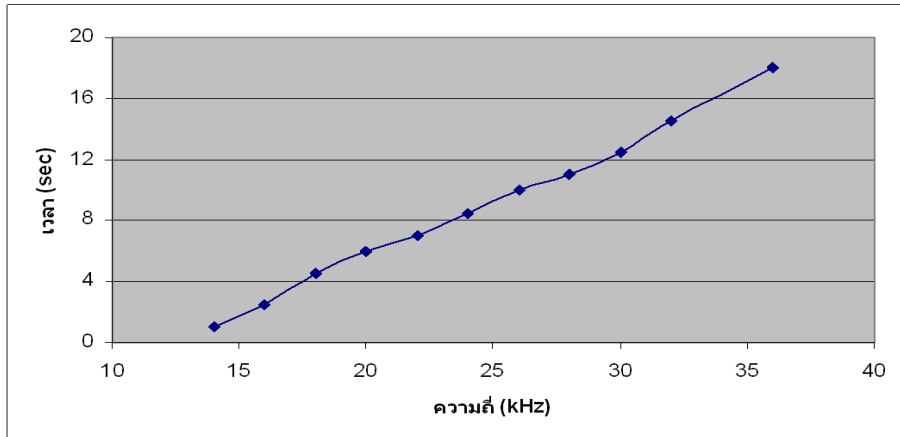
- 6.1 ผลการลดความถี่เทียบกับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน
- 6.2 ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของค่าความถี่ที่ใช้งาน
- 6.3 ผลการดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดที่ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องจะใช้ ชิ้นงานที่ต้องการให้ความร้อน เป็นเหล็กขนาด M6, M8, M 10 และศึกษาอิทธิพลของค่าความถี่ในการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนให้กับวัสดุโดยมีการทดสอบ

ผลการวิจัย

1. ผลการลดความถี่เทียบกับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน

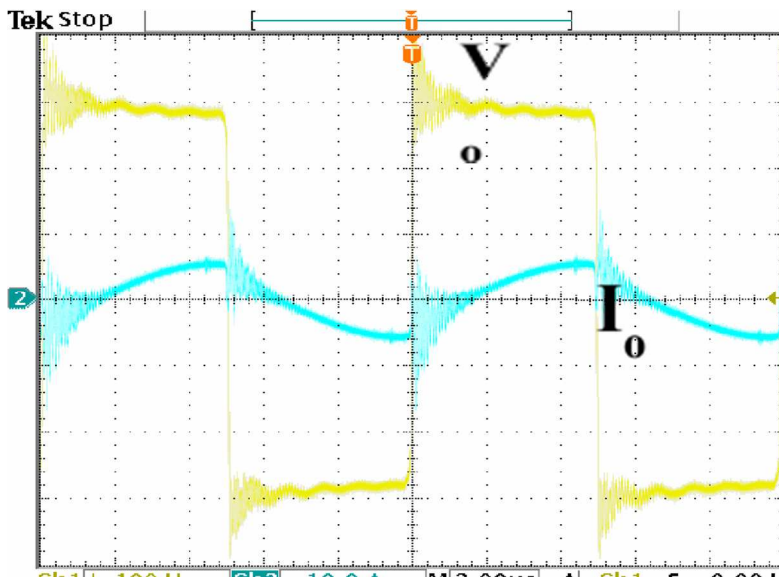
เริ่มจากการปรับความถี่เริ่มต้นไว้ที่ 15 kHz และปรับแรงดันคงที่ 65 Vac โดยมีสถานะโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงานต่อมาลดค่าความถี่ และจับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน จะได้ผลดังภาพที่ 20 ซึ่งพบว่าที่ความถี่ในการสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์ต่ำลงจะใช้เวลาในการทำให้ชิ้นงานร้อนลดลงด้วย เนื่องจากเนื่องจากเป็นสภาวะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าต่ำสุดทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดมีค่ามากที่สุด



