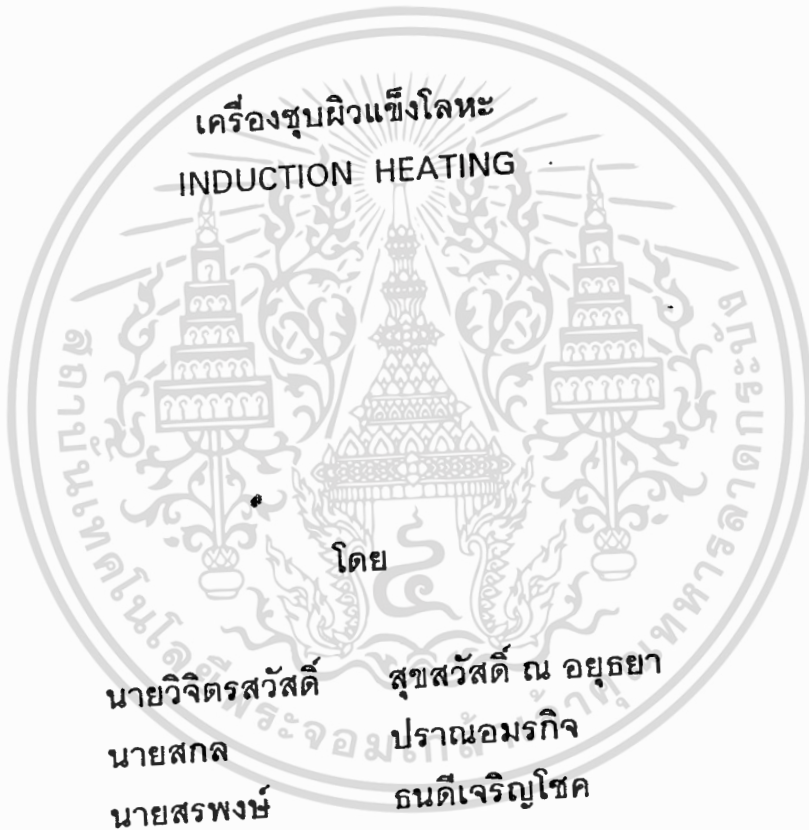




ปีการศึกษา 2537



นายวิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ ออยุธยา
นายสกล ปราณอมรกิจ
นายสรพงษ์ ธนดีเจริญโชค

วัน เดือน ปี..... 18 ม.ค. 2537
เลขทะเบียน..... 004809
เลขเรียกหนังสือ..... T 254109 ๑๖

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2537


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องซูปพิวเชิงโลหะ

ผู้จัดทำ

- 1) นายวิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา
- 2) นายสกล ปราณอมรกิจ
- 3) นายสรพงษ์ ธนดีเจริญโชค

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ)

เครื่องชุบผิวแข็งเหล็ก

นาย วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา

นาย สกล ปราณอมรกิจ

นาย สรพงษ์ ธนดีเจริญโชค

ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

Induction Heating หรือ เครื่องชุบผิวแข็งเหล็ก เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับชุบผิวแข็งเหล็ก โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กความถี่สูง ซึ่งเมื่อสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าในเนื้อเหล็ก และจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเหล็กและกระแสไหลวนที่เคลื่อนตัวในเนื้อเหล็กจะหนาแน่นที่บริเวณใกล้ผิวเหล็กซึ่งผลดังกล่าวเรียกว่า “สกิน เอฟเฟค” (Skin Effect) ความลึกของสกินเอฟเฟคขึ้นอยู่กับความถี่ของสนามแม่เหล็ก ยิ่งความถี่สนามแม่เหล็กสูงกระแสก็จะยิ่งหนาแน่นมากขึ้นบริเวณผิว

โดยเครื่องชุบผิวแข็งเหล็ก (Induction Hardening Machine) ทำงานโดยใช้วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge Converter) ซึ่งมีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Power Transistor) เป็นตัวสวิตชิง และมีหม้อแปลงความถี่สูงเป็นตัวจ่ายพลังงานของเครื่อง ซึ่งเครื่องมีขนาด 1 กิโลวัตต์ ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์

INDUCTION HEATING

Vichitsawat Suksawat Na Ayudhaya

Sakol Pranamornkith

Sorapong Thanadeecharoenchok

Ass.Prof Prapas Praisuwanna Advisor

1994

Abstract

This report is induction heating . Based on the principle when magnetic field varies with time, resulting in induced emf in steel . That cause the eddy current flow in the steel, which make it heated . The eddy current movement in the steel is concentrated at the region near the surface and hence so called " Skin Effect " . The depth of skin effect, or skin depth depends on the vary of frequency of magnetic field .

Induction heating is generated by power transistor connected in switching with a high frequency power transformer . The rating of machine is 1 kW 50 kHz .

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III,IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1	
บทนำ	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีของการเหนี่ยวนำความร้อนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับ	3
การกระจายของสนามแม่เหล็กในเนื้อเหล็ก	3
ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก	9
ความหนาแน่นของกระแสและความเข้มของสนามไฟฟ้า	9
กระแสทั้งหมด	10
กำลังที่เกิดขึ้นในเหล็ก	11
เส้นแรงแม่เหล็ก	13
การเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้า	13
บทที่ 3	
ส่วนประกอบของสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	14
วงจรฟิลเตอร์และเรกติไฟเออร์	14
วงจรสวิทชิง	17
การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์	19
ลักษณะการเป็นสวิทช์ของทรานซิสเตอร์	19
การขับนำเบสของทรานซิสเตอร์	20
วงจรควบคุม	23
พื้นฐานการทำงานของ PWM	23
หม้อแปลงความถี่สูง	25
Ferrite Transformer	25
การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหม้อแปลงแบบ Area Product	34
ส่วนประกอบไฟออก	37
บทที่ 4	
การคำนวณและการสร้าง	41
การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ	43
การควบคุมรูปแบบความร้อน	44
ความเหมาะสมของขดลวดเหนี่ยวนำต่อเครื่องกำเนิด	50
คุณสมบัติที่จะนำไปใช้ประยุกต์ในการออกแบบ	51
วิธีการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำแบบคร่าว ๆ	53
การขูดผิวแข็งเหล็ก	57
บทที่ 5	
การทดลองและผลการทดลอง	58
ผลการทดลอง	59
บทวิจารณ์และสรุป	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขดลวดตัวนำและเหล็กที่หนามาก	3
รูปที่ 2.2 การกระจายของค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กกับความลึก	8
รูปที่ 2.3 ทิศทางของความเข้มสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นกระแส	10
รูปที่ 3.1 ส่วนไฟป้อนเข้า	14
รูปที่ 3.2 ส่วนไฟป้อนเข้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	16
รูปที่ 3.3 ส่วนสวิตชิงของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	18
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN	20
รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นของกระแสและโวลต์เดจที่ใช้กับทรานซิสเตอร์	22
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภายในของไอซีเบอร์ MB 3759	24
รูปที่ 3.7 วงจรสมมูลย์ของอิมพีแดนซ์ของส่วนสูญเสีย	28
รูปที่ 3.8 เวกเตอร์ไดอะแกรมของการสูญเสียแม่เหล็ก	29
รูปที่ 3.9 แสดงโมเดลของหม้อแปลง	33
รูปที่ 3.10 วงจรสับเบอร์ป้องกันไดโอด	38
รูปที่ 4.1 ส่วนวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสพร้อมส่วนสวิตชิง	42
รูปที่ 4.2 ส่วนหม้อแปลงความถี่สูง	42
รูปที่ 4.3 ส่วนวงจรภายในของหม้อแปลงความถี่สูง	43
รูปที่ 4.4 ผลความร้อนที่กำหนดขึ้นมีผลต่อการกำหนดตำแหน่งชิ้นงานและขดลวด	46
รูปที่ 4.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ของความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอกับระยะห่างของขดลวดและความแตกต่างของการคัปปลิงกับการเพิ่มจำนวนขดลวด	48
รูปที่ 4.6 ชนิดของการออกแบบขดลวด	49
รูปที่ 4.7 ชนิดของขดลวด	49
รูปที่ 4.8 ขดลวดเหนี่ยวนำแบบต่าง ๆ	50
รูปที่ 4.9 ขดลวดเหนี่ยวนำแบบ Odd-Shape	51
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของคอยล์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียม	54
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของคอยล์กับเส้นผ่านศูนย์กลาง	

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของเพาเวอร์แฟคเตอร์กับเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอลูมิเนียมและเหล็ก	55
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของเพาเวอร์แฟคเตอร์กับเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเหล็ก	56
รูปที่ 4.14 การต่อคอยล์กับหม้อแปลง	57
รูปที่ 5.1 แสดงกระแสขาเข้า	59
รูปที่ 5.2 แสดงแรงดันก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะไม่ต่อคอยล์	59
รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงขณะไม่ต่อคอยล์	60
รูปที่ 5.4 แสดงแรงดันก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์	60
รูปที่ 5.5 แสดงกระแสก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์	61
รูปที่ 5.6 แสดงแรงดันก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์ และมีโหลด	61
รูปที่ 5.7 แสดงผลการทำงานของเครื่องชิวเชิงเหล็กขณะมีโหลด	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ขนาดแกนหม้อแปลง	36
ตาราง 4.1 ลักษณะทั่วไปของการกำหนดความถี่สำหรับการใช้งานแต่ละชิ้นงาน	45
ตาราง 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคอยล์, โหลดและพลังงานที่ใช้	62
ตาราง 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคอยล์, โหลดและพลังงานที่ใช้	64
ตาราง 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดคอยล์, โหลดและพลังงานที่ใช้	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องชุบผิวเหล็กโดยอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Surface Hardening by Induction heating) จะทำให้ผิวแข็งของเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ โดยคุณสมบัติที่มีส่วนผสมอยู่ที่อุณหภูมิห้องเหล็กจะจับตัว แบบ BCC (Body Centered cubic) เรียกว่า α -iron เฟอร์ไรต์ เมื่ออุณหภูมิสูงเกินจุดวิกฤติสูงสุดจะทำให้เริ่มเปลี่ยนจาก โครงสร้างแบบ BCC ไปเป็น FCC (face Centered Cubic) เรียกว่า γ -iron เฟอร์ไรต์ หรือ ออสเทนไนต์ (Austenite) โดยดูจาก iron carbon phase diagram และเมื่อทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (quenching) จากออสเทนไนต์จะได้เป็นมาร์เทนไซต์ (Martensite) ซึ่งโครงสร้างจะเป็นแบบ BCT (Body Centered Tetragonal) ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความแข็ง

อุณหภูมิที่สูงขึ้นในเนื้อเหล็กนั้น ได้จากการเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง และเนื่องจากสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดสกินเอฟเฟ็คซึ่งสามารถคำนวณหาสกินดีปได้จากผลของสกินเอฟเฟ็คทำให้ความร้อนเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของเหล็ก

เมื่อทำให้เหล็กที่ผ่านเครื่องเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Induction Heating) เย็นลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เหล็กแข็งเฉพาะที่ผิว โดยที่ภายในเนื้อเหล็กยังคงเป็นเหล็กเหนียวเหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้ทนต่อการขัดสีและไม่เปราะเนื่องจากภายในยังคงเหนียว

ซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการดัดแปลงในส่วนของสวิทชิงโดยใช้สวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายเพื่อสร้างต้นแบบของ Induction Heating ประโยชน์ของเครื่องเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไม่เพียงแต่จะทำให้ผิวของเหล็กแข็งเท่านั้นยังสามารถใช้หลักการของเครื่องในการสร้างเตาหลอมไฟฟ้าโดยลดความถี่ให้ต่ำลงหรือทำเป็นเครื่องให้ความร้อนโลหะก่อนที่จะนำไปตัดหรือขึ้นรูปหรือนำไปใช้เชื่อมในแนวยาวของแบบอัตโนมัติ

ข้อได้เปรียบของเครื่องเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนโดยการใช้อาณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องน้อย
- ประสิทธิภาพสูง
- สามารถควบคุมให้ความร้อนเฉพาะตำแหน่งได้
- ลดพื้นที่ในการปฏิบัติการ
- สามารถนำมาดัดแปลงให้เป็นระบบอัตโนมัติได้ง่าย
- ลดมลภาวะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของการเหนี่ยวนำความร้อนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับ

สนามแม่เหล็กซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาเมื่ออยู่ภายในเนื้อเหล็กจะเกิดปรากฏการณ์ในลักษณะที่ว่า สนามแม่เหล็กที่ผิวมีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกจากผิวของเหล็ก ซึ่งเราเรียกลักษณะนี้ว่า skin effect ซึ่งจากผลของ skin effect นี้ ทำให้มีกระแสไหลเฉพาะที่ผิวของเหล็กเท่านั้น ดังนั้นพลังงานที่ป้อนเข้าไปให้กับเหล็กจะอยู่เฉพาะที่ผิว

การกระจายของสนามแม่เหล็กในเนื้อเหล็ก

ในการหาการกระจายของสนามแม่เหล็กในเนื้อเหล็กนั้น กำหนดให้ displacement current นั้นน้อยมากไม่นำมาคิด

จากสมการของสนามแม่เหล็ก

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = (-\partial \mathbf{B} / \partial t) \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

ถ้าในเหล็กมีค่า conductivity (σ) และจากกฎของโอห์ม

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (4)$$

แทนค่า \mathbf{J} ในสมการ (1)

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E}$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = \nabla \times (\sigma \mathbf{E})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H} = \nabla (\sigma) \times \mathbf{E} + \sigma \nabla \times \mathbf{E} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3)} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} &= \nabla \cdot \mu \mathbf{H} \\ &= \mathbf{H} \cdot \nabla \mu + \mu \nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \end{aligned}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = -\mathbf{H} \cdot (1/\mu) \nabla \mu \quad (6)$$

แทนค่าสมการ (2),(6) ในสมการ (5)

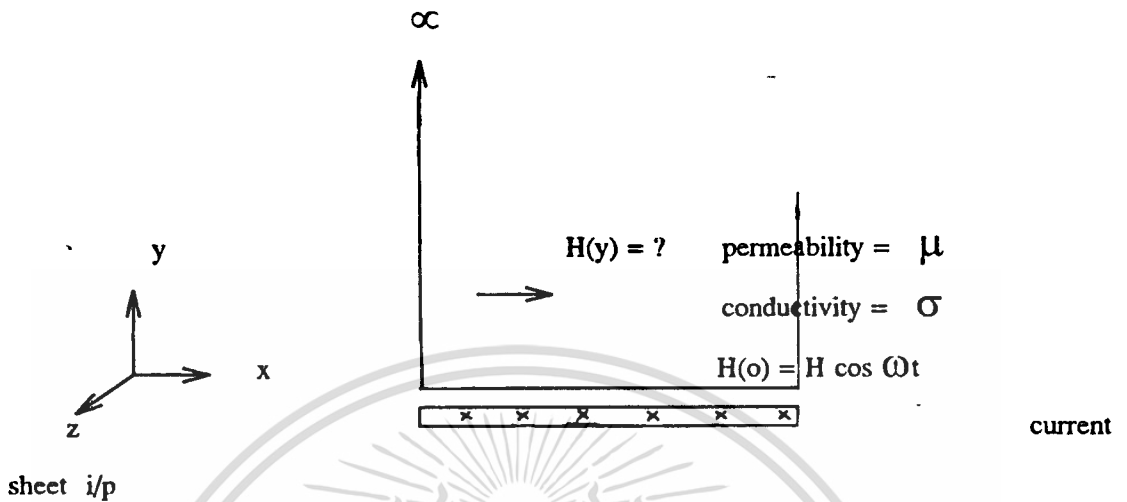
$$\nabla^2 \mathbf{H} = \nabla (-\mathbf{H} \cdot (1/\mu) \nabla \mu) - \nabla (\sigma) \times \mathbf{E} - \sigma (-\partial \mathbf{B} / \partial t)$$

กำหนดให้เหล็กที่ใช้เป็น isotropic media มีค่า permeability กับค่า conductivity นั้น คงที่ตลอดเนื้อสาร ดังนั้น $\nabla \mu = 0$; $\nabla \sigma = 0$; $(d\mathbf{B} / d\mathbf{H}) = \mu$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = (d\mathbf{B} / d\mathbf{H}) \cdot (\partial \mathbf{H} / \partial t)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \nabla^2 \mathbf{H} = \sigma \mu (\partial \mathbf{H} / \partial t) \quad (7)$$

หากการกระจายของ \mathbf{H} ภายในเนื้อเหล็ก โดยเริ่มกำหนดจากค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H_x) ที่ผิวเหล็กมีทิศทางในแนวแกน x เท่านั้น และคิดว่าแท่งเหล็กมีขนาดยาวในแกนต่างๆ มาก โดยมี current sheet ที่ทำให้เกิด H_x อยู่ในตำแหน่ง $x = 0$ โดยมีค่าสูงสุดคือ H_{om} และมีทิศทางของ current sheet อยู่ในแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และเนื่องจาก current sheet ขนานกับแกน z ตลอด เพราะฉะนั้นขนาดของ \mathbf{H} จะขึ้นอยู่กับค่า y โดยไม่แปรตาม x และ z



รูปที่ 2.1 ขดลวดตัวนำและเหล็กที่หนามาก

กำหนดให้ที่ $y = 0$ (ที่ผิวของเหล็ก)

$$H_x(0) = H_{0m} \cos \omega t$$

เราสามารถแทนสมการตรีโกณให้อยู่ในรูปของ exponential ได้ โดยจาก Euler's Identities

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการของความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง $y = 0$ ได้ดังนี้ คือ

$$H_x(0) = \text{Re} (H_{0m} e^{j\omega t})$$

หรืออาจไม่เขียน Re ไว้ แต่เมื่อได้คำตอบก็หาค่า real part จากสมการ (7)

$$\nabla^2 H = \sigma \mu (\partial H / \partial t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla^2 H = (\partial^2 H_x / \partial x^2) + (\partial^2 H_x / \partial y^2) + (\partial^2 H_x / \partial z^2) = \sigma \mu (\partial H / \partial t)$$

แต่เนื่องจากว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีทิศทางในแนวแกน x และแปรตามระยะทาง y เท่านั้น

$$(d^2 H_x / dy^2) = \sigma \mu (dH_x / dt)$$

กำหนดให้ $H_x = H_x(y) e^{j\omega t}$ โดยที่ $H_x(y)$ เป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แปรตามระยะ y

$$\therefore (\partial^2 H_x / \partial y^2) - \sigma \mu j \omega H_x = 0$$

จาก $\sigma = (1 / \rho)$ เมื่อ ρ : เป็นค่า resistivity

$$(\partial^2 H_x / \partial y^2) - (\mu / \rho) j \omega H_x = 0$$

กำหนดให้ $\alpha^2 = (\mu \omega / \rho)$

$$(\partial^2 H_x / \partial y^2) - 2 j \alpha^2 H_x = 0$$

ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของ differential equation ได้คือ

$$(\partial^2 H_x / \partial y^2) - K^2 H_x = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad K^2 = 2 j \alpha^2$$

