บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

ในปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเป็นจำนวนมาก เครื่องมือเหล่านี้ มักก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากใช้วงจรเรียงกระแสต่อเข้ากับสายกำลัง ดังนั้น ถ้าเราสามารถศึกษาและพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำซึ่งกระแสด้านเข้ามีกระแสฮาร์มอนิกต่ำ ก็จะเป็นการลดปัญหากระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังได้

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นปรากฏการณ์เหนี่ยวนำโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่ง Michael Faraday ค้นพบในปี ค.ศ. 1831 [P.G. Simpson, 1966] ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสลับในวงจรทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จะก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับขึ้นทางขดทุติยภูมิ และต่อมา Lenz และ Neumann ได้พบว่า กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะไหลในทิศทางที่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านกับสนามแม่เหล็กที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ หลักการเหล่านี้ได้นำไปใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์และหม้อแปลง และอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมาก กระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ อาจก่อให้เกิดปัญหาข้างเคียง คือเกิดเป็นการสูญเสียเป็นความร้อนที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กระแสไหลวน (eddy current) ที่เกิดขึ้นกับแกนของหม้อแปลงและมอเตอร์ อย่างไรก็ดี การเกิดความร้อนดังกล่าว กลับเป็นประโยชน์ที่สำคัญสำหรับการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จ่ายพลังงานเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำ ขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กความถี่สูงคล้องผ่านชิ้นงาน ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลวนรอบบริเวณผิวของชิ้นงาน ถ้ากระแสที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้มีค่าเท่ากับ I และความต้านทานสมมูลในเส้นทางการไหลของกระแสของชิ้นงานซึ่งเป็นเส้นทางปิด มีค่าเท่ากับ R ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับ I^2R จะเห็นได้ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กโดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดกับชิ้นงาน และยังเป็นการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นที่ชิ้นงานโดยตรง การให้ความร้อนด้วยวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพสูง สามารถกำหนดตำแหน่งและลักษณะการให้ความ

ร้อนได้ง่าย และช่วยลดปัญหาเรื่องมลภาวะ เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแบบอื่น ๆ วงจรแกว่งของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมักจะใช้อุปกรณ์ 2 ประเภท คือ หลอดสุญญากาศ หรือสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ในปัจจุบัน เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่มีทั่วไปในท้องตลาดแบ่งโดยพื้นฐานได้เป็น 2 ชนิด คือ

1 . Thyristor static inverters

2. High frequency electron tube generators

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำชนิด thyristor static inverters มักจะทำงานในช่วงความถี่ 500 Hz จนถึง 10 kHz ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญคือ ความถี่ใช้งานยังมีค่าที่ต่ำ เพราะขีดจำกัดทางด้าน turn-off time ของ thyristor ทำให้ไม่สามารถเพิ่มความถี่ที่สูงกว่านี้ได้ ส่วนชนิด high frequency electron tube generators นั้น สามารถใช้งานในย่านความถี่สูง ๆ ได้ดี

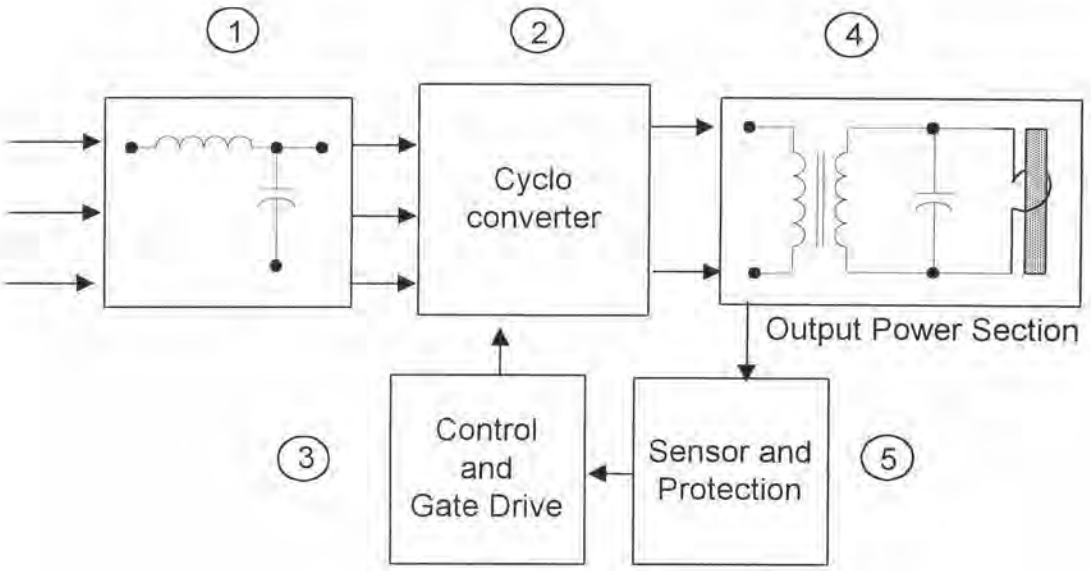
โดยทั่วไป โหลดของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน มีวงจรสมมูลเป็นความเหนี่ยวนำอนุกรมกับความต้านทาน จึงควรต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเติม เพื่อให้โหลดมีตัวประกอบกำลังสูงขึ้นที่ความถี่การใช้งาน การใส่ตัวเก็บประจุชดเชย (compensation capacitor) จะใส่แบบอนุกรมหรือขนานกับตัวเหนี่ยวนำก็ได้ การเพิ่มตัวเก็บประจุชดเชยตัวประกอบกำลัง ทำให้วงจรโหลดมีลักษณะเป็นวงจรเรโซแนนซ์ การต่อตัวเก็บประจุชดเชยตัวประกอบกำลังแบบอนุกรมหรือขนานทำให้ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งแรงดัน (voltage - fed) หรือที่ใช้แหล่งกระแส (current - fed) ตามลำดับซึ่งมีข้อดี ข้อเสียที่พอจะจำแนกได้ดังนี้ [Dede,E.J., Jordan,J., Gonzalez,J.V., Linares,J., Esteve,V.,Maset,E., 1991]

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งแรงดัน	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งกระแส
<u>ข้อดี</u> 1. ชุดควบคุมสร้างได้ง่าย 2. ด้านเข้าใช้วงจรเรียงกระแสธรรมดา 3. โครงสร้างง่ายและราคาถูก	<u>ข้อดี</u> 1. สามารถทำงานได้โดยไม่มีโหลด 2. สามารถลัดวงจรขดลวดเหนี่ยวนำ 3. ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีอัตราทนแรงดันสูง

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งแรงดัน	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งกระแส
<u>ข้อเสีย</u> 1. ไม่สามารถทำงานโดยไม่มีโหลดได้ 2. ลัดวงจรไม่ได้ 3. การควบคุมกำลังงานขึ้นอยู่กับความถี่ 4. อุปกรณ์สวิตช์ต้องนำกระแสทั้งหมดของตัวเหนี่ยวนำ	<u>ข้อเสีย</u> 1. แหล่งจ่ายเป็นแบบเรียงกระแสควบคุมหรือแบบ chopper 2. ต้องใช้ smoothing choke 3. ขนาดใหญ่

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ มีจุดประสงค์หลักเพื่อลดฮาร์มอนิกในสายกำลัง โดยจะทำงานที่ช่วงความถี่ประมาณ 30 kHz ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่ตอบสนองเร็ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังให้มีสมรรถนะสูงขึ้น คือ มีค่าพิกัดแรงดัน ค่าพิกัดกระแสที่สูงขึ้น และช่วงเวลาฟื้นตัวที่สั้นลง และมีความสามารถโดยรวมในการทำงานที่ความถี่สูงได้ดี ทำให้การผลิตเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์กำลัง หันมาใช้อุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำกันมากขึ้น ได้แก่ทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลัง IGBT กำลัง ไทริสเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์แต่ละชนิดต่างมีข้อดี ข้อเสีย หรือขีดจำกัดในการใช้งานต่างๆกันออกไป ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์จำพวกไทริสเตอร์ จะมีข้อดีคือ สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูง แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถทำงานในช่วงความถี่สูงได้ กล่าวคือ มีความถี่ใช้งานสูงสุดประมาณ 10 kHz เท่านั้น ส่วนอุปกรณ์มอสเฟตมีข้อดีคือ สามารถนำไปใช้ในงานที่มีความถี่สูงได้ถึง 200 kHz แต่มีข้อเสียคือ สามารถทนแรงดันและกระแสที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมอสเฟตกำลังที่หาซื้อได้ในประเทศจะมีขนาดอยู่ประมาณ 600 โวลต์ 35 แอมแปร์ การประยุกต์มอสเฟตกำลังในการสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ จะมีความซับซ้อนมากในส่วนของวงจรกำลัง [ธนากร ศุภจินตกุล , 2535] ส่วนทรานซิสเตอร์มีข้อดี คือ มีความสามารถในการทนกระแสและแรงดันได้สูง แต่มีข้อเสียคือ ขีดจำกัดในเรื่องความถี่ไม่เกิน 50 kHz และต้องมีวงจรขับนำที่ซับซ้อน [อมร ตันวรรณรักษ์, 2536] ในขณะที่ IGBTกำลัง มีข้อดีคือ มีความสามารถในการทนแรงดันและกระแสได้สูง เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ และนอกจากนั้นยังมีความสามารถในการทำงานที่ความถี่สูงได้ดีกว่าไทริสเตอร์ และทรานซิสเตอร์ แต่น้อยกว่ามอสเฟต นอกจากนี้ยังมีวงจรขับนำที่ง่ายกว่าทรานซิสเตอร์

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ทำการศึกษามีโครงสร้างดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

สำหรับแต่ละบล็อกของไดอะแกรมสามารถอธิบายการทำงานพอสังเขปได้ดังนี้

1. วงจรฟิลเตอร์

วงจรนี้จะทำหน้าที่กรองความถี่อันเนื่องมาจากการสวิตช์ ซึ่งจะช่วยลดการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

วงจรส่วนนี้ เป็นไซโคลคอนเวอร์เตอร์ คือแปลงแรงดันไฟสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ 3 เฟส เป็นแรงดันไฟสลับความถี่สูง เพื่อจ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำโดยผ่านหม้อแปลง วงจรส่วนนี้เป็นการแปลงผันพลังงานไฟสลับ - ไฟสลับโดยตรง โดยไม่ผ่านการเชื่อมโยงทางไฟตรง

3. วงจรควบคุมและขับนำเกต

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรไซโคลคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้กระแสด้านเข้าเป็นไซน์ และเพื่อให้สวิตช์ทำงานโดยไม่มีปัญหาแรงดันหรือกระแสเกิน

4. ภาคกำลังด้านออก

ภาคกำลังด้านออก ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วน คือ

4.1 หม้อแปลงความถี่สูง ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันขาออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ให้พอเหมาะกับขดลวดเหนี่ยวนำ และทำหน้าที่เพิ่มกระแสทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำชิ้นงาน

4.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ เป็นขดลวดที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงาน โดยขนาด รูปร่าง และจำนวนรอบต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

4.3 ตัวเก็บประจุเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของขดลวดเหนี่ยวนำ ใช้ในการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังที่ชิ้นงานให้สูงขึ้น เพื่อลดขนาดของหม้อแปลงและภาคกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยตัวเก็บประจุที่ใช้ต้องเป็นตัวเก็บประจุที่ทำงานได้ดีที่ความถี่สูงมีพิกัดของกระแสสูง

5. วงจรตรวจจับและป้องกัน

วงจรส่วนนี้ จะทำหน้าที่คอยตรวจสอบแรงดันคร่อมสวิตช์และกระแสผ่านสวิตช์ เมื่อมีค่าแรงดันหรือกระแสเกินกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ วงจรจะทำการส่งสัญญาณให้ภาคควบคุมหยุดการขับนำเกตของ IGBT เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสวิตช์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหลักการและเทคนิคของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
2. ศึกษาและวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมของขดลวดเหนี่ยวนำแล้วเปรียบเทียบผลการวัดกับผลการคำนวณและการซิมูเลต (simulation)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่มีฮาร์มอนิกต่ำในสายกำลัง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น มีคุณสมบัติดังนี้

1. กำลังด้านออกของวงจรมีค่าประมาณ 5 กิโลวัตต์
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่ 30 กิโลเฮิรตซ์
3. แรงดันด้านเข้า 3 เฟส 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์
4. ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกในสายกำลังรวมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. สำรวจและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
2. ศึกษาทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำที่นำมาใช้ในงานวิจัย
3. ออกแบบและวิเคราะห์วงจรในแต่ละส่วนและตรวจสอบผลโดยการซิมูเลต บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
4. ศึกษาแบบจำลอง ของขดลวดเหนี่ยวนำ และออกแบบการวางตัวอุปกรณ์กำลังและชิ้นงาน
5. ทำการสร้าง ทดลอง และแก้ไขปรับปรุงวงจรที่ใช้ในงานวิจัยในแต่ละส่วน
6. นำวงจรในแต่ละส่วน ประกอบเข้าด้วยกัน และทดลองทำการแก้ไขปรับปรุงวงจรและประเมินผลการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำต้นแบบ
7. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้เทคนิค และปัญหาในการออกแบบพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ความถี่ 30 กิโลเฮิรตซ์
2. นำเสนอวงจรที่ช่วยลดปัญหากระแสฮาร์มอนิกในสายกำลัง