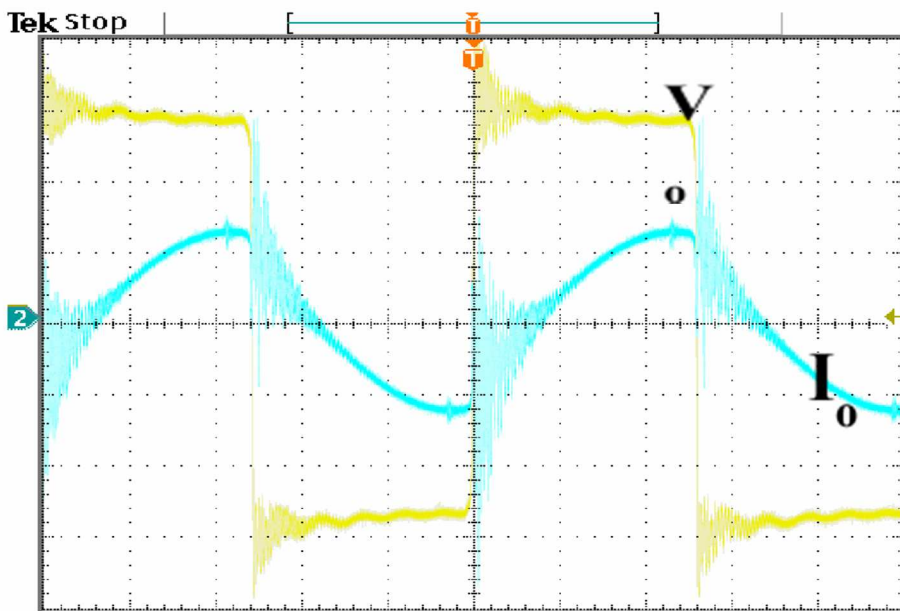
ภาพที่ 2 แสดงความถี่กับเวลาที่ทำให้ชิ้นงานร้อน

2. ผลการดิงกระแสไฟฟ้าของค่าความถี่ที่ใช้งาน

ปรับความถี่เริ่มต้นไว้ที่ 30 kHz ,ปรับแรงดันคงที่ 65 Vac และใช้ค่า C = 5.5 μ F แล้วทำการวัดกระแสของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ต่อมาลดค่าความถี่ลงมาครั้งละ 2 kHz และได้ผลการทดลองแสดงภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ความถี่ 30 kHz

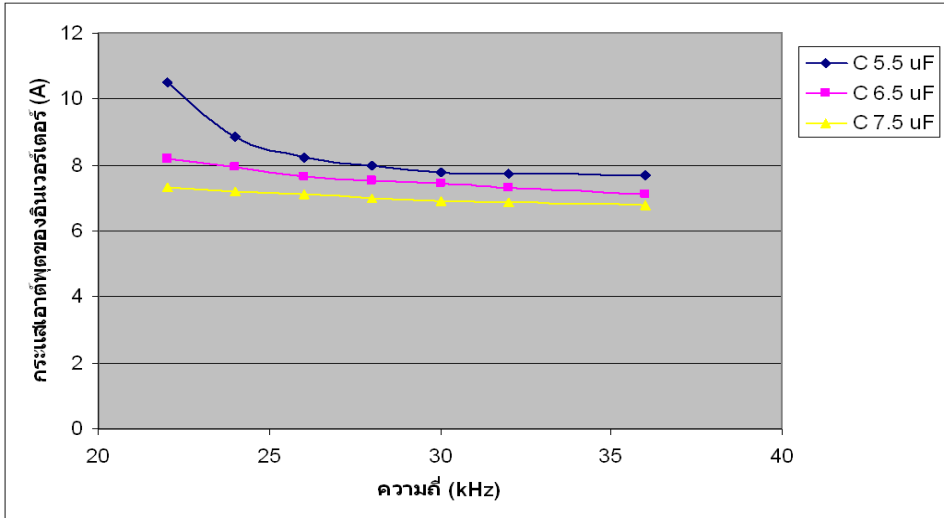


ภาพที่ 4 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ความถี่ 22 kHz

จากการทดลองจะพบได้ว่า ที่สภาวะรีโซแนนท์จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการให้ความร้อน โดยอาศัยการเหนี่ยวนำ เพราะเป็นสภาวะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าต่ำสุด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดและเกิดเป็นพลังงานความร้อนได้มากที่สุด นอกจากนั้นจะเห็นว่าถ้าโหลดทำงานที่ความถี่สูงหรือต่ำกว่าความถี่รีโซแนนท์ จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดน้อยลงและทำให้โหลดได้รับพลังงานความร้อนน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นในการใช้งานต้องคำนึงถึงค่าความถี่ที่ใช้งานด้วย

