พอดมเสกเสา สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทย มีอุตสาหกรรมที่ต้องใช้การชุบแข็งผิวเป็นจำนวนมาก เช่น ในอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมทำเพลาเฟือง อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งผิว ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศที่สำคัญยิ่ง ในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราเป็นอันมาก ในการซื้อเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมาใช้ในอุตสาหกรรม และยังรวมถึงการสูญเสียเงินตราในการซ่อมบำรุงเครื่องเหล่านี้ด้วย ดังนั้นถ้าเราสามารถศึกษาและพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำได้เองแล้ว ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากเพราะสามารถลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศได้ อีกทั้งยังเป็นการพึ่งพาเทคโนโลยีของตัวเอง ทำให้มีความคล่องตัวในการซ่อมบำรุง และยังเป็นพื้นฐานในการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านนี้ต่อไปในภายภาคหน้า

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นปรากฏการณ์ของการเหนี่ยวนำโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งค้นพบโดย Michael Faraday ในปี ค.ศ.1831 [P.G. Simpson ,1966] โดยค้นพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าสลับในวงจรทางขดปฐมภูมิ จะก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับขึ้นทางขดทุติยภูมิถ้าขดทุติยภูมิเป็นวงจรปิด และต่อมา Lenz และ Neumann ได้พบว่า กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะไหลในทิศทางที่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านกับสนามแม่เหล็กที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ หลักการเหล่านี้ได้นำไปใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามอเตอร์และหม้อแปลงเป็นต้น กระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำที่เกิดกับอุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้น มักจะก่อให้เกิดความร้อนที่ไม่ต้องการ อย่างเช่น กระแสไหลวน (Eddy-current) ที่เกิดขึ้นกับแกนของหม้อแปลงและมอเตอร์ แต่สิ่งเหล่านี้กลับเป็นประโยชน์ที่สำคัญ สำหรับการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ดังนั้นเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจ่ายพลังงานเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำ ขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กความถี่สูงคล้องผ่านชิ้นงาน ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลวนรอบชิ้นงานชิ้น ถ้ากระแสที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้ มีค่าเท่ากับ I และความต้านทานเสมือนในทิศทางการไหลของกระแสเป็นเส้นทางปิดของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ R ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำจะมีค่า

เท่ากับ I^2R จะเห็นได้ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กโดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดกับชิ้นงาน และยังเป็นการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นที่ชิ้นงานโดยตรง การให้ความร้อนด้วยวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงสามารถกำหนดตำแหน่งและลักษณะการให้ความร้อนได้ง่ายและช่วยลดปัญหาเรื่องมลภาวะ

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่วิจัยและพัฒนาขึ้นนี้ มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในงานชุบแข็งที่ผิว ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการชุบแข็งผิวในปัจจุบัน จะใช้ความถี่ค่อนข้างสูงประมาณ 450 กิโลเฮิรตซ์ จนถึงความถี่ระดับเมกกะเฮิรตซ์ โดยมากอุปกรณ์หลักที่ใช้เป็นวงจรแกว่งสำหรับความถี่สูงขนาดนี้จะเป็นหลอดสุญญากาศ ซึ่งวงจรมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ และต้องมีวงจรจุดไส้หลอด [P.G. Simpson, 1966] อีกทั้งยังมีการสูญเสียเป็นความร้อนที่เกิดจากหลอดสุญญากาศค่อนข้างสูง ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องมีค่าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนา สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ให้มีสมรรถนะสูงขึ้น กล่าวคือ มีค่าพิกัดของแรงดัน กระแส และความสามารถในการทำงานที่ความถี่สูงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้แนวโน้มในการผลิตหันมาใช้สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้มากขึ้น สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่แพร่หลายและหาซื้อได้ในประเทศได้แก่ทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลังและพวกไทริสเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด ก็มีข้อดีข้อเสีย หรือขีดจำกัดในการใช้งานแตกต่างกันไป ตัวอย่าง เช่น พวกไทริสเตอร์จะมีข้อดีในแง่ความสามารถในการทนต่อแรงดัน และกระแสสูง แต่สามารถทำงานที่ความถี่ไม่สูงนัก กล่าวคือ ประมาณได้ไม่เกิน 10 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนมอสเฟตกำลังสามารถทำงานในความถี่สูงได้ถึง 200 กิโลเฮิรตซ์ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการทนต่อแรงดันและกระแส กล่าวคือ มอสเฟตกำลังที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศจะมีขนาดเพียงแค่ 450 โวลต์ 50 แอมแปร์ ซึ่งมองว่ามีขนาดเล็กเกินไป ถ้าจะใช้มอสเฟตกำลังในการสร้างเครื่องที่มีขนาดกำลังสูง ถึงแม้ว่าจะสามารถประยุกต์มอสเฟตกำลังให้ใช้กับวงจรที่มีกำลังสูงๆได้ แต่จะเป็นการทำให้ความซับซ้อนในส่วนของวงจรกำลังมีมากขึ้น [ธนากร ศุภจินตกุล, 2535] จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยม ในขณะที่ทรานซิสเตอร์กำลังมีข้อดีในแง่ราคาถูกหาง่าย และมีความสามารถในการทนต่อแรงดันและกระแสสูง ทำให้ไม่จำเป็นต้องนำทรานซิสเตอร์หลายตัวมาต่ออนุกรมหรือต่อขนานกันเพื่อรับแรงดันหรือกระแสตามลำดับ เป็นผลให้ส่วนของวงจรกำลังมีความซับซ้อนน้อยลง ทำให้ความน่าเชื่อถือของวงจรมีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ทรานซิสเตอร์กำลังมีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วในการทำงาน ทำให้ทำงานในช่วงความถี่สูงได้ไม่เกิน 50 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำขนาดไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ [Fuji Electric Review,1988] อีกทั้งทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ยังต้องการการขับนำที่ยุ่งยาก และถ้าต้องขับนำให้ทำงานที่ความถี่สูง ยิ่งทำให้วงจรขับนำเบสมีความซับซ้อนมากขึ้น

