

ปีการศึกษา 2537

การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก

INDUCTION MELTING



โดย

นายประวิน เสรีขจรจารุ

นายปฤษฐภูมิ แก้วอุบล

วัน เดือน ปี 19 ต.ค. 2539

เลขทะเบียน 034983

เลขเรียกหนังสือ T 39283 ป4

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

034983

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก

ผู้จัดทำ

1. นายประวิน เสรีขจรจารุ
2. นายปฤษฐภูมิ แก้วอุบล



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก

นายประวิน เสรีขจรจารุ
นายปฤษฐภูมิ แก้วอุบล
ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

การพัฒนาเพื่อสร้างเตาหลอมโลหะ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่-เหล็กไฟฟ้าโดยนำเอากระแสไหลวน (Eddy Current) มาเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมโลหะ เริ่มจากรับไฟกระแสสลับ 220 V มาเปลี่ยนเป็นไฟกระแสสลับ 5 V ความถี่สูง โดยใช้สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย แล้วส่งต่อไปยังคอยล์ (Coils) เหนี่ยวนำเป้าหลอมให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) และความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมโลหะ การควบคุมกำลังที่ผ่านเข้าคอยล์ (Coils) ใช้การปรับความถี่ของอุปกรณ์สวิตชิ่งหรือการปรับแรงดันของแหล่งจ่ายจากหลักการดังกล่าวนี้นำมา สร้างเตาหลอมโลหะขนาดเล็กที่ใช้กับโลหะประเภทเครื่องประดับ เช่น เงิน ทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION MELTING

Prawin Sareekhajohnjaru

Prittapoom Kaewubon

Assc.Prof.Prapas Prisuvanna Advisor

1994

ABSTRACT

The development to built the jurnace by the theory touse in the form of ohmic loss. By eddy current transfer to heat energy for metal melting. First, receive input. Alternating current (220 V.) transferred to high freauency low alternating current (5 V.) by switching powersupply. Pass it to the coils. Afternating magnetic field will occur the eddy current and heat energy for to melt the metal. Control of power that pass coils achieves by adjusting the frequency of switching apparatus or adjust the voltage of switching power supply. In the above is theory to built the small furnance for alloy industrial.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 แนะนำ induction melting 1

1.2 เบื้องต้นของ induction melting 2

บทที่ 2 ทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 5

2.1 พิจารณาผลของสกินเอฟเฟคที่มีผลต่อแผ่นโลหะบางที่มีความยาวมาก 5

2.2 ความลึกในสกินเอฟเฟค 9

2.3 ความหนาแน่นของกระแสเส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 9

2.4 ผลรวมของกระแส 10

2.5 กำลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กในชิ้นงานรูปทรงกระบอกตัน 10

บทที่ 3 ตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless 13

3.1 หลักของเครื่องหลอมโลหะโดยหลักการเหนี่ยวนำ 13

3.2 เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless 13

3.3 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการเลือกความถี่ 15

3.4 ขนาดของเตาหลอม 15

3.5 เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ 17

บทที่ 4 สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 19

4.1 เทคโนโลยีการใช้งานแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่ง 19

4.2 หลักการทำงาน 20

4.3 วงจรสวนอินพุทของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 21

4.4 คอนเวอร์เตอร์ 24

4.5 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 25

4.6 วงจรสนับเบอร์ 26

4.7 หม้อแปลงสวิตชิ่ง 27

4.8 วงจรควบคุม 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 การคำนวณและการสร้างเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ 34

บทที่ 6 การทดสอบและผลการทดลอง 41

6.1 การเลือกขนาดขดลวดและจำนวนรอบของขดลวดให้เหมาะสมที่สุด 41

6.2 ผลการทดลองอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเบ้าหลอม 51

6.3 ผลการทดลองการหลอมโลหะผสมตะกั่วดีบุก 54

6.4 ผลการทดลองการหลอมโลหะทองแดง 57

บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป 61

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูป 1.1	พื้นฐานของ induction heating	3
รูป 2.1	แสดงแผ่นชิ้นงานตัดแนว X	6
รูป 2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กกับความลึก	8
รูป 2.3	กราฟแสดงค่าความสูญเสียกับความลึก	12
รูป 3.1	ภาพตัดขวางเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless	14
รูป 3.2	กราฟเลือกความถี่ให้สัมพันธ์กับขนาดของเตาหลอม	16
รูป 3.3	ภาพตัดขวางของเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ	17
รูป 3.4	ภาพเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ	18
รูป 4.1	แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	21
รูป 4.2	แสดงวงจรส่วนอินพุทของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	21
รูป 4.3	แสดงวงจรของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	22
รูป 4.4	แสดงวงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	25
รูป 4.5	แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494	31
รูป 4.6	แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_TC_T ในการกำหนดความถี่	31
รูป 4.7	แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL 494	32
รูป 4.8	แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาท์พุทของ TL 494	33
รูป 5.1	สัญญาณเอาท์พุทจากส่วนหม้อแปลงสวิตชิ่ง	34
รูป 5.2	สัญญาณอินพุทจากส่วนหม้อแปลงสวิตชิ่ง	35
รูป 5.3	ลักษณะของเบ้าหลอมที่ทำจากกราไฟต์	36
รูป 5.4	ลักษณะของขดลวดทองแดงเทียบกับเบ้าหลอม	36
รูป 5.5	รูปแสดงสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ตัดเอาท์พุทออกมาจากหม้อแปลงสวิตชิ่ง	37
รูป 5.6	แสดงการรวมสายที่มีขั้วเดียวกันรวมกันของหม้อแปลงสวิตชิ่ง	37
รูป 5.7	แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักของ Induction Melting	38
รูป 5.8	ลักษณะของการจัดอุปกรณ์ภายในเตาหลอม	39
รูป 5.9	ลักษณะของโครงงานที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 6.1 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง,จำนวนรอบคอยล์=15รอบ 43

รูป 6.2 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลงมีโหลด,ขนาดลวด 4.5 mm. 44

รูป 6.3 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง,จำนวนรอบคอยล์=12รอบ 46

รูป 6.4 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลงมีโหลด,ขนาดขดลวด 5.5mm. 47

รูป 6.5 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง,จำนวนรอบคอยล์=9รอบ 49

รูป 6.6 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง,จำนวนรอบคอยล์=6รอบ 50

รูป 6.7 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเบ้าหลอม 53

รูป 6.8 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของโลหะผสมตะกั่วดีบุก 56

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น 20

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองขดลวดขนาดเล็ก (4.5 mm.) 42

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองขดลวดขนาดกลาง (5.5 mm.) 45

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองขดลวดขนาดใหญ่ (7 mm.) 48

ตารางที่ 6.4 ผลการเพิ่มอุณหภูมิของเบ้าหลอมเทียบกับเวลา 51

ตารางที่ 6.5 ผลการเพิ่มอุณหภูมิของโลหะผสมตะกั่วดีบุกเมื่ออยู่ในเบ้า 54

ตารางที่ 6.6 ผลการเพิ่มอุณหภูมิของทองแดงเมื่ออยู่ในเบ้า 57

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำโลหะชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์กันอย่างมากมายและ กว้างขวาง ตั้งแต่สมัยอดีตกาลโลหะต่าง ๆ ถูกค้นพบขึ้นมาหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของมัน เพื่อให้โลหะเหล่านี้ได้ใช้ประโยชน์อย่างจริงจังและคุ้มค่ามากที่สุด เราจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการหลอมโลหะ ชนิดต่างๆ เหล่านี้ เพราะการหลอมโลหะเป็นความสำคัญขั้นพื้นฐานในการนำโลหะมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ทั้งในด้านรูปร่าง การผสมโลหะ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงาน ที่นำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและประหยัดมากที่สุด ทั้งยังทำให้เกิดความสวยงามในอุตสาหกรรมด้านเครื่องประดับอีกด้วย

1.1 แนะนำ Induction Melting

โลหะจะหลอมได้เมื่อตัวมันเองได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลว การทำให้ เกิดความร้อนในเนื้อสาร ก็โดยการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำโลหะก็จะเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ในเนื้อสาร เมื่อถึงความร้อนค่าหนึ่งโลหะก็จะเกิดการหลอมเหลวได้ โดยองค์ประกอบที่มีผลให้เกิดความร้อนก็คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก ความถี่สนามแม่เหล็ก คุณสมบัติของสารแม่เหล็ก และคุณสมบัติทางไฟฟ้า การหลอมโลหะในทางอุตสาหกรรม จะใช้หลักการการเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐศาสตร์และสภาวะแวดล้อมที่ดีกว่าวิธีการหลอมโดยการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิง หรือถ่านหิน การหลอมโลหะโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. การเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนที่เนื้อสารที่ต้องการหลอมโดยตรง โดยใช้เตาหลอมที่เรียกว่า "เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Channel" เช่นการหลอมเหล็ก

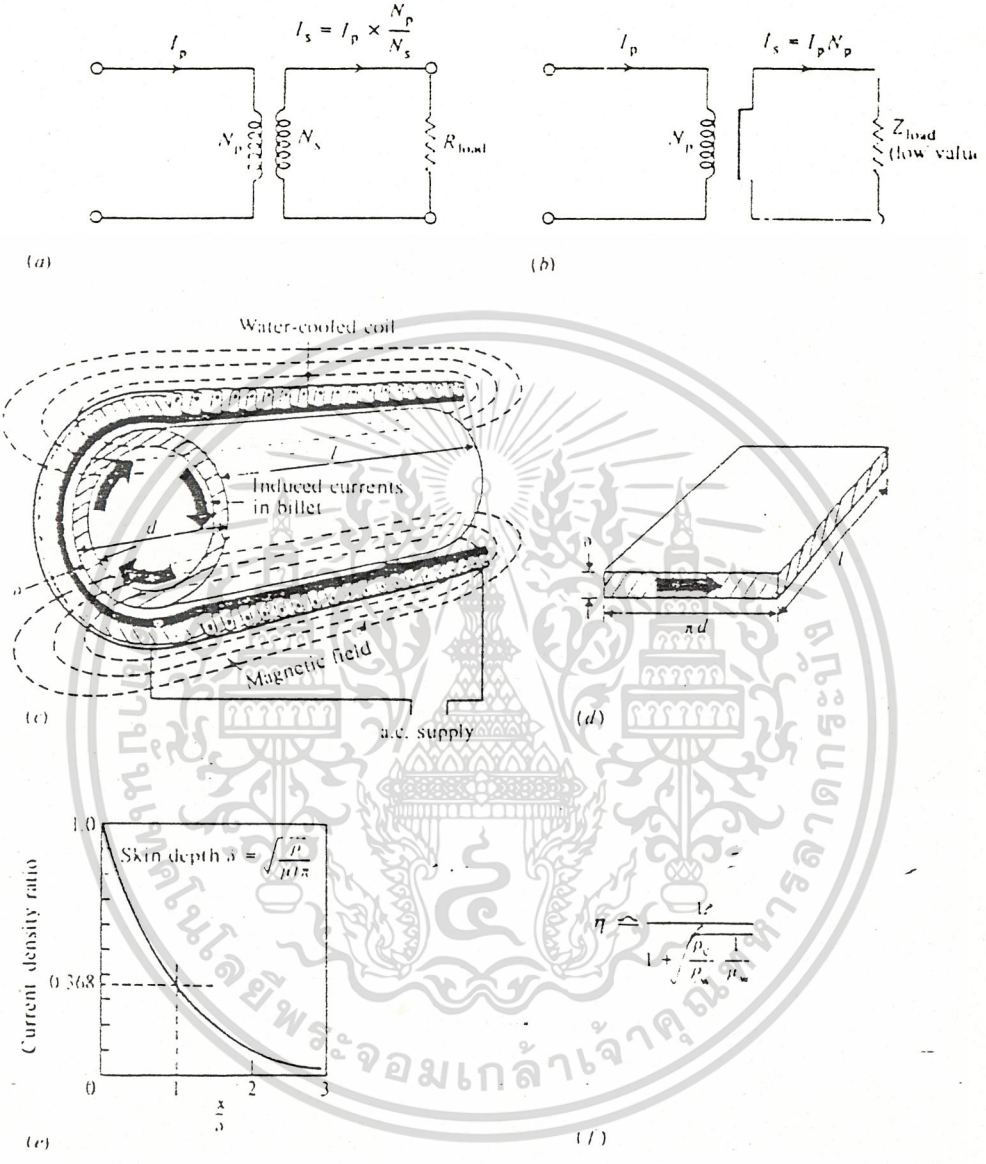
2. การเหนี่ยวนำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่เบ้าหรือเตาหลอม ซึ่งเรียกว่า "เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless" ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมประเภทอัลลอย์ เช่น เงิน ทอง โลหะ ที่ใช้ทำเครื่องประดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เบื้องต้นของ INDUCTION HEATING

การเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก เป็นพื้นฐานของ Induction Heating ถูกค้นพบโดย Michael Faraday ปี ค.ศ.1831 โดยแสดงให้เห็นว่ากระแสสามารถถูก เหนี่ยวนำได้ในวงปิดหรือวงจรด้านทุติยภูมิ จากผลของการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจรทางด้านปฐมภูมิที่สัมพันธ์กัน แนวคิดนี้ได้นำมาใช้ทำให้เกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ(Induction Heating) การเปลี่ยนแปลงของกระแสทางด้านขดปฐมภูมิจะทำให้เกิดฟลักส์ไปคล้องขดทางด้านทุติยภูมิ จากหลักการอันนี้เมื่อประมาณ 100 ปีผ่านมา ได้ถูกนำเอาไปใช้ใน มอเตอร์ (Motor) เจนเรเตอร์ (Generator) หม้อแปลง (Transformers) การสื่อสารวิทยุ (Radio Communication) จากอุปกรณ์ต่าง ๆ จะเกิดผลของความร้อน ทั้งจากกระแสและจากวงจรแม่เหล็ก เป็นส่วนที่ไม่พึงปรารถนา จึงได้มีการทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) น้อยที่สุด โดยการทำให้แกนเหล็กในหม้อ-แปลงและในมอเตอร์เป็นแผ่นบาง (Laminate) ต่อมาการทดลองของ Faraday แสดงให้เห็นว่า กระแสที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจะสวนทาง ฟลักส์เหนี่ยวนำและแปรผันตามกับความถี่
จึงเป็นทฤษฎีการเหนี่ยวนำของกระแสในแกนเหล็ก เป็นการถ่ายเทพลังงานจากขดลวดไปยังแกนเหล็ก และจึงถูกนำมาเป็นทฤษฎีของ Induction Heating เป็นการนำเอากระแสไหลวน ซึ่งเป็นส่วนที่สูญเสียในเครื่องจักรกลไฟฟ้า และในหม้อแปลงที่ไม่ต้องการ แต่ในด้านการหลอมโลหะสามารถที่จะนำเอากระแสตัวนี้มาใช้ในการหลอมโลหะได้ ซึ่งทำให้อุปกรณ์หลอมโลหะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานน้อยกว่าแบบที่ใช้เชื้อเพลิงหลอมโดยตรง มีประสิทธิภาพสูงไม่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 พื้นฐานของ Induction heating

Induction Heating ขึ้นอยู่กับส่วนสำคัญ 3 ส่วน

1. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของผิว (Skin Effect)

3. การส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer)

จากรูป 1.1 แนวคิดเบื้องต้นจาก ทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า พิจารณาวงจร สมมูลของหม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิ 1 รอบ ต่อลัดวงจรและภาระ

