การออกแบบและสร้างชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะด้วยอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ร่วมกับวงจรเรโซแนนท์แบบขนาน

The Design and Construction of Induction Heating Unit for Forming Metal using Half-Bridge Inverter with Parallel Resonant Circuit

ธนัช เอกเกื้อกูล[1] และ ชัยพร อัดโดดดร[2]

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น[1, 2]

199/19 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000[1, 2]

E-mail: chaiporn2517@gmail.com[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะด้วยอินเวอร์เตอร์ฮาล์ฟบริดจ์ร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน โดยใช้วงจรกำลังมอสเฟสเพื่อใช้ควบคุมเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ โดยมีการทำงานดังนี้ จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระสลับขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ผ่านสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อกรองสัญญาณให้เรียบและแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เพื่อควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไหลคงที่และจ่ายให้กับวงจรกำลังมอสเฟสเพื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับออกมาซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูงใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยมีความถี่อยู่ในช่วง 87 กิโลเฮิรตซ์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในชิ้นงาน จากผลการทดสอบ จะพบว่า ที่ความถี่เรโซแนนซ์จะมีการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน และส่งผลต่อการสูญเสียกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตวงจรกำลังมอสเฟตด้วยชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปด้วยหลักการเหนี่ยวนำโดยใช้เหล็กแต่ละชนิดและขนาดที่ต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่เหล็กโดยใช้เวลา 45 วินาที อุณหภูมิ 550 - 777 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพสูงสุด 96.85% ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากเครื่องให้ความร้อนเพื่อการขึ้นรูปด้วยหลักการเหนี่ยวนำทำให้การขึ้นรูปของชิ้นงานสะดวกสบายมากขึ้นต่อการทำงาน ระยะเวลาในการให้ความร้อนเร็วขึ้น ใช้ปริมาณพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายเพราะเครื่องมีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาลง

Abstract

This article presents the design and construction of induction heating unit for forming metal using half-bridge inverter with parallel resonant circuit by using a MOSFET power circuit to control the induction heating in which the operation is to supply 220 volts and 50 Hz switching power supply via switching power supply to filter the signal smooth and convert the AC voltage to 24 volts direct current to control

the constant current and supply it to the power MOSFET circuit for the AC voltage which resembles a square wave with a high frequency similar to the resonant frequency with a frequency of 87 kHz, resulting in an electromagnetic field and an electric eddy current in workpiece. From the experimental results, it was found that at the resonant frequency, the electrical energy is transmitted the most. The time it takes to heat the workpiece depends on the workpiece size and affect the loss of current, power output of power MOSFET circuit as well. Induction heating sets for forming with induction principles using iron, but different types and sizes when heating the iron in 45 seconds, 550 - 777 degrees Celsius, maximum efficiency of 96.85%. The benefits of a heating devices with electrical induction for forming make the workpiece more comfortable to work, faster heating time and uses less energy when compared to the use of fuel, can be easily moved because the devices is smaller, lighter.

1. คำนำ

ปัจจุบันการให้ความร้อนโลหะต้องอาศัยการใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ซึ่งมีต้นทุนที่สูง เป็นอันตรายอย่างมากต่อผู้ใช้งาน และต้องใช้เวลาในการทำความร้อนเป็นเวลานานมาก จึงได้มีการศึกษาเครื่องให้ความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะด้วยหลักการเหนี่ยวนำขึ้น สำหรับแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อนที่สามารถใช้ได้กับความถี่สูง 10 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไป โดยการใช้งานที่ความถี่สูงนี้สามารถช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ลงไปได้อย่างมาก และยังสามารถให้กำลังได้ในระดับสูงๆ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการเหนี่ยวนำได้ถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น เตาหลอมโลหะ เตาขึ้นรูปชิ้นงานโลหะ เตาเชื่อมชิ้นงาน และเนื่องจากเครื่องให้ความร้อนเพื่อการขึ้นรูปด้วยหลักการเหนี่ยวนำเป็นเครื่องใช้สำหรับให้ความร้อนกับโลหะ และวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับชิ้นงาน โดยในโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ นิยมนำเครื่องให้ความร้อนแก่โลหะมาแทนการใช้เตาเผาเพื่อให้ความร้อน เตาหลอม การเชื่อม เป็นต้น ซึ่งเตาเผาและเตาหลอมจะใช้วัสดุเชื้อเพลิงในปริมาณมาก ๆ ที่จะทำให้เหล็กหรือโลหะเกิดการเปลี่ยนสถานะได้จากของแข็งเมื่อได้รับความร้อนมาก ๆ จึงจะทำให้เหล็กขยายตัว ซึ่งจะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในปริมาณที่มาก ๆ และมากกว่าการใช้เครื่องให้ความร้อนแก่โลหะโดยการเหนี่ยวนำซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้เชื้อเพลิงกับค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ให้ปริมาณงานที่เท่ากัน การใช้เครื่องให้ความร้อนแก่โลหะโดยการเหนี่ยวนำจะคุ้มค่ากว่าการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงจะทำลายบรรยากาศ และธรรมชาติด้วย ในงานที่ใช้การทุบขึ้นรูปโลหะหรือในงานขึ้นรูปโลหะ จะใช้ความถี่ประมาณ 10 กิโลเฮิรตซ์ - 100 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนการเชื่อมเหล็กหรือโลหะใช้การปรับแต่งความถี่ไปในย่านที่สูงๆประมาณ 100 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไป ส่วนในงานของกระบวนการหลอม จะใช้ในย่านความถี่ต่ำ