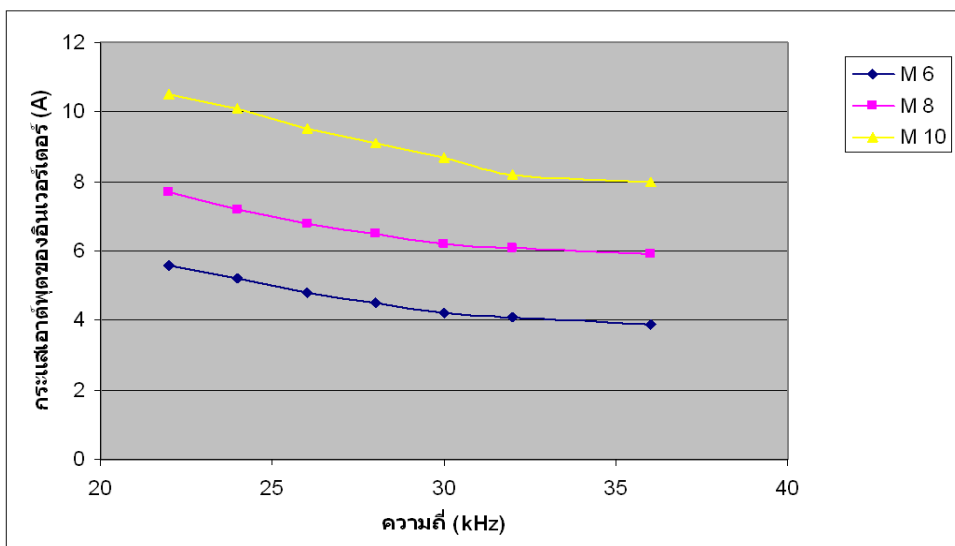
3. ผลการดิงกระแสไฟฟ้าของโหลดที่ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่แตกต่างกัน

ปรับความถี่เริ่มต้นไว้ที่ 22 kHz ,ใช้ค่า $C = 5.5 \mu\text{F}$,ปรับแรงดันคงที่ 65 Vac โดยมีสถานะโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน แล้วทำการวัดกระแสของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ ต่อมาเพิ่มค่าความถี่และเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ เป็น $6.5 \mu\text{F}$ และ $7.5 \mu\text{F}$ จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 23



ภาพที่ 5 กระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุและความถี่

จากภาพที่ 5 เมื่อมีการเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุและค่าความถี่ในการสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์จะพบว่าที่ค่าความถี่เท่ากันแต่ค่าของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์มีค่าลดต่ำลง ดังนั้นที่ค่าความถี่เดียวกันและค่าของตัวเก็บประจุต่างกัน การดึงกระแสไฟฟ้าของโหลดก็จะย่อมแตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 6 กระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน้าตัดและความถี่

จากภาพที่ 6 พบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่ง เหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าจะให้ค่าของกระแสเอาต์พุต อินเวอร์เตอร์ต่ำกว่าเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ เพราะว่าเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กกระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับ ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนก็จะมาก ทำให้โพลดมีการดึงกระแสลดลง ดังนั้นในการออกแบบงานจริงต้องทำให้ ชิ้นงานมีขนาดใกล้เคียงกับขดลวดเหนี่ยวนำมากที่สุดเพื่อเกิดการดึงกระแสเอาต์พุตสูงและชิ้นงานจะร้อนเร็ว มากขึ้น

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองเครื่องให้ความร้อนแบบอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงานวัสดุศาสตร์ สามารถหลอมละลายโลหะโดยการใช้วิธีการสร้างสนามแม่เหล็ก ให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นที่ชิ้นงาน ซึ่ง จะทำให้เกิดค่าการสูญเสียขึ้น เนื่องจากค่าฮิสเทอรีซิส(Hysteresis Loss) และค่ากระแสไหลวน (Eddy Current loss) สำหรับใช้ในงานวัสดุศาสตร์ ตอบสนอง ณ ย่านความถี่ 20 KHz สามารถเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานจนกระทั่ง หลอมละลายได้ในเวลาไม่เกิน 1 นาที ตามตารางผลการทดลอง

ตารางแสดงผลการทดลองชิ้นงาน

ขนาดชิ้นงาน	อุณหภูมิ(°C)	แรงดันอินพุต(V)	กระแสเอาต์พุต(A)	เวลาที่ใช้(วินาที)
M 6	107.4	65	17.69	10
M10	184.1	65	18.68	12

จากตารางแสดงผลการทดลองชิ้นงาน ทำให้ทราบว่า อินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่อัตโนมัติสำหรับงาน วัสดุศาสตร์ตอบสนอง ณ ย่านความถี่ 20 KHz มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการหลอมละลายชิ้นงานที่เป็นโลหะ ประเภทที่มีจุดหลอมละลายไม่สูงมากนักเช่น ทองแดง อลูมิเนียม ทองเหลือง เป็นต้น และสามารถนำไปใช้ได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. การทำวิจัยการทำวิจัยในครั้งนี้ต้องมีการเลือกและระมัดระวังตัวกับประจุให้มีค่าความเก็บประจุที่มี ขนาดใหญ่ประมาณ 220v 10000 μf เพราะต้องสัมพันธ์กับการสร้างสนามแม่เหล็ก
2. อุปกรณ์ในการให้ความร้อนกับวัสดุควรเป็นเบ้าหลอมที่เป็นโลหะทำจากสแตนเลสเพราะจะมีจุด หลอมละลายสูง

ข้อเสนอแนะงานวิจัยในครั้งต่อไป

1. วงจรสร้างความถี่สูงเพื่อการสร้างสนามแม่เหล็กต้องพัฒนาวงจรใหม่และเพื่อระบบระบายความร้อน
2. ขดลวดหรือจุดถ่ายเทความร้อนจากวงจรไปยังเบ้าหลอมละลายโลหะควรที่จะพัฒนาให้มีความ ด้านทานต่ำและจุดหลอมละลายสูง

เอกสารอ้างอิง

- กระวี จันทรสีมารวรรณ และชัยณรงค์ ศักดิ์ศรี. การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โคม อารียา, ยุทธนา กุลวิฑิต และ วิจิตรวรรณ ประกอบสันติสุข. (2530). การออกแบบและสร้าง เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำขนาด 2 kW. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 11 จีระพงค์ ศรีวิชัย และภาวดี ทิพย์มาก. (2546). เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแบบอินเวอร์เตอร์. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน. สมคิด องค์กรตันประทาน, ประภาส ไพรสสุวรรณ. (2536). การนำหลักการอินเวเตอร์มาใช้ทางด้านการ หลอม โดยการเหนี่ยวนำ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม ไฟฟ้าครั้งที่ 16, หน้า 57-60. สุรพล เขียวมนตรี, ยุทธนา กุลวิฑิต. (2537). เครื่องให้ความร้อน แบบเหนี่ยวนำ สำหรับให้ความร้อนเบื้องต้น แก่ลวดตัวนำ ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17, หน้า 14-18. สุวัฒน์ ดั้น. (2537). เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซีฟฟลาย. กรุงเทพฯ : บริษัท เอนเทล ไทยจำกัด.
- อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, ยุทธนา กุลวิฑิต. (2537). เครื่องให้ ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ เอส ซี อาร์ สำหรับ ลด ความเครียดในแท่งเหล็ก. ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17, หน้า 19-24.
- Davies and Simpson, P. (1979). Induction Heating Handbook. McGraw-Hill.
- Dede, E.J. Esteve, V. Gonzalez, J.V. Garcia, J. Lapiedra L. and Fernandez. M. (1991). Design of A Series Resonant Converter For Induction Heating. IEEE pp.1384-1387
- Fujita, H. Akagi, H. Mita, K. and Leonard, R.H. (1993). Pulse Density Modulation Based Power Control of 4 kW 400 kHz Voltage-Source Inverter for Induction Heating Applications” PCC-Yokohama, pp 111- 116.
- Ogiwara, H. Nagai, S. Nakaoka, M. and Hamada, S. (1990). The State-of-the Art Advanced Developments of Series- Resonant High-frequency Inverter Using Static Induction Transistors/Power Modules.” IEEE pp 2040- 2048.
- Mohan, Ned., Undeland, M. Tore and Robbins P. William. (1993). Power Electronics Converter: Application and design, 2nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- N.S.Gehlot and P.J.Alsina. (1990). Medium Frequency Dead Beat Controlled PWM Inverter with Parameter Estimation for Induction Heating. IEEE. pp 209-334.
- Frank, W.E. and Der, C.F. (1982). Solid State RF Generators for Induction Heating Applications. Appl. Soc. Meet; IEEE Ind. pp 285-290.
- Zinn and Semiatin, S.L. (1991) .Elements of Induction Heating Design, Control, and Applications. Electric Power Research Institute, Inc.
- <http://www.nidambe11.net/ekonomiz/2005q1/article2005jan20p6.html>