1.1 (a) พิจารณาหม้อแปลงที่ไม่มีฟลักส์รั่ว ความสูญเสียในขดปฐมภูมิและ- ทุติยภูมิ จากความร้อนในขดลวดเท่านั้น

1.1 (b) ให้ขดของทุติยภูมิมี 1 ขด และลัดวงจร จะทำให้กระแสมีค่าสูง พลังงานจากแหล่งกำเนิดจะเท่ากับการสูญเสียของขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1.1 (c) แสดงภาพตัดคอยล์และโหลด ที่แทนด้วยวงจรสมมูล รูป 1.1 (b) โดยวงจรด้านปฐมภูมิจะถูกแยกออกจากด้านทุติยภูมิโดยห้องอากาศเล็ก ๆ จึงต้องพิจารณา Skin Effect ณ จุดที่ความถี่สูงๆ และการลดลงของความหนาแน่นกระแส (Current Density) ที่ขึ้นอยู่กับสภาพความต้านทานและความซึมซาบ (Permeability)

1.1 (d) Eqvivalent Load

1.1 (e) Skin Effect

1.1 (f) ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

ทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การให้ความร้อนแก่วัตถุโลหะตามหลักทฤษฎีของแม่เหล็กไฟฟ้า คิดผลของ แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อชิ้นงานที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอก เส้นแรงแม่เหล็ก กระแส และการถ่ายเทพลังงาน เป็นแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาดังต่อไปนี้

2.1 พิจารณาผลของสกินเอฟเฟคที่มีต่อแผ่นโลหะบางที่มีความยาวมาก ๆ (Skin Effect for Semi-infinite Slab)

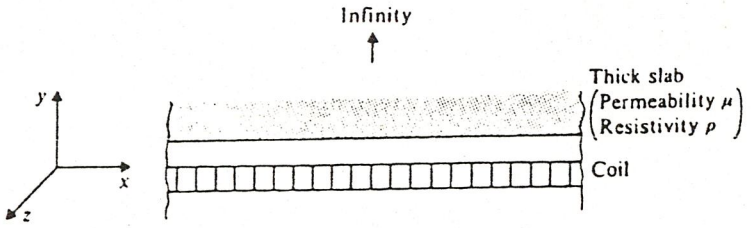
การใช้งานนั้นชิ้นงานที่จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งเป็นการยากต่อการพิจารณาทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจะพิจารณาถึงชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นโลหะแผ่นบางหรือเป็นรูป ทรงกระบอกที่มีรัศมีมาก ๆ ซึ่งจะไม่มีผลของสกินเอฟเฟคต่ออีกด้านหนึ่ง

จากรูปที่ 2.1 พิจารณาแผ่นชิ้นงานที่มีการวางตัวตามแนวแกน X ซึ่งมีความยาวเป็น 1 เมตร คอลย์จะเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก H_0 ที่พื้นผิวมีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร (Ampare per Metre) และจะไม่พิจารณาความสูญเสีย จะได้ว่าที่คอลย์จะสร้างสนามแม่เหล็ก H_0 จากคุณสมบัติทางกายภาพ H_0 ในทิศทางแกน X ก่อให้เกิดกระแสขึ้นใน
ทิศทาง Z และมีเงื่อนไข

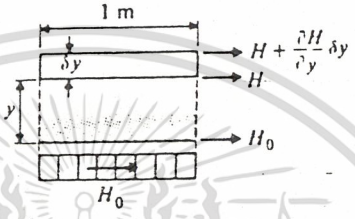
$$\left.\begin{aligned} H_{x(y=0)} &= H_{0m}\cos\omega t, \\ H_y \\ H_z \end{aligned}\right\} = 0 \text{ everywhere.} \qquad \text{...(1)}$$

เมื่อ H_{0m} เป็นค่าสูงสุดของ H_0 ที่พื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.1 แผ่นชิ้นงานที่มีการวางตัวตามแนวแกน X

ดังนั้นการกระจายของสนามแม่เหล็ก (H) สนามไฟฟ้า (E) และความแน่นกระแส (J) ในโลหะ จะได้จากสมการอนุพันธ์ดังนี้

$$\nabla^2\mathbf{H}=\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t};\qquad \nabla^2\mathbf{E}=\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t};\qquad \nabla^2\mathbf{J}=\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial\mathbf{J}}{\partial t}. \qquad ...(2)$$

พิจารณาในรูปของสนามแม่เหล็ก H จะได้

$$\nabla^2\mathbf{H}=\frac{\partial^2\mathbf{H}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\mathbf{H}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\mathbf{H}}{\partial z^2}=\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial}{\partial t}(H_x+H_y+H_z). \qquad ...(3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไข (1) จะได้

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial H_x}{\partial t}. \qquad \text{...(4)}$$

พิจารณาคำตอบจะได้ว่า

$$H_x = H_x(y)\cos \omega t \qquad \text{...(5)}$$

ซึ่ง H_x จะเปลี่ยนค่าไปตามความลึก y สามารถเขียนสมการในรูปของ

$$H_x(y)\exp(j\omega t). \qquad \text{...(6)}$$

แทนในสมการ (2) จะได้ว่า

$$\frac{d^2 H_x}{dy^2} - \frac{\mu}{\rho} j\omega H_x = 0. \qquad \text{...(7)}$$

กำหนดให้ $\alpha^2 = \mu\omega/2\rho$, i.e.,

$$\frac{d^2 H_x}{dy^2} - 2j\alpha^2 H_x = 0. \qquad \text{...(8)}$$

กำหนดให้ $k^2 = 2j\alpha^2$

คำตอบจะได้

$$H_x = A_1 \exp(ky) + A_2 \exp(-ky). \qquad \text{...(9)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

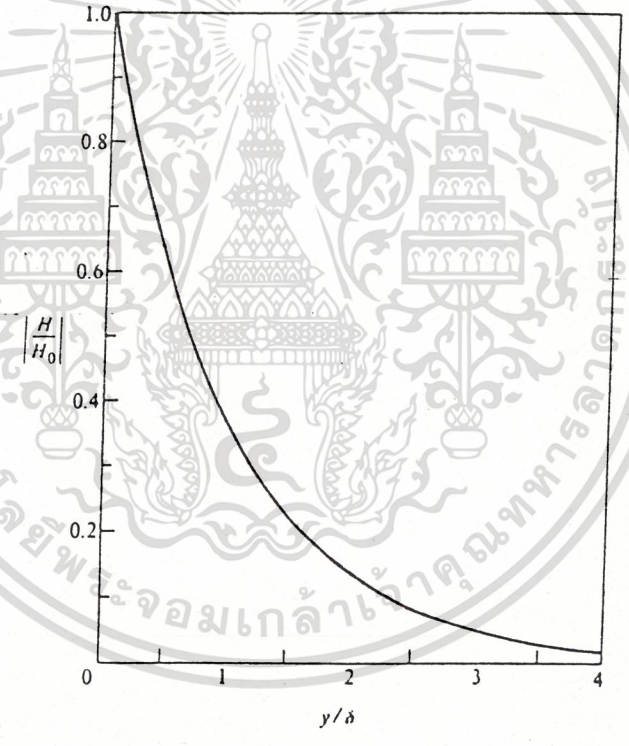
จากเงื่อนไข 1

เมื่อ y = ∞ , H_X ต้องเป็นค่าคงที่ ดังนั้น $A_1 = 0$;

และเมื่อ y = 0, $H_x = H_{0m} \exp(j\omega t)$.

จะได้

$$H_x(y) = H_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y). \quad \text{...(10)}$$



รูป 2.2 ความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กกับความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

2.2 ความลึกในสกินเอฟเฟค (Skin Depth)

ในชั้นความลึกต่างๆ ขนาดสนามแม่เหล็กจะลดลง และมีมุมเฟส (Phase) ที่ต่างกับพื้นผิวเป็นมุม (-∞y) เมื่อ y มีค่า (1/ ∞) ขนาดจะเหลือ e^{-1} เท่าของพื้นผิวและมุม เฟสต่างกันเป็น 1 เรเดียน (57.3°) ซึ่งขนาด 1/e = 0.368 ของที่ผิว ให้เรียกว่า "ความลึกในสกินเอฟเฟส" (Skin Depth) หรือ (Depth of Penetration) , δ เรากำหนดให้

จะได้ว่า α^2 as $\mu\omega/2\rho$.

$$\text{Depth of penetration } \delta = \sqrt{\left(\frac{2\rho}{\mu\omega}\right)}, \qquad \text{...(11)}$$

2.3 ความหนาแน่นของกระแส เส้นแรงแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากสมการที่ (10) และจาก $B = \mu H$,

โดยให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแบบเชิงเส้นจะได้ว่า

$$B_x(y) = B_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y). \qquad \text{...(12)}$$

และจากสมการแมกเวลล์ (Maxwell Equation) $\mathbf{J} = \text{curl } \mathbf{H}$

จากเงื่อนไขที่กำหนดในการวิเคราะห์ให้ $H_y = 0$ และ $H_x = 0$ จะได้ว่า

$$J_z(y) = J_{0m} \exp(j\omega t - \alpha y\sqrt{(2j)}) = J_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y). \qquad \text{...(13)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034983

และจากความสัมพันธ์ของ

$$\mathbf{E} = \rho \mathbf{J},$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$E_z = \rho J_z = \rho J_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y). \quad \ldots(14)$$

2.4 **ผลรวมของกระแส** (Total Current)

กระแสทั้งหมดในความกว้าง 1 เมตร สามารถหาผลรวมกระแสที่เหนี่ยวนำ ได้โดยการอินทริเกรต J ใน Slab Depth

$$\text{Current per metre width} = \int_0^\infty J_z \, dy (\times 1) = \int_0^\infty J_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y) \, dy$$

$$= J_{0m} \text{ Real part of } \int_0^\infty \exp[j\omega t - (1+j)\alpha y] \, dy$$

$$= \frac{J_{0m}}{\sqrt{2}\alpha} \cos(\omega t - \pi/4).$$

ดังนั้นกระแสต่อหน่วยความกว้าง ซึ่ง lag ไปจากความหนาแน่นของกระแสที่ผิวประมาณ 45 องศา

$$\text{Current per metre width} = (\sqrt{2} H_{0m} \alpha \exp j(\omega t + \pi/4)) \frac{\exp(-j\pi/4)}{\sqrt{2}\alpha}$$

$$= H_{0m} \exp(j\omega t), \quad \ldots(15)$$

2.5 กำลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กในชิ้นงานรูปทรงกระบอกตัน

จากความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กในโลหะที่มีรูปทรงกระบอกตัน ที่ให้

$$H_z = H_{0m} \cos \omega t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{d^2\mathbf{H}}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d\mathbf{H}}{dr}-k^2\mathbf{H}=0, \quad \text{where} \quad k^2=\frac{j\mu\omega}{\rho}=2j\alpha^2$$

ซึ่งสามารถที่จะหาคำตอบออกมาอยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบเบสเซล โดยที่ คำตอบของสมการจะมีรูปดังนี้

$$H = AI_0(kr)+BK_0(kr) \qquad ...(16)$$

โดยที่ I_0 และ K_0 เป็นอันดับที่ศูนย์ของเบสเซลฟังก์ชัน

ซึ่งผลของเส้นแรงแม่เหล็กรวมจะได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Phi_R = \mu H_{rm} A_w (q - jp) = \Phi_q - j\Phi_p, \qquad ...(17)$$

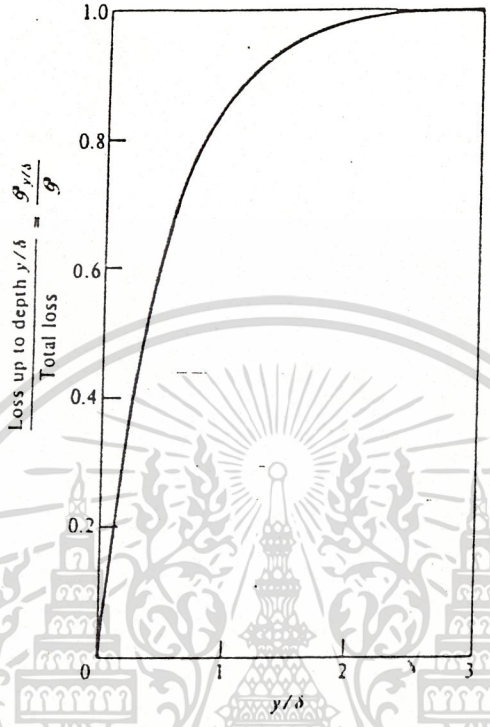
และผลรวมของพลังงานสูญเสียจะได้ว่า

$$\begin{aligned} P_w &= (l_w w b)\mu f \pi H_{sm}^2 p \\ &= (l_w A_w)(\pi f \mu) H_{sm}^2 p. \end{aligned} \qquad ...(18)$$

จากการที่ได้มีการวิเคราะห์ผลของค่าความถี่ที่มีผลกับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงได้มีการอธิบายผลของความถี่จากการดูดซับพลังงานในชิ้นงานที่มีรูปทรงกระบอก เมื่อเปรียบเทียบกับการดูดซับพลังงานของขดลวดเหนี่ยวนำ โดยที่ได้มีการแทน(d/δ) 4.5 จะมีผลดีต่อการเหนี่ยวนำ เมื่อไม่สามารถที่จะเพิ่มความถี่ขึ้นได้อีก โดยค่าความถี่วิกฤตหาได้จาก

$$\frac{\text{Loss up to depth } y/\delta}{\text{Total loss}} = \frac{\mathcal{P}_{y/\delta}}{\mathcal{P}} \qquad ...(19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ค่าความสูญเสียกับความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless

3.1 หลักของเครื่องหลอมโลหะโดยหลักการเหนี่ยวนำ

หลักการของมันไม่แตกต่างจากการเกิดความร้อนขึ้นในแกนของหม้อแปลง หรือในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เห็นและเข้าใจกันดี สำหรับสาเหตุของการเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งได้มีการนำหลักการเดียวกันนั้นมาใช้ในการสร้างเครื่องหลอมโลหะโดยหลักการเหนี่ยวนำได้

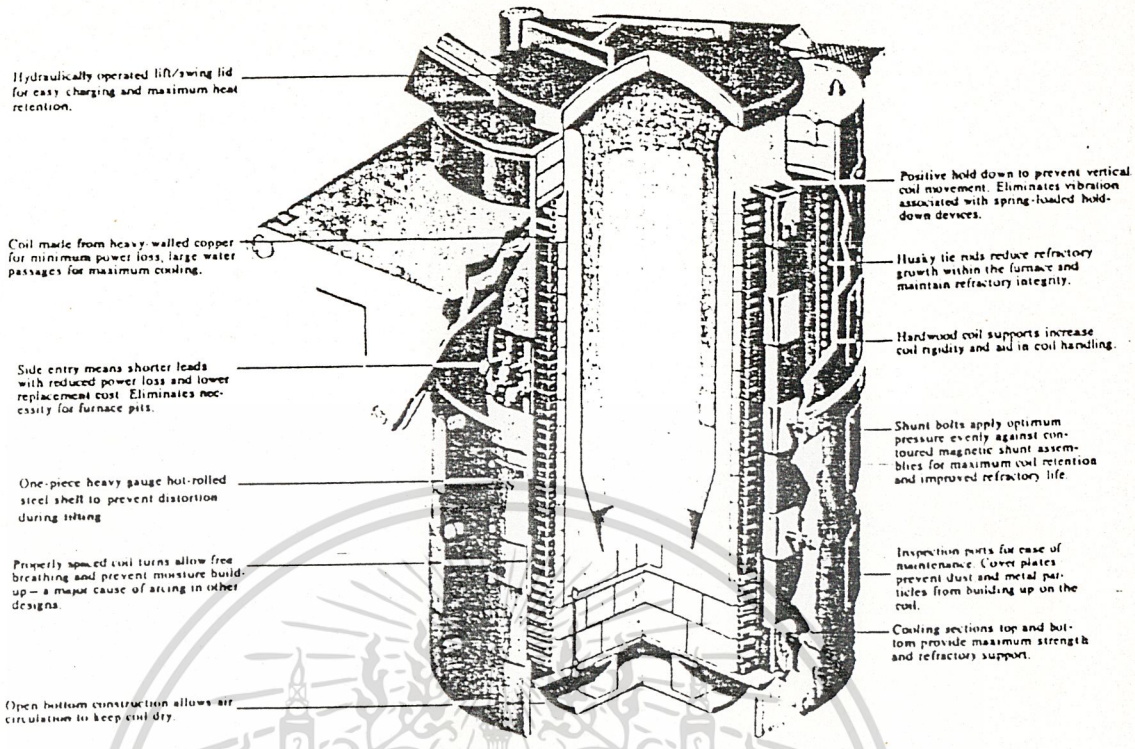
ประโยชน์ของการหลอมโลหะโดยหลักการเหนี่ยวนำ