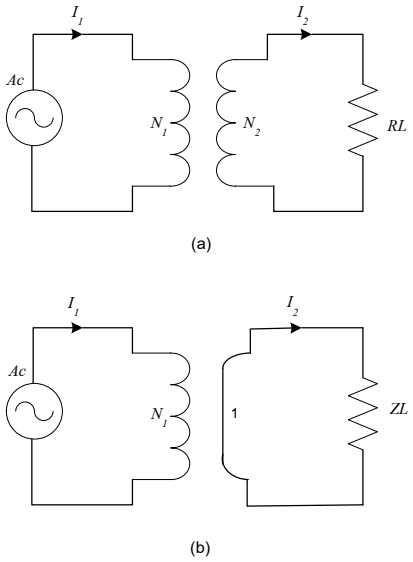
ประมาณ 500 เฮิรตซ์ - 10 กิโลเฮิรตซ์ เป็นต้น การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในส่วนของวงจรกำลัง ได้แก่ วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ [1] วงจรแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ [2] วงจรแบบสามระดับ และวงจรแบบสวิตช์ตัวเดียว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการสับสวิตช์เพื่อลดการสูญเสียในตัวอุปกรณ์ อันได้แก่ การสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) การสวิตช์ขณะกระแสเป็นศูนย์ (ZCS) และการสวิตช์ขณะแรงดันและกระแสเป็นศูนย์ (ZVZCS) โหลดที่ใช้มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันทั้งโหลดเรโซแนนท์แบบอนุกรม โหลดเรโซแนนท์แบบขนานและโหลดแบบกึ่งเรโซแนนท์ การควบคุมกำลังทางไฟฟ้าในแต่ละวงจรสามารถทำได้หลากหลายวิธี ได้แก่ การควบคุมด้วยความถี่ การปรับมุมเฟส และการควบคุมด้วยจำนวนไซเคิลของคลื่นสแควร์ เนื่องจากโหลดความร้อนเหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ดังนั้น จึงใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเรโซแนนซ์ ซึ่งใช้หลักการเรโซแนนซ์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการส่งผ่านพลังงานสูงสุดไปยังโหลดได้ทำให้ประสิทธิภาพในการแปรผันพลังงานสูงสุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ซึ่งจะมีค่าความนำน้อยที่สุดในวงจรขนาน หรือความต้านทานมากที่สุด ขณะเกิดเรโซแนนซ์ มีผลให้เกิดการไหลของกระแสมีน้อยที่สุด

2. ทฤษฎีและหลักการ

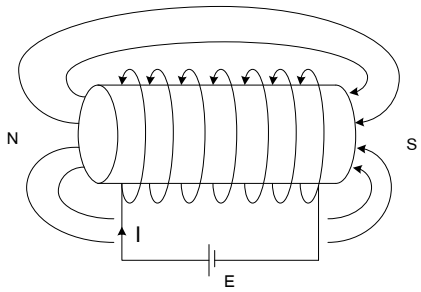
2.1 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน

ทฤษฎีมูลฐานของการเหนี่ยวนำความร้อนคล้ายกับการเปลี่ยนรูปเป็นการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิวซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 1 แสดงระบบพื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน จะประกอบไปด้วยเครื่องทำความร้อนที่เป็นขดลวดเป็นส่วนที่เหนี่ยวนำความร้อน เพื่อเป็นการอธิบายการเหนี่ยวนำเกี่ยวกับภาวะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิวในรูปที่ 1 a เป็นการแสดงตัวอย่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงหรือที่เรียกว่าคอยล์ ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลง แต่ไม่ได้แปลงพลังงานไฟฟ้านั่นคือถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าให้กับแกนเหล็กไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแกนเหล็ก (กระแสไฟฟ้าไหลวน) ตามกฎของเลนส์แล้ว พลังงานไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและในขดลวดทุติยภูมิต้องเท่ากัน ในรูปที่ 1 b เมื่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียวจะทำให้ N_2=1 และจะทำให้การสูญเสียทางความร้อนเพิ่มขึ้นที่กระแสไฟฟ้าของโหลด รูปที่ 2 เป็นการแสดงระบบพื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อนเมื่อมีพลังงานจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด เป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับตัวนำที่อยู่กับที่ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้วทำให้เกิด

