บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อสรุปในการวิจัย

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้ เป็นเครื่องต้นแบบที่ต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมอีก เพราะจากการทดสอบที่กำลังต่ำพบว่ามีความใกล้เคียงกับทฤษฎี แต่ยังมีปัญหา spike ของกระแสและแรงดัน และการป้องกันการสวิตช์ ทำให้ไม่สามารถทดสอบที่กำลังสูงได้

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ ต่างจากเครื่องให้ความร้อนที่ใช้งานโดยทั่วไปคือ ใช้อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำคือ IGBT แทนการใช้หลอดสุญญากาศและยังช่วยลดฮาร์มอนิกในสายกำลัง ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

6.1.1 วงจรฟิลเตอร์

วงจรนี้ช่วยในการกรองค่าระลอก ซึ่งเกิดจากการสวิตช์ของวงจร เนื่องจากวงจรมีรูปแบบการสวิตช์ที่ลดฮาร์มอนิกในสายกำลังอยู่แล้ว ดังนั้น วงจรฟิลเตอร์ในส่วนนี้จึงใช้วงจรฟิลเตอร์ขนาดไม่ใหญ่มากและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน โดยประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำขนาด 220 ไมโครเฮนรี และตัวเก็บประจุขนาด 7.5 ไมโครฟารัด

6.1.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ประกอบด้วยวงจรไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์สองทิศทางทั้งหมด 6 ชุด โดยสวิตช์แต่ละชุดประกอบด้วย IGBT 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับความถี่ต่ำ ให้เป็นแรงดันไฟสลับความถี่สูง 30 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อจ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำโดยผ่านหม้อแปลงกำลังและแยกโดดความถี่สูง ซึ่งผลการวัดกระแส และแรงดันด้านเข้าในแต่ละเฟสพบว่ากระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์ และมีเฟสเกือบตรงกันกับแรงดัน

6.1.3 วงจรขับนำเกต

ในส่วนนี้ อาจถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดก็ว่าได้ เนื่องจากการขับนำเกตในวงจรนี้จะต้องมีความแม่นยำมาก และช่วงเวลาพักของ IGBT แต่ละตัว จะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่ายอดแหลมของแรงดันคร่อมสวิตช์ และค่ายอดแหลมของกระแสผ่านสวิตช์ ซึ่งมีผลต่อกำลังสูญเสียในสวิตช์และวงจรสนับเบอร์แรงดัน ในการขับนำ ใช้วงจรสร้างลอจิกเป็นแบบ fast TTL แล้วขับนำและแยกโดดด้วยอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงแบบความเร็วสูง ซึ่งมีค่า delay time สูงสุดเพียง 0.5 μS เท่านั้น และมีความแม่นยำในการขับนำที่ดี โดยในงานวิจัย ต้องทำการทดลองเลือกค่าที่เหมาะสมของช่วงเวลาพัก เพราะมีผลต่อค่ายอดแหลมของแรงดันคร่อมสวิตช์ และกระแสผ่านสวิตช์

6.1.4 วงจรป้องกัน

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันและกระแส โดยวงจรจะทำการตัดการขับนำเกตทันทีที่ได้รับสัญญาณแจ้งจากวงจรตรวจจับว่า มีแรงดัน หรือมีกระแสเกินพิกัด จากนั้นจึงทำการตัดสายกำลังออกจากแหล่งจ่าย ส่วนในการตรวจจับแรงดันต่ำ วงจรจะทำหน้าที่เพียงแจ้งสภาวะให้ทราบเท่านั้น โดยวงจรยังสามารถทำงานได้ตามปกติ เนื่องจากแรงดันต่ำจะไม่ทำอันตรายต่อสวิตช์ นอกจากนี้ ยังมีฟิวส์ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายทั้ง 3 เฟส ซึ่งเป็นตัวป้องกันตัวสุดท้ายในกรณีที่วงจรป้องกันอื่นทำงานผิดพลาด

6.1.5 วงจรกำลังด้านออก

วงจรส่วนนี้คือ ส่วนวงจรกำลังที่รับสัญญาณต่อจากวงจรกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ผ่านหม้อแปลงแยกโดด และส่งผ่านกำลังไปยังขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ ดังนี้

6.1.5.1 หม้อแปลงความถี่สูง ใช้แกนเฟอร์ไรต์ เนื้อสาร H45A ซึ่งมีช่วงความถี่การทำงานที่สูง โดยออกแบบอัตราแปลงแรงดันเป็น 12 : 1 และใช้แกนขนาด EE-80/76 โดยใช้แผ่นทองแดงบางเป็นลวดตัวนำพันขดทุติยภูมิก่อน 2.5 รอบ แล้วจึงพันขดปฐมภูมิชั้นนอก 30 รอบ โดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นฉนวน แล้วนำขดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิมาต่อขนานกัน เพื่อให้สามารถส่งผ่านกำลังได้สูง

6..1.5.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้เป็น 1 รอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 22 มิลลิเมตร และความสูงของขดลวด 6 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้กำลังที่จ่ายไปสู่ชิ้นงานมีความหนาแน่นกำลังต่อพื้นที่ผิวมากที่สุด