และ solution of differential ได้ดังนี้

$$H_x = A_1 \exp(Ky) + A_2 \exp(-Ky)$$

ซึ่งสามารถหาค่า A_1 และ A_2 ได้จาก boundary condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่ง $y = \infty \quad H_x = 0 \quad \therefore A_1 = 0$

$$y = 0 \quad H_x(0) = H_{om} \exp(j\omega t)$$

$$\therefore A_2 = H_{om} \exp(j\omega t)$$

ดังนั้น

$$H_x = H_{om} \exp(-Ky) \exp(j\omega t)$$

จาก $K = \sqrt{2j \cdot \alpha^2} = \sqrt{(1+j)^2} \cdot \alpha = (1+j) \alpha$

$$H_x = H_{om} \cdot \exp\{-1(1+j)\alpha y\} \cdot \exp(j\omega t)$$

$$H_x = H_{om} \cdot \exp(-\alpha y) \cdot \exp\{j(\omega t - \alpha y)\} \tag{8}$$

ซึ่งค่าของความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเป็น real part

$$H_x(y) = H_{om} \cdot \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y) \tag{9}$$

จะเห็นว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความลึกจากผิวตามค่าที่นำมาคูณ คือ $\exp(-\alpha y)$ และมีความลึกต่างๆความเข้มของสนามแม่เหล็กจะ lag สนามที่ผิวเป็นมุม αy

Skin Effect

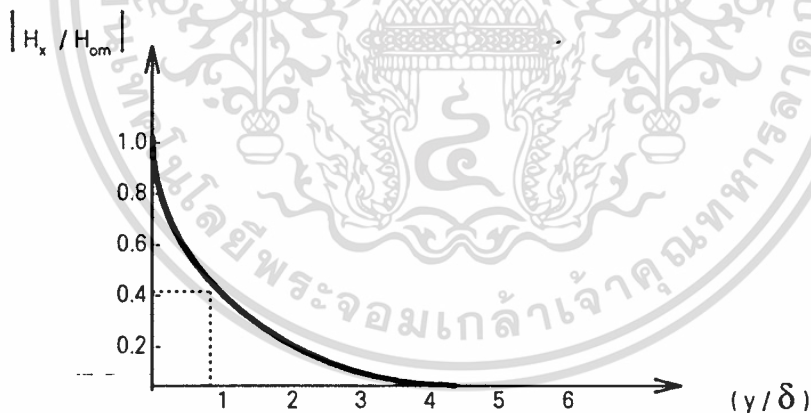
จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าค่าของสนามแม่เหล็กนั้นกระจายตามความลึกของ y โดย

$$H_x(y) = H_{om} \cdot \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y)$$

โดยเทอมของ $\exp(-\alpha y)$ เป็นตัวกำหนดขนาดของ magnitude ของ H_x ที่ระดับความลึกจากผิวต่าง

ที่ $y = (1 / \alpha)$ ซึ่งมีผลทำให้ $\exp(-\alpha y) = e^{-1} = 0.368$

เรียกค่า y นี้ว่า skin depth หรือ depth of penetration ใช้สัญลักษณ์ δ



รูปที่ 2.2 การกระจายของค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กกับความลึก

$$\begin{aligned} \therefore \delta &= (1 / \alpha) \\ &= (2\rho / \mu)^{1/2} \end{aligned} \quad (10)$$



โดยที่ ρ : resistivity โอห์ม-เมตร

μ : permeability เวปเบอร์/แอมป์-เทอรัน-เมตร

ω : ความเร็วเชิงมุม เรเดียน/วินาที

ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ออกมาดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก, ความหนาแน่นของกระแสและความเข้มของสนามไฟฟ้า

เมื่อทราบถึงการกระจายของความเข้มของสนามแม่เหล็กในเหล็ก ซึ่งมีค่า permeability คงที่ จึงสามารถหาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กได้ โดยจากสมการ (9)

$$H_x(y) = H_{om} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y)$$

กำหนดให้

$$J_{om} = \alpha H_{om} \exp(j\pi/4)$$

ซึ่งค่า J_{om} จะเป็นขนาด magnitude ที่ตำแหน่ง $y = 0$ หรือที่ผิวของโลหะและเฟสของ J จะ lead H ที่จุดต่าง ๆ เป็นมุม $\pi/4$ หรือ 45°

ดังนั้นจะสามารถหาค่าความหนาแน่นกระแสที่ความลึกต่าง ๆ จาก

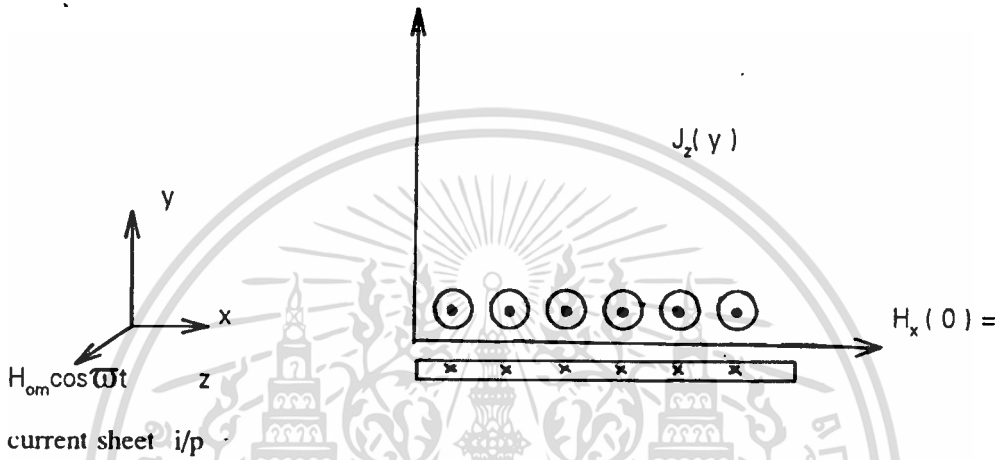
$$J_x(y) = J_{om} \exp(-\alpha y) \cdot \cos(\omega t - \alpha y) \quad (13)$$

จากการหาความหนาแน่นกระแส จะพบว่า J จะมีทิศอยู่ในแนวแกน z และจะสามารถหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดในเหล็ก

$$\text{จาก } \vec{E} = J / \sigma = \rho J$$

กระแสทั้งหมด

จากในหัวข้อที่แล้วเมื่อทราบค่า ความหนาแน่นของกระแสที่จุดต่าง ๆ ในเนื้อเหล็กโดยรู้ ว่าทิศทางของกระแสอยู่ในแนวแกน z ดังนั้นเมื่อจะหากระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะต้อง integrate J ในแนวระนาบ x และ y จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นกระแสแปรตามระยะ y เท่านั้น



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของความเข้มของสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นกระแส

เมื่อ ค่าความหนาแน่นกระแสไม่แปรตามระยะทาง x จึงสามารถหา ค่ากระแสไฟฟ้าต่อ เมตรในแนวแกน x

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ากระแสไฟฟ้า ต่อ เมตร} &= \int_0^{\infty} J_z dy \\
 &= \int_0^{\infty} J_{om} \cdot \exp(-\alpha y) \cdot \cos(\omega t - \alpha y) dy \\
 &= J_{om} \cdot \text{Re} \left[\int_0^{\infty} \exp \{ j\omega t - (1+j)\alpha y \} dy \right] \\
 &= J_{om} \cdot \text{Re} \left[\left(\exp \{ j\omega t - (1+j)\alpha y \} dy \right) / - (1+j)\alpha \right]_0^{\infty}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน = $J_{om} \cdot \text{Re} \left[\exp(j\omega t) / (1+j)\alpha \right]$ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } J_{om} = \sqrt{2} \cdot \alpha H_{om} \exp(j\pi/4)$$

$$\text{ค่ากระแส ต่อ เมตร} = \operatorname{Re} [H_{om} \cdot \exp(j\omega t)]$$

$$= H_{om} \cdot \cos \omega t$$

จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในเนื้อเหล็ก จะมีค่าเท่ากับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิวของเหล็ก และ inphase กัน

$$I_m = H_{om}$$

(16)

กำลังที่เกิดขึ้นในเหล็ก

จากที่สามารถหาค่าความหนาแน่นกระแสที่จุดต่าง ๆ ในเหล็กเมื่อทราบค่า resistivity ของเหล็กแล้ว ก็จะสามารถหาค่าของกำลังที่สูญเสียในเหล็กต่อ ล.บ. เมตร เท่ากับ เมื่อต้องการรู้กำลังที่สูญเสียทั้งหมดโดยการ integrate ตลอดปริมาตร

แต่เนื่องจาก J ไม่แปรตามแกน x และ z ดังนั้นจึงสามารถหาค่ากำลังที่สูญเสียต่อพื้นที่ผิวในแกน x และ z โดย

กำหนดให้

$$P : \text{กำลังที่สูญเสียต่อพื้นที่ผิว วัตต์/เมตร}^2$$

$$P : \int_0^{\infty} \rho J^2 z dy$$

$$= \rho J_{om}^2 \int_0^{\infty} \exp(-2\alpha y) \cos^2(\omega t - \alpha y) dy$$

จะเห็นว่า เทอม $\cos^2(\omega t - \alpha y)$ เมื่อเรา integrate ในช่วงคาบของคลื่นจะได้เท่ากับ $1/2$ โดยที่ αy ไม่มีผลต่อค่าของ integrate เนื่องจากค่า $(-\alpha y)$ เป็นผลทำให้ phaseshift ไปเท่านั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P &= \rho (J_{om}^2) / 2 \int_0^{\infty} \exp(-2\alpha y) dy \\
 &= \rho (J_{om}^2) / 4 \alpha \left| \exp(-2\alpha y) \right|_0^{\infty} \\
 P &= \rho (J_{om}^2) / 4 \alpha \\
 &= \rho (J_{om}^2) / 4 \cdot \delta
 \end{aligned}$$

จาก

$$\begin{aligned}
 |J_{om}| &= \sqrt{2 \alpha} |H_{om}| \\
 &= (\sqrt{2} |H_{om}|) / \delta
 \end{aligned}$$

ค่ากำลังที่สูญเสียที่คำนวณได้เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งคิดกำลังรวมทั้งหมด ตั้งแต่ที่ผิว $y = 0$ จนถึง $y = \infty$ เมื่อค่าเปรียบเทียบความสูญเสียตั้งแต่ผิวถึงจุด y ใดๆ กับความสูญเสียที่ผิวถึง $y = \infty$ ซึ่งจะออกมาเป็น per-unit loss

$$\begin{aligned}
 py/p &= \left(\int_0^y \exp(-2\alpha y) dy \right) / \left(\int_0^{\infty} \exp(-2\alpha y) dy \right) \\
 &= 1 - \exp(-2\alpha y)
 \end{aligned}$$

$$\text{ที่ } y = 1/\alpha = \delta$$

$$py/p = 1 - e^{-2} = 1 - 0.135 = 0.865$$

$$y = 2/\alpha = 2\delta$$

$$py/p = 1 - e^{-4} = 1 - 0.18 = 0.982$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแรงแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดหาได้โดยการ integrate ตลอดพื้นที่หน้าตัดของสนามแม่เหล็กที่ผ่าน เนื่องจากทิศทางของความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กขนานกับแกน x ดังนั้นจะตั้งฉากกับระนาบ y - z ซึ่งค่า B จะเปลี่ยนตามระยะ y เท่านั้น ดังนั้นเราสามารถหาเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยความยาวในแกน z

$$\begin{aligned}\phi &= \mu H_{om} \int_0^{\infty} \exp [j\omega t - (1+j)y] dy (x1) \\ &= \mu H_{om} / \sqrt{2} \alpha \exp [j(\omega t - \pi/4)]\end{aligned}$$

ค่าของเส้นแรงแม่เหล็กเป็นค่า real part

$$\phi = \mu H_{om} / \sqrt{2} \alpha \cdot \cos (\omega t - \pi/4) \quad (18)$$

การเหนี่ยวนำคักตาไฟฟ้า

เมื่อทราบถึงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดในเนื้อเหล็ก ก็จะสามารถหาการเหนี่ยวนำคักตาที่เกิดขึ้นในขดลวดจ่ายพลังงาน

โดยกำหนดว่าขดลวดจ่ายพลังงานมีอยู่ N รอบ จาก

$$\text{emf.} = N d\phi / dt$$

$$= [- (\mu N w H_{om}) / \sqrt{2} \alpha] \cdot \sin (\omega t - \pi/4)$$

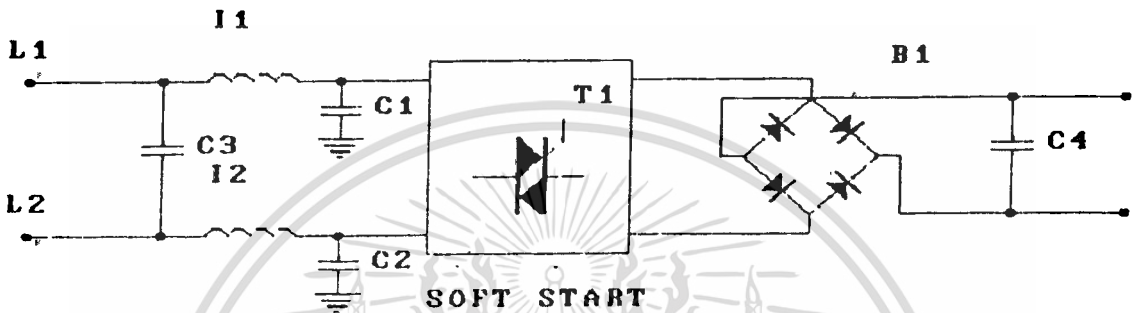
$$\text{emf.} = [(\mu N w H_{om}) / \sqrt{2} \alpha] \cdot \cos (\omega t + \pi/4) \quad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนประกอบของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจร filter และ rectifier



รูปที่ 3.1 ส่วนไฟป้อนเข้า

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ซึ่งใช้กันตามบ้าน ดังนั้น สัญญาณไฟฟ้าจะมีสัญญาณรบกวนต่างๆ แทรกสอดเข้ามาด้วย จึงต้องมีส่วน RFI Filter เพื่อเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนออก ในส่วนของวงจรชุดที่แสดงดังรูปที่ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงที่เรียบ จะแบ่งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. ตัวเหนี่ยวนำภาคไฟเข้า (Line Filter) ทำหน้าที่ในการ กรองส่วนของไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาทางด้านไฟป้อนเข้า(Input)

2. ตัวเก็บประจุภาคไฟเข้า (Input Capacitor) ทำหน้าที่ กรองกระแสร่วมกับ ตัวเหนี่ยวนำทำให้กระแสที่ป้อนเข้ามาทางด้านแหล่งจ่าย มีรูปคลื่นที่เป็นระเบียบ

3. ส่วนป้องกันกระแสกระชาก และ ป้องกันกระแสเกิน (Input protection) ซึ่ง

กระแสกระชากนี้ มีความสำคัญโดยตรงกับ dv/dt และ ค่าความจุของประจุ โดยวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ศึกษานั้นใช้ ไตรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ ช่วยในการที่ยอมให้กระแสเริ่มอย่างช้าๆ (Soft start) ส่วนของไฟที่ผ่านไตรแอกมาแล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังหม้อแปลงซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงไฟลงและถูกส่งต่อไปยังไดโอดเรียงกระแส เพื่อที่จะใช้เป็นไฟป้อนเข้าในการเลี้ยงวงจรในส่วนของวงจรควบคุม ส่วนไฟอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังไดโอดเรียงกระแสอีกชุดหนึ่งเพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงและนำไปใช้ในส่วนของการสวิตชิง (Switching) ต่อไป

4. ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier bridge diode) ทำหน้าที่ในการทำให้ไฟกระแสสลับ เปลี่ยนเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier)

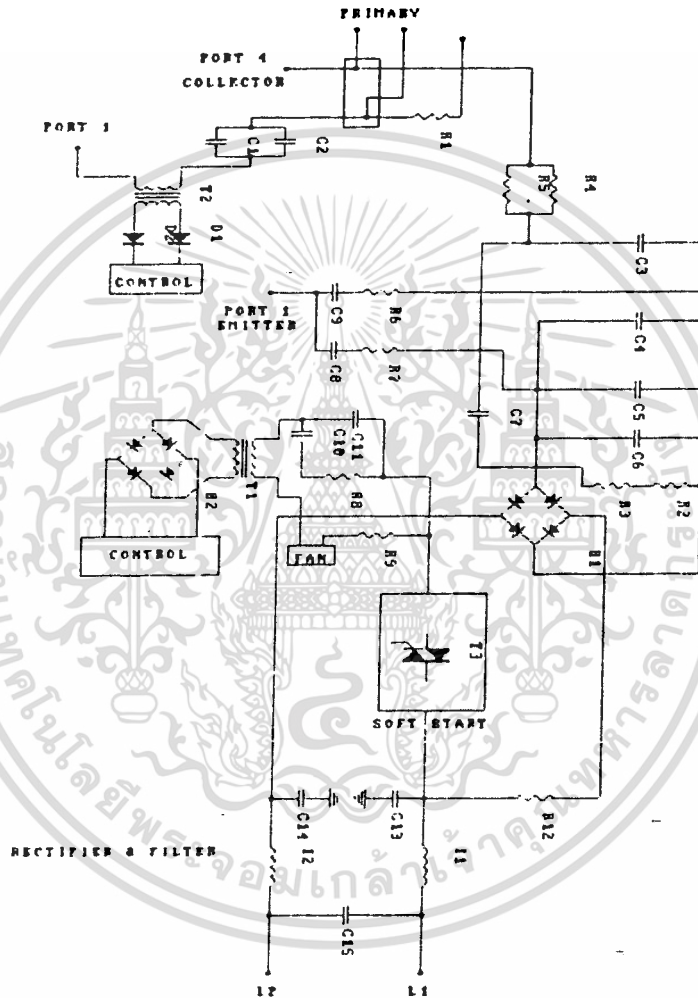
5. ตัวเก็บประจุกรอง (Capacitor filter) มีหน้าที่กรองให้ศักดาเข้าเป็นกระแสไฟตรงที่เรียบ โดยขนาดความจุของตัวเก็บประจุ เป็นไปตามความสัมพันธ์ของค่ากระแสเพิมของศักดา (Ripple Voltage) ค่ากระแสที่ตัวเก็บต้องจ่ายออก และคาบเวลาของกระแส

จากความสัมพันธ์ของ

$$I_c = C \cdot dV/dt$$

และเมื่อวงจรเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$C = I_c / (V \cdot 2f)$$



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนไฟป้อนเข้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