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในนี้เรียกว่า การเหนี่ยวนำภายในขดลวด



รูปที่ 1 ลักษณะหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านขดลวดทุติยภูมิ [3]
(a) การเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ
(b) ขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียว

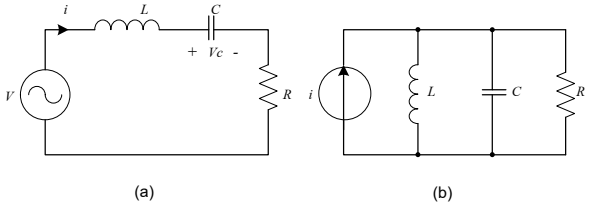


รูปที่ 2 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน [3]

จากรูปที่ 2 การต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้าในวงจรจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานที่ต่อลำดับอยู่ถ้าหากปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดก็จะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการขยายตัวตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับตัวเหนี่ยวนำก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าภายในวงจร โดยค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 (แอมป์ต่อวินาที) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเป็นตัวแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำจะมีปริมาณเท่าไรสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเดียวกัน

2.2 วงจรเรโซแนนซ์

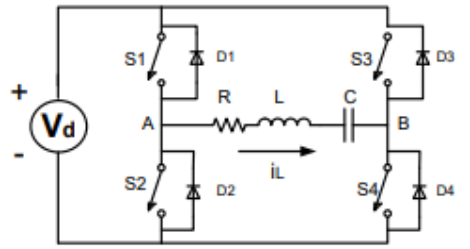
ในส่วนของกระบวนการการเรโซแนนซ์จะประกอบด้วย ส่วนของค่าตัวเก็บประจุ, ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความต้านทาน โดยทั่วไปแล้ววงจรเรโซแนนซ์จะใช้อยู่ 2 ประเภท คือ การต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม และการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน รูปที่ 3 เป็นการแสดงการต่อวงจรทั้ง 2 ประเภท เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บอยู่ในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสไฟฟ้าสลับแล้วจะถ่ายเทไปยังส่วนของตัวเก็บประจุ ทำให้การคำนวณจำนวนของพลังงานไฟฟ้าที่เก็บในตัวเก็บประจุได้ง่ายขึ้น การเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสไฟฟ้าสลับและตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนไปเป็นในรูปของพลังงานไฟฟ้า จำนวนของพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจะถูกเก็บสะสมไว้อยู่ที่ตัวนำ



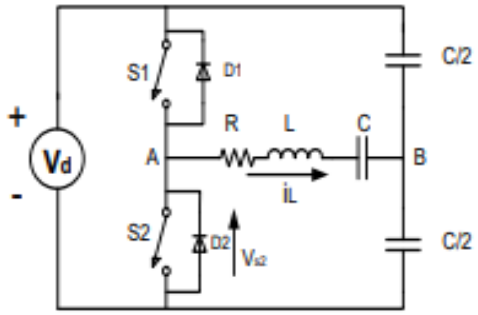
รูปที่ 3 วงจรเรโซแนนซ์ [4] [5]
(a) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม
(b) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับความถี่สูง ส่วนใหญ่นิยมใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์และฮาล์ฟบริดจ์ ดังรูปที่ 4 ข้อแตกต่างกันแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์ (VAB) จะได้รูปคลื่นสแควร์ที่มีแรงดันสูง เท่ากับ +Vd และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ −Vd กระแสผ่านโหลด (iL) เป็นรูปคลื่นซาย์ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ฮาล์ฟบริดจ์ ทำหน้าที่เหมือนฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ แต่จะมีสวิตช์ S1 และ S2 ทำงานสลับกัน เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ (VS2) จะได้ค่าแรงดันเท่ากับ +Vd และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสไหลผ่านโหลด (iL) เป็นรูปคลื่นซายน์ ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมากกว่าฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์และเนื่องจากให้กำลังไฟฟ้ามากจึงต้องสามารถรับแรงดันและกระแสที่มีปริมาณมากขึ้นด้วย



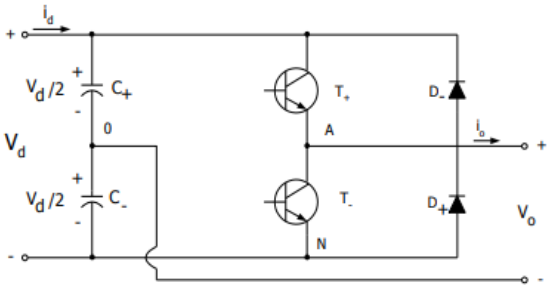
(ก) อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ [6]



(ข) อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ [6]

รูปที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฟูลบริดจ์และชนิดฮาล์ฟบริดจ์

2.4 อินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์



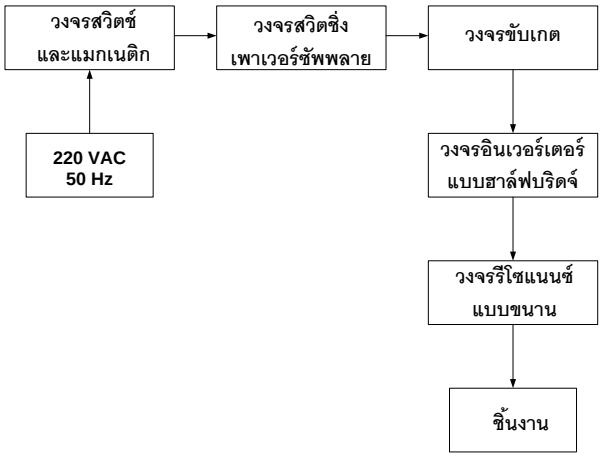
รูปที่ 5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ [6]

จากรูปที่ 5 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ โดยมีตัวเก็บประจุ C ที่มีค่าเท่ากัน 2 ตัว ต่ออนุกรมกันแล้วคร่อมอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต Vd ดังนั้น แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ Vd / 2 และจุดที่ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวต่อกันมีชื่อเรียกว่า ความต่างศักย์กลาง สำหรับค่าความจุไฟฟ้าของวงจรนี้ต้องมีค่ามากพอที่จะทำให้แรงดันที่จุด 0 เมื่อเทียบกับจุด N ได้ค่าคงที่ ถ้าไม่คำนึงถึงสถานะสวิตช์ จะเห็นว่ากระแสระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว คือ C+ และ C- (ซึ่งมีค่ามาก ๆ) จะแบ่งกันอย่างเท่า ๆ กัน โดยพิจารณาดังนี้ คือ เมื่อต้องการให้ T+ อยู่ในสถานะนำกระแส โดย T+ หรือ D+ จะนำกระแสได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น และการนำนั้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสขาออก io และได้กระแส io แยกไหลระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองด้วยค่าเท่า ๆ กัน ในทำนองเดียวกัน เมื่อต้องการให้ T- นำกระแสบ้าง T- หรือ D- จะนำกระแสได้เพียงตัวเดียวเช่นกัน และการนำขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแส io และ io แยกไหลระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองอย่างเท่า ๆ กัน เพราะฉะนั้น ในส่วนการไหลของกระแส io ตัวเก็บประจุ C+ และ C- ได้ถูกต่อกันอย่างขนาน โดยมีจุด o

เป็นจุดร่วมที่ถาวร และทั้งหมดนี้คือเหตุผลที่ว่าทำไมจึงเรียกจุด o ดังรูปที่ 5 ว่าเป็นศักย์กลาง

3. การออกแบบและสร้างชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ

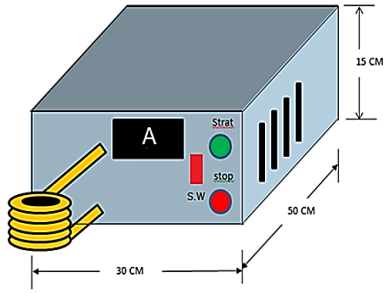
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



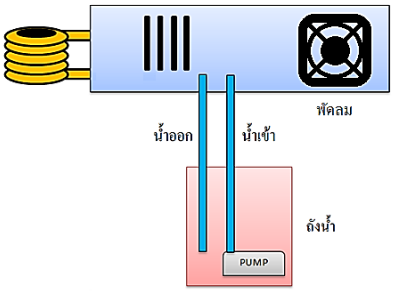
รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

3.2 โครงสร้างชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ

การออกแบบใช้กล่องตู้ไฟเหล็กเป็นโครงสร้าง มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และมีความยาวขนาด 50 เซนติเมตร มีความสูง 15 เซนติเมตร ด้านหน้ามีการติดแอมป์มิเตอร์ แบบหน้าปัดเข็มย่านวัดได้สูงสุด 30 แอมป์ มีสวิตช์เปิด/ปิดและสวิตช์เริ่มการทำงานและหยุดการทำงาน โดยเลือกใช้สวิตช์ push button ในส่วนของด้านข้างของโครงสร้างชิ้นงานได้มีการออกแบบติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายในกล่องเลือกใช้พัดลมขนาดเล็กเหมาะสำหรับกล่องชิ้นงาน เป็นพัดลมขนาดเล็กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และในส่วนด้านข้างนี้ยังทำการเจาะรูขนาด 1 นิ้ว ไว้สองรูเพื่อให้สายยางระบายความร้อน ของขดลวดเหนี่ยวนำทะลุกล่องออกมาได้ ส่วนท้ายกล่องมีการ เจาะเพื่อให้สายไฟที่ต่อกับวงจร ง่ายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ด้านบนกล่องเป็นฝาเหล็กสามารถเปิดและปิดได้อย่างสะดวก ดังนี้

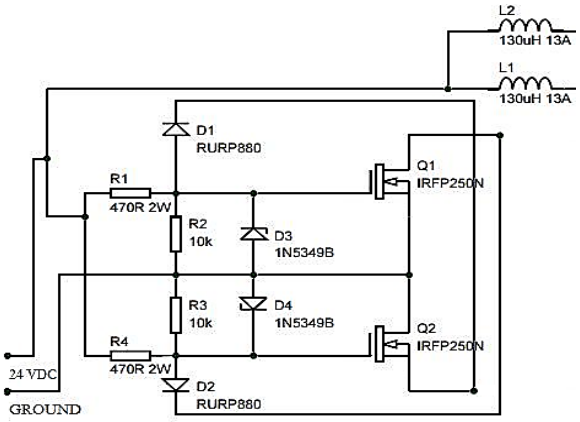


รูปที่ 7 โครงสร้างภายนอกชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ



รูปที่ 8 โครงสร้างด้านข้างชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ

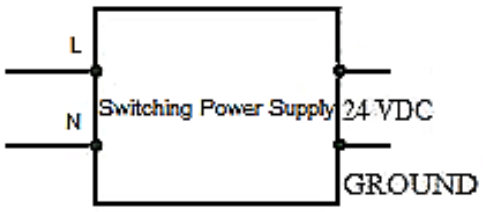
3.3 การออกแบบวงจรกำลังมอสเฟต



รูปที่ 9 วงจรกำลังมอสเฟต

เมื่อป้อนแรงดัน 24 โวลต์ เลือกใช้ความต้านทาน 470R 2 วัตต์ เพื่อกำหนดความถี่ในการสวิตช์ และใช้ Zener diode D3,D4 ขนาด 12 โวลต์ เพื่อป้องกันแรงดันเกินที่จะนำมาไดร์ฟมอสเฟต Diode D1,D2 เลือกไดโอด Schottky ซึ่งมีความเร็วในการสวิตช์สูง เลือกใช้มอสเฟต irfp250 เพื่อทำการสวิตช์ความถี่สูงเลือกใช้หม้อแปลง Toroidal 130 ไมโครเฮิรตซ์ 13 แอมป์ เป็น Choke ให้กับวงจร

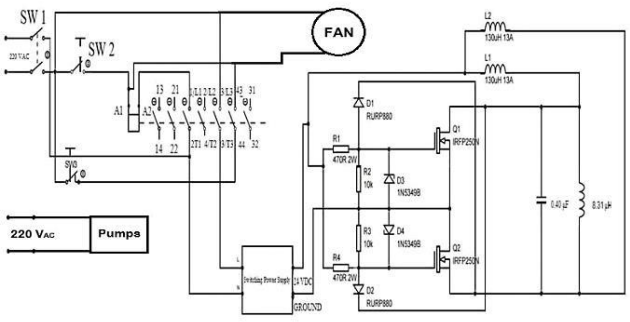
3.4 วงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง 24 โวลต์



รูปที่ 10 แหล่งจ่ายกระแสตรง 24 โวลต์

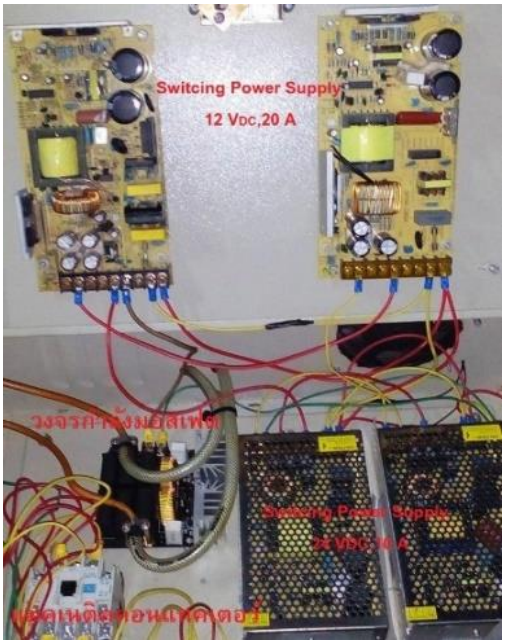
ใช้ Switching Power Supply เป็นแหล่งจ่ายในการออกแบบ ใช้ทั้งหมด 2 ชุด 4 ตัวชุดที่ 1 ใช้ Switching Power Supply ขนาดแรงดัน 24 โวลต์ มาขนานกัน ส่วนชุดที่ 2 ใช้ Switching Power Supply ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ มาอนุกรมกัน นำทั้ง 2 ชุดมาขนานกันจะได้แรงดัน 24 โวลต์ และกระแส 40 แอมป์