6.1.5.3 ตัวเก็บประจุชดเชยกำลัง เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้ต่อขนานกับขดลวดเหนี่ยวนำ ในการใช้งานเลือกใช้ตัวเก็บประจุยี่ห้อ BENNIC ชนิด MKT มีสารไดอิเล็กตริก เป็นโพลีโพไพลีน เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง เนื่องจากมีค่าความเหนี่ยวนำ และความต้านทานในตัวต่ำ ทำให้ใช้งานได้ดีที่ความถี่สูง และมีกำลังสูญเสียในตัวต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถทนพิกัดกระแส และแรงดันได้สูง เนื่องจากตัวเก็บประจุที่ใช้มีค่าสูงถึง 658 ไมโครฟารัด ทำให้ต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุหลาย ๆ ตัวขนานกัน ซึ่งในการออกแบบได้เลือกต่อตัวเก็บประจุบนแผ่นทองแดงที่ขนานกัน เพื่อลดขนาดของความยาวของสายเชื่อม ซึ่งที่ความถี่สูง จะทำให้เกิดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ตัวเก็บประจุใช้งานได้ที่ความถี่ต่ำลง

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

6.2.1 การออกแบบและติดตั้งสนับเบอร์แรงดัน

จากการออกแบบและติดตั้งวงจรสนับเบอร์แรงดันพบว่า ค่าของวงจรสนับเบอร์ถูกกำหนดโดยช่วงเวลาพักจากการสวิตช์ ถ้าช่วงเวลาพักมากจะทำให้ต้องออกแบบวงจรสนับเบอร์ให้มีอัตราทนกำลังสูง เพราะสวิตช์มีความเครียดสูง ในขณะที่ถ้ากำหนดช่วงเวลาพักน้อยลง จะทำให้เกิดการลัดวงจรของแหล่งจ่ายแรงดัน ทำให้เกิดยอดแหลมของกระแสผ่านสวิตช์ ในการออกแบบ จึงต้องยอมให้เกิดการลัดวงจร ในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อลดความเครียดที่เกิดแก่สวิตช์

6.2.2 การระบายความร้อน

ในการระบายความร้อน ได้ออกแบบให้มีปั๊มสูบน้ำไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ และแผงวงจรใกล้เคียงโหลด เพื่อป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลของเส้นทางไหลของกระแสและชิ้นงาน

6.2.3 สวิตช์ IGBT

เนื่องจากสวิตช์ที่ใช้เป็น IGBT ทำให้สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 30 กิโลเฮิรตซ์ไม่มากนัก ถ้าหากต้องการใช้งานที่ความถี่สูง อาจต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เป็นสวิตช์โดยใช้มอสเฟตกำลัง แต่มอสเฟตกำลังมักจะมีอัตรากำลังไม่สูงมากเท่า IGBT นอกจากนี้ ในวงจรมีการใช้ IGBT และไดโอดจำนวนมาก จึงต้องศึกษาหาแนวทางเพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ลง ปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ยอดแหลมของกระแสผ่านสวิตช์ และแรงดันคร่อมสวิตช์ อันเนื่องมาจากช่วงเวลาพักของการขับนำเกต จากการทดสอบในบทที่ 5 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาพัก ทำให้ค่ายอดแหลมของกระแสเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งอาจทำความเสียหายแก่สวิตช์ได้ จึงควรศึกษารูปแบบการสวิตช์ และเลือกช่วงเวลาพักที่เหมาะสมต่อไป ส่วนปัญหาจากยอดแหลมของแรงดันจำเป็นต้องปรับปรุงชุดสนับเบอร์ป้องกันแรงดันใหม่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

6.2.4 ความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลด้านโหลด

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรสมมูลด้านโหลด รวมทั้งพารามิเตอร์ของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง เป็นตัวกำหนดค่าของกำลังที่ชิ้นงานจะได้รับ จากการวัดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าน้อย และเครื่องมือวัดที่ใช้ มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จึงใช้วิธีวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยการวัดค่าแรงดัน กระแส และมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส เพื่อนำมาคำนวณค่าอิมพิแดนซ์อีกครั้ง แต่การวัดเช่นนี้ต้องใช้แหล่งกำเนิดแรงดันรูปไซน์ที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงพอ อีกทั้งยังมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่ามุมเฟสของกระแสและแรงดัน ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวิธีวัดค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลด้านโหลดใหม่ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

6.2.5 ความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง

หม้อแปลงกำลังความถี่สูงที่ใช้ พันด้วยแผ่นทองแดงแบนขนาดกว้าง5.2 มิลลิเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร โดยมีการพันชั้นใน 2.5 รอบ เป็นขดทุติยภูมิ และพันขดปฐมภูมิทับ 30 รอบ ให้ได้อัตราแปลงแรงดันเป็น 12 : 1 จากค่าพารามิเตอร์ในสมการ (4.21) จะเห็นว่า มีค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลค่าใหญ่ ทำให้ต้องเพิ่มตัวเก็บประจุ แก้ตัวประกอบกำลังเพิ่มเติม จึงควรมีการออกแบบและพันหม้อแปลงเพื่อลดความเหนี่ยวนำรั่วไหล