1. ปลอดภัยจากการใช้แก๊ซและปฏิกิริยาการเผาไหม้ เช่น ปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่น การเกิดปฏิกิริยากับซิลเฟอร์
2. เตาหลอมโลหะโดยหลักการเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพดีกว่าเตาหลอมชนิดอื่นทุกชนิด หลอมเร็วเมื่อเทียบขนาดต่อขนาด
3. ค่าใช้จ่ายระยะยาวถูกกว่าเตาเชื้อเพลิงแบบอื่น
4. สามารถพัฒนาให้ใช้งานได้ในภาวะต่างๆ มีพลังงานสญเสียน้อย ไม่มีควัน ไม่มีขี้เถ้า
5. ลดการสูญเสียของโลหะ เช่น เมื่อหลอมโลหะทองแดงผสมกับสังกะสี (Cu/Zn) การสูญเสียของสังกะสีจากปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่นจะน้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก
6. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ
7. สามารถประยุกต์เป็น "เตาหลอมสูญญากาศ" เมื่อผลิตอัลลอย (Alloys) ซึ่งไม่สามารถผลิตได้โดยวิธีอื่น

3.2 เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless (Coreless Induction Furnaces)

เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless เป็นเตาหลอมที่เหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นที่เบ้าหลอมโดยเบ้าหลอมจะถ่ายเทความร้อนไปยังโลหะที่จะหลอมอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.1 ภาพตัดขวางเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless

โลหะที่จะหลอมจะอยู่ภายในส่วนของเบ้าหลอม โดยเบ้าหลอมจะมีขดลวดทองแดงล้อมรอบเบ้าอยู่ภายนอกเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง เมื่อได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ามา ภายในขดลวดทองแดงจะมีน้ำไหลผ่านตลอดในขณะที่ทำงาน เป็นการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนของขดลวดทองแดง โดยความร้อนที่เกิดขึ้นในทองแดงเป็นส่วนที่เราไม่ต้องการเกิดจากความสัมพันธ์ของ I^2R

เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless ที่ใช้ความถี่ต่างๆ

1. 50/60 Hz ระดับความถี่พื้นฐาน
2. 150/180 Hz ระดับความถี่ปานกลาง
3. 500 ถึง 5,000 Hz ระดับความถี่ปานกลาง
4. ความถี่สูงตั้งแต่ 5,000 Hz สำหรับอุปกรณ์ขนาดเล็ก

เตาหลอมเหนี่ยวนำโดยใช้ความถี่ระดับพื้นฐานเป็นเตาหลอมขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงหล่อ ใช้ในการหล่อโลหะ สามารถหลอมโลหะได้หลายชนิดและได้ปริมาณมาก สามารถปรับตั้งอุณหภูมิได้ถูกต้องแม่นยำ

เตาหลอมเหนี่ยวนำโดยใช้ความถี่สูงเป็นเตาหลอมที่มีขนาดเล็กใช้หลอมโลหะในห้องทดลอง ใช้กับพวกโลหะที่มีค่ามาก เช่น ทองเงิน , เงิน และทองคำขาว เตาหลอมแบบนี้สามารถแยกส่วนของเบ้ากับขดลวดทองแดงออกจากกันได้ เป็นเตาหลอมที่มีราคาสูงกว่าเตาหลอมทุกๆแบบ โครงสร้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบ้าหลอมต้องเป็นจำพวก Non-magnetic เช่น กราไฟต์ เตาหลอมแบบนี้ยังเป็นเตาหลอมที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดอีกด้วย

3.3 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการเลือกความถี่มีดังนี้

การเลือกความถี่ที่จะนำมาใช้ในเครื่องหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำถ้าเป็นไปได้ใช้ความถี่ระดับปกติของอุปกรณ์หลักเพราะการลงทุนเริ่มต้นจะถูกกว่าการใช้ความถี่ระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกใช้ความถี่ใด ควรที่จะดูในรายละเอียดในลักษณะของงานที่จะนำมาใช้และต้องได้จากการวิเคราะห์อย่างรอบคอบแล้ว ซึ่งอาจจะทำให้คุ้มค่ากับการลงทุนในระยะยาว แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการเลือกความถี่มีดังนี้

1. ราคา การก้าวเข้ามาของอุปกรณ์โซลิดสเตท (Solid-state) ทำให้มีความเป็นไปได้ในการปรับอิมพิแดนซ์โหลดให้แมชชิ่ง(Matching) กับแหล่งจ่ายทำให้เกิดผลดีในทางเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับการลงทุน ระดับความถี่ 50/60 Hz จะสามารถใช้ได้ ถ้าเราไม่คำนึงถึงขนาดของเตาหลอม และสามารถปรับแฟคเตอร์ต่างๆได้

ปัจจุบันนี้ เตาหลอมขนาด 10-15 ตัน สามารถผลิตได้ที่ช่วงความถี่ต่ำสุดของระดับความถี่ขนาดกลาง (150 Hz)

2. จำนวนรอบ จากสูตร $E = 4.44\ f\ \phi N$ ถ้า ϕ และ E คงที่ จำนวนรอบจะแปรผกผันกับความถี่ , ความถี่ที่ต่ำมาก จะทำให้ตัวนำมีขนาดเล็กและมีจำนวนรอบมาก เนื่องจากภายในขดลวดทองแดงต้องมีน้ำไหลผ่านถ้ามีจำนวนรอบมากและตัวนำมีขนาดเล็กจะต้องบำรุงรักษาคอยล์มาก ถ้าความถี่สูงมากหมายถึง โวลต์ต่อรอบ (Volts per turn) มีค่ามาก แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับฉนวน

3. Sterring ความปั่นป่วนของประจุเพิ่มขึ้นตาม ความถี่ที่ใช้

4. ภาวะเริ่มต้น (Start) มันเป็นการยากมากหรืออาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะเริ่มหลอมเหลวที่ความถี่ต่ำ อัตราการหลอมจะต่ำมากเมื่อเทียบกับความถี่ 50/60 Hz (เนื่องจากผลของ Skin depth) จนกระทั่งหลอมไปได้ 50-60 %

5. ประสิทธิภาพ การเริ่มหลอมเหลวที่ความถี่ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการหลอมลดลง

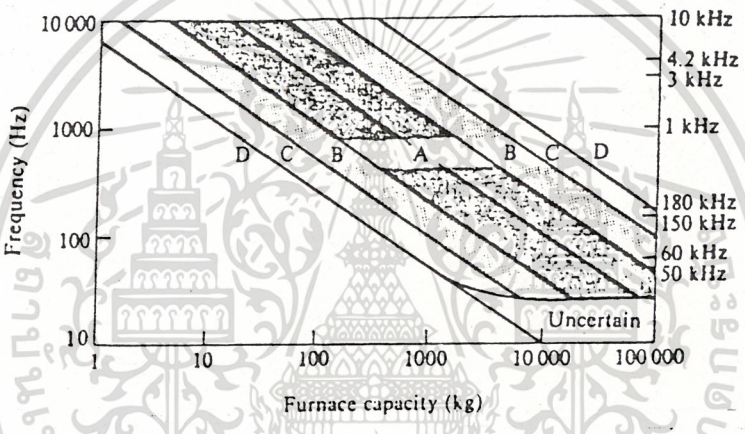
6. ขนาดการใช้งาน ความถี่ต่ำจะไม่เหมาะสมสำหรับลักษณะงานหรือชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ต้องใช้ระดับความถี่สูง

3.4 ขนาดเตาหลอม

ขนาดของเตาหลอมหามาได้จากผลการทดลองในปี ค.ศ. 1979 จากผลการทดลองสามารถชี้ให้เห็นได้ว่าขนาดของเตาหลอมแปรผกผันกับความถี่ เมื่อเลือกขนาดเตาหลอมที่มีขนาดเล็กต้องใช้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถี่สูง ถ้าเลือกเตาหลอมที่มีขนาดใหญ่มีความจุมาก เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมใหญ่ๆ สามารถใช้ระดับความถี่ต่ำโดยดูจากรูป 3.2



รูป 3.2 กราฟเลือกความถี่ให้สัมพันธ์กับขนาดเตาหลอม

A ; ขอบเขตที่เหมาะสมที่สุด

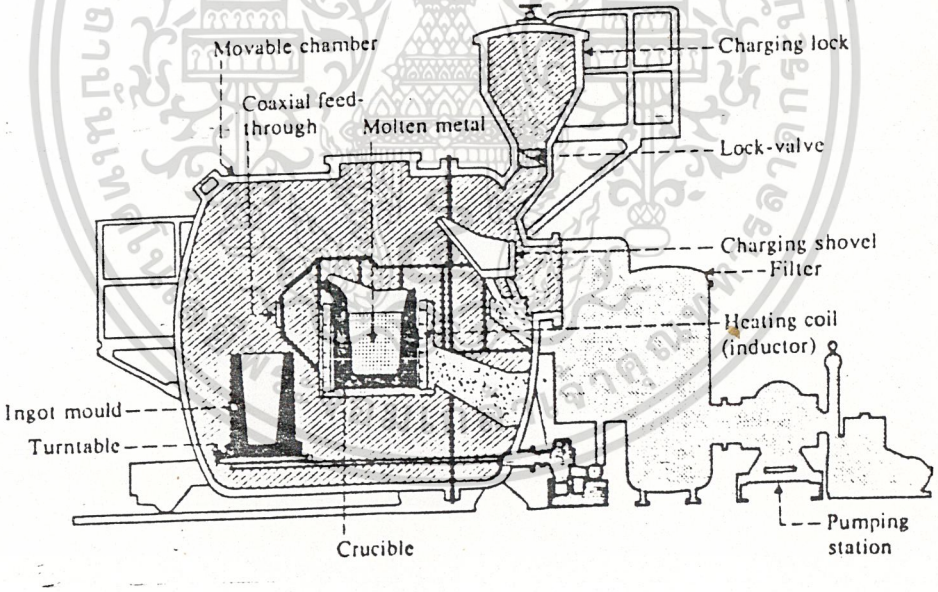
B ; ขอบเขตที่เหมาะสม

C; ขอบเขตที่เตาหลอมสามารถทำงานได้แต่ไม่ควรเลือกใช้

D ; ขอบเขตที่ไม่เหมาะที่จะใช้งาน

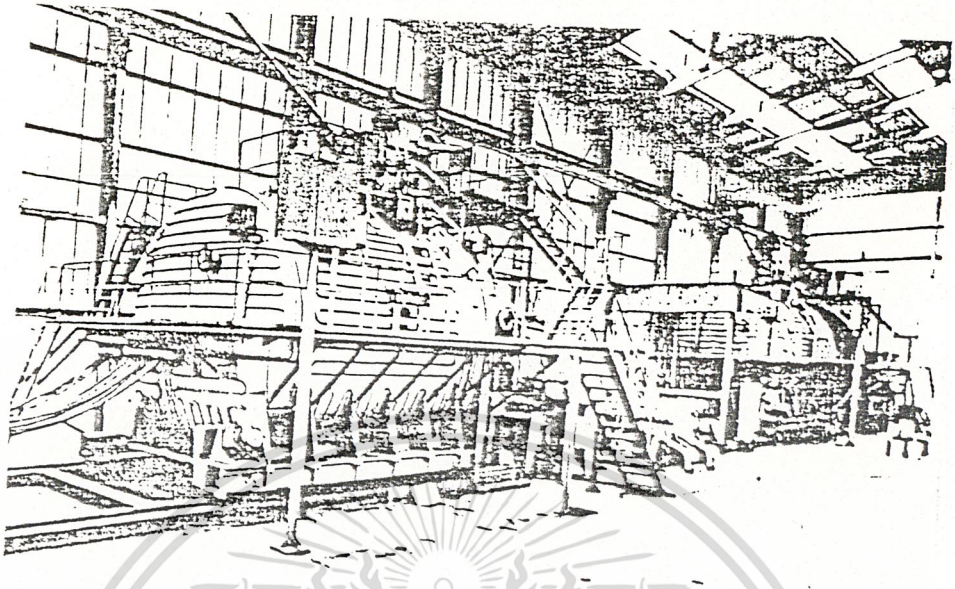
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ

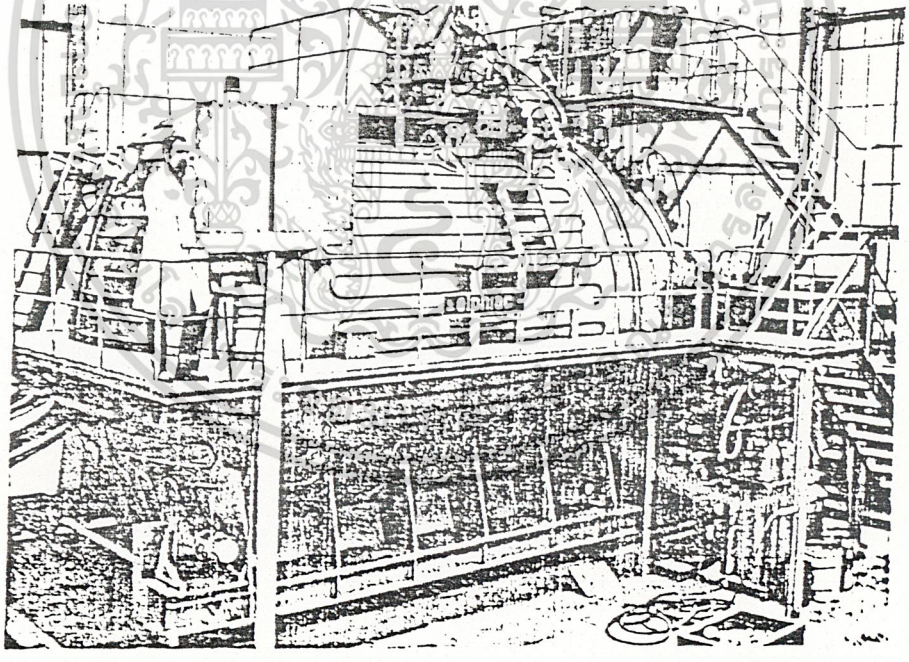


รูป 3.3 ภาพตัดขวางของเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A 5000-kg vacuum induction melting furnace at 250 Hz. (*Elphiac-Balzers.*)



Large vacuum-melting furnace. Capacity, 600 kg; power supply, 440 kW, 550 Hz. (*Elphiac-Balzers, Ltd.*)

รูป 3.4 ภาพเตาหลอมเหนี่ยวนำแบบสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

4.1 เทคโนโลยีการใช้งานแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่ง

แหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้กันส่วนมากในปัจจุบัน เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น (Linear power supply) มีส่วนประกอบคือ วงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน และหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงตามที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ แต่ในทางปฏิบัติแล้วแรงดันไฟตรงเอาต์พุตที่เรียบนั้นไม่อาจจะรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ตลอดได้ เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการคือ

1. ระดับแรงดันไฟฟ้าหลักไม่คงที่
2. ภาวะของโหลดมีการเปลี่ยนแปลง บางครั้งโหลดอาจจะดึงกระแสมากจนทำให้แรงดันเอาต์พุตตกลงมา

แหล่งจ่ายไฟชนิดนี้ จึงถูกจัดว่าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก และมีการดูดซับพลังงานมาก เมื่อมีกระแสไหลผ่านจึงมีประสิทธิภาพต่ำ และมีน้ำหนักมาก , ขนาดใหญ่

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง สามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิคส์ได้เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น หรือที่เรียกว่า “ลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย” เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันที่ 220 โวลต์ ลงมาเป็นแรงดันไฟที่ต่ำเช่นเดียวกัน แต่มีข้อแตกต่างอยู่ที่ขนาดและน้ำหนักของหม้อแปลง โดยหม้อแปลงของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลงของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย การพัฒนาของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายมีขีดจำกัดอยู่ที่การใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก รวมถึงประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

ในขณะเดียวกันสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งมีขนาดหม้อแปลงเล็กและมีประสิทธิภาพสูงน้ำหนักเบา เริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิคส์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่ให้กำลังงานได้สูงและมีขนาดเล็กด้วย เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ , เครื่องโทรสาร , หรือเครื่องรับโทรทัศน์สี เป็นต้น แนวโน้มในการนำสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ในเครื่องใช้อิเลคทรอนิคส์ทุกประเภทจึงเป็นไปได้สูง การศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานอีเล็กทรอนิคส์ทุกประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบข้อมูลทางด้านต่าง ๆของแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นและสวิตชิ่ง

ข้อมูล	แบบเชิงเส้น	แบบสวิตชิ่ง
1.โครงสร้างของวงจร	ง่าย	ยุ่งยาก
2.ส่วนของวงจรแมเหล็ก	ขนาดใหญ่	ขนาดเล็ก
3.ขนาดและน้ำหนัก	มาก	น้อย
4.ประสิทธิภาพ	ต่ำ	สูง
5.การตอบสนองผลของทรานเซี้ยนต์	เร็ว	ต่ำ
6.เสถียรภาพในการทงาน	ดีมาก	ค่อนข้างต่ำ
7.ราคา	ต่ำ	สูง
8.RFI และ EMI	น้อย	มาก

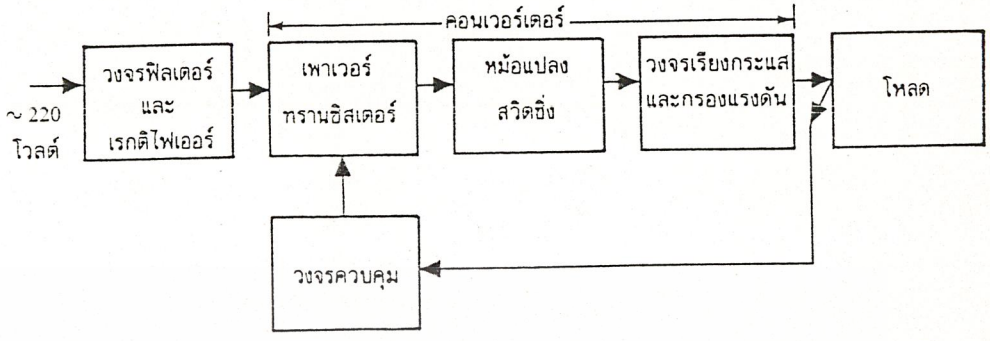
ตาราง 4.1 เปรียบเทียบข้อมูลทางด้านต่างๆของแหล่งไฟแบบเชิงเส้นและสวิตชิ่ง

4.2 หลักการทำงาน

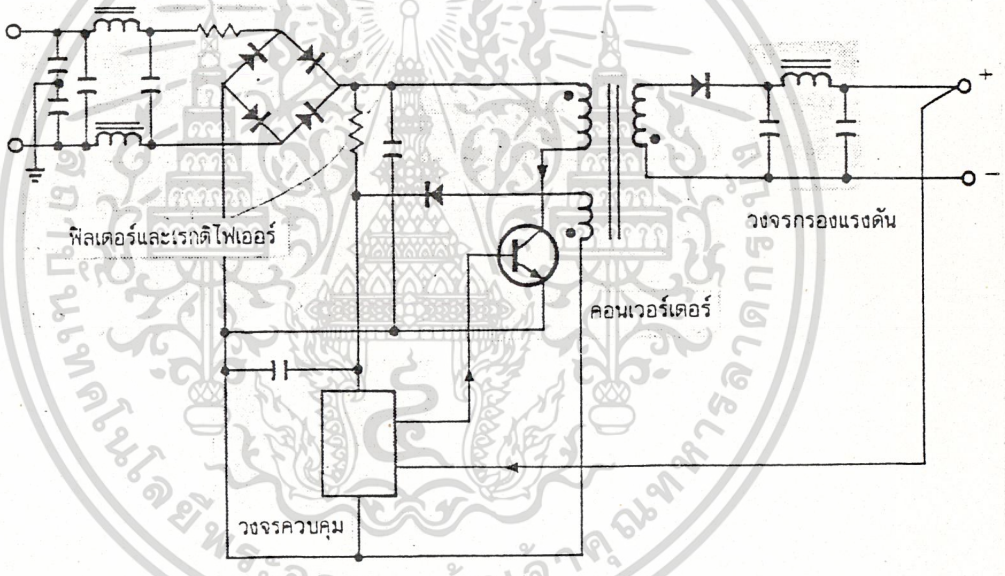
สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมีองค์ประกอบที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปและจะมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายทั่วไปดังรูปที่ 4.1 หัวใจสำคัญของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากเป็นทั้งตัวลดทอนแรงดันและค่าคงที่แรงดันที่เอาต์พุตด้วย ส่วนประกอบงานกันเป็นลำดับดังนี้

แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ จะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวน และจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์คอน-เวอร์เตอร์ โดยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ50 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิ่ง เพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่าต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลง จะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสียก่อนจึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย



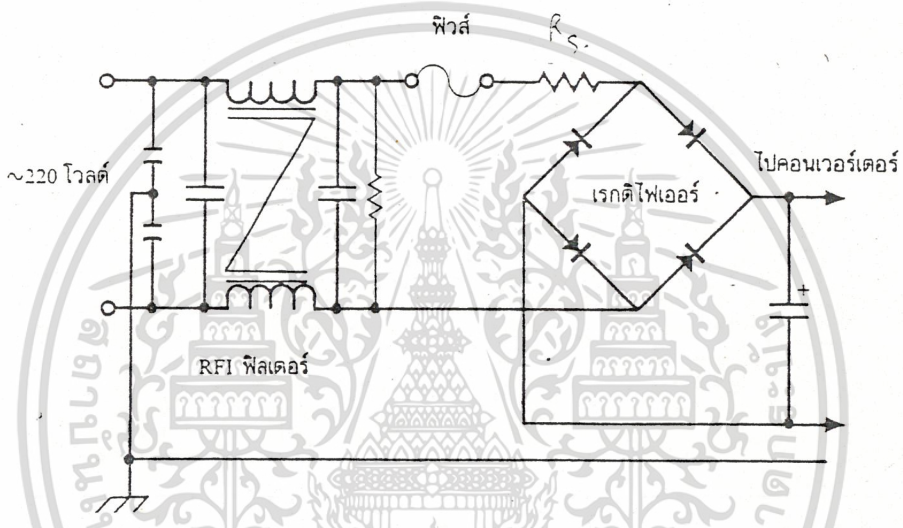
รูป 4.2 แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลัก

4.3 วงจรส่วนอินพุตของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ แรงดันไฟสลับจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟตรงเสียก่อนด้วยวงจรในส่วนอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อส่งต่อไปให้คอนเวอร์เตอร์ลดทอนและคงค่าแรงดันอีกทีหนึ่ง ตัวอย่างการจัดวงจรที่อินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายอาจเป็นได้ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยวงจรส่วนอินพุตอาจแบ่งออกได้เป็นส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เรกติไฟเออร์ (Rectifier)
2. ฟิวส์ (Fuse)
3. FRI ฟิลเตอร์ (RFI Input Filer)



รูป 4.3 แสดงวงจรส่วนอินพุทของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

4.3.1 เรกติไฟเออร์

เรกติไฟเออร์ นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจร ในส่วนอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และจะเป็นตัวกำหนดค่าอัตตราทนกระแสของฟิวส์และ RFI ฟิลเตอร์ จึงจะขอกล่าวถึงเป็นอันดับแรก เรกติไฟเออร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัวคือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C และไดโอดเรกติไฟเออร์ D_1-D_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S จะมีประโยชน์มากในวงจรเรกติไฟเออร์ R_S จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่จะเกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขณะชาร์จประจุจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย จึงต้องมี R_S เป็นตัวจำกัดกระแสกระชากในวงจรเรกติไฟเออร์
2. ตัวเก็บประจุฟิวเตอร์ C จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด D_1 - D_4 ให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่คอนเวอร์เตอร์ต้องการการทำงานของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C ในวงจรเรกติไฟเออร์จะเป็นไปลักษณะของการชาร์จและคายประจุ
3. ไดโอดเรกติไฟเออร์ D_1 - D_4 มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับคอนเวอร์เตอร์

4.3.2 ฟิวส์

ฟิวส์มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ ป้องกันอุปกรณ์เสียหายเนื่องจากกระแสเกิน และเพื่อแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟกรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น การเลือกใช้ฟิวส์เพื่อใช้ในส่วนของวงจรเรกติไฟเออร์ในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้น มีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ค่าอัตราการทนแรงดัน
2. ค่าอัตราการทนกระแส

4.3.3 RFI **อินพุตฟิลเตอร์**

การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันที่ค่ากระแสสูง ๆ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จึงเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอก ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวน RFI ที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายก็ คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณ RFI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน คอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้ คอนเวอร์เตอร์แบบใด สำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับ คอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่ คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์

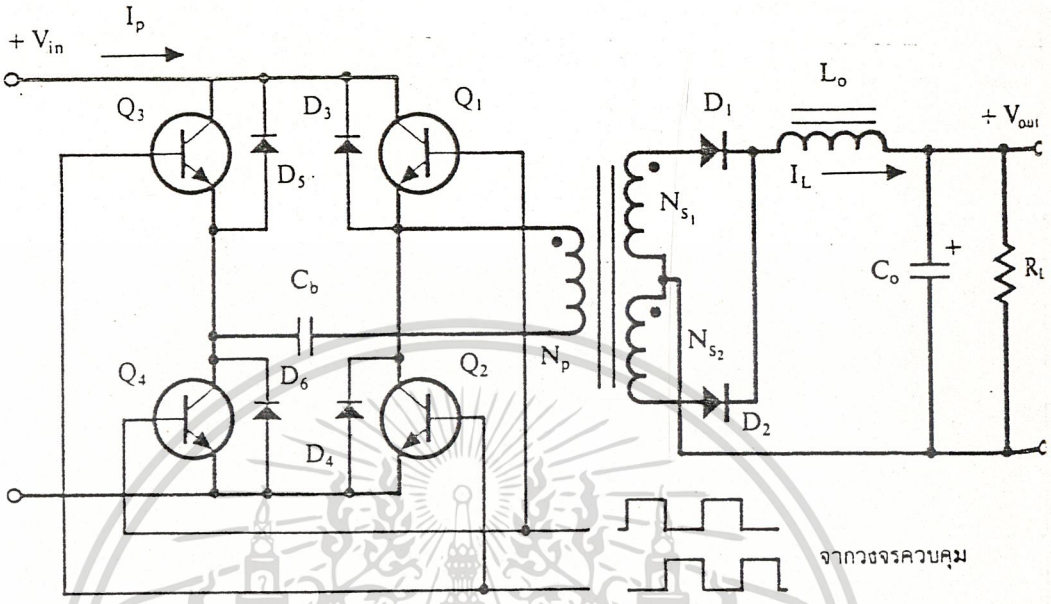
คอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ในตลาดอุตสาหกรรมของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย คือ

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์
2. ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์
3. พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์
5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษาจากวงจรของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่นำมาใช้ในโครงงานนี้ วงจรส่วนคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ดังรูป 4.3

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ มีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมด 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย Q_1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q_4 และ Q_2 จะนำกระแสพร้อมกับ Q_3 กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี่ของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ ขณะทำงานที่ขดไพรมารี่จึงมีค่าต่ำกว่า ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.4 แสดงวงจรพื้นฐานของฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

4.5 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย จะมีการทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์และมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากโหลดที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่ง ในการเปลี่ยนสถานะของตัวมันเมื่อจะเริ่มนำกระแส และเมื่อจะหยุดนำกระแส รวมทั้ง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังมีแรงดันตกคร่อมตัวมันขณะนำกระแสอีกด้วย การเปลี่ยนสถานะและแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสจะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขึ้นในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้น ก่อนจะนำเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะการเกิดกำลังงานสูญเสียและเทคนิคการลดกำลังงานสูญเสียที่จะเกิด เพื่อยืดอายุการใช้งาน และให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มากที่สุดด้วย

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ปัจจุบันไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ถูกเพาเวอร์มอสเฟต เข้ามาแทนที่อย่าง รวดเร็ว เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตใช้เวลาในช่วงเปลี่ยนสถานะสั้นจึงเกิดกำลังงานสูญเสียต่ำกว่าและใช้งานที่ความถี่สูง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตามไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงมีข้อดีอยู่ คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีราคาถูกกว่า รวมทั้งการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทำงานได้เร็วขึ้นเพื่อให้ใช้งานได้ที่ความถี่สูง ๆ และลดกำลังงานสูญเสียยังคงมีกระทำกัน อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงยังคงมีใช้งานในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ที่มีผลิตจำหน่ายในตลาดอุตสาหรรม และมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาให้เข้าใจ ลักษณะการทำงานและการเกิดกำลังงานสูญเสียของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาไว้ด้วย

4.5.1 วงจรขับกระแสไบแอส

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้ กระแสไบแอสที่ขาเบส เพื่อให้นำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแส ไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้น การจัดวงจรขับกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน

วงจรขับกระแสไบแอสนั้นโดยทั่วไปจะทำได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ และวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์ สำหรับคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปที่ใช้ ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และมีกำลังต่ำกว่า 500 วัตต์ มักนิยมใช้วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่โดยวงจรขับกระแส จะ ให้กระแสเบสที่มีค่าคงที่ ด้วยค่ากระแสที่มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่จุดอิ่มตัว อยู่ตลอดเวลา แต่วิธีนี้จะให้ค่าประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสค่อนข้างสูง และใช้เวลา นานในการหยุดนำกระแส ในขณะที่วงจรกระแสไบแอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนนั้น ค่ากระแสไบแอส ที่ขาเบสจะขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดขึ้นน้อย การหยุดนำกระแสจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า จึงมักนิยมใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่กำลังสูง ๆ เท่านั้น