3.5 วงจรชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ



รูปที่ 11 วงจรรวมชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ

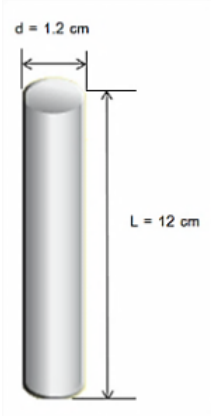
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เข้าที่วงจร LC ตัวเก็บประจุทำการชาร์จประจุและคายประจุ ทำให้เกิดการแกว่งของ LC ขณะแรงดันระหว่างขา Source และ Drain เข้าใกล้ 0 โวลต์ มอสเฟตจะเปิดสวิตช์ และตัวเก็บประจุจะทำการชาร์จอีกครั้งและจะสลับกันทำงานเป็นบวกและลบในช่วงครึ่งไซเคิล โดยจะมีไดโอด D1,D2 เป็นตัวควบคุมการสวิตช์มอสเฟต ในลักษณะ Forward และ Reverse



รูปที่ 12 วงจรรวมชุดเหนี่ยวนำความร้อน
เพื่อการขึ้นรูปโลหะที่ถ่ายจากภาพจริง

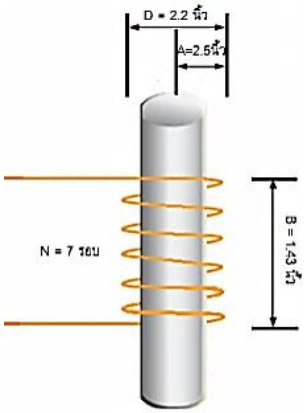
3.6 การออกแบบโหลด

เหล็กเส้นกลมเป็นอุปกรณ์อเนกประสงค์ที่จำเป็นต้องใช้ในการประกอบเครื่องจักรกลไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ตาม เราสามารถแบ่งเหล็กได้เป็นชนิด JIS ชนิด ISO หรือตามมาตรฐานอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยอิงจากรูปร่าง ขนาด และความทนทาน (กรณีแบ่งตามระดับความทนทาน) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือเหล็ก ซึ่งมีคาร์บอนระหว่าง 0.25% - 0.5%



รูปที่ 13 ขนาดชิ้นงานเหล็กเส้นกลม

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) จากขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 14 การพันของขดลวดเหนี่ยวนำ

จากสูตร $$L = \frac{A^2N^2}{9A+10B} \quad \mu H \qquad (1)$$

เมื่อ

L คือ ตัวเหนี่ยวนำ

A คือ รัศมีของขดลวดเหนี่ยวนำ = 2.5 นิ้ว

N คือ จำนวนรอบของขดลวดกำหนดให้เท่ากับ 7 รอบ

B คือ ความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ = 1.43 นิ้ว

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดเหนี่ยวนำ = 2.2 นิ้ว

จากสมการที่ (1) $$L = \frac{A^2N^2}{9A+10B}$$

$$= \frac{2.5^2 \times 7^2}{(9\times 2.5)+(10\times 1.43)}$$

$$= 8.31\ \mu H$$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

สภาวะความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$X_L = X_C$$

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

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

กำหนดให้ $L = 8.31\mu H$ และ $f_r = 87kHz$

ดังนั้น สามารถคำนวณหาค่า inductive reactance ได้จากสูตร

$$X_L = 2\pi f_r L$$

$$= 2\pi \times 87\times 10^3 \times 8.31\times 10^{-6}$$

$$= 4.45\ \Omega$$

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

$$C = \frac{\left(\frac{1}{2\pi f_r}\right)^2}{L} = \frac{\left(\frac{1}{2\pi\times 87\times 10^3}\right)^2}{8.31\times 10^{-6}} = 0.40\ \mu F$$

ดังนั้น สามารถคำนวณหาค่า capacitive reactance ได้จากสูตร

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$= \frac{1}{2\pi\times 87\times 10^3 \times 0.40\times 10^{-6}}$$

$$= 4.54\Omega$$

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$I_c = \frac{V_s}{X_c} = \frac{24}{4.54} = 5.28\ A$$

การคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า (P_{input})

$$P_{input} = P_{heat} + P_{loss} \qquad (3)$$

เมื่อ P_{heat} คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในเนื้อเหล็ก

P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าทีสูญเสียภายในขดลวด

$P_{heat} = \frac{Q}{t}$ จะได้ว่า

เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็น จูล (J)

m คือ มวลของชิ้นงานเหล็กเส้นกลมมีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

c คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสารมีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม.เคลวิน

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

$$Q = mc\Delta T = 0.106 \times 0.500 \times 10^3 \times (700 - 25)$$
$$= 35775J$$

t คือ เวลาในการให้ความร้อน ต้องการใช้เวลา 45 วินาที

$$P_{heat} = \frac{35775}{45} = 795\ W$$

จะได้ว่า $P_{loss} = I_L^2 R_{coil}$

เมื่อ I_L = 5.28 A

R_{coil} = 0.01 Ω

$P_{loss} = 5.28 \times 0.01$

= 0.052 W

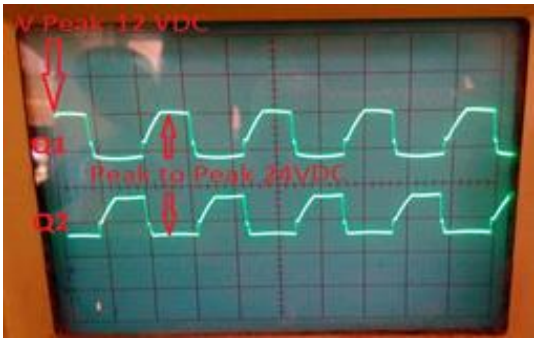
จากสมการที่ (3) $P_{input} = P_{heat} + P_{loss}$

= 795 + 0.052

= 795.052 W

4. ผลการทดสอบ

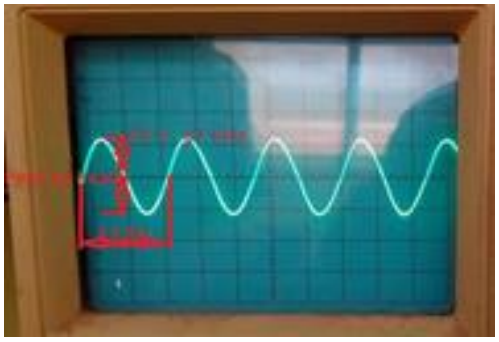
4.1 วงจรขับเกต



รูปที่ 15 สัญญาณเอาต์พุตของเพาเวอร์มอสเฟต

จากวงจรแหล่งจ่ายได้ไฟฟ้ากระแสตรงบวกลบ 24 โวลต์ โดยต่อเข้าที่ขาเกตเพาเวอร์มอสเฟตที่ต่อขนานกันไว้และต่อขา Source และต่อลงลงกราวด์ เมื่อมีสัญญาณบวกออกมาจากแหล่งจ่ายกระแสตรง 12 โวลต์ ซึ่งมอสเฟต แต่ละตัวจะให้สัญญาณพัลส์บวก และให้สัญญาณพัลส์ลบไหลเข้ามาที่ขาเกตสลับกันทำงาน ผ่านค่าความต้านทาน 470 โอห์ม โดยเมื่อ D1 forward จะทำให้ Q2 ทำงานและเมื่อ D2 For Word จะทำให้ Q1 ครบหนึ่งรอบการทำงานและจะทำงานสลับไปเรื่อย ๆ

4.2 วงจรเรโซแนนซ์

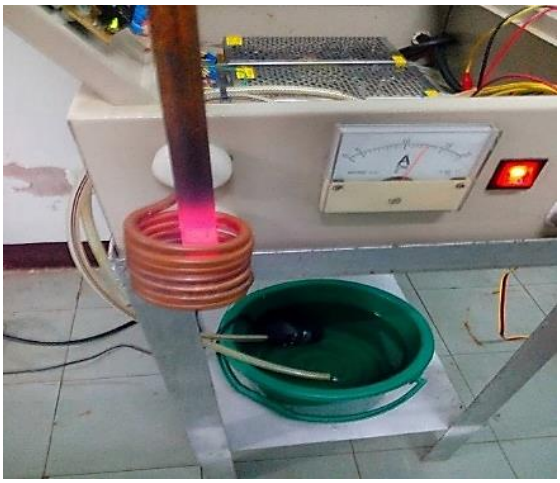


รูปที่ 16 สัญญาณเอาต์พุตที่ค่าความถี่ 87 กิโลเฮิรตซ์

จากการใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเกิดสัญญาณที่คาบเวลา T = 2.4 x 5us/DIV = 12 us ดังนั้นความถี่ Fr = 1/T = 1/12us = 83.33 kHz ที่แรงดัน 2x5x10 = 100 Vp-p

4.3 การทดสอบอุณหภูมิของชิ้นงานเหล็กแต่ละชนิดและขนาดที่ต่างกัน โดยใช้เครื่อง Infrared Thermometer

นำชิ้นงานเหล็กที่ต่างชนิดและขนาดมาทดสอบแล้วบันทึกผล พบว่า การให้ความร้อนในระยะเวลาที่กำหนดไว้ คือ 45 วินาที ที่ได้คำนวณไว้ในข้างต้นนั้นต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากในเหล็กแต่ละชนิดมีรูปทรงที่ต่างกันทำให้การเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำในชิ้นงานเหล็กไม่เท่ากัน จึงให้ความร้อนที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 17 การทดสอบชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะ

ตารางที่ 1 การทดสอบชิ้นงานเหล็กแต่ละชนิดและขนาดที่ต่างกัน

ชนิดของเหล็ก	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	เวลา (วินาที)	อุณหภูมิองศา) (เซลเซียส
เหล็กแบน	$^1/_2$	45	579
	$^5/_8$	45	643
	1	45	696
เหล็กข้ออ้อย	$^3/_8$	45	720
	$^1/_2$	45	765
เหล็กเส้นกลม	$^1/_8$	45	567
	$^3/_8$	45	753
	$^1/_2$	45	777
เหล็กสี่เหลี่ยมตัน	$^3/_8$	45	734
เหล็กแป๊บสี่เหลี่ยม	$^3/_8$	45	563
	$^1/_2$	45	671
	$^5/_8$	45	695
ท่อเหล็กดำ	$^1/_2$	45	681
	$^5/_8$	45	698