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่มีใช้งานในปัจจุบันมีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแตกต่างกันตามลักษณะของเครื่องกำเนิดแรงดันไฟสลับ รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ ดังที่แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.1 ได้ดังต่อไปนี้

1.1.1 แหล่งจ่ายไฟตรง ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์และตัวเก็บประจุที่ใช้กรอง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับ 3 เฟสให้เป็นไฟตรงประมาณ 500 โวลต์

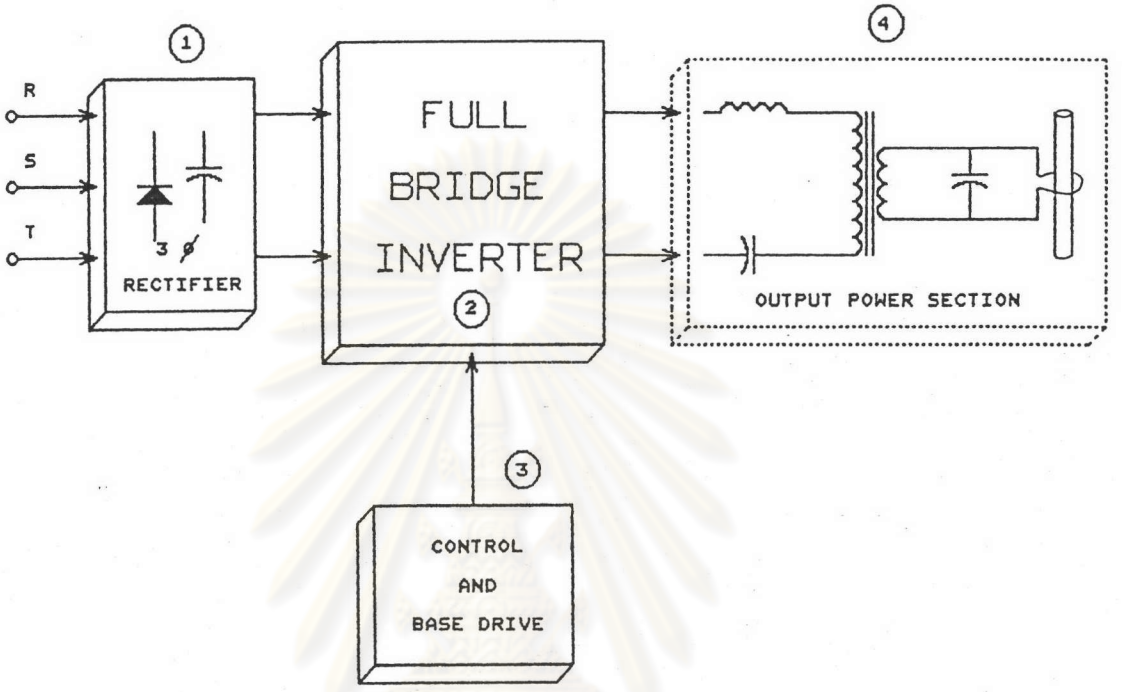
1.1.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 500 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟสลับความถี่สูง 50 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อจ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำโดยผ่านหม้อแปลง วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแบบบริดจ์ ที่ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังแบบไบโพลาร์ทำงานเป็นสวิตช์ การทำงานของวงจรต้องให้เป็นแบบกระแสตามหลังแรงดัน (Phase Lag) เพื่อป้องกันปัญหาการ Shoot Through เนื่องจากช่วงเวลาฟื้นตัวของไดโอด (Reverse Recovery Time) เพราะวงจรทำงานในช่วงความถี่สูง

