



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง ภาษาไทย การพัฒนาเตารีดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเหนี่ยวนำ
แบบผลสมสัญญาณควบคุมความร้อน

ภาษาอังกฤษ Electric Iron Development using by
Induction Heating Control

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. นายอนันต์ | โสภิน |
| 2. นายเฉลิมชนม์ | ตั้งวชิรพันธุ์ |

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเตารีดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเหนี่ยวนำแบบผสมสัญญาณควบคุมความร้อน (Electric Iron Development using by Induction Heating Control) นี้ ได้รับเงินทุนอุดหนุนในการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประเภทการวิจัยประยุกต์ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรมวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553 โดยการเสนอผ่านทางสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ซึ่งทางสถาบันวิจัยและพัฒนาได้อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนได้ช่วยแก้ปัญหาในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในบางขั้นตอนที่ยุ่งยากให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี และการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของทีมงานวิจัย และผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่ไม่สามารถกล่าวได้หมดในที่นี้

นายอนันต์ โสภณ
นายเฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์
ผู้ดำเนินการวิจัย



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเตารีดไฟฟ้าโดยวิธีการเหนี่ยวนำแบบผสมสัญญาณควบคุมความร้อนสำหรับเตารีดไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงาน และถ่ายเทความร้อนลงไปในแผ่นรีด โดยใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ทำงานที่ความถี่ 35 กิโลเฮิรซ์ โดยการทดสอบการทำงานที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 50 โวลต์ กระแสอินพุตประมาณ 5 แอมแปร์ เมื่อนำมาทดสอบโดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอสเฟตเพิ่มขึ้น ทำให้มีความร้อนเพิ่มขึ้นได้ถึง 360 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการทดสอบโดยการปรับความถี่ให้สูงและต่ำกว่า 35 KHz อุณหภูมิที่ได้จะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์จะมีการส่งผ่านพลังงานมากที่สุด ในการทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่า วิธีการนี้ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 5 เท่าของเตารีดไฟฟ้าแบบเดิมในอุณหภูมิที่เท่ากัน การสร้างเตารีดไฟฟ้าแบบนี้ใช้ต้นทุนต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับเตารีดไฟฟ้าต่อไป

Abstract

This research presents the design and devise electrical iron by using induction heating control. The principle of induction heating is made up the temperature and heat transfer into the iron. The MOSFETs transistors are using oscillate the frequency at 35 KHz. In the operate, set up the voltages $50V_{DC}$ and currents 5A. There test are varies the frequency are below and make up, then the temperatures are decrease. When the resonance frequency, the power is maximum power transfer. In this case power testing, the power is using in operate decrease about 500 percents when the compare with the old electrical iron. This type of electrical iron are low cost and application into the electrical consumer.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีการเหนี่ยวนำความร้อน

2.1 บทนำ	4
2.2 ความเป็นมาของการเหนี่ยวนำความร้อน	5
2.3 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน	6
2.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำ	9
2.5 การเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.6 ระยะเวลาล็กของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	11
2.7 ค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะกับอุณหภูมิ	13
2.8 ความซึมซาบทางแม่เหล็กของโลหะกับอุณหภูมิ	15
2.9 ความถี่	15
2.10 หลักการพาความร้อน	16
2.11 วงจรเรโซแนนซ์	17
2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	18
2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	23
2.12 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ	26
2.13 การประมาณกำลังงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน	28

บทที่ 3 การศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบเหนี่ยวนำความร้อน

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	29
3.1.1 ขั้นตอนและการศึกษาข้อมูล	29
3.1.2 แผนผังการดำเนินงาน	30
3.2 การออกแบบการวิจัย	31
3.2.1 ภาควงจรแหล่งจ่ายกำลัง	31
3.2.2 ภาควงจรกำเนิดความถี่	35
3.2.3 ภาควงจรขับเคลื่อน	36
3.2.4 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์	38
3.2.5 วงจร LC เรโซแนนซ์	40
3.2.6 การออกแบบวงจรใช้งานในเตารีด	43
3.2.7 การออกแบบแผ่นความร้อนและโครงสร้างของเตารีด	46
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การทดสอบวงจรการทำงาน	50
4.1.1 วงจรควบคุมกำเนิดสัญญาณความถี่	50
4.1.2 วงจรขยายและแยกสัญญาณทางแสง	51
4.1.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	52
4.1.4 ลักษณะของเหล็กเมื่อถูกเหนี่ยวนำ	53
4.2 การวิเคราะห์และการทดสอบชุดเหนี่ยวนำความร้อน	54
4.2.1 ผลจากการทดสอบการแผ่กระจายความร้อน	54
4.2.2 ผลจากการจำลองการทำงานของการแผ่กระจายความร้อน	54
4.2.3 ผลจากการทดสอบการให้ความร้อน	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	61
5.2 ปัญหาของงานวิจัย	62
5.3 ข้อเสนอแนะ	62

บรรณานุกรม

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน	7
ภาพที่ 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดทุติยภูมิ	7
ภาพที่ 2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียว	7
ภาพที่ 2.4 แสดงสนามแม่เหล็กในสภาวะต่างๆ	8
ภาพที่ 2.5 แสดงความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกลงเชิงผิ	12
ภาพที่ 2.6 ชิ้นงานที่ถูกกลิ้งออกเป็นแผ่น	12
ภาพที่ 2.7 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะกับอุณหภูมิ	13
ภาพที่ 2.8 ลักษณะการใช้งานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในย่านความถี่ต่างๆ	15
ภาพที่ 2.9 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและแบบขนาน	18
ภาพที่ 2.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	18
ภาพที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLC แบบอนุกรม	19
ภาพที่ 2.12 อิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบอนุกรม ที่ความถี่ต่างๆ	20
ภาพที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณแรงดันของ V_R, V_C และ V_L ที่จุดเรโซแนนซ์	22
ภาพที่ 2.14 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	23
ภาพที่ 2.15 วงจรสมมูลของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	24
ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์และกระแสกับความถี่	25
ภาพที่ 2.17 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำกับค่าอินดักแตนซ์	27
ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างของขดลวดเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ	28
ภาพที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Induction Heating	31
ภาพที่ 3.2 แสดงเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่	32
ภาพที่ 3.3 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรขับเคลื่อน	32
ภาพที่ 3.4 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่และวงจรขับเคลื่อน	33
ภาพที่ 3.5 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง	34
ภาพที่ 3.6 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง	34
ภาพที่ 3.7 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง	34
ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรกำเนิดความถี่ที่ต่ออยู่กับวงจร RC delay	35
ภาพที่ 3.9 แสดงการทำงานของ IC ขับเคลื่อน เบอร์ TLP250	36
ภาพที่ 3.10 แสดงการทำงานของ IC ขับเคลื่อน เบอร์ PC923	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์	38
ภาพที่ 3.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์	39
ภาพที่ 3.13 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	40
ภาพที่ 3.14 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	41
ภาพที่ 3.15 แสดงวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์	43
ภาพที่ 3.16 แสดงวงจรใช้งานจริงที่ใช้ไอจีบีที	44
ภาพที่ 3.17 แสดงวงจรที่ใช้ในเตารีด	44
ภาพที่ 3.18 วงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างเสร็จแล้วทั้งแบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์	45
ภาพที่ 3.19 แสดงวงจรจริงที่ใช้ประกอบลงเตารีด	45
ภาพที่ 3.20 แสดงแผ่นความร้อนของเตารีด	46
ภาพที่ 3.21 แสดงเตารีดที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	47
ภาพที่ 3.22 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบ	48
ภาพที่ 3.23 แสดงโปรแกรม Quick Field ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน	49
ภาพที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่	50
ภาพที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรกลับเฟสสัญญาณ	51
ภาพที่ 4.3 แสดงสัญญาณสำหรับขับเกต	51
ภาพที่ 4.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำการปรับปรุงโดยใช้มอสเฟต	52
ภาพที่ 4.5 แสดงสัญญาณจากการสวิตช์ของมอสเฟต	52
ภาพที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมขดลวด	53
ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะการเกิดความร้อนจากการเหนี่ยวนำ	53
ภาพที่ 4.8 แสดงการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็กและระดับความร้อน	55
ภาพที่ 4.9 แสดงทิศทางการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็กและระดับความร้อน	55
ภาพที่ 4.10 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กและการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก	56
ภาพที่ 4.11 แสดงจุดรวมของการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก	56
ภาพที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่วัดจากขดลวดที่พันยึดกับแผ่นความร้อน	59
ภาพที่ 4.11 แสดงกำลังงานที่ใช้ของเตารีดขณะความร้อนสูงสุด	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน	30
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และอุณหภูมิ	57
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้และอุณหภูมิที่ได้ เมื่อทำการปรับความถี่ในการใช้งาน	58
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากวงจรใช้งานจริงเมื่อมีโหลดเป็นแผ่นหน้าเตารีด	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันในประเทศไทยมีจำนวนประชากร 70 ล้านคน ซึ่งประชากรในประเทศทุกส่วนอาชีพนั้นมีเครื่องนุ่งห่มที่แตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศและวัฒนธรรมท้องถิ่น แต่เครื่องนุ่งห่มส่วนใหญ่หลังจากการซักทำความสะอาดต้องอาศัยการรีดให้เรียบ ซึ่งทุกครัวเรือนจะมีเตารีดไฟฟ้าสำหรับใช้งาน โดยเตารีดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในปัจจุบันนั้นจะใช้กำลังงานไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 1,000 วัตต์ ไม่ว่าจะเป็นเตารีดที่ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน หรือจะเป็นเตารีดที่ใช้ขดลวดความร้อนเพื่อให้เกิดความร้อน การรีดผ้านั้นจะเกิดขึ้นสัปดาห์ละ 1 ครั้ง บางครัวเรือนสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง และบางครัวเรือนจะเกิดขึ้นในทุกวัน ซึ่งเมื่อคำนวณถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการรีดเครื่องนุ่งห่มต่อปี ภายในประเทศจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และพฤติกรรมในการใช้เตารีดกำลังวัตต์สูงนั้นกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากเตารีดที่มีใช้ในปัจจุบันจะเน้นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ความสะดวกในการใช้ แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่ากำลังงานที่ใช้งานที่ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการให้ความร้อน ตลอดจนเพิ่มค่าใช้จ่ายในครัวเรือน

จึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนางานวิจัย ในด้านการให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพแก่เตารีดไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงถึงร้อยละ 90 โดยความถี่ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำโลหะให้เกิดความร้อนนั้นอยู่ในช่วง 10 kHz -100 kHz และได้มีการพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์ คือ เตารีดไฟฟ้าที่ใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ซึ่งจะป็นนวัตกรรมที่ให้ความร้อนโดยใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาเตารีดไฟฟ้าที่ให้ความร้อนโดยใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ โดยจะทำการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปสู่แผ่นความร้อน และใช้เทคนิคการผสมสัญญาณในการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีด ซึ่งจะได้เตารีดที่ใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่มีประสิทธิภาพสูง เวลาในการให้ความร้อนถึงจุดที่เหมาะสมในการรีดน้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงาน การพัฒนารูปร่างของผลิตภัณฑ์ และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันอันเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจในระยะยาวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการให้ความร้อนแก่เตารีดโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ
2. ศึกษาลักษณะตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมต่อการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในเตารีด
3. ศึกษาถึงโลหะที่เหมาะสมสำหรับเตารีดแบบขดลวดเหนี่ยวนำ
4. ศึกษาหลักการใช้สัญญาณผสมในการควบคุมความร้อน
5. เพื่อเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจากการรีดผ้าในชีวิตประจำวัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. หาลักษณะขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กและความถี่ที่เหมาะสม ในการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสู่ผิวโลหะ
2. หาชนิดของแผ่นโลหะที่เหมาะสมในการกระจายความร้อนที่ใช้ในการรีดผ้าจากเตารีดแบบขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก
3. หาเวลาในการให้อุณหภูมิที่ใช้ในการรีดของเตารีดแบบขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโลหะที่ใช้ในทำเตารีด
3. ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณย่านความถี่สูงและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน
4. ออกแบบโครงสร้างของเตารีดที่จะใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำความร้อน
5. ทำการสร้างเตารีดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
6. ทำการวิเคราะห์และทดสอบเตารีดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
7. ทดสอบและเก็บข้อมูลพลังงานที่ใช้เทียบกับเตารีดแบบทั่วไป
8. สรุปผลและวิจารณ์ผล
9. จัดทำรูปเล่มรายงาน
10. เผยแพร่ผลงานวิจัย

สถานทำการทดลอง/เก็บข้อมูลคือ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคณะเทคโนโลยี สาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบสมรรถนะของการรีดผ้าโดยใช้เตารีดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำความร้อน
2. ทำให้ทราบตัวแปรที่เหมาะสมที่มีผลต่อการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
3. สามารถนำผลงานที่ได้ไปจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรได้
4. ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการรีดผ้าและช่วยลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้มากขึ้น
5. สามารถถ่ายทอดผลงานวิจัยเตารีดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสู่ชุมชน และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
6. สามารถผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีการเหนี่ยวนำความร้อน

2.1 บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรประมาณ 70 ล้านคน ซึ่งประชากรในประเทศทุกภาคส่วนนั้นมีเครื่องนุ่งห่มที่แตกต่างกัน ตามลักษณะภูมิประเทศและวัฒนธรรมท้องถิ่น แต่เครื่องนุ่งห่มส่วนใหญ่หลังจากการซักทำความสะอาดแล้วก็ต้องอาศัยการรีดให้เรียบ ซึ่งในการรีดให้เรียบนั้นในทุกครัวเรือนจะมีเตารีดไฟฟ้าสำหรับใช้งานในการรีด โดยเตารีดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในปัจจุบันนั้นจะใช้กำลังงานไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 1,000 วัตต์ ไม่ว่าจะเป็นเตารีดที่ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน หรือจะเป็นเตารีดที่ใช้กำลังไฟฟ้าส่งผ่านขดลวดความร้อน เพื่อทำให้เกิดความร้อนในการรีดผ้า การรีดผ้านั้นจะเกิดขึ้นสัปดาห์ละ 1 ครั้ง บ้าง บางครัวเรือนสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง และบางครัวเรือนจะเกิดขึ้นในทุกวัน ซึ่งเมื่อคำนวณถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รีดเครื่องนุ่งห่มต่อปีภายในประเทศจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และพฤติกรรมในการใช้เตารีดกำลังวัตต์สูงนั้นก็กำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากเตารีดที่มีใช้ในปัจจุบันจะเน้นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ความสะดวกในการใช้ แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่ากำลังงานที่ใช้งาน ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการให้ความร้อน ตลอดจนถึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในครัวเรือน

จึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนางานวิจัย ในการให้ความร้อนแก่เตารีดไฟฟ้าที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง โดยที่ประสิทธิภาพในการทำงานยังคงเดิม โดยอาศัยหลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพในการใช้งานได้สูงถึงร้อยละ 90 โดยความถี่ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำโลหะให้เกิดความร้อนนั้นอยู่ในช่วง 10 kHz - 100 kHz และได้มีการพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์เตารีดไฟฟ้าที่ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ งานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาเตารีดที่ให้ความร้อนโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยจะทำการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทางการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปสู่แผ่นความร้อน และใช้เทคนิคการผสมสัญญาณในการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีด ซึ่งจะได้เตารีดที่ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีประสิทธิภาพสูง เวลาในการให้ความร้อนถึงจุดที่เหมาะสมในการรีดน้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงาน การพัฒนารูปร่างของผลิตภัณฑ์ และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันอันเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจในระยะยาวต่อไป

2.2 ความเป็นมาของการเหนี่ยวนำความร้อน

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เป็นผู้ค้นพบหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1831 หลักการนี้เป็นพื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน (Induction Heating) โดย ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้แสดงให้เห็นว่า กระแสสามารถถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาได้ในวงจรปิดของวงจรขดทุติยภูมิได้ ถ้าเราทำให้กระแสที่ไหลในวงจรขดปฐมภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหัวใจสำคัญของมัน คือ การเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นในวงจรขดทุติยภูมิได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสสลับไหลไปที่วงจรขดปฐมภูมิ หลักการเหล่านี้ได้นำมาใช้กับมอเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า วิทยุสื่อสาร และโทรศัพท์ ฯลฯ และในอุปกรณ์เหล่านี้จะมีสิ่งๆหนึ่งซึ่งถูกมองว่าเป็นความสูญเสียและเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ สิ่งนั้น คือ “ความร้อน” ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ เกิดขึ้นจากกระแสในวงจรและเส้นแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่า “กระแสไหลวน” (Eddy Current) วิศวกรจึงพยายามทุกวิถีทางที่จะทำให้กระแสไหลวนมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยใช้แผ่นลามิเนต (Laminate) มาทำเป็นทางเดินแม่เหล็กของหม้อแปลงและมอเตอร์ ทำให้ความต้านทานแม่เหล็กตามแนวเส้นแรงของแม่เหล็กมีค่าต่ำ แต่ความต้านทานทางไฟฟ้าของแผ่นลามิเนตซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับกับเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าสูง

จากการทดลองของ ฟาราเดย์ ทำให้เกิดทฤษฎีต่างๆมากมาย เช่น Lenz และ Neuman ซึ่งได้พิสูจน์ให้เห็นว่ากระแสที่ถูกเหนี่ยวนำจะต้านกับเส้นแรงแม่เหล็กที่กำลังเหนี่ยวนำ และจะแปรผกผันกับความถี่ Foucault ได้ตั้งทฤษฎี Eddy Current ในปี ค.ศ. 1868 และ Heaviside ได้แต่งบทความชื่อว่า “The Induction of Current Core” เป็นบทความที่เป็นเรื่องราวของการส่งถ่ายพลังงานจากขดลวดไปยังแท่งโลหะ (Solid Core) และ Thomson ก็มีมีส่วนช่วยในเรื่องของการเหนี่ยวนำความร้อนอย่างมาก

ในช่วงแรกๆ ได้มีการสร้างเครื่องหลอมโลหะชนิดความถี่ปานกลาง เป็นเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำแกนเหล็ก ขึ้นในฝรั่งเศส สวีเดน และ อิตาลี และต่อมาก็เกิดมีแนวความคิดที่ใช้คาปาซิเตอร์ในการขดเซรีแอกติฟเพาเวอร์ขึ้น Dr. Northrup ก็เป็นบุคคลที่พัฒนาปรับปรุงเตาชนิดนี้มาใช้ในอุตสาหกรรม ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการพัฒนาจนถึงขั้นที่สามารถทำให้การเหนี่ยวนำความร้อนมีความแม่นยำสูง ด้วยเหตุผลที่ว่า การเหนี่ยวนำความร้อนไม่ต้องการแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากภายนอก ดังนั้นจึงมีการสูญเสียน้อยและทำความสะอาดได้ง่าย เพราะไม่มีส่วนใดสัมผัสกัน

2.3 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน

การเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น จะประกอบไปด้วยสามปัจจัยพื้นฐานคือ 1). การเหนี่ยวนำเกี่ยวกับภาวะสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 2). ผลกระทบเชิงผิว และ 3). การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นทฤษฎีมูลฐานของการเหนี่ยวนำความร้อนคล้ายกับการเปลี่ยนรูป เป็นการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิว ซึ่งสามารถอธิบายได้ในภาพที่ 2.1 เป็นภาพที่แสดงระบบพื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน จะประกอบไปด้วยเครื่องทำความร้อนที่เป็นขดลวดเป็นส่วนที่เหนี่ยวนำความร้อน เพื่อเป็นการอธิบายการเหนี่ยวนำเกี่ยวกับภาวะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิว ในภาพที่ 2.2 เป็นการแสดงตัวอย่างอย่างง่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงหรือที่เรียกว่า คอยล์ (coil) ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลง แต่ไม่ได้แปลงพลังงานไฟฟ้า นั่นคือ ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปให้กับแกนเหล็กไปเป็นพลังงานความร้อนเนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำในแกนเหล็ก (กระแสไหลวน) ตามกฎของเลนส์แล้ว พลังงานไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและในขดลวดทุติยภูมิต้องเท่ากัน นั่นคือ

