



การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

INDUCTION HEATING DESIGE

โดย

นายคงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย รหัสประจำตัว B4706540

นายสำราญ สันทาอุทัย รหัสประจำตัว B4712497

รายงานส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 ครงงานศึกษาวิศวกรรม
โทรคมนาคม

และวิชา 427499 ครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำปีการศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2550

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง
พ.ศ. 2545 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ	การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
ผู้ดำเนินงาน	นายคงศักดิ์ รัตนนิมชัย รหัสประจำตัว B4706540 นายสำราญ สันทาลุนัย รหัสประจำตัว B4712497
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษา	3/2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เพื่อใช้ควบคุมเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ โดยมีการทำงานคือจ่ายแรงดันอินพุต 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ผ่านหม้อแปลงปรับค่าได้ โดยปรับแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 60 โวลต์และจ่ายให้กับวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อกรองสัญญาณให้เรียบและแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อควบคุมให้กระแสไหลคงที่และจ่ายให้กับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ทำการสวิตซ์ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับออกมาซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นสแควร์เวฟที่มีความถี่สูงใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยมีความถี่อยู่ในช่วง 20-50 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กและเกิดกระแสไหลวนขึ้นที่ขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน จากผลการทดลองพบว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์จะมีการส่งผ่านพลังงานมากที่สุดและใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเร็วขึ้นการเปลี่ยนขนาดของชิ้นงานก็มีผลต่อกระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ดังนั้นจากการศึกษาโครงการนี้เมื่อทำการทดสอบเครื่องแล้วสามารถให้ความร้อนแก่ชิ้นงานได้เป็นที่น่าพอใจและตามวัตถุประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการเรื่องเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction Heating) นี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายด้าน ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ในการทำโครงการครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณ

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภิต อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ที่มอบความรู้และโอกาสให้คณะผู้จัดทำและยังคอยให้คำปรึกษาต่างๆ
- คุณประพล จาระตะกู ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานเกี่ยวกับงบประมาณ ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในโครงการ
- บุพการีอันเป็นที่รัก ที่คอยสนับสนุนและกำลังใจด้วยดีตลอดมา
- สมาชิกภายในกลุ่มที่คอยช่วยเหลือกันและให้กำลังใจตลอดการทำงาน
- เพื่อนกลุ่มอื่นๆที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือกัน

นายกศศักดิ์ รัตน์นิยมชัย
นายสำราญ สันทาลุนัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบข่ายโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำความร้อน	4
2.1 พื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน	4
2.2 การหาค่าความเหนี่ยวนำ	7
2.3 การเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.4 ระควมล็กผิวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.5 วงจรเรโซแนนซ์ของตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	11
2.6 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมเบอร์ UC3875	14
บทที่ 3 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุม	19
3.1 ออกแบบวงจรของเพาเวอร์ซัพพลาย	21
3.2 ออกแบบวงจรควบคุมในโหมดของแรงดัน	25
3.3 ออกแบบส่วนของบัฟเฟอร์	26
3.4 ออกแบบไอโซเลเตอร์	28
3.5 ออกแบบวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	29
3.6 ออกแบบวงจรเรโซแนนซ์	31

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	34
4.2 สัญญาณความถี่ควบคุม	36
4.3 สัญญาณที่ออกจากขาเกิดของวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์	39
4.4 รูปตัวอย่างผลการทดลอง	42
4.5 วิเคราะห์การทดสอบ	47
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	48
5.1 ส่วนประกอบแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	48
5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	48
5.3 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน	48
5.4 ผลที่ได้จากโครงการนี้	49
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	49
บรรณานุกรม	50
ประวัติผู้เขียน	

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงผังไดอะแกรมโครงการ	3
รูปที่ 2.1 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน	5
รูปที่ 2.2 แสดงความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว	10
รูปที่ 2.3 วงจรเรโซแนนซ์	12
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิด	13
รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของไอซี	14
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อ R_T C_T	15
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่	15
รูปที่ 2.8 สัญญาณเอาต์พุตของไอซี UC3875	17
รูปที่ 2.9 การจัดวางตำแหน่งขาต่างๆของไอซี UC3875	18
รูปที่ 3 แสดงผังไดอะแกรมโครงการ	20
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนของเพาเวอร์ซัพพลาย	21
รูปที่ 3.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ	22
รูปที่ 3.1.2 ไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอ	22
รูปที่ 3.1.3 วงจรปรับแรงดัน LM 317	23
รูปที่ 3.1.4 ชุดวงจรปรับแรงดัน LM 317	23
รูปที่ 3.1.5 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง	24
รูปที่ 3.1.6 ชุดวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง	24
รูปที่ 3.2.1 วงจรควบคุมในโหมคของแรงดัน	25
รูปที่ 3.2.2 ชุดวงจรในส่วนของไอซี UC3875	26
รูปที่ 3.3.1 วงจรของบัฟเฟอร์	27
รูปที่ 3.3.2 ชุดวงจรในส่วนของบัฟเฟอร์	27
รูปที่ 3.4.1 วงจรไอโซเลเตอร์	28
รูปที่ 3.4.2 ชุดไอโซเลเตอร์	28
รูปที่ 3.5.1 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	29

สารบัญภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.5.2 ชุดวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	30
รูปที่ 3.6.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	31
รูปที่ 3.6.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	31
รูปที่ 3.6.3 วงจรการเรโซแนนซ์	31
รูปที่ 3.6.4 ชุดวงจรเรโซแนนซ์	32
รูปที่ 3.7 วงจรรวมของโครงการ	33
รูปที่ 4.1 แรงดันก่อนเข้าวงจรเรียงกระแส	34
รูปที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรปรับแรงดัน	35
รูปที่ 4.3 เอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	36
รูปที่ 4.4 เอาต์พุต B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	37
รูปที่ 4.5 เอาต์พุต C ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	37
รูปที่ 4.6 เอาต์พุต D ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	38
รูปที่ 4.7 เอาต์พุต A ที่ออกจากขาเกต	39
รูปที่ 4.8 เอาต์พุต B ที่ออกจากขาเกต	40
รูปที่ 4.9 เอาต์พุต C ที่ออกจากขาเกต	40
รูปที่ 4.10 เอาต์พุต D ที่ออกจากขาเกต	41
รูปที่ 4.11 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.12 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 6 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.13 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.14 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.15 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.16 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร	45
รูปที่ 4.17 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.18 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	47

สารบัญภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปภาพ	
กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่	42
กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่	44
กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันนี้การให้ความร้อนโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางตัวอย่างเช่น เตาหลอมโลหะ เตาขึ้นรูปชิ้นงานโลหะ เตาเชื่อมชิ้นงาน และเนื่องจากการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่กล่าวมานี้ยังมีราคาแพงและยังต้องซื้อจากต่างประเทศ จึงได้มีการศึกษาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำขึ้นสำหรับแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อนนี้ สามารถใช้ได้กับความถี่สูง 10 กิโลเฮิร์ตขึ้นไป โดยในการใช้งานที่ความถี่สูงนี้ สามารถช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ลงไปได้อย่างมากและยังสามารถให้กำลังงานได้ในระดับสูงๆ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีและอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการพัฒนาไปมากซึ่งรวมถึงการศึกษาวจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยการใช้อุปกรณ์ประเภทมอสเฟต ซึ่งมีความไวในการสวิตซ์สูง และเนื่องจากโพลความถี่เหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ ดังนั้นจึงใช้วจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเรโซแนนซ์ซึ่งใช้หลักการเรโซแนนซ์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการส่งผ่านพลังงานสูงสุดไปยังโหลดได้ทำให้ประสิทธิภาพในการแปรผันพลังงานสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์
2. เพื่อศึกษาการเกิดสนามแม่เหล็กในขดลวด
3. เพื่อศึกษาระยะเวลาในการทำให้เหล็กร้อน
4. เพื่อศึกษาความถี่ที่เหมาะสมและพลังงานที่ใช้ในการทำให้เหล็กร้อน

1.3 ขอบเขตงาน

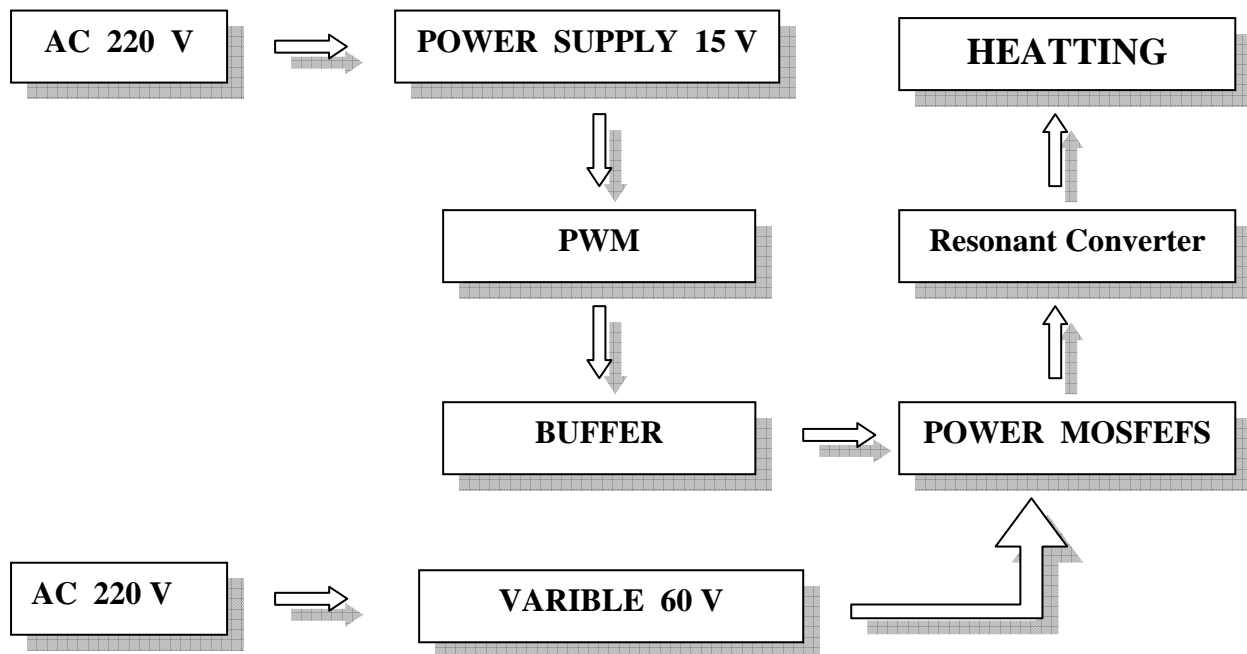
1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความถี่ในการทำให้เหล็กร้อน
2. ใช้วงจรฟูลบริดจ์ในการควบคุมการสลับการทำงานของวงจร
3. วิเคราะห์การทำงานของไอซีที่ให้กำเนิดสัญญาณพัลส์
4. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุม (PWM)
5. สร้างเครื่องต้นแบบและทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการงาน
2. จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการงาน
3. ออกแบบวงจรควบคุมความถี่ (PWM)
4. ออกแบบและสร้างวงจรเครื่องต้นแบบ
5. สร้างเครื่องต้นแบบ
6. ทดสอบและปรับปรุงแก้ไข
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรายงาน
9. ประเมินผลโครงการงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการมาประกอบวิชาชีพได้
2. สามารถนำความรู้ที่ได้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติมาประยุกต์ใช้งานอื่นๆได้
4. สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานได้
5. รู้จักการคิด การวิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ
6. สามารถทำงานเป็นกลุ่มได้



รูปที่ 1.1 แสดงผังไดอะแกรมโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีการเหนี่ยวนำความร้อน

2.1 พื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน

การเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นจะประกอบไปด้วยสามปัจจัยพื้นฐานคือ 1). การเหนี่ยวนำเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 2). ผลกระทบเชิงผิวและ 3). การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นทฤษฎีมูลฐานของการเหนี่ยวนำความร้อนคล้ายกับการเปลี่ยนรูปเป็นการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิวซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 2.1 เป็นรูปที่แสดงระบบพื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน จะประกอบไปด้วยเครื่องทำความร้อนที่เป็นขดลวดเป็นส่วนที่เหนี่ยวนำความร้อน เพื่อเป็นการอธิบายการเหนี่ยวนำเกี่ยวกับภาวะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบเชิงผิว ในรูปที่ 2.1a เป็นการแสดงตัวอย่างอย่างง่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงหรือที่เรียกว่า คอยล์ ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลง แต่ไม่ได้แปลงพลังงานไฟฟ้า นั่นคือ ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าให้กับแกนเหล็กไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำในแกนเหล็ก (กระแสไหลวน) ตามกฎของเลนส์แล้ว พลังงานไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและในขดลวดทุติยภูมิ ต้องเท่ากัน นั่นคือ

$$P_1 = P_2$$

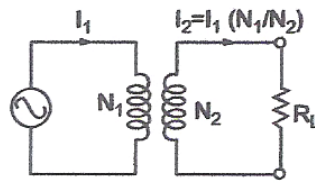
$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

หรือ

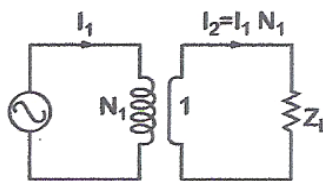
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

ในรูปที่ 2.1 b เมื่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียวจะทำให้ $N_2 = 1$ และจะทำให้การสูญเสียทางความร้อนเพิ่มขึ้นที่กระแสของไหล รูปที่ 2.1 เป็นการแสดงระบบพื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อนเมื่อมีพลังงานจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด เป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับตัวนำที่อยู่กับที่ ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น การที่

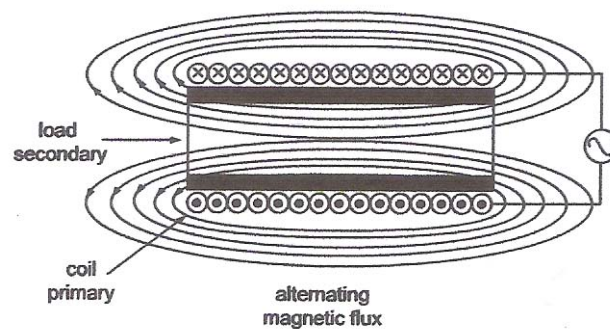
กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในนี้ เรียกว่า การเหนี่ยวนำภายในขดลวด



รูปที่ 2.1 a หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.1 b หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันเพียงรอบเดียว



รูปที่ 2.1 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน

รูปที่ 2.1 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเปิดสวิตซ์กระแสไฟฟ้าในวงจรจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และตัวต้านทานที่ต่อลำดับอยู่ ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดก็จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว และตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กกับตัวเหนี่ยวนำก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าภายในวงจร โดยค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ

กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/วินาที ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเป็นตัวแสดงว่า แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำจะมีปริมาณเท่าไร สำหรับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเดียวกัน สูตรคำนวณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นดังนี้

$$V_{ind} = L \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ

ΔI = การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า

Δt = การเปลี่ยนแปลงของเวลา

เมื่อค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามาก จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากและถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาที่ค่าเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะมีค่าเพิ่มมากไปด้วย

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นมากด้วย

เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจะทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ถึงค่าสูงสุดด้วย และทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เกิดการขยายตัวอีกต่อไป โดยจะรักษาระดับให้คงที่ไว้ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่แล้วการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้น การเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่เกิดขึ้น และสุดท้ายกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไปต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป (ข) ขดลวดจะรับพลังงานไฟฟ้าและเก็บไว้ในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวเก็บประจุที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้านั่นเอง ถ้าปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ดังแสดงในรูป (ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลมาจากแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวลงมา ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจรจึงไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกต่อไป และถึงแม้เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัวลงมา แต่ก็ยังเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำอยู่ เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าของวงจรซึ่งไหลอยู่ก่อนหน้าแล้ว ขดลวดในขณะนี้จะเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และคืนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตอนแรกออกมา หลังจากเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัว

หมด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะกลายเป็นศูนย์ และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในวงจรถึงจะไม่เกิดขึ้นอีก



แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดนี้ จะทำหน้าที่ต้านทานแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจาก แบตเตอรี่และความสามารถของขดลวดหรือตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ภายในซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า หรือที่นิยมเรียก คือ ความเหนี่ยวนำ หน่วยเป็น เฮนรี (H)

2.2 การหาค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัยดังนี้

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

1. จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของ กระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความ เหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ จึงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนรอบของ ขดลวด

2. พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมี จำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ จึงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด

3. ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบขยายพื้นที่ออก ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลง ในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนี้นำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น ความยาวของขดลวดสั้นลงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

4. วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์ หรืออัลลอย ซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น ค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย

จากปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาเขียนเป็นสูตรคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

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

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี (H)

N = จำนวนของขดลวด

A = พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

μ = ค่าความซาบซึมได้ (Permeability)

l = ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.3 การเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นรอบๆ ขดลวดซึ่งสอดคล้องกับกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law)

$$\int Hdl = Ni = F \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

$$\oint = \mu HA$$

ซึ่งวัตถุที่ใส่เข้าไปในส่วนของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาคเกี่ยวกับสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นของส่วนพื้นที่ที่เกิดสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางจากพื้นผิวมากที่สุด ซึ่งคล้ายกับกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) เมื่อจ่ายกระแสเข้ากับพื้นผิวของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ มีความสัมพันธ์กลับกันกับกระแสบนวงจรเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ 2.2 เกิดกระแสบนพื้นผิวของวัตถุ

$$E = \frac{d\lambda}{d\lambda} = N \frac{d\phi}{dt} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดพลังงานทางไฟฟ้าจากกระแสชุกและกระแสวนแปลงเป็นพลังงานในรูปของความร้อน ดังสมการที่ 2.3

$$P = \frac{E^2}{R} = i^2 R \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

ซึ่งค่าของตัวต้านทานได้จากค่าของความหนาแน่น และ ค่าความซาบซึมได้ของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ส่วนกระแสได้จากค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นได้โดยมีความสัมพันธ์กับค่าของความลึกผิว ซึ่งสามารถอธิบายได้ในส่วนของรูปที่ 2.2

ถ้าวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้เช่น เหล็ก พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจำนวนของพลังงานความร้อนที่ได้จะมากขนาดไหนขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุด้วย พลังงานจะเพิกเฉยถ้าวัตถุมีขนาดเล็กมากๆ เนื่องจากพลังงานมีการสูญเสียมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

2.4 ระยะความลึกผิวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ที่สัญญาณความถี่สูงไหลที่ผิวและความถี่ต่ำไหลลึกกลงไปในผิวเรื่อยๆ ตามความถี่ที่ลดลง ดังสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5 เราเรียกว่าเกิดปรากฏการณ์ Skin Effect

$$i_x = i_0 e^{-x/d_0} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

เมื่อ i_x = ความหนาแน่นของกระแสที่ x
 i_0 = ความหนาแน่นของกระแสนความลึกผิว
 d_0 = ความลึกผิว

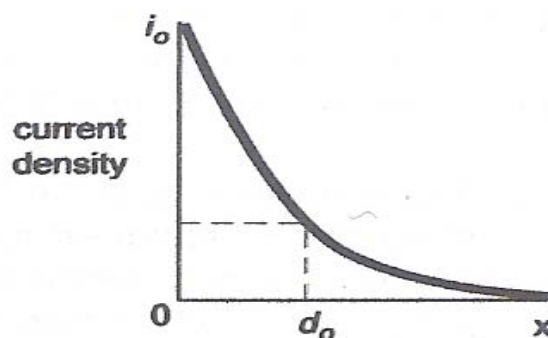
$$d_0 = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

ρ = ความควบแน่น

μ = ความซาบซึ่มได้

ω = ความถี่ที่กระแสไหลผ่านวัตถุ

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นว่าค่าความลึกผิวที่ได้ ขึ้นอยู่กับ ค่าความควบแน่น ค่าความซาบซึ่มได้ และความถี่ของวัตถุ รูปที่ 2.2 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว



รูปที่ 2.2 แสดงความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว

2.5 วงจรเรโซแนนซ์ของตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

วงจรเรโซแนนซ์ในส่วนของกระบวนการการเรโซแนนซ์ จะประกอบด้วย ส่วนของค่าตัวเก็บประจุ , ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความต้านทาน โดยทั่วไปแล้ววงจร เรโซแนนซ์ จะใช้อยู่ 2 ประเภท คือการต่อวงจร เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และการต่อวงจร เรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงการต่อวงจรทั้ง 2 ประเภท เมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าดังสมการที่ 2.8 คือพลังงานจะถูกเก็บอยู่ในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสสลับแล้วจะถ่ายเทไปยังส่วนของตัวเก็บประจุ สมการที่ 2.9 ทำให้การคำนวณจำนวนของพลังงานที่เก็บในตัวเก็บประจุได้ง่ายขึ้น การเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสสลับ และตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนไปเป็นในรูปของพลังงาน จำนวนของพลังงานสูงสุดจะถูกเก็บสะสมไว้อยู่ที่ตัวนำ

$$i = \sqrt{2I} \sin \omega t [A] \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int i dt = -\frac{\sqrt{2I}}{\omega C} \cos \omega t [V] \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

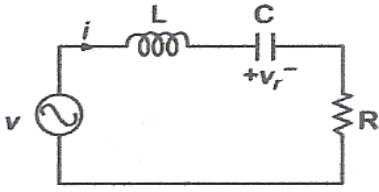
$$E_L = \frac{1}{2} Li^2 = LI^2 \sin^2 \omega t [J] \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

$$E_C = \frac{1}{2} CV_C^2 = \frac{I^2}{\omega^2 C} \cos^2 \omega t = LI^2 \cos^2 \omega t [J] \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

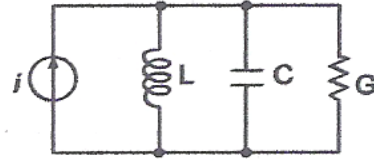
$$E_L + E_C = LI^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = LI^2 \frac{I^2}{\omega^2 C} [J] \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

เพราะพลังงานจำนวนหนึ่งมีการสูญเสียในกระบวนการเรโซแนนซ์ จำนวนพลังงานที่ถูกเก็บในตัวนำ จึงมีการลดลงในช่วงที่มีการเปลี่ยนรูปการเรโซแนนซ์ ในการเรโซแนนซ์ทางความถี่ ซึ่งจะเกี่ยวกับความเร็วของการส่งพลังงาน ซึ่งจะได้จากตัวเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำ ดังแสดงในสมการที่ 2.14

ในส่วนของ การตอบสนองทางการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.11 และ สมการที่ 2.12 ขนาดของอิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรมจะได้อ้างอิงสมการที่ 2.13



รูปที่ 2.3a วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.3b วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.3 วงจรเรโซแนนซ์

$$X_L = j\omega L = j2\pi fL [\Omega] \quad \text{สมการที่ 2.11}$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC} [\Omega] \quad \text{สมการที่ 2.12}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} [\Omega] \quad \text{สมการที่ 2.13}$$

ที่ความถี่เรโซแนนซ์ในรูปของค่าความเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ 2.11 และในรูปของตัวเก็บประจุดังสมการที่ 2.12 คือสมการเดียวกัน เมื่อระดับแรงดันและกระแสที่ป้อนให้กับวงจรมีค่าเท่ากัน สมการของความถี่เรโซแนนซ์สามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.14

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad \text{สมการที่ 2.14}$$

คุณสมบัติของความต้านทานสามารถเรียกอีกอย่างว่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ 2.15

$$Z_0 = X_L = X_C = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{สมการที่ 2.15}$$

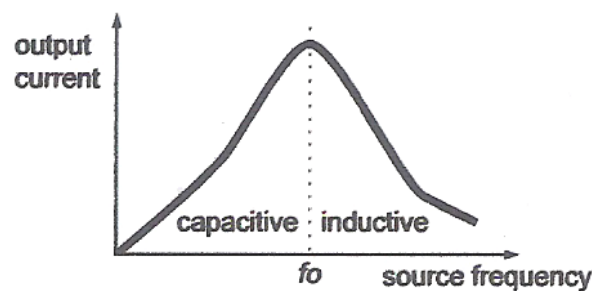
$$X_0^2 = X_L \times X_C = \frac{L}{C}$$

จากสมการทั้งหมดจะเห็นได้ว่าความต้านทานเป็นส่วนน้อย ส่วนมากจะเป็นค่าความเหนี่ยวนำ ค่าตัวเก็บประจุมากกว่าที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ รูปพลังงานที่ได้จะมีลักษณะที่เป็นกราฟ ดังรูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิด จะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่ที่น้อยไปหรือมากไปทำให้เกิดการไม่แมตช์กันค่าของกระแสและกำลังงานที่ได้ก็จะมีค่า

น้อยแต่เมื่อค่าของความเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุเกิดการแมตซ์กันก็จะทำให้กระแสที่ได้มีค่าสูงสุดทำให้ได้กำลังงานสูงสุดในการเกิดช่วงความถี่เรโซแนนซ์ด้วย

จะเห็นว่าในพื้นที่ของการปรับเปลี่ยนความถี่ให้มากหรือน้อยกว่าช่วงความถี่เรโซแนนซ์ค่าของความเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เป็นส่วนที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปรับเปลี่ยนความถี่

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz]$$



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิด

ส่วนของความสัมพันธ์ของสูตรที่ได้จากการทำให้แมตซ์กันซึ่งก็จะมีส่วนของกระแสส่วนของแรงดันที่ป้อนให้ ส่วนของตัวเก็บประจุ ส่วนของความเหนี่ยวนำและส่วนของความถี่ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I = \frac{2\pi P}{V}, P = IV$$

$$C = \frac{I}{2\pi fV}$$

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

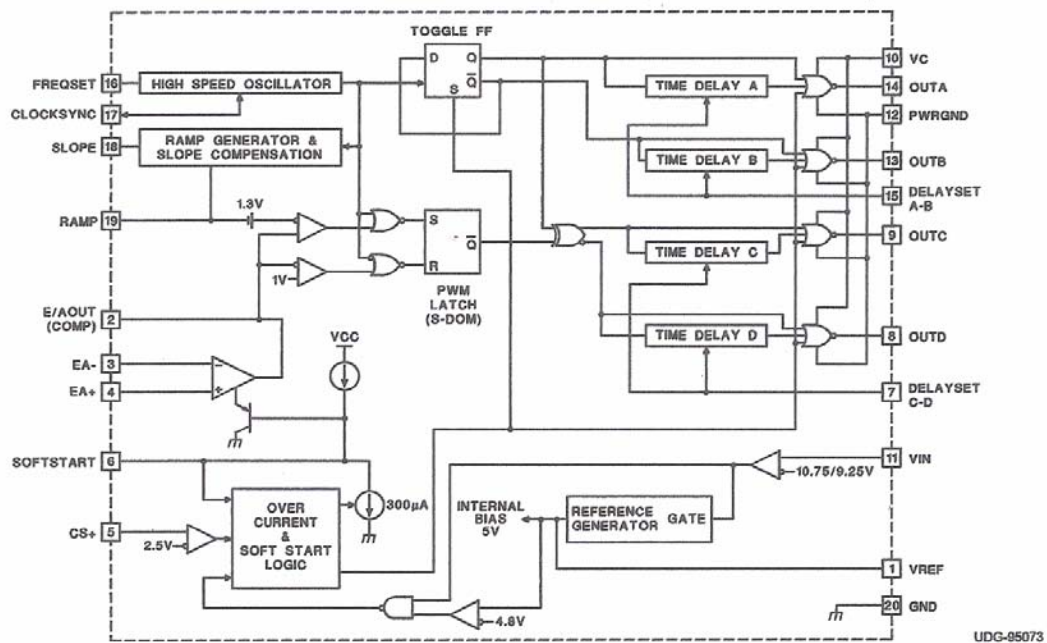
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz]$$

2.6 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมเบอร์ UC3875

UC3875 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมวงจรเพาเวอร์บริดจ์โดยใช้หลักการเลื่อนเฟสในการสวิตช์แต่ละคู่ของวงจรบริดจ์ โดยสามารถทำงานได้ทั้งในโหมดควบคุมจากแรงดันและควบคุมจากในโหมคของกระแสเกินไว้ เพื่อเป็นการป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมช่วงเวลาหน่วงเพื่อเป็นช่วงเวลาเฝือ (dead-time) ที่แต่ละเอาท์พุทได้อีกด้วย

นอกเหนือไปจากการทำงานด้วยความถี่สูงถึง 2 MHz ด้วยออสซิลเลเตอร์ภายในตัวแล้ว UC3875 ยังเป็นไอซีที่สามารถต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น โดยใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกหรือต่อร่วมกับไอซีตัวอื่นๆ ได้ถึง 5 ตัว โดยการต่อที่ขา 17 ซึ่งความถี่จะถูกกำหนดโดยไอซีที่มีความถี่ที่สูงที่สุดนั่นเอง