4.6 วงจรสนับเบอร์

วงจรสนับเบอร์ เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสีย และป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจร ขณะทำงานปกติ วงจรสนับเบอร์ในที่นี้อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสและวงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน วงจรสนับเบอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุและไดโอด ในบางครั้งจึงเรียกกันว่า วงจร RCD สนับเบอร์

4.6.1 วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กำลังสูญเสียที่เกิดในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะเป็นไปได้สูงขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแสนั้น กระแสจะลดลงอย่างช้า ๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันอินพุตอย่างรวดเร็ว กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นสูง

เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้ อาจทำได้โดยการต่อวงจรสนับเบอร์เข้า กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์ และอีมิตเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ

4.6.2 วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

ปกติการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน มักมีสาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินพิกัดปลอดภัย RBSOA แรงดันสไปค์ขณะหยุดนำกระแสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟลายแบดและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันจะทนได้และ เกิดการพังเสียหายขึ้น วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันค่าแรงดันสไปค์ที่เกิดขึ้นไม่ให้เกินค่าปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

4.7 หม้อแปลงสวิตชิ่ง

หม้อแปลงสวิตชิ่ง จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ผู้ออกแบบต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ของหม้อแปลงสวิตชิ่ง ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ และขาดลวดทองแดง หม้อแปลงสวิตชิ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

1 แกนเฟอร์ไรต์

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิ่ง จึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

2 บอบบิ้น

บอบบิ้นหรือแบบรองพื้น ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

3 ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งไพรมารี่ และเซคั่นดารี่ของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบยาพันแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด , ความถี่ และผลข้างเคียงอื่นๆ

4 เทปฉนวน

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่ง และ มีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารี่ และขดเซคั่นดารี่ด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทป ฉนวน อาจเป็นพวกไมลาร์ (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polysester) การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยเป็นหลัก

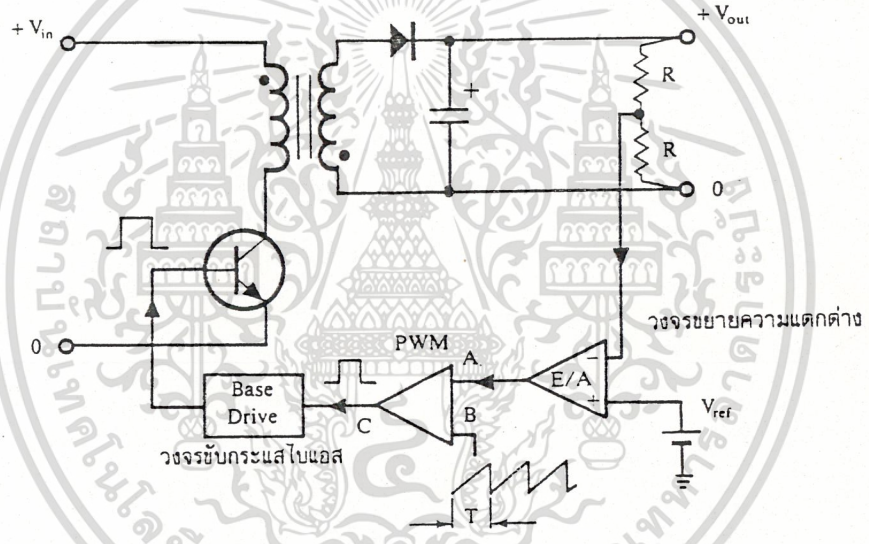
4.8 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วย การควบคุมช่วงเวลานำกระแส (t_{ON}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เนอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก การใช้ PWM เมื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานวงจรควบคุม คือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมจากกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน
(Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระสของเพาเวอร์ทรายซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังรูป



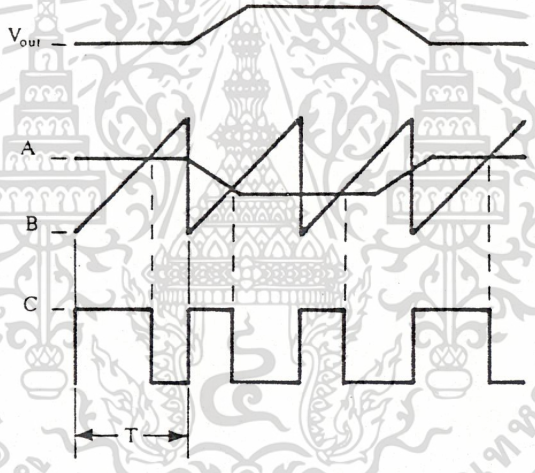
รูป 4.5 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน

จากรูป วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีวามกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดเลชั่นของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A แล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B ค่าความกว้างของพัลส์นั้นนี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเอร์ติ้ง ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180° กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลง และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{ON} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{ON} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเอาไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงานจะเป็นดังรูปที่ ตัวอย่างไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน ได้แก่ เบอร์ MC34060 , MC34166 และ TI 494 เป็นต้น

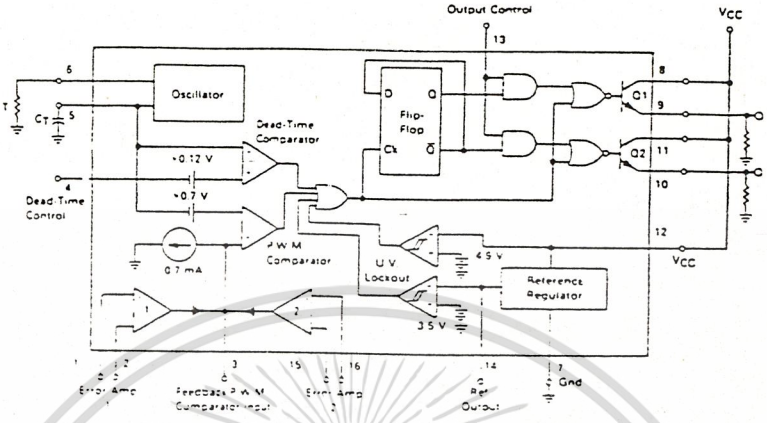


รูป 4.6 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลต
สัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อยตามรูป

4.8.2 ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมดควบคุมจากแรงดัน

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL 494 แสดงในรูป 10 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

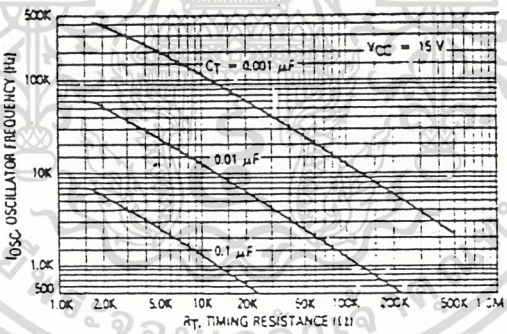
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.7 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494

4.8.3 การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T ภายนอกจากที่ขา 6 และขา 58 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก



รูป 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T C_T ในการกำหนดความถี่

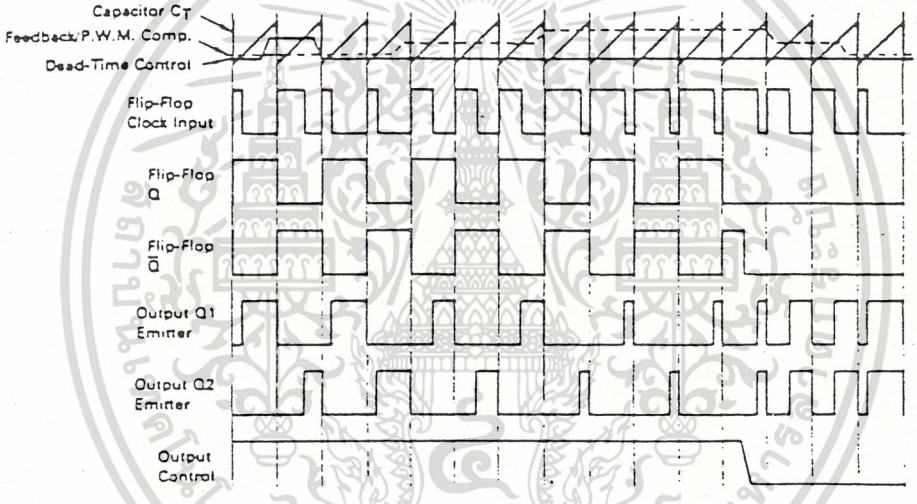
4.8.4 การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error . Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_K ของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ "Low" เท่านั้นซึ่ง C_K จะเป็น "Low" ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์ จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง (V_{cc}-2) โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ "High" (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา Non-intverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ที่ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี



รูป 4.9 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL 494

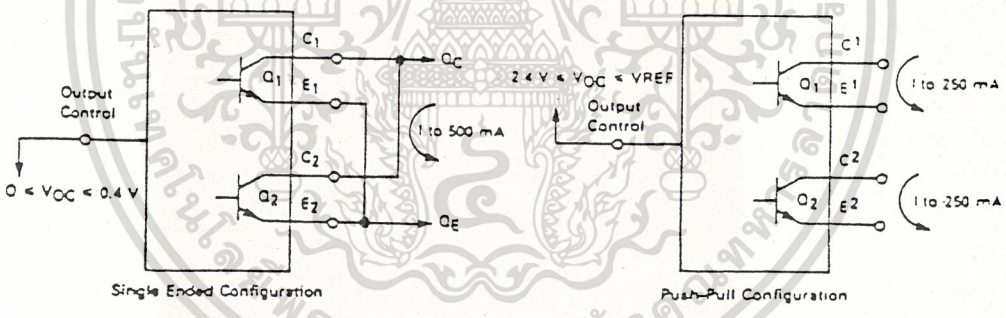
4.8.5 การกำหนดค่าเวลาเผื่อ T_D

TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเผื่อ tD ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตามหากแรงดันที่ขา 47 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเผื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลาทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลา t_{ON} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (Output control) เข้ากับขา 14 ($+15_{ref}$) และมีค่าเท่ากับ 95% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขาลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.6 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output ConTrol) โดยขณะที่ C_T ดีสชาร์จ เอาต์พุตของ Dead-Time Computer จะให้พัลส์ออกมา C_K จะมีสถานะเป็น "High" และหยุดการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น "High" โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 V_{ref}) Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์แบบพุช-พูล ในกรณีนี้คาบเวลาทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น "Low" โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip-Flop) Q_1 และ Q_2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)



รูป 4.10 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL 494

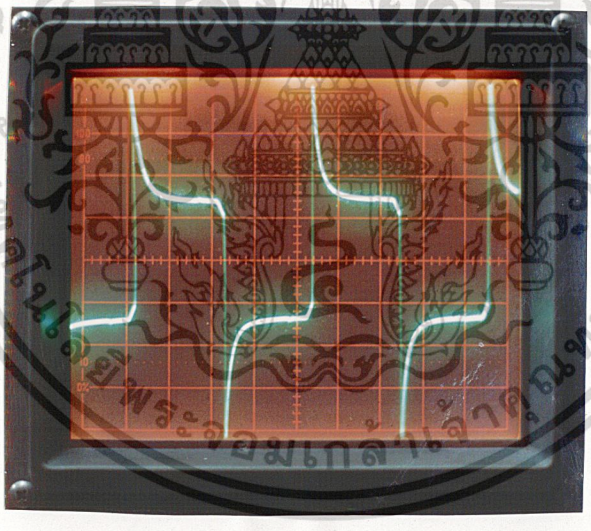
TL 494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง 7 < V_{CC} < 40 โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน Vref = 5 โวลต์ และสมารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง ± 15% ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณและการสร้าง
เตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ

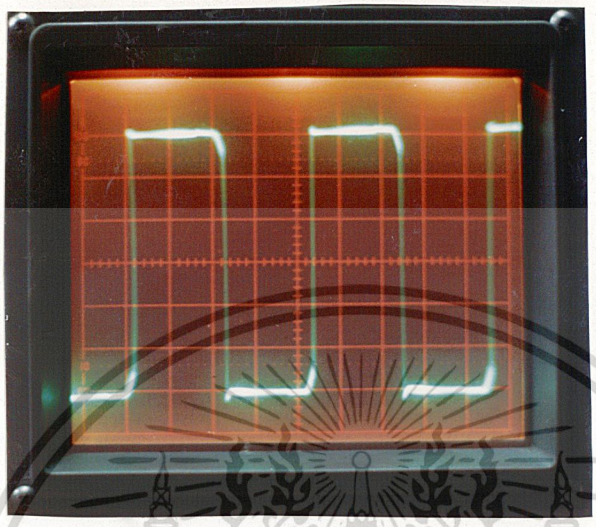
ส่วนประกอบของเตาหลอมโดยหลักการเหนี่ยวนำคือส่วนของสวิตชิ่งเพา เวอร์ซัพพลาย ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนไฟสลับ 220 V เป็นไฟกระแสตรงความถี่สูงโดยป้อนไฟเข้าวงจรอินพุท คือส่วนของวงจรเรคติไฟเออร์และฟิลเตอร์ ส่งผ่านไปยังเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ แล้วต่อเข้าไปยังหม้อแปลงสวิชชิ่ง ผ่านต่อไปยังวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดัน แล้วส่งเป็นเอาท์พุทออกไปยัง โหลดที่ต้องการโดยมีส่วนป้อนกลับมายังวงจรควบคุม แล้วส่งต่อเข้าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่อไปแต่การสร้างเตาหลอมโดยหลักการเหนี่ยวนำ เราตัดไฟเอาจากส่วนหม้อแปลงสวิตชิ่งออกมาเลย โดยจะได้เป็นไฟสลับความถี่สูงขนาด จากรูป 5.1



รูป 5.1 สัญญาณเอาท์พุทจากส่วนหม้อแปลงสวิตชิ่ง
มาตราส่วน 2V/div , 5 usec/div , PROB x10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนของอินพุทเข้าหม้อแปลงสวิตชิ่ง เป็นดังรูป 5.2



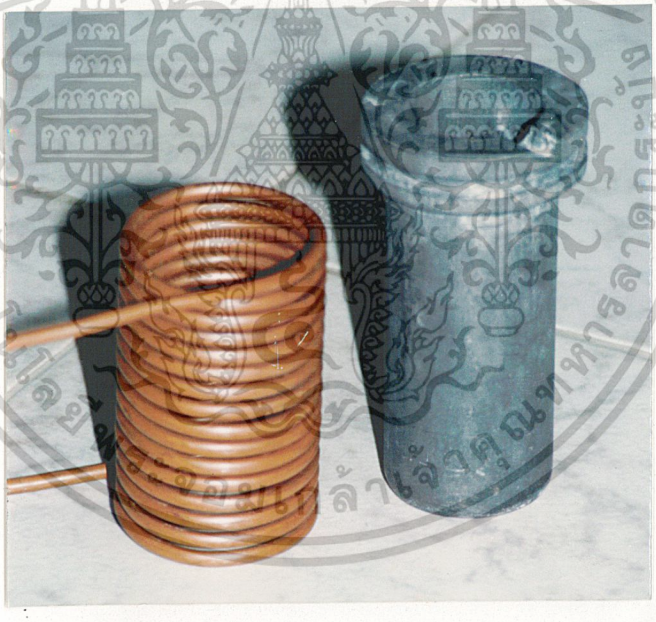
รูป 5.2 สัญญาณอินพุทจากส่วนของหม้อแปลงสวิตชิ่ง
มาตราส่วน 10 V/div , 5 usec/div PROB x10

จากรูปสัญญาณเราจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟที่ออกมาจากหม้อแปลงเป็นสัญญาณไฟสลับ ประมาณ 60 V_{P-P} ความถี่ ส่วนสำคัญอีกส่วนของเตาหลอมเหนี่ยวนำ คือ ส่วนของขดลวดทองแดงเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นตัวสร้างฟลักซ์แม่เหล็กให้ไหลผ่านไปยังเบ้าหลอมเพื่อให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในเบ้าหลอม แล้วส่งผ่านความร้อนต่อไปยังชิ้นงาน การหาขนาดของเส้นลวดทองแดง,จำนวนรอบของขดลวดเพื่อทำตัวคอยล์ ให้เหมาะสมกับเบ้าหลอมที่เลือกไว้ ทำโดยการทดลอง ขดที่ดึงกระแสเข้ามากที่ สุด ได้รับพลังงานเข้ามากที่สุด เป็นขดที่เหมาะสมกับขนาดของเบ้าหลอม โดยในโครงงานนี้ เลือกขนาดขดลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดโดยขดเป็นวงกลมให้ชิดเบ้าหลอมมากที่สุด แต่ต้องไม่ติดกัน เพราะจะเกิดการลัดวงจร จำนวนรอบของขดที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 12 ขด ส่วนวิธีการหาดูได้จากการทดลองในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

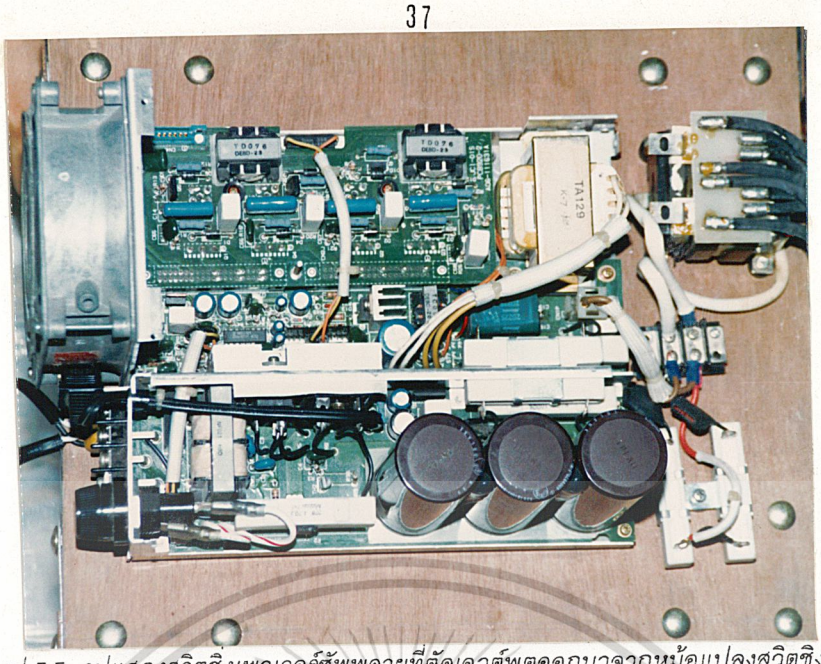


รูป 5.3 ลักษณะของเบ้าหลอมที่ทำจากกราไฟต์



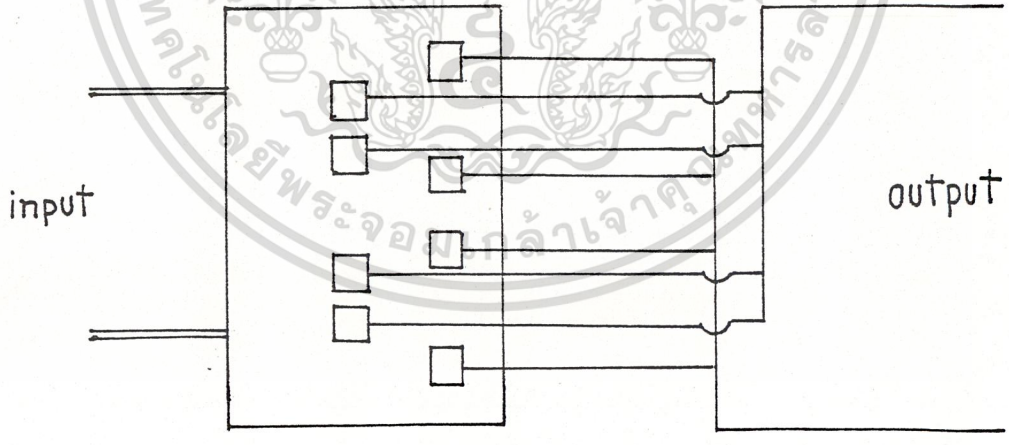
รูป 5.4 ลักษณะของขดลวดทองแดงเทียบกับเบ้าหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



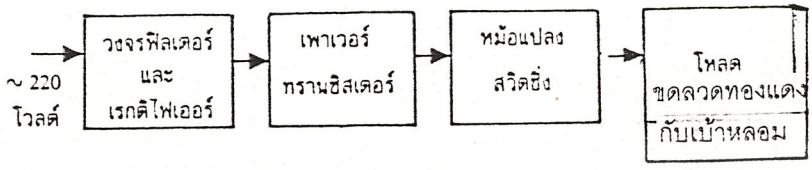
รูป 5.5 รูปแสดงสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ตัดเอาต์พุตออกมาจากหม้อแปลงสวิตชิง

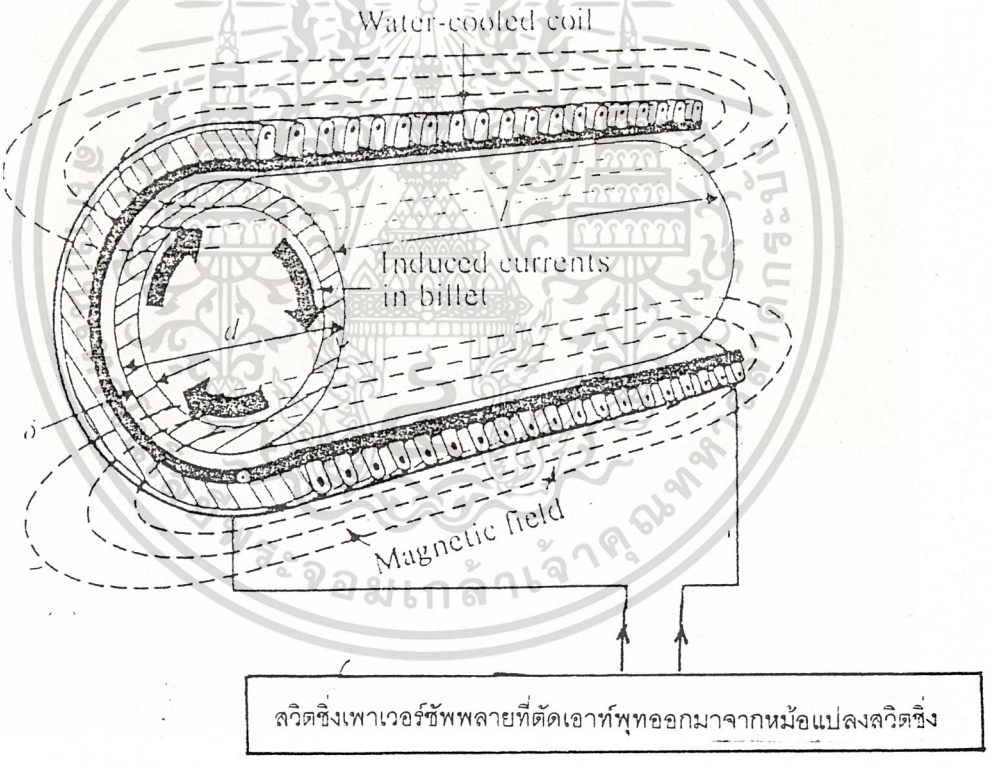
เมื่อได้ขนาดขดลวดจำนวนรอบที่เหมาะสมกับเบ้าหลอมแล้ว นำ เอาต์พุตจากส่วนของหม้อแปลงสวิตชิ่งมาจ่ายให้กับขดลวดโดยเอาต์พุตจากหม้อแปลงสวิตชิ่งมีสายออกมา 8 เส้นต้องหา Dot ของหม้อแปลงแล้วนำสายที่มีขั้วตรงกันมารวมกัน โดยผลจากการหาขั้วของหม้อแปลงออกมาดังรูป



รูป 5.6 แสดงการรวมสายที่มีขั้วเดียวกันรวมกันของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูป 5.7 แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักของเตาหลอมเหนี่ยวนำ

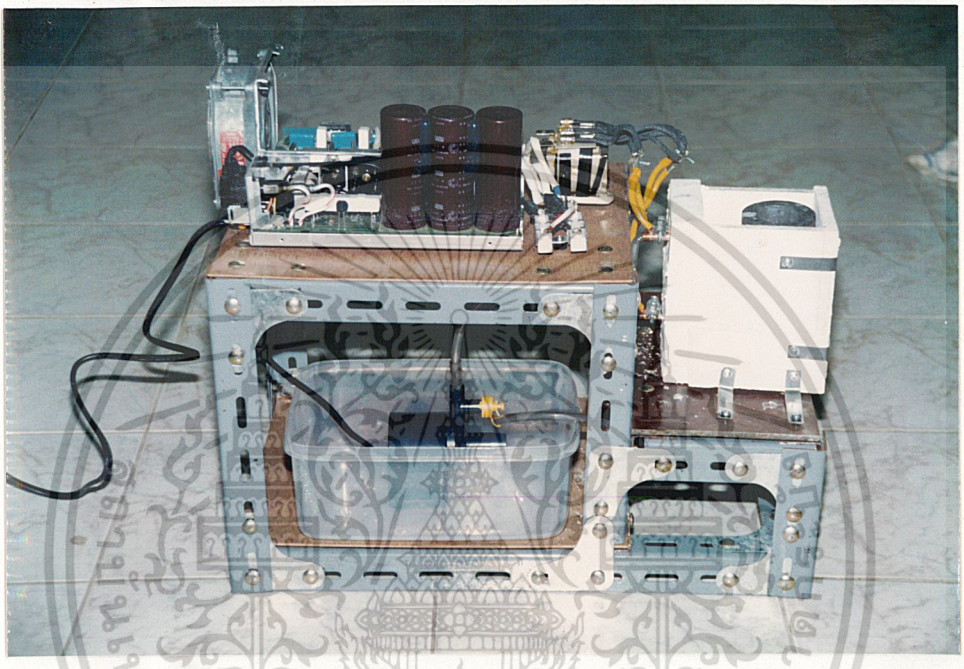
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเบ้าหลอมเมื่อทำงานจนถึงจุดหนึ่งอุณหภูมิจะเริ่มคงที่เป็นเพราะเกิดสมดุลทางความร้อน คือพลังงานความร้อนที่ให้เท่ากับพลังงานความร้อนที่ออก เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันการแผ่ความร้อนหรือการสูญเสียความร้อนออกจากเบ้าหลอมกระจายสู่บรรยากาศภายนอก สามารถทำได้โดยการนำแผ่นกันความร้อนมาปิดกั้นความร้อนไม่ให้กระจายออกไปมากเกินไป ลักษณะการจัดอุปกรณ์ในเตาหลอม ดูจากรูปที่ 5.8



รูป 5.8 ลักษณะของการอุปกรณ์ในเตาหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.9 ลักษณะของโครงงานที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบและผลการทดลอง

6.1 การเลือกขนาดขดลวดทองแดงและจำนวนรอบให้เหมาะสมที่สุด

<u>วัตถุประสงค์</u> 1. เพื่อให้ได้ขนาดขดลวดทองแดงและจำนวนรอบที่เหมาะสมกับเบ้ามากที่สุด (Match กับแหล่งจ่ายพลังมากที่สุด)

2. เพื่อให้ดึงพลังงานมากที่สุด เพื่อให้เกิดพลังงานความร้องได้มาทที่สุดด้วย.

<u>วิธีการทดลอง</u>

การเลือกขนาดขดลวดและจำนวนรอบของขดลวดให้เหมาะสมกับเบ้าหลอม โดยใช้ การทดสอบโดยจะทดลองจาก จำนวนรอบมากที่สุดพันเต็มเบ้าหลอม และลดจำนวนลงทีละรอบ แล้วทดลองเปลี่ยนขนาดขดลวด โดยทดสอบแบบเดิม โดยเน้นให้ชิดเบ้าหลอมมากที่สุด แต่ต้อง ไม่ติดกับเบ้าหลอม แล้วบันทึกผลการทดลอง ดูค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสอินพุต (A′)และพลังงานอินพุต (W) ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะแปรผันตามกัน แล้วบันทึกการทดลองในตาราง 5.1,5.2,5.3 ตามลำดับ.

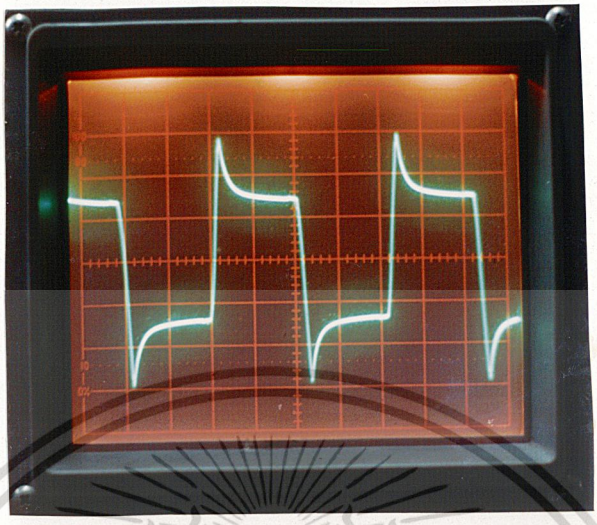
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 ผลการทดลอง ขดลวดขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง4.5 mm)

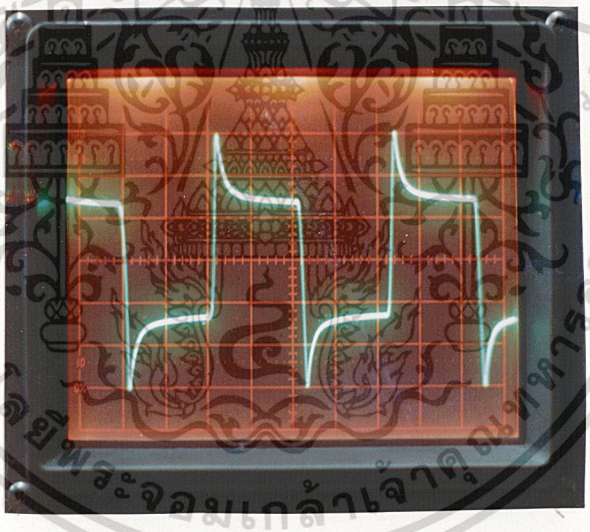
จำนวนรอบ	LOAD	$I_{i/p}$ (A)	$W_{i/p}$ (W)
15	no load	0.4	110
	load	1.9	420
14	no load	0.4	110
	load	2.0	450
13	no load	0.4	110
	load	2.05	460
12	no load	0.45	120
	load	2.1	470
11	no load	0.45	120
	load	2.15	480
10	no load	0.5	130
	load	2.1	460
9	no load	0.5	130
	load	2.0	440

ตาราง 6.1 ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 mm.
ขดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.1 (a)



6.1 (b)

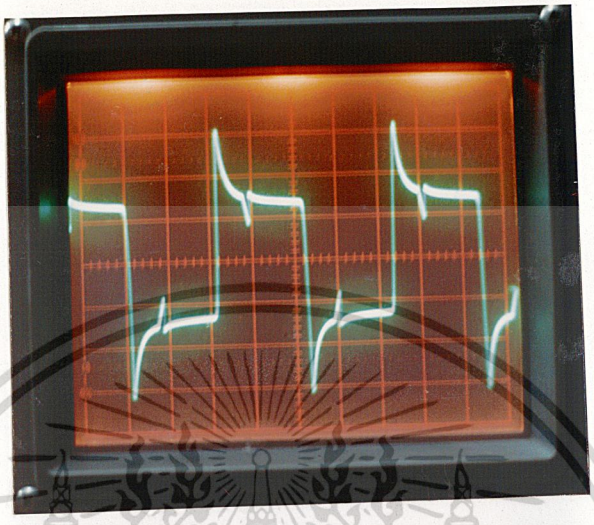
รูป 6.1 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง จำนวนรอบ คอยล์ = 15

มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div PROB x 10

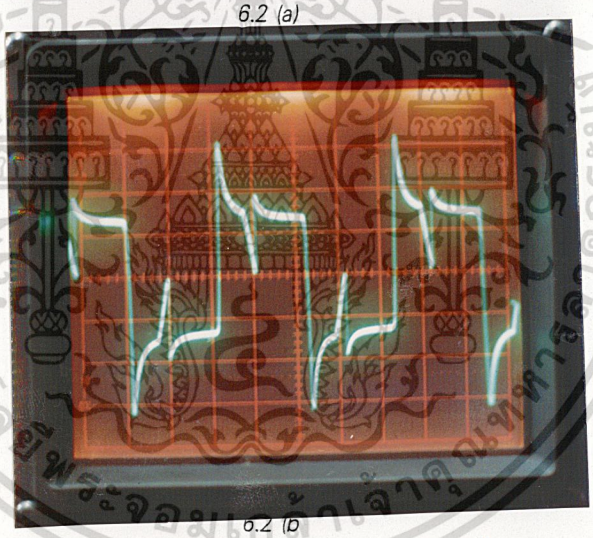
6.1 (a) no load

6.1 (b) load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.2 (a)



6.2 (b)

รูป 6.2 แสดงแรงดันเอาต์พุทของหม้อแปลง มี โหลด
มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div PROB x10

6.2 (a) จำนวนรอบ คอยล์ = 13 รอบ

6.2 (b) จำนวนรอบ คอยล์ = 11 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 ผลการทดลอง ขดลวดขนาดกลาง (เส้นผ่าศูนย์กลาง5.5 mm)

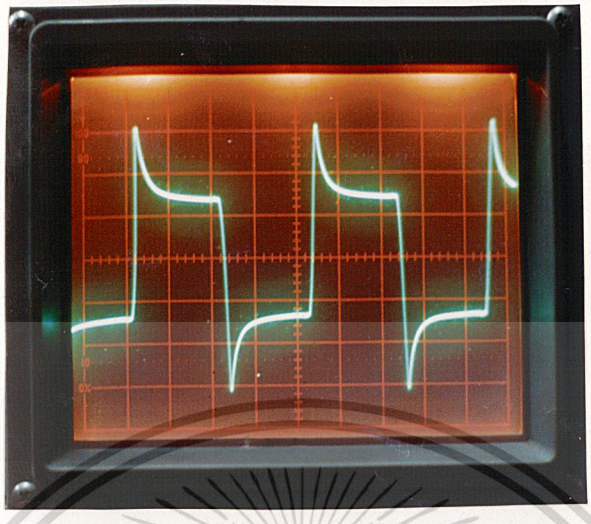
จำนวนรอบ	LOAD	$I_{i/p}$ (A)	$W_{i/p}$ (W)
12	no load	0.4	110
	load	2.15	480
11	no load	0.5	120
	load	2.1	470
10	no load	0.5	120
	load	2.0	440
9	no load	0.5	125
	load	1.9	420
8	no load	0.5	125
	load	1.7	380
7	no load	0.5	125
	load	1.5	340

ตาราง 6.2

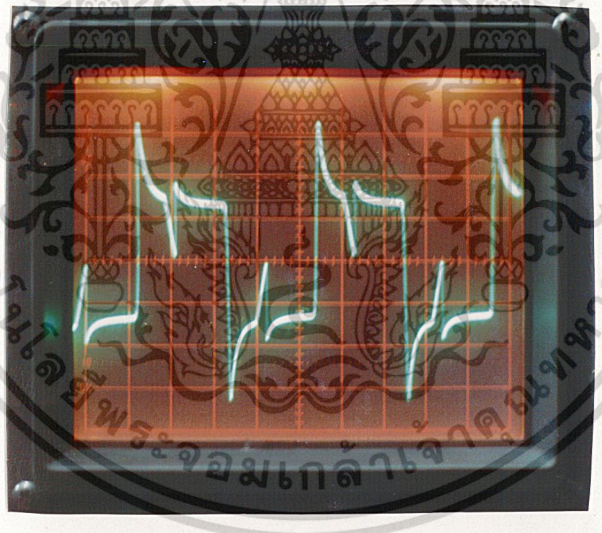
ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร

ขดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.3 (a)



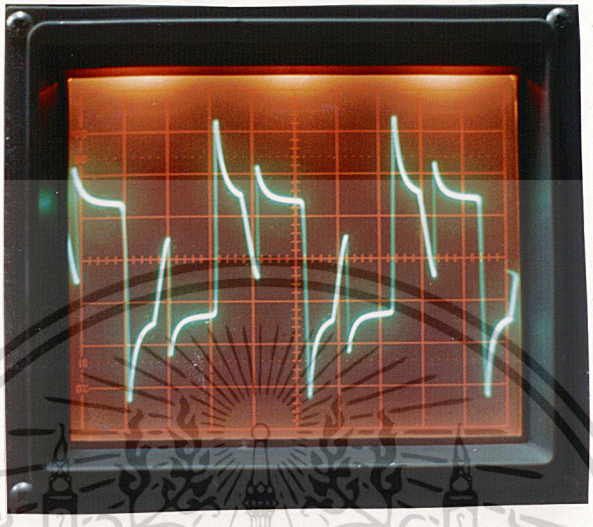
6.3 (b)

รูป 6.3 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง จำนวนรอบ คอยล์ = 12
มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div , PROB x10

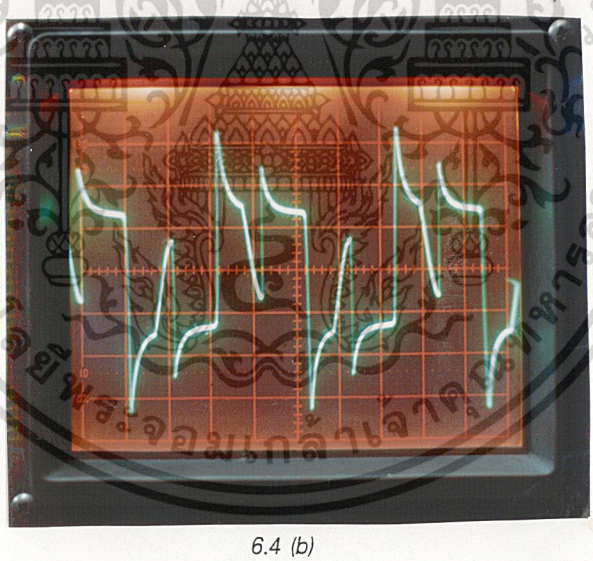
5.3 (a) nolode

5.3 (b) lode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.4 (a)



6.4 (b)

รูป 6.4 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง มี โหลด

มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div PROB x10

6.4 (a) จำนวนรอบ คอยล์ = 11 รอบ

6.4 (b) จำนวนรอบ คอยล์ = 10 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 ผลการทดลอง ขดลวดขนาดใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลาง7.0 mm)

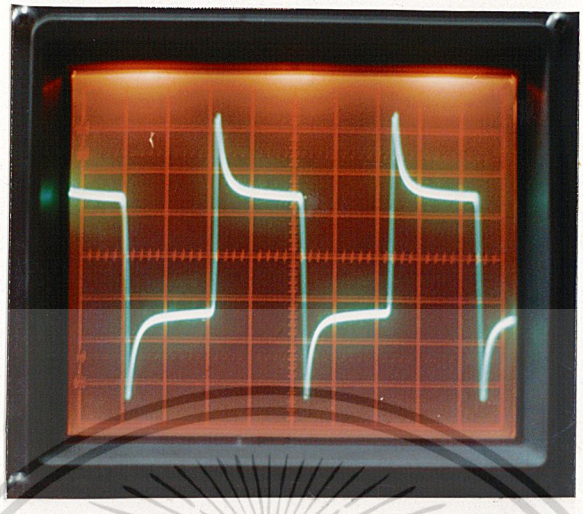
จำนวนรอบ	LOAD	$I_{i/p}$ (A)	$W_{i/p}$ (W)
9	no load	0.5	135
	load	1.7	380
8	no load	0.5	135
	load	1.5	345
7	no load	0.5	135
	load	1.4	340
6	no load	0.5	140
	load	1.2	280
5	no load	0.4	170
	load	0.9	220

ตาราง 6.3

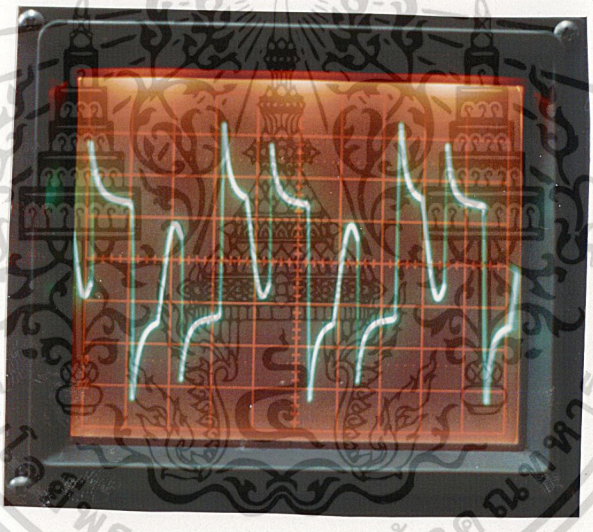
ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.0 มิลลิเมตร

ขดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.5 (a)



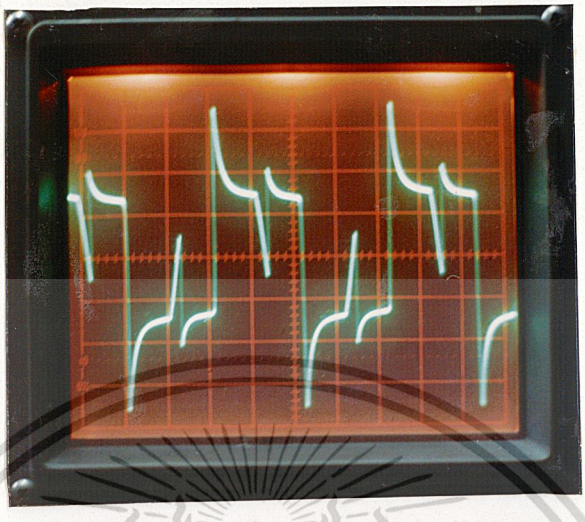
6.5 (b)

รูป 6.5 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง จำนวนรอบ คอยล์ = 9
มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div PROB x10

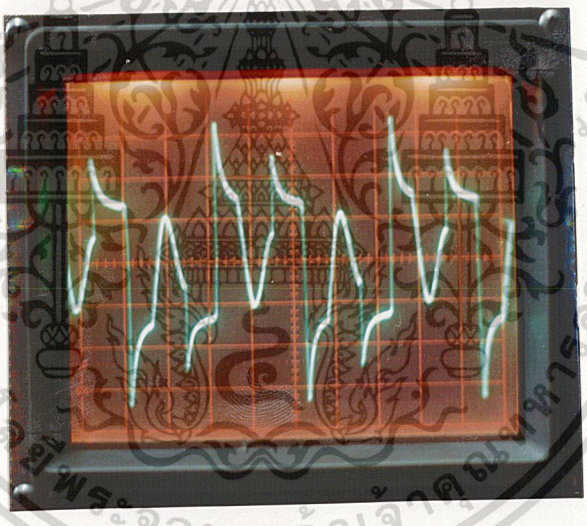
5.5 (a) ไม่มี โหลด

5.5 (b) มี โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.6 (a)



6.6 (b)

รูป 6.6 แสดงแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง จำนวนรอบ คอยล์ = 6

มาตราส่วน 2 V/div , 5 usec/div PROB x10

6.6 (a) no load

6.6 (b) load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 <u>ผลการทดลอง</u> อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเทียบกับ เวลาของเบ้าหลอมเปรียบเทียบกันระหว่าง มี Water cooling กับไม่มี Water cooling (โดยดูอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 30 วินาที)

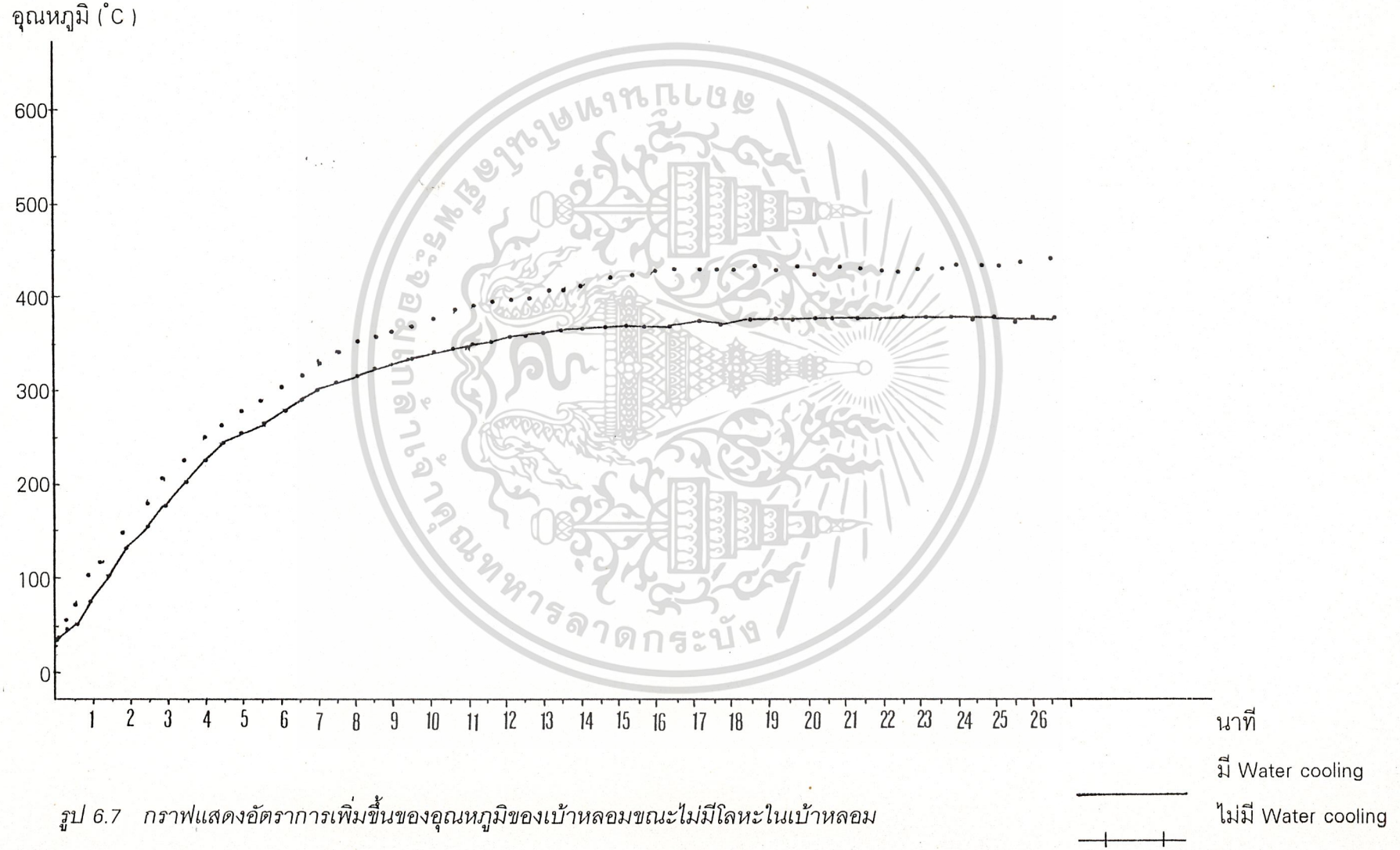
เวลา (นาที)	อุณหภูมิของเบ้าหลอม (°C)	
	มี Wate cooling	ไม่มี Water cooling
Start 0	28	28
0.30	52	55
1.00	81	84
1.30	110	116
2.00	137	148
2.30	163	175
3.00	187	196
3.30	203	216
4.00	219	233
4.30	236	251
5.00	250	269
5.30	262	283
6.00	273	295
6.30	283	307
7.00	291	318
7.30	298	329
8.00	303	340
8.30	309	349
9.00	314	357
9.30	317	365
10.00	321	374
10.30	325	380
11.00	328	387
11.30	330	393
12.00	332	390
12.30	333	394

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของเบ้าหลอม (°C)	
	มี Wate cooling	ไม่มี Water cooling
13.00	334	402
13.30	335	405
14.00	336	411
14.30	336	415
15.00	337	426
15.30	338	430
16.00	340	431
16.30	341	437
17.00	341	440
17.30	342	443
18.00	342	445
18.30	342	447
19.00	341	449
19.30	341	449
20.00	342	453
20.30	342	454
24.00	342	455
24.30	342	455

ตาราง 6.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเบ้าหลอมขณะไม่มีโลหะในเบ้าหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.7 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเบ้าหลอมขณะไม่มีโลหะในเบ้าหลอม

6.3 **ผลการทดลอง** หลอมโลหะผสมตะกั่วดีบุกโดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 วินาที

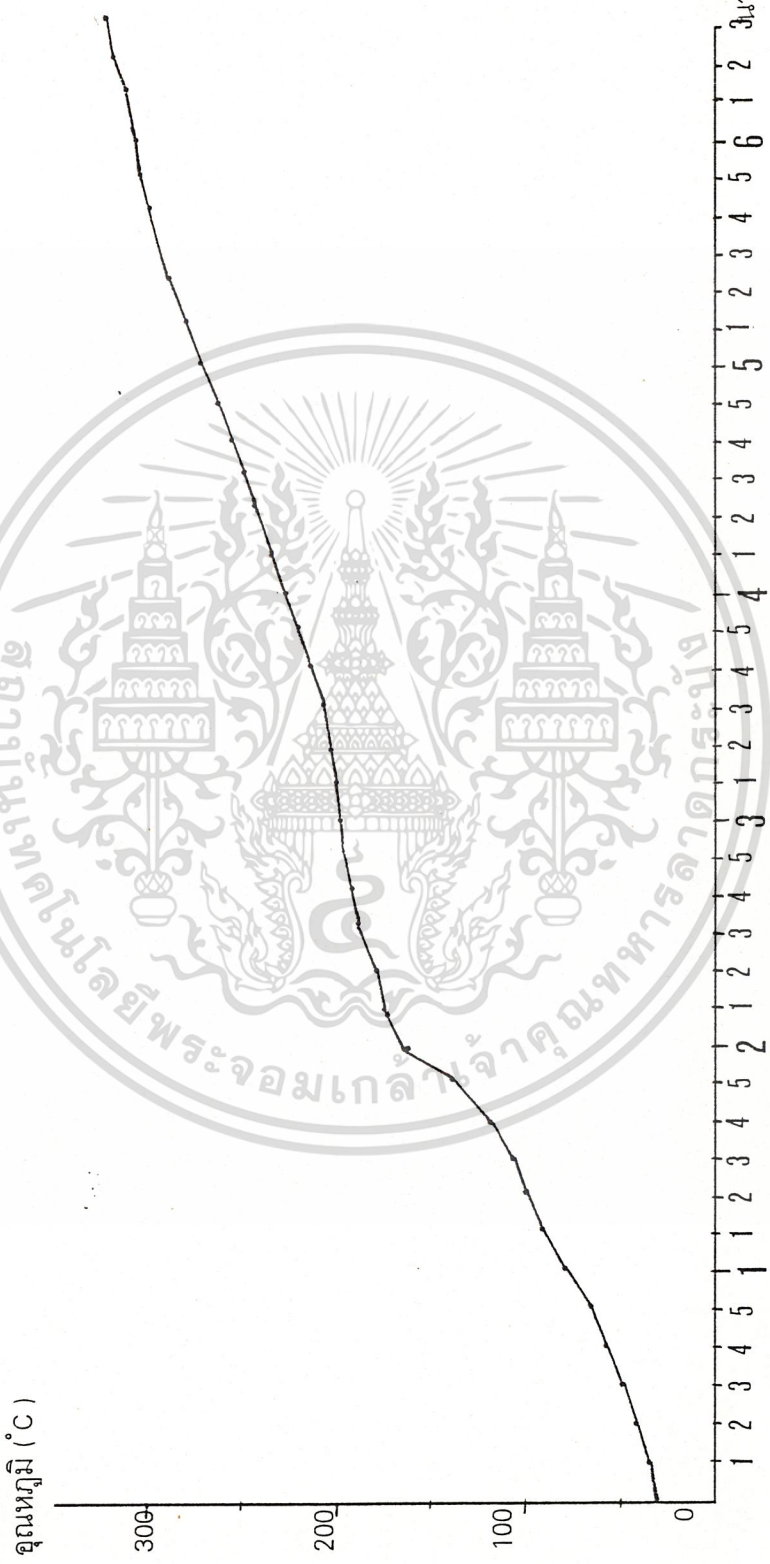
เวลา (นาที)	อุณหภูมิของโลหะผสมตะกั่วกับดีบุก (°C)
Start 0	28
0.1	33
0.2	38
0.3	45
0.4	55
0.5	65
1	77
1.1	97
1.2	105
1.3	118
1.4	133
1.5	148
2	160
2.1	168
2.2	177
2.3	179
2.4	180
2.5	184
3	187
3.1	193
3.2	197
3.3	203
3.4	212
3.5	221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของโลหะผสมตะกั่วกับดีบุก (°C)
4	229
4.1	236
4.2	240
4.3	247
4.4	255
4.5	259
5	270
5.1	274
5.2	280
5.3	286
5.4	292
5.5	299
6	301
6.1	305
6.2	309
6.3	315
6.4	319
6.5	319

ตาราง 6.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลหะผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.8 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของโลหะผสมตะกั่วดีบุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการทดลอง หลอมโลหะทองแดงโดยดูอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 30 วินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของทองแดง (°C)
Start 0	29
0.30	30
1.00	31
1.30	42
2.00	47
2.30	52
3.00	58
3.30	65
4.00	74
4.30	81
5.00	89
5.30	95
6.00	103
6.30	110
7.00	116
7.30	123
8.00	130
8.30	136
9.00	143
9.30	149
10.00	156
10.30	162
11.00	167
11.30	172
12.00	177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของทองแดง (°C)
12.30	187
13.00	193
13.30	196
14.00	203
14.30	206
15.00	210
15.30	215
16.00	219
16.30	222
17.00	227
17.30	230
18.00	234
18.30	238
19.00	240
19.30	244
20.00	247
20.30	250
21.00	253
21.30	256
22.00	260
22.30	261
23.00	264
23.30	266
24.00	268
24.30	270
25.00	272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของทองแดง (°C)
25.30	274
26.00	275
26.30	277
27.00	278
27.30	280
28.00	281
28.30	283
29.00	284
29.30	285
30.00	285
30.30	286
31.00	283
31.30	284
32.00	286
32.30	285
33.00	286
33.30	287
34.00	289
34.30	290
35.00	291
35.30	293
36.00	294
36.30	296
37.00	297
37.30	299
38.00	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของทองแดง (°C)
38.30	301
39.00	301
39.30	301
40.00	301
40.30	302
41.00	302
41.30	302
42.00	304
42.30	304
43.00	304
43.30	304
44.00	304
44.30	305
45.00	305
45.30	306
46.00	307
46.30	307
47.00	307
47.30	308
48.00	310
48.30	313
49.00	312
49.30	311
50.00	310
50.30	312
51.00	311

ตาราง 6.6 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของโลหะทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทวิจารณ์และสรุป

โดยหลักการของการหลอมโลหะโดยอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำและกระแสไหลวนในเบ้าหลอมที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุโลหะที่ต้องการหลอม ให้เกิดความร้อนขึ้น พลังงานความร้อนที่เกิดจะขึ้นอยู่กับขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็ก,ความถี่ของสนามแม่เหล็ก , ระยะห่างระหว่างขดลวด (coil) กับเบ้าหลอม และสภาพความต้านทานของสาร ระบบการหลอมโลหะในโครงการนี้ เป็นการหลอมโลหะประเภทที่ไม่นำสารแม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่า สารไดอะแมกเนติก เช่น ทอง อลูมิเนี่ยม เงิน ตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งทำให้ต้องส่งผ่านพลังงานไปสู่เบ้าหลอมที่ทำด้วยกราไฟต์แทน ถึงแม้ว่ากราไฟต์จะเป็นสารไดอะแมกเนติก เช่น เดียวกับโลหะที่ต้องการหลอม แต่กราไฟต์มีสภาพความต้านทานสูงมากกว่าโลหะที่นำมาหลอล ทำให้เกิดพลังงานความร้อนได้มากและถ่ายเทความร้อนสู่โลหะที่จะหลอมละลาย แต่เนื่องจากกราไฟต์ ซึ่งแม้จะมีความต้านทานสูงแต่ก็สามารถนำกระแสได้บ้าง จึงทำให้ไม่สามารถพันขดลวดชิดติดเบ้าหลอมได้ จึงมีระยะห่างระหว่างขดลวดกับเบ้าหลอม ทำให้การส่งผ่านพลังงานไม่ดีพอ พลังงาน ความร้อนจึงไม่มากเท่าที่ควร ถ้าสามารถลดระยะห่างของขดลวดกับเบ้าหลอมให้น้อยลงเท่าไร พลังงานความร้อนก็จะได้มากขึ้น นอกจากนี้ในขดลวดทองแดงเมื่อมีกระแสปริมาณมากไหลผ่านจะ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากความสัมพันธ์ I^2R เป็นส่วนที่สูญเสีย จึงต้องมีการระบายความร้อน ในโครงงานนี้ใช้น้ำระบายความร้อน (water cooling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

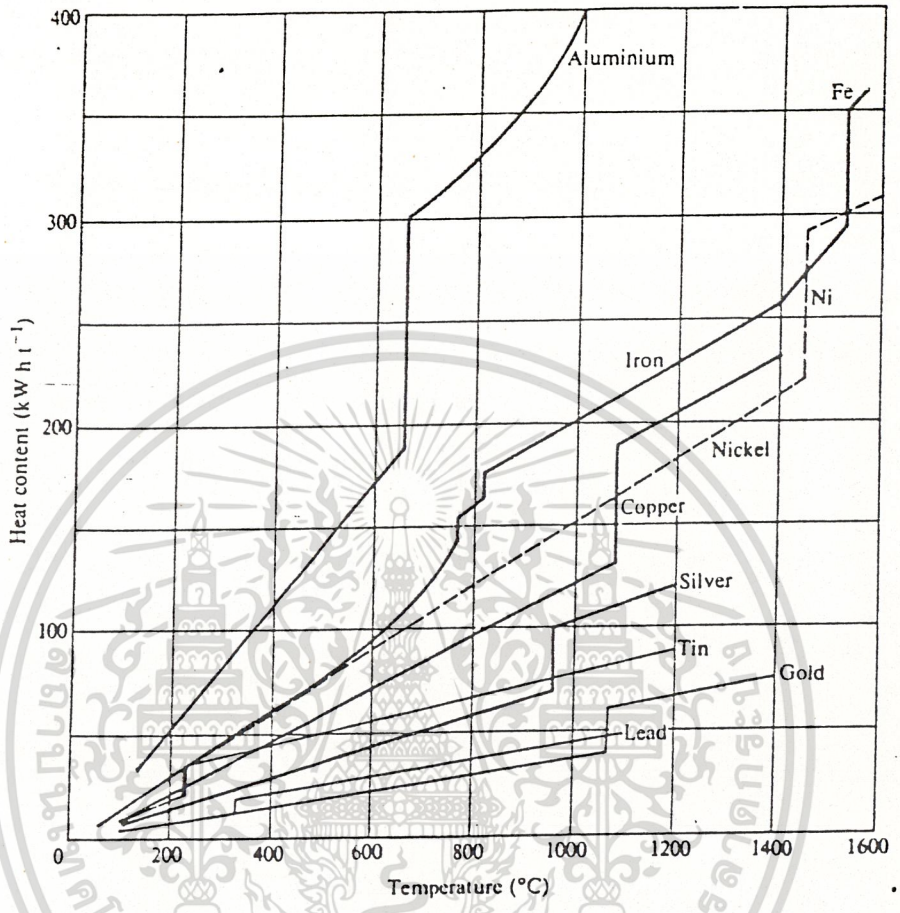
ภาคผนวก

ข้อมูลจุดหลอมเหลวของโลหะต่างๆ

ชนิดโลหะ	จุดหลอมเหลว (°C)	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (J/Kg.K)	ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ (KJ/Kg)
Aluminium	660	900	264
Copper	1084	377	134
Gold	1063	136	64.5
Silver	962	231	88.3
Lead	327	126	24.5
Nickel	1450	439	191

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดง ข้อมูลต่างๆของโลหะบางชนิดอุณหภูมิบรรยากาศ , 20̊C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

George Chrgsis "High Frequency Switching Power Supplies"
Mc Graw-Hill,1984,

John Davies,Peter Simsom,"Induction Heating Handbook"
Mc Graw-Hill,Inc,1979.

P.C.Sen, "Power Electronics",
Mc Graw-Hill,1987

สุวัฒน์ ดั่น,"เทคนิคและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย",
บริษัท เอนเทลไทย 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ทั้งอาจารย์ประจำภาควิชา พี่ปริญญาโท เพื่อน ๆ นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอแสดงความขอบคุณอาจารย์ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้ปรึกษาช่วยแก้ ปัญหาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน

ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาตร์ พระจอมเกล้าฯลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งข้อมูลแหล่งความรู้ในการค้นคว้าศึกษาทางด้านวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้