4.4 การทดสอบระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 700 - 800 **องศาเซลเซียส**

ทำการทดสอบพบว่า ชิ้นงานแต่ละชนิดและขนาดที่ต่างกันนั้นในการทำให้เกิดความร้อนโดยหลักการเหนี่ยวนำที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 700 - 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างกันเนื่องจากความหนาแน่นจำเพาะของชิ้นงาน รูปทรงและขนาดทำให้เกิดความต้านทานที่ไม่เท่ากัน กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็ต่างกันตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 การทดสอบระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 700 - 800 องศาเซลเซียส

ชนิดของเหล็ก	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	เวลา (วินาที)	กระแส (A) (Input) AC	กระแส (A) (Output) DC	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
เหล็กแบน	$^1/_2$	45.05	2.56	12	0.383
	$^5/_8$	54.96	3.16	15	0.477
	1	85	3.16	19	0.549
เหล็กข้ออ้อย	$^3/_8$	72	2.71	23	0.412
	$^1/_2$	105	3.31	15	0.508
เหล็กเส้นกลม	$^1/_8$	36.72	2.49	12	0.366
	$^3/_8$	66	2.93	14	0.450
	$^1/_2$	103	3.37	16	0.511
เหล็กสี่เหลี่ยมตัน	$^3/_8$	77	3.04	15	0.469
เหล็กแป๊บสี่เหลี่ยม	$^3/_8$	40.51	3.52	18	0.536
	$^1/_2$	42.59	4.14	20	0.622
	$^5/_8$	44.21	4.89	25	0.770
ท่อเหล็กดำ	$^1/_2$	39.37	4.24	22	0.633
	$^5/_8$	42.58	4.55	26	0.709

5. บทสรุป

จากการทดสอบชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะด้วยหลักการเหนี่ยวนำโดยใช้เหล็กแต่ละชนิดและขนาดที่ต่างกันเมื่อให้ความร้อนแก่เหล็กโดยใช้เวลา 45 วินาที อุณหภูมิ 550 - 777 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์แบบวัดชิ้นงาน ซึ่งอุณหภูมิที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงของเหล็ก โดยชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาในการให้ความร้อนน้อยกว่าชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่แต่ความร้อนจะน้อยกว่าชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่าที่เวลาเท่ากัน และจากการทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 700 - 800 องศาเซลเซียส รูปทรงและขนาดนั้นมีผลที่แตกต่างกันทำให้ชิ้นงานมีระยะเวลาในการเกิดความร้อนในการขึ้นรูปไม่เท่ากัน ขนาดที่เล็กใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่าขนาดที่ใหญ่ จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดลอง เนื่องจากชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่จะมีความต้านทานสูง ทำให้ต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่ต่างกันออกไป ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปด้วยหลักการเหนี่ยวนำนี้ทำให้การขึ้นรูปของชิ้นงาน

สะดวกสบายมากขึ้นต่อการทำงาน ระยะเวลาในการให้ความร้อนเร็วขึ้น ใช้ปริมาณพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายเพราะเครื่องมีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาลง ชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการขึ้นรูปโลหะนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ $P_{input} = P_{heat} + P_{loss} = 795 + 0.052$

$= 795.052$ W

จากตารางที่ 2 ที่เหล็กแป๊บสี่เหลี่ยมขนาด 5/8 นิ้ว กำลังไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 0.707 kW หรือ 707 W ดังนั้น

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{770}{795.052} \times 100\%$$

$= 96.85$ %

เอกสารอ้างอิง

[1] HSU CHUN-LIANG, CHEN CHENG-CHUAN, HUANG LI-CHAN, and CHUANG SHIEH-CHANG. Inductive Heating Facility of Half-bridge Inverter Structure. Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on CIRCUITS, Vouliagmeni, Athens, Greece, July 10-12, 2006 (pp.22-27).

[2] H.javadi and A.Shoulaie. Analysis of H-bridge Current Source Parallel Resonant Inverter for Induction Heating. Proceeding of ICEE2009 Volume 3, 12 - 14 May 2009.

[3] วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ. การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อทุบขึ้นรูปโลหะด้วยอินเวอร์เตอร์เอชบริดจ์ร่วมกับดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดทอนแรงดัน. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2552.

[4] Hong Huang. Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter. Texas Instruments Power Supply Design Seminar. 2010.

[5] Dr. Turki K. Hassan and Enaam A. Ali. Power Control of Series-Parallel Resonant Inverter for Induction Heating Using Buck Converter. Eng. & Tech. Journal, Vol.28 No.10 2010.

[6] จีระศักดิ์ วงศา และคณะ. นวัตกรรมการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยธนบุรี ปีที่ 8 ฉบับที่ 17 เดือน กันยายน - ธันวาคม 2557.