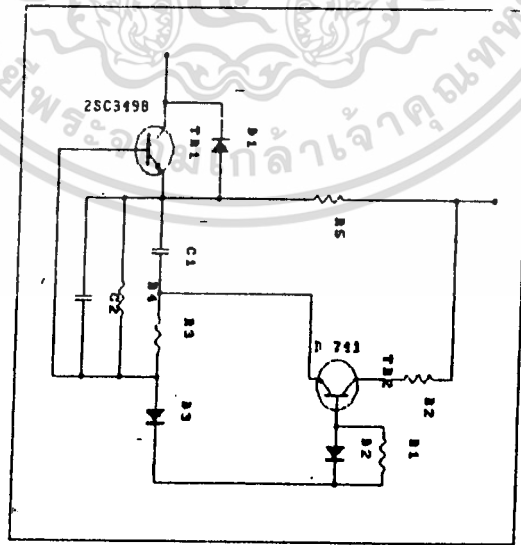
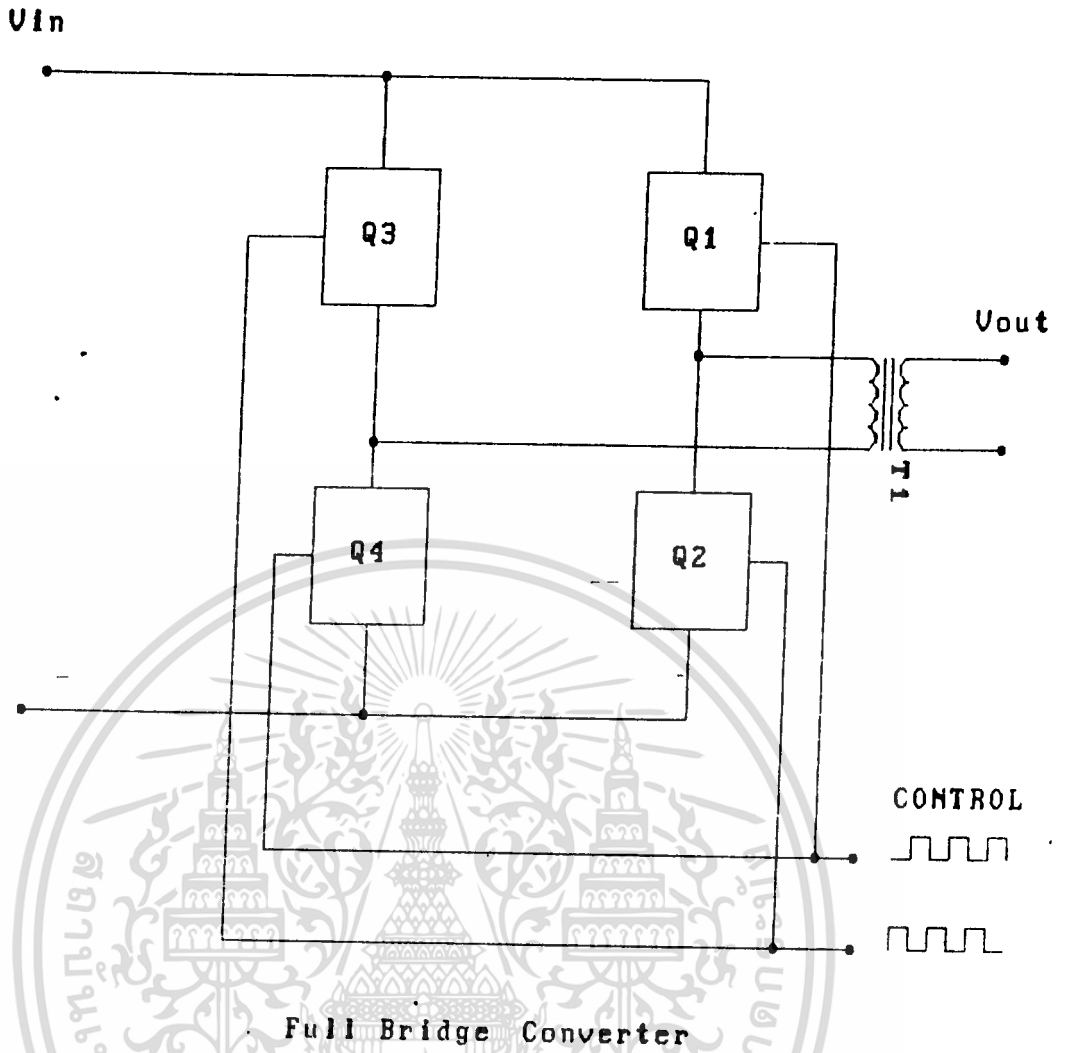
วงจรสวิตชิง

ในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิตช์โดยเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไปแอสที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเลคเตอร์ในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเลคเตอร์และอีมีตเตอร์ (V_{ce}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{cc} ซึ่งทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์จะนำกระแสเมื่อมีการจ่ายกระแสให้ขาเบสและจะหยุดนำกระแสเมื่อหยุดจ่ายกระแสให้ขาเบสโดยวงจรของส่วนนี้นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยวงจรในส่วนนี้จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ในการเปลี่ยนไฟกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับเรียกว่าวงจรฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q1 และ Q4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาและเมื่อหยุดนำกระแส Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ส่วนไดโอดที่ต่อคร่อมขา C-E ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) ซึ่งจะมีหน้าที่อยู่ 2 ประการ คือ

1. ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ในขณะที่ยุติการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุตด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

2. ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 เริ่มหยุดนำกระแส ขดไฟโพรมารี่จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิดขึ้น ถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด Q2 และ Q3 จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์เป็นลบ ในขณะที่ Q1 และ Q4 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่า $V_{in}/2$ ในกรณีนี้ ไดโอดคร่อม Q2 และ Q3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงจากแรงดันของขดไฟโพรมารี่และลดค่าแรงดันนี้ลงไปในทำนองเดียวกันเมื่อ Q2 และ Q3 เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอดคร่อม Q1 และ Q4 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกัน เป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



Q1, Q2, Q3, Q4

รูปที่ 3.3 แสดงส่วนสวิทชิงของสวิทชิงเพาเวอร์ซีพพลาย

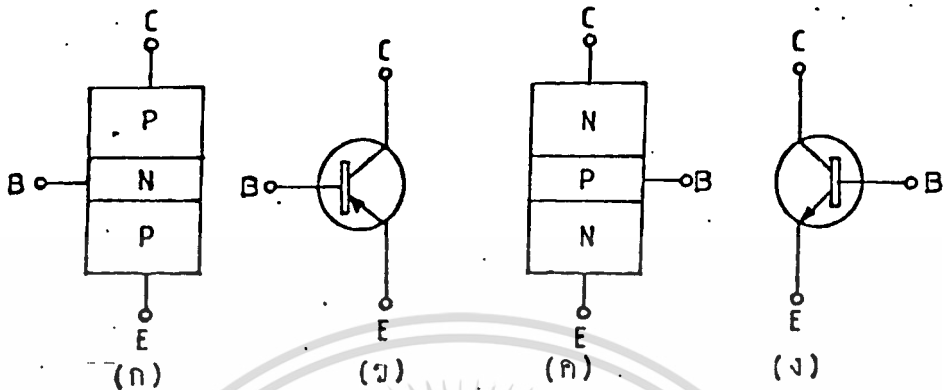
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

ในปัจจุบันการใช้ทรานซิสเตอร์ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังขยายตัวไปอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะในปัจจุบันทรานซิสเตอร์ ได้รับการพัฒนาไปอย่างมากทำให้สามารถทนกระแสและแรงดันได้สูงขึ้น อีกทั้งความเร็วในการสวิตช์ก็สูงขึ้นด้วย การเพิ่มความเร็วของทรานซิสเตอร์ ทำให้สามารถทำงานที่ความถี่สูงขึ้นอันเป็นการลดทั้งขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ใช้ลงอย่างมาก โดยเฉพาะหม้อแปลง ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ คุณสมบัติทางด้านความเร็วของทรานซิสเตอร์นี้นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งของทรานซิสเตอร์

ลักษณะการเป็นสวิตช์ของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นวางสลับกันดังในรูปที่ 3.4ก และ 3.4ค คือ อาจจะประกอบด้วยชั้น P-N-P ซึ่งเรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และมีสัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 3.4ข ถ้าประกอบด้วยชั้น N-P-N เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 3.4ง ทรานซิสเตอร์ จะมี 3 ขั้วคือ มีขั้วกำลัง 2 ขั้ว ได้แก่ คอลเลคเตอร์ กับ อิมิตเตอร์ และมีขั้วควบคุมอีก 1 ขั้ว คือ เบส ทรานซิสเตอร์สามารถนำกระแสได้ทางเดียว เช่นเดียวกับแอสซีอาร์ ลักษณะการนำหรือกันกระแสของคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ จะถูกควบคุมโดยกระแสที่ไหลระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ ในการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์นั้น จะต้องกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในสองย่าน คือ ถ้าต้องการให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส จะต้องขับนำ (drive) ด้วยกระแสเบสที่เพียงพอ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์เข้าสู่ย่านอิ่มตัว ซึ่งจะมีแรงดันตกคร่อมคอลเลคเตอร์ (V_{ce}) ประมาณ 1 โวลท์และเมื่อต้องการให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส ก็เพียงแต่ลดกระแสเบสลง ทรานซิสเตอร์ก็จะเข้าสู่ภาวะหยุดนำกระแส



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ ชนิด NPN

ทรานซิสเตอร์แบบหัวต่อ BJT (Bipolar Junction Transistor) การทำงานจะควบคุมด้วยกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ที่ควบคุมด้วยแรงดันในปัจจุบันได้แก่ MOSFET SIFET ซึ่งพวกนี้สามารถทำงานที่ความถี่สูงกว่า BJT แต่ในปัจจุบันกำลังยังต่ำกว่า BJT อีกทั้งราคายังสูงกว่าด้วย และในตอนนี้จะพูดถึง BJT เป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจากทรานซิสเตอร์ PNP จะทนแรงดันได้ไม่สูงนัก อีกทั้งความเร็วในการสวิตช์ยังต่ำกว่าทรานซิสเตอร์ NPN ดังนั้นในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจึงใช้เฉพาะทรานซิสเตอร์แบบ NPN

การขับนำเบสของทรานซิสเตอร์

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์นั้น การขับนำเบสของทรานซิสเตอร์นับเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะคุณสมบัติที่สำคัญบางอย่างของทรานซิสเตอร์ เช่น แรงดันสูงสุด (BV_{ce0}) เวลาหยุดนำกระแส (t_{off}) เวลาเริ่มนำกระแส (t_{on}) และย่านการทำงานที่ปลอดภัย ($SOA = \text{Safety Operating Area}$) จะขึ้นอยู่กับลักษณะการขับนำเบส ในปัจจุบันได้มีการเสนอวิธีการขับนำเบสได้หลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ที่จะลดเวลาในการสวิตช์ เพื่อลดกำลังสูญเสียในการสวิตช์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติในการขับนำเบสที่ดีควรมีลักษณะดังนี้ คือ

1. ในการเริ่มขับนำทรานซิสเตอร์ควรที่จะให้การเพิ่มกระแสเบส db/dt มีค่าสูง และควรจะให้กระแสคายอดสูงกว่ากระแสเบส ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว ประมาณ 2-3 เท่า อันจะเป็นการลด t_{on} ให้สั้นได้

2. ควรจะใช้กระแสเบสที่พอเหมาะกับความถี่ของสวิตช์ คือให้เพียงพอที่จะทำให้มีค่ามากเกินไป เพราะจะเป็นการเพิ่ม t_{off} อันเนื่องมาจาก Storage Time ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการกวาดพาหะข้างน้อยส่วนเกินออกจากเบส

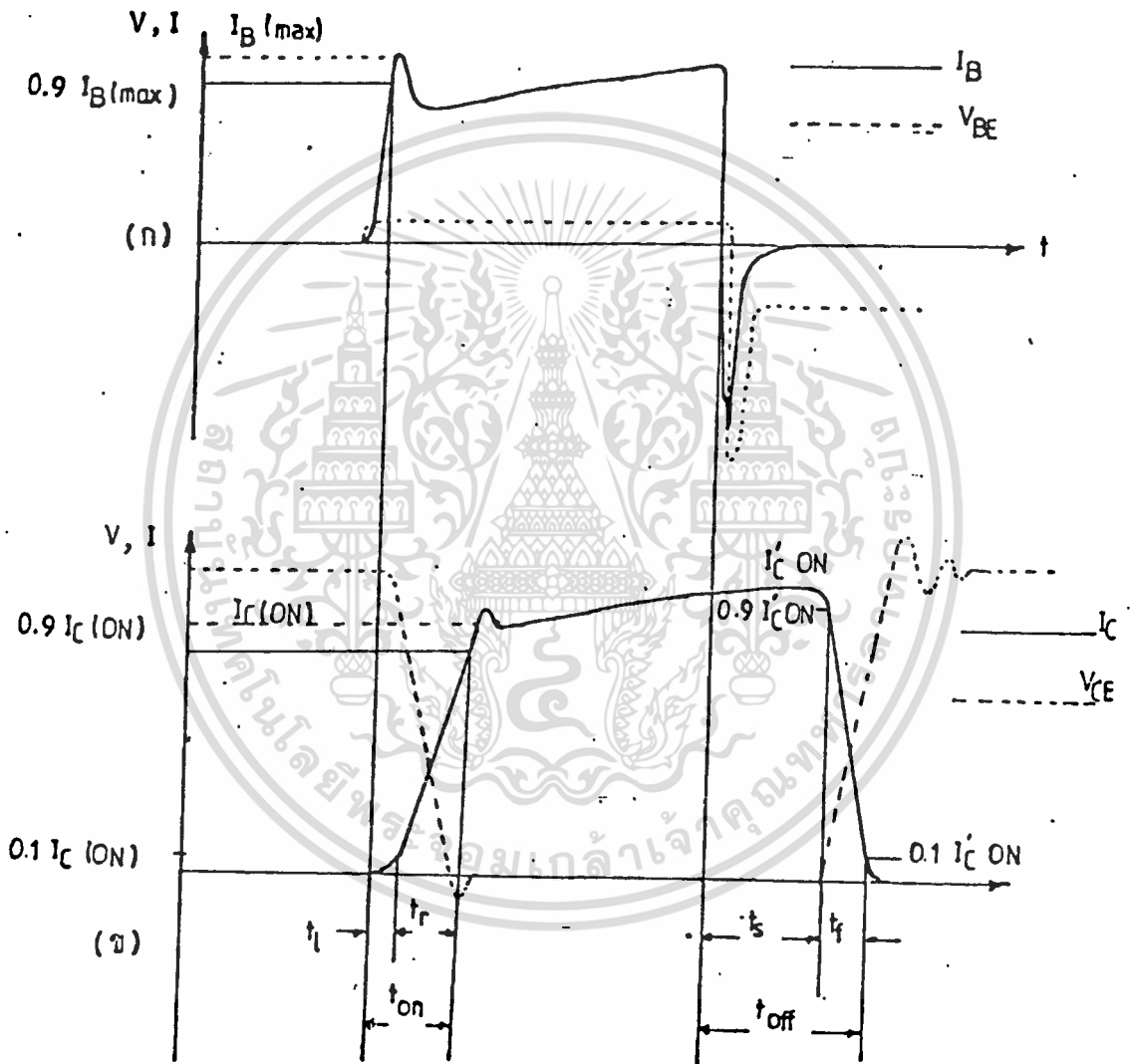
3. การทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส ควรมีการดึงกระแสออกจากเบสโดยให้มีค่า db/dt สูง แต่ไม่ควรสูงเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิด Secondary Breakdown ขึ้นได้ การดึงกระแสออกจากเบสจะเป็นการช่วยกวาดพาหะข้างน้อยส่วนเกินออกจากเบสของทรานซิสเตอร์ อันเป็นการลด t_{off} ของทรานซิสเตอร์

4. ในระหว่างที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะปิดกั้นกระแส (off state) ควรที่จะไบอัสไบอัสรอยต่อ เบส- อิมิตเตอร์ เพื่อป้องกันการนำกระแสเนื่องจากสัญญาณรบกวน และการเปลี่ยนแปลงแรงดัน dV_{ce}/dt

5. วงจรขับเบสมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลังสูงจะมีอัตราขยายกระแสต่ำ (h_{fe} ต่ำ) คือประมาณ 5 - 10 เท่า ซึ่งทำให้จำเป็นต้องใช้กระแสขับนำเบสมาก ดังนั้น แรงดันในวงจรเบสไม่ควรจะสูงเกินไปและไม่ควรจะให้มีการไหลในวงจรเบสมาก เมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะปิดกั้นกระแส

6. วงจรขับเบสควรเป็นวงจรที่ง่าย ๆ และมีความเชื่อถือได้สูง ถ้าสามารถเข้าได้กับ TTL (TTL Compattable) จะทำให้การควบคุมสะดวกมากขึ้น นอกจากนี้ ถ้าหากมีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรขับกับทรานซิสเตอร์กำลัง หรือระหว่างสัญญาณควบคุมกับวงจรขับ จะเป็นการลดปัญหาเรื่องสายดิน (ground) การแยกอาจทำได้โดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง (Pulse Transformer) หรือ ถ้าในระดับวงจรขับกับสัญญาณควบคุมมีกำลังต่ำ อาจใช้ opto coupler ก็ได้ จากลักษณะสมบัติที่พึงประสงค์ของการขับนำเบสของ

ทรานซิสเตอร์ สามารถเขียนรูปคลื่นของกระแสและแรงดันเบส พร้อมกับรูปคลื่นของกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) และแรงดันระหว่างคอลเลคเตอร์กับอีมีตเตอร์ (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์ได้ ดังนี้คือ



รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นของกระแสเบส (I_B) และแรงดันเบส (V_{BE}) ที่เหมาะสมในการขับเบส และรูปคลื่นของ I_C , V_{CE} สำหรับกระแสเบสในรูป (ก) แสดงพารามิเตอร์ของเวลาต่าง ๆ ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของทรานซิสเตอร์ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถบคุม

ในโครงการนี้วงจรที่ใช้สำหรับควบคุมการสวิตช์ซึ่งเป็นแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งวงจรถบคุมการทำงานแบบ PWM นี้เป็นหัวใจของวงจรทั้งหมดเพราะ วงจร PWM นี้จะทำหน้าที่ในการส่ง Pulse ไปกระตุ้นให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ซึ่งได้แก่ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ในการนำกระแสหรือหยุดนำกระแสตามสัญญาณ Pulse รูป Square Wave ซึ่งความกว้างของ Pulse นี้ จะสามารถปรับให้กว้างหรือแคบได้เพื่อเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มากหรือน้อยตามไปด้วยโดยมีความถี่คงที่มีเสถียรภาพสูงในการควบคุมและในการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต

แม้ว่าเทคนิคการควบคุมการสวิตช์ ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งนี้จะมีอยู่หลายอย่างแต่เทคนิคของ PWM โดยการสร้างความถี่คงที่นี้ได้รับความนิยมมากที่สุดโดยทั่วไป PWM จะถูกสร้างออกมาเป็นวงจรรวม (Integrate Circuits) ซึ่งเป็นการรวบรวมวงจรต่าง ๆ ที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ Error Amplifier ; Flip Flop ; Comparator ; Oscillator ; Current Limitting ฯลฯ มาอยู่ในชิพ IC เดียวกัน

พื้นฐานการทำงานของ PWM

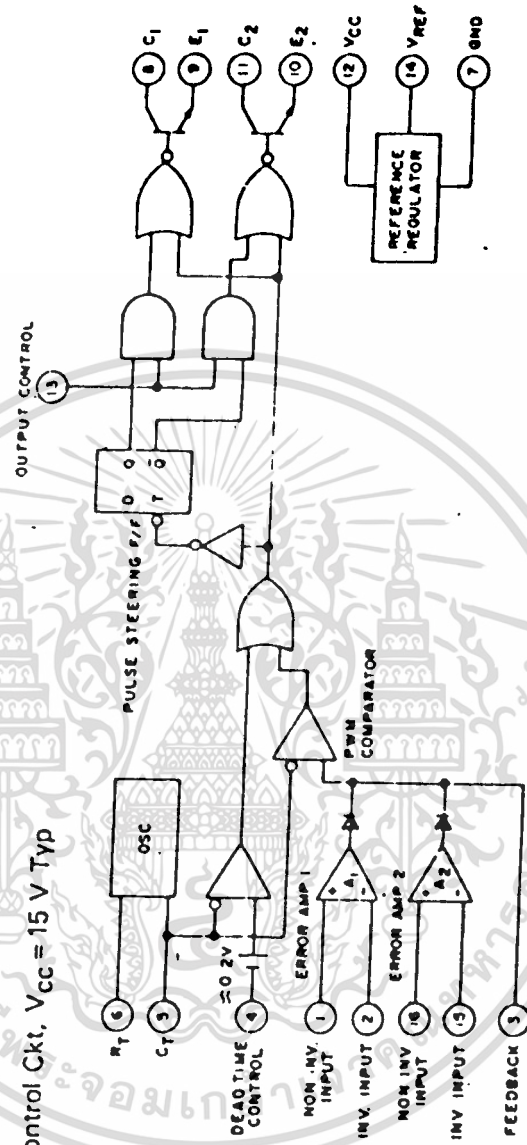
ในวงจรที่ศึกษาเป็น IC เบอร์ MB 3759 ซึ่งทำงานแบบ PWM มีวงจรภายในเป็นดังในรูปที่ 3.6

วงจร IC เบอร์ MB 3759 คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของ IC โดยความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของ IC จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ผลิตโดย Oscillator ที่กำหนดคาบเวลาโดยใช้ R และ C ที่ขา 6 และ ขา 5 และแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้งสองตัวที่ PWM Comparator ส่วน Nor Gate ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะทำงานก็ต่อเมื่อที่ Output Control ต้องมีสถานะ High เสมอและ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะทำงานสลับกันโดยการควบคุมเอาต์พุตที่ขา T ของ Flip Flop ซึ่งเป็นสัญญาณของรูปคลื่น PWM นั่นคือเมื่อแรงดันป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECG1729

Pulse Width Modulator Control Ckt, $V_{CC} = 15\text{ V Typ}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีซี จำกัด ซึ่งจำหน่ายในชื่อของ IC เบอร์ MB 3759 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับจากเอาท์พุทของ Converter หากมีค่าสูงขึ้นความกว้างของเอาท์พุทพัลส์ของ IC จะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างของเอาท์พุทพัลส์ของ IC จะเพิ่มขึ้นซึ่งสัญญาณส่วนนี้จะเป็นสัญญาณไปควบคุมการสวิทชิงของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ต่อไป

หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequencies Transformers)

เป็นตัวทำหน้าที่ส่งผ่านจากศักดาไฟฟ้าสูง ลดลงเป็นศักดาไฟฟ้าต่ำแต่กระแสสูง เพื่อที่จะจ่ายให้กับ สร้างสนามแม่เหล็ก และเนื่องจากความถี่ไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสร้าง สนามแม่เหล็กสูงมาก ดังนั้นแกนของหม้อแปลงความถี่สูงจะต้องเป็นแกนเฟอร์ไรท์ เพื่อต้องการให้ค่าความสูญเสียในแกนเหล็กต่ำ

Ferrite Transformer

Ferrite core power transformer

ในการออกแบบให้ได้ power output สูงสุดนั้น เราได้ข้อบังคับเกิดขึ้นเนื่องจากการอิ่มตัว (saturation) หรือความร้อนที่เกิดขึ้นในแกน (core) หรือในลวด (winding) ดังนั้น จึงเป็นการดี หากเราเลือกใช้แกนเฟอร์ไรท์ ซึ่งใช้ได้เฉพาะความถี่สูงๆ เท่านั้น แทนการใช้แกนเหล็ก (iron core) ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปการเหนี่ยวนำให้เกิด emf (electromotive force) บนขดลวดที่พันอยู่ รอบแกน (core) นั้นเราสามารถแทนได้ว่า

$$e = -10^{-5} N A_f \frac{dB}{dt} \quad \text{volt}$$

เมื่อ

- N : number of Turn
- A_f : cross sectional area of core (cm^2)
- B : the flux density in line per cm^2
- t : time (second)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราทราบว่า B เป็น sinusoidal ดังนั้น

$$E = \frac{10^{-8}}{2} \omega B_m A_F N \quad \text{volt}$$

เมื่อ

- E : induced voltage
 ω : angular frequency
 B_m : maximum flux density (line per cm^2)

เราสมมติว่า transformer ไม่มีการสูญเสียกำลังแต่อย่างใด เราจะได้กำลังงานทางด้านปฐมภูมิจะประมาณเท่ากับกำลังงานทางด้านทุติยภูมิ นั่นคือ

$$N_p I_p = N_s I_s$$

$$I_p V_p = I_s V_s$$

เมื่อ

- N_p : primary turns
 N_s : secondary turns
 I_p : primary current
 I_s : secondary current
 V_p : primary voltage
 V_s : secondary voltage

แต่ในทางปฏิบัตินั้น power transformer ขนาดเล็กนี้จะถูกกำหนดโดยวัสดุ (material) เป็นตัวเลือกขนาดและพื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core) และพื้นที่หน้าตัดของแกนนี้จะต้องมากพอที่จะทำให้เกิด Fixed Flux Density B. ได้ ซึ่งโดยปกตินั้นเรากำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง parameter และ primary voltage โดย

$$\frac{10^{-8}}{\sqrt{2}} \omega B_m A_F N_p \geq V_p \quad \text{volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

B_m : maximum flux density (line per cm^2)

A_F : cross sention area of ferrite core of ferrite core (cm^2)

ในทำนองเดียวกันเราให้ A_F ของทองแดงมีค่ามากพอ ขดลวดทองแดงทั้งหมดจะถูกกำหนดโดย เครื่องหนึ่งของขดลวดทางปฐมภูมิและขดลวดทางทุติยภูมิ สำหรับค่าคงที่ของความหนาแน่นกระแส (Fixed current density) ซึ่งเราเขียนกระแสทางด้านปฐมภูมิเป็น I_p ดังนั้น

$$\frac{A_{cu} J}{2N} \geq I_p \quad \text{Amp.}$$

เมื่อ

J : current density
 A_{cu} : cross sentional area of copper
 N : number of turn

ถ้า B เป็น sinusoidal จะได้ว่า

$$B = B_m \sin t$$

รวมสมการ (1.5) และ (1.6) เข้าด้วยกัน

$$\frac{B_m J A_F A_{cu}}{2 \sqrt{2} \times 10^8} \geq P_{max} \quad \text{watts.}$$

แต่ถ้า B เป็น square wave จะทำให้สมการ (1.8) ถูกเปลี่ยนเป็น

$$\frac{B_m J A_F A_{cu}}{2 \times 10^8} \geq P_{max} \quad \text{watt.}$$

ซึ่งโดยปกตินั้นปริมาตรของแกนเฟอร์ไรท์และปริมาตรของทองแดงจะต้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ โดยที่ flux density และ current density จะต้องมามีค่ามากพอ แต่อย่างไรก็ตามค่าของ flux density ไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้มากกว่าจุดอิ่มตัวซึ่งประมาณ 3000line per cm² และค่ากระแส นั้นไม่สามารถมีค่าสูงจนกระทั่งเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิสูงเกินขอบเขตที่สามารถจะทำงานได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของ ferrite material เพราะฉะนั้น ferrite material ที่มีคุณภาพสูงจะทำให้จุดอิ่มตัวของแกนมีค่าสูงเช่นกัน

ในกรณีที่แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core) มีการสูญเสียภายในด้วยจะได้อะไรจากการสูญเสียของแม่เหล็ก (magnetic loss) จาก impedance สามารถกำหนดได้เป็น

$$Z = j\omega L_s + R_s$$

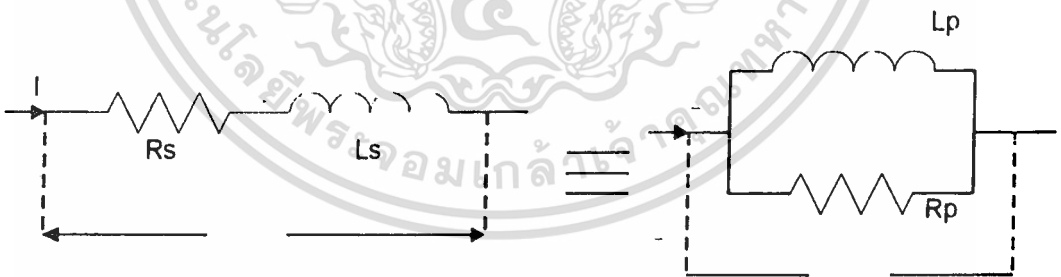
เมื่อ

Z : impedance

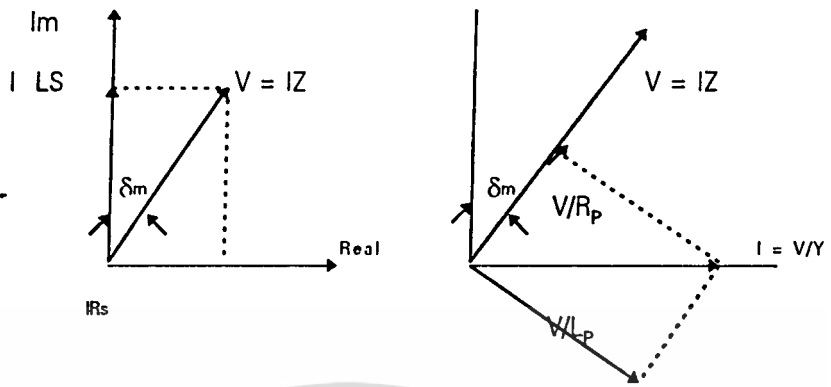
J : index of imaginary part = $\sqrt{-1}$

L_s : series loss of inductance

R_s : series loss of resistance



รูปที่ 3.7 An equivalent circuit of the impedance of the impedance magnetic loss



รูปที่ 3.8 Vector diagram of magnetic loss

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$Y = \frac{1}{j\omega L_p} + \frac{1}{R_p}$$

$$\tan \delta_m = \frac{R_s}{\omega L_s} = \frac{\omega L_p}{R_p}$$

เมื่อ δ_m : loss angle

$$L_p = \frac{\mu_0 \mu N^2 A_f}{l_e} \text{ Henry}$$

- μ_0 : permeability of air (Henry per cm^2)
- μ : permeability of ferrite material
- N : number of turn
- l_e : effective length of the magnatic circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\tan \delta_m = \frac{\omega \mu_0 \mu N^2 A_F}{R_p l_e}$$

$$R_p = \frac{\omega \mu_0 \mu N^2 A_F}{l_e \tan \delta_m} \quad \Omega$$

$$P_m = \frac{\omega B_m^2 A_F l_e}{\mu_0} \cdot \frac{\tan \delta_m}{\mu} \text{ watt.}$$

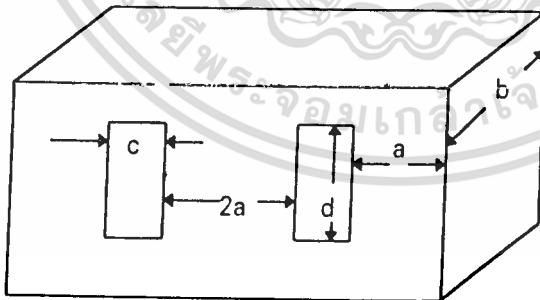
เมื่อ

P_m : core loss

ในกรณีของ copper loss นั้นค่า ohmic loss สามารถแทนได้ด้วยเทอมของความหนาแน่นกระแส (current density ; J), resistivity ρ และปริมาตรของทองแดง V_{cu} (cm^3) เราจะได้ว่า

$$P_{\Omega} = \rho J^2 V_{cu}$$

จะพบว่าค่า P_{Ω} นี้จะเป็นตัวบังคับให้สมการต้องใช้ high frequency ferrite transtormer ซึ่งจากการแสดงต่อไปนี้จะทราบว่า



พื้นที่หน้าตัดของแกน ferrite ; $A_f = ab$ (cm^2)

total area of the window ; $A_w = cd$ (cm^2)

แต่พื้นที่หน้าตัดของทองแดงมีค่าประมาณ A_{cu} ดังนั้นเราจะได้

$$A_{cu} = cd \quad (cm^2)$$

ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรท์ ; $V_F = L_F A_F \quad (\text{cm}^3)$

$$L_F = 2(c + d + 2a) \quad (\text{cm})$$

เมื่อ

A_F : cross sectional area of ferrite core

$$V_{Cu} = L_{Cu} A_{Cu} \quad (\text{cm}^3)$$

เมื่อ

L_{Cu} : copper wire length

$$L_{Cu} = 2\pi(2a + c) \quad (\text{cm})$$

และในกรณีของ transformer loss นั้น parameter ตัวนี้จะมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการออกแบบที่จะจำกัดขนาดของหม้อแปลง (transformer size) ว่าจะมีขนาดเล็กที่สุดที่เป็นไปได้มีขนาดเท่าไร

เพราะฉะนั้นสมการสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{\omega B_m^2 abcd}{2 \times 10^8} \geq P_{\max} \quad \text{watt.}$$

และ

$$\frac{2\omega B_m^2 (c + d + 2a) ab \tan \delta_m}{\mu_0 10^{16} \mu} = P_m \quad \text{watt.}$$

และ

$$\frac{2\omega B_m^2 (c + d + 2a) ab \tan \delta_m}{\mu_0 10^{16} \mu} \leq P_m \quad \text{watt.}$$

เมื่อ

P_{\max} : maximum power require

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P_m : core loss
- P_{gm} : a guarantee core loss

ดังนั้น

$$P_{\Omega} = 2\rho J^2 cd\pi(2a + c) \quad \text{watt.}$$

โดยที่ P นี้ใช้ในการออกแบบ ซึ่งจะต้องมีค่าสูงกว่ากรณีของ guarantee design case

$$2\rho J^2 cd = P_g \Omega \quad \text{watt.}$$

เมื่อ

- P_g : guarantee copper loss

ปัญหาของการออกแบบเพื่อจะให้ขนาดของแกน (core size) และลวดทองแดง (copper size) มีขนาดเล็กที่สุดได้นั้นเราใช้ weighting factor เป็นตัวจัดปัญหาเหล่านี้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ geometric programming โดยมีค่าของ K_1 และ K_2 เป็นเลขบวกและมีค่ามากกว่าหนึ่งซึ่งผลรวมของค่าเหล่านี้เราเขียนแทนได้เป็น

$$\text{optimize } Z = K_1 V_{cu} + K_2 V_F$$

แต่เราทราบว่า

$$\frac{\omega B_m J abcd}{2 \times 10^8} \geq \text{อมเกก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง} P_{max} \quad \text{watt.}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{2\omega B_m^2 (2a + d + c) ab \tan \delta m}{\mu \mu_0} \leq P_{gm} \quad \text{watt.}$$

$$2\rho J^2 c d (2a + c) \pi \leq P_g \quad \text{watt.}$$

เมื่อ

K_1 & K_2 = weighting factor

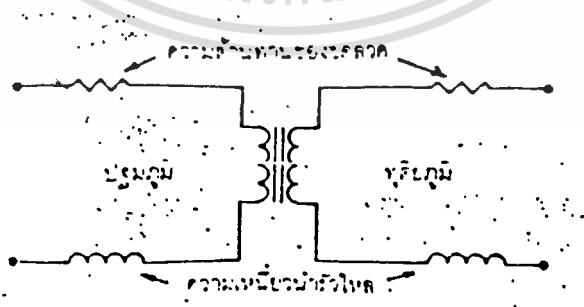
โดยที่เรารู้ค่า

$B_m, \omega, \rho, \tan \delta_m, \mu$ and μ_0

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

เริ่มแรกเราจะพิจารณาถึงขนาด ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดหรือหม้อแปลงไฟฟ้า จะต้องมีความมากพอที่จะหน่วงกระแสเปิดให้มีค่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ และการรักษาการทำงานในแบบต่อเนื่องไว้ แกนของหม้อแปลงจะต้องไม่เกิดการอิ่มตัวเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมันมีค่าสูง ๆ ในการออกแบบบางครั้งเราจะต้องคำนึงถึงขนาดและกำลังงาน การกรองสัญญาณ และการตอบสนองสัญญาณทรานเซียนท์

วัสดุที่เป็นแกนของหม้อแปลงอาจเป็นเฟอร์ไรท์ หรือ ผงเหล็กก็ได้ แต่แกนที่เป็นแผ่นเหล็ก EI ไม่สามารถใช้กับการทำงานที่ความถี่สูง ๆ ได้ เนื่องจากแกนจะเกิดการอิ่มตัวได้ง่าย



รูปที่ 3.9 แสดงโมเดลของหม้อแปลง

จากรูปแสดงโมเดลของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ความต้านทานจากขด

ลวด และความเหนี่ยวนำรั่วไหล (Leakage Inductance) หม้อแปลงในอุดมคติ นั้น จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้หรือเห็นข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งมาที่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดับปลั้งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิได้ สมบูรณ์ แรงดันสไปค์ (Voltage Spike) ไม่สามารถเกิดขึ้นมาคร่อมขดปฐมภูมิได้ เว้นแต่เกิดแรงดันสไปค์ที่เป็นสัดส่วนกันขึ้นทางทุติยภูมิ ถ้ามีไหลดมาต่อคร่อมขดทุติยภูมิ เราจึงใช้ตัวเก็บประจุกำจัดแรงดันสไปค์ที่เกิดขึ้น

ในความเป็นจริง สนามแม่เหล็กที่เกิดบนขดลวดทุติยภูมิส่วนหนึ่งจำนวนไม่มากนักสามารถดับปลั้งไปยังขดทุติยภูมิได้ ในทางไฟฟ้าย่อมหมายถึง ความเหนี่ยวนำส่วนเล็ก ๆ ส่วนหนึ่งของขดปฐมภูมิ ไม่เหนี่ยวนำสัญญาณไปยังขดลวดทุติยภูมิ ความเหนี่ยวนำส่วนนี้จึงเรียกว่า ความเหนี่ยวนำรั่วไหล (Leakage Inductance) ดังแสดงในรูป กระแสทางขดปฐมภูมิที่เกิดจากการเปิด ปิด จะเป็นตัวก่อให้เกิดสไปค์ขึ้นในความเหนี่ยวนำรั่วไหล