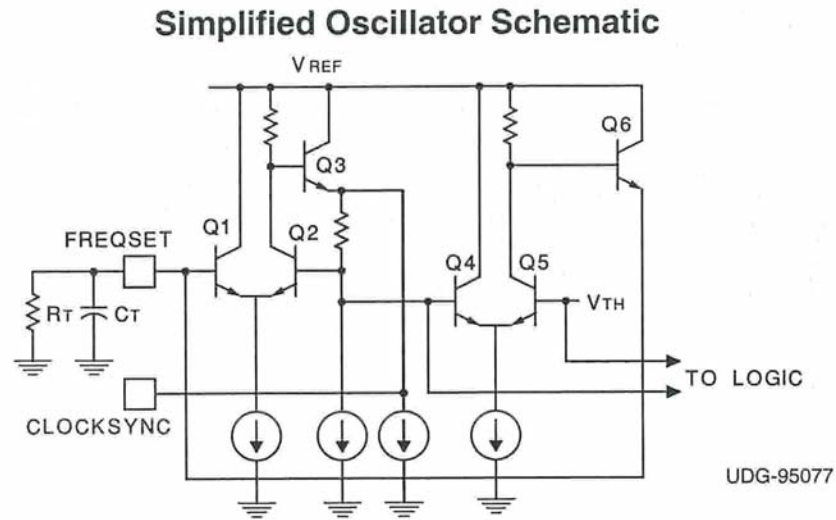
ลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของ UC3875 คือในส่วนของวงจรป้องกันกระแสเกินซึ่งมีอยู่แล้วภายในตัวไอซีนั่นเอง



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของ UC3875

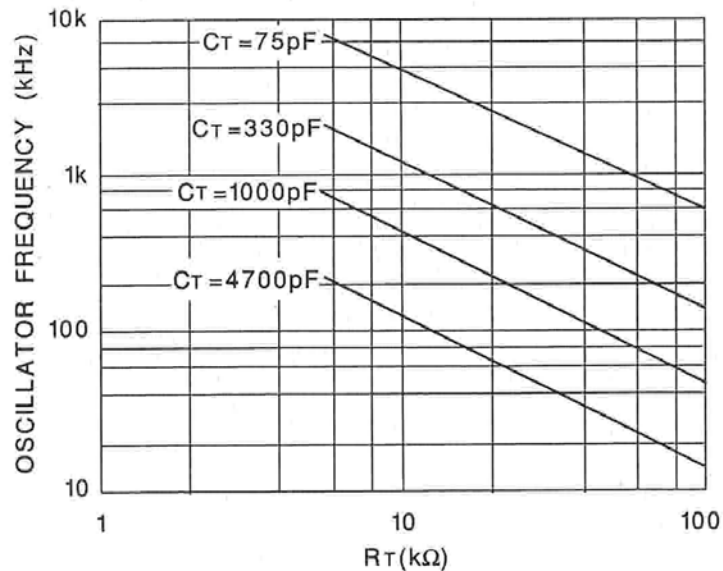
การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ UC3875 เป็นวงจรให้กำเนิดความถี่ที่มีความถี่ที่ที่คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 24 ของไอซี โดยที่ขา 24 จะต่อตัวเก็บประจุซึ่งเป็น C_T และตัวต้านทาน R_T ลงกราวด์ ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อ R_T C_T

ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่

คุณสมบัติโดยทั่วไป

- สามารถควบคุม Duty Cycle ได้ตั้งแต่ 0-100 %
- สามารถควบคุมช่วงเวลา Turn-On Delay ของเอาต์พุตได้
- สามารถต่อใช้งานได้ทั้งโหมดควบคุมจากแรงดัน และ โหมดควบคุมจากกระแส
- สามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูง 2 MHz
- สามารถจ่ายสัญญาณเอาต์พุตออกมาพร้อมกันได้ 4 จุด โดยแต่ละจุดสามารถจ่ายกระแส

ได้สูงถึง 2 แอมแปร์

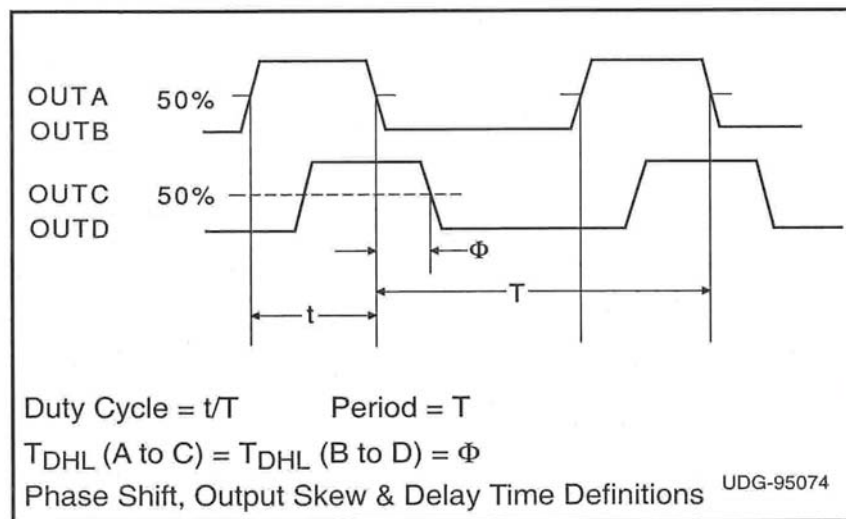
- ส่วนของ Error Amplifier สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ที่สูงถึง 10 MHz
- มีวงจร UVLO อยู่ภายในตัวไอซีซึ่งมีแรงดันขีดเริ่มในการ เปิด/ปิด คือ 10.7/9.5 V
- สตาร์ทการทำงานด้วยกระแสเพียง 150 μA
- สถานะของเอาต์พุตจะเป็น “Low” เมื่ออยู่ในระหว่าง UVLO
- มีฟังก์ชัน soft-start ให้ต่อใช้งาน
- ภายในตัวไอซีมีวงจรป้องกันกระแสเกิน โดยจะแลทซ์ค่าเอาต์พุตให้อยู่ในสถานะ “Low”

ภายใน 70 นาโนวินาที

- ที่ขา V_{ref} จะจ่ายแรงดันไฟตรงออกมาประมาณ 5 โวลต์

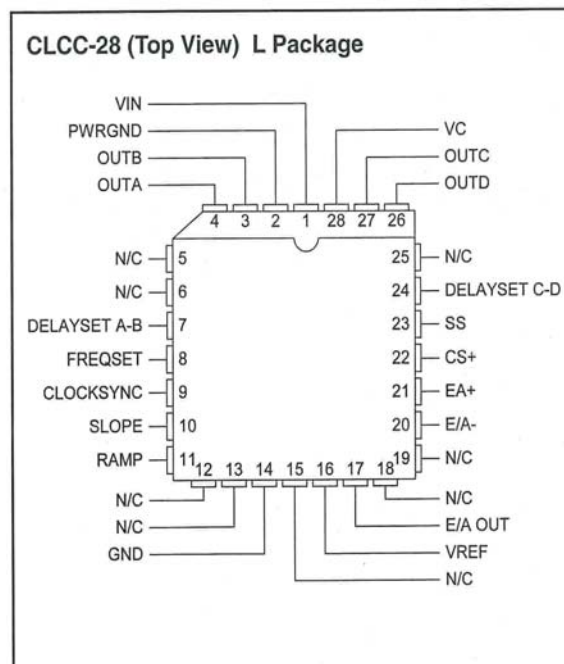
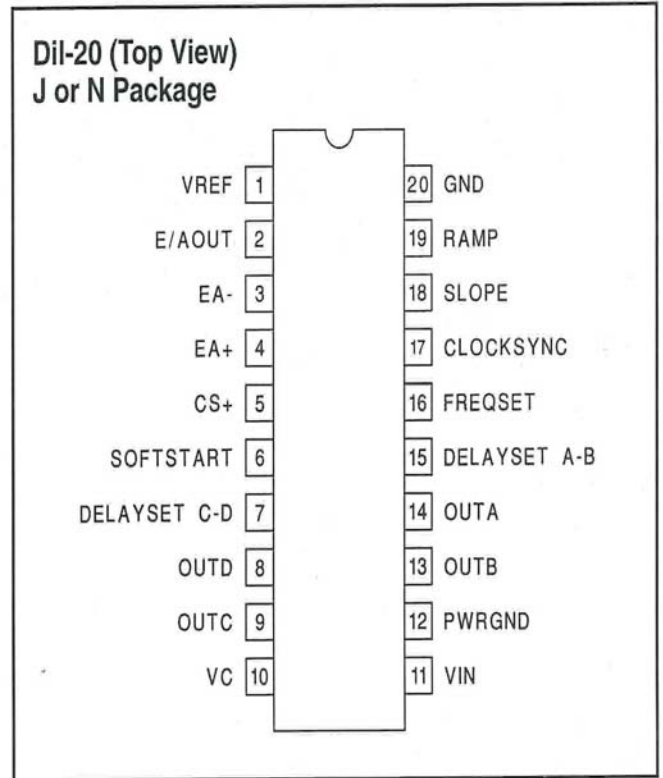
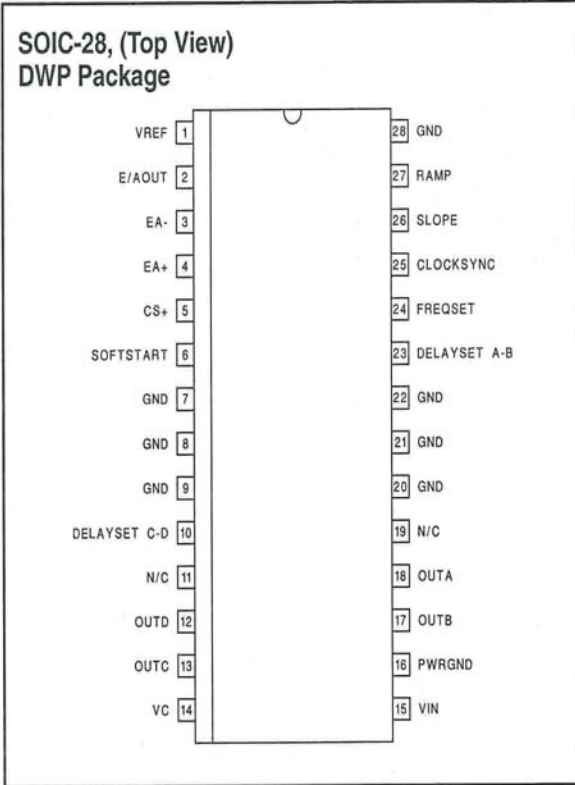
หลักการทํางาน

หลักการในการต่อใช้งานโดยทั่วไปก็จะเหมือนกับการต่อวงจรให้กำเนิดความถี่ตามปกติ ซึ่งก็คือ หากต้องการต่อใช้งานในโหมดของการควบคุมด้วยแรงดัน โดยทั่วไปจะใช้ขาของการควบคุมด้วยแรงดัน โดยทั่วไปจะใช้ขา INV Input (สำหรับ UC3875 คือขา EA-) ต่อเข้ากับวงจรแบ่งแรงดันซึ่งจะแบ่งแรงดันมาจากระดับแรงดันเอาต์พุตของเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงค่าหนึ่ง (โดยทั่วไปจะต่อจากขา V_{ref} มาใช้งาน) ซึ่งจะต่ออยู่กับขา N.I. Input (สำหรับ UC3875 คือขา EA+) ส่วนที่เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amplifier) เราสามารถป้อนกลับมาจากด้านอินพุตได้โดยต่อตัวต้านทานป้อนกลับจากขา Compensation (สำหรับ UC3875 คือขา E/A Out) มาที่ขา INV Input นั้นเอง



รูปที่ 2.8 สัญญาณเอาต์พุตของไอซี UC3875

CONNECTION DIAGRAMS



รูปที่ 2.9 การจัดวางตำแหน่งขาต่างๆของไอซี UC3875

บทที่ 3

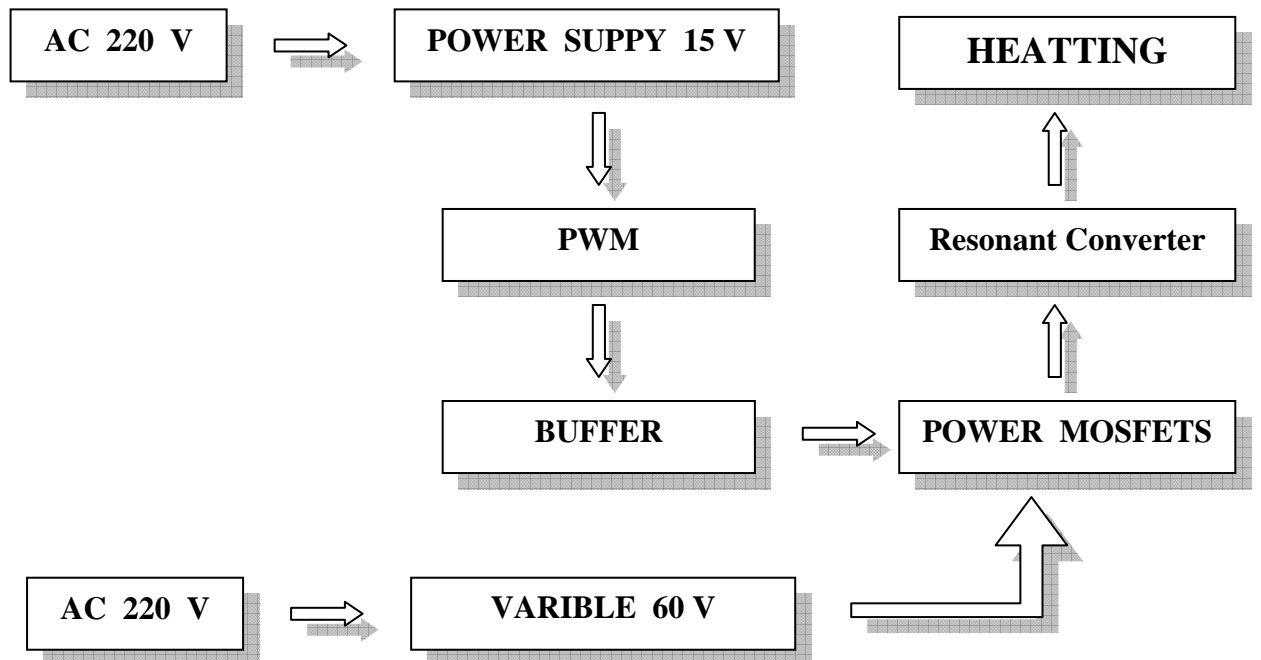
การออกแบบและสร้างวงจรควบคุม

การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมระบบนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบวงจร และเลือกใช้ไอซีและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้วงจรที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

วงจรควบคุมการทำงานของระบบนี้ จะมีส่วนของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟ ให้กับวงจรต่าง ๆ ทั้งส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันที่เป็นส่วนให้กำเนิดสัญญาณความถี่ ส่วน วงจรขยายสัญญาณ ส่วนของบัพเฟออร์และส่วนของวงจรภาคกำลัง ซึ่งส่วนของวงจรภาคกำลัง จะใช้ วงจรการทำงานแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะใช้ไอซีเบอร์ UC3875 ในการควบคุมการทำงานของ มอสเฟต ที่ต่อวงจรแบบฟูลบริดจ์อีกทีหนึ่ง ซึ่งไอซีเบอร์นี้เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อควบคุม การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานจากโหมดควบคุมจากแรงดัน และจะมีสัญญาณที่เอาท์พุท 4 ขาคือขา 8, 9, 13 และขา 14 โดยพัลส์ที่ได้จะเป็นพัลส์ที่สลับการทำงานกัน เพื่อควบคุม มอสเฟต ให้ทำงานสลับกัน แต่สัญญาณที่ได้มีแรงดันที่เอาท์พุทน้อยกว่าที่จะทำให้มอสเฟตทำงานได้ ดังนั้นจึงใช้วงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณทำให้ได้แรงดันตามที่ต้องการได้ แต่ลักษณะของพัลส์ยังไม่ดีพอจึงใช้วงจรบัพเฟออร์ เขามาช่วยเพื่อให้ได้สัญญาณและแรงดันตามที่ ต้องการ