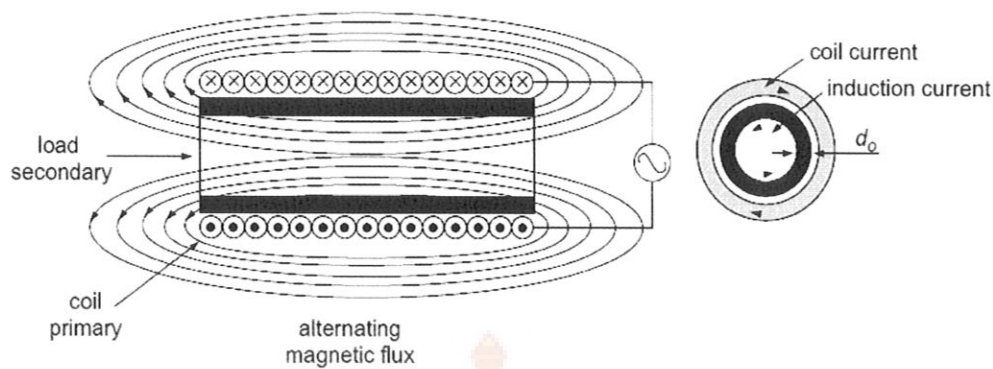
$$P_1 = P_2 \quad (2.1)$$

$$I_1 V_1 = I_2 V_2$$

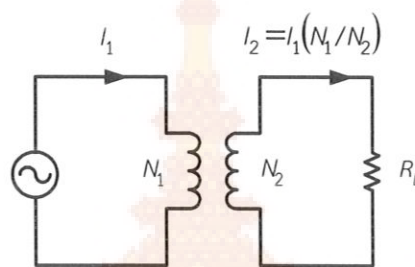
หรือ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.2)$$

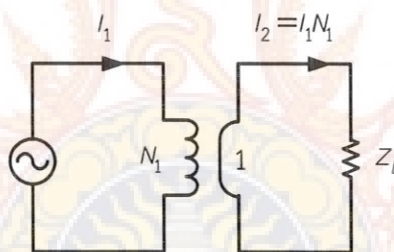
ในภาพที่ 2.3 เมื่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียวจะทำให้ $2N = 1$ และจะทำให้การสูญเสียทางความร้อนเพิ่มขึ้นที่กระแสของโหลด ภาพที่ 2.1 เป็นการแสดงระบบพื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน เมื่อมีพลังงานจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวดเป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ติดกับตัวนำที่อยู่กับที่ ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้ว ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในนี้เรียกว่าการเหนี่ยวนำภายในขดลวด



ภาพที่ 2.1 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน



ภาพที่ 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดทุติยภูมิ



ภาพที่ 2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียว

ภาพที่ 2.1 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเปิดสวิตช์ กระแสไฟฟ้าในวงจรจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานที่ต่อลำดับอยู่ ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้า เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดก็จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว และตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนที่ตัดกัน ระหว่างสนามแม่เหล็กกับตัวเหนี่ยวนำก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าภายในวงจร โดยค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/วินาที ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเป็นตัวแสดงว่า แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำจะมีปริมาณเท่าไร สำหรับการเปลี่ยนแปลงของ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเดียวกัน สมการในการคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นดังนี้

$$V_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (2.3)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ
 Δi คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า
 Δt คือ การเปลี่ยนแปลงของเวลา

เมื่อค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาก และถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ด้วย การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นมากด้วย

เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด จะทำให้สนามแม่เหล็กมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าถึงค่าสูงสุดด้วย และทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เกิดการขยายตัวอีกต่อไป โดยจะรักษาระดับให้คงที่ไว้ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่แล้วการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่เกิดขึ้น และสุดท้ายกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไปต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้น ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) ขดลวดจะรับพลังงานไฟฟ้าและเก็บไว้ในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวเก็บประจุที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้านั่นเอง



ภาพที่ 2.4 แสดงสนามแม่เหล็กในสถานะต่างๆ

ถ้าปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลมาจากแบตเตอรี่ จะมีค่าเท่ากับศูนย์และทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวลงมา ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร จึงไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกต่อไป และถึงแม้เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัวลงมาแต่ก็ยังเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำอยู่ เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าของวงจรซึ่งไหลอยู่ก่อนหน้านี้แล้ว ขดลวดในขณะนี้จะเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและคืนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตอนแรกออกมา หลังจาก

เวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัวหมดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะกลายเป็นศูนย์ และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้นอีก แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดนี้ ทำหน้าที่ต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ และความสามารถของขดลวดหรือตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายใน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า หรือที่นิยมเรียก คือ ความเหนี่ยวนำ หน่วยเป็น เฮนรี (H)

2.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัยดังนี้

1. จำนวนรอบของขดลวด
2. พื้นที่ของขดลวด
3. ความยาวของขดลวด
4. วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด

(1) จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด

(2) พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ของขดลวด

(3) ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลง ในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น ความยาวของขดลวดสั้นลงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

(4) วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวก นิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เพอร์ไรต์ หรืออัลลอย ซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวม หรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย

จากปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$L = \frac{N^2 A \mu}{l} \quad (2.4)$$

โดยที่ L	คือ ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี (H)
N	คือ จำนวนของขดลวด หน่วยเป็น รอบ
A	คือ พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)
μ	คือ ค่าความซาบซึมได้ (Permeability)
l	คือ ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.5 การเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากภาพที่ 2.1 เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นรอบๆ ขดลวดซึ่งสอดคล้องกับกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law)

$$\oint H dl = Ni = F \quad (2.5)$$

และ $\phi = \mu H A \quad (2.6)$

ซึ่งวัตถุที่ใส่เข้าไปในส่วนของพื้นที่ที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการเคลื่อนที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นของส่วนพื้นที่ที่เกิดสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางจากพื้นผิวมากที่สุด ซึ่งคล้ายกับกฎของ ฟาราเดย์ (Faraday's Law) เมื่อจ่ายกระแสเข้ากับพื้นผิวของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ มีความสัมพันธ์กลับกันกับกระแสบนวงจรการเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ 2.7 เกิดกระแสวนบนพื้นผิวของวัตถุ

$$E = \frac{d\lambda}{d\lambda} = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.7)$$

ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดพลังงานทางไฟฟ้าจากกระแสชุกและกระแสวน แปลงเป็นพลังงานในรูปของความร้อน ดังสมการที่ 2.8

$$P = \frac{E^2}{R} = I^2 R \quad (2.8)$$

ซึ่งค่าของตัวต้านทานได้จากค่าของความหนาแน่น และ ค่าความซาบซึมได้ของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ส่วนกระแสได้จากค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นได้โดยมีความสัมพันธ์กับค่าของความลึกผิว ซึ่งสามารถอธิบายได้ในส่วนของภาพที่ 2.2

ถ้าวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้เช่น เหล็ก พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยจำนวนของพลังงานความร้อนที่ได้จะมากขนาดไหนขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุด้วยพลังงานจะเพิกเฉยถ้าวัตถุมีขนาดเล็กมากๆ เนื่องจากพลังงานมีการสูญเสียมากกว่า 10 เปอร์เซนต์

2.6 ระยะความลึกผิวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ที่สัญญาณความถี่สูงไหลที่ผิวและความถี่ต่ำไหลลึกลงไปในตัวเรื่อยๆตามความถี่ที่ลดลง ดังสมการที่ 2.9 และสมการที่ 2.10 เราเรียกว่า เกิดปรากฏการณ์ Skin Effect

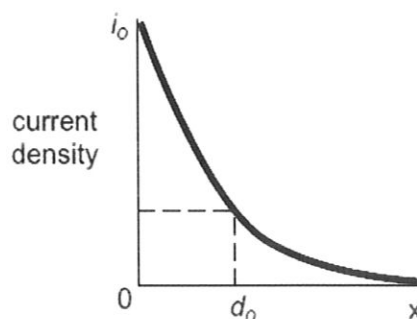
$$i_x = i_0 e^{-\frac{x}{\delta}} \quad (2.9)$$

เมื่อ	i_x	คือ ความหนาแน่นของกระแสที่ x
	i_0	คือ ความหนาแน่นของกระแสนความลึกผิว
	δ	คือ ความลึกผิว

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (2.10)$$

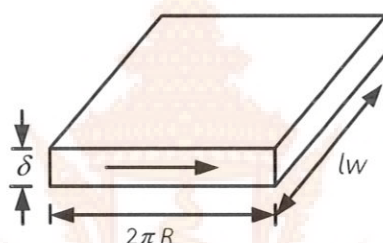
โดยที่	ρ	คือ ความควบแน่น
	μ	คือ ความซึมซาบได้
	ω	คือ ความถี่ที่กระแสไหลผ่านวัตถุ

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นว่าค่าความลึกผิวที่ได้ ขึ้นอยู่กับค่าความควบแน่น ค่าความซาบซึมได้ และความถี่ของวัตถุ ภาพที่ 2.5 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว



ภาพที่ 2.5 แสดงความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว

ถ้าพิจารณาว่ากระแสโดยส่วนใหญ่ไหลอยู่ในระดับความลึกผิว และความต้านทานสมมูลของชิ้นงาน จะพิจารณาชิ้นงานทรงกระบอกจากการคลี่ออกเป็นแผ่นบาง มีระยะทางการไหลของกระแส มีค่าเท่ากับขนาดเส้นรอบวงของชิ้นงานทรงกระบอกที่มีความหนาเท่ากับความลึกผิว



ภาพที่ 2.6 ชิ้นงานที่ถูกคลี่ออกเป็นแผ่น

จากค่าความต้านทาน $R = \frac{\rho l}{A}$ ดังนั้นค่าความต้านทานของชิ้นงานรูปทรงกระบอกที่ถูกคลี่ออกในภาพที่ 2.6 มีความหนาของชิ้นงานเท่ากับความลึกผิว สามารถหาได้จากสมการที่ 2.11

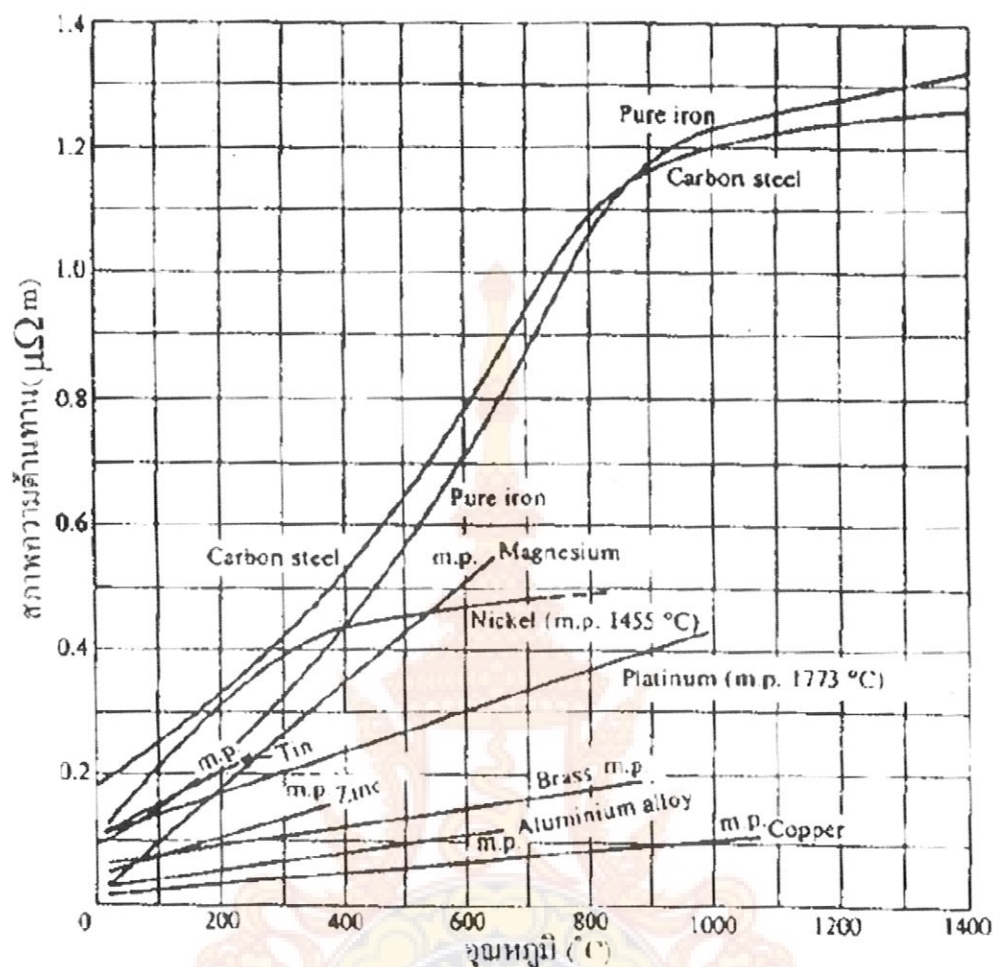
$$R_w = \rho \frac{2\pi R}{\delta l_w} \quad (2.11)$$

ดังนั้น

$$R_w \propto \frac{\rho}{\delta} = \sqrt{\rho \mu f} \quad (2.12)$$

สรุปได้ว่า ค่าความต้านทานของชิ้นงานจะแปรผันโดยตรงกับรากที่สองของค่าความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน รากที่สองของค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กของชิ้นงาน และรากที่สองของความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2.7 ค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะกับอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.7 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะกับเวลา

ค่าความต้านทานจำเพาะโดยทั่วไปจะขึ้นกับสารที่เป็นชิ้นงาน โดยปกติสารที่เป็นพวกโลหะเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ความสัมพันธ์ในลักษณะทั่วไปจะเป็นดังสมการที่ 2.13

$$\rho_{\theta} = \rho_1 [1 + \alpha(\theta - \theta_1)] \quad (2.13)$$

โดยที่ ρ_{θ} คือค่าความต้านทานจำเพาะ (Ωm) ที่อุณหภูมิ $\theta(^{\circ}C)$ ใดๆ และ ρ_1 คือความต้านทานจำเพาะที่อุณหภูมิ θ_1 ส่วน α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสารชนิดต่างๆ ในทางปฏิบัติจะพบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของชิ้นงานจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ในการคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะสมมูล จะพิจารณาจากกำลังที่ชิ้นงาน โดยกำลังที่ชิ้นงานจะแปรตาม ρI^2 หรืออีกนัยหนึ่งคือแปรตาม $\sqrt{\rho}$ ดังนั้นถ้าให้ตัวแปรอื่นคงที่และพิจารณาว่าค่าความต้านทานจำเพาะของชิ้นงานจะแปรผันกับอุณหภูมิเป็นเชิงเส้นจะได้ว่า

$$\rho_0 = \rho_1 + \frac{\theta - \theta_1}{(\theta_2 - \theta_1)(\rho_2 - \rho_1)} \quad (2.14)$$

และ

$$\frac{d\theta}{dt} = c\sqrt{\rho} \quad (2.15)$$

โดยที่ C เป็น ค่าคงที่ จักรุปสมการที่ 2.15 ใหม่จะได้เป็น

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta}{\sqrt{\rho_1 + \frac{(\theta - \theta_1)(\rho_2 - \rho_1)}{(\theta_2 - \theta_1)}}} = \int_0^1 C dt \quad (2.16)$$

ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจนอุณหภูมิ θ_1 เปลี่ยนเป็น θ_2 เท่ากับ

$$t = 2 \frac{(\theta_2 - \theta_1)\sqrt{\rho_2} - \sqrt{\rho_1}}{(\rho_2 - \rho_1)C} \quad (2.17)$$

ถ้าสมมติให้ค่าความต้านทานจำเพาะมีค่าคงที่ และมีค่าเป็น ρ_m ตลอดช่วงอุณหภูมิการใช้งาน (θ_1 ถึง θ_2) เมื่อแทนในสมการที่ 2.16 จะได้

$$\begin{aligned} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta &= \int_0^1 C\sqrt{\rho_m} dt \\ t &= \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{C\sqrt{\rho_m}} \end{aligned} \quad (2.18)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.17 กับสมการที่ 2.18 จะได้ว่า

$$\rho_m = \frac{(\sqrt{\rho_2} + \sqrt{\rho_1})^2}{4} \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.19 ค่าความต้านทานจำเพาะสมมูลที่ได้ อาจจะใช้ได้กับโลหะบางประเภทที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นเชิงเส้น และจากภาพที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าโลหะที่เป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ρ กับอุณหภูมิ จะไม่เป็นเชิงเส้นตลอดช่วงอุณหภูมิเหมือนสมมติฐานในสมการที่ 2.19 ดังนั้นการคำนวณโดยใช้ค่า ρ_m จึงต้องแยกพิจารณากราฟที่เป็นเชิงเส้นออกเป็นช่วงๆทีละช่วง

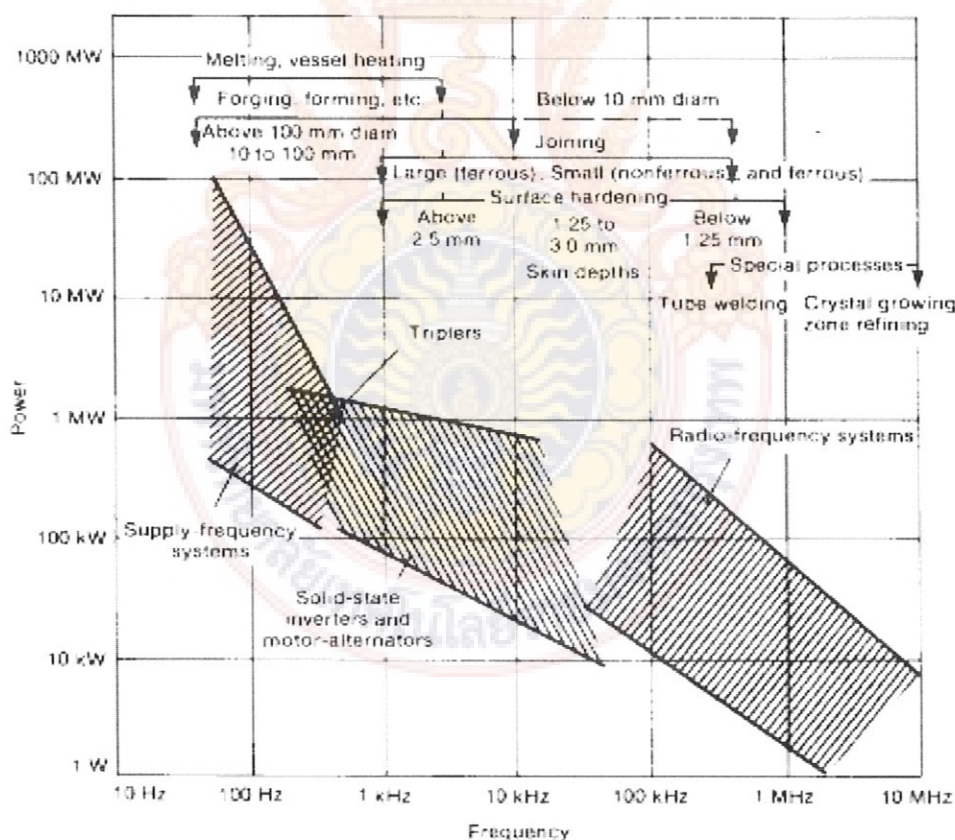
2.8 ความซึมซาบทางแม่เหล็กของโลหะกับอุณหภูมิ

ความซึมซาบทางแม่เหล็กของโลหะนั้นปกติจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่สำหรับสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสนามแม่เหล็กกับความซึมสนามแม่เหล็กจะไม่เป็นเชิงเส้น

นอกจากนี้ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กของสารเฟอร์โรแมกเนติก ยังมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ด้วย โดยปกติแล้วความซึมซาบทางแม่เหล็กของสารประเภทนี้จะค่อนข้างมีค่าคงที่กับอุณหภูมิ แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงจุดคูรี (Curie point) แล้ว ค่าความซึมซาบของสารนั้นจะลดลงเป็นค่าซึมซาบของอากาศทันที $\mu_r = 1$ มีผลให้สารนั้นหมดสภาพความเป็นแม่เหล็กนั่นเอง

2.9 ความถี่

การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำแต่ละประเภท จะใช้ช่วงความถี่และระดับกำลังแตกต่างกัน ไปดังที่แสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งจะได้รับกำลังจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งได้มาจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้ ดังนี้



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการใช้งานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในย่านความถี่ต่างๆ

1) เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำที่ใช้แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าโดยตรง แรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ระดับความลึกผิวในการให้ความร้อนมีค่ามากตั้งแต่ 10 – 100 มิลลิเมตร โดยปกติเครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำประเภทนี้ จะใช้ในงานการหลอมโลหะ มีกำลังสูงได้ถึงหลายร้อยเมกะวัตต์

2) เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำที่ใช้มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ความร้อนอยู่ในย่าน 500 เฮิร์ซ ถึง 10 กิโลเฮิร์ซ เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำชนิดนี้ จะใช้พลังงานจากการไฟฟ้ามาขับเคลื่อนมอเตอร์ และใช้มอเตอร์ไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกที โดยสามารถให้กำลังได้หลายร้อยกิโลวัตต์ และให้ระดับความลึกผิวตั้งแต่ 1 – 10 มิลลิเมตร

3) เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำโดยวงจรแปลงผันแรงดัน โดยใช้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจำพวกทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลัง หรือพวกริซิสเตอร์ แปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าให้เป็นไฟสลับอีกครั้งแต่มีความถี่สูงขึ้น โดยใช้งานในย่านความถี่ 500 เฮิร์ซ ถึง 50 กิโลเฮิร์ซ การเลือกใช้อุปกรณ์สวิตช์จะต้องคำนึงถึงความเร็วในการสวิตช์ และขนาดกำลังของอุปกรณ์สวิตช์ให้เหมาะสม

4) เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำที่ทำงานย่านความถี่วิทยุ โดยเครื่องประเภทนี้จะทำงานตั้งแต่ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ซ จนถึง 50 เมกะเฮิร์ซ ซึ่งปัจจุบันนี้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำยังมีสมรรถนะในการใช้งานที่ความถี่สูงๆ ได้ไม่เพียงพอ โดยความลึกผิวอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 2 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับงานชุบแข็งที่ผิว เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวนำนี้จะให้กำลังงานค่อนข้างต่ำ

จะเห็นว่าความถี่นั้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อประสิทธิภาพความลึกผิวในชิ้นงานและกำลังเข้าของชิ้นงาน โดยเมื่อความถี่สูงขึ้นความลึกผิวจะลดลง ประสิทธิภาพและกำลังเข้าของชิ้นงานจะสูงขึ้น

2.10 หลักการพาความร้อน

การพาความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล คือ การพาความร้อนโดยที่ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงาน และการเคลื่อนที่ของการไหล การพาความร้อนยังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced convection) และการพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection)

1) การพาโดยการบังคับ (Forced convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือเครื่องสูบน้ำ

2) การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆมาทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจจะเคลื่อนที่ได้จากแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้น มีหลายสิ่งที่ต้องพิจารณาร่วมเนื่องจากมีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อน เป็นต้นว่า ความหนาแน่นของของไหล ความหนืด เป็นต้น ดังนั้นเราจะตัดความยุ่งยากเหล่านี้ โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน q โดยการพาดังสมการที่ 2.20

$$q = hA(\Delta T) \quad (2.20)$$

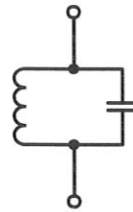
โดยที่ q	คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนเนื่องจากการพา
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
A	คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิ

2.11 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ เป็นวงจรผสมที่ต่อรวมอยู่ระหว่างคาปาซิเตอร์และขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีความสำคัญและใช้มากพอสมควรในวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบแอนะล็อก ด้วยผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับของขดลวดเหนี่ยวนำและคาปาซิเตอร์ซึ่งแตกต่างกันไปในทางตรงกันข้าม จะทำให้เกิดผลต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในลักษณะต่างๆ เช่น เกิดการจ่ายและรับกระแสซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับตกคร่อมวงจรขึ้น เมื่อวงจรได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะเกิดการต่อต้านและยอมให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับบางความถี่ผ่าน เป็นต้น จากคุณสมบัตินี้ จึงสามารถนำวงจรเรโซแนนซ์ไปใช้เป็นชุดสร้างความถี่ให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์ นำมาใช้สำหรับเลือกให้สัญญาณที่ต้องการผ่าน หรือใช้เป็นวงจรกั้นหรือกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ โดยวงจรเรโซแนนซ์ จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด โดยพิจารณาจากลักษณะการต่อร่วมกันระหว่างขดลวดและคาปาซิเตอร์ ถ้าต่อร่วมกันแบบอนุกรม จะเรียกว่า วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series resonance circuit) และถ้าต่อขนานกัน จะเรียกว่า วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel resonance circuit) ซึ่งจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.9



(ก) แบบอนุกรม



(ข) แบบขนาน

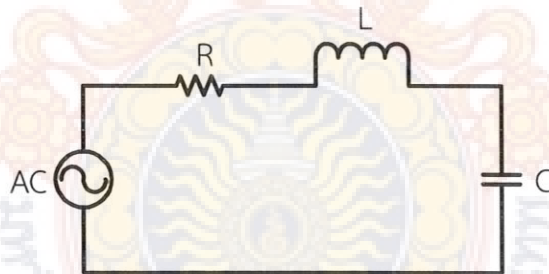
ภาพที่ 2.9 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและแบบขนาน

2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series resonance circuit)

สมการของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เป็นดังสมการที่ 2.21

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2.21)$$

ลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม จะมีอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์ต่ำที่สุด ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านวงจรจะมีค่ามากที่สุด ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูงสุด วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทำได้โดย การลดแรงดันที่จ่ายให้วงจร หรือเลื่อนความถี่การใช้งานให้ต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งเรโซแนนซ์ เมื่อพิจารณาในภาพที่ 2.10 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RLC ที่ต่อแบบอนุกรมจะมีค่าดังสมการที่ 2.21



ภาพที่ 2.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

สภาวะเรโซแนนซ์จะสามารถหาค่าความถี่ได้ดังสมการที่ 2.22

$$X_L = X_C$$

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

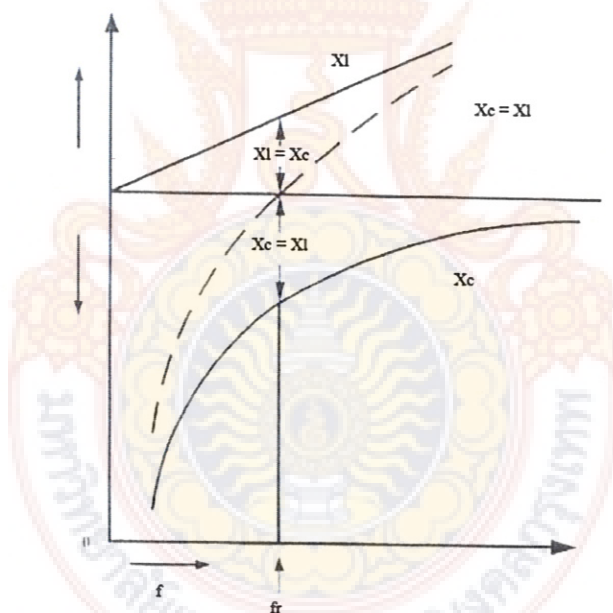
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ 2.22 จะพบว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจาก
ค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ จากภาพที่ 2.10 จะเห็นว่าเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามี
ค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น ค่า X_L จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าของ X_C จะมีค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น
ด้วย โดยผลรวมของค่ารีแอกแตนซ์จะมีค่าเท่ากับ $(X_L - X_C)$ ดังนั้นถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่า
เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ จะมีผลทำให้ค่ารีแอกแตนซ์รวมมีค่าเป็นศูนย์ และอิมพีแดนซ์รวมของวงจร
จะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน ($Z = R$)

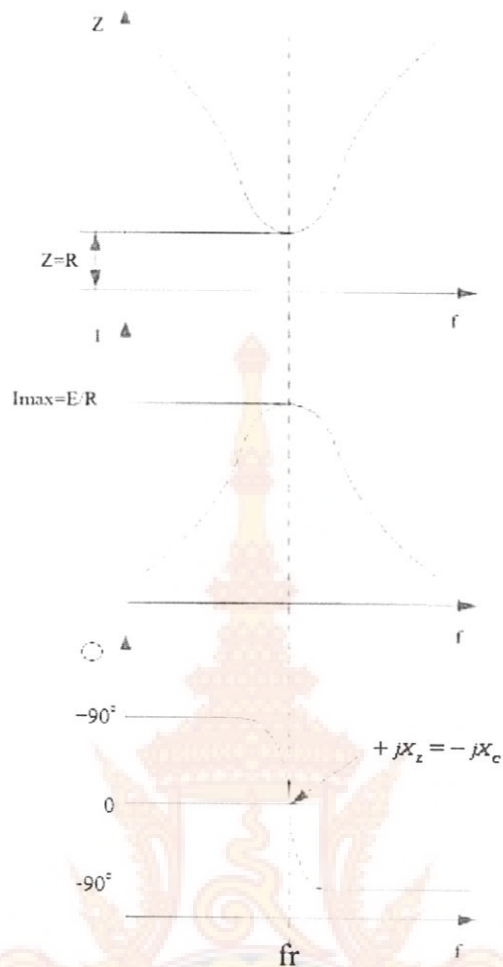
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.23)$$

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24 นำค่าอิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจรที่ความถี่
ใดๆ มาเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLC แบบอนุกรม



ภาพที่ 2.12 อิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบอนุกรม ที่ความถี่ต่างๆ

กระแสในวงจรอนุกรม

$$I = \frac{V}{R + j(X_L + X_C)} \quad (2.25)$$

กระแสที่ไหลเมื่อความถี่เรโซแนนซ์ ($X_L = X_C$)

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.26)$$

จากภาพที่ 2.12 พบว่ากราฟที่ได้จะมีค่าต่ำ เมื่อความถี่ในวงจรไม่อยู่ที่จุดเรโซแนนซ์

2.11.1.1 ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรแบบอนุกรม

สามารถเขียนสมการของรีแอกแตนซ์ที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ได้เป็น

$$X_L = 2\pi f L \quad (2.27)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.28)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (2.29)$$

เมื่อ L คือ ตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (H)

C คือ ตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

2.11.1.2 แรงดันที่จุดเรโซแนนซ์

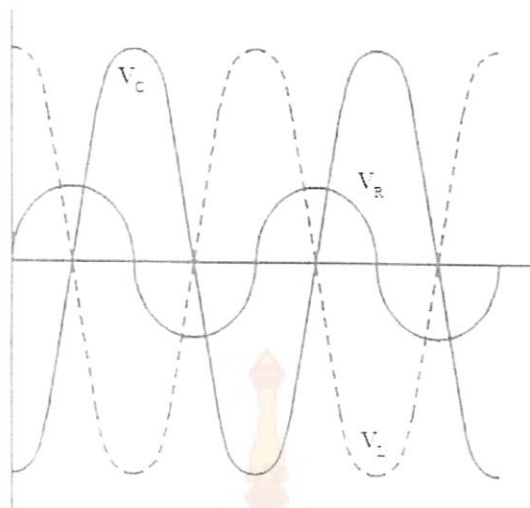
แรงดันที่จุดตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร RLC จะมีค่าเท่ากับ $I_X R$ และที่จุดเรโซแนนซ์แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

$$V_C = L X_C \quad (2.30)$$

$$V_L = L X_L \quad (2.31)$$

2.11.1.3 พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L และ C

เมื่อนำรูปคลื่นสัญญาณของ V_R, V_C และ V_L ที่จุดเรโซแนนซ์มาพล็อต ดังภาพที่ 2.13 จะพบว่า V_L และ V_C จะกลับเฟสกัน 180 องศา ส่วน V_R จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ V_C และ V_L มีค่าเท่ากับศูนย์ จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่า มีการส่งพลังงานระหว่าง L และ C กลับไปกลับมา เมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์



ภาพที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณแรงดันของ V_R , V_C และ V_L ที่จุดเรโซแนนซ์

2.11.1.4 Q แฟคเตอร์ของวงจรอนุกรม LC

พิจารณาความสัมพันธ์ของ I , V_C , V_L ที่จุดเรโซแนนซ์

$$V = IR$$

$$V_L = IX_L$$

ดังนั้น

$$V_L = \frac{VX_L}{R}$$

$$\frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{R}$$

อัตราส่วน $\frac{V_L}{V}$ และ $\frac{V_C}{V}$ คือค่าควอลิตี้ (Quality) ของวงจรเรโซแนนซ์หรือค่า Q แฟคเตอร์

นั่นเอง

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR} \quad (2.32)$$

จากสมการพบว่าค่า Q แฟคเตอร์ของวงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ สามารถเปลี่ยนเพิ่มได้เมื่อลดความต้านทาน หรือโดยการเพิ่มอัตราส่วนของ $\frac{L}{C}$

2.11.1.5 ผลของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมที่มีต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

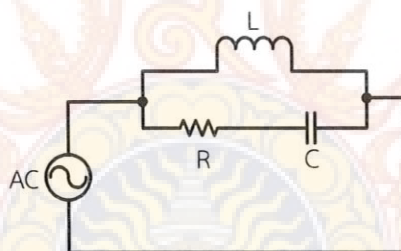
เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร X_L จะมีค่าต่ำ แต่ค่า X_C จะมีค่าสูง กระแสจะไหลผ่านวงจรได้น้อยและแรงดันตกคร่อมวงจรสูง วงจรแสดงค่า X_C ทำให้กระแสที่ไหลในวงจรมีเฟสเร็วกว่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจร

เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร X_C จะมีค่าต่ำ และ X_L จะมีค่าสูง กระแสจะไหลผ่านวงจรได้น้อย ทำให้แรงดันตกคร่อมวงจรสูง วงจรแสดงค่า X_L ทำให้กระแสที่ไหลผ่านในวงจรมีเฟสช้ากว่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจร

เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ค่า X_L จะเท่ากับค่า X_C จึงหักล้างกันหมดไป ทำให้วงจรไม่มีค่ารีแอคแตนซ์เหลือแต่เฉพาะค่าความต้านทานกระแสตรงเท่านั้นและแรงดันในวงจรจึงมีเฟสตรงกัน โดยค่าความต้านทานรวมของวงจรจะมีค่าต่ำสุด ทำให้กระแสไหลได้มากที่สุดและมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด

2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel resonance circuit)

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานแสดงไว้ดังรูปที่ 2.14 ค่าแอดมิตแตนซ์ (Admittance) ของวงจรมีค่าดังสมการที่ 2.33



ภาพที่ 2.14 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

$$Y = \frac{1}{R} - j\frac{1}{X_L} + j\frac{1}{X_C} \quad (2.33)$$

ถ้าปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟไปจนกระทั่ง X_L และ X_C มีค่าเท่ากัน ค่าแอดมิตแตนซ์จะมีค่า

$$Y = \frac{1}{R_p} \quad (2.34)$$

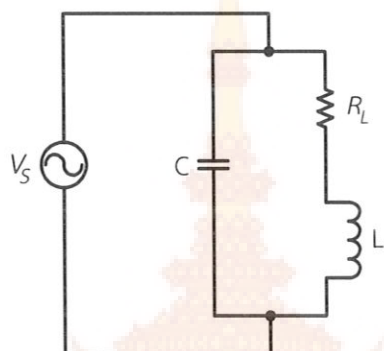
และค่าอิมพีแดนซ์ มีค่า

$$R_p = \frac{1}{Y} \quad (2.35)$$

กระแสจากแหล่งจ่ายมีค่า

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.36)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานจะมีมุมของเฟสตรงกับแรงดันของแหล่งจ่าย กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีมุมเฟสล่าช้าไป 90 องศา ส่วนกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะนำหน้าแรงดันอยู่ 90 องศา นั่นคือ มีการส่งพลังงานกลับไปมาระหว่างตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เนื่องจากความเป็นจริงในตัวเหนี่ยวนำจะมีความต้านทานรวมอยู่ด้วย ส่วนที่ตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานภายในตัวอยู่น้อยมาก สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลดังภาพที่ 2.15



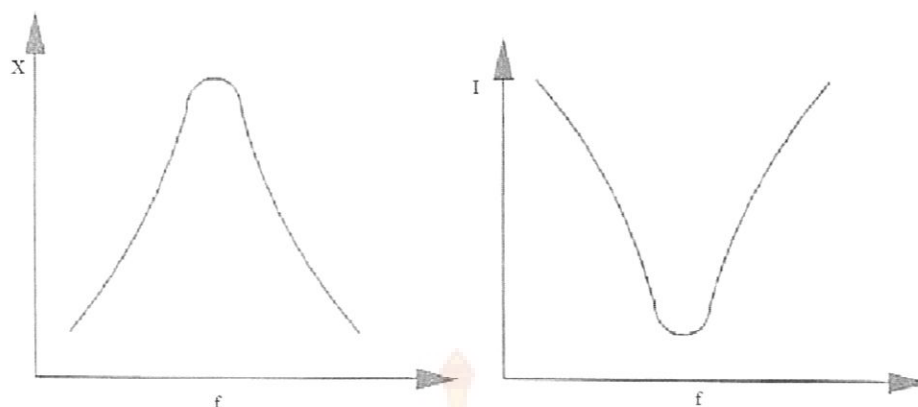
ภาพที่ 2.15 วงจรสมมูลของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

เพราะฉะนั้นที่จุดเรโซแนนซ์

$$X_C = \frac{R_L^2 + X_L^2}{X_L} \quad (2.37)$$

2.11.2.1 Q แฟคเตอร์ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

จากภาพที่ 2.16 พบว่าวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ ผลรวมของกระแสที่ไหลในวงจรที่มีความถี่เรโซแนนซ์นั้น จะมีเฟสเดียวกันกับแรงดันของแหล่งจ่าย กระแสจะมีค่าน้อยกว่า I_C และ I_L หลายเท่า ดังนั้นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน L_C จะมีค่าการขยายกระแสค่า Q แฟคเตอร์ คือ ค่าอัตราส่วนของ I_C หรือ I_L ต่อค่ากระแสจากแหล่งจ่าย



ก) ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่

ข) ค่ากระแสกับความถี่

ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์และกระแสกับความถี่

2.11.2.2 ความถี่ที่จุดเรโซแนนซ์ของวงจรแบบขนาน

ค่าความถี่ที่จุดเรโซแนนซ์สำหรับวงจรขนาน LC เมื่อ $Q > 10$ คือ

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.38)$$

ในกรณีที่ $Q < 10$ ความถี่เรโซแนนซ์จะมีค่า

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR_L^2}{L}} \quad (2.39)$$

2.11.2.3 ผลของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานที่มีต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ค่าของ X_L จะมีค่าน้อยกว่าค่า X_C เปรียบเหมือน C เปิดวงจร ดังนั้นค่าแรงดันที่ตกคร่อม L ในขณะนั้นจะมีค่าน้อยเนื่องจากมีค่า X_L ต่ำ เมื่อความถี่ต่ำวงจรจะแสดงคุณสมบัติของขดลวด ทำให้เฟสของแรงดันที่ตกคร่อมวงจรเร็วกว่าเฟสของกระแสที่ไหลผ่านวงจร

เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ค่าของ X_C จะน้อยกว่าค่า X_L โดย L ในขณะนั้นจะเหมือนเปิดวงจรไว้ แรงดันที่ตกคร่อม C ในขณะนั้นจะมีค่าต่ำเพราะ C ลดค่าความต้านทานต่ำลงเมื่อความถี่สูง ดังนั้นวงจรจึงแสดงคุณสมบัติของคาปาซิเตอร์ ทำให้เฟสของกระแสที่ไหลในวงจรเร็วกว่าเฟสของแรงดันที่ตกคร่อมวงจร

เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ค่า X_L จะเท่ากับค่า X_C วงจรจะไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์ เปรียบเหมือนมีตัวต้านทานต่ออยู่ในวงจรเท่านั้น ซึ่งจะทำให้มีค่าความต้านทานในวงจรสูง ทำให้กระแสไหลผ่านวงจรได้น้อยที่สุด ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมวงจรมีค่าสูงสุด โดยเฟสของ

กระแสที่ไหลผ่านวงจร และเฟสของแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างวงจรจะตรงกัน(เนื่องจากวงจรไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์)

2.12 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำหรือขดลวดให้ความร้อน คือ ขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงาน การออกแบบรูปร่าง ขนาด หรือจำนวนรอบ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ประการ เช่น ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน ตลอดจนความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ป้อนให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ ดังนั้นทั้งประสิทธิภาพ และตัวประกอบดังกล่าวข้างต้น หลักการพื้นฐานประกอบไปด้วย

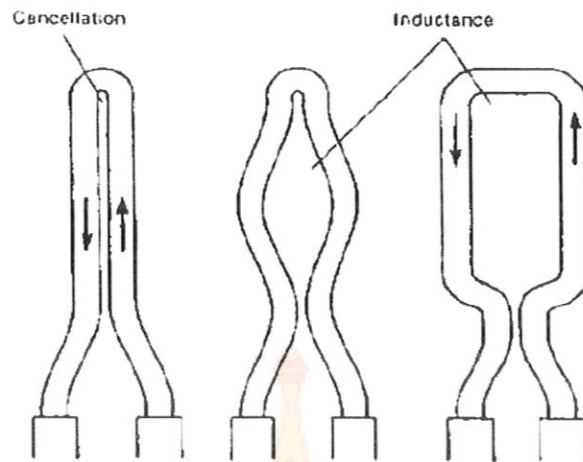
1) ขดลวดเหนี่ยวนำจะต้องอยู่ใกล้ชิ้นงานให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อให้เกิดการส่งผ่านพลังงานสูงสุด สามารถอธิบายได้โดยการที่มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านชิ้นงานได้มากขึ้นเมื่ออยู่ใกล้ชิ้นงานมากขึ้น

2) ในกรณีที่ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นขดโซลินอยด์ เส้นแรงแม่เหล็กจะคล้อยผ่านภายในขดลวดมากที่สุด ซึ่งตำแหน่งนี้จะให้อัตราการให้ความร้อนมากที่สุด

3) เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่ตำแหน่งใกล้ขดลวดเหนี่ยวนำ และจะลดลงเมื่อห่างออกไป โดยที่ตำแหน่งศูนย์กลางของขดลวดเหนี่ยวนำจะมีเส้นแรงแม่เหล็กน้อยที่สุด ดังนั้นถ้าชิ้นงานถูกวางอยู่ไม่ตรงกลางขดลวดเหนี่ยวนำ พื้นที่ที่อยู่ใกล้กับขดลวดเหนี่ยวนำจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนมากกว่า ทำให้ไม่ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ

4) ที่จุดต่อของเส้นลวดตัวนำกับขดลวดเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กจะมีค่าอ่อนมาก ดังนั้นศูนย์กลางสนามแม่เหล็กไม่จำเป็นจะต้องเป็นศูนย์กลางทางเรขาคณิต ด้วยเหตุนี้จะมีผลอย่างมากสำหรับขดลวดเหนี่ยวนำที่มีรอบเดียว แต่ถ้ามีจำนวนรอบมากขึ้นสภาวะนี้จะมีผลน้อยลง ในทางปฏิบัติแล้วจะจับชิ้นงานหมุนไปด้วยขณะที่มีการให้ความร้อน เพื่อให้ชิ้นงานได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

5) การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ จะต้องไม่ทำให้เกิดการหักล้างสนามแม่เหล็ก ดังภาพที่ 2.17 ด้านซ้ายสุดจะไม่มีค่าอินดักแตนซ์ เพราะว่าด้านตรงข้ามของขดลวดเหนี่ยวนำอยู่ใกล้กันมากเกินไป การทำให้เกิดวงรอบในขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดค่าอินดักแตนซ์เพิ่มขึ้น การออกแบบในภาพที่ 2.17 ด้านขวาเป็นการออกแบบที่ดี

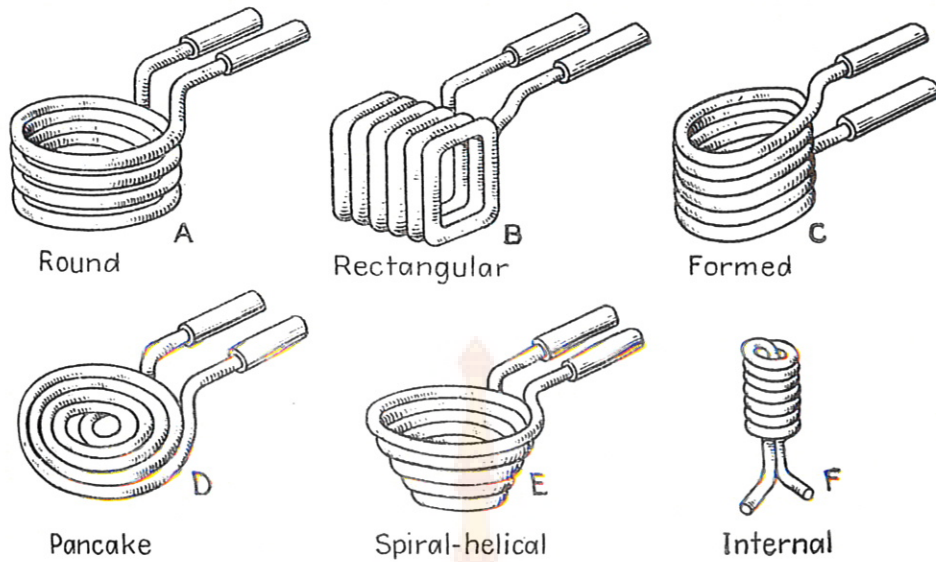


ภาพที่ 2.17 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำกับค่าอินดักแตนซ์

เนื่องจากเหตุผลข้างต้น ขดลวดเหนี่ยวนำจะต้องสามารถทำให้เกิดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในพื้นที่ที่ต้องการให้ความร้อนได้ ตัวอย่างเช่น

- โซลินอยด์ที่มีรูปร่างเป็นขด (A helical solenoid) จะให้ความร้อนแก่ชิ้นงานภายในขดลวดเหนี่ยวนำ
- ขดลวดแบบขนมแพนเค้ก (A pancake coil) จะให้ความร้อนเฉพาะบริเวณผิวหน้าด้านหนึ่งของชิ้นงาน
- ขดลวดภายใน (An internal coil) จะให้ความร้อนบริเวณรอบนอกของขดลวดเหนี่ยวนำ

โดยทั่วไปแล้วขดลวดเหนี่ยวนำจะทำขึ้นจากท่อทองแดงกลวง ทั้งนี้เพราะทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทำให้มีกำลังสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำต่ำ ซึ่งจะมีผลให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากความหนาแน่นของกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำมีค่าสูง ความร้อนที่เกิดจากกระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำจะมีค่ามาก ดังนั้นจึงต้องใช้ท่อทองแดงกลวง เพื่อให้สามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในขดลวดเหนี่ยวนำได้ด้วยของเหลว เช่น น้ำผ่านเข้าไปในท่อ



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างของขดลวดเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ

2.13 การประมาณกำลังงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน

การประมาณกำลังงานที่ได้ของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนความถี่สูงนั้น เราพิจารณาจากพลังงานความร้อนที่ชิ้นงานดูดกลืนได้ตลอดช่วงของการทดลอง โดยพิจารณาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นงาน จากสมการที่ 2.40 แสดงถึงพลังงานที่ชิ้นงาน (P_W) ต้องการได้รับในการเพิ่มอุณหภูมิ

$$P_W = mc \frac{T_f - T_{in}}{t} \quad (2.40)$$

โดยที่	P_W	คือ พลังงานที่ต้องการ (Watts)
	m	คือ มวลของชิ้นงาน (กิโลกรัม, kg)
	c	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของชิ้นงาน ($J/kg^\circ C$)
	T_{in}	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงาน ($^\circ C$)
	T_f	คือ อุณหภูมิสุดท้ายของชิ้นงาน ($^\circ C$)
	t	คือ เวลาที่ใช้ (วินาที, s)

$$CTR = \frac{I_{in}}{I_{out}} \quad (2.41)$$

บทที่ 3

การศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบเหนี่ยวนำความร้อน

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ขั้นตอนและการศึกษาข้อมูล

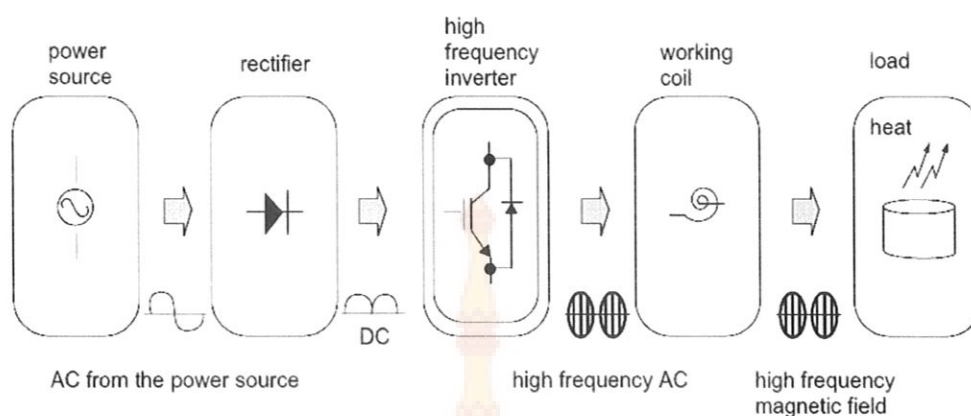
การออกแบบและสร้างวงจรของระบบเหนี่ยวนำความร้อน ต้องทำการสร้างวงจรศึกษาการทำงาน
ของระบบในส่วนของวงจรภาคต่างๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของความร้อนที่ต้องการ โดยทำการ
จำลองวงจรการทำงานทั้งระบบก่อน

1. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโลหะที่ใช้ในการทำเตารีดชนิดต่างๆ (เหล็ก, ทองแดง, อลูมิเนียม, สแตนเลส)
3. ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณย่านความถี่สูงและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน
4. ออกแบบโครงสร้างของเตารีดที่จะใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำความร้อน
5. ทำการสร้างเตารีดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
6. ทำการวิเคราะห์และทดสอบเตารีดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
7. ทดสอบและเก็บข้อมูลพลังงานที่ใช้เทียบกับเตารีดแบบทั่วไป
8. สรุปผลและวิจารณ์ผล
9. จัดทำรูปเล่มรายงาน
10. เผยแพร่ผลงานวิจัย

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูลคือ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
กรุงเทพฯ และคณะเทคโนโลยี สาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

3.2 การออกแบบการวิจัย

ในการทำงานของ Induction Heating มีหลักการทำงานดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Induction Heating

การควบคุมการทำงานของระบบ Induction Heating ทำการปรับดิซไจเกิ้ล เพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆที่สำคัญแสดงดังต่อไปนี้

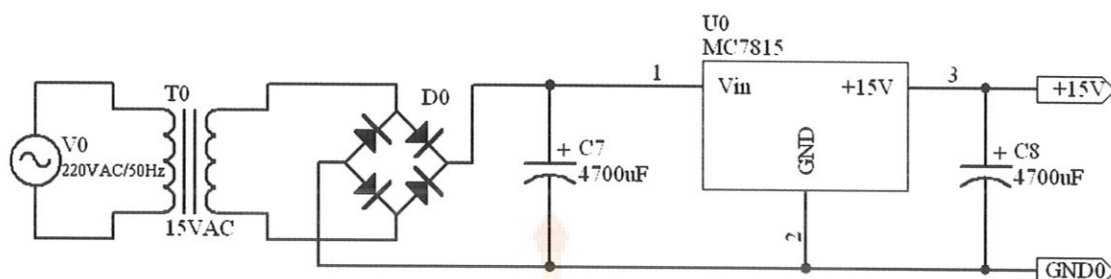
3.2.1 ภาควจรแหล่งจ่ายกำลัง

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรซ์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ และตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นวงจรกรองแรงดัน ซึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟให้กับวงจรต่างๆ ทั้งส่วนของวงจรควบคุม ส่วนให้กำเนิดสัญญาณความถี่ ส่วนของวงจรขับนำเกต และส่วนของวงจรภาคกำลัง ซึ่งแต่ละส่วนต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องออกแบบเพื่อจ่ายไฟแต่ละส่วนให้พอดีกับอุปกรณ์ส่วนนั้นๆเพื่อประสิทธิภาพของแต่ละวงจร โดยที่เราสามารถแยกวงจรแหล่งจ่ายกำลังได้ทั้งหมดเป็น 3 ส่วน ด้วยกันคือ แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดัน แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรขับนำเกต และ แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

3.2.1.1 แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่

จากภาพที่ 3.2 วงจรชุดนี้เป็นวงจรที่ต้องการเอาต์พุต $15V_{DC}$ เพื่อเป็นวงจรจ่ายไฟให้กับชุดวงจรกำเนิดความถี่ โดยวงจรชุดนี้จะรับไฟกระแสสลับแรงดัน $220V_{AC}$ ผ่านหม้อแปลง $15V_{AC}$ เพื่อทำการแปลงแรงดันลงแล้วผ่านเข้าวงจรบริดจ์ไดโอด เพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงที่มีแรงดัน $21V_{DC}$ แต่แรงดันที่ได้อาจยังมีค่าไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าต้องการให้วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอขึ้นจึงต้องมีวงจรกรองกระแส โดยที่วงจรกรองกระแสประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันอยู่นั่นเอง วงจรชุดนี้ต้องการแรงดันไฟที่จ่ายให้กับวงจรเพียงแค่

$15V_{DC}$ เท่านั้น แต่แรงดันหลังจากผ่านวงจรบริดจ์มีค่าถึง $21V_{DC}$ ดังนั้นเราจึงใช้ไอซีเบอร์ 7815 เพื่อปรับแรงดันให้ได้ $15V_{DC}$ ตามต้องการ

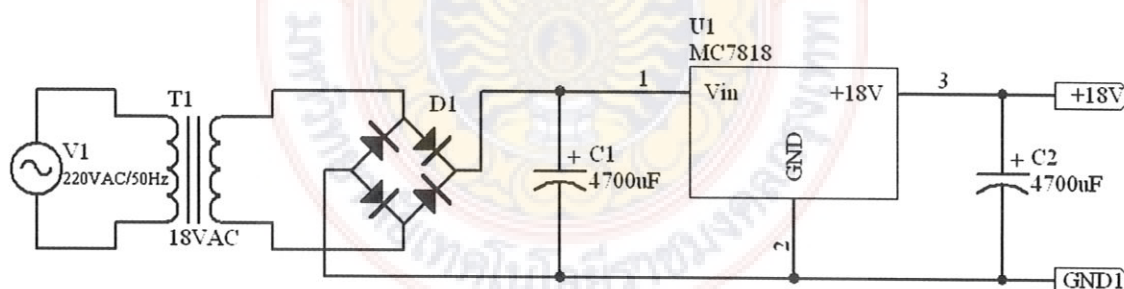


ภาพที่ 3.2 แสดงเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่

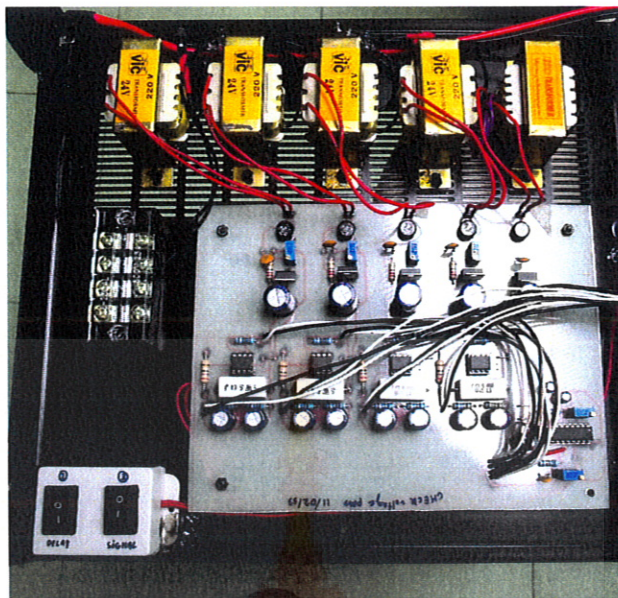
3.2.1.2 แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรขับนำเกต

วงจรขับนำเกตเป็นวงจรที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $18V_{DC}$ ทั้งหมด 4 ชุด ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ $220V_{AC}$ ผ่านหม้อแปลง $18V_{AC}$ เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าลงให้เหลือ $18V_{AC}$ แล้วผ่านบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และผ่านวงจรกรองกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุเช่นกันตามรูปที่ 3.3

วงจรในส่วนนี้จะต้องการแรงดันไฟเข้าวงจร $18V_{DC}$ เท่านั้น แต่เมื่อแรงดันผ่านบริดจ์ไดโอดและวงจรเรียงกระแสมาแล้วจะมีค่าแรงดันเท่ากับ $18 \times \sqrt{2}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $25V_{DC}$ และใช้ไอซีเบอร์ 7818 เพื่อปรับแรงดันให้ได้ $18V_{DC}$ ตามต้องการ วงจรจริงของแหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรขับเกตตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรขับเกต



ภาพที่ 3.4 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่และวงจรขับเคลื่อน

3.2.1.3 แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

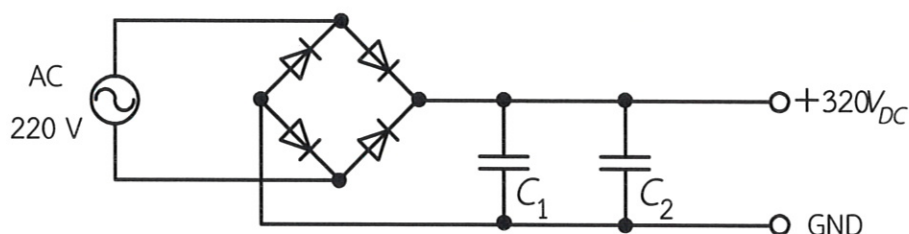
แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลังแสดงดังภาพที่ 3.5 วงจรชุดนี้ต้องการแรงดันไฟฟ้า $320V_{DC}$ มาเป็นไฟเลี้ยงให้กับระบบของวงจรภาคกำลัง โดยวงจรส่วนนี้จะรับไฟกระแสสลับ $220V_{AC}$ เข้ามาผ่านชุดวงจรบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เอาต์พุตที่ออกจากบริดจ์ไดโอดจะต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $4,700\mu F$ ที่ต่อขนานกันอยู่ จากวงจรส่วนนี้เราสามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการที่ 3.1 ได้แรงดันเท่ากับ $320V_{DC}$ จากภาพที่ 3.5 แสดงส่วนของวงจรแหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง วงจรจริงของแหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง แสดงดังภาพที่ 3.6

$$V_{DC} = (\sqrt{2} \times V_S) - V_D \quad (3.1)$$

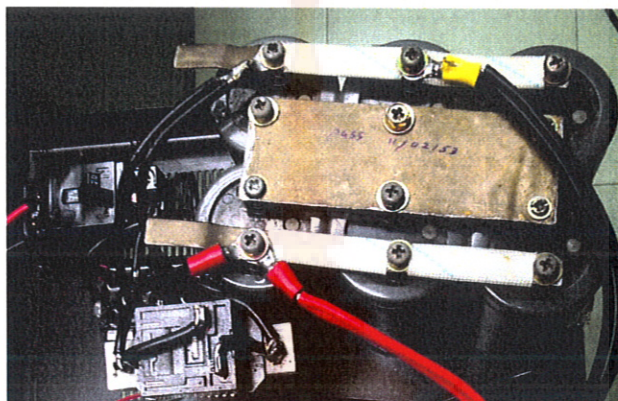
เมื่อ V_S คือ แรงดันที่ใช้งาน
 V_D คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด

ดังนั้น

$$\begin{aligned} V_{DC} &= (\sqrt{2} \times 220) - (2 \times 0.70) \\ &= 320V_{DC} \end{aligned}$$



ภาพที่ 3.5 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง

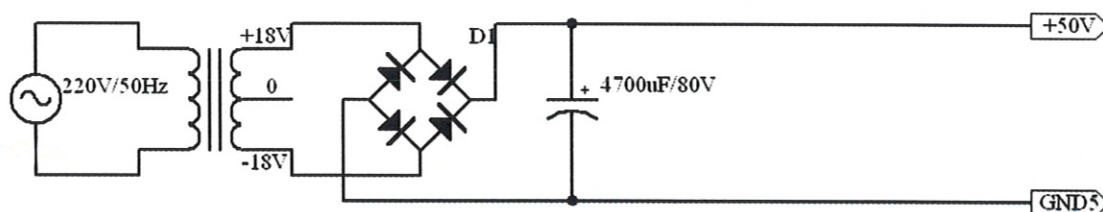


ภาพที่ 3.6 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง

แต่เมื่อทำการปรับปรุงภาคกำลัง จากการใช้ไอจีบีทีเป็นมอสเฟต แหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลังชุดนี้ต้องการแรงดันไฟฟ้า $50V_{DC}$ มาเป็นไฟเลี้ยงให้กับระบบของวงจรภาคกำลัง โดยวงจรส่วนนี้จะรับไฟกระแสสลับ $220V_{AC}$ เข้ามาผ่านชุดวงจรบริดจ์ไดโอด เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เอาต์พุตที่ออกจากบริดจ์ไดโอดจะต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $4,700\mu F$ จากวงจรส่วนนี้เราสามารถคำนวณหาค่าไฟฟ้ากระแสตรงจากได้สมการที่ 3.1 ได้แรงดัน $50V_{DC}$

$$V_{DC} = (\sqrt{2} \times 36) - (2 \times 0.70)$$

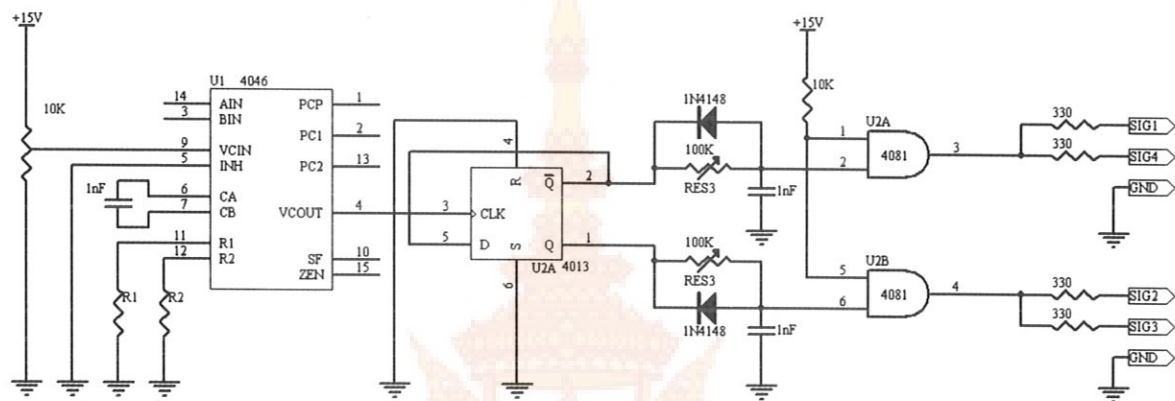
$$= 50V_{DC}$$



ภาพที่ 3.7 แหล่งจ่ายกำลังในส่วนของวงจรภาคกำลัง

3.2.2. ภาควงจรกำเนิดความถี่

ระบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีหลักการทำงานโดยต้องใช้ความถี่ส่งผ่านเข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำทำให้โหลดเกิดความร้อน ดังนั้นวงจรสร้างความถี่จะต้องกำเนิดความถี่ได้ในช่วงเรโซแนนซ์ของโหลดที่ต้องการได้ จึงได้เลือกใช้ IC 4046 ซึ่งเป็น IC Phase Lock Loop ในการกำเนิดความถี่ ซึ่งสามารถกำเนิดความถี่ในย่านที่ต้องการได้ โดยจะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโดยใช้แรงดันไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมผ่าน VR10kΩ เพื่อปรับแรงดันในการสร้างความถี่ ซึ่งความถี่ที่ IC สามารถกำเนิดได้อยู่ที่ค่าความต้านทานที่ขา 11 และขา 12



ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรกำเนิดความถี่ที่ต่ออยู่กับวงจร RC delay

จากสมการในการหาความถี่จะได้

$$F_{\max} = \frac{1}{R_1}$$

$$F_{\min} = \frac{1}{R_2}$$

สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จะออกที่ขาเอาต์พุต ที่ขา 4 ของ IC เพื่อนำไปใช้งาน จากนั้นสัญญาณที่ได้จากขา 4 จะถูกนำไปกลับเฟสโดย D-type flip flop 4013 สัญญาณที่ได้จะมีเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา เอาต์พุตที่ได้จะมีสัญญาณสองสัญญาณ คือ สัญญาณเหมือนกับสัญญาณอินพุตที่ขา 1 (Hi) และสัญญาณที่ถูกกลับเฟส 180 องศา ที่ขา 2 (Low) จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกหน่วงเวลาโดยค่า delay time (τ) ที่ถูกกำหนดโดยค่า R และ C สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่เกิดจากการเก็บประจุและคายประจุของ C และจะถูกกลับมาทำให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมอีกครั้งด้วย IC 4081 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณ Hi และ Low ที่นำไปขับเกต

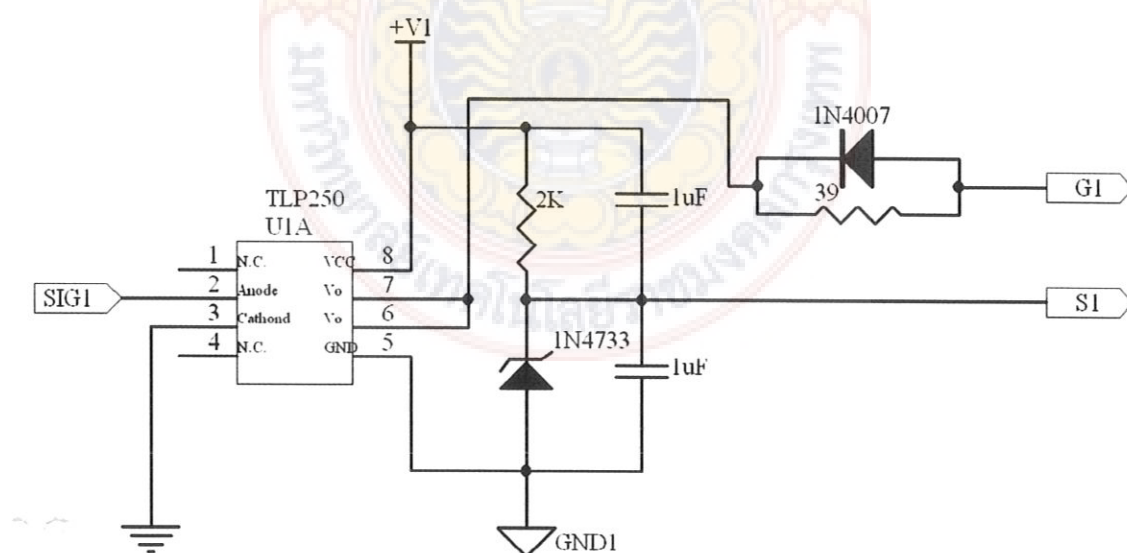
3.2.3 ภาควงจรขับเคลื่อน

วงจรขับสัญญาณขาเกิดของมอเตอร์ก็จะต้องแยกขับเกิดของมอเตอร์แต่ละตัว โดยที่วงจรแต่ละชุดจะต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันแยกกัน เนื่องจากให้เกิดการแยกกันระหว่างกราวด์ของวงจรขับแต่ละตัว เพื่อป้องกันการรบกวนกันของมอเตอร์ ซึ่งถ้าเอาต์พุตเป็นวงจรขยายแบบฮาล์ฟบริดจ์ (half bridge) ต้องประกอบด้วยวงจรขับ 2 ชุด และถ้าเป็นวงจรขยายแบบฟูลบริดจ์ (full bridge) จะต้องใช้วงจรขับเกิดทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีความทำงานเหมือนกัน

ในส่วนของวงจรขับจะใช้ Opto ในการขับเกิดของมอเตอร์ ซึ่ง Opto จะมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่มี Protection ในตัว และชนิดที่ไม่มีวงจรป้องกันในตัว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทดลองใช้ IC ที่เป็น Opto ทั้ง 2 ชนิด คือ IC เบอร์ TLP 250 เป็นชนิดที่ไม่มีวงจรป้องกันในตัว ซึ่งจะใช้เป็น IC ขับเกิดในวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์ และ IC เบอร์ PC 923 เป็นชนิดที่มีวงจรป้องกันในตัว ซึ่งจะใช้เป็น IC ขับเกิดในวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์ โดยจะแยกอธิบายการทำงานของ IC แต่ละเบอร์ที่กล่าวมาดังนี้

3.2.3.1 การออกแบบวงจรขับเกิดและการทำงานของ IC ขับเกิด เบอร์ TLP250

หลังจากที่ได้สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรภาคกำเนิดความถี่แล้ว สัญญาณที่ได้จะเข้ามาที่ขา 2 ของ IC TLP 250 โดยการทำงานของ IC Opto ทางด้านอินพุตจะรับสัญญาณขับเกิดผ่าน Diode นั้นจะส่งสัญญาณไปยังวงจรขยายทางด้านเอาต์พุต ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานแบบ Push Pull ส่งไปยังขาเกิดของมอเตอร์กำลังขณะนำกระแส ทั้งนี้เพื่อเป็นการแยกกราวด์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากวงจรขยายภาคสุดท้าย



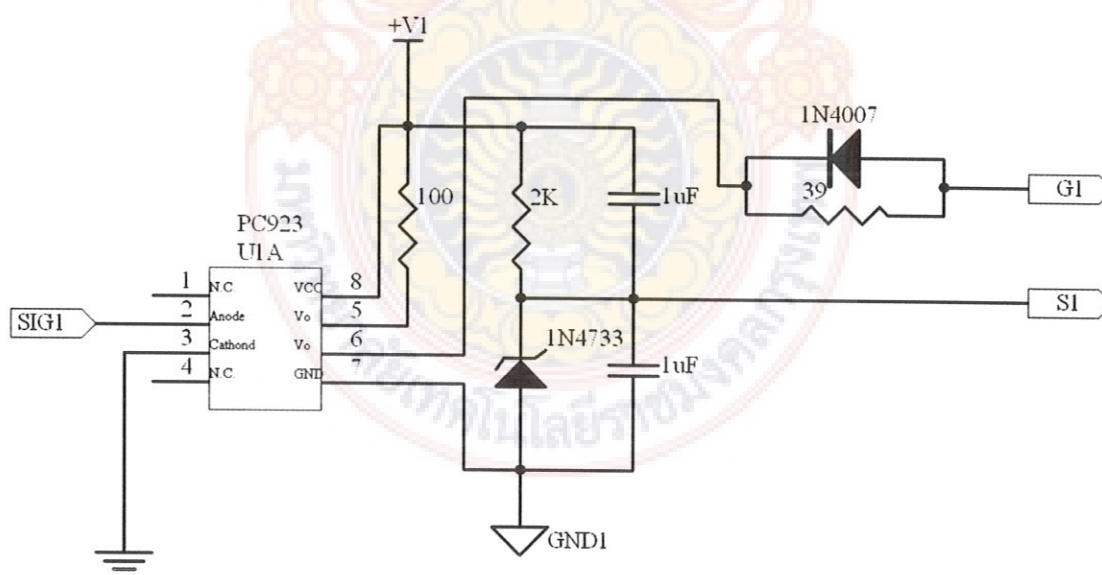
ภาพที่ 3.9 แสดงการทำงานของ IC ขับเกิด เบอร์ TLP250

ในการต่อแหล่งจ่ายไฟตรงนั้น จะพิจารณาจากช่วงการนำกระแสและช่วงหยุดนำกระแสของมอสเฟตกำลัง ต้องการแรงดันขั้วเกตที่ +13 โวลต์ ส่วนในช่วงหยุดนำกระแสของมอสเฟตกำลัง ต้องการแรงดันขั้วเกตที่ -5 โวลต์ ซึ่งเป็นการป้องกันสภาวะตกค้างของประจุภายในตัวไปด้วย

จากหลักการดังกล่าวจึงได้ออกแบบแหล่งจ่ายที่ระดับ 18 โวลต์จ่ายให้กับวงจร ทำให้ได้แรงดันตามหลักการของมอสเฟตกำลัง และการไบแอสแรงดันที่ชาซอร์สจะต้องมีการยกกระดบแรงดันขึ้นไป 5.1 โวลต์ เพื่อต้องการให้มอสเฟตคายประจุได้เร็ว เนื่องจากในการทำงานของมอสเฟตจะเกิดประจุแฝงขึ้นภายใน โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 6 และขา 7 จะเป็นสัญญาณที่ใช้ขั้วเกตของมอสเฟตกำลังในวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุต

3.2.3.2 การออกแบบวงจรขั้วเกตและการทำงานของ IC ขั้วเกต เบอร์ PC923

การทำงานของ IC Opto เบอร์ PC923 จะเหมือนกับ IC Opto เบอร์ TLP250 แต่จะต่างกันที่ เบอร์ PC923 จะเป็น IC Opto ชนิดที่มีวงจรป้องกันในตัว และขาการต่อใช้งานวงจรจะแตกต่างกันเล็กน้อย โดยจะมีสัญญาณอินพุตที่มาจากภาคกำเนิดความถี่เข้ามาที่ขา 2 ของ IC การทำงานภายใน IC จะเหมือนกับ TLP250 เพื่อเป็นการแยกกราวด์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตเช่นเดียวกัน และการไบแอสแรงดันที่ชาซอร์สจะต้องมีการยกกระดบแรงดันขึ้นไป 5.1 โวลต์ เพื่อต้องการให้มอสเฟตคายประจุได้เร็ว เนื่องจากในการทำงานของมอสเฟตจะเกิดประจุแฝงขึ้นภายใน โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 6 จะเป็นสัญญาณที่นำไปใช้ขั้วเกตของมอสเฟตกำลังในวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์ต่อไป

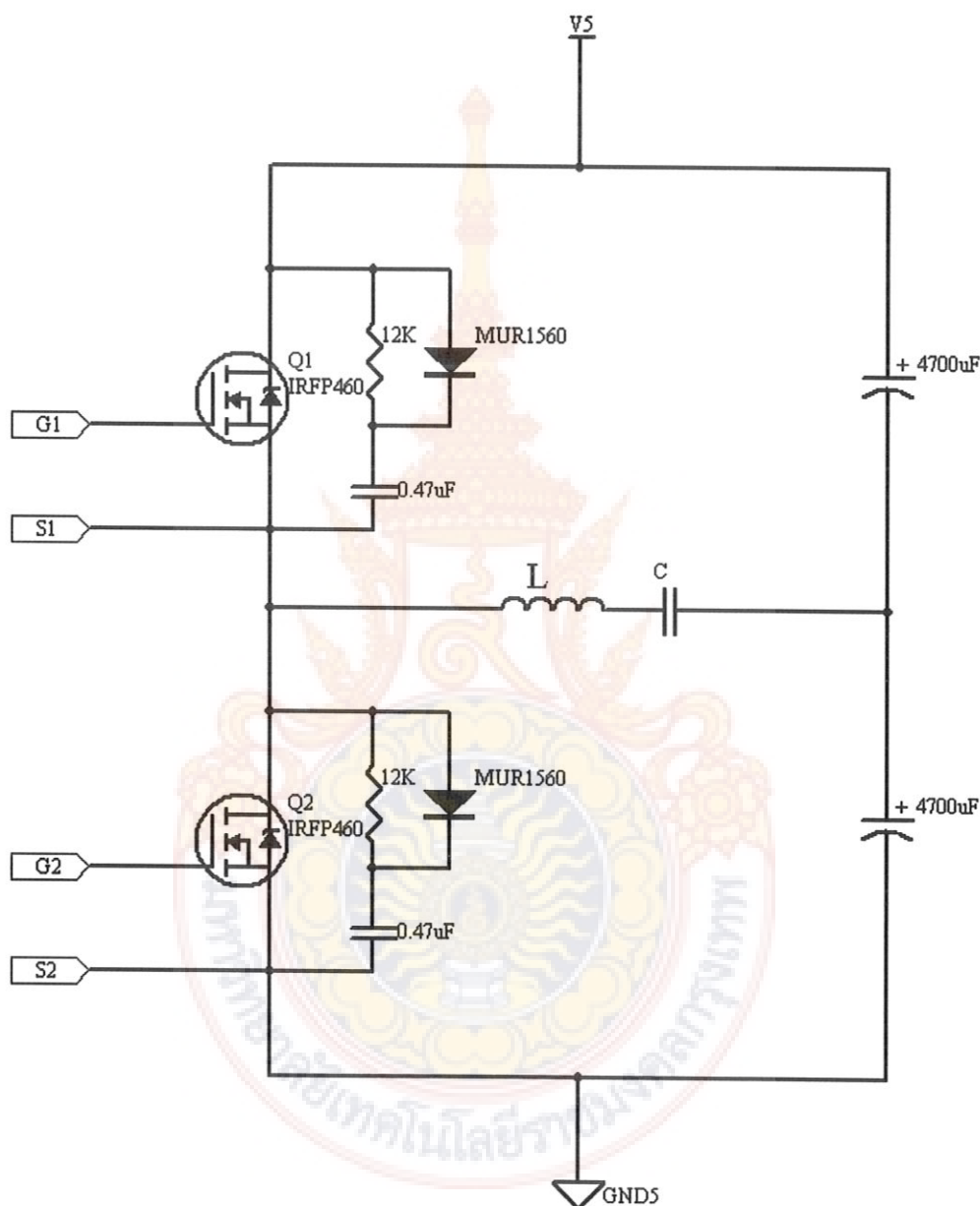


ภาพที่ 3.10 แสดงการทำงานของ IC ขั้วเกต เบอร์ PC923

3.2.4 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์

ในส่วนของภาควงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตนั้นจะแยกอธิบายการทำงานของวงจรขยายในแบบฮาล์ฟบริดจ์และวงจรขยายในแบบฟูลบริดจ์ไว้ดังนี้

3.2.4.1 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์



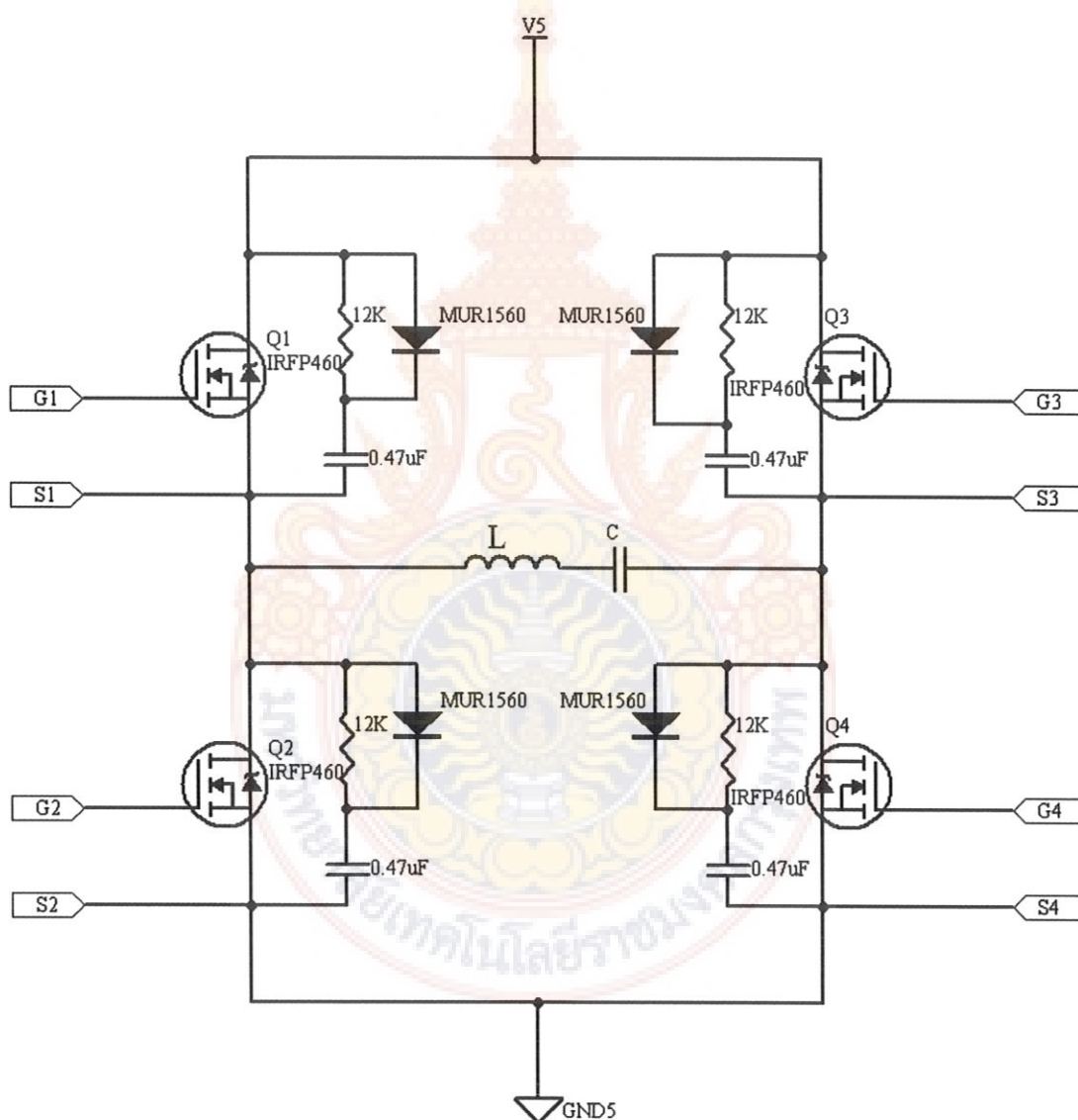
ภาพที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฮาล์ฟบริดจ์

วงจรขยายแบบฮาล์ฟบริดจ์จะใช้มอสเฟตทั้งหมด 2 ตัว โดยมอสเฟตทั้งสองตัวจะสลับกันทำงาน ในขณะที่ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอีกตัวจะหยุดทำงาน ซึ่งมอสเฟตจะถูกกำหนดการทำงานโดยสถานะที่ได้จากการขับของ Opto ในรูปเมื่อ G_1 ได้สัญญาณ Q_1 จะทำงาน เปรียบเสมือนเป็นการปิดวงจรกระแสก็จะไหลผ่านโหลดลงศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า เมื่อเวลาผ่านไป G_2 ได้รับสัญญาณ จะมีกระแส

ไหลผ่านโหลดจากคิกซ์บวกลบที่ต่ำกว่าผ่าน Q_2 ลงกราวด์ ซึ่งมอสเฟตจะทำงานสลับกันไปเรื่อยๆ ทำให้ได้สัญญาณที่ไหลอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการทำงานเช่นนี้ของวงจรฮาล์ฟบริดจ์ทำให้วงจรใช้แรงดันสูงแต่กระแสต่ำ

3.2.4.2 วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์

วงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์จะแตกต่างกับวงจรขยายแบบฮาล์ฟบริดจ์เนื่องจากใช้มอสเฟตทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งดีกว่าวงจรขยายแบบฮาล์ฟบริดจ์ตรงที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันแค่ชุดเดียว ในขณะที่แบบฮาล์ฟบริดจ์ต้องมีแรงดัน 2 ชุด คือ บวก ลบ กราวด์



ภาพที่ 3.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์

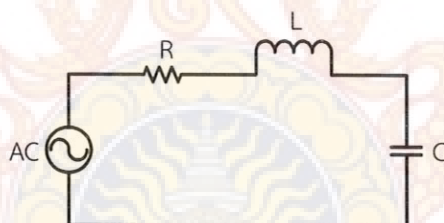
การทำงานของวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุตแบบฟูลบริดจ์ มอสเฟตจะทำงานพร้อมกัน 2 ตัว โดยถูกกำหนดการทำงานจากวงจรขับเคลื่อน ซึ่งในรูปเมื่อ G_1 และ G_4 ได้รับสัญญาณ Q_1 และ Q_4 ทำงาน กระแสจะไหลจาก Q_1 ผ่านโหลดลงกราวด์ที่ Q_4 และเมื่อเวลาเปลี่ยนไป G_2 และ G_3 ได้รับสัญญาณ Q_2 และ Q_3 ทำงาน กระแสจะไหลจาก Q_3 ผ่านโหลดลงกราวด์ที่ Q_2 ทำให้ได้สัญญาณที่ต่อเนื่อง ส่วนลักษณะของวงจรขยายสัญญาณแบบฟูลบริดจ์จะใช้แรงดันน้อยกว่าวงจรขยายแบบแบบฮาล์ฟบริดจ์ แต่จะใช้กระแสสูงกว่า

3.2.5 วงจร LC เรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ เป็นวงจรผสมระหว่างตัวเก็บประจุกับขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีความสำคัญในการใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยผลต่อสัญญาณกระแสสลับของขดลวดและตัวเก็บประจุซึ่งแตกต่างกัน ในทางตรงกันข้ามจะทำให้เกิดผลต่อแรงดันในกระแสตรงและกระแสสลับในลักษณะต่างๆ เช่น เกิดการจ่ายและรับกระแสให้ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสัญญาณกระแสสลับตกคร่อมวงจร แต่เมื่อวงจรได้รับแรงดันกระแสตรงจะเกิดการต่อต้านและยอมให้สัญญาณกระแสสลับบางความถี่ผ่านได้ เป็นต้น

3.2.5.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

การต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมภาพที่ 3.13 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จะมีค่าเท่ากัน



ภาพที่ 3.13 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

เราจึงพิจารณาเฉพาะความต่างศักย์เท่านั้น โดยที่

ความต่างศักย์ที่ปลายตัวต้านทาน (V_R) จะมีเฟสเดียวกับกระแสไฟฟ้า /

ความต่างศักย์ที่ปลายตัวเก็บประจุ (V_C) จะมีเฟสตามหลังกระแสไฟฟ้า / อยู่ 90°

ความต่างศักย์ที่ปลายตัวเหนี่ยวนำ (V_L) จะมีเฟสนำหน้ากระแสไฟฟ้า / อยู่ 90°

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$

ดังนั้น

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

มุมเฟสของความต่างศักย์รวม

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

จะได้

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_L - V_C}{V_R} \right) \quad (3.2)$$

จากสมการ ในกรณีที่ $V_C = V_L$ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมในวงจรจะเท่ากับ V_R (เนื่องจากเฟสของ V_C และ V_L ต่างกันอยู่ 180 องศา ทำให้ค่าทั้งสองหักล้างกันเป็นศูนย์)
เนื่องจาก

$$V_L = IX_L \text{ และ } V_C = IX_C$$

ดังนั้น

$$V_L = V_C \rightarrow X_L = X_C$$

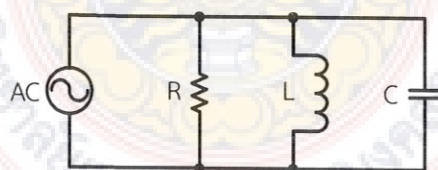
จะได้ว่า

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

การต่อ RLC แบบอนุกรม เมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่ามากที่สุด

3.2.5.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

การต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานดังรูปที่ 3.14 ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จะมีค่าเท่ากัน



ภาพที่ 3.14 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

เราจึงพิจารณาเฉพาะกระแสไฟฟ้าเท่านั้นโดย

$$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$$

ดังนั้น

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

และมุมเฟส

$$\tan \theta = \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{I_C - I_L}{I_R} \right)$$

ในกรณีที่ $I_C = I_L$ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าเท่ากับ I_R เพราะ I_C มีเฟสต่างจาก I_L อยู่ 180 องศา

จะได้

$$V_L = I_L X_L \quad \text{และ} \quad V_C = I_C X_C$$

ดังนั้น

$$V_L = V_C \rightarrow X_L = X_C$$

จะได้

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

การต่อ RLC แบบขนาน เมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าน้อยที่สุด

จากการออกแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและขนานที่ทำหน้าที่เป็นโหนดของวงจร ซึ่งค่าเรโซแนนซ์สามารถหาได้จาก

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

โดยข้างต้นเราทราบว่า L ของวงจรมีค่าเท่าไร จากการพัน L และวัดค่าด้วยเครื่องวัด ความเหนี่ยวนำ ได้ค่า $L = 40 \mu H$ หรือสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{N^2 A \mu}{l}$$

$$= \frac{30^2 \times \pi \times (26 \times 10^{-3})^2 \times 1.256 \times 10^{-6}}{60 \times 10^{-3}}$$

$$L = 40 \mu H$$

และต้องการใช้ความถี่ในย่าน 35.588 kHz สามารถหาค่า C ได้จากสมการ

$$C = \frac{\left(\frac{1}{2\pi f}\right)^2}{L}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{2\pi \times 35.588 \times 10^3}\right)^2}{40 \times 10^{-6}}$$

$$C = 0.5 \mu F$$

และสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ในวงจรได้จาก

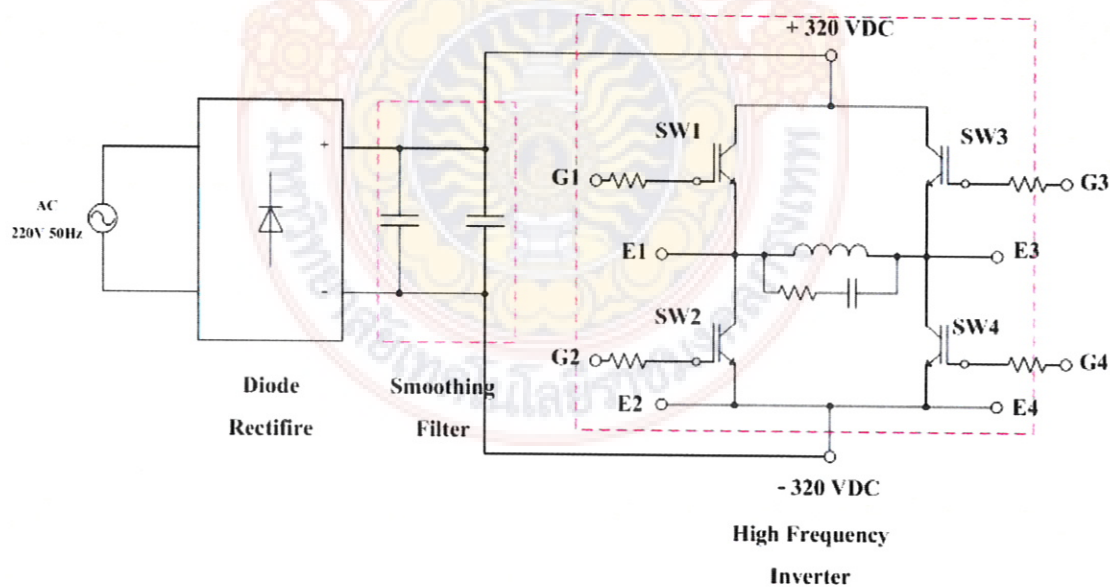
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{(40 \times 10^{-6}) \times (0.5 \times 10^{-6})}}$$

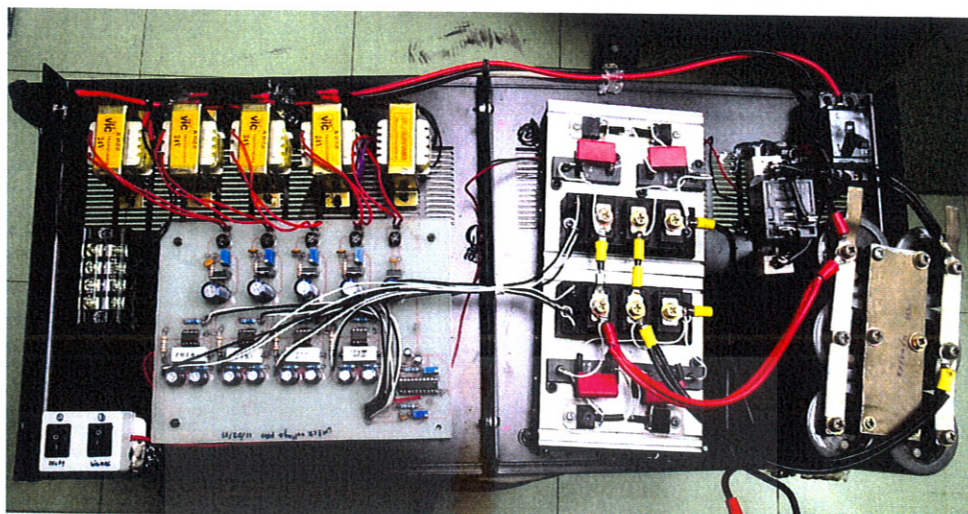
$$= 35.588 \text{ kHz}$$

จากผลการคำนวณที่ได้ความถี่เรโซแนนซ์ คือ 35.588 kHz

3.2.6 การออกแบบวงจรใช้งานในเตารีด



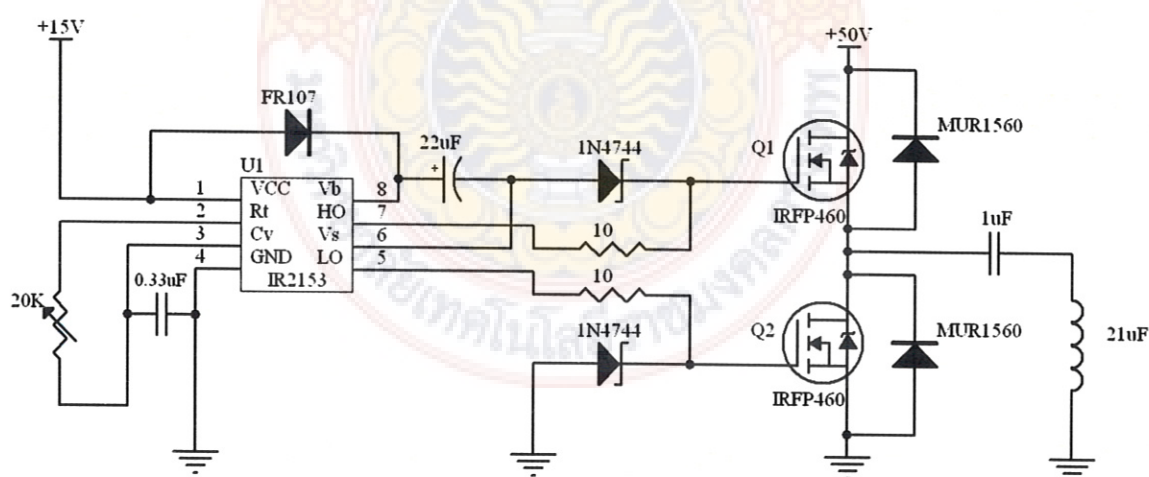
ภาพที่ 3.15 แสดงวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 3.16 แสดงวงจรใช้งานจริงที่ใช้ไอจีบีที

ในการสร้างเตารีดสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ไม่สามารถนำอุปกรณ์ทั้งหมดลงในเตารีดได้เนื่องจากวงจรมีขนาดใหญ่ จึงมีการออกแบบวงจรใหม่โดยใช้ IC ที่สามารถสร้างความถี่และขับเคลื่อนได้ในตัวเดียว ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดเล็กลง

วงจรที่ใช้งานจริงของเตารีด Induction Heating จะใช้ IC เบอร์ IR 2153 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม กลับเฟสสัญญาณ กำหนดค่า dead time และขับสัญญาณให้กับมอสเฟตภายในตัวเดียว ซึ่งเป็นการลดขนาดของวงจร และอุปกรณ์ลง อีกอย่างคือ ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันหลายชุด เนื่องจากไม่มีปัญหาเกี่ยวกับกราวด์ของวงจร โดยจะใช้ขับมอสเฟตแบบฮาร์ฟบริดจ์ การทำงานของวงจรขออธิบายรวมดังนี้



ภาพที่ 3.17 แสดงวงจรที่ใช้ในเตารีด

การกำเนิดสัญญาณของวงจรถูกกำหนดโดย $VR 50 k\Omega$ และ $C = 0.33 nF$ จากนั้นสัญญาณที่ได้ถูกกลับเฟสสัญญาณและถูกกำหนดค่าการเฟื่อทางเวลาออกมาเป็นสถานะ HI และ LOW ทางขา 7

และ ขา 5 ตามลำดับ สัญญาณนี้สามารถขับมอสเฟตกำลังได้โดยตรง ซึ่งมีซีเนอร์ไดโอดทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณขับไม่ให้มากเกินไป และเมื่อมอสเฟต Q_1 ได้รับการไบแอสแรงดันที่ขาเกต ทำให้กระแสทางเอาต์พุตไหลผ่านโหลดเรโซแนนซ์ หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป Q_2 ได้รับไบแอสตรงเนื่องจากการทำงานของ Q_1 ทำให้กระแสไหลผ่านโหลด 1 จังหวะ สัญญาณที่ได้จึงเกิดการขยายครบ 1 รอบพอดี ซึ่งจากกระแสที่ไหลผ่านโหลดเป็นจังหวะเป็นผลให้ขดลวดเกิดการยุบตัวพองตัว ตัดผ่านแกนเหล็กทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่แกนเหล็ก

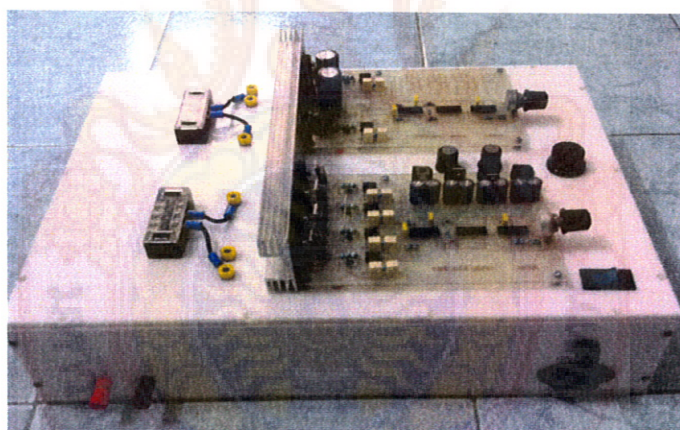
ส่วนค่าเรโซแนนซ์ของวงจรใช้งานจริง ถูกกำหนดโดยขดลวดที่พันอยู่กับเตารีดซึ่งสามารถหาค่าเรโซแนนซ์ได้จาก

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

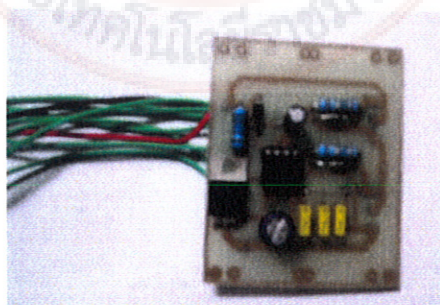
จาก $L = 21\mu H$ ขณะมีโหลดและกำหนดให้ $C = 1$ จะได้

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{21 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}}$$

$$f_r = 34.748 \text{ kHz}$$



ภาพที่ 3.18 วงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างสำเร็จแล้วทั้งแบบฮาฟล์บริดจ์และฟูลบริดจ์



ภาพที่ 3.19 แสดงวงจรจริงที่ใช้ประกอบลงเตารีด

3.2.7 การออกแบบแผ่นความร้อนและโครงสร้างของเตารีด

ในการออกแบบแผ่นความร้อนต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ที่มีผลทำให้แผ่นความร้อนเกิดความร้อนมากที่สุด โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายลักษณะ ซึ่งจะมีลักษณะหลักดังต่อไปนี้

1. รูปร่างของแผ่นความร้อน โดยแผ่นความร้อนต้องสามารถใช้งานได้เหมือนกับแผ่นความร้อนของเตารีดแบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน
2. ความร้อนที่ได้ที่ผิวหน้าของแผ่นความร้อนต้องมีความร้อนพอที่สามารถทำให้รีดผ้าเรียบได้
3. ขนาดของแผ่นความร้อนต้องมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป

ดังนั้นจากลักษณะที่ถูกกำหนดนี้ทำให้เกิดข้อจำกัดทางโครงสร้างของเตารีด จึงยากต่อการออกแบบขดลวดความร้อน ซึ่งต้องสามารถกำเนิดความร้อนได้มาก และสามารถถ่ายโอนความร้อนได้มากที่สุด จึงเลือกใช้ขดลวดความร้อนที่เป็นทรงกระบอก เนื่องจากเป็นขดลวดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และเกิดการสูญเสียน้อย

จากนั้นนำขดลวดทรงกระบอกมาร้อยผ่านแกนเหล็กโดยขดลวดเหนียวนำทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก H ทำให้เกิดกระแสไหลวนในโหลต ซึ่งในงานวิจัยนี้พันขดลวดทั้งหมด 2 ขด วาง 2 ข้างของแผ่นความร้อน เพื่อให้เกิดความร้อนทั่วผิวของแผ่นความร้อน ดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แสดงแผ่นความร้อนของเตารีด

หลังจากที่ได้ออกแบบแผ่นความร้อนที่ใช้งานในเตารีด และเตารีดที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว ในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 แสดงเตารีดที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนในการสร้างและทดสอบเตารีด และส่วนที่ใช้ในการจำลองการแผ่กระจายความร้อนและกระแสไหลวน

3.3.1 เตารีดไฟฟ้าแบบสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบ ดังภาพที่ 3.22 ได้แก่

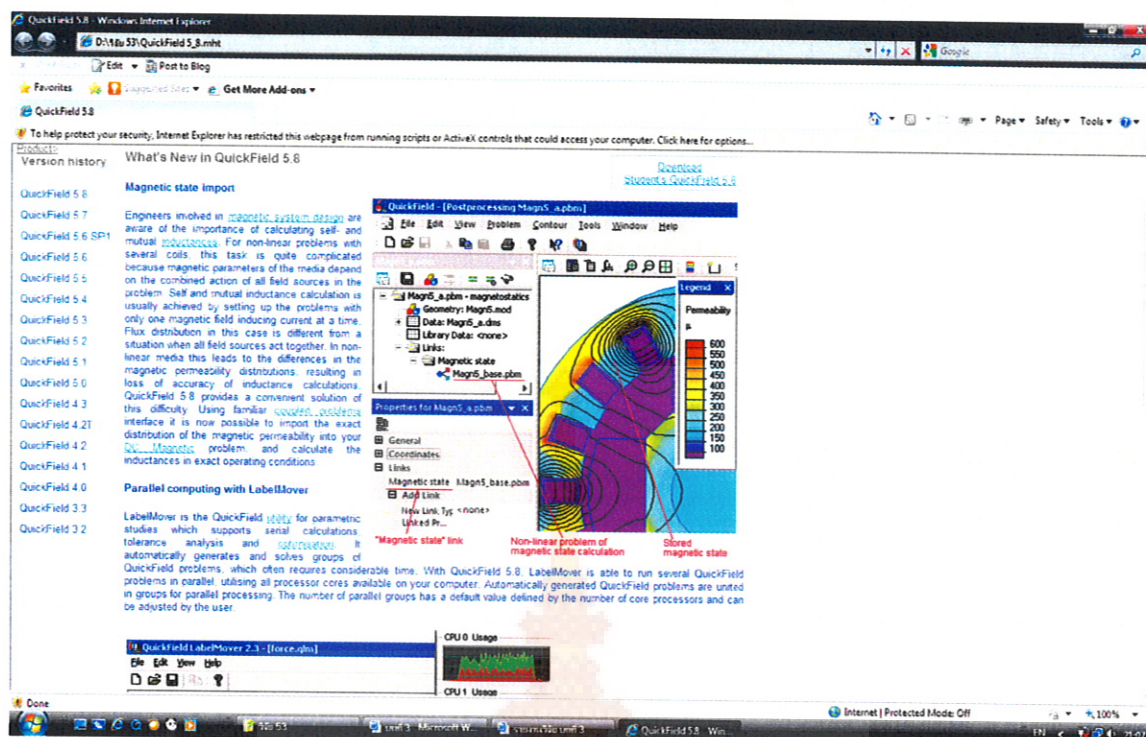
1. แหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง
2. เครื่องวัดรูปสัญญาณ
3. เครื่องกำเนิดความถี่
4. เครื่องวัดกระแสและแรงดัน
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ
6. เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 3.22 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบ

3.3.2 โปรแกรมจำลองการแผ่กระจายความร้อน

โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการแผ่กระจายความร้อนแลกระแสไหลวน ได้แก่โปรแกรม QuickField ซึ่งเป็น free program เพื่อดูการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก กระแสไหลวน และระดับของความร้อนที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 แสดงโปรแกรม Quick Field ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบวงจรการทำงาน

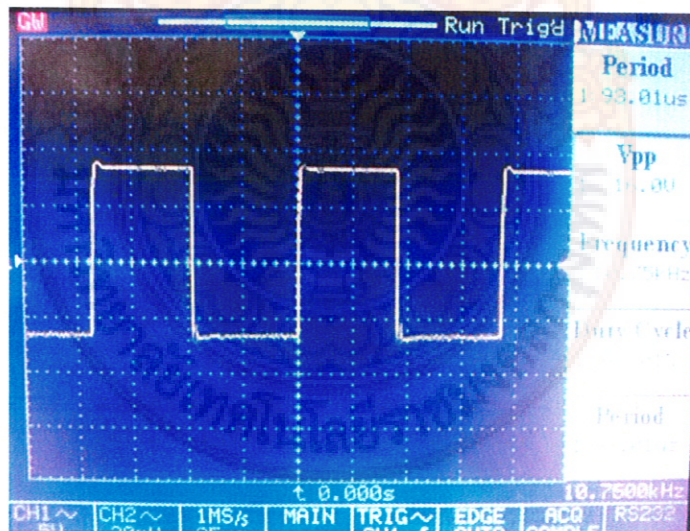
ผลการทดสอบการทำงานของระบบการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ และระบบที่นำไปใช้งานจริง ซึ่งประกอบด้วย

1. วงจรควบคุมกำเนิดสัญญาณความถี่
2. วงจรขยายและแยกสัญญาณทางแสง
3. วงจรอินเวอร์เตอร์
4. วงจรแหล่งจ่ายกำลัง
5. วงจรใช้งานในเตารีด

ผลการวัดสัญญาณแต่ละชุดของภาคต่างๆของวงจรที่ใช้จำลองการทำงานเป็นดังต่อไปนี้

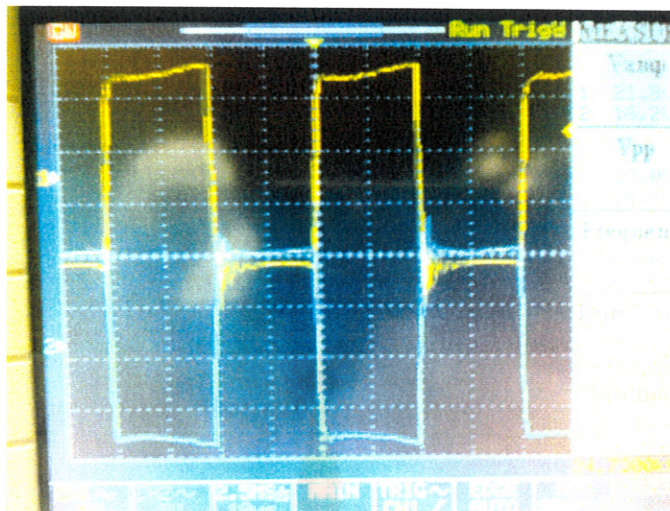
4.1.1 วงจรควบคุมกำเนิดสัญญาณความถี่

ภาพที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ขา 4 ซึ่งเป็นเอาต์พุตของ IC4046 โดยจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่

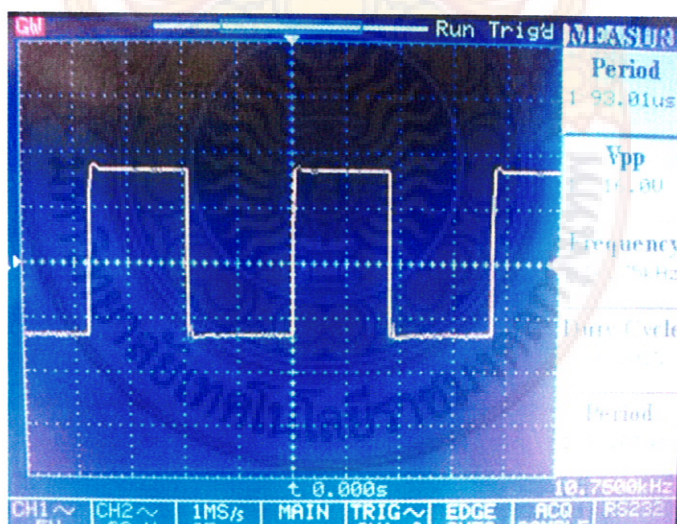
ภาพที่ 4.2 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตของ IC 4081 ซึ่งผ่านการกลับเฟสของสัญญาณ โดย IC 4013 สัญญาณที่ได้จะมีเฟสกลับกัน 180 องศา และสัญญาณที่ได้นี้ถูกกำหนดค่าการ delay โดย วงจร RC delay



ภาพที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรกลับเฟสสัญญาณ

4.1.2 วงจรขยายและแยกสัญญาณทางแสง

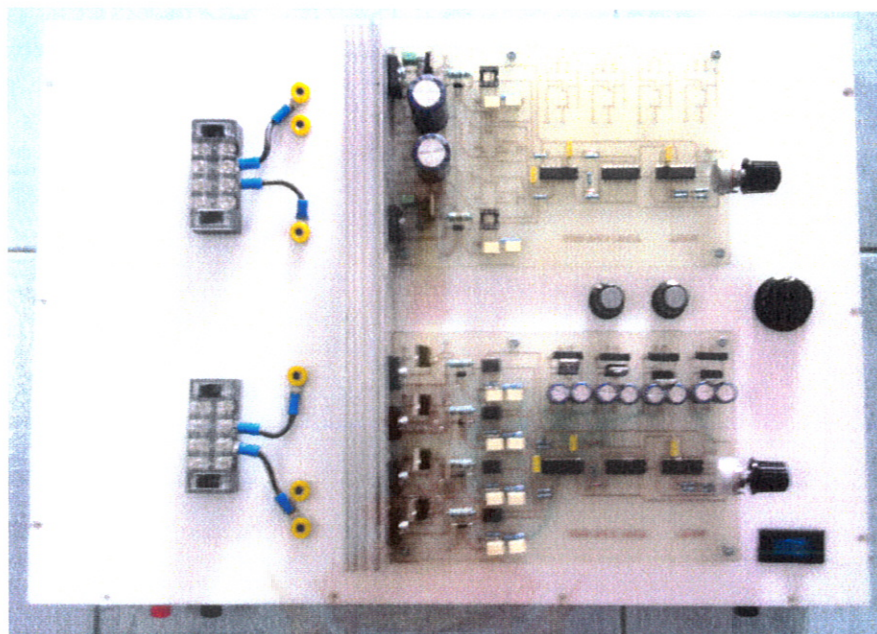
สัญญาณที่ได้จาก IC 4081 ทั้งสองสัญญาณจะถูกนำไปขับขาเกตของมอสเฟต ซึ่งสัญญาณแรกจะถูกนำไปขับเกตของมอสเฟตบนขวาและล่างซ้าย ส่วนสัญญาณที่สองจะถูกนำไปขับเกตของมอสเฟตบนซ้ายและล่างขวา โดยสัญญาณที่จะนำไปขับมอสเฟตให้ทำงานในวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น สัญญาณในการขับแต่ละคู่จะต้องมีการเฟื่อเวลาซึ่งกันและกันเอาไว้ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน Opto ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและสัญญาณที่ได้จาก Opto ที่จะถูกนำไปขับมอสเฟตแต่ละตัว



ภาพที่ 4.3 แสดงสัญญาณสำหรับขับเกต

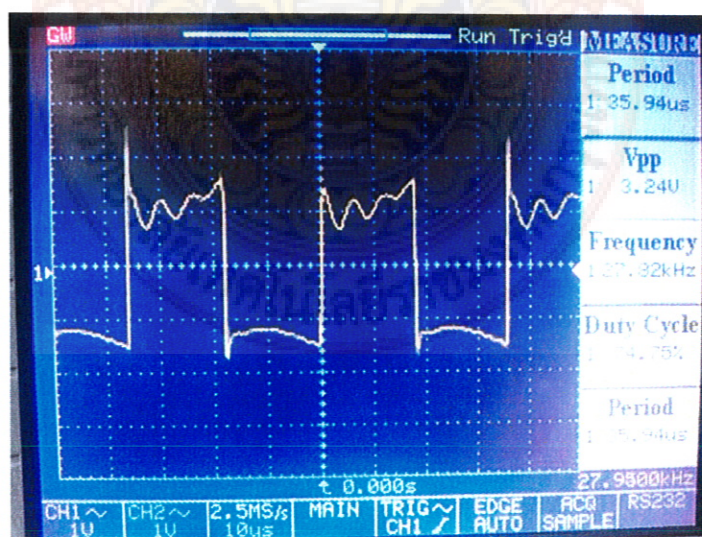
4.1.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำการทดสอบวงจรที่ปรับปรุงโดยใช้มอสเฟตแล้ว ดังภาพที่ 4.4



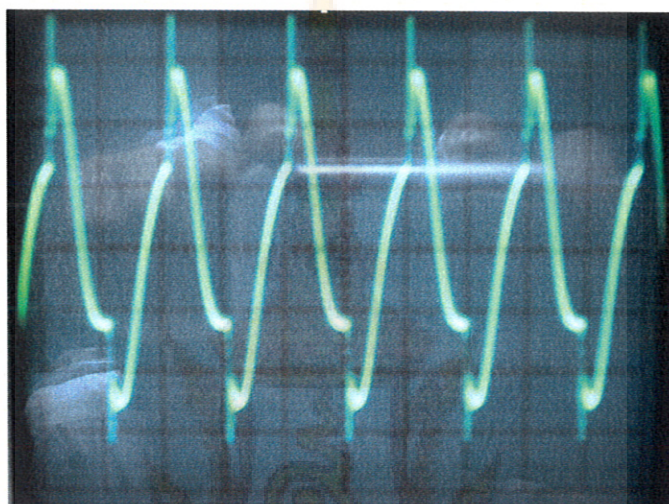
ภาพที่ 4.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำการปรับปรุงโดยใช้มอสเฟต

จากสัญญาณที่ได้จาก opto coupler ที่นำไปสั่งการสวิทช์ของมอสเฟต ระหว่างคู่ Q_1 กับ Q_4 และ Q_2 กับ Q_3 ทำให้ทำงาน และเมื่อมอสเฟตทำงาน สัญญาณที่วัดได้จากการสวิทช์แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงสัญญาณจากการสวิทช์ของมอสเฟต

เมื่อมอสเฟตได้รับสัญญาณจาก Opto มอสเฟตจะทำงานเป็นการสวิตช์แรงดันที่ได้จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟสูง $50V_{DC}$ จากนั้นกระแสของแหล่งจ่ายแรงดัน $50V_{DC}$ จะไหลผ่านวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมทางด้านเอาต์พุต ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาด $1\mu F$ จำนวน 8 ตัว ที่ต่อแบบผสมกันอยู่ โดยมีค่าประจุรวม $0.5\mu F$ และ L ค่า $40\mu H$ โดยเกิดจากการพันขอลวดจำนวน 30 รอบ ซึ่งตัวเก็บประจุและขดลวดนี้จะเป็นตัวกำหนดความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) เมื่อกระแสไหลผ่านวงจรเรโซแนนซ์ทำให้เกิดการยุบตัวพองตัวของสนามแม่เหล็กตัดผ่านเหล็ก ซึ่งเรียกว่ากระแสไหลวน เหล็กจึงเกิดความร้อนในขณะที่วงจรทำงาน และเหล็กเกิดความร้อนนี้จะได้สัญญาณที่คร่อม L ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมขดลวด

4.1.4 ลักษณะของเหล็กเมื่อถูกเหนี่ยวนำ

เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้เหล็กร้อนและแดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะการเกิดความร้อนจากการเหนี่ยวนำ

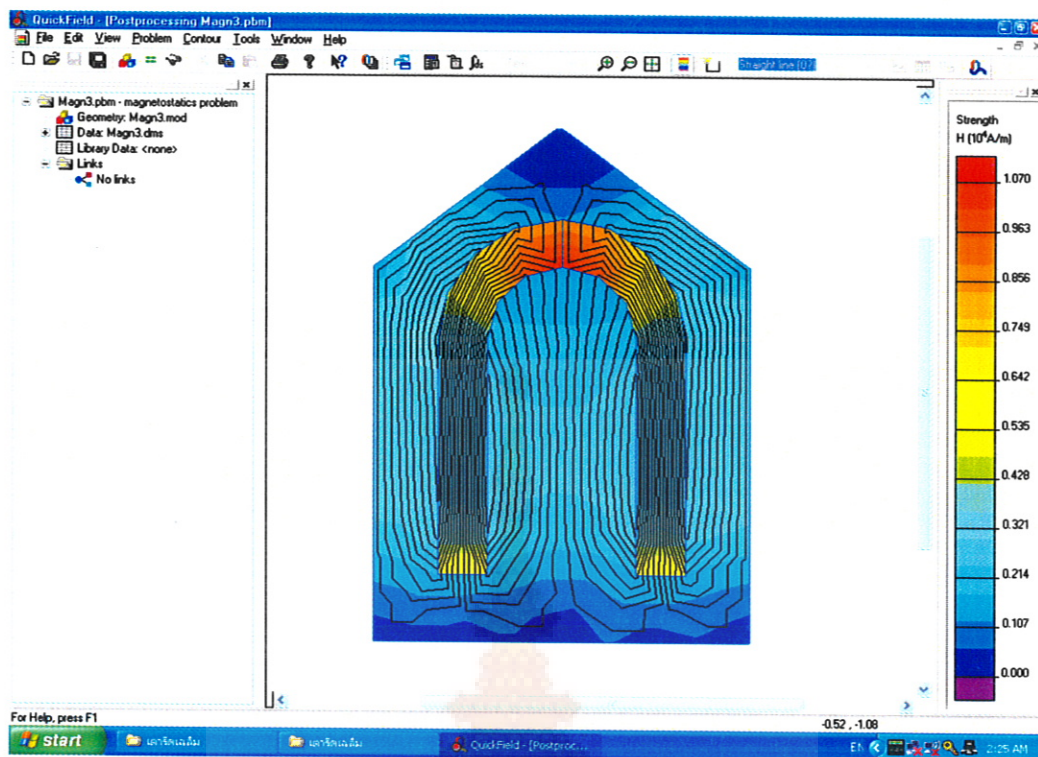
4.2 การวิเคราะห์การทดสอบชุดเหนียวนำความร้อน

4.2.1 ผลจากการทดสอบการแผ่กระจายความร้อน

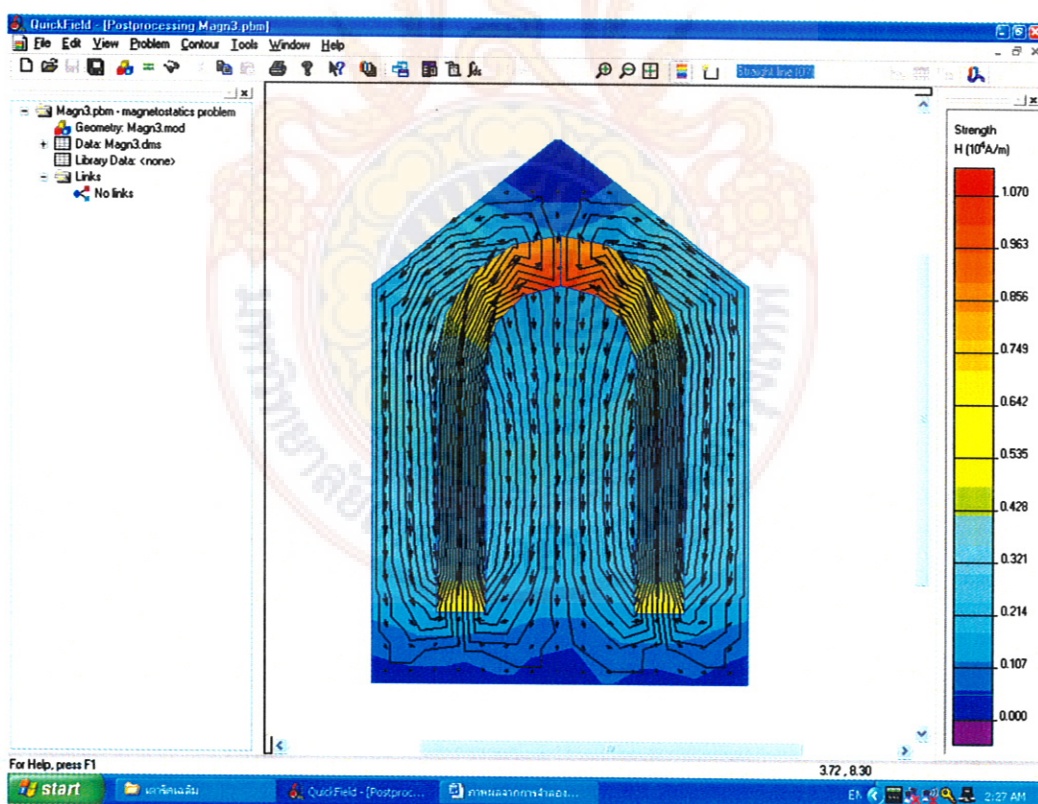
จากผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า การแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีลักษณะกระจายออกจากตรงกลางของชุดลวดเหนียวนำ โดยเห็นได้จากการทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ใส่ลงตรงกลางของชุดลวดเหนียวนำ พบว่าเหล็กจะเกิดความร้อนขึ้นมากที่สุดที่บริเวณตรงกลางของชุดลวดเหนียวนำ แล้วจะค่อยๆร้อนขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายผ่านเหล็กเรื่อยๆ และยังได้สังเกตเห็นอีกว่า เหล็กที่มีขนาดใหญ่จะร้อนช้ากว่าเหล็กที่มีขนาดเล็ก โดยทฤษฎีแล้วการที่เหล็กเกิดความร้อนได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่า Skin Effect (ความลึกผิว) เนื่องจากยิ่งความถี่สูงมากค่า Skin Effect ก็จะมีค่าน้อย ทำให้เมื่อใส่เหล็กขนาดเล็กกว่าทำให้เกิดความร้อนเร็วกว่าเหล็กที่มีขนาดใหญ่ โดยจะเกิดความร้อนขึ้นที่ผิวของเหล็กแล้วจะเกิดการกระจายความร้อนหรือเกิดการนำพาความร้อนขึ้น เมื่อเหล็กมีขนาดเล็กก็จะเกิดการนำพาความร้อนได้เร็วกว่าเหล็กที่มีขนาดใหญ่ เพราะมีพื้นที่ที่เล็กกว่าและการที่ชุดลวดเหนียวนำมีขนาดรัศมีที่เล็ก จะมีการทำปฏิกิริยากับเหล็กได้ดีกว่าชุดลวดเหนียวนำที่มีขนาดรัศมีที่ใหญ่ เนื่องจากชุดลวดเหนียวนำที่เล็ก สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะการกระจายที่แคบและจะทำให้สนามแม่เหล็กมีความหนาแน่นมากกว่าชุดลวดเหนียวนำที่มีขนาดรัศมีที่ใหญ่กว่า โดยสนามแม่เหล็กจะมีการแผ่กระจายออกมา และจะทำให้สนามแม่เหล็กแผ่โดนตรงเหล็กน้อย ทำให้ร้อนช้ากว่าชุดลวดเหนียวนำที่มีขนาดเล็กกว่า

4.2.2 ผลจากการจำลองการทำงานของสนามแม่เหล็กแผ่กระจายความร้อน

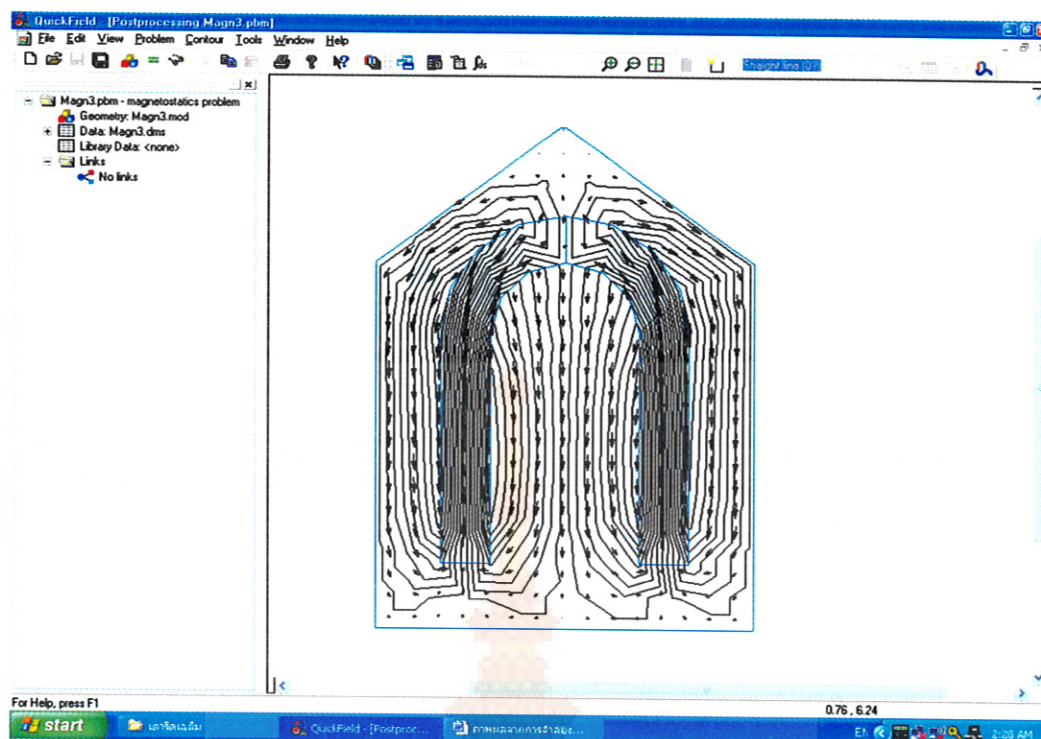
จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม QuickField จำลองการทำงาน เพื่อดูการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก และระดับของความร้อนที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.8 ถึง ภาพที่ 4.11 โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 100 – 600 องศาเซลเซียส



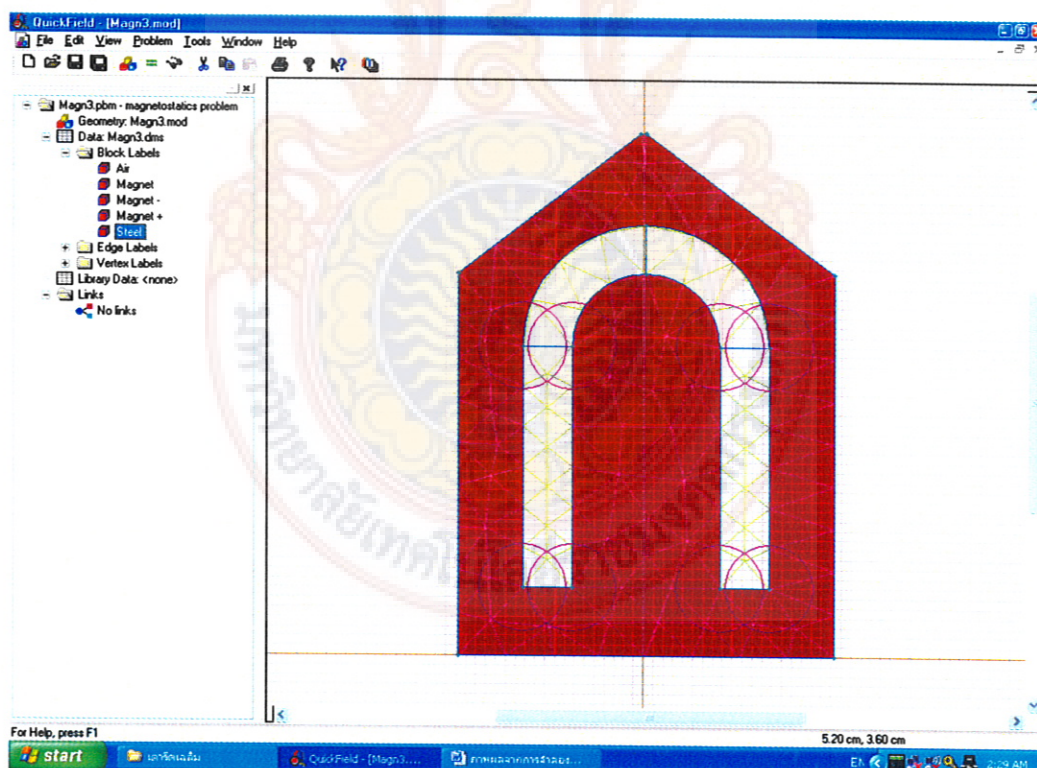
ภาพที่ 4.8 แสดงการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็กและระดับความร้อน



ภาพที่ 4.9 แสดงทิศทางการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็กและระดับความร้อน



ภาพที่ 4.10 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กและการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก



ภาพที่ 4.11 แสดงจุดรวมของการแผ่กระจายเส้นแรงแม่เหล็ก

4.2.3 ผลการทดสอบการให้ความร้อน

จากการทดลองให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ โดยทดลองให้ความร้อนกับเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร ความถี่ที่ใช้ 35.588 kHz ค่า $L = 40 \mu H$ และ $C = 0.5 \mu F$

4.2.3.1 ทดสอบการเพิ่มแรงดันให้กับมอเตอร์กำลัง

เพื่อทำการวัดค่าของพลังงานที่ใช้ และอุณหภูมิที่ได้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้กับอุณหภูมิที่ได้ แรงดันที่ใช้ในการทดสอบ ตั้งแต่ $10V_{DC} - 60V_{DC}$ โดยทำการเพิ่มแรงดันทีละ $5V_{DC}$ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และอุณหภูมิ

แรงดันมอเตอร์ (V)	แรงดันของสัญญาณ (V)	กระแสที่ใช้ (A)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)
10	7.2	0.96	42
15	11.0	1.35	60
20	15.2	1.63	89
25	16.2	1.90	146
30	17.4	2.06	188
35	19.6	2.21	252
40	28.2	2.41	273
45	32.2	3.43	326
50	33.9	3.71	>360
55	35.1	3.92	>360
60	36.6	4.45	>360

4.2.3.2 การทดสอบเปลี่ยนความถี่เพื่อดูผลของความร้อนที่ได้

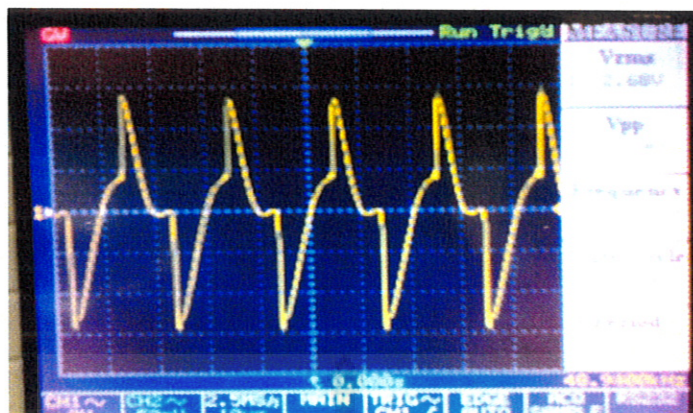
ทำการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก เพื่อศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ และ อุณหภูมิที่ได้ โดยคงที่แรงดันที่ใช้ และทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้และอุณหภูมิที่ได้เมื่อทำการปรับความถี่ในการใช้งาน

ความถี่ (kHz)	แรงดันที่มอสเฟต (V)	แรงดันที่โหลด (V)	กระแสที่โหลด (A)	อุณหภูมิ (°C)
35	49.2	30.6	3.73	>360
40	59.4	13.2	0.76	102
40	50.6	27.8	3.17	332
45	51.4	25.0	2.92	304
50	53.8	20.8	2.20	260
55	55.0	19.8	1.89	176
60	57.4	16.6	1.28	144
65	58.7	14.6	0.93	130
75	61.0	11.0	0.54	83
80	61.1	11.5	0.42	80
85	61.3	12.0	0.40	65
90	61.5	12.3	0.41	75
95	61.71	12.4	0.45	69
100	62.6	11.0	0.32	66
105	62.6	10.8	0.29	55

4.2.3.3 ผลการทดสอบจากการเปลี่ยนแปลงความถี่

โดยวงจรเรโซแนนซ์เป็นลักษณะของขดลวดที่พันยึดติดกับแผ่นความร้อนของเตารีด มีการวางตัวคล้ายกับการวางขดลวดความร้อนของเตารีดที่ใช้ในปัจจุบัน ทำให้การกระจายความร้อนเหมือนกัน จากนั้นได้ทำการทดลองวงจรโดยใช้ความถี่ที่ 45.94 kHz , $L = 21 \mu\text{H}$ ขณะมีโหลด $C = 1 \mu\text{F}$ และทำการปรับเปลี่ยนความถี่จนได้พลังงานตามต้องการ มีผลการทดลองดังนี้



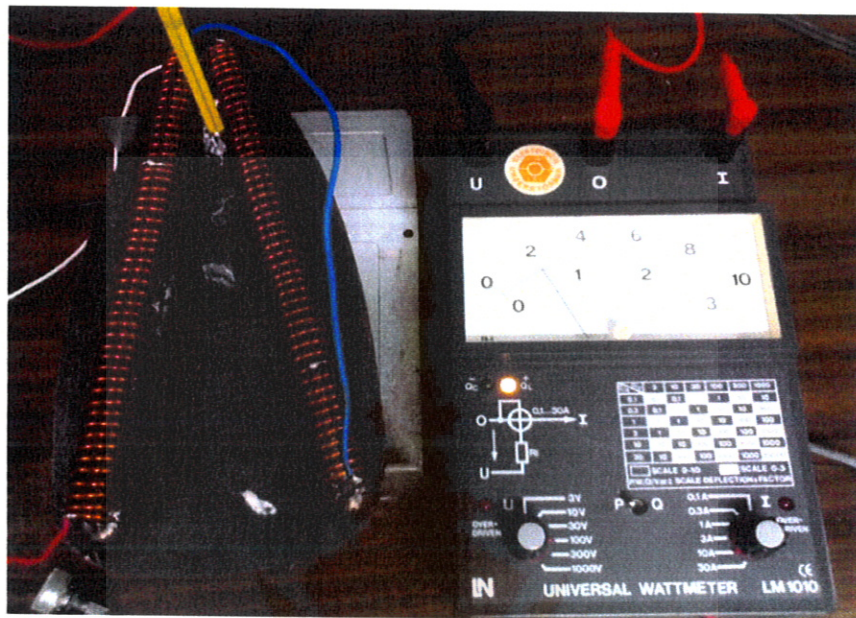
ภาพที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่วัดจากขดลวดที่พันยึดกับแผ่นความร้อน

การทำงานของวงจรที่ความถี่เหมาะสม เป็นผลทำให้ได้ความร้อนสูงสุดจากผิวหน้าของแผ่นความร้อน โดยในการทดลองเท่ากับ 154 องศา โดยได้ทำการวัดกำลังงานที่ใช้ในวงจร ซึ่งวัดกำลังงานที่ใช้งานอยู่ที่ 210 วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังงานสูงสุดที่เตารีดตัวนี้ใช้ในการเปรียบเทียบกับเตารีดทั่วไป ซึ่งได้ความร้อนสูงสุดไม่เกิน 140 องศา ในกรณีที่ทำการปรับความร้อนสูงสุด ถ้าเปรียบเทียบที่ 140 องศา เท่ากัน เตารีดตัวนี้จะใช้พลังงานไม่เกิน 200 วัตต์ จึงกำหนดพลังงานที่ใช้ของเตารีดที่สร้างได้ไม่เกิน 200 วัตต์

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากวงจรใช้งานจริงเมื่อมีโหลดเป็นแผ่นหน้าเตารีด

พลังงานที่ใช้ (W)	ความถี่ (kHz)	แรงดันมอสเฟต (V)	กระแส (A)	อุณหภูมิ (°C)
50	255.8	51.1	0.8	48
70	174.26	56.5	1.23	62
90	145.05	56.7	1.52	69
110	109.26	64.1	1.97	83
130	86.81	52.5	2.55	90
150	74.82	51.1	2.92	102
170	67.01	50.01	3.33	116
190	61.59	49.81	3.61	132
210	46.30	49.50	3.99	154

เมื่อต้องการให้ความร้อนลดลง สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นการกำหนดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน แต่ทั้งนี้กำลังงานที่ใช้ในเตารีดไม่เกิน 200 วัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงกำลังงานที่ใช้ของเตารีดขณะความร้อนสูงสุด

จากผลการทดลองเมื่อเรานำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า โดยคิดค่ากระแสเฉลี่ยที่ 4 A และแรงดันที่ $50V_{dc}$

คำนวณหากำลังงานที่ใช้

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 50 \times 4 \\ &= 200 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

และเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 3 บาท จะได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า(บาทต่อชั่วโมง)} &= \frac{P_{in} \times H_r}{1000} \times \text{bath per unit} \\ &= \frac{50 \times 4 \times 1}{1000} \times 3 \\ &= 0.6 \text{ bath / hour} \end{aligned}$$

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

หลักการให้ความร้อนแกโลหะด้วยวิธีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเข้าไปในชิ้นโลหะ ทำให้เกิดกระแสไหลวนเป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชิ้นโลหะ เมื่อสนามแม่เหล็กรอบๆ มีการเปลี่ยนแปลง กระแสไหลวนนี้ก่อให้เกิดพลังงานความร้อนที่ต้องการในชิ้นโลหะ โดยสามารถแบ่งการทำงานของระบบได้เป็น 5 ส่วน คือ วงจรกำเนิดความถี่ ที่ใช้กำเนิดความถี่ที่นำไปขับสวิตช์มอสเฟต ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ ส่วนที่สอง คือ วงจรขับเคลื่อนและแยกกราวด์ ทำหน้าที่ป้อนแรงดันให้กับมอสเฟตกำลังและแยกวงจรระหว่างแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ พร้อมกับแยกแรงดันของวงจรขับเคลื่อนแต่ละชุด ส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นวงจรหลักที่ทำให้กระแสไหลผ่านโหลด ส่วนของวงจรเรโซแนนซ์ที่ทำให้เกิดพลังงานสูงสุด และส่วนสุดท้ายคือส่วนของการจ่ายแรงดันให้กับวงจรทั้งหมด ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นที่ทำให้เกิดความร้อนที่แผ่นความร้อนของเตารีด ในการวิจัย สามารถสรุปผลจากการวิจัยและทดสอบได้ดังนี้

1. ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานทำให้เห็นถึงทิศทางของสนามแม่เหล็ก กระแสไหลวน และความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงความร้อนที่เกิดขึ้นว่าเหมาะสมหรือไม่
2. ในการปรับเปลี่ยนแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรควบคุมการเหนี่ยวนำ ทำให้ได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้น โดยคงความถี่ในการทำงานไว้ จะได้อุณหภูมิที่แผ่นรีดสูงขึ้นด้วย
3. ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรควบคุมนั้น จะได้ว่า เมื่อเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นจากความถี่เรโซแนนซ์ของชุดคอยล์เหนี่ยวนำแล้ว อุณหภูมิที่ได้จะลดลง
4. จากการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานเปรียบเทียบกับเตารีดแบบเดิมจะได้ว่า ที่อุณหภูมิเท่ากัน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจะน้อยกว่าเตารีดทั่วไปประมาณ 5 เท่า

จากการวิจัยทำให้สามารถสรุปผลของการวิจัยตามจุดประสงค์ของการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการวิจัยทำให้สามารถสร้างเตารีดที่ใช้พลังงานน้อยกว่าเตารีดที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งใช้พลังงานประมาณ 225 วัตต์ ในอุณหภูมิที่เท่ากันกับเตารีดทั่วไป
2. จากทดลองระบบการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ ทำให้เข้าใจหลักการทำงานของระบบเป็นอย่างดี
3. ความถี่ที่ทำให้วัสดุได้รับพลังงานสูงสุด คือ ความถี่เรโซแนนซ์
4. สามารถสร้างเตารีดแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้นแบบได้สำเร็จ

5.2 ปัญหาของงานวิจัย

จากการวิจัยสามารถวิเคราะห์และสรุปปัญหาต่างๆได้ดังนี้

1. มอสเฟตกำลังที่ใช้มีอัตราการทำงานกระแสดำ
2. การสูญเสียจากการสวิตช์ ที่เกิดขึ้นที่ตัวมอสเฟตกำลังจะทำให้มอสเฟตเสียหายได้
3. เนื่องจากเตารีดมีขนาดเล็ก ทำให้ยากต่อการออกแบบโครงสร้างของและแผ่นความร้อนของเตารีดและวงจร
4. วงจรในเตารีดใช้กระแสสูง ทำให้ยากต่อการออกแบบแหล่งจ่ายกำลัง
5. ความทนทานในการใช้งานน้อย เนื่องจากยังมีการเสียหายของวงจรควบคุมได้ง่าย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบเตารีดระบบเหนี่ยวนำความร้อน ควรออกแบบให้สามารถปรับอุณหภูมิให้ละเอียดมากกว่าเดิม และสามารถควบคุมความร้อนให้คงที่กว่าเดิม
2. จากการทำงานของระบบการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำซึ่งใช้ความถี่สูง ภาค Inverter เกิดการสวิตช์ด้วยความถี่สูง ทำให้เกิดความร้อนที่มอสเฟตกำลัง จึงต้องออกแบบระบบระบายความร้อนให้ดี
3. ในการออกแบบแผงวงจรต้องมีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถบรรจุแผงวงจรลงในเตารีดได้
4. ต้องมีการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังใหม่ให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังถ้ามีแรงดันสูงอุปกรณ์ที่ใช้จะมีขนาดใหญ่ และถ้าออกแบบให้มีกระแสสูงวงจรจะมีขนาดใหญ่
5. ต้องมีการออกแบบและทดสอบความทนทานในการใช้งานให้มากกว่านี้ เนื่องจากยังมีการเสียหายของวงจรควบคุมได้ง่าย
6. ควรมีการทดสอบในการทำงานด้วยชุดคอยล์ในรูปแบบอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการกระจายความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการรีด
7. ควรมีการถ่ายภาพการแพร่กระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนเปรียบเทียบกับ การทดสอบ และการจำลองการทำงาน

บรรณานุกรม

- คงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย และ สำราญ สันทาลุนัย. 2550. การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชัยพร กิตติรัตนไพบูลย์ และ เขมราช จารุตา. เตาไร้ดประสิทธิภาพสูง. ปัญหาวิจัยวิศวกรรมศาสตร์
บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นภดล นუნงาม. 2539. เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำชนิดปรับความถี่แบบอัตโนมัติ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ประเสริฐ เขียนนอก, ประถม บุญทน และ คำเพียร สะอาดศรี. การใช้พลังงานกับวิถีชีวิตชุมชน.
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- รุ่งกมล สีหะวงศ์. 2541. ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วงศ์วิชิต หอมโกศล และ ปณดพล แยมศรวล. 2552. การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบ
เหนี่ยวนำความถี่สูง. โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิรงรอง ประสานวงศ์. 2548. การประหยัดพลังงานในเตาไร้ดไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาไร้ดเฉพาะ
ความปลอดภัย (มอก. 366 – 2547).
- ศุภกิจ ตาพล, สุภาวัฒน์ สมตัว และ อรรถชัย วิเศษไวยหาร. 2547. เตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ.
วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Byoung-Kuk Lee, Jin-Woo Jung, Bum-Seok, Dong-Seok Hyun “ A New Half-Bridge
Inverter Topology with Active Auxiliary Resonant Circuit Using Insulated Gate
Bipolar Transistor for Induction Heating Applications ” IEEE 1997.
- C. Patummakasorn, S. Tangwachirapan and C. Thongsopa. “Development of
Inductive Regional Heating By Energy Control at Frequency 2.45 GHz”
IEEE Conference Hyperthermia APMC Dec 2007.
- E.J. Davies. “Conduction and Induction Heating”.
- E.J.Dede, V. Eeteve, J.V. Gonzalez, J.Garcia, L. Lapiedra and M. Fernadez. “ Design of A

Series Resonant Converter For Induction Heating” IEEE 1991.

J. Davice and P. Simpson Induction Heating Handbook McGraw-Hill, 1979.

Lawrence R. Egan and Edward P. Furlani A Computer Simulation of an Induction Heating System IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. VOL. 21, NO. 5. SEPTEMBER 1991.

Valery Rudnev, Don Loveless, Raymond Cook and Micah Black. “Handbook of Induction Heating”.