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลมาค่าน้อยมาก แต่ในการออกแบบหม้อแปลงเราไม่สามารถตัดพารามิเตอร์ตัวนี้ทิ้งได้ ในการพันหม้อแปลงให้ใกล้เคียงกับหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ นั้น มักใช้วิธีการพันแบบไบฟิลลาร์

การพันแบบไบฟิลลาร์นั้น ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจะพันม้วนเข้าด้วยกัน เส้นลวดของขดลวดทั้งสองจะพันผสมบนคอยล์เดียวกัน

การออกแบบหม้อแปลงโดยวิธี Area Product (Ap)

กำหนดค่า

P = กำลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

V_1 = แรงดันทางปฐมภูมิมีหน่วยเป็น โวลท์ (V)

V_2 = แรงดันทางทุติยภูมิมีหน่วยเป็น โวลท์ (V)

f_s = ความถี่ของแหล่งจ่ายมีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

ขั้นที่ 1

- กำหนดค่า J ในช่วง 2.5 - 10 A/mm²

- กำหนดค่า K ในช่วง 0.3 - 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2คำนวณ A_p

$$A_p = \frac{P}{2B_{\max} K_f f_s}$$

$B_{\max} = 0.3$ Tesla กรณีแกนเฟอร์ไรท์

ขั้นที่ 3

แกนไว้

- เลือกแกนที่มี A_p ที่คำนวณได้จากขั้นที่ 2 จากตารางข้างบน บันทึกค่า W และ S ของ

ขั้นที่ 4

- คำนวณหาจำนวนรอบ N_1 (ปฐมภูมิ), N_2 (ทุติยภูมิ)

$$N_1 = \frac{V_1}{4B_{\max} S f_s}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4B_{\max} S f_s}$$

ขนาด	ความถี่	ความถี่	S(mm ²)	A _g (mm ²)
E-16	29	36	19.2	555
E-19	29.5	40	25	738
E-25	52.8	51.2	42.25	2231
E-28	50	60.6	77.38	3559
E-30	34.2	66	110.25	3771
E-33	97.8	76	120.65	11600
E-35	56	80	100	8600
E-40	112.14	86	132.25	14831
E-50	182.75	108	216.25	38423
E-34	115	61	92	10575
E-38	200	72	123	24556
E-43	210	78	172	36109
E-70	452	102	222	109007

ค่าความถี่ของขนาด

ตาราง 3.1 ขนาดของแกน

ขั้นที่ 5

- คำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวด

$$AW1 = \frac{KW}{2N1}$$

$$AW2 = \frac{KW}{2N2}$$

- เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทางปฐมภูมิ = $\sqrt{\frac{4AW1}{\pi}}$

- เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทางทุติยภูมิ = $\sqrt{\frac{4AW2}{\pi}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกเบอร์ลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) ให้ใกล้เคียงกับที่คำนวณได้

ขั้นที่ 6

- ทดสอบว่าสามารถพันขดลวดลงใน window ได้หรือไม่

$$\geq \frac{(N_1 d_1^2 + N_2 d_2^2) \pi}{4K}$$

เมื่อ d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

ส่วนประกอบภาคไฟออก (Output section)

หน้าที่การทำงานของส่วนนี้คือ การแปลงไฟกระแสสลับที่ได้จากขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ให้เป็นไฟกระแสตรง เพื่อจ่ายให้แก่โหลดต่อไป เพื่อจ่ายต่อความเข้าใจจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ไดโอดเรียงกระแส ทำหน้าที่เรียงกระแส จะต้องมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (recovery time) ต่ำและมีแรงดันตกคร่อมเมื่อฟอร์เวิร์สไบแอสต่ำ ทำให้ไดโอดธรรมดาไม่สามารถนำมาใช้ได้ ไดโอดที่ใช้เป็นไดโอดพวกไดโอดนำกระแสเร็ว ไดโอดนำกระแสเร็วมาก (Fast and Very fast recovery diode) และ ซอตตี้ไดโอด (Schottky diode)

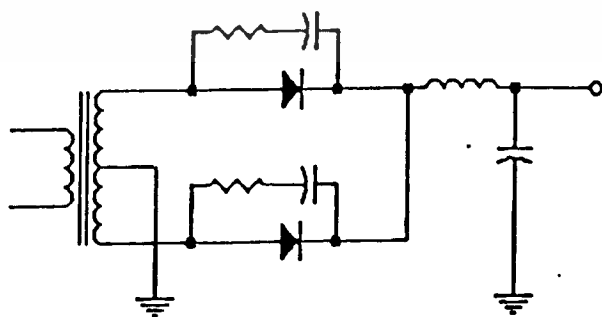
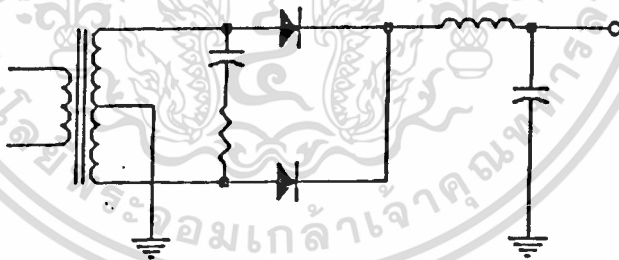
-- ไดโอดนำกระแสเร็วและเร็วมาก ไดโอดชนิดนี้มีแรงดันตกคร่อมเมื่อฟอร์เวิร์สไบแอสประมาณ 0.8 - 1.2 โวลต์ มักใช้งานที่ระดับแรงดันสูงกว่า 12 โวลต์ และกระแสต่ำ

เอกสารนี้เป็นของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

กระแสน้อยกว่าของทรานซิสเตอร์จ่ายกำลัง (Powertransister) ประมาณ 3 เท่า ไดโอดชนิดนี้สามารถทนอุณหภูมิที่รอยต่อพีเอ็น (PN junction) ได้สูงถึง 175 องศาเซลเซียส

- ข้อดีไดโอด ค่าแรงดันตกคร่อมเมื่อฟอร์เวิร์สไบแอสต่ำ ประมาณ 0.5 โวลต์ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส้น้อยมากจนละเลยเสียได้ เหมาะสมที่จะใช้งานที่ใช้กระแสสูง แรงดันต่ำ ตัวของมันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันตกคร่อมเมื่อฟอร์เวิร์สไบแอสจะลดลง ข้อเสียของไดโอดชนิดนี้คือ ไม่สามารถทนแรงดันรีเวิร์สไบแอสได้สูง เท่าที่ทำได้ในปัจจุบัน ประมาณ 100 โวลต์ และมีกระแสรั่ว (Leakage current) มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิรอยต่อสูงขึ้นจึงเกิดภาวะพังเพราะอุณหภูมิ (Thermal runaway) ได้ง่าย

เนื่องจากการนำกระแสอย่างรวดเร็ว ของไดโอดทั้งสองชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้เกิดภาวะทรานเซียน (Transient voltage) ของแรงดัน เมื่อไดโอดหยุดนำกระแสสามารถแก้ไขได้โดยการใส่ snubber เบอร์ (Snubber circuit) เพื่อป้องกันภาวะนี้ในวงจร สำหรับกระแสต่ำจะใส่คร่อมขดลวดทุติยภูมิ ส่วนกระแสสูงจะใส่คร่อมตัวไดโอด ดังรูป



รูป 3.10 snubber เบอร์ (Snubber circuit) ป้องกันไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณค่าของตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ ของวงจรสับเบอริ์ได้ดังนี้

$$R_s^2 = L_T / (C_j \cdot n^2)$$

ส่วนค่าของตัวเก็บประจุ จะเลือกอยู่ระหว่าง .01 - .1 μF ค่ากำลังที่สูงสูญเสียในตัวต้านทาน (Power dissipated) สามารถหาได้จาก

$$P_r = C_s (V_{in} / n)^2 f/2$$

- การเลือกค่าตัวเก็บประจุ เป็นตัวแปรสำคัญที่จะบ่งบอกถึงกำลังที่สูญเสียในวงจรสับเบอริ์

2. ตัวเหนี่ยวนำ ทำหน้าที่สองประการคือ หน้าที่หน่วงกระแสให้กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง และ หน้าที่ในการช่วยให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้น มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถใช้ทำตัวเหนี่ยวนำได้ ที่ใช้มาก ได้แก่ แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core) แกนผงเหล็ก (Iron powder) และแกนโมลิเพอมาลอย (Molypermalloy) MPP แกนผงเหล็ก และ MPP มักทำอยู่ในรูปทอรอยด์ (Toroid) และสามารถใช้งานได้ดีเนื่องจาก

- มีค่าความอิมิตีวของแกนสูง B_{sat} มากถึง 8000 เกาส์
- สามารถกักเก็บพลังงานได้มาก
- ไม่จำเป็นต้องมีช่องว่างอากาศ (Air gap)
- มีขนาดให้เลือกมากมาย

สำหรับแกนเฟอร์ไรท์ จำเป็นต้องมีช่องว่างอากาศ เนื่องจากมีค่าความอิมิตีวของแกนต่ำ (B_{sat} ประมาณ 3000 - 5000 เกาส์) และยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่ก็ยังคงนิยมใช้โดยเฉพาะ พอทคอร์ (Pot core) ซึ่งมีการป้องกันการรบกวนของสนามแม่เหล็กได้ดี และง่ายต่อการพันขดลวด

จากความสัมพันธ์

$$V_L = L di / dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_L = E_{in} - E_{out}$$

โดยการประมาณค่า $d_i = \Delta I_L$ ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$L = [(E_{in} - E_{out}) \Delta t] / \Delta I_L$$

ในวงจรที่มีหม้อแปลงแบบ มีจุดต่อกลาง (Center tap) E_{in} จะเป็นสองเท่าของ E_{out} ค่า Δt คือช่วงเวลาที่ไม่มีการนำกระแส ΔI_L คือผลต่างของกระแสโหลด และสามารถเขียน Δt ในรูปของ E_{in} และ E_{out} ได้ดังนี้

$$\Delta t = t_{off} = (1 - E_{out} / E_{in}) / 2f$$

ค่ากระแสโดยประมาณสามารถแทนได้ด้วย $\Delta I_L = 0.25 I_{out}$

ดังนั้น
$$L = E_{out} t_{off} / 0.25 I_{out}$$

3. ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ทำให้แรงดันเรียบ การเลือกตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับวงจรสวิทช์ ขนาดของกระแสที่ต้องจ่ายออก ซึ่งโดยมากจะเป็นตัวเก็บประจุชนิด อิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) ที่มีค่าความต้านทานเสมือน ESR (Equivalent Series Resistance) ต่ำ ค่า ESR มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดันกระแสเพื่อ และค่า ESR นี้เป็นตัวบ่งบอกถึงอายุใช้งานของตัวเก็บประจุ เนื่องจากเป็นตัวบ่งถึงค่าความสูญเสียภายในตัวเก็บประจุ ถ้าค่า ESR สูง ในการใช้งานจะเกิดการสูญเสีย (loss) มาก ทำให้เกิดความร้อน ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

บทที่ 4

การคำนวณและการสร้าง

จากที่ได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีของ induction heating ทำให้ทราบเกี่ยวกับองค์ประกอบของส่วนต่างๆที่ต้องใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ โดยส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆประกอบไปด้วย

1. ส่วนวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสไฟป้อนเข้า (Input filter and rectifier)
2. ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตซ์ซิ่ง (Switching)
3. ส่วนของหม้อแปลงความถี่สูง (High frequency tranformer)
4. ส่วนของวงจรป้องกันต่างๆ (Protection)
5. ส่วนของคอยล์ (Coil)

จากส่วนประกอบข้อ 1,2,3,4, จะเห็นว่าต้องมีการสร้างวงจรขึ้นมาในการที่จะสร้างเครื่องต้นแบบ ซึ่งจากโครงการเก่าๆจะต้องสร้างเครื่องและวงจรต่างๆขึ้นมา แต่ในโครงการนี้จะนำแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching power supply) มาทำการดัดแปลง (modify) โดยจากการศึกษาวงจรภายในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิ่งซึ่งประกอบด้วย

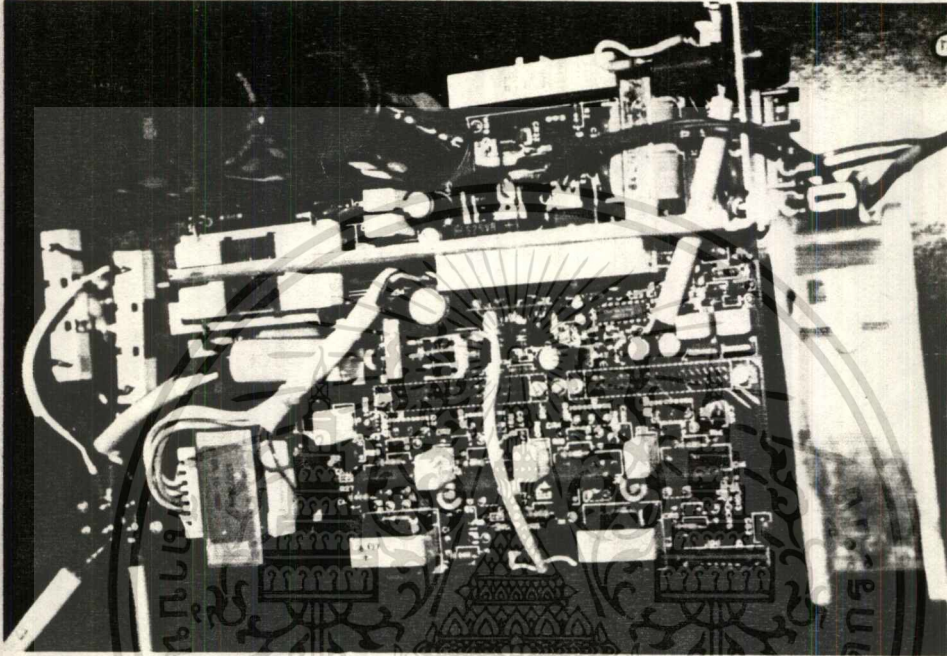
1. ส่วนวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสไฟป้อนเข้า (Input filter and rectifier)
2. ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตซ์ซิ่ง (Switching)
3. ส่วนวงจรควบคุม
4. ส่วนของหม้อแปลงความถี่สูง (High frequency tranformer)
5. ส่วนวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสไฟขาออก (Output filter and rectifier)
6. ส่วนของวงจรป้องกันต่างๆ (Protection)

ดังนั้นการดัดแปลงจึงสามารถตัดส่วนวงจรของส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนที่จะใช้ในการทำเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนของแหล่งจ่ายไฟคงที่แบบสวิตซ์ซิ่งออก (Switching power supply) ซึ่งได้แก่ ส่วนของวงจรควบคุม ส่วนวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสไฟขาออก และ ทำการออกแบบคอยล์เพิ่มขึ้นมา โดยจะต้องศึกษาวงจรภายในของ แหล่งจ่ายไฟคงที่แบบสวิตซ์ซิ่ง

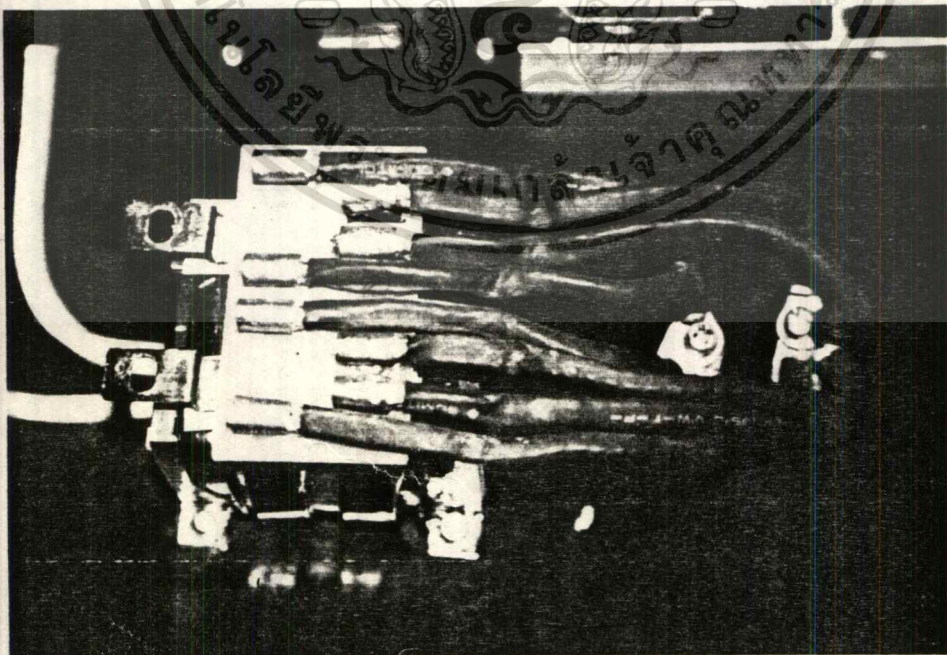
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching power supply)ให้เข้าใจ และ รู้ว่าส่วนใดของเครื่องเป็นวงจรใดเชื่อมโยงกันอย่างไรภายในเครื่องเพื่อจะได้นำ ส่วนนั้นๆไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

โครงการที่ทำขึ้นมาชิ้นส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟคงที่แบบสวิตสซิ่ง(Switching power supply),มาใช้โดยสามารถแสดงได้จากภาพดังนี้

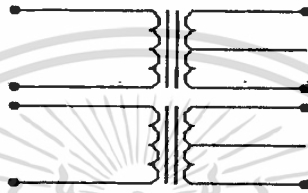


รูปที่ 4.1 แสดงส่วนของวงจรกรองกระแสและเรียงกระแสพร้อม ส่วนสวิตสซิ่ง



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรภายในของหม้อแปลงความถี่สูง

การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

ถึงแม้ว่าจะเลือกความถี่ที่ถูกต้อง ซึ่งจะเป็นไปได้เป็นส่วนสำคัญที่สุดในขั้นตอนการ

ออกแบบ

ระบบเหนี่ยวนำความร้อน แต่ก็มีบ่อยครั้งที่จะต้องยืดหยุ่นในช่วงของความถี่ให้พอเพียง
ในการ

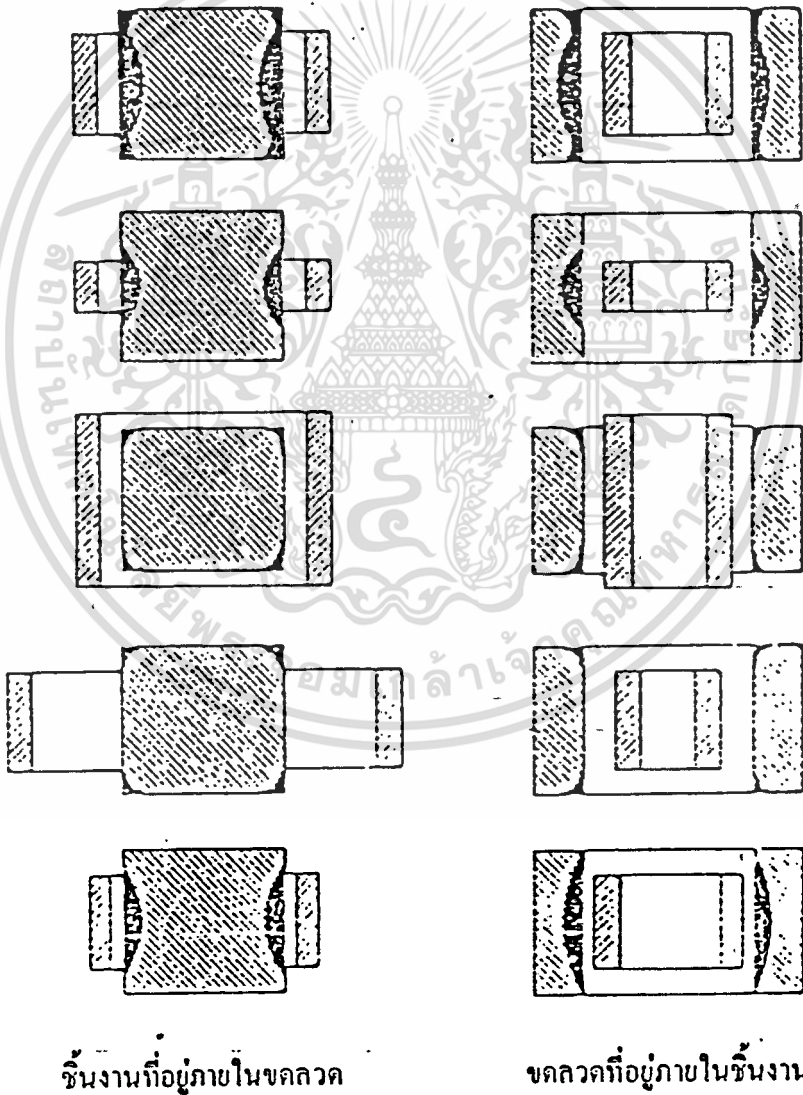
ออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำนั้น อย่างไรก็ตามจะแตกต่างกันมากในการใช้งาน และสามารถจะพิจารณาความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของระบบวิศวกรรม ซึ่งจะมีหน้าที่หลาย ๆ
อย่าง ซึ่งจะต้องเตรียมขดลวดเหนี่ยวนำให้ขดลวดสมบูรณ์คือ

ตาราง 4.1 Characteristics ทั่ว ๆ ไปของการกำหนดความถี่สำหรับการใช้งานในแต่ละชิ้นงาน

OUTPUT , kW	FREQUENCY , kHz	IN PUT	
		V	kVA
1	400	115	2.3
2.5	400	230,460	5.5
5	250-450	230,460	12.5
7.5	250-450	230,460	17
10	250-450	230,460	23.5
15	180-450	230,460	35
20	180-450	230,460	45
25	180-450	230,460	55
30	180-450	230,460	70
40	180-450	230,460	92
50	180-450	230,460	120
75	180-450	230,460	165
100	180-450	230,460	210
2.5	2.5-8	230,460	5.5
5	2.5-8	230,460	12.5
7.5	2.5-8	230,460	17
10	2.5-8	230,460	23.5
15	2.5-8	230,460	35
20	2.5-8	230,460	45
30	2.5-8	230,460	70
50	2.5-8	230,460	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงขนาดของขดลวดให้ใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าชิ้นงาน ดังแสดงในรูป 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขดลวดทำให้เกิดความร้อนภายในผิวของทรงกระบอก ในขณะที่ขดลวดที่อยู่ภายในให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าขดลวดภายนอก ซึ่งไม่สามารถใช้กับงานที่ต้องการศักยภาพสูง ซึ่งแสดงได้ในรูปว่าการออกแบบขดลวดมีผลกับรูปแบบความร้อน การที่จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบ หากมีแบบเหมือนกัน สามารถจะใช้ได้โดยเลื่อนขดลวด หรือปรับระยะห่างของขดลวดดังแสดงในรูป 4.5



รูปที่ 4.4 ผลของความร้อนที่กำหนดชั้นมีผลต่อการกำหนดตำแหน่งชิ้นงานและขดลวด

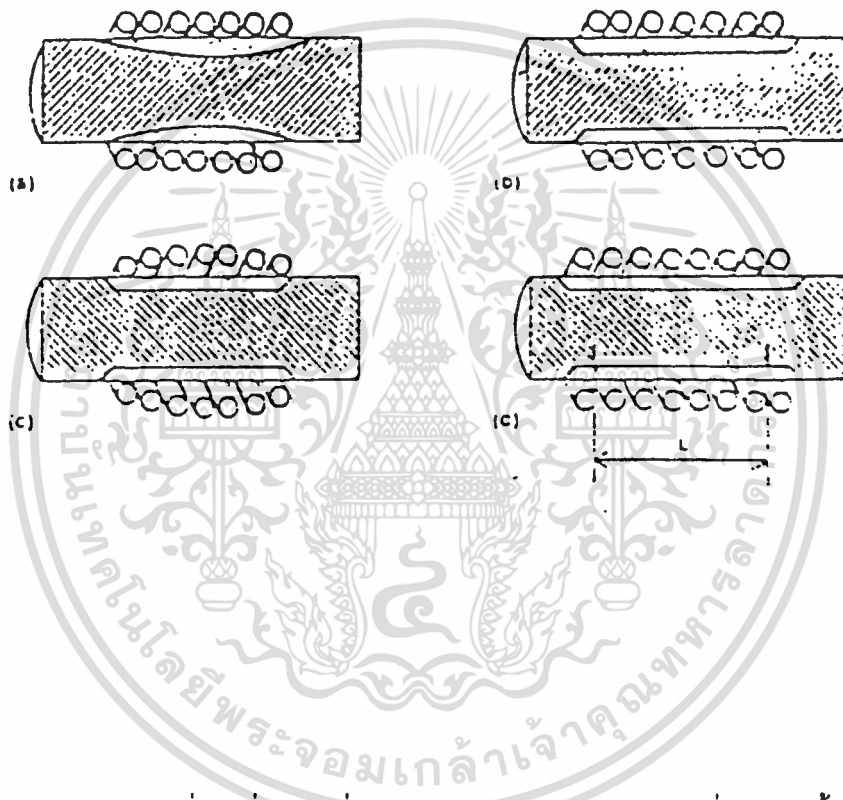
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการเรขาคณิตขั้นสูงนั้น ขดลวดจะถูกออกแบบได้หลายรูปแบบ และการใช้งานจริงถูกจำกัดด้วยความตั้งใจของนักออกแบบ ดังตัวอย่างขดลวด (ผลของความร้อน) ซึ่งแสดงในรูป 4.6 และ รูปที่ 4.9

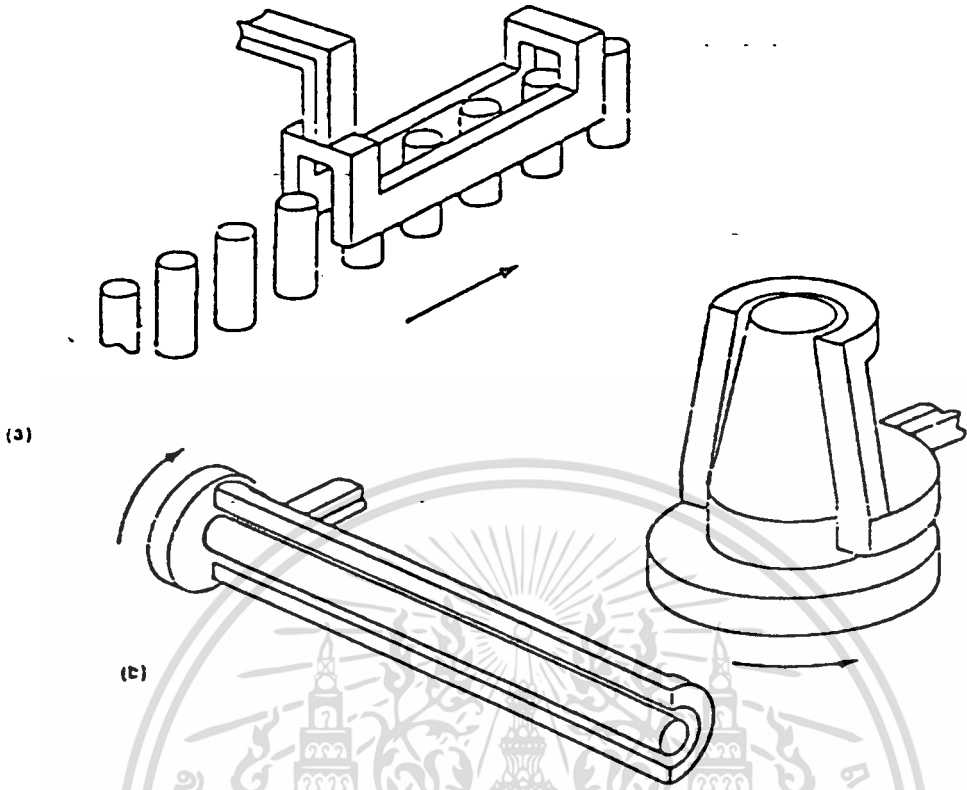
ขดลวดแบบเป็นร่อง (แสดงในรูปที่ 4.6) เป็นแบบหนึ่งของขดลวดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมันถูกใช้เพื่อให้ความร้อนสำหรับด้านปลายหรือด้านหนึ่งของอุปกรณ์และชิ้นส่วนนั้นจะต้องเคลื่อนที่ผ่านขดลวดอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ ซึ่งเป็นไปได้ว่าขดลวดจะไม่ได้อยู่บนรอบขึ้นฐานขดลวดแบบร่องถูกใช้บ่อยเพื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการขึ้นอยู่กับรูปแบบของความต้องการความร้อน

ขดลวดซึ่งนิยมใช้อย่างมาก เพื่อที่จะให้ความร้อนรอบชิ้นส่วนนั้นเป็นแบบ ไม่เป็นวงกลมสมบูรณ์ (รูป 4.6b) ขดลวดแบบนี้ กระแสเหนี่ยวนำจะวิ่งไปตามยาวมากกว่าตามลักษณะของทรงกลมชิ้นส่วนจะต้องหมุนไปมาขณะดำเนินการ เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วพื้นผิว ขดลวดแบบนี้ได้รับความนิยมไม่กี่ปีที่ผ่านมา ในการชุบแข็งผิวของเพลาลูกหลายรูปแบบ

เรขาคณิตพื้นฐานของขดลวดแบบอื่น คือเป็นลักษณะเหมือนจานแบน ซึ่งแสดงในรูป 4.7e และ 4.8d ขดลวดแบบนี้ให้ความร้อนแก่พื้นผิวเพียงด้านเดียว แต่สามารถดัดแปลงชิ้นส่วนให้โค้งหรือเหลี่ยมกัน คุณลักษณะแบบอื่น ๆ ของขดลวดได้แสดงในรูป 4.8 และ 4.9



- รูปที่ 4.5 a) ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอที่ได้จากขดลวดระยะเท่า ๆ กัน ซึ่งปัญหาที่เราแก้โดย
 b) เพิ่มระยะห่างของขดลวดในแต่ละรอบให้กว้างขึ้น
 c) ทำให้เกิดความแตกต่างของการ coupling หรือ
 d) ให้จำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น เมื่อ L คือความยาวในการให้ความร้อน



(c)

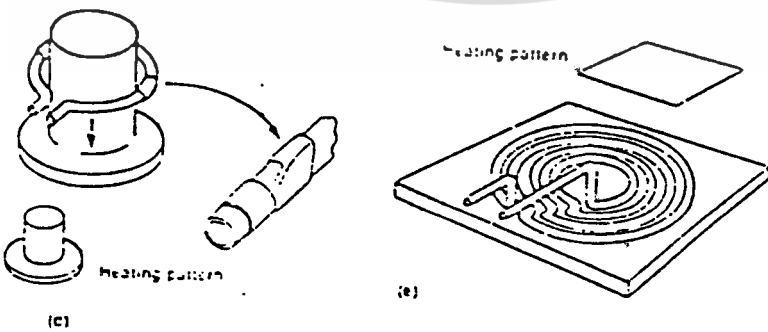
รูปที่ 4.6 ชนิดในการออกแบบของ
 a) ขดลวดเหนียวน้ำแบบร่อง
 b) single shot แบบขดลวดที่ไม่เป็นวงกลมสมบูรณ์



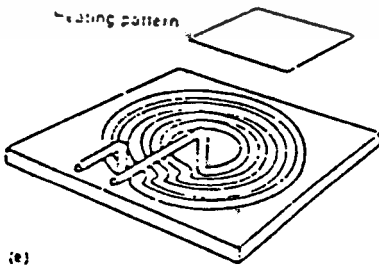
(a)

(b)

(c)



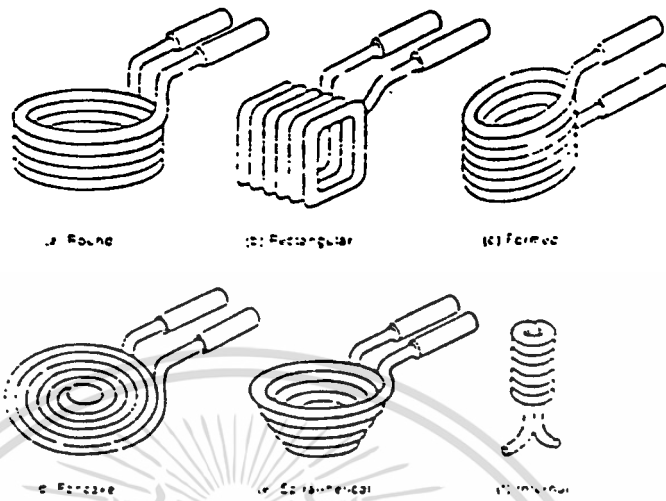
(c)



(e)

รูปที่ 4.7 ชนิดของขดลวดในการออกแบบสำหรับพื้นที่ที่ต้องการทำให้แข็งโดยใช้ความถี่สูงในการเหนียว

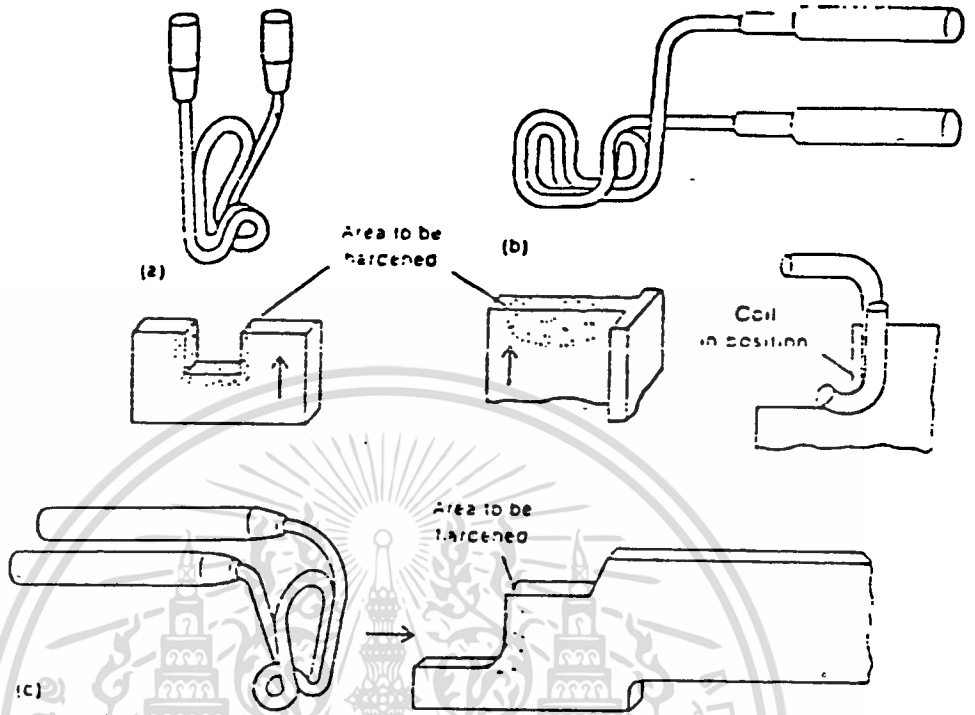
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนแบบต่าง ๆ

ความเหมาะสมของขดลวดเหนี่ยวนำต่อเครื่องกำเนิด

จากการออกแบบรูปร่างของขดลวดในหลายลักษณะ ความเหมาะสมกันของขดลวดต่อเครื่องกำเนิดนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ถ้าหากคิดถึงความร้อนต่อชิ้นงาน ซึ่งกำหนดไว้ และรูปร่างของขดลวด ซึ่งออกแบบให้เหมาะสมกับชิ้นงาน ขดลวดจะต้องเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดเพื่อที่จะได้เก็บความร้อนได้ตลอดเวลาที่ต้องการ ถ้าพลังงานเต็มพิกัดของเครื่องกำเนิดถูกกำหนดอย่างจริงจังมันเป็นจุดสำคัญที่ข้อกำหนดทางไฟฟ้าของระบบ ซึ่งใช้กระแสเต็มกำลังซึ่งถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟด้วยแรงดันเต็มพิกัด ซึ่งเครื่องกำเนิดจะต้องมองเห็นค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงาน (Power Factor) จะต้องเข้าใกล้ 1 ให้มากที่สุด สิ่งนี้เรียกว่าความเหมาะสมทางอิมพีแดนซ์นั้นเกี่ยวข้องกับตัวแปร 2 ประการของปัญหาพื้นฐานเดียวกัน คือ : เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดแบบความถี่ตายตัว และเหมาะสมกับต้นกำเนิดแบบเปลี่ยนความถี่ได้ โดยการใช้งานจริงรวมถึงการเปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำและใช้หม้อแปลงสัมพันธ์



รูปที่ 4.9 ขดลวดเหนียวน่าแบบ odd-shape สำหรับใช้เฉพาะพื้นที่ที่ต้องการความร้อน

เป็นส่วนที่ต่อจากหม้อแปลงความถี่สูง โดยที่ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กให้เข้าไปในเหล็กเพื่อทำให้เหล็กร้อน โดยกระแสในขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กนั้นมีความหนาแน่นมาก จะทำให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กร้อน และขดลวดได้รับความร้อนส่วนหนึ่งมาจากชิ้นงาน จึงต้องคำนึงถึงการระบายความร้อนของขดลวดด้วย

คุณสมบัติที่จะนำไปใช้ประยุกต์ในกรออกแบบ

หลักการสำคัญในการเลือกขดลวดเหนียวน่าเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ได้ตามความเหมาะสมของงาน มีวิธีเลือกต่อไปนี้

1. ดูคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ส่วนผสมของโลหะและลำดับก่อนหลังของการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการผลิต lb/hr หรือ ชิ้น/ช.ม.
- น้ำหนักของชิ้นงานที่จะให้ความร้อน M, lb
- ขอบเขตความลึกผิวที่ต้องการ dn, นิ้ว
- ขนาดของชิ้นงาน
 1. ขนาดภายนอก dw, นิ้ว
 2. ขนาดความยาวของชิ้นงานที่จะให้ความร้อน lw, นิ้ว
- พื้นที่ที่จะทำการทำผิวแข็งเหล็ก Aw, ตร.นิ้ว

2. เลือกแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสม

ซึ่งความถี่เป็นตัวแปรสำคัญ ต่อการกำหนดความลึกผิวของชิ้นงานในการทำผิวแข็งเหล็ก, รูปร่างของชิ้นงานอัตราการผลิตโดยทั่วไปเราจะใช้ความถี่ดังนี้

ความถี่ (kHz)	ความลึกผิว (นิ้ว)
3	0.100-0.250
9.6	0.080-0.120
450	0.030-1.090

3. การเลือกวิธีการชุบผิวแข็งเหล็ก

ชิ้นงานเล็ก ๆ จะใช้วิธี Single - Shot และออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำที่สามารถให้ความร้อน ได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานขนาดใหญ่ ดังนี้

เช่น พวกเพลลา, แกนเพลลา, หมุด เป็นต้น ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่ผิวคงที่ ใช้การสแกนผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ สำหรับเกียร์จะใช้วิธีหมุนเข้าไปข้างในขดลวดเหนี่ยวนำ

4. หาพื้นที่ในการให้ความร้อนและการชุบผิวแข็งเหล็ก (Aw/ in²)

5. ประมาณค่าของ Power Density (Pa / in²) และเวลาที่ต้องการ t (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เลือกขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ

เรามักจะพันจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำให้น้อยที่สุดและพื้นที่ของขดลวดเหนี่ยวนำใกล้กับชิ้นงานมากที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของตำแหน่ง และเงื่อนไขต่าง ๆ

ทั้ง 5 ขั้นตอนข้างต้น มีข้อมูลดังนี้

ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ f , Hz

วิธีการชุบผิวแข็งเหล็ก

พื้นที่ในการให้ความร้อนและการชุบผิวแข็งเหล็ก P_w

ค่า Power Density (Pa / in^2)

กำลังของงาน Pa , Kw

เวลาในการให้ความร้อน t (วินาที)

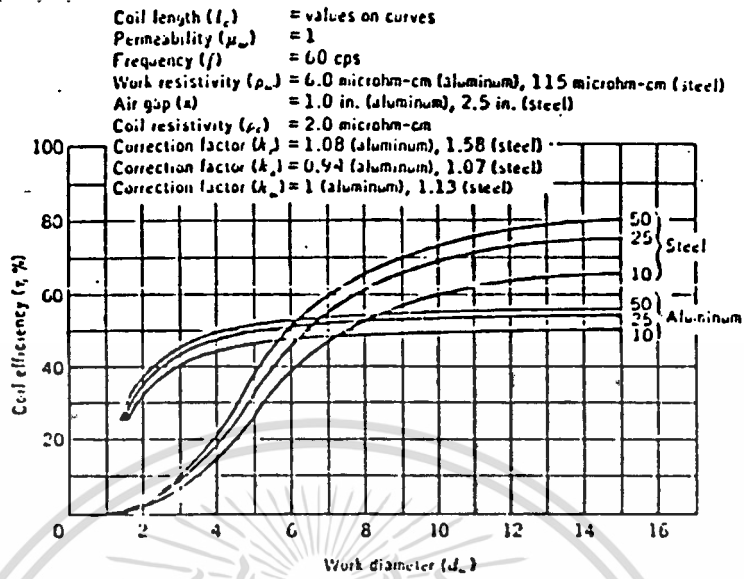
ขนาดของ coil

Approximate Coil-Design Method

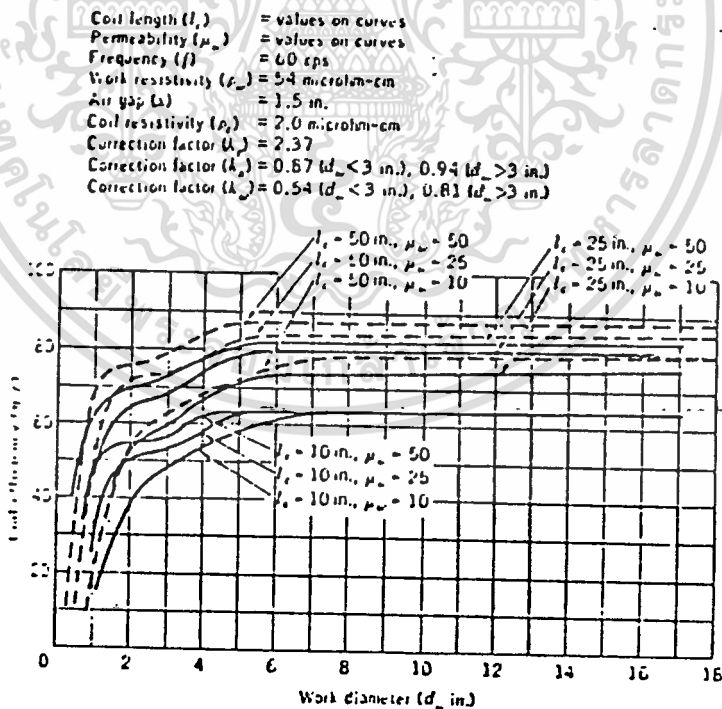
วิธีการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำแบบคร่ำ ๆ (โดยประมาณ)

วิธีนี้เป็นวิธีที่เร็ว และมีความถูกต้องพอสมควรในการออกแบบ coil ซึ่งมีตัวแปรหลัก ๆ ดังนี้ กำลังจากแหล่งจ่าย, แรงดัน, กระแส และจำนวนรอบการพัน coil และสามารถหาค่า Power Factor, ประสิทธิภาพ, และ copper loss ของ coil ได้ด้วย

กราฟแสดง ประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำและขนาดของชนิดงาน



รูป 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า coil efficiency และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ coil ; ของ Aluminum (70 - 1000 F) และ Steel (1400 - 2300 F)



รูป 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า coil efficiency และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Steel (70 - 1400 F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของ coil หาได้ดังนี้

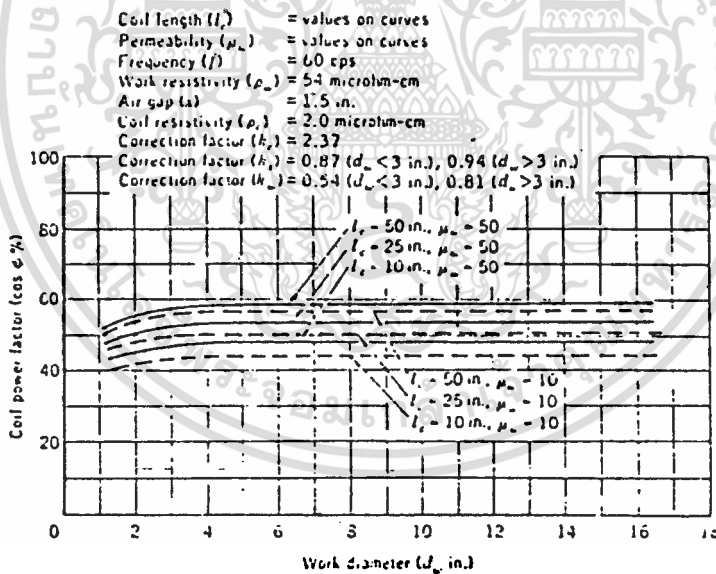
$$N = \frac{Pw * 10^2}{Po}$$

N = ประสิทธิภาพของ coil (%)

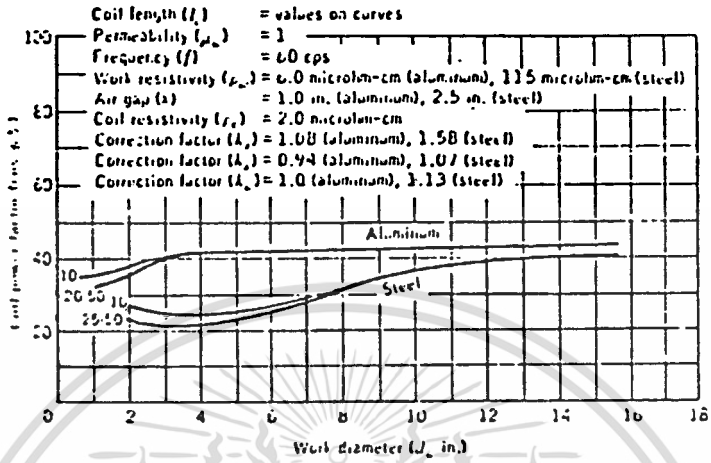
Pw = กำลังทั้งหมดที่ให้กับชิ้นงาน รวมถึง radiation loss (Kw)

Po = กำลังทั้งหมดที่เกินใน coil รวมถึง การสูญเสียต่าง ๆ (Kw)

กราฟแสดงค่า power factor ของ coil กับขนาดของชิ้นงานสำหรับ Aluminum และ Steel



รูป 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า power factor ของ coil กับเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของ Aluminum และ Steel



รูป 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า power factor ของ coil กับเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานสำหรับ Steel (70 - 1400 F)

ค่า power factor หาได้ดังนี้

$$\cos\phi = \frac{Po * 10^{12}}{KVAo} = \frac{Po * 10^5}{EcIc} \quad \%$$

KVAo = กิโลโวลท์ - แอมแปร์ ของ coil

Ec = โวลเตจ ของ coil (V)

Ic = กระแส ของ coil (A)

และค่าอิมพีแดนซ์ต่อกำลังสองของจำนวนรอบการพัน coil

$$\frac{Z}{Nc^2} = \frac{KVAo * 10^3}{(IcNc)^2} = \frac{Ec * 10^{-3}}{Nc * KVAo}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

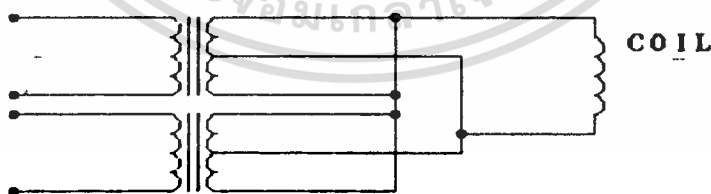
การชุบผิวแข็งเหล็ก

การผลิตเครื่องชุบผิวแข็งเหล็ก เป็นที่นิยม และมีประโยชน์อย่างแพร่หลาย เหตุผลหนึ่ง เนื่องจากข้อดีต่าง ๆ ในการกำหนดตำแหน่งความลึกของการชุบผิวแข็งเหล็กและอัตราความเร็วในการให้ความร้อนเพียงพอที่จะป้องกัน การนำความร้อนออกจากพื้นที่ปฏิบัติการ

แสดงความสัมพันธ์ของความลึก ในการชุบผิวแข็งเหล็ก และตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลาในการให้ความร้อน ความถี่ เป็นต้น ใช้อุณหภูมิช่วง 1550 และ 1650 F ให้ความลึกผิว ประมาณ 0.01 ถึง 0.20 นิ้ว

เราสามารถสรุปได้ว่า

1. ถ้าต้องการให้ความลึกผิวน้อยลง ต้องให้ความถี่สูงขึ้น
2. ให้ความถี่เหมาะสมจะให้ความลึกผิวน้อย ใช้เวลาในขบวนการน้อย และความหนาแน่นพลังงานสูง



รูปที่ 41 แสดงการต่อคอยล์เข้ากับหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

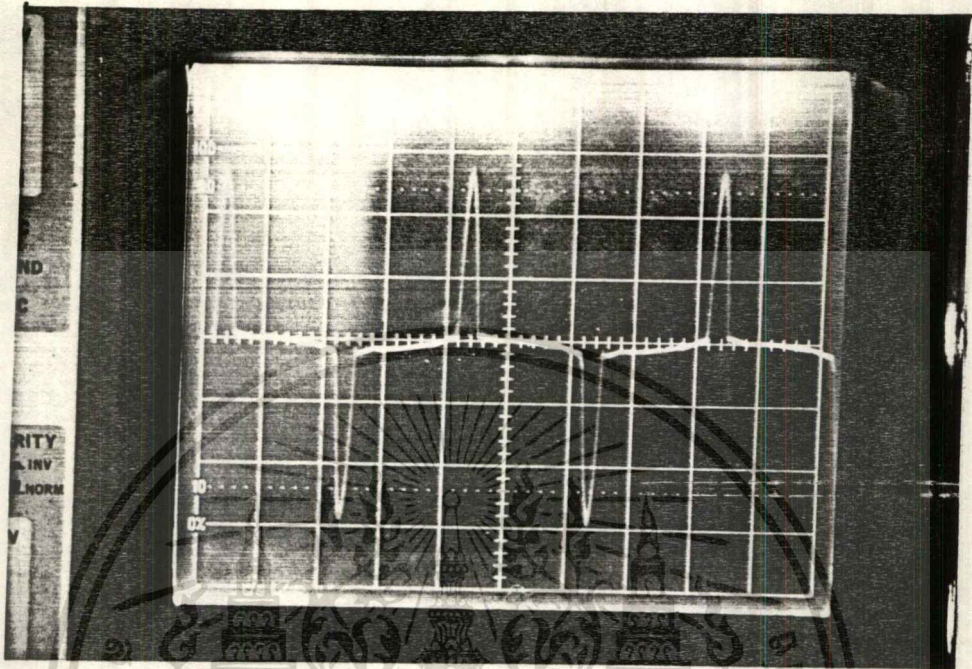
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

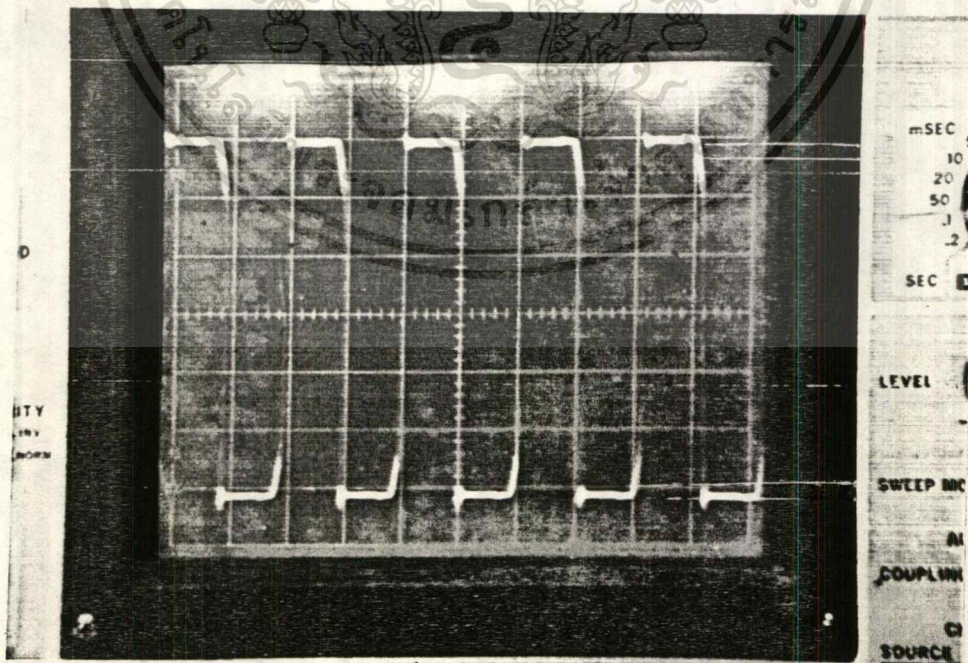
ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำแหล่งจ่ายไฟคงที่แบบสวิตซ์ซึ่งมาแล้วทำการถอดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปได้แก่ ส่วนของวงจรควบคุม ส่วนกรองและเรียงกระแสขาออก เหลือสายทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง
2. ต่อคอยล์เข้ากับสายไฟทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง
3. นำเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Watt Meter) ต่อเข้าทางด้านของส่วนขาเข้า (input)
4. อ่านค่าของกำลังไฟฟ้า (Watt) , แรงดัน(Voltage) และกระแส (Current) ทางด้านส่วนขาเข้า
5. ใส่เหล็กขนาดต่างๆกันเข้าไปในคอยล์ บันทึกเวลาที่เหล็กร้อนแดง ค่ากำลัง(Watt), กระแสทางด้านขาเข้า (Input current)
6. เปลี่ยนจำนวนรอบของคอยล์ แล้วบันทึกเวลาที่เหล็กร้อนแดง ค่ากำลัง(Watt), กระแสทางด้านขาเข้า (Input current)
7. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์และชนิดของคอยล์พร้อมกับไปทำข้อ 1-6 อีกครั้ง
8. นำข้อมูลที่ได้บันทึกผลและเก็บค่าเป็นตาราง

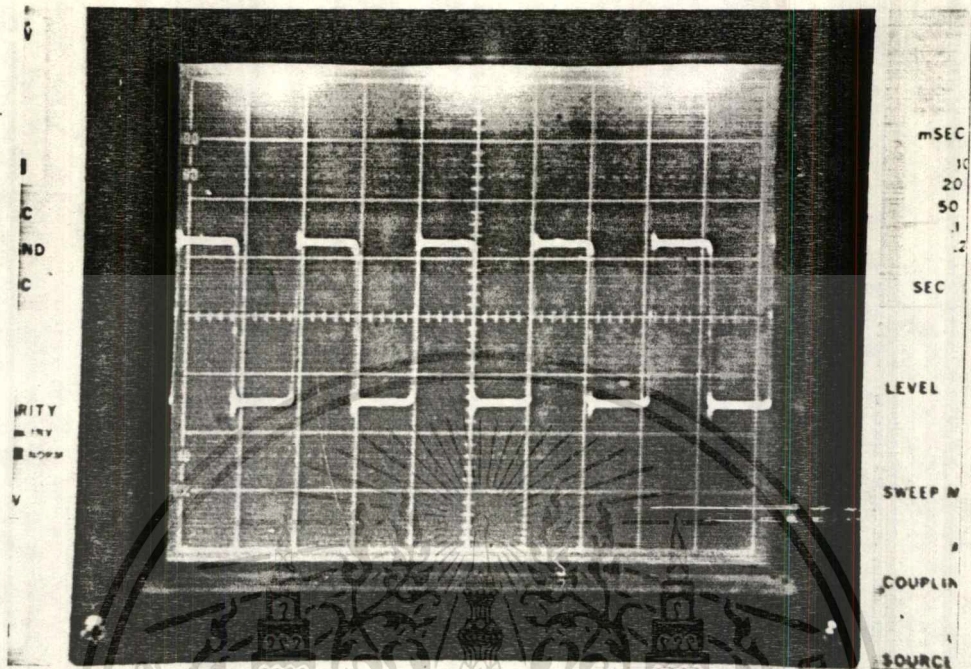
ผลการทดลอง



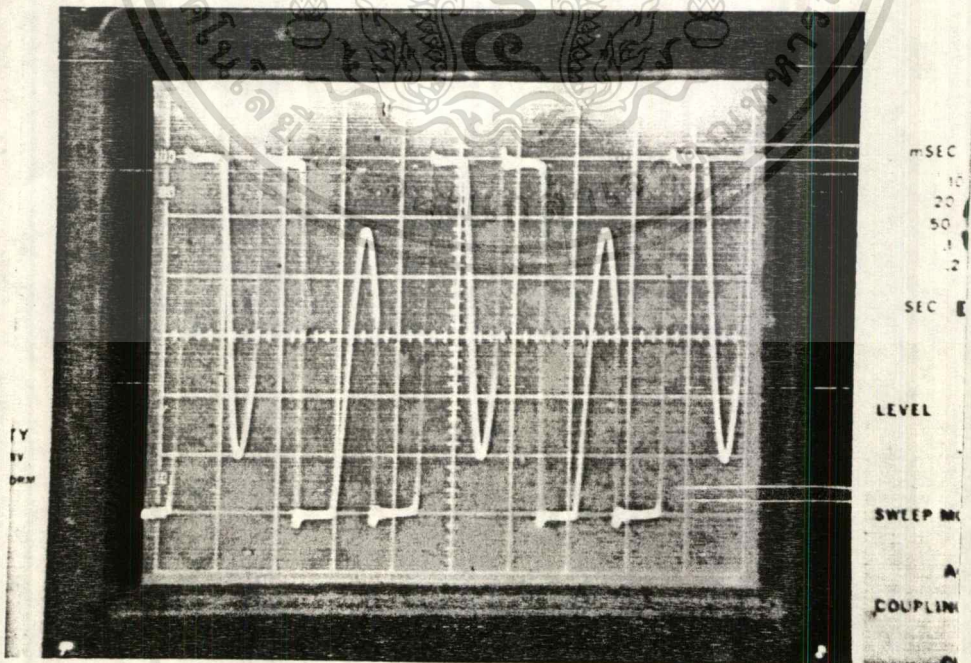
รูปที่ 5.1 แสดงกระแสขาเข้า (Input current) probe คูณ 1, 2 Amp/div, 5 ms/div



รูปที่ 5.2 แสดงแรงดัน (Voltage) ก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะไม่ต่อคอยล์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด probe คูณ 10, 10 Volt/div, 10 μ s/div และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

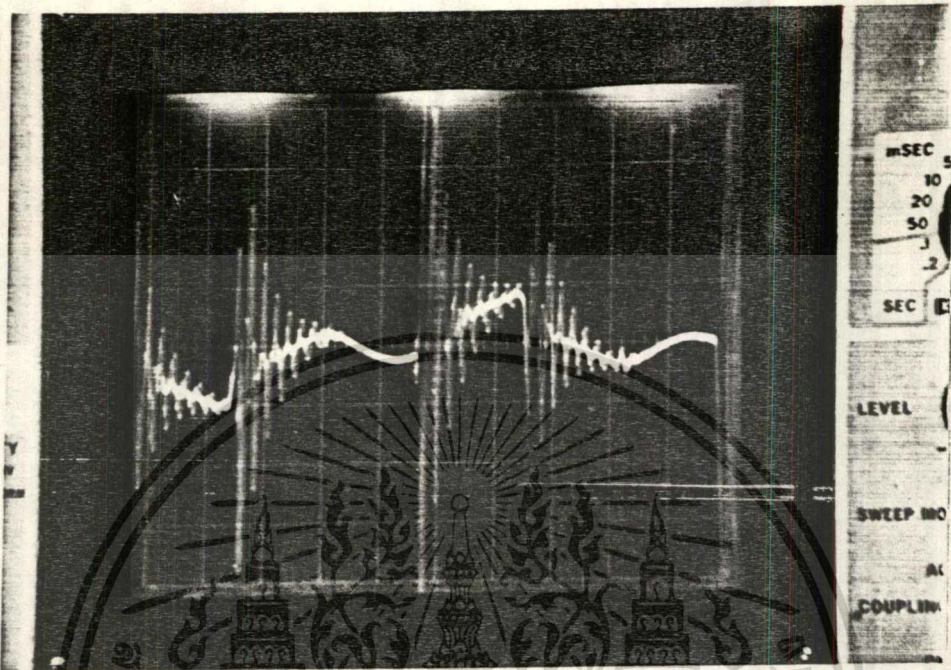


รูปที่ 5.3 แสดงแรงดัน (Voltage) ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงขณะไม่ต่อคอยล์
probe คูณ 10 , 2 Volt/div , 10 μ s/div

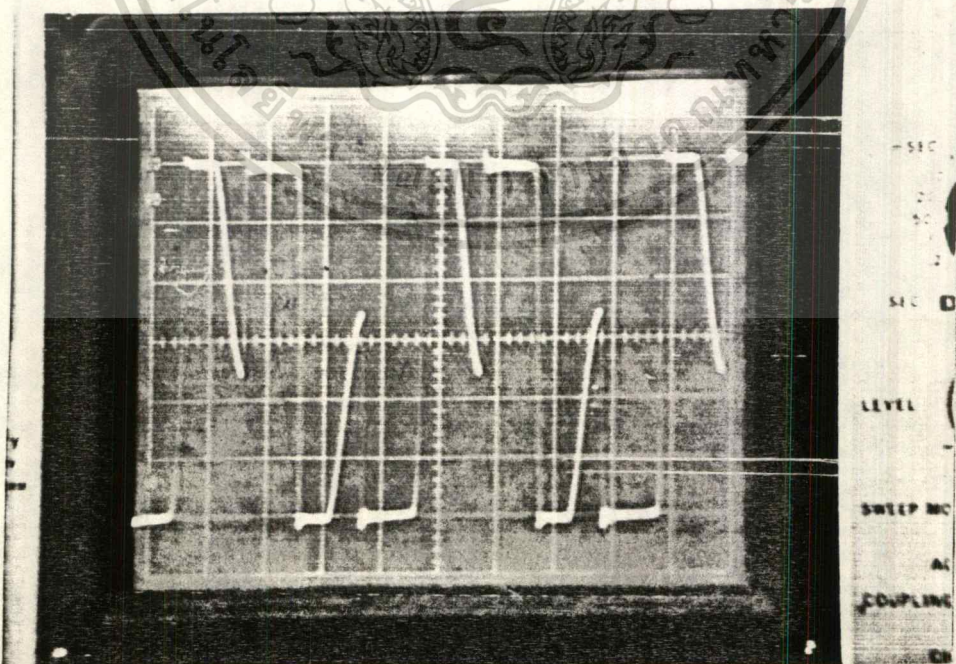


รูปที่ 5.4 แสดงแรงดัน (Voltage) ก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์

เอกสารนี้เป็น probe คูณ 10 หรือ 10 Volt/div ใช้ 10 μ s/div ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงกระแส (Current) ก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์
probe คูณ 1, 10 Amp/div 10 μ s/div



รูปที่ 5.6 แสดงแรงดัน (Voltage) ก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงความถี่สูงขณะต่อคอยล์และใส่เหล็ก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
probe คูณ 10, 10 Volt/div, 10 μ s/div
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการออกแบบคอยล์ต่างๆสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคอยล์แต่ละชนิดได้ตามค่าที่แสดงในตารางดังนี้

1. ชนิดคอยล์ : ลวดทองแดงชนิดเกลียวขนาด 6 SQmm

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์ 1.8 เซนติเมตร

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางขั้วงาน	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสเข้า (ampere)	VA	เวลาเริ่มงาน ร้อนแดง(sec)	Power Factor
5	ไม่ได้เริ่มงาน	210	1.6	352	-	0.59
	1.5ทวน	230	1.9	418	21	0.55
	2.5ทวน	310	2.4	528	48	0.59
	4 ทวน	330	2.75	605	95	0.55
6	ไม่ได้เริ่มงาน	210	1.6	352	-	0.6
	1.5ทวน	245	2	440	15	0.55
	2.5ทวน	320	2.5	550	40	0.58
	4 ทวน	355	2.78	611.6	77	0.58
7	ไม่ได้เริ่มงาน	210	1.6	352	-	0.6
	1.5ทวน	260	2.2	484	14	0.54
	2.5ทวน	325	2.6	572	32	0.57
	4 ทวน	370	3	660	75	0.56

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางรีนแมน	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสป้อนเข้า (ampere)	VA	เวลาขึ้นงาน รีนแมน(sec)	Power Factor
8	ไม่ได้รีนแมน	210	1.6	352	-	0.6
	1.5ทวน	270	2.1	462	14	0.58
	2.5ทวน	330	2.6	572	32	0.58
	4 ทวน	380	2.9	638	75	0.6
9	ไม่ได้รีนแมน	210	1.6	352	-	0.6
	1.5ทวน	280	2.2	484	13	0.58
	2.5ทวน	350	2.6	572	28	0.61
	4 ทวน	400	3	660	56	0.61
10	ไม่ได้รีนแมน	210	1.6	352	-	0.6
	1.5ทวน	280	2.2	484	13	0.58
	2.5ทวน	360	2.7	594	26	0.61
	4 ทวน	430	3.1	682	52	0.63
11	ไม่ได้รีนแมน	210	1.7	374	-	0.56
	1.5ทวน	300	2.3	506	13	0.59
	2.5ทวน	380	2.8	616	25	0.62
	4 ทวน	430	3.3	726	51	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดคอยล์ : ถาดทองแดงชนิดเกลียวขนาด 6 SQmm

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์: 2.5 เซนติเมตร

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ศูนย์กลางขั้ว	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสป้อนเข้า (ampere)	VA	เวลาที่ใช้งาน ร้อนแดง	Power Factor
5	ไม่ได้ใช้งาน	195	1.6	352	-	0.55
	1.5ทวน	230	1.95	429	38 sec	0.54
	2.5ทวน	275	2.3	506	2:20 min	0.52
	4 ทวน	320	2.7	594	3:20 min	0.54
6	ไม่ได้ใช้งาน	196	1.6	352	-	0.56
	1.5ทวน	234	2	440	35 sec	0.53
	2.5ทวน	300	2.42	532.4	2:15 min	0.56
	4 ทวน	350	2.75	605	3:20 min	0.58
7	ไม่ได้ใช้งาน	195	1.6	352	-	0.55
	1.5ทวน	240	2	440	35 sec	0.55
	2.5ทวน	320	2.48	545.6	2:15 min	0.59
	4 ทวน	358	2.76	607.2	3:15 min	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางขั้วงาน	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสป้อนเข้า (ampere)	VA	เวลาทำงาน รีเซ็ต	Power Factor
8	ไม่ได้ใช้งาน	195	1.6	352	-	0.55
	1.5ทวน	250	2	440	29 sec	0.57
	2.5ทวน	330	2.51	552.2	2 min	0.6
	4 ทวน	353	2.79	613.8	3 min	0.59
9	ไม่ได้ใช้งาน	200	1.7	374	-	0.53
	1.5ทวน	260	2.1	462	28 sec	0.56
	2.5ทวน	335	2.53	556.6	1:30 min	0.6
	4 ทวน	370	2.8	616	2:30 min	0.6
10	ไม่ได้ใช้งาน	220	1.8	396	-	0.56
	1.5ทวน	265	2.15	473	25 sec	0.6
	2.5ทวน	340	2.55	561	1:15 min	0.61
	4 ทวน	385	2.95	649	2:15 min	0.59
11	ไม่ได้ใช้งาน	220	1.8	396	-	0.56
	1.5ทวน	270	2.2	484	25 sec	0.56
	2.5ทวน	344	2.65	583	1:10 min	0.59
	4 ทวน	390	3	660	2:08 min	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชนิดคอยล์ : ท่อแอร์ขนาด 6 S0mm

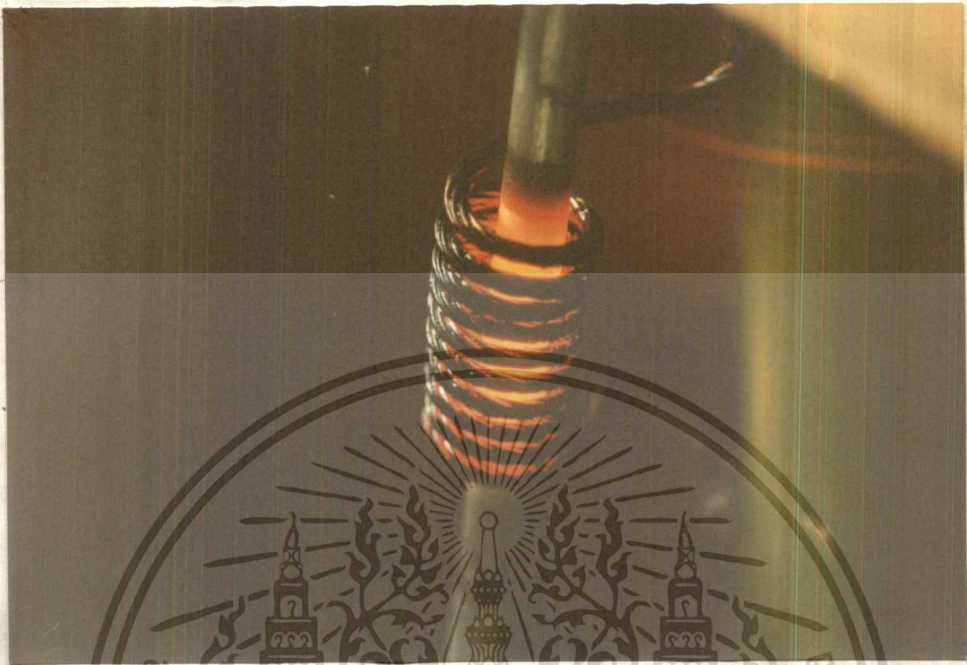
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์ · 2.5 เซ็นติเมตร

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางรับงาน	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสป้อนเข้า (ampere)	VA	เวลาขึ้นงาน รีชแดง	Power Factor
5	ไม่ได้รับงาน	161	1.33	292.6	-	0.55
	1.5ทวน	210	1.75	385	50 sec	0.55
	2.5ทวน	285	2.33	512.6	2 min	0.55
	4 ทวน	300	2.6	572	3:15 min	0.52
6	ไม่ได้รับงาน	162	1.35	297	-	0.55
	1.5ทวน	214	1.75	385	45 sec	0.55
	2.5ทวน	290	2.32	510.4	1:55 min	0.57
	4 ทวน	317	2.55	561	3:05 min	0.57
7	ไม่ได้รับงาน	165	1.35	297	-	0.56
	1.5ทวน	220	1.8	396	40 sec	0.56
	2.5ทวน	290	2.33	512.6	1:40 min	0.57
	4 ทวน	317	2.6	572	2:90 min	0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ (รอบ)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางขั้วงาน	กำลังป้อนเข้า (Watt)	กระแสป้อนเข้า (ampere)	VA	เวลายิงงาน ข้อแดง	Power Factor
8	ไม่ได้ยิงงาน	170	1.27	274		0.62
	1.5ทวน	225	1.83	402.6	38 sec	0.56
	2.5ทวน	292	2.34	514.8	1:30 min	0.57
	4 ทวน	340	2.7	594	2:40 min	0.57
9	ไม่ได้ยิงงาน	175	1.38	303.6		0.58
	1.5ทวน	240	1.9	418	30 sec	0.57
	2.5ทวน	300	2.5	550	1:15 min	0.55
	4 ทวน	380	2.9	638	1:50 min	0.6
10	ไม่ได้ยิงงาน	177	1.45	319		0.55
	1.5ทวน	257	2	440	28 sec	0.58
	2.5ทวน	340	2.71	596.2	59 sec	0.57
	4 ทวน	401	3.11	684.2	1:45 min	0.59
11	ไม่ได้ยิงงาน	178	1.47	323.4		0.55
	1.5ทวน	260	2.2	484	28 sec	0.54
	2.5ทวน	345	2.73	600.6	55 sec	0.57
	4 ทวน	403	3.2	704	1:30 min	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงผลการทำงานของเครื่องขบผิวแข็งเหล็กขณะมีไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

จากการศึกษาและการทำโครงการเรื่อง Induction heating ซึ่งโดยปกติทั่วไป ในส่วน สวิตซิ่งนั้น จะมีการสร้างวงจรขึ้นมาเอง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การเสียหายของตัว Power transistor หรือ Power Mosfet หรือส่วนของ Diode หรืออุปกรณ์ electronic อื่น ๆ และเมื่อสร้างเครื่อง Induction heating ขึ้นมาแล้วจะได้เครื่องต้นแบบที่มีขนาดใหญ่มาก แต่โครงการที่ทำนี้ เราลองศึกษาว่าใช้ Switching Power Supply เป็นส่วน Switching ที่มีรูปคลื่น Square Wave ทางด้าน O/P และไม่ใช่ออกแบบ แบบ Resonance ด้วย ซึ่งจากการสร้าง เครื่องอ่านแบบ และทดลองผลก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจโดยทำให้เหล็กร้อนแดงได้ในเวลาอันรวดเร็ว และยังมีขนาดไม่ใหญ่โตจนเกินไปด้วย แต่ก็มีข้อจำกัดขนาดของ load (ขนาดเหล็ก) ว่าขนาด ที่ใหญ่เกินไป จะไม่สามารถที่จะทำให้ร้อนแดงในเวลาที่ยรวดเร็วได้ ซึ่งเป็นเพราะ Power ที่จ่าย ให้กับ load ไม่เพียงพอ ต้องมีการต่อ Switching Power Supply ช่วยกันจ่าย Power ให้ load ซึ่งต้องการ Design coil ให้เข้ากับ load ด้วย เพื่อจะได้สามารถให้ความร้อนจนเหล็กร้อนแดง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เป็นเพราะได้รับความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อจาก อาจารย์และเพื่อน ๆ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณบุคคลดังรายนามต่อไปนี้มาเป็นพิเศษ

1. อาจารย์ ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้ความเอ็นดูและช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน อีกทั้งยังช่วยผลักดันและกระตุ้นให้เกิดความมานะทำโครงการจนสำเร็จได้ด้วยดี

2. อาจารย์ สมภพ ผลไม้ ที่กรุณาช่วยเหลือยามประสบปัญหาและช่วยเหลือเรื่อง อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ

3. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดลองและทดสอบโครงการ

4. ศูนย์ EMI ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำรายงาน

5. เพื่อน ๆ ที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่กรุณาให้กำลังใจขณะทำโครงการชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kieth H. Billings. "HANDBOOK OF SWITCHINGMODE POWER SUPPLIES". McGraw-Hill Publishing Company, 1989.
2. ประยุทธ์ อุสุภาพ, ประสาร จิวธยากุล, สมประสงค์ เดชาวิชิตเลิศ "เครื่องชุบแข็งเหล็กแบบปรับความถี่ตามโหลด" 2534.
3. จำเริญ เพชรรักษ์, ทองดี พันธุ์เยี่ยม, สุพร อัจจรรยกาญจน์ "INDUCTION HEATING SYSTEM" 2534.
4. สุวัฒน์ ต้น , "เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย" บริษัท เอนเทลไทย จำกัด.
5. John Davies, Peter Simpson, " INDUCTION HEATING HANDBOOK " McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, 1979