สัญญาณที่ได้จะป้อนเข้าส่วนของ วงจรภาคกำลัง ซึ่งต่อวงจรแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟตและสัญญาณที่ออกจากส่วนของวงจรภาคกำลัง จะป้อนเข้าที่ วงจรชุดเรโซแนนซ์ตัวเก็บประจุและส่วนของคอยล์เป็นส่วนที่เกิดการเหนี่ยวนำความร้อนขึ้น

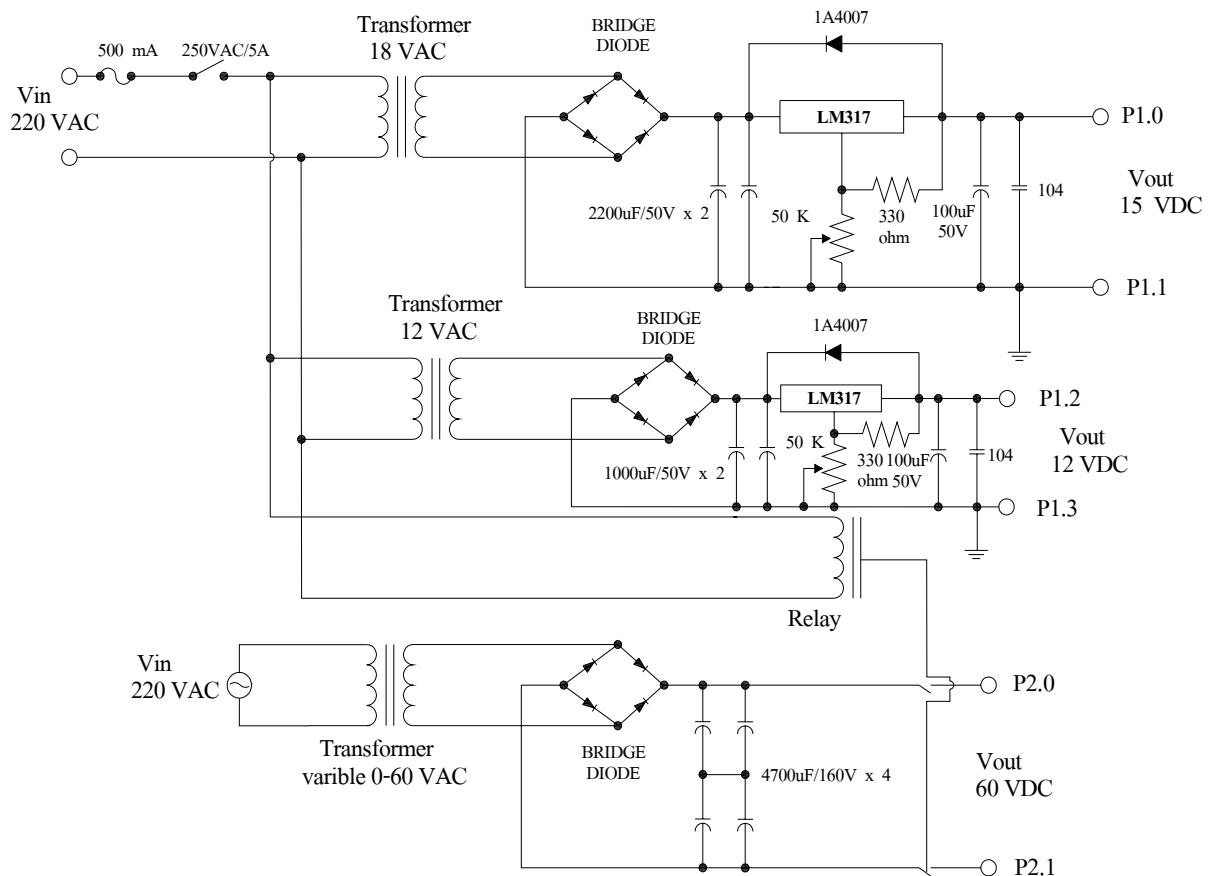
บล็อกไดอะแกรมของโรงงาน



รูปที่ 3 แสดงผังไดอะแกรมโรงงาน

3.1 ออกแบบวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

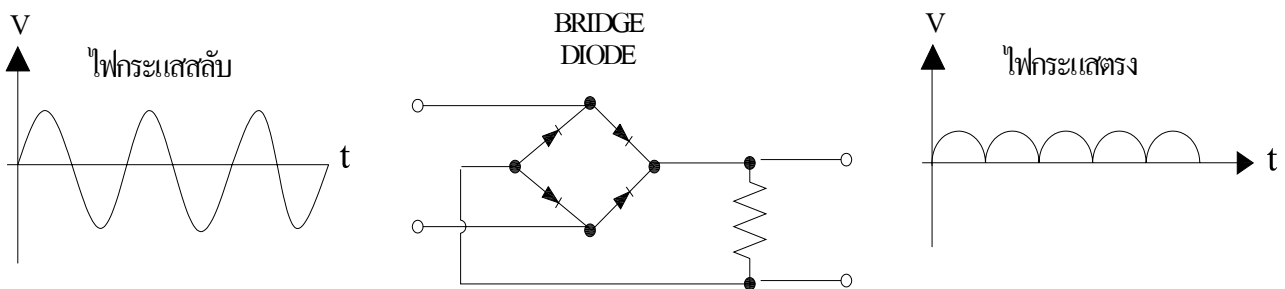
จากรูปที่ 3 ของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟให้กับวงจรต่าง ๆ ทั้งส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันที่เป็นส่วนให้กำเนิดสัญญาณความถี่ ส่วนวงจรขยายสัญญาณบัฟเฟอร์และส่วนของวงจรภาคกำลัง ซึ่งแต่ละส่วนต้องการไฟที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเพื่อจ่ายไฟให้แต่ละส่วนให้ได้พอดีเพื่อประสิทธิภาพของแต่ละวงจร



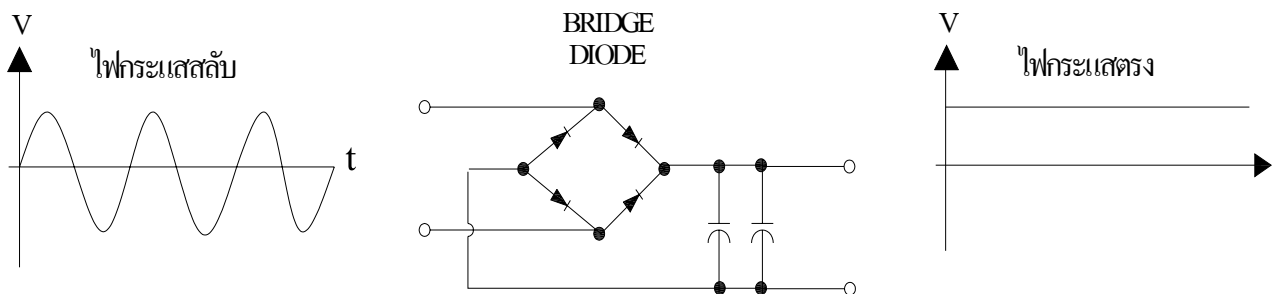
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรส่วนของเพาเวอร์ซัพพลาย

3.1.1 เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันและบัฟเฟอร์

วงจรชุดนี้เป็นวงจรที่ต้องการเอาท์พุท $15 V_{dc}$ เพื่อที่จะเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดวงจรควบคุมจากแรงดันและบัฟเฟอร์ โดยวงจรชุดนี้จะรับไฟ 220VAC ผ่านหม้อแปลง $18 V_{dc}$ เพื่อทำการแปลงแรงดันลง แล้วผ่านเข้าวงจรบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง แรงดัน DC ที่ได้อาจจะมามีค่าที่ไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.1.1 ดังนั้นถ้าต้องการให้วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอขึ้น แล้วจะต้องมีวงจรกรองกระแส โดยที่วงจรกรองกระแสประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ ดังรูป 3.1.2



รูปที่ 3.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 3.1.2 ไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอ

วงจรชุดในส่วนของวงจรควบคุมแรงดันและบัฟเฟอร์จะต้องการแรงดันหรือไฟเลี้ยง $15 V_{dc}$ เท่านั้นดังนั้นจึงใช้หม้อแปลงที่มีขนาด $18 V_{ac}$ เมื่อผ่านวงจรบริดจ์และวงจรกรองกระแสจะได้ค่าแรงดันเท่ากับ $18 \sqrt{2}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $25 V_{dc}$ และใช้ไอซีเบอร์ LM 317 เพื่อปรับแรงดันให้ได้ $15 V_{dc}$

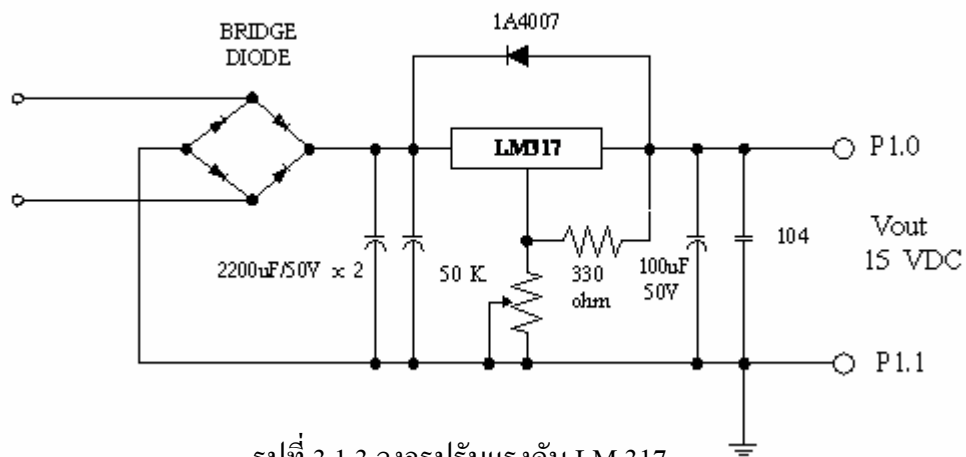
การออกแบบ LM 317 ที่ต้องการเอาต์พุตที่ $15 V_{dc}$

โดยที่ R_1 เท่ากับ 330 โอห์ม จากสูตรที่ 3.1 จะได้

$$V_{out} = 1.25v(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{ADJ}R_2$$

$$15v = 1.25v(1 + \frac{R_2}{330\Omega}) + I_{ADJ}(R_2)$$

$$R_2 = 3.630 \text{ k}\Omega$$



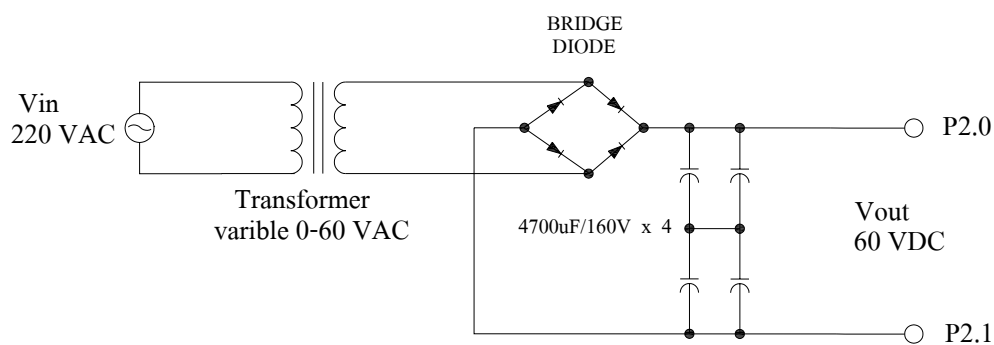
รูปที่ 3.1.3 วงจรปรับแรงดัน LM 317



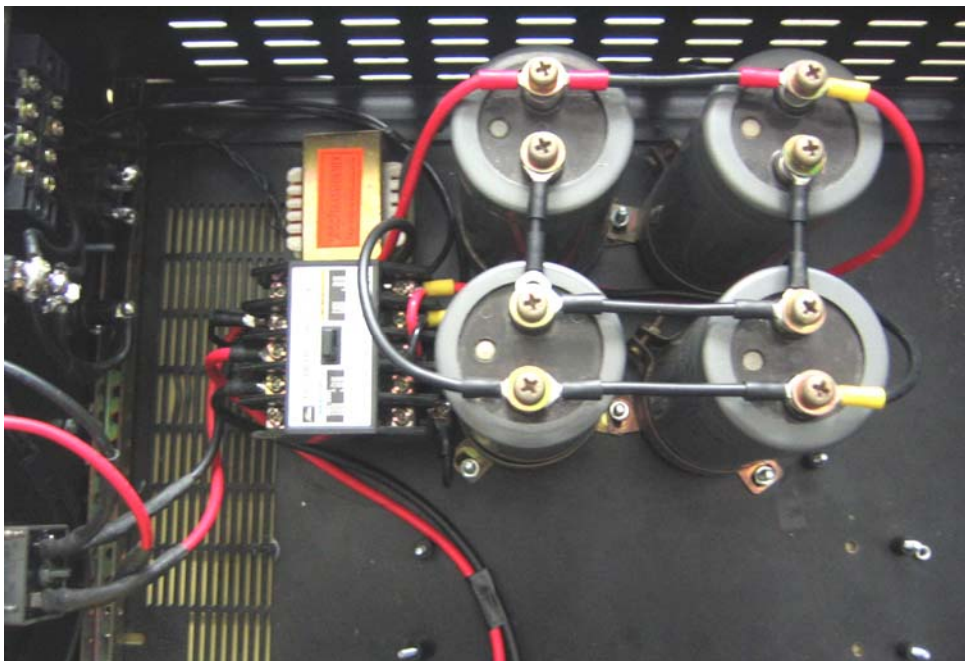
รูปที่ 3.1.4 ชุดวงจรปรับแรงดัน LM 317

3.1.2 เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

วงจรชุดนี้ต้องการแรงดันตั้งแต่ 0 - 60 V มาเป็นไฟเลี้ยงให้กับส่วนของ วงจรภาคกำลัง โดยวงจรส่วนนี้จะรับไฟกระแสสลับ 220 AC เข้ามาผ่านชุดหม้อแปลงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 - 250 V_{AC} เพื่อปรับค่าแรงดันที่ต้องการ จากนั้นจะเข้าสู่วงจรบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง เอาท์พุทที่ออกจากวงจรบริดจ์ไดโอดจะมีการต่อตัวเก็บประจุอยู่ 4 ตัว ขนาด 4700 μF และก็จะเป็เอาท์พุทของเพาเวอร์ซัพพลายในส่วนนี้



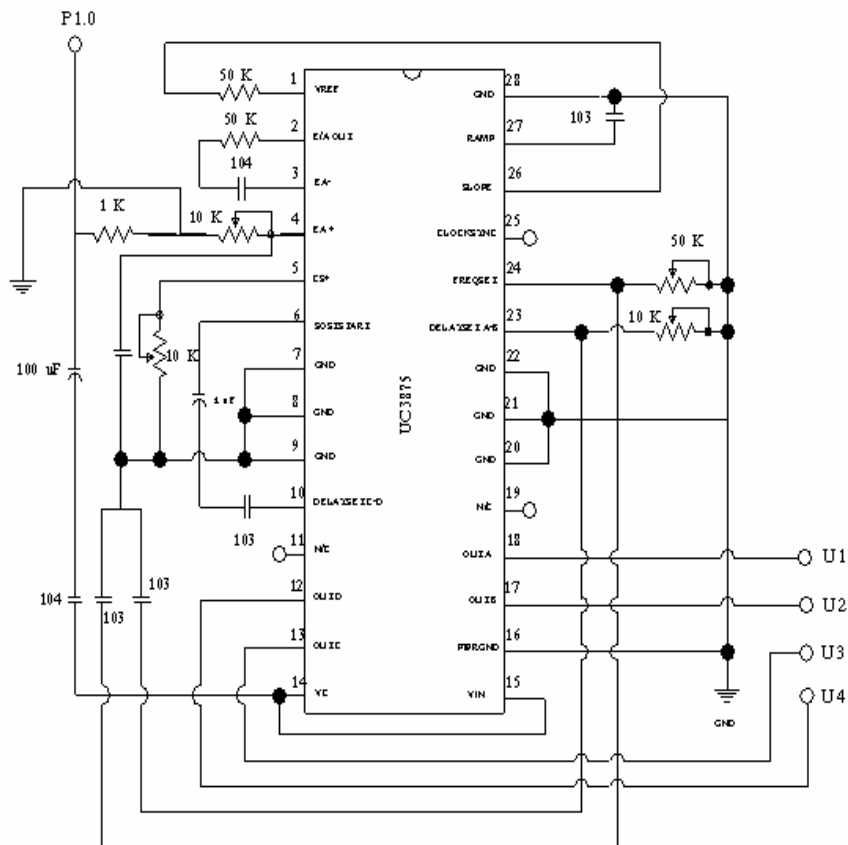
รูปที่ 3.1.5 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง



รูปที่ 3.1.6 ชุดวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

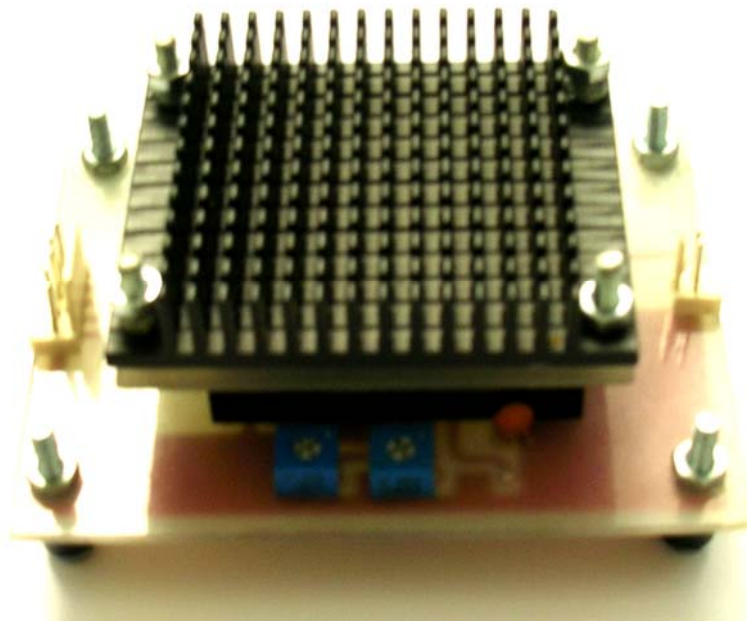
3.2 ออกแบบวงจรควบคุมในโหมคของแรงดัน

สำหรับวงจรควบคุมในโหมคของแรงดันเป็นส่วนที่จะควบคุมการทำงานของวงจรภาคกำลังเพื่อเป็นการกำหนดการทำงานของมอสเฟตแต่ละตัว โดยที่ส่วนของวงจรภาคกำลังมีแบบวงจรเป็นแบบเต็มบริดจ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ไอซีที่ต้องมีเอาต์พุต 4 ขา มาควบคุม จึงได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ UC 3875 ซึ่งเป็นไอซีที่มีเอาต์พุต 4 ขา และมีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำมาเป็นวงจรควบคุม



รูปที่ 3.2.1 วงจรควบคุมในโหมคของแรงดัน

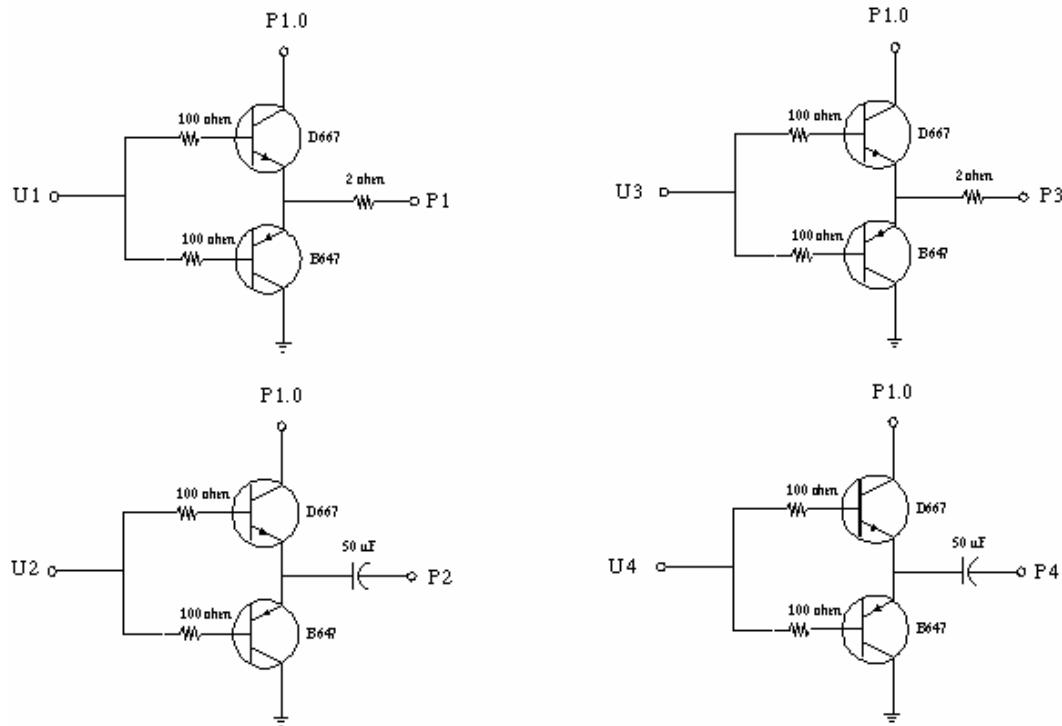
จากรูปจะเห็นได้ว่าไอซีตัวนี้ต้องการไฟเลี้ยง 15 โวลต์และมี 4 เอาต์พุตคือ A, B, C และ D คือขาที่ 18, 17, 13, 12 ตามลำดับ และขาที่ใช้ในการปรับความถี่คือขาที่ 24



รูปที่ 3.2.2 ชุดวงจรในส่วนของไอซี UC3875

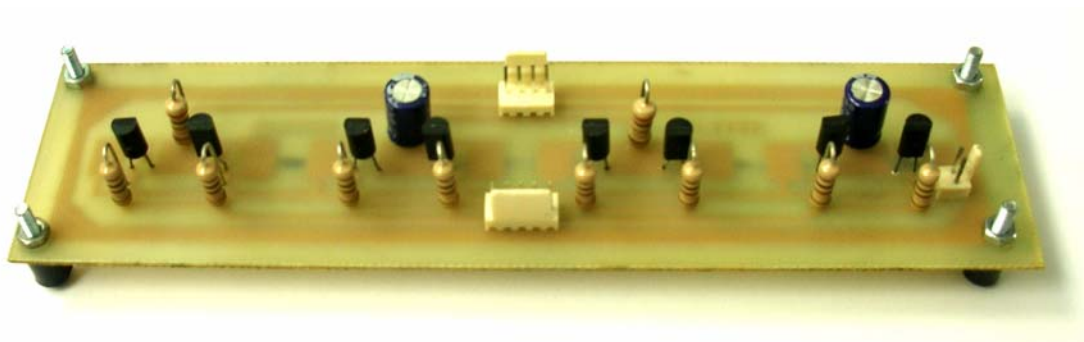
3.3 ออกแบบวงจรบัฟเฟอร์

บัฟเฟอร์หรือวงจรกันชนเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติคือความต้านทานอินพุตมีค่าสูง ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำและมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 คือเมื่อแรงดันเข้ามาเท่าใดแรงดันที่เอาต์พุตก็จะออกไปเท่านั้น และยังทำให้สัญญาณที่ได้เป็นสี่เหลี่ยมมากขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ทำให้วงจรทำงานมีความเสถียรมากขึ้น ไม่มีการรบกวนด้วย จากการที่บัฟเฟอร์มีความต้านทานอินพุตสูงทำให้ไม่กระทบต่อสัญญาณของวงจรภาคหน้าและจากการที่ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสไปยังโหลดได้มาก ซึ่งสามารถทำให้ต่อโหลดที่มีความต้านทานต่ำได้แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการจ่ายกระแสขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของบัฟเฟอร์ด้วย



รูปที่ 3.3.1 วงจรของบัฟเฟอร์

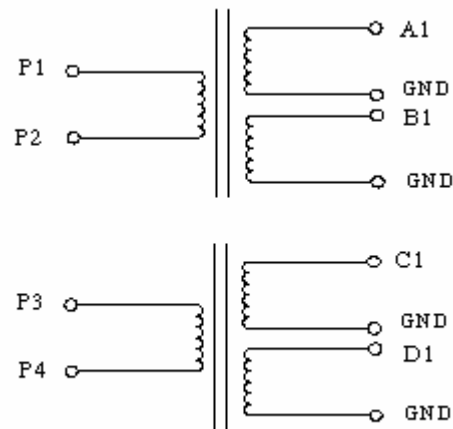
จากรูปที่ออกแบบจะใช้บัฟเฟอร์ 2 ชุดด้วยกัน เนื่องจากแต่ละชุดจะมีเอาต์พุตอยู่ 2 เอาต์พุต โดยสัญญาณที่ออกจากตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่ จะมี 4 เอาต์พุต จะผ่านวงจรบัฟเฟอร์เพื่อทำให้สัญญาณเสถียรและเป็นสี่เหลี่ยมชุดละ 2 อินพุต โดยชุดแรกคือชุดของ A และ B และชุด 2 จะเป็นชุดของ C และ D ชุดของบัฟเฟอร์ที่ออกแบบจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ D667 และ B647 สำหรับเบอร์ D667 จะเป็นชนิด NPN ส่วน B647 จะเป็นชนิด PNP ซึ่งทั้งสองเบอร์นี้จะใช้ทำงานคู่กัน



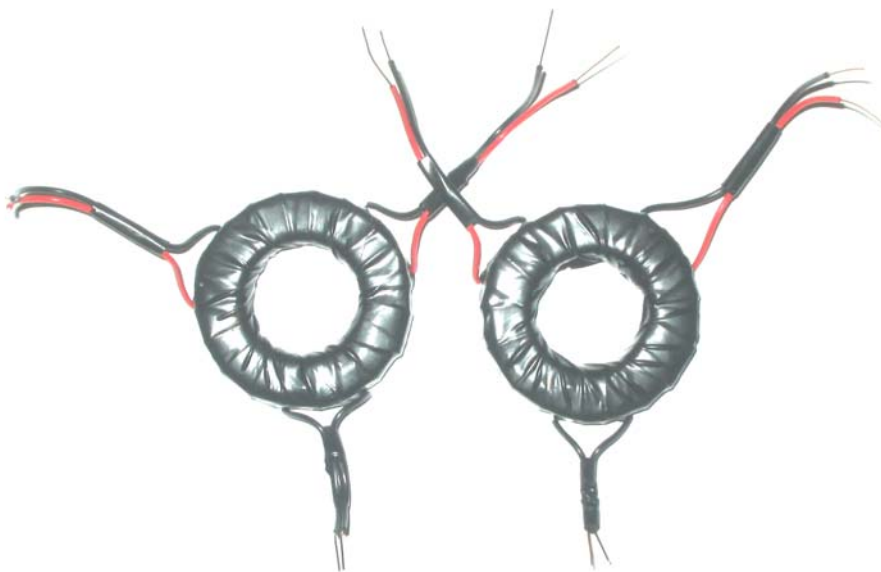
รูปที่ 3.3.2 ชุดวงจรในส่วนของบัฟเฟอร์

3.4 ออกแบบวงจร ไอโซเลเตอร์

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบไอโซเลเตอร์ซึ่งใช้หม้อแปลง 2 ตัว โดยหม้อแปลงที่ใช้จะเป็นแกนเทอร์ลอยด์ ซึ่งจะนำเอาขดลวดอาน้ำยามาพันจุดละ 10 รอบโดยสัญญาณอินพุตชุดแรกที่ป้อนเข้าไปจะสัญญาณ A และ B ซึ่งเอาท์พุทที่ได้โดยการอินดัซ์ผ่านแกนเทอร์ลอยด์จะเป็นสัญญาณ A และสัญญาณ B ที่มีกราวด์แยกกันอย่างอิสระ ส่วนอีกชุดหนึ่งก็จะเป็นสัญญาณของ C และสัญญาณ D ซึ่งเอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณแยกกับกราวด์อย่างอิสระเช่นเดียวกัน ดังรูปวงจรต่อไปนี้



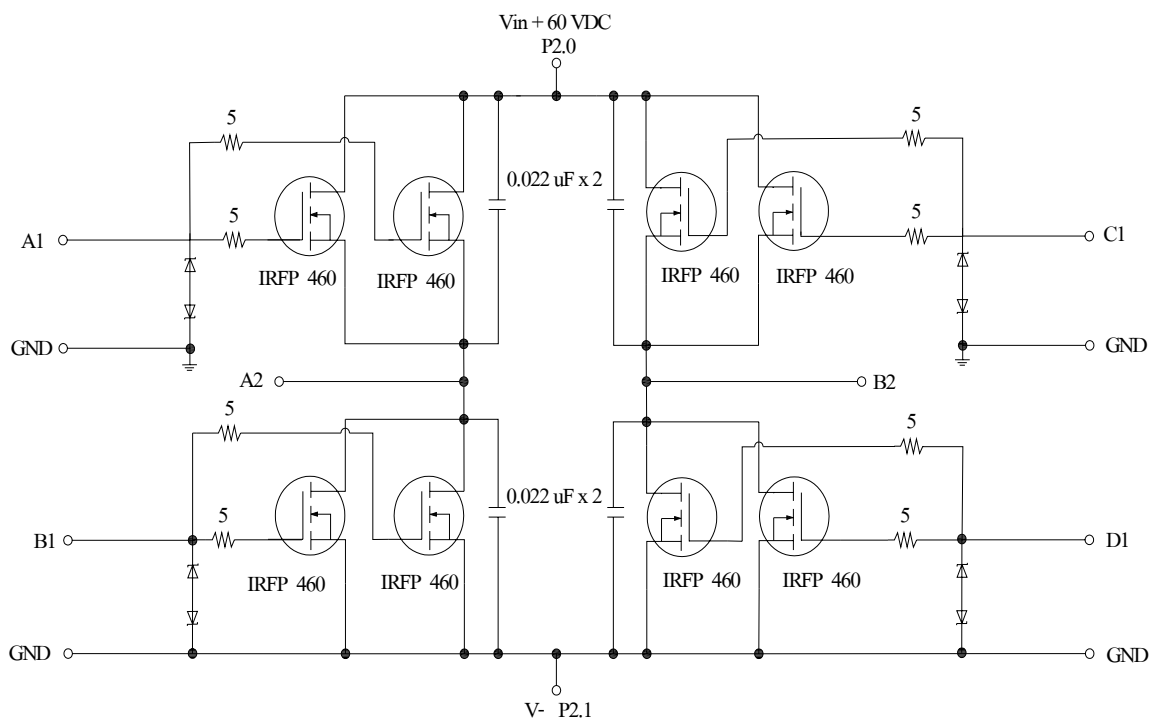
รูปที่ 3.4.1 วงจรไอโซเลเตอร์



รูปที่ 3.4.2 ชุดไอโซเลเตอร์

จากรูปเป็นการพันหม้อแปลงโดยใช้แกนเทอร์ลอยด์ที่มีการพันขดลวดด้วยอัตราส่วน 1:1 ในที่นี้ได้ทำการพันขดลวดจุดละ 10 รอบ โดยที่สายเส้นสีแดงจะเป็นสัญญาณเอาท์พุทขั้วบวกและสายเส้นสีดำจะเป็นสัญญาณเอาท์พุทขั้วลบ

3.5 ออกแบบวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.5.1 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

การทำงานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

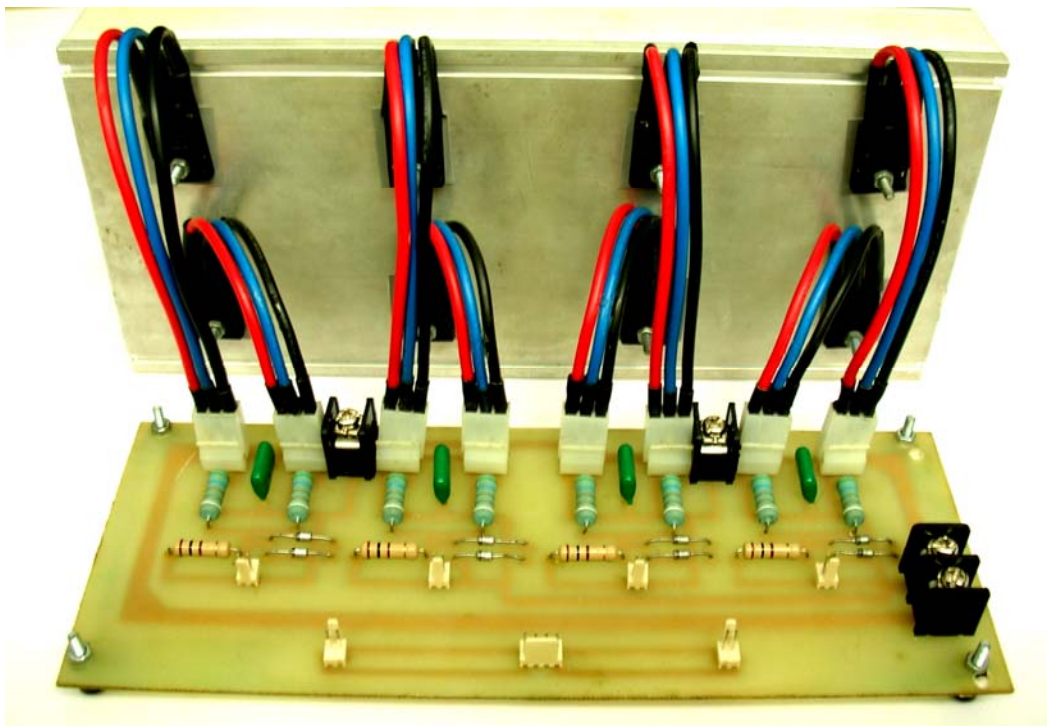
เพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 4 ชุด โดยแต่ละชุดจะใช้มอสเฟต 2 ตัวขนานกันซึ่งจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q_1 และ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q_2 และ Q_3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะการทำงานของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาล์ฟ

บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันตกคร่อมขดไฟโพรมารี่จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{CE(sat)}$ ดังนั้นผลของการทำงานของวงจรจึงเหมือนกับที่ได้จากพุก-พุลคอนเวอร์เตอร์นั่นเอง ส่วนตัวเก็บประจุลือกัก C_D จะมีผลเช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q_1 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{CE_{Q_2}(sat)}$ และ $V_{in} - 2V_{CE_{Q_3}(sat)}$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q_2 และ Q_3 ขณะหยุดนำกระแสก็จะมีค่า $V_{in} - 2V_{CE_{Q_1}(sat)}$ และ $V_{in} - 2V_{CE_{Q_4}(sat)}$ ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไอโอด $D_3 - D_6$ ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจรเพื่อป้องกัน $Q_1 - Q_4$ เช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ค่าเวลาเพื่อ t_D สำหรับพุลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในวงจรพุลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เมื่อพิจารณาจากวงจรจะเห็นว่า Q_1 กับ Q_2 และ Q_3 กับ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันได้ไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรของแรงดันอินพุทและทรานซิสเตอร์จะพังเสียหายได้ การกำหนดค่าเวลาเพื่อ t_D ไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าครึ่งคาบเวลา ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ $t_{ON(max)}$ ก็จะมีค่าได้ไม่เกิน

$$t_{ON(max)} = 0.4T$$



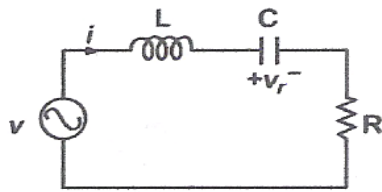
รูปที่ 3.5.2 ชุดวงจรพุลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

3.6 วงจรเรโซแนนซ์

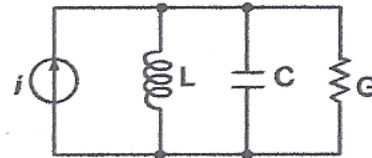
วงจรเรโซแนนซ์เป็นวงจรผสมระหว่างตัวเก็บประจุ กับ ขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีความสำคัญในการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยผลต่อสัญญาณกระแสสลับของขดลวดและตัวเก็บประจุ ซึ่งแตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม จะทำให้เกิดผลต่อแรงดันในกระแสตรง และกระแสสลับในลักษณะต่างๆ เช่น เกิดการจ่ายและรับกระแสให้ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสัญญาณกระแสสลับตกคร่อมวงจรขึ้น เมื่อวงจรได้รับแรงดันกระแสตรงจะเกิดการต่อต้านและยอมให้สัญญาณกระแสสลับบางความถี่ผ่าน เป็นต้น

วงจรเรโซแนนซ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม ดังรูปที่ 3.6.1
- วงจรเรโซแนนซ์ขนาน ดังรูปที่ 3.6.2



รูปที่ 3.6.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม



รูปที่ 3.6.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ขนาน

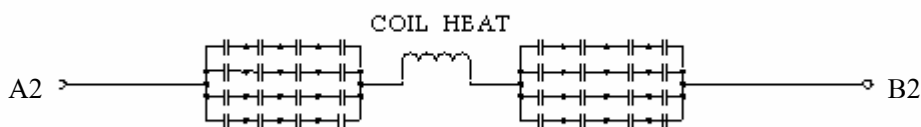
ในนี้ได้ออกแบบเป็นแบบอนุกรม โดยจะใช้ตัวเก็บประจุ $1.35 \mu F$ และตัวเหนี่ยวนำ $25.2 \mu H$ และความถี่ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้
ความถี่เรโซแนนซ์

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

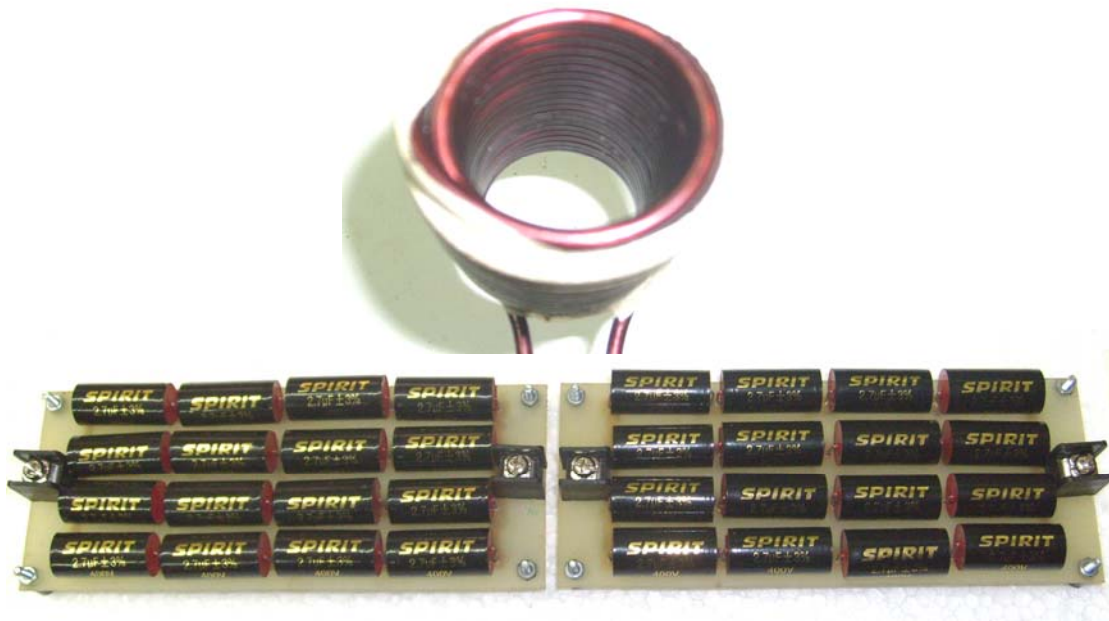
$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{22.5(\mu H) \times 1.35(\mu F)}}$$

$$= 28.87 \text{ kHz}$$

จากผลการคำนวณที่ได้ความถี่เรโซแนนซ์คือ 28.87 kHz



รูปที่ 3.6.3 วงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.6.4 วงจรเรโซแนนซ์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

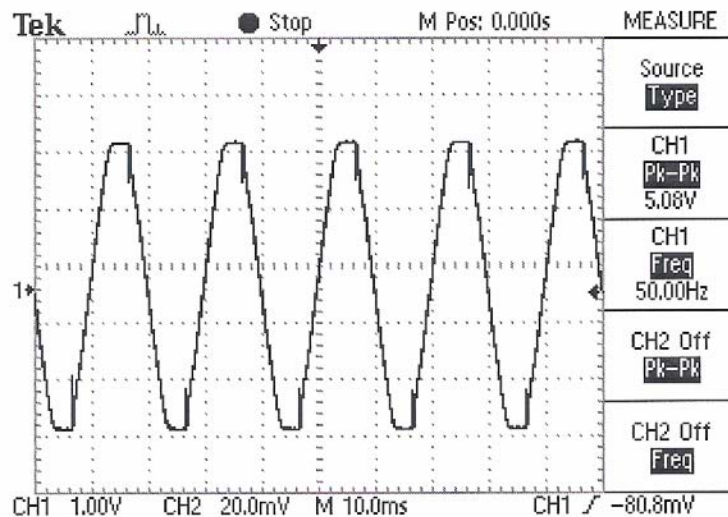
การทดสอบการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะประกอบด้วยวงจรหลาย ๆ ส่วน ดังนี้

1. วงจรของเพาเวอร์ซัพพลาย
2. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์กำเนิดสัญญาณความถี่
3. บัฟเฟอร์
4. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. โหลดรีโซแนนซ์

ผลการวัดสัญญาณแต่ละชุดเป็นดังต่อไปนี้

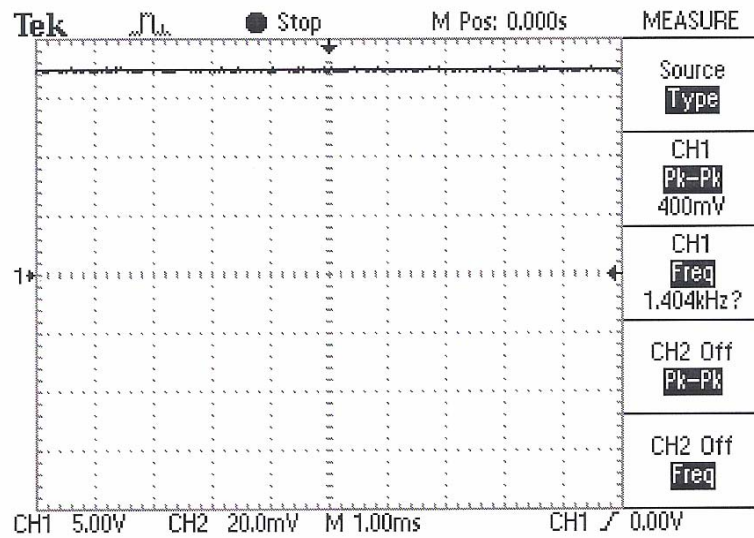
4.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรชุดนี้เป็นวงจรปรับแรงดันซึ่งจะรับสัญญาณอินพุตที่ออกจากหม้อแปลง $18 V_{AC}$ ผ่านวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและต่อเข้ากับไอซีที่มีคุณสมบัติสามารถปรับแรงดันได้ ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ LM317 เพื่อปรับแรงดันตามที่ต้องการ ในรูปที่ 4.1 เป็นรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับก่อนที่จะเข้าวงจรปรับแรงดัน จะเห็นได้ว่าสัญญาณมีแรงดันอินพุต $5 V_{p-p}$ โดยที่วัดคูณ 10 ไร่ทำให้สัญญาณไฟที่ได้เท่ากับ $50 V_{p-p}$ ซึ่งก็เท่ากับ $25 V_p$



รูปที่ 4.1 แรงดันก่อนเข้าวงจรเรียงกระแส

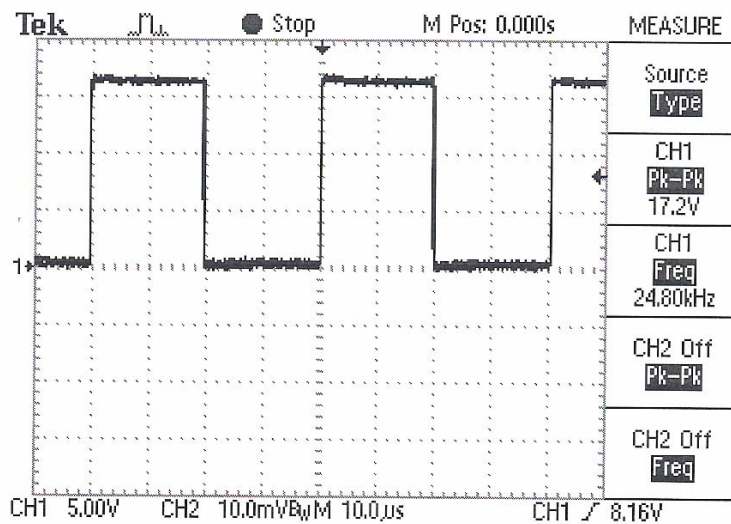
สัญญาณรูปที่ 4.2 เป็นรูปสัญญาณที่ได้จากการวัดเอาต์พุตของวงจรปรับแรงดัน จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ได้อยู่ที่ 17.5 V ซึ่งก็อยู่ในช่วงที่ต้องการ



รูปที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรปรับแรงดัน

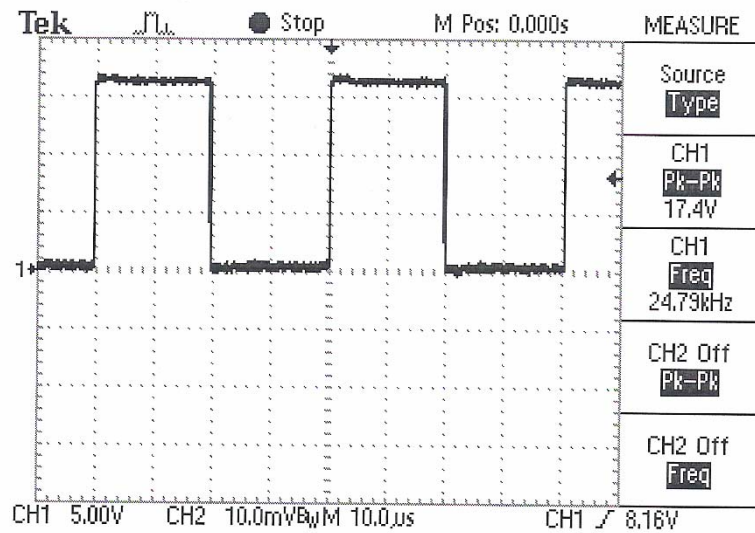
4.2. สัญญาณความถี่ควบคุม

สัญญาณของวงจรให้กำเนิดสัญญาณความถี่ จะมีสัญญาณเอาต์พุตทั้งหมด 4 เอาต์พุต โดยจะกำหนดเป็น A, B, C และ D ตามลำดับ จากผลการวัดสัญญาณดังรูปข้างล่าง สัญญาณเอาต์พุตทั้ง 4 เอาต์พุต จะได้แรงดันที่ 17.4 V ที่ความถี่ 24.8 KHz และเมื่อนำสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าสัญญาณ A และ B จะมีสัญญาณที่ตรงข้ามกันพอดีเช่นเดียวกับสัญญาณของ C และ D เพื่อให้ช่วงการทำงานที่สลับกัน ส่วนสัญญาณ A และ D จะมีสัญญาณที่เหมือนกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับสัญญาณของ B และ C



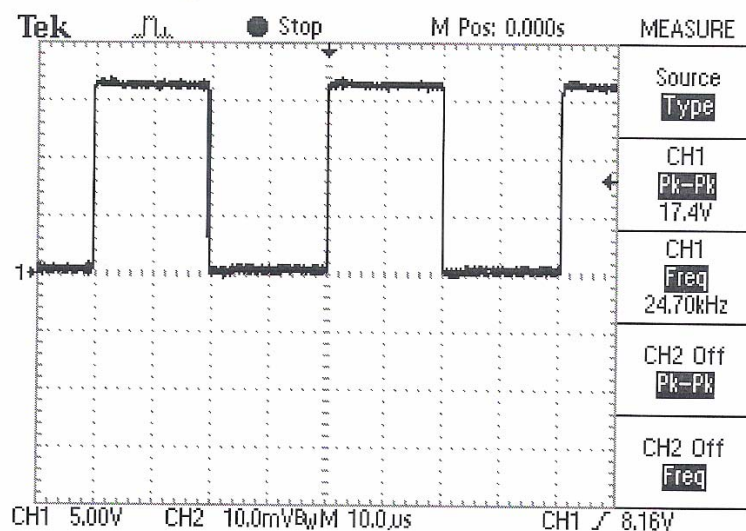
รูปที่ 4.3 เอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่จะเห็นว่ามีความถี่ของสัญญาณที่ 24.80 kHz และจะเห็นว่าช่วงคาบเวลาที่มีแรงดันที่ 17.2 V_{p-p} กับ 0 โวลต์จะมีช่วงคาบเวลาที่เท่ากันสัญญาณชนิดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจร ฟูลบริดจ์ชุดบนซ้ายหรือชุด A



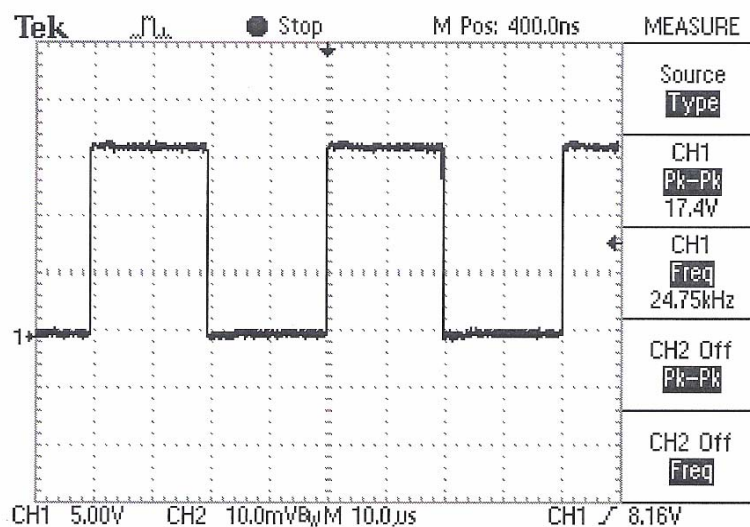
รูปที่ 4.4 เอาท์พุท B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

จากรูปที่ 4.4 เป็นรูปสัญญาณเอาท์พุท B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่และจะเห็นว่ามีความถี่ของเอาท์พุทออกมาที่ $17.4 V_{p-p}$ โดยมีความถี่ที่ 24.79 kHz ซึ่งจะเห็นว่ามีความถี่ที่ใกล้เคียงกันกับเอาท์พุทของ A และความถี่ที่ใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งสัญญาณ A กับ B จะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะตรงกันข้ามกัน สัญญาณชุดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจรพูลบริดจ์ชุดล่างซ้ายหรือชุด B



รูปที่ 4.5 เอาท์พุท C ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

จากรูปที่ 4.5 เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุต C ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่และจะเห็นว่ามีความถี่ของเอาต์พุตออกมาที่ $17.4 V_{p-p}$ โดยมีความถี่ที่ 24.70 kHz ซึ่งจะเห็นว่ามีความถี่ที่ใกล้เคียงกันกับเอาต์พุตของ A และความถี่ที่ใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งสัญญาณ C กับ B จะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะตรงข้ามกับชุด A และจะเยื้องกับชุด B เล็กน้อยแต่จะเป็นส่วนที่ทำงานพร้อมกันกับชุด B สัญญาณชุดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจรฟลูบรีดจ์ชุดบนขวาหรือชุด C

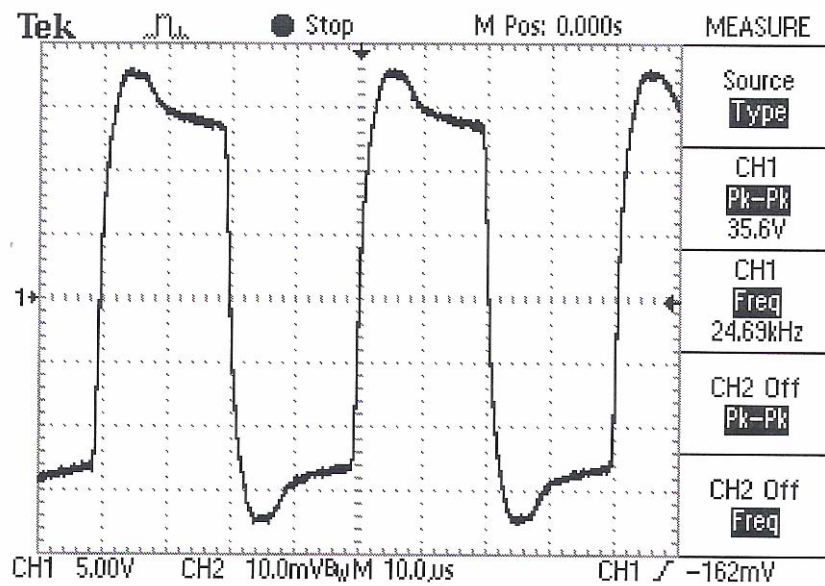


รูปที่ 4.6 เอาต์พุต D ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

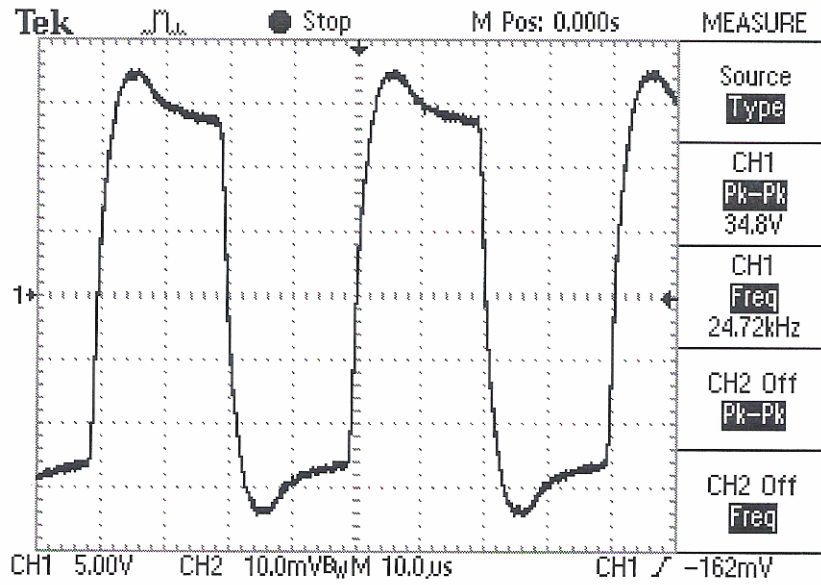
จากรูปที่ 4.6 เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุต D ของตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่และจะเห็นว่ามีความถี่ของเอาต์พุตออกมาที่ $17.4 V_{p-p}$ โดยมีความถี่ที่ 24.75 kHz ซึ่งจะเห็นว่ามีความถี่ที่ใกล้เคียงกับเอาต์พุตของ A และความถี่ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสัญญาณ D กับ A จะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะตรงข้ามกับชุด C และ B โดยจะเยื้องกับชุด A เล็กน้อยแต่จะเป็นส่วนที่ทำงานพร้อมกันกับชุด A สัญญาณชุดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจรฟลูบรีดจ์ชุดล่างขวาหรือชุด D

4.3 สัญญาณที่ออกจากขาเกตของวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์

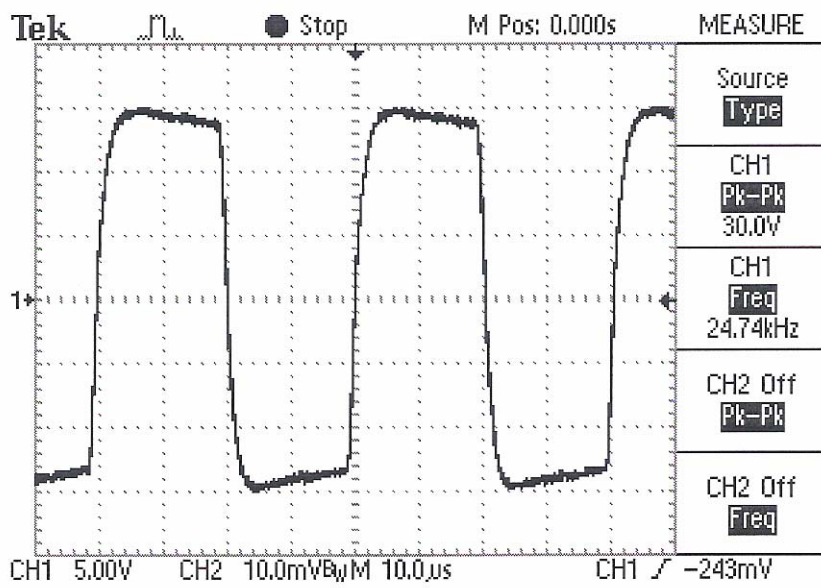
จากรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขาเกตจะมีรูปสัญญาณของแต่ละเอาต์พุตเหมือนกับตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่ แต่สัญญาณที่ออกจากขาเกตนี้จะมีแรงดันทั้งบวกและลบ โดยแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 29 - 37 V_{p-p} ที่สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขาเกตนี้เป็นสัญญาณควบคุมมอสเฟตของแต่ละชุดซึ่งมอสเฟตที่ใช้ในการออกแบบวงจรฟลูบรีดจ์นี้ใช้เบอร์ IRFP460



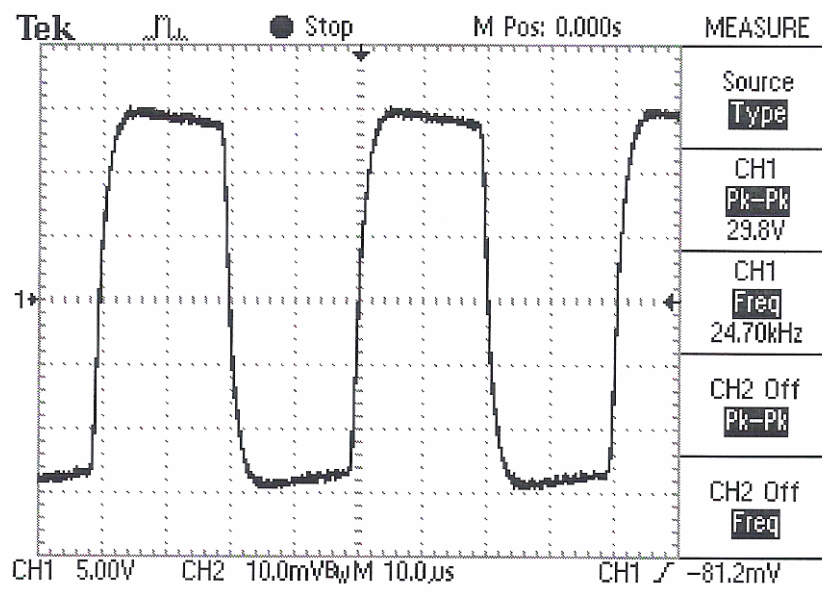
รูปที่ 4.7 เอาต์พุต A ที่ออกจากขาเกต



รูปที่ 4.8 เอาต์พุต B ที่ออกจากขาเกต



รูปที่ 4.9 เอาต์พุต C ที่ออกจากขาเกต



รูปที่ 4.10 เอาต์พุต D ที่ออกจากขาเกต

4.4 รูปตัวอย่างผลการทดลอง

ที่คอยล์เท่ากับ $22.5 \mu H$ และที่เหล็กขนาดต่างๆ ความถี่ 28.87 KHz



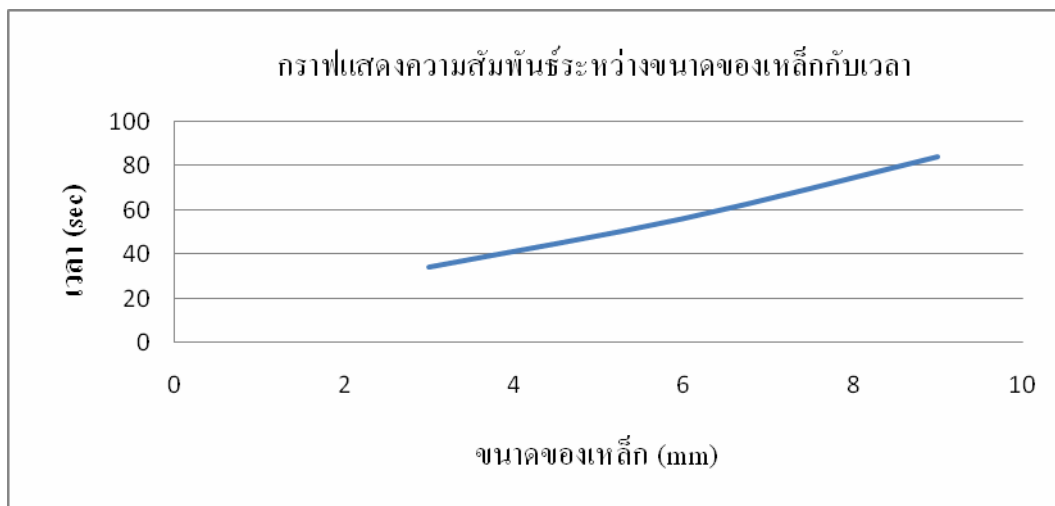
รูปที่ 4.11 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.12 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร



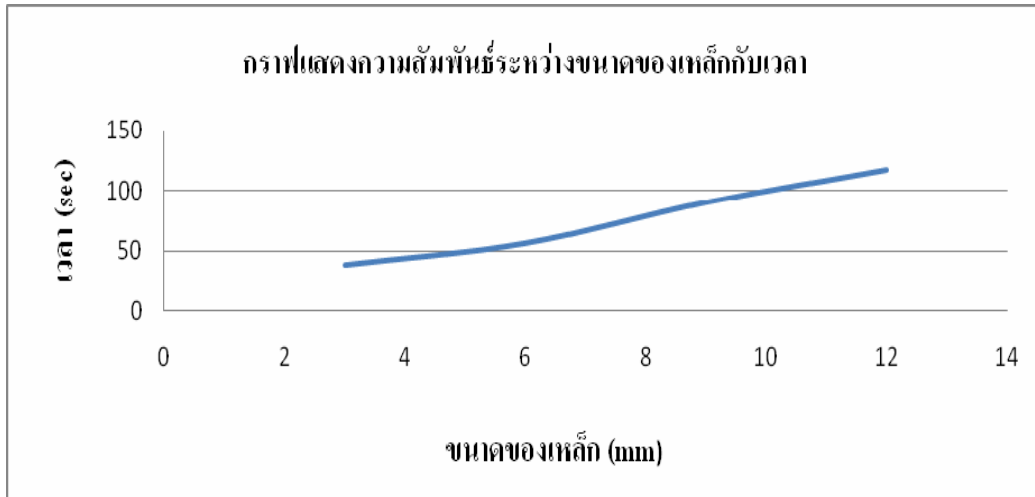
กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่ 28.87 KHz ที่คอยล์เท่ากับ $36.1 \mu H$ และที่เหล็กขนาดต่างๆ ความถี่ 22.79 KHz



รูปที่ 4.14 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร

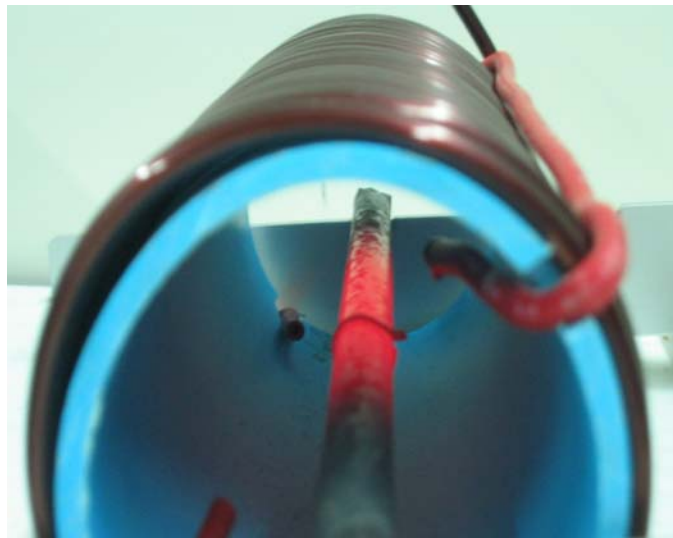


รูปที่ 4.15 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร

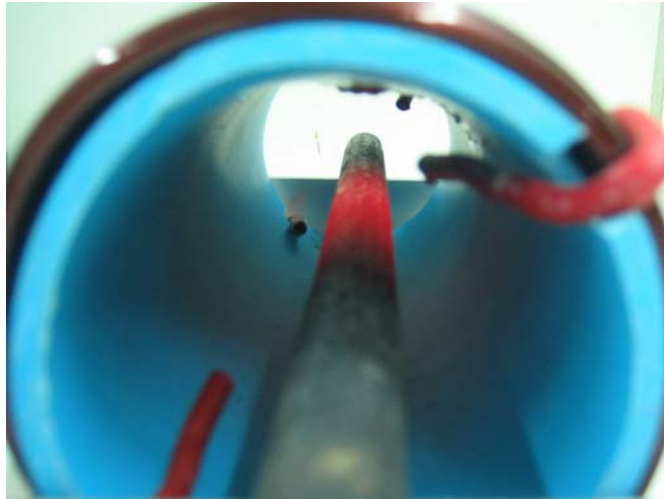


กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่ 22.79 KHz

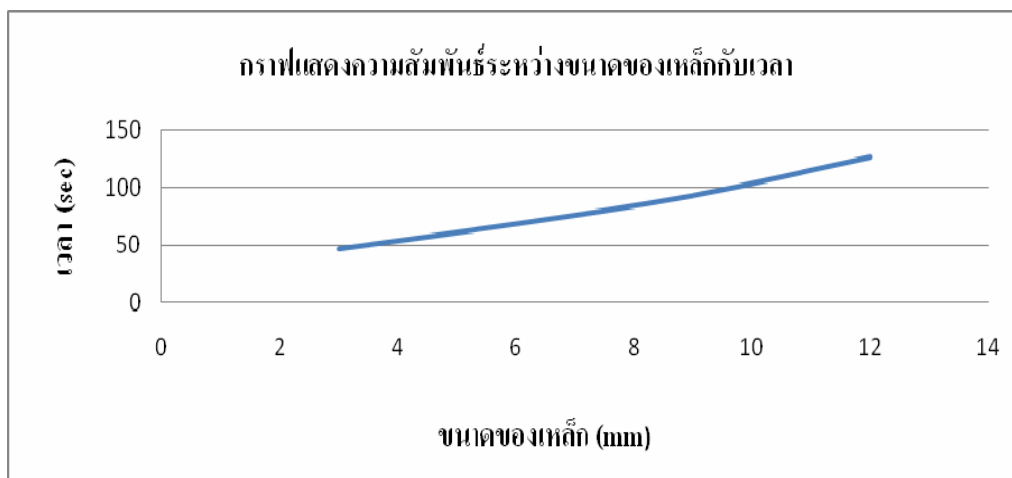
ที่คอยล์เท่ากับ $42.7 \mu H$ และที่เหล็กขนาดต่างๆ ความถี่ 21.11 KHz



รูปที่ 4.16 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.17 การทดสอบการเรโซแนนซ์ การวางเหล็กตรงกลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร



กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเหล็กกับเวลาที่ความถี่ 21.11 KHz

4.5 วิเคราะห์การทดสอบ

จากผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า การแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีลักษณะกระจายออกจากตรงกลางของขดลวดเหนี่ยวนำ โดยเห็นได้จากการทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ใส่ลงตรงกลางของขดลวดเหนี่ยวนำ พบว่าเหล็กจะเกิดความร้อนขึ้นมากที่สุดที่บริเวณตรงกลางของขดลวดเหนี่ยวนำ แล้วจะค่อย ๆ ร้อนขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายโดนเหล็กเรื่อยๆ และยังได้สังเกตเห็นอีกว่า เหล็กที่มีขนาดใหญ่จะร้อนช้ากว่าเหล็กที่มีขนาดเล็ก โดยจากทฤษฎีแล้วการ ที่เหล็กเกิดความร้อนได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่า Skin Effect (ความลึกผิว) เนื่องจากยิ่งความถี่สูงมาก ๆ ค่า Skin Effect ก็จะมีค่าน้อยทำให้เมื่อใส่เหล็กขนาดเล็กกว่าทำให้เกิดความร้อนเร็วกว่าเหล็กที่มีขนาดใหญ่ โดยจะเกิดความร้อนขึ้นที่ผิวของเหล็กแล้วจะเกิดการกระจายความร้อนหรือเกิดการนำพาความร้อนขึ้น เมื่อเหล็กมีขนาดเล็กก็จะเกิดการนำพาความร้อนได้เร็วกว่าเหล็กที่มีขนาดใหญ่เพราะมีพื้นที่ที่เล็กกว่า และยังเห็นอีกว่าการที่ขดลวดเหนี่ยวนำมีขนาดรัศมีที่เล็ก จะมีการทำปฏิกิริยากับเหล็กได้ดีกว่าขดลวดเหนี่ยวนำที่มีขนาดรัศมีที่ใหญ่เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำที่เล็กสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะการกระจายที่แคบและจะทำให้สนามแม่เหล็กมีความหนาแน่นมากกว่าขดลวดเหนี่ยวนำที่มีขนาดรัศมีที่ใหญ่กว่าโดยสนามแม่เหล็กจะมีการแผ่กระจายออกมากและจะทำให้สนามแม่เหล็ก โดนตรงเหล็กน้อยทำให้ร้อนช้ากว่าขดลวดเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กกว่า



รูปที่ 4.18 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด โดยอธิบายส่วนประกอบของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ผลการทดลองโดยรวม รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและจำกัดในการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำประกอบด้วย

1. วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุท
2. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์ PWM
3. บัฟเฟอร์
4. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. โพลคริโซแนนซ์

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

1. ใช้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 20-50 kHz
2. ใช้แรงดัน 60 โวลต์
3. ใช้กระแส 10 แอมป์
4. ให้พลังงานความร้อน

5.3 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน

ไอซีที่ใช้บ้างตัวหาซื้อได้ยากและไม่มีขายในเมืองไทยจึงทำให้ต้องเสียเวลาในการสั่งซื้อจากต่างประเทศและยังมีราคาค่อนข้างสูง

MOS FET บ้างตัวที่ใช้ในการทดลองคุณภาพไม่ดีพอจึงทำให้ทนกระแสได้ไม่ดีพอจึงทำให้พังได้ง่าย

ไอซีบ้างตัวที่ใช้ทำโครงงานนี้หาซื้อได้ยากและอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่ใช้ทำโครงงานใช้ค่อนข้างเยอะและมีราคาแพงจึงทำให้งบประมาณที่ใช้มีไม่เพียงพอในการทำโครงงานนี้ให้ออกมาสมบูรณ์เท่าที่ควร

5.4 ผลที่ได้จากโครงงานนี้

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน
2. สามารถนำความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ในอนาคตได้
3. ทำให้มีความรู้ในการออกแบบวงจร
4. สามารถใช้เครื่องมือวัดได้
5. ได้เรียนรู้ออกแบบวงจรและขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้
6. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานและวิธีการออกแบบจากการศึกษาข้อมูลของไอซีแต่ละตัว

7. รู้จักการคิด การวิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ

8. สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานได้

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นมาและได้ทำการทดสอบพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ แต่ก็ยังคงมีปัญหาบางอย่างบางจุดที่ต้องแก้ไขเนื่องจากเวลาที่จำกัด และอีกทั้งยังขาดประสบการณ์ในการทำงานอีกด้วย

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นมานี้ยังที่จะพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนได้ เช่น เตาไรด์ผ้า เครื่องทำน้ำอุ่น หม้อต้ม ซึ่งสามารถทำเป็นเครื่องแบบเหนี่ยวนำได้

บรรณานุกรม

- [1] สุวัฒน์ ดั่น, เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ 2537
- [2] UC3875. Unitrode Products from Texas Instruments, Phase Shift Resonant Controller, Available from: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/uc3875.pdf>
- [3] IRFP460. 20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET, Available from: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/67546/INTERSIL/IRFP460.html>
- [4] LM317. National Semiconductor, LM117/LM317A/LM317,3-Terminal Adjustable Regulator, Available from: <http://www.national.com/mpf/LM/LM317.html>
- [5] AN9012. Induction Heating System Topology Review, Available from: <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9012.pdf>
- [6] Praveen K. Jain R. Espinoza and Shashe B. dewen . 1998. Self-Started Voltage – Source Series – Resonant Converter for High – Power Induction Heating and Melting Applications . IEEE TRANS. Lnd.,Appl.,vol.34,No.3,May/June,PP.518

ประวัติผู้เขียน



นายคงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย เกิดเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 85 หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านโฆ้ง อำเภอร่องทอง จังหวัดสุพรรณบุรี จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ปีการศึกษา 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นายสำราญ สันทานุชัย เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2528 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 79 หมู่ที่ 6 ตำบลหนองไผ่ล้อม อำเภอสำโรงตาบัว จังหวัดสุรินทร์ จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสำโรงตาบัววิทยาคม จังหวัดสุรินทร์ ปีการศึกษา 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา