บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเราได้ให้ความสำคัญต่อปัญหาทางด้านของสิ่งแวดล้อม และการประหยัดพลังงาน ดังนั้นการหลอมชิ้นงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำจึงเป็นทางเลือกที่ดีและเหมาะสมเพราะว่า มีความปลอดภัยเพราะไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เวลาในการหลอมได้อย่างรวดเร็วจึงมีการสูญเสียพลังงานน้อยและประหยัดพลังงาน ใช้พื้นที่ในการทำงานน้อย เงียบ ราคาถูกและทำการบำรุงรักษาได้ง่าย เครื่องหลอมโดยอาศัยการเหนี่ยวนำนั้นแบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายได้ 2 ชนิดคือ 1)เครื่องหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งมีข้อดีคือสามารถออกแบบและวิเคราะห์การทำงานได้ง่าย ส่วนข้อเสียคือต้องใช้ตัวเก็บประจุสำหรับแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ทนแรงดันได้สูง เมื่อเกิดการลัดวงจรที่โหลดจะเกิดการเสียหาย 2)เครื่องหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งเป็นระบบที่มีข้อดีอยู่หลายประการดังนี้ [1]

1.1.1 ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังกันมากที่สุดในด้านของอุตสาหกรรม
1.1.2 เมื่อเกิดการลัดวงจรที่โหลดไม่เกิดการเสียหาย
1.1.3 ไม่ต้องใช้ตัวเก็บประจุสำหรับแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ ที่ทนแรงดันได้สูง
1.1.4 ระบบมีความเชื่อถือได้สูง

โดยทั่วไปแล้วเครื่องหลอมแบบเหนี่ยวนำ ชนิดแหล่งจ่ายกระแสมีหลักการทำงานเริ่มจากจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) เพื่อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และมีตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ต่ออยู่เพื่อควบคุมกระแสดีซีลิงค์ (DC. Link Current) ให้คงที่และมีค่ากระเพื่อมน้อย เพื่อจ่ายให้กับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Inverter) ทำการสวิตช์ให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) เป็นวงปิดในตัวเบ้าหลอมและมีความร้อนเกิดขึ้น ในทางไฟฟ้านั้นวงจรเสมือนของโหลด (Induction Heating Load) จะประกอบไปด้วย ความต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำโดยมีตัวเก็บประจุต่อขนานกัน ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าวงจรแทงค์ (Tank Circuit) ปัญหาจากการที่ชิ้นงานได้รับความร้อนจะส่งผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้า และทางแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อพารามิเตอร์ของวงจรแทงค์เปลี่ยนแปลง จะมีผลทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของโหลดเปลี่ยน

แปลงตามไปด้วย ถ้าในกรณีไม่มีการควบคุมความถี่ในการสวิทซ์ให้กับอินเวอร์เตอร์จะมีผลทำให้กำลังทางด้านเอาท์พุทมีค่าต่ำ ดังนั้นถ้าเราสามารถควบคุมให้เครื่องหลอมโดยอาศัยการเหนี่ยวนำทำงานที่สภาวะเรโซแนนซ์ได้ ระบบก็จะเกิดการส่งถ่ายกำลังงานสูงสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายกระแส

1.2.2 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของตัวตรวจจับเฟสแบบเฟส-ความถี่ (Phase Frequency Detector : PFD)

1.2.3 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของคลาสซิคอลดิจิตอลเฟสล็อกลูป (Digital Phase Lock Loop : DPLL) สำหรับใช้ในการควบคุมให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในสภาวะเรโซแนนซ์ หรือควบคุมให้กระแสและแรงดันที่วงจรเรโซแนนซ์มีเฟสตรงกัน

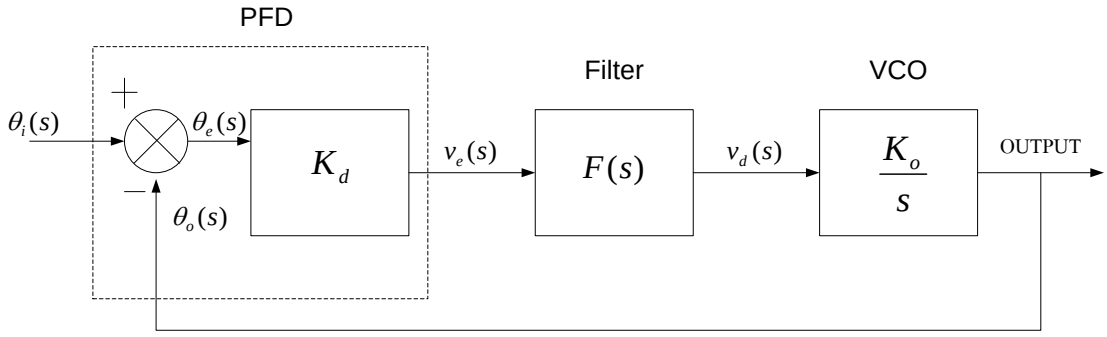
1.2.4 สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน เช่น อิมพิแดนซ์ มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแส Quality Factor และกำลังไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงเมื่อความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง

1.2.5 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติทางแม่เหล็กและทางไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลต่อความถี่ในการสวิทชิ่งของอินเวอร์เตอร์

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงานถึงจุดอุณภูมิ Curie Point จะทำให้ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กนี้เกือบเท่ากับอากาศ ที่จุดอุณภูมิดังกล่าวจะมีผลให้สารนั้นหมดสภาพความเป็นสารแม่เหล็กจะมีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของชิ้นงานลดลงอย่างมาก ดังนั้นความถี่เรโซ แนนซ์ของโหลดจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมความถี่ในการสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์ให้ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของโหลดแบบอัตโนมัติ เพื่อต้องการให้กำลังทางด้านเอาท์พุทมีค่าสูงสุด โดยใช้หลักการของ Phase Lock Loop (PLL) เพื่อทำการควบคุมให้กระแสและแรงดันที่ใช้ในการขับโหลดอยู่ในสภาวะมีเฟสตรงกัน หรืออยู่ในสภาวะความถี่เรโซแนนซ์ โดยในรูปที่ 1.1 เป็นแผนผังการทำงานของเฟสล็อกลูป ซึ่งการทำงานของเฟสล็อกลูปเริ่มจาก Phase Frequency Detector (PFD) ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจจับความคลาดเคลื่อนของความถี่และตรวจจับความคลาดเคลื่อนของเฟส โดยจะทำการเปรียบเทียบเฟสของ $\theta_o(s)$ (เฟสของกระแสที่ใช้ในการขับโหลด) กับ $\theta_i(s)$ (เฟสของแรงดันที่ใช้ในการขับโหลด) ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของเฟส (Phase Error : θ_e) เพื่อส่งต่อไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter : LPF) โดยเอาท์พุทที่ได้จะควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ (Voltage Controlled Oscillator : VCO)

สำหรับใช้ในการสวิตช์ให้กับมอสเฟต ซึ่งจะทำให้ได้ค่า $\theta_o(s)$ เท่ากับค่า $\theta_i(s)$ ดังนั้นจะทำให้กระแสและแรงดันที่วงจรเรโซแนนซ์มีเฟสตรงกัน



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม การทำงานของ Phase Lock Loop

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การควบคุมความถี่ของการสวิตช์ที่สภาวะเรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติโดยใช้เฟสล็อกลูปสำหรับเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเรื่องได้ดังนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 จะกล่าวถึงพื้นฐานการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำกับเบ้าหลอม หลักการของวงจรเรโซแนนซ์ และหลักการวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสแบบเต็มบริดจ์

บทที่ 3 จะกล่าวถึงลิเนียร์เฟสล็อกลูป คลาสซิคอลดิจิตอลเฟสล็อกลูป วงจรกรองลูป พิจารณาการทำงานของลิเนียร์เฟสล็อกลูปในสภาวะล็อก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลิเนียร์เฟสล็อกลูป ตัวจับเฟสแบบดิจิตอลชนิดเอกซ์คูลซีฟออร์เกท ตัวจับเฟสแบบดิจิตอลชนิด JK ฟลิปฟลอป และตัวจับเฟสแบบดิจิตอลชนิดเฟส-ความถี่ พิจารณาการทำงานของคลาสซิคอลดิจิตอลเฟสล็อกลูปในสภาวะล็อก

บทที่ 4 จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของระบบควบคุมความถี่ในการสวิทช์ที่สภาวะเรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติ และอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสแบบเต็มบริดจ์ พร้อมทั้งจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม PSCAD ของอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส ที่มีระบบควบคุมความถี่เรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติ

บทที่ 5 ทำการทดลองส่วนประกอบต่างๆของอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสแบบเต็มบริดจ์ ที่มีระบบควบคุมความถี่ในการสวิทช์ที่สภาวะเรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติโดยใช้เฟส

ล็อกลูป ทำการทดลองระบบควบคุมเมื่อค่าความเหนี่ยวนำเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้นำเสนอมีความสามารถในการควบคุมความถี่เรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติ ทำการทดลองระบบควบคุมความถี่เรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติเมื่อโหลดมีอุณหภูมิ 500 $^{\circ}C$ เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมที่นำเสนอมีความสามารถในการควบคุมความถี่เรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติเมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนแล้ว ทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กและทางไฟฟ้าเกิดการแปลี่ยนแปลงไป และคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาประสิทธิ ภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับเครื่องหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายกระแส

1.5.2 ศึกษาวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

1.5.3 ศึกษาวงจรเฟสล็อกลูป ที่ใช้ตัวตรวจจับเฟสแบบเฟส-ความถี่

1.5.4 ออกแบบวงจรและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสพิกัด 1 กิโลวัตต์

1.5.5 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมความถี่เรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติ

1.5.6 ทดสอบพร้อมทั้งเก็บข้อมูล

1.5.7 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับหลักการทางทฤษฎี

1.5..8 นำผลการทดลองมาเพื่อหาประสิทธิภาพ

1.5.9 เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำเครื่องต้นแบบที่ได้จากการวิจัย นำไปพัฒนาเพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีพิกัดสูงๆ เพื่อลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