1.1.3 วงจรควบคุมและขับนำเบส ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณไปขับนำทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ และจากการที่ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นแบบไบโพลาร์ซึ่งทำงานได้ช้าเพราะว่ามีปัญหาเรื่อง Turn off Time โดยเฉพาะ Storage Time มีค่าประมาณ 15 ไมโครวินาที ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับครึ่งคาบของความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ ที่มีค่าเท่ากับ 10 ไมโครวินาที ดังนั้นวงจรที่ใช้ในการขับนำเบสนี้ จะต้องมีความสามารถในการดึงกระแสเบสตอนช่วง Turn off ได้เร็ว เพื่อลด Storage Time ให้ได้มากที่สุด [Thomson - CSF Semiconductor Division,1979] นอกจากนั้นช่วงเวลาของสัญญาณ on ของสวิตช์จะสั้นและมีลักษณะเป็นแบบ 3 สถานะ(Tri-State) เพราะต้องเผื่อช่วง Storage Time ซึ่งเป็น Delay Time ในการ Turn off และเผื่อค่า Dead Time ก่อน Turn on ด้วย

1.1.4 ภาคกำลังด้านเอาท์พุต ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1.1.4.1 หม้อแปลงความถี่สูง ทำหน้าที่ลดแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้มีแรงดันที่เหมาะสมสำหรับขดลวดเหนี่ยวนำโดยมีสัดส่วนของจำนวนรอบปฐมภูมิต่อทุติยภูมิเท่ากับ 16:1 และเพิ่มกระแสทางด้านทุติยภูมิให้มีค่ามากขึ้นเพราะกระแสส่วนนี้จะไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำชิ้นงาน

1.1.4.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ(Induction Coil)เป็นขดลวดที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กชิ้นมาเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงาน โดยรูปร่างขนาด และจำนวนรอบจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชิ้นงาน สำหรับในงานวิจัยนี้ขดลวดเหนี่ยวนำจะมีจำนวนรอบ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

1 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร และความสูงของขดลวด 6 มิลลิเมตร ทำด้วยทองแดง และเจาะรูให้น้ำไหลผ่านเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากกำลังสูญเสียของทองแดงในตัวขดลวด

1.1.4.3 ตัวเก็บประจุเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของขดลวดเหนี่ยวนำ ใช้ในการเพิ่มตัวประกอบกำลังที่โหลดให้สูงขึ้น เพื่อลดขนาดของหม้อแปลงและอินเวอร์เตอร์ โดยจะต้องเป็นตัวเก็บประจุสำหรับความถี่สูง และมีพิกัดกระแสสูง

1.1.4.4 ตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมทางด้านปฐมภูมิ ทำหน้าที่ปิดกั้นไฟฟ้ากระแสตรงไม่ให้ผ่านเข้าหม้อแปลงความถี่สูง

1.1.4.5 ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมทางด้านปฐมภูมิ ใช้เพื่อปรับให้กระแสโหลดตามหลังแรงดัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหลักการและเทคนิคของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

2. ศึกษา และวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมของขดลวดเหนี่ยวนำแล้วเปรียบเทียบ ผลการวัดกับผลการคำนวณ

3. ออกแบบ และสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ที่ใช้ในงานชุบแข็งผิวโดยใช้ ทรานซิสเตอร์กำลังแบบไบโพลาร์เป็นสวิตช์

4. ทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น กับชิ้นงานที่เป็นเหล็กผสมคาร์บอน ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น มีคุณสมบัติดังนี้

1. กำลังงานด้านเข้าประมาณ 10 กิโลวัตต์ ซึ่งแล้วแต่ลักษณะของชิ้นงานที่เป็นโหลด และความถี่ที่ใช้งาน

2. ความถี่ที่ใช้การชุบแข็งเท่ากับ 50 กิโลเฮิรตซ์

3. แรงดันขาเข้าเป็นไฟ 3 เฟส 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์

4. ขดลวดเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบ 1 รอบ

5. สามารถชุบแข็งชิ้นงานโลหะทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 25 มม.

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. สำรวจและค้นคว้าข้อมูลของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

2. ศึกษาทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ และศึกษาแบบจำลองของขดลวดเหนี่ยวนำ

3. ออกแบบและวิเคราะห์วงจรในแต่ละส่วน

4. สร้าง ทดลอง และแก้ไขปรับปรุงวงจรในแต่ละส่วน

5. นำวงจรแต่ละส่วนมาประกอบรวมกัน และทดลองวงจรทั้งหมด

6. แก้ไขปรับปรุงวงจร และประเมินผลการทำงานของเครื่องต้นแบบ

7. ทดลองชุบแข็งผิวกับชิ้นงานจริง ประเมินผล แล้วเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 ได้เรียนรู้เทคนิค และปัญหาในการพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูง ซึ่งเครื่องต้นแบบที่ได้ สามารถนำไปใช้ในการชุบแข็งผิวชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

2 เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบให้ใช้ได้ในงานอุตสาหกรรม ทำให้เราไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียเงินตราในการซื้อเทคโนโลยีเหล่านี้ได้มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย