



การหลอมโลหะด้วยไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก

INDUCTION MELTING



ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

028800

พ.ศ. ๒๕๖๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา ๒๕๖๓** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหลอมโลหะโดยอาศัยการเหนี่ยวนำ (Induction Melting)

ผู้จัดทำ

1. นายเกรียงศักดิ์ ฐานิกเกษตร 30.1022
2. นายมานะชัย เหลืองจารุธร 30.1375



สารบัญ

บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.1.1 พิจารณาผลของสกินเอฟเฟกต์ที่มีต่อแผ่นโลหะที่มีความยาวมาก	4
2.1.2 ความลึกในสกินเอฟเฟกต์	7
2.1.3 ความหนาแน่นกระแส เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	7
2.1.4 ผลรวมของกระแส	8
2.1.5 กำลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กในชิ้นงานรูปทรงกระบอกตัน	8
2.2 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส	10
2.2.1 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสแบบเซมิคอนเวอเตอร์	10
2.2.2 วงจรทริกสำหรับวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส	13
2.2.2.1 การควบคุมมุมเฟสแบบเชิงเส้น	13
2.2.2.2 การควบคุมมุมเฟสแบบโคไซน์	14
2.2.2.3 วงจรขยายพัลส์	15
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	17
2.3.1 อินเวอร์เตอร์แบบบริจค์	17
2.3.2 อินเวอร์เตอร์แบบซีรี่ย์เรโซแนนท์	19
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	20
3.1 วงจรควบคุมพัลส์วิดท์มอดูเลชัน TL494	20
3.2 วงจรขับเบส	23
3.3 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสที่ทำให้กระแสเอาท์พุทคงที่	24
3.3.1 วงจรกำลัง	24
3.3.2 วงจรควบคุมการทริก	25
3.4 วงจรช่วยสำหรับอินเวอร์เตอร์	27

3.5	วงจรรินเวอร์เตอร์	32
3.6	การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง คอยล์เหนี่ยวนำและ การคำนวณภาวะ	33
3.7	การหล่อเย็นในแท่งตัวนำโดยใช้น้ำ	35
บทที่ 4	ผลการทดลอง	41
4.1	การทดลองวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสกระแสแรงดันที่	41
4.2	การทดลองวงจรรินเวอร์เตอร์	44
บทที่ 5	บทสรุปและวิจารณ์	46
	กิตติกรรมประกาศ	48
	เอกสารอ้างอิง	49



การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก

นางเกรียงศักดิ์ ฐานิกเกษตร

นางมานะชัย เหลืองจารุธร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ประภาส ไพรสวรรค์

ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นวิธีการที่นำเอากระแสไหลวน (Eddy current) มาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถหลอมโลหะได้ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากความต้านทานของเนื้อสารที่ถูกเหนี่ยวนำ โดยมีความสัมพันธ์ คือ $\mathcal{P} = \rho H^2 / \delta$ วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความลึกผิว (Skin depth, δ) เท่ากับ $\sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$ เมตร การพัฒนาจะใช้พลังงานไฟฟ้าโดยวิธีการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ที่สามารถควบคุมให้มีการไหลกระแสคงที่ได้ ings ผ่านวงจรกรอง (Filter) เพื่อให้เป็นไฟกระแสตรงที่เรียบ แล้วป้อนสู่วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง 20 kHz ไหลผ่านคอสส์ (Coil) เหนี่ยวนำเข้าหลอมให้เกิดกระแสไหลวนและความร้อนเพื่อหลอมโลหะ

INDUCTION MELTING

Mr Kriengsak Thanikkaset

Mr Manachai Luengcharuthorn

Advisor Ass.Professor Prapas Praisuwanna

Year 1990

Abstract

Induction melting puts the eddy currents to good use in the form of ohmic loss where is sufficient to melt the metal charge. The power of heat induced in the material can derive by $\mathcal{P} = \rho H_0^2 / \delta \text{ W/m}^2$ which you will see that it relates too skin depth (δ) which is equal to $\sqrt{\left(\frac{2\rho}{\mu\omega}\right)}$ m. This development transfers the electrical energy by the means of rectifier which can control the current to be constant , and use filter for stability then fed to series resonant inverter , which switching at frequency 20 kHz. The sine wave current flows through the coil and crucible and the energy will melt the metal in the crucible.

การหลอมโลหะโดยการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนในเนื้อสาร โดสความต้านทานในเนื้อสารจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น โดสองค์ประกอบที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเพิ่มพลังงานความร้อนเพื่อการหลอมโลหะ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก, ความถี่ของสนามแม่เหล็ก, คุณสมบัติของสารแม่เหล็ก และคุณสมบัติทางไฟฟ้า การหลอมโลหะในทางอุตสาหกรรมทั่วไปจะใช้การหลอมโลหะด้วยการเหนี่ยวนำทั้งนี้เพื่อประโยชน์ทางเชิงเศรษฐศาสตร์และสภาวะแวดล้อมที่ดีกว่าวิธีการหลอมโลหะการใช้น้ำหรือถ่านหิน ซึ่งการเลือกลักษณะการถ่ายเทพลังงานที่เข้าสู่เนื้อสารที่ต้องการหลอมจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนที่เนื้อสารที่ต้องการหลอมโดยตรง โดสใช้เตาหลอมที่เรียกว่า "เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Channel" เช่นการหลอมเหล็ก ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ การเหนี่ยวนำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่เข้าหรือเตาหลอม ซึ่งจะเรียกว่า "เตาหลอมเหนี่ยวนำแบบ Coreless" ซึ่งจะใช้การหลอมสารประเภทอัลลอยส์ (Alloy) เช่น เงิน ทอง ซึ่งมีเตาขนาดเล็กใช้ในห้องทดลอง เป็นต้น

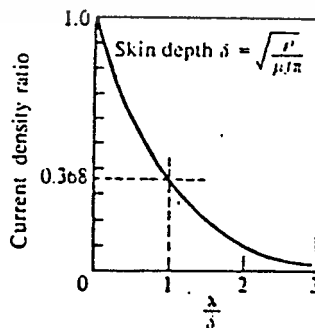
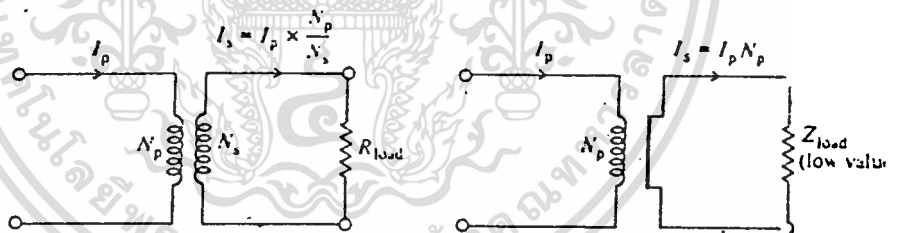
โดสปกติกระแสไหลวนจะพบในเครื่องจักรไฟฟ้าโดสทั่วไปและหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียเชิงความร้อน อันเป็นสิ่งที่ไม่พึงต้องการ และการออกแบบจะพยายามลดกระแสไหลวนนี้ให้มีความน้อยที่สุด โดสการใช้แผ่นโลหะที่เป็นแผ่นบางๆ (Laminations) แต่ในทางตรงกันข้ามการนำเอากระแสนี้มาใช้ประโยชน์จากการนำเอาความร้อนที่เกิดขึ้นได้ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน โดสเฉพาะในทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics) ที่ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า ใช้เนื้อที่น้อย น้ำหนักเบา ติดตั้งได้ง่าย มีการทำงานที่สะดวก และไม่ต้องบำรุงรักษาเหมือน กับเครื่องหลอมในสมัยแรกๆ ที่มีใช้ชุดของมอเตอร์ (Motor) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นต้น

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกพัฒนาจนสามารถทำงานที่ค่าความถี่สูงๆ ได้ขึ้น

เป็นการสอดคล้องกับหลักการในการหลอมโลหะการเหนี่ยวนำ เพราะการเพิ่มความถี่ให้มีความถี่สูงขึ้นจะสามารถทำการส่งผ่านพลังงานไปยังชิ้นงานได้มากขึ้นด้วย ขณะที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งข้อดีที่เห็นได้ชัดก็คือ ประสิทธิภาพของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนหลอมละลาย คุณสมบัติของเนื้อสารจะเปลี่ยนไป ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานที่เกิดขึ้นในเนื้อสาร จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสที่ไหลวนในระบบเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อระบบได้ ดังนั้นระบบต้องมีการควบคุมกระแสให้คงที่

ในปริณฎานพิเศษฉบับนี้ได้ใช้วงจรเรียงกระแสที่ควบคุมให้กระแสคงที่ (Phase controlled with constant current) ป้อนผ่านวงจรกรองเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ป้อนสู่วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อกับการะในลักษณะเป็นแบบอนุกรมที่สามารถให้กำเนิดกระแสเป็นคลื่นรูปไซน์ (Sine wave) สนามแม่เหล็กที่คอยล์เหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลวนในเนื้อสารหรือเข้าหลอม การลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่มีจำนวนเท็งรอบและมีการะต่ออยู่ ดังรูปที่ 1.1 (a) และเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีความถี่สูง จะให้ผลของสกินเอฟเฟค (Skin effect) ในเนื้อสารหรือเข้าหลอม ทำให้ความหนาแน่นของกระแสที่ผิวมีค่าสูงสุดและลดลงแบบเอกโพเนนเชียล (exponential) ดังรูปที่ 1.1 (b)



รูปที่ 1.1 (a) แสดงหลักการของคอยล์เหนี่ยวนำและภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 1.1 (b) ผลของสกินเอฟเฟค (Skin effect) ในเนื้อสาร

2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

พิจารณาการให้ความร้อนแก่วัตถุโลหะตามหลักทฤษฎีของแม่เหล็กไฟฟ้า คิดผลของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อชิ้นงานที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอก, เส้นแรงแม่เหล็ก, กระแส และการถ่ายเทพลังงาน เป็นจุดเริ่มการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาดังต่อไปนี้

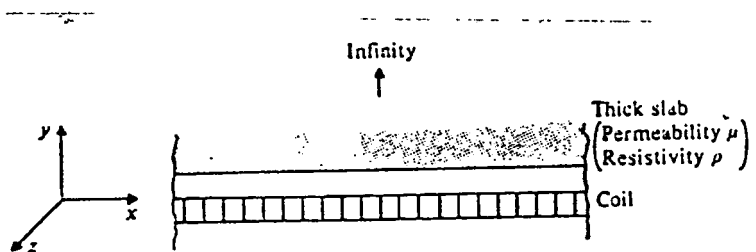
2.1.1 พิจารณาผลของสกินเอฟเฟคที่มีต่อแผ่นโลหะบางที่มีความยาวมาก ๆ (Skin effect for semi-infinite slab)

การใช้งานนั้นชิ้นงานที่จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งเป็นการยากต่อการพิจารณาทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจะพิจารณาดังชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นโลหะแผ่นบางหรือเป็นรูปทรงกระบอกที่มีรัศมีมากๆ ซึ่งจะไม่ผลของสกินเอฟเฟคต่ออีกด้านหนึ่ง

จากรูปที่ 2.1 พิจารณาแผ่นชิ้นงานที่มีการวางตัวตามแนวแกน X ซึ่งมี ความยาวเป็น 1 เมตร คอลล์จะเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก H_0 ที่พื้นผิวมีหน่วยเป็น แอมแปร์ต่อเมตร (ampere per metre) และจะไม่พิจารณาความสูญเสีย จะได้ว่าที่คอลล์จะสร้างสนามแม่เหล็ก H_0 จากคุณสมบัติทางกายภาพ H_0 ในทิศทางแกน X ก่อให้เกิดกระแสขึ้นในทิศทาง Z และมีเงื่อนโซ่

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

เมื่อ H_{0m} เป็นค่าสูงสุดของ H_0 ที่พื้นผิว



ดังนั้นการกระจายของสนามแม่เหล็ก (H), สนามไฟฟ้า (E) และความหนาแน่นกระแส (J) ในโลหะ จะได้จากสมการอนุพันธ์ดังนี้

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

พิจารณาในรูปของสนามแม่เหล็ก H จะได้

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial z^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{H}_x + \mathbf{H}_y + \mathbf{H}_z) \quad \dots (3)$$

จากเงื่อนไข (1) จะได้

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial H_x}{\partial t} \quad \dots (4)$$

พิจารณาคำตอบจะได้ว่า

$$H_x = H_x(y) \cos \omega t \quad \dots (5)$$

ซึ่ง H_x จะเปลี่ยนค่าไปตามความลึก y สามารถเขียนสมการในรูปของ

$$H_x(y) \cos(\omega t) \quad \dots (6)$$

แทนในสมการ (2) จะได้ว่า

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

กำหนดให้ $\alpha^2 = j \omega \mu / 2\rho$

กำหนดให้ $k^2 = 2j\alpha^2$

คำตอบจะได้

$$H_x = A_1 \exp(ky) + A_2 \exp(-ky). \quad \dots (9)$$

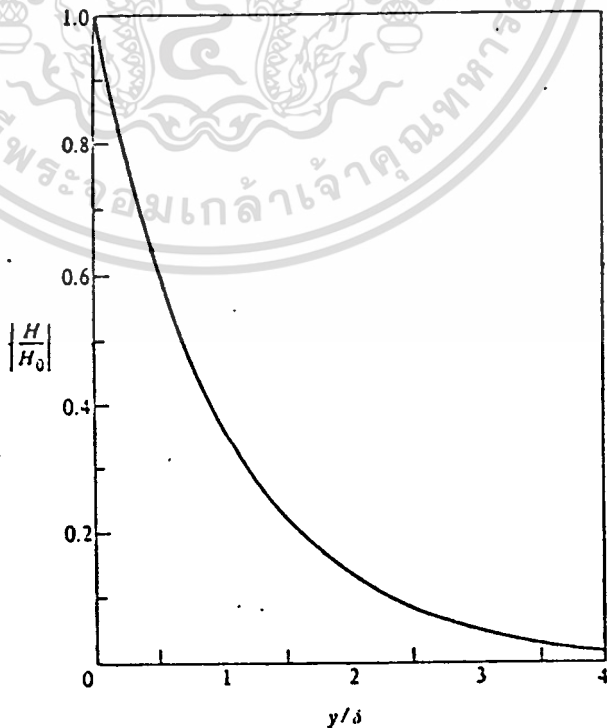
จากเงื่อนไข

เมื่อ $y = \infty$, H_x ต้องเป็นค่าคงที่ ดังนั้น $A_1 = 0$;

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

จะได้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่สิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความลึกในสกินเอฟเฟค

ในชั้นความลึกต่างๆ ขนาดสนามแม่เหล็กจะลดลง และมีมุมเฟส (Phase) ที่ต่างกับพื้นผิวเป็นมุม $(-\alpha y)$ เมื่อ y มีค่า $(1/\alpha)$ ขนาดจะเหลือ e^{-1} เท่าของพื้นผิวและมุมเฟสต่างกันเป็น 1 เรเดียน ให้เรียกว่า "ความลึกในสกินเอฟเฟค"

จาก

$$\alpha^2 = \mu\omega/2\rho$$

จะได้ว่า

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

2.1.3 ความหนาแน่นของกระแส, เส้นแรงแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากสมการที่ (10) และจาก

$$B = \mu H$$

โดยให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแบบเชิงเส้นจะได้ว่า

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

และจากสมการแมกเวลล์ (Maxwell equation)

$$J = \text{curl } H$$

จากเงื่อนไขที่กำหนดในการวิเคราะห์ให้ $H_y = 0$ และ $H_z = 0$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกหนึ่งสมการที่เกี่ยวข้องคือ $J_x(y) = J_{0m} \exp(j\omega t - \alpha y) \sqrt{2j} = J_{0m} \exp(-\alpha y) \cos(\omega t - \alpha y) \dots\dots (13)$

และจากความสัมพันธ์ของ

$$E = \rho J,$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

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

2.1.4 ผลรวมของกระแส (Total Current)

พิจารณาแบบจำลองในการวิเคราะห์ที่ที่มีความยาว 1 เมตร หาผลรวมกระแสที่เห็นส่วนนำ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{Current per metre width} &= (\sqrt{2} H_{0m} \alpha \exp j(\omega t + \pi/4)) \frac{\exp(-j\pi/4)}{\sqrt{2}\alpha} \\ &= H_{0m} \exp(j\omega t). \end{aligned} \quad \dots (15)$$

2.1.4 กำลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กในชั้นงานรูปทรงกระบอกตัน

จากความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กในโลหะที่มีรูปทรงกระบอกตัน ที่ให้

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

จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{d^2 H}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dH}{dr} - k^2 H = 0 ; \quad k^2 = \frac{j\mu\omega}{\rho} = 2j\alpha^2$$

ซึ่งสามารถที่จะหาคำตอบออกมาอยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบเบสเซล โดยที่คำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสมัการจะมีรูปดังนี้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$.....(16)$$

โดยที่ l_0 และ k_0 เป็นอันดับที่ศูนย์ของเบสเซลฟังก์ชัน

ซึ่งผลของเส้นแรงแม่เหล็กรวมจะได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Phi_R = \mu H_m A_w (q - jp) = \Phi_q - j\Phi_p \quad \dots\dots(17)$$

และผลรวมของพลังงานสูญเสียจะได้ว่า

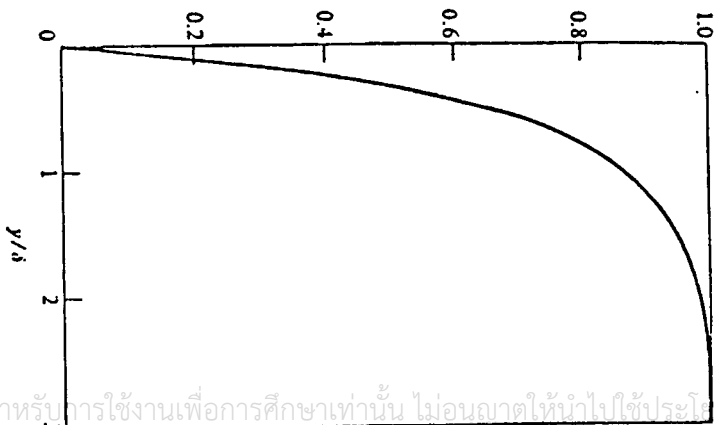
$$P_w = (l_w b) \mu f \pi H_m^2 p \quad \dots\dots(18)$$

$$= (l_w A_w) (\pi f \mu) H_m^2 p.$$

จากการที่ได้มีการวิเคราะห์ผลของค่าความถี่ที่มีผลกับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงได้มีการอธิบายผลของความถี่จากการดูดซับพลังงานในชั้นงานที่มีรูปทรงกระบอก เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับพลังงานของขดลวดเหนี่ยวนำ โดยที่ได้มีการแทน $d/\delta > 4.5$ จะมีผลต่อการเหนี่ยวนำ เมื่อไม่สามารถที่จะเพิ่มค่าความถี่ขึ้นได้อีก โดยค่าความถี่วิกฤตหาได้จาก

$$f_c = \frac{\rho}{\mu_0 \mu_r d^2} \left(\frac{4.5^2}{\pi} \right) = \frac{6.45 \rho}{\mu d^2} \quad \dots\dots(19)$$

$$\frac{\text{Loss up to depth } y/\delta}{\text{Total loss}} = \frac{y^3/\delta}{\rho}$$



2.2 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส

ตัวเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสมีหน้าที่การแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุท (Input) กระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท (Output) ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมได้ โดยควบคุมตำแหน่งในการนำกระแสในแต่ละรอบไซเคิล (Cycle) ของไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เลือกตำแหน่งเกิดแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุท ในขณะที่เอสซีอาร์ (Silicon control Rectifier, SCR) หลุดนำกระแส แรงดันไฟฟ้าคร่อมเอสซีอาร์เป็นลบ เรียกว่า "ไลน์คอมมิวเทท" (Line commutage) เนื่องจากตัวเรียงกระแสทำหน้าที่ที่เปลี่ยนจากไฟฟ้าระบบเอซีเป็นไฟฟ้าระบบดีซี (AC/DC) เรียกว่า "เอซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์" (AC/DC Converter)

คอนเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมเฟสแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะแหล่งจ่ายไฟอินพุทคือ

- (1) คอนเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว (Single phase converter)
- และ (2) คอนเวอร์เตอร์แบบสามเฟส (Three phase converter)

โดยในแต่ละชนิดสามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดย่อยๆ คือ

- (a) เซมิคอนเวอร์เตอร์ (Semi converter)
- (b) ฟูลคอนเวอร์เตอร์ (Full converter)
- และ (c) ดิวอลคอนเวอร์เตอร์ (Dual converter)

เซมิคอนเวอร์เตอร์ทำงานได้หนึ่งควอดแรนต์ (quadrant) คือ มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสเอาต์พุทขั้วเดียว (Single pole)

ฟูลคอนเวอร์เตอร์ทำงานได้สองควอดแรนต์ คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทได้ทั้งบวกและลบ แต่มีกระแสเอาต์พุทเป็นได้เพียงขั้วเดียว

ดิวอลคอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ทั้งสี่ควอดแรนต์ โดยแรงดันไฟฟ้าและกระแสเอาต์พุทสามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ

2.2.1 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสแบบเซมิคอนเวอร์เตอร์

วงจรที่นิยมใช้จะมีลักษณะการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.4 โดยมีลักษณะการทำงาน

งานวงจรในรูปที่ 2.4 (c) เหมือนกับรูปที่ 2.4 (a) และรูปที่ 2.41(b) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นทำหนังสือขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

..... (20)

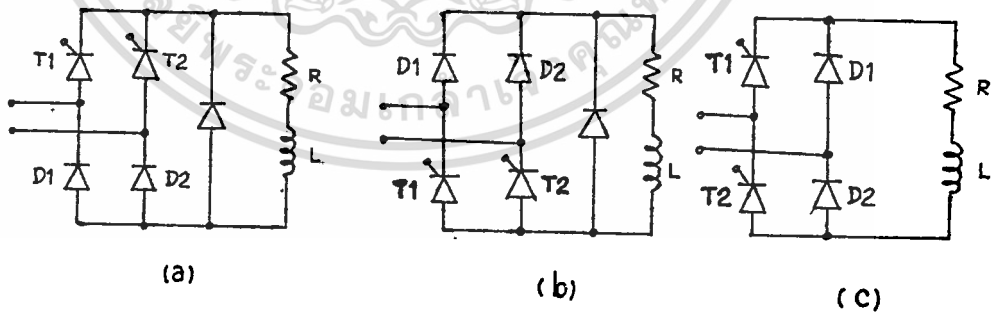
โดย V_{dc} สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากค่า $2V_m/\pi$ สู่ 0 โดยการปรับค่า α จากค่า 0 สู่ π .

ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเฉลี่ยสูงสุดมีค่า

$$V_{dm} = 2V_m/\pi$$

..... (21)

และสมมติว่าภาระอินดักทีฟมีค่าสูงมากเพื่อทำให้กระแสต่อเนื่อง หลังจากเฟสมีการกลับทิศและหลักเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าให้กลับทิศผ่านสวิตช์แหล่งจ่าย สำหรับค่าคงที่เวลาของภาระที่มีมากกว่าคลื่นลูกคลื่นของแหล่งจ่าย



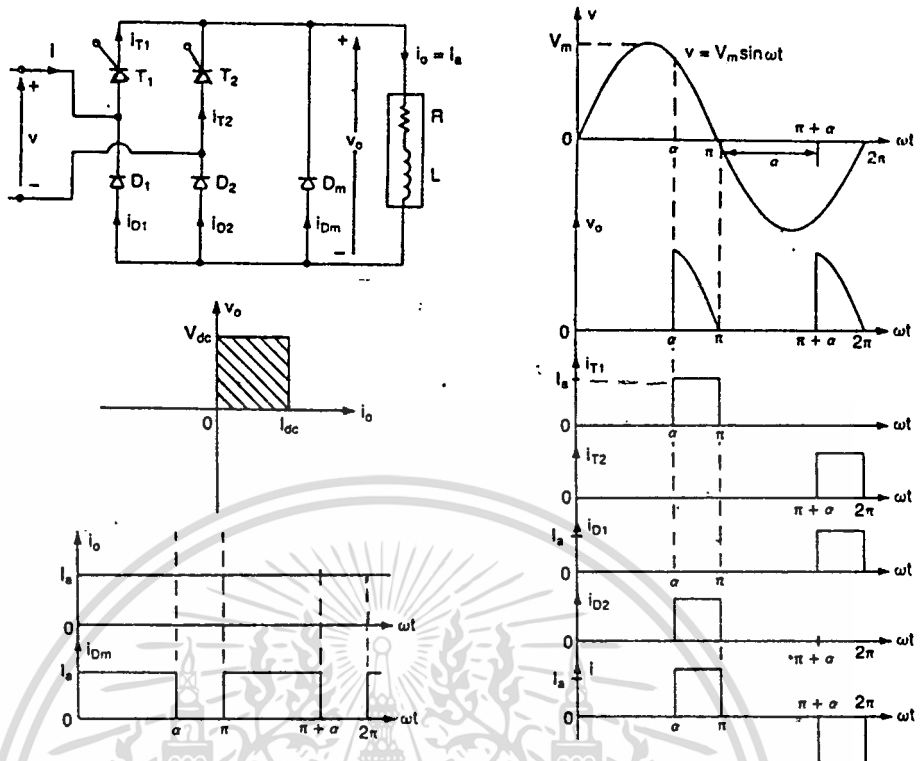
รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสแบบฮาล์ฟคอนโทรล

(a) ค่อ เอสซีอาร์ แบบคาโตร่วม (b) ค่อ เอสซีอาร์ แบบฮาโนตร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

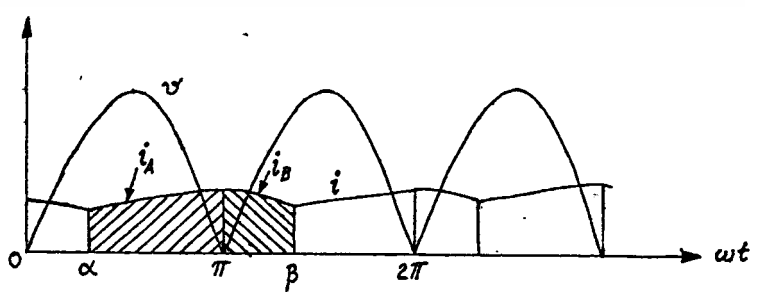
(c) ค่อ เอสซีอาร์ กับเอซีไลน์เดียวกัน

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสของวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส

เมื่อเอสทีอาร์ถูกทริก (trigger) ให้นำกระแสที่ไม่ถูกคอมมิวเตตและไม่สูญเสียการควบคุมจากสัญญาณทริก กระแสการจะมีความต่อเนื่องเมื่อ $\alpha < \phi$ และ $(\beta - \omega) > \pi$ ดังรูปที่ 2.6 เมื่อ $\tan \phi = \omega L/R$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของกระแสของวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส (กระแสต่อเนื่อง)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นตามที่ระบุไว้เป็นพิเศษในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

กระแสการต่อเนื่องจะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขขอบเขต

$$i_A = (V_m/R) \cos \sin(\omega t + \alpha - \phi) + C \exp(-\omega t / \tan \dots (22)$$

เมื่อ $C = (V_m/R) \cos \phi [\sin \phi \exp(-\alpha / \tan \dots - \sin(\alpha - \phi)] / [1 - \exp(\pi / \tan \dots)]]$

กระแสจะไม่เป็นศูนย์ เมื่อตำแหน่งที่ $\omega t = \pi - \alpha$ รูปคลื่นกระแสจะเป็นไปตามสมการข้างต้น จาก $\omega t = \pi - \alpha$ ถึง $\beta - \alpha$ กระแสจะลดลงแบบเอกโพเนนเชียล ค่าคงที่ของเวลาเป็น L/R เป็นการจ่ายพลังงานที่สะสมในภาวะ กระแสจะไหลผ่านฟลายวีลไดโอด ดังนี้

$$i_B = (V_m / \pi R) \cos \phi [(\sin \phi - \sin(\alpha - \phi) \exp[-(\pi - \alpha) / \tan \phi]) / (1 - \exp(-\pi / \tan \dots))] \exp(-\omega t / \tan \phi) \dots (23)$$

2.2.2 วงจรทริกสำหรับวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส

วงจรทริกสำหรับวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟส ใช้ควบคุมการทริกไทรซิสเตอร์ที่มุมทริก α เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง คือ จุดข้ามศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย โดสมุมทริกจะมีการเปลี่ยน เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงจ่ายกระแสให้แก่วงจรมีค่าคงที่ได้ โดสหลักการพื้นฐาน 2 แบบ คือ

- (1) การควบคุมมุมเฟสแบบเชิงเส้น (Linear control)
- และ (2) การควบคุมมุมเฟสแบบโคไซน์ (Cosine wave control)

2.2.2.1 การควบคุมมุมเฟสแบบเชิงเส้น

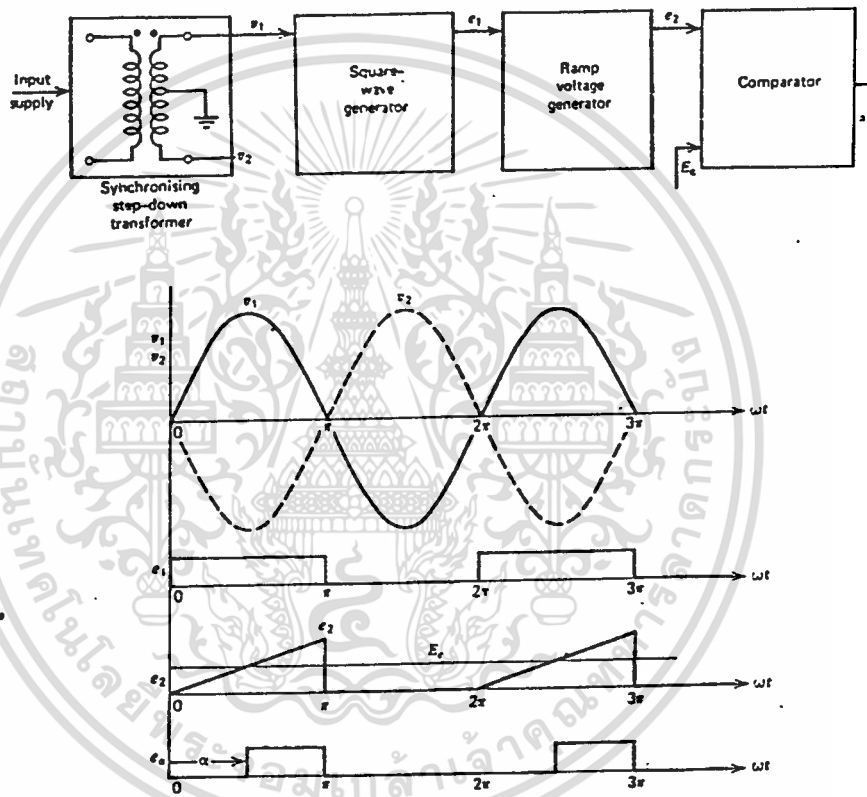
ในรูปที่ 2.7 มีแรงดันไฟฟ้าควบคุม E_c ที่เปลี่ยนแบบเชิงเส้นกับมุมเฟส α สัญญาณสำหรับซิงโครไนซ์ (Synconize) v_1, v_2 กับแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้า v_1 ถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าสี่เหลี่ยม e_1 แล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันแรมท์ (Ramp) e_2 เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าควบคุม E_c ถ้า e_2 มากกว่า E_c สัญญาณ

e_c ที่ได้จากเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบ (Comparator) เวลาที่เกิดในช่วงขาขึ้นของ e_2 จะแปรผันกับ E_c จะเป็นมุมทริก α ซึ่งกำหนดโดส

$$E_o = E_{max} \cos \alpha$$

$$= E_{max} \cos(k_1 E_c) \dots \dots (24)$$

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_o และแรงดันไฟฟ้าควบคุม E_c มีความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น แต่ถูกต้องอยู่ในระดับ +1 องศา ถึง -1 องศาของมุมทริก ซึ่งสามารถจะเป็นเชิงเส้นได้



รูปที่ 2.7 การควบคุมเฟสแบบเชิงเส้น

2.2.2.2 การควบคุมมุมเฟสแบบโคไซน์

แรงดันไฟฟ้าควบคุม E_c ให้กำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับใช้ทริกที่จุดข้ามศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าควบคุมแรงดันไฟฟ้าโคไซน์ที่ได้จากแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายดังแสดงในรูปที่ 2.8

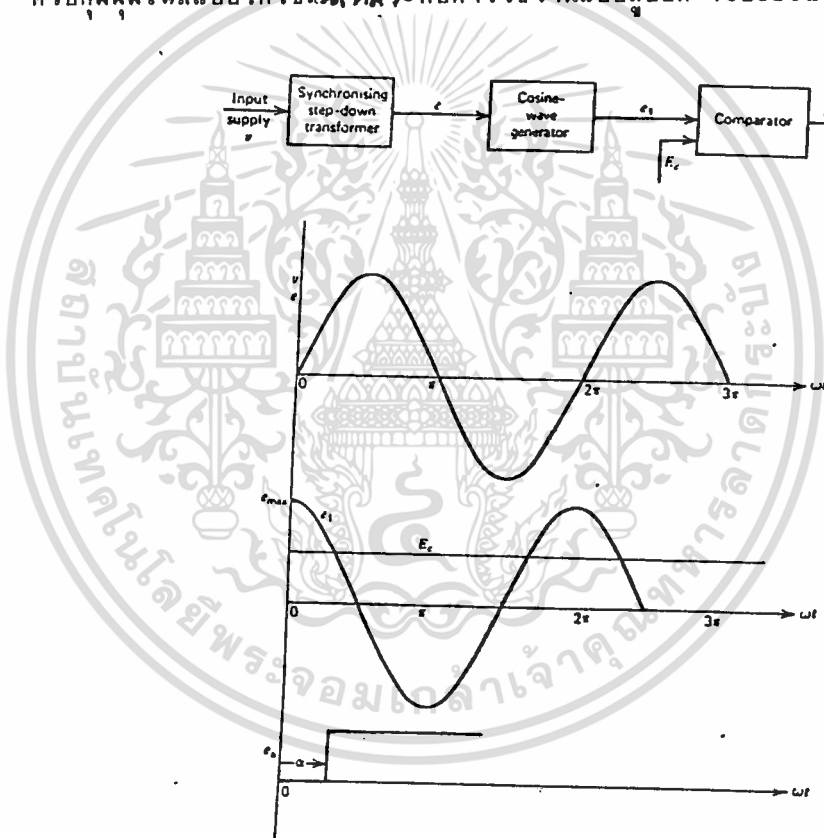
มุมเฟส α กำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $\alpha = \cos^{-1}(E_c / e_{max}) \dots \dots (25)$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ หาได้จาก

$$\begin{aligned}
 E_o &= E_{max} \cos \alpha \\
 &= E_{max} \cos[\cos^{-1}(E_c/e_{max})] \\
 &= E_{max} * E_c / e_{max} \\
 &= k_e E_c \qquad \dots\dots (26)
 \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_o จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าควบคุมแบบเชิงเส้น การควบคุมมุมเฟสแบบโคลิโชน⁽²⁾นี้เหมาะกับการใช้งานแบบลูปปิด (Closed-loop)



รูปที่ 2.8 การควบคุมเฟสแบบโคลิโชน

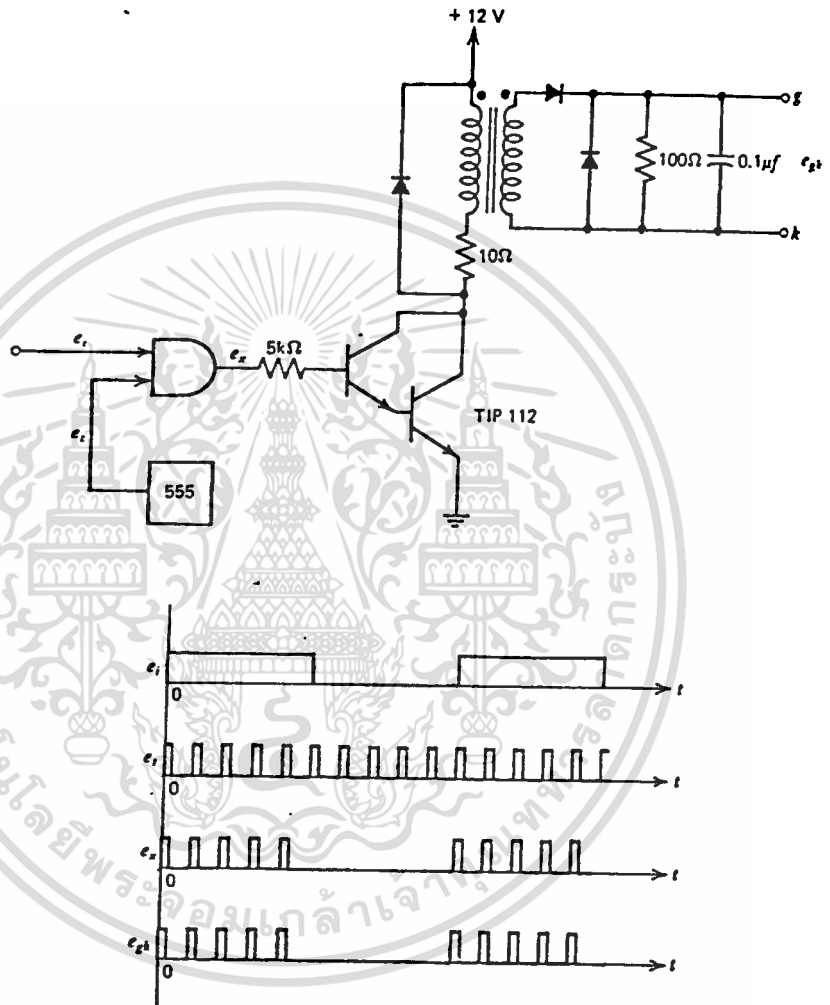
2.2.2.3 วงจรชลาสฟิลล์

สัญญาณที่นำไปทริกเอสซีอาร์ในวงจรกำลังต้องมีการแยกออกจากวงจรควบคุมด้วยหม้อแปลงฟิลล์ (Fluse Transformer) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยทราน

ซิสเตอร์ที่ต่ออาร์ลิงตันใช้เพื่อชลาสกระแสฟิลล์ ถ้าฟิลล์ขาว (กว้าง 180 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุพิเศษขออนุญาต และต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อนทุกครั้ง

พัลส์ทั้งหมดจึงอาจจะไม่จำเป็น ในกรณีดังกล่าวสัญญาณพัลส์จะถูกมอดดูเลทที่ความถี่สูงประมาณ 10 - 30 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยการใช้ตัวตั้งเวลา 555 (Timer 555) ที่มี duty cycle (Duty cycle) น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำให้เส้นฟลักซ์ (Flux) ในหม้อแปลงสามารถถูกรีเซ็ต พัลส์ที่มอดดูเลทแล้วจะเข้าสวิตชิ่งการสลับที่เกท (Gate) ของเอสซีอาร์ได้



รูปที่ 2.9 วงจรขยายพัลส์ทั่วไป

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

การแปลงไฟโคสที่ใช้ ดีซี-เอซีคอนเวอร์เตอร์ ที่เรียกว่า "อินเวอร์เตอร์" ซึ่งหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์ คือ การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าอินพุตดีซีให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเอซีที่สมมาตรโคสมิชนาดและความถี่ตามความต้องการ โคสแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าดีซีอินพุต ถ้าแรงดันไฟฟ้าดีซีคงที่และควบคุมไม่ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะสามารถปรับค่าได้โดยการปรับอัตราขยายของอินเวอร์เตอร์ ที่กำหนดโคส อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเอซีต่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตดีซี อินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1) อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single phase inverter)

(2) อินเวอร์เตอร์สามเฟส (Three phase inverter)

โคสในแต่ละแบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มขึ้นอยู่กับชนิดของการคอมมิวเตทไทรสเตอร์ดังนี้

(a) PWM อินเวอร์เตอร์ (Pulse width modulation inverter)

(b) เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ (Resonant inverter)

(c) ออกซิลารีคอมมิวเตทอินเวอร์เตอร์ (Auxiliary commutated inverter)

และ (d) คอมพลีเมนท์ารีคอมมิวเตทอินเวอร์เตอร์ (Complementary complementary inverter)

อินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะการใช้งานดังนี้

ถ้าแรงดันไฟฟ้าอินพุตคงที่ เรียกว่า "อินเวอร์เตอร์ที่ป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้า" (Voltage-fed inverter, VFI) ถ้ากระแสอินพุตคงที่ เรียกว่า "อินเวอร์เตอร์ที่ป้อนด้วยกระแส" (Current-fed inverter, CFI) และถ้าแรงดันไฟฟ้าอินพุตสามารถควบคุมได้ เรียกว่า "อินเวอร์เตอร์ที่ต่อกับดีซีที่ปรับค่าได้" (Variable dc linked inverter)

2.3.1 อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ที่แสดงดังรูปที่ 2.10 (a) จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว โดยทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำงานพร้อมกันแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_d จะคร่อมภาระ และถ้าทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ทำงานพร้อมกันแรงดันไฟฟ้าจะ

เอกซารนี้เป็นเอกซารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกซารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 (b) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอาร์เอ็มเอสมีค่า $V_o = V_m$ ซึ่งสามารถกระจาย

รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตทุกขณะใดๆ ในลักษณะของอนุกรมฟูเรียร์ได้ดังนี้

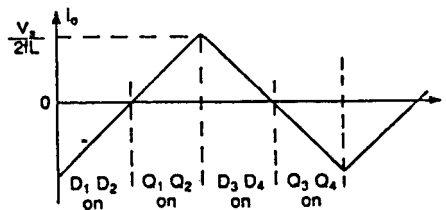
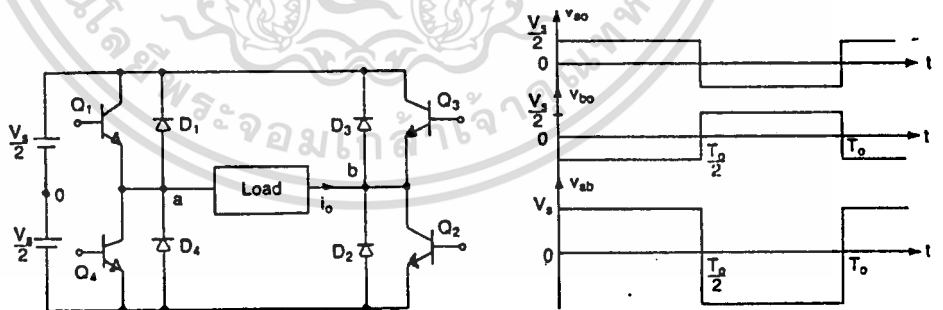
$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t \quad \dots\dots (27)$$

และเมื่อ $n = 1$ ค่าอาร์เอ็มเอสขององค์ประกอบพินดาเมทอล คือ

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2}\pi} = 0.90V_s \quad \dots\dots (28)$$

เมื่อไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส พลังงานถูกป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายซึ่ง
เรียกไดโอดว่าเป็น "ฟีดแบคไดโอด"

โดยลักษณะรูปคลื่นของกระแสสำหรับภาระอินดักทีฟได้แสดงในรูปที่ 2.10(c)

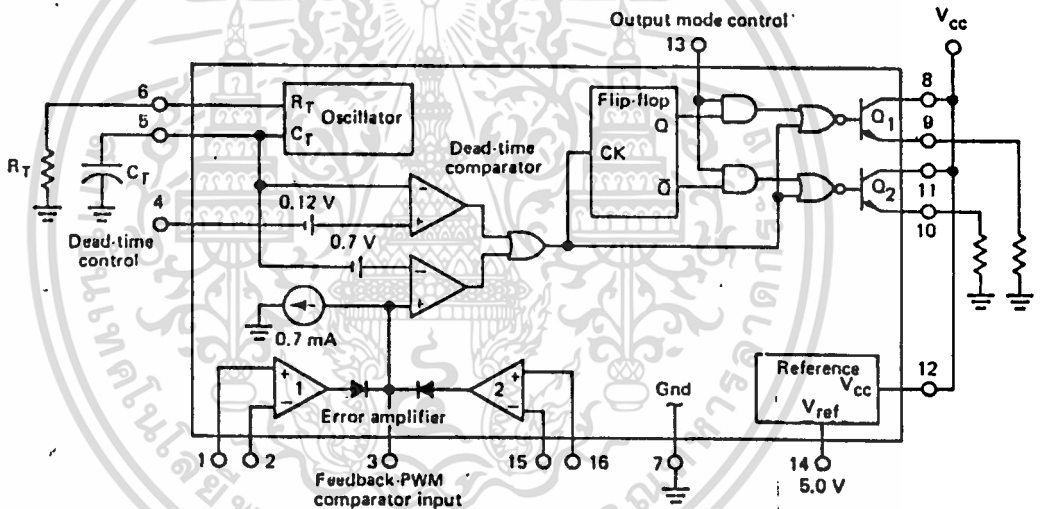


2.3.2 อินเวอร์เตอร์แบบซีรีส์เรโซแนนท์ (Series Resonant inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบซีรีส์เรโซแนนท์มีลักษณะการทำงานที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการอสซิลเลทของกระแส เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้กำเนิดรูปคลื่นที่มีลักษณะคล้ายคลื่นรูปไซน์ โดยที่ความถี่เอาท์พุทจะอยู่ในช่วงประมาณ 200 Hz ถึง 100 kHz ซึ่งใช้กับงานที่มีเอาท์พุทคงที่ การทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้สามารถปรับปรุงได้โดยการต่อแอนติพาราเลลไดโอด (Antiparallel diode) คร่อมอุปกรณ์สวิตชิงเมื่อทรานซิสเตอร์มีการหยุดนำกระแสแต่กระแสยังสามารถไหลผ่านไดโอดนี้ได้จนค่าของกระแสเป็นศูนย์ แรงดันรีเวิร์ส (Reverse voltage) ของทรานซิสเตอร์จะถูกจำกัดโดยค่าแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวิร์ด (Forward voltage) ของไดโอด โดยปกติจะมีค่าประมาณ 1 โวลต์ ความถี่ของเอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนท์ เนื่องจากไม่ต้องมีเดดไทม์ (Dead time) แต่ในการใช้งานจริงอุปกรณ์สวิตชิงไม่สามารถทำงานได้ตามอุดมคติ (Ideal) จึงต้องใช้ช่วงเวลาเล็กน้อยระหว่างการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิงแต่ละคู่

3.1 วงจรควบคุมพัลส์วิดท์มอดคูลเลชัน TL494

วงจรถวลคุมพัลส์วิดท์มอดคูลเลชันที่ใช้วงจรรวม (Integrated circuit) เบอร์ TL494 เป็นวงจรถวลคุมที่มีให้ค่าความถี่ค่าหนึ่งคงที่ วงจรที่ใช้มีได้นำไปประยุกต์ใช้งาน โดยลักษณะโครงสร้างภายใน และหน้าที่การทำงานในส่วนต่างๆของวงจรรวมเบอร์ TL494 ได้แสดงในรูปที่ 3.1

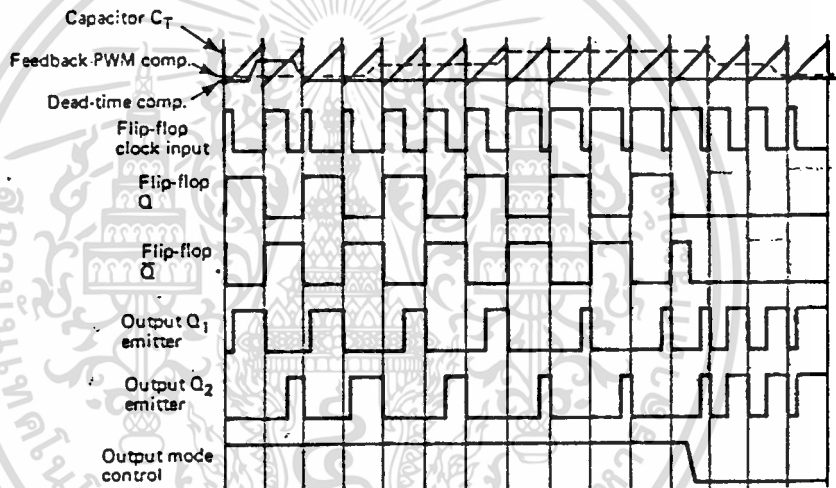


รูปที่ 3.1 โครงสร้างภายใน และหน้าที่การทำงานในส่วนต่างๆของวงจรรวมเบอร์ TL494

ในส่วนออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ที่อยู่ภายในจะมีการสร้างสัญญาณรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ที่มีค่าความถี่ที่มีการกำหนดจากอุปกรณ์ภายนอก 2 ตัว คือ R_T และ C_T ที่ต่อกับขาที่ 6 และที่ต่อกับขาที่ 5 ตามลำดับ โดยค่าความถี่ของสัญญาณจะคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยัง $f_{osc} = \frac{1.1}{R_T C_T}$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (29)

สัญญาณที่ได้มาจากการเปรียบเทียบของสัญญาณรูปฟันเลื่อยที่มากกว่าศูนย์คร่อม C_T กับสัญญาณควบคุมสองสัญญาณ ที่ได้รับการป้อนผ่านนอร์เกต (NOR Gate) แล้วไปจับให้ตัวทรานซิสเตอร์มีเอาต์พุตที่ Q_1 และ Q_2 เมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) ถูกป้อนเข้าในลักษณะที่สถานะต่ำ (Low State) เท่านั้น การเกิดสัญญาณจะเกิดในช่วงเวลาที่ค่าศักดาไฟฟ้าของสัญญาณรูปฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าค่าของสัญญาณควบคุม ดังนั้นการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุมจึงเป็นสาเหตุในการกำหนดค่าความกว้างของสัญญาณที่ออกมาให้มีค่าลดลง ดังที่แสดงลักษณะของรูปสัญญาณเวลาในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะของรูปสัญญาณเวลา

สัญญาณควบคุมได้รับจากวงจรภายนอกที่มีการป้อนเข้าขาที่ 4 ของวงจรรวม สัญญาณที่ป้อนเข้ามาจะผ่านวงจรขยายสัญญาณที่ผิดพลาด (Error Amplifier) ที่ขาที่ 1, ขาที่ 2, ขาที่ 15 และขาที่ 16 หรือเป็นการป้อนศักดาไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิโวลต์เข้ามาทางออฟเซต (Off set) ซึ่งเป็นการควบคุมค่าเดดไทม์ทางเอาต์พุตจากวงจรให้มีค่าน้อยที่สุด 4 เปอร์เซ็นต์ของคาบสัญญาณรูปฟันเลื่อย ผลที่ได้ทำให้ค่าดีดิวซ์เคิลมากที่สุด 96 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณควบคุมที่ขาที่ 3 เมื่อเทียบ

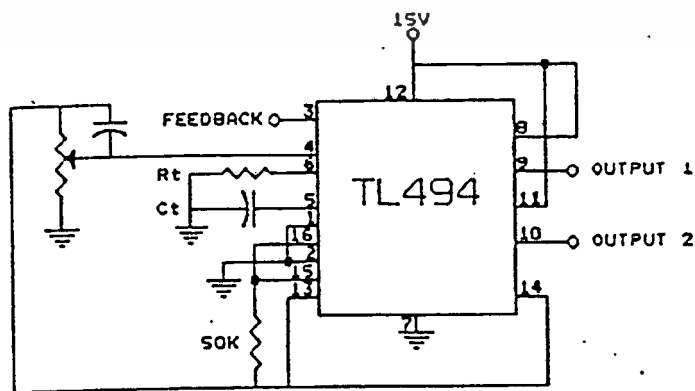
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจค้า
กับกราวด์ การเพิ่มค่าเดดไทม์จะมีผลต่อสัญญาณที่ออกซึ่งสามารถกำหนดจากขาที่ 4
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหาไม่มีเหตุผลแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าศักดาไฟฟ้าค่าใดค่าหนึ่งเป็นค่าคงที่ภายในขอบเขต 0 - 33 โวลต์

ตัวเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ที่ใช้วงจรขยายสัญญาณผิดพลาด ที่ปรับค่าความกว้างของพัลส์จากค่าเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่สัญญาณควบคุมเดคโทม์ และค่าศักดาไฟฟ้าที่มีการป้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.5-5 โวลต์ โดวงจรขยายสัญญาณผิดพลาดทั้งสองมีลักษณะการทำงานแบบเดียวกัน ในขอบเขตศักดาไฟฟ้าจาก $-0.3 - (V_{cc} - 2)$ โวลต์ ลักษณะดังกล่าวสามารถใช้รับรู้ค่ากระแสหรือค่าแรงดันไฟฟ้ามาควบคุมได้

ทางเอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณผิดพลาดจะมีลักษณะการทำงาน ณะรูปสัญญาณมีสถานะสูง (High state) จะนำมาทำการออร์ (Or) กันเพื่อป้อนเข้าสู่วงจรขยายไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) ของตัวเปรียบเทียบ ระหว่างวงจรขยายมีสัญญาณที่ออกมามีค่าน้อยที่สุดตรงกับช่วงเวลาที่ใช้ในการควบคุม

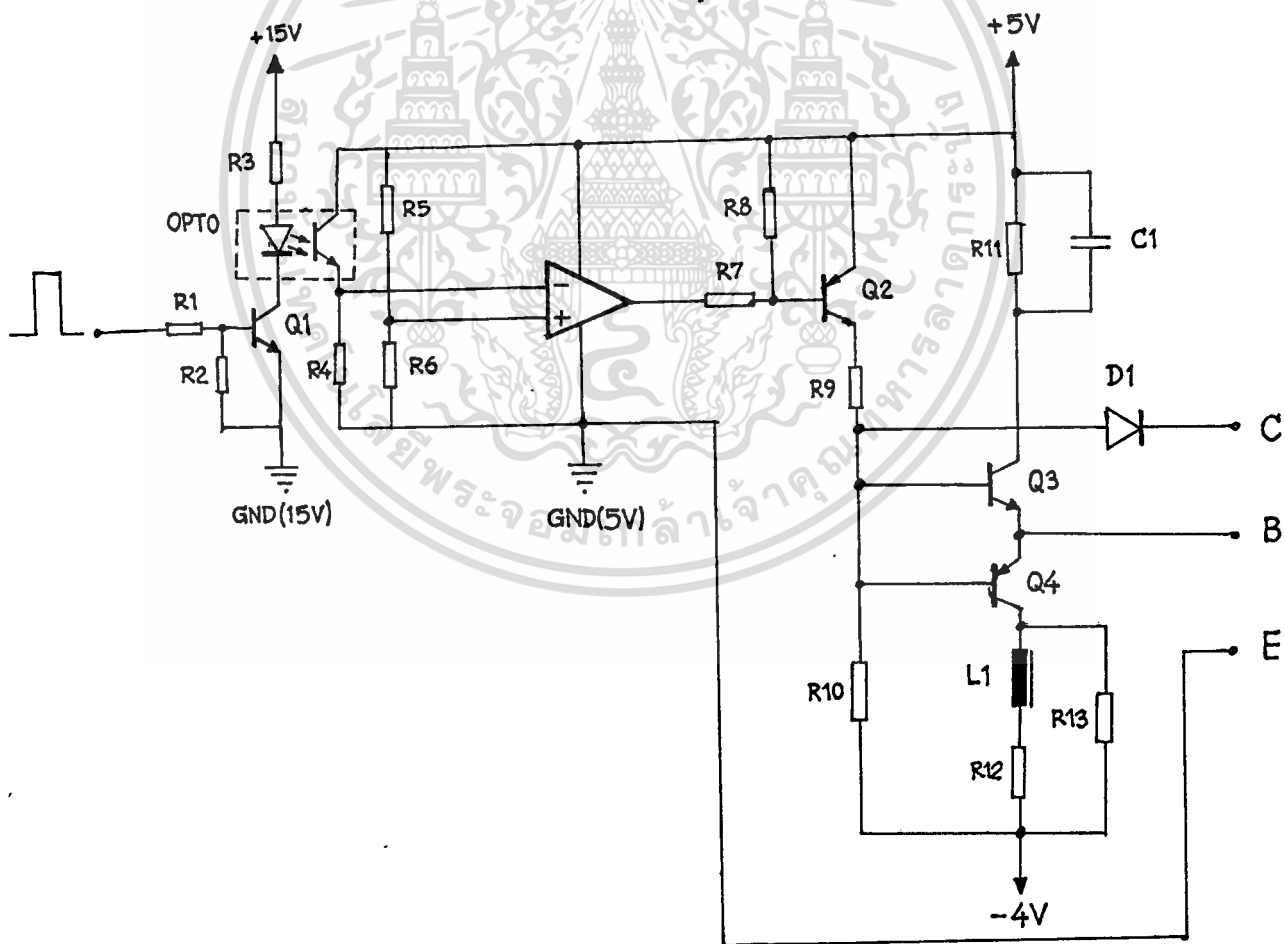
เมื่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_T มีการคายประจุ สัญญาณพัลส์ที่มีค่าเป็นบวกจะถูกสร้างขึ้นออกจากตัวเปรียบเทียบเดคโทม์ โดยมีสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้าสู่ฟลิปฟลอป (Flip-Flop) ซึ่งจะให้สัญญาณออกมา เพื่อป้อนเข้าสู่ตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 โดยสัญญาณควบคุมที่ออกจากขาที่ 13 จะมีการต่อกับศักดาไฟฟ้าอ้างอิง สัญญาณที่เข้าสู่ฟลิปฟลอปจะถูกรวมกันโดยตรง สัญญาณที่ออกจากตัวทรานซิสเตอร์ที่มีการทำงานในลักษณะผลักดันแบบพุท-พูล (Push-Pull) ค่าความถี่ที่ได้มีค่าเท่ากับความถี่ของส่วนออสซิลเลเตอร์หารด้วยสอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรขับเบส (Base drive circuit)

วงจรขับประกอบด้วยส่วนที่แยก (Isolated) ชุดสัญญาณควบคุมกับชุดกำลังออกจากกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของชุดสัญญาณควบคุม เนื่องจากการลัดวงจร (short circuit) ของชุดกำลังและตัดสัญญาณรบกวนจากการสวิตชิงทรานซิสเตอร์กำลัง ส่วนขับต้องมีการป้องกันลัดวงจรและลบ จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า ทำให้ออฟไดร์ไอโซเลท (Opto-Isolator) ทำงานป้อนสัญญาณสู่อปแอมป์ที่กำหนดที่ปรับรูปลักษณะของสัญญาณให้ดีขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรขยายให้มีกระแสพอต่อการขับทรานซิสเตอร์กำลัง โดยที่ตัวเหนี่ยวนำที่ใส่ในส่วนของไฟลบทําให้ทรานซิสเตอร์หยุดการทำงานได้เร็วขึ้นดังวงจรรูปที่ 3.4

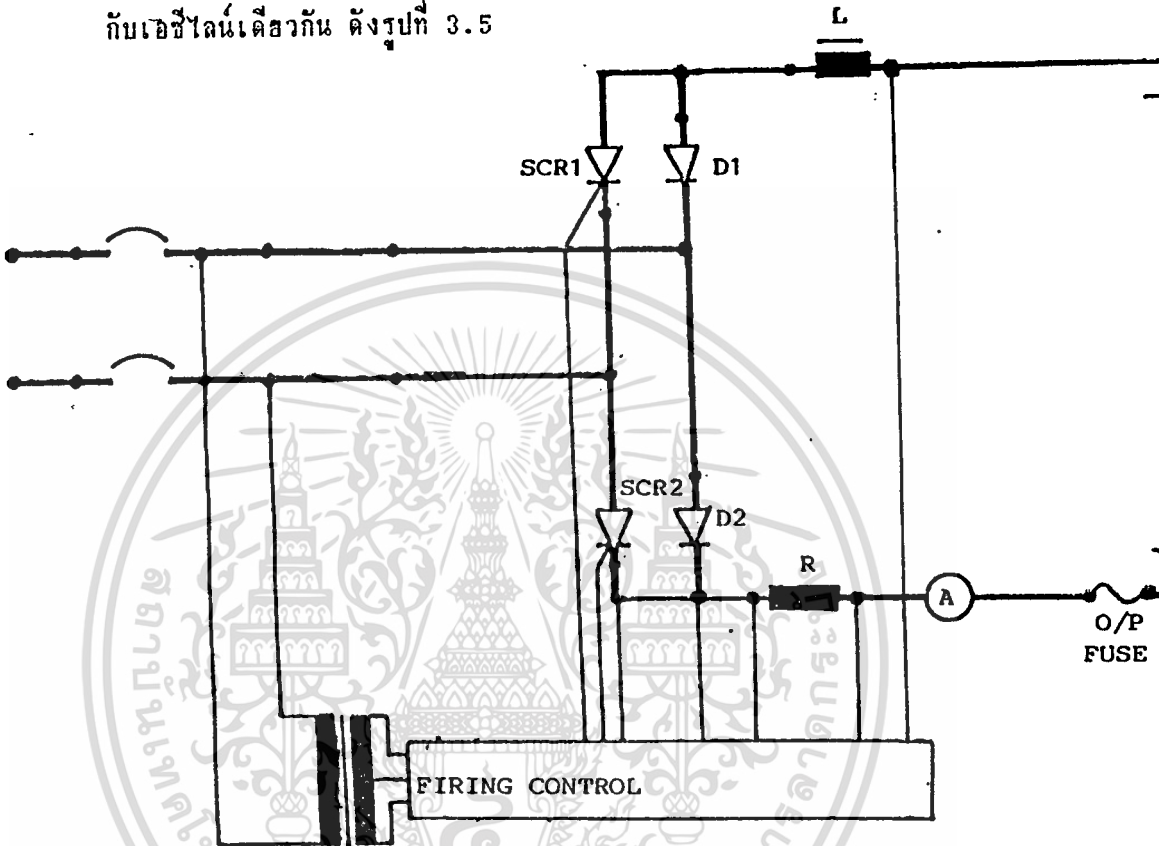


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสที่ทำให้กระแสเอาต์พุตคงที่

3.3.1 วงจรกำลัง

วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสที่ใช้เป็นเซมิคอนเวอร์เตอร์ที่มีเอสซีอาร์ต่อกับเอชไอไลน์เดียวกัน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสที่ทำให้กระแสเอาต์พุตคงที่

โดยเอสซีอาร์จะได้รับสัญญาณทริกจากวงจรควบคุมพร้อมกัน แต่เอสซีอาร์จะมีแรงดันไฟฟ้าช่วงบวกร่วมอยู่ทำให้น่ากระแสได้เพียงตัวเดียว ส่วน D_1 และ D_2 ทำหน้าที่เป็นฟลายวีลไดโอด (Flywheel diode) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} \dots (30)$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

เนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ยังมีริพเพิล (Ripple) อ่อนมาก จึงป้อนผ่านวงจรกรอง LC เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเรียบก่อนที่ป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรควบคุมการทริก

ในการหลอมโลหะด้วยการเหนี่ยวนำ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจนถึงหลอมละลายเนื้อสารจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ทำให้กระแสที่ไหลในระบบเปลี่ยนไปด้ว ถ้าไม่มีการควบคุมอาจเกิดอันตรายต่อระบบได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรเรียงกระแสชนิดที่สามารถควบคุมให้กระแสเอาต์พุตคงที่ในขณะที่ภาระมีการเปลี่ยนแปลง

หลักการของวงจร คือ การปรับมุมทริก เพื่อปรับระดับไฟฟ้ากระแสตรง แต่จะรักษาให้กระแสที่ไหลคงที่เสมอ ถ้าภาระเพิ่มขึ้นวงจรควบคุมจะทริกให้ช่วงนำกระแสของเอสซีอาร์น้อยลง ทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีระดับลดลงเป็นต้น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แล้วป้อนเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการสวิทช์ซึ่งให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่ายอด (Peak) ซึ่งเปลี่ยนแปลงด้ว เป็นผลให้กระแสไหลในคอนดักทีวาคงที่ตลอดเวลา

วงจรควบคุมการทริกจะมีสัญญาณป้อนกลับทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทาน 0.1 โอห์ม เข้าสู่ขา 5 ของ LM324 แล้วส่งสัญญาณซึ่งเกี่ยวกับไฟลบบของเอาต์พุตเข้าสู่ขาของ LM723 ซึ่งมีความถี่อ้างอิงเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ 7.2 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของ LM723 ต่อกับทรานซิสเตอร์ BC557B แบบอิมิตเตอร์โฟลโลเวอร์ (Emitter follower) ผ่านไดโอดไปเข้าขา 2 ของส่วนทริกของไอซีตั้งเวลา NE555 ซึ่งมีการสร้างสัญญาณให้ซิงโครไนซ์กับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 2 ของไอซีตั้งเวลา (Reset) เอาต์พุตให้เป็นสถานะต่ำผ่านโวลเตจดีไวเดอร์ (Voltage divider) เข้าขาเบสของ 2N2905A เกิดกระแสไหลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่คร่อม C_{21} $4.7\mu F$ เปลี่ยนแปลง เกิดกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิหม้อแปลงเป็นคลื่นรูปปลาแหวนความถี่ที่ 100 Hz สำหรับทริกเอสซีอาร์ให้ทำงาน

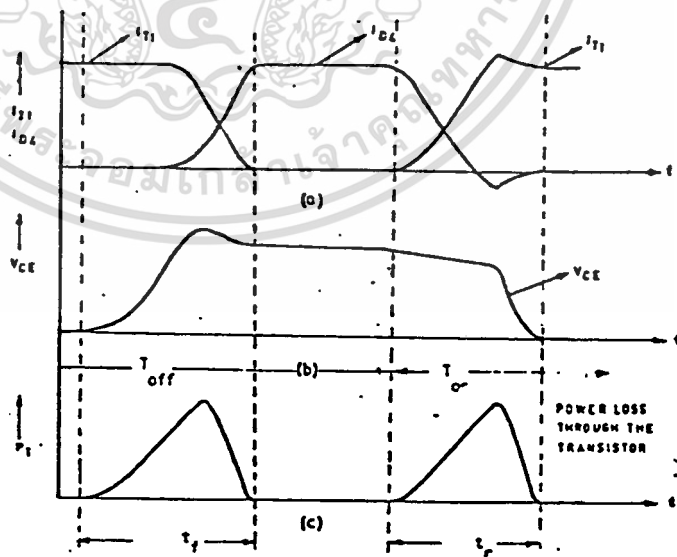
เมื่อภาระเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนทำให้สัญญาณที่เข้าสู่ขาของ LM723 เปลี่ยนแปลงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขา 2 ของไอซี 555 มีการเปลี่ยนด้ว เอาต์พุตขา 3 จะมีช่วงกว้างของสถานะต่ำเปลี่ยนไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนมุมทริก เป็นเช่นนี้ตลอด วิศวกรรักษาให้กระแสเอาต์พุตของวงจรกำลังคงที่

3.4 วงจรช่วยสำหรับอินเวอร์เตอร์ (Snubber Circuit)

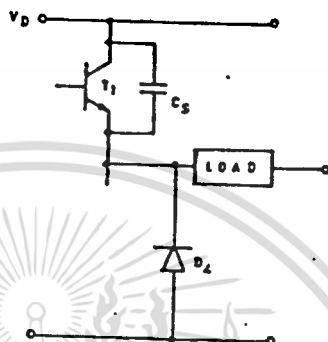
กำหนดให้อุปกรณ์มีช่วงเวลาของการคืนสภาพน้อยมากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาการนำกระแส หรือช่วงเวลาการหยุดการนำกระแสในวงจร ดังนั้นกระแสที่การะจิงเสมือนว่ามีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่มีการทำงาน

ระหว่างที่ทำงานนี้การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของกระแสที่การะจะสร้างศักดาไฟฟ้าที่มีประกาย (Spike) ที่สูงสามารถทำลายทรานซิสเตอร์ได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต่อไดโอด เพื่อเป็นทางให้กระแสยังคงไหลในทิศทางเดิม

เมื่อทรานซิสเตอร์ T_1 หยุดนำกระแส กระแสที่ไหลผ่าน T_1 จะลดลงเป็นศูนย์เกินช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อทำการเก็บประจุภายในตัวทรานซิสเตอร์ ในช่วงเวลานี้ไดโอด D_2 จะมีกระแสไหลผ่านเพิ่มขึ้น ขณะที่กระแสในตัวทรานซิสเตอร์ T_1 ลดลง กระแสที่การะจะคงที่ ในขณะที่ไดโอด D_2 เริ่มนำกระแส ค่าศักดาไฟฟ้าคคร่อมจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะคคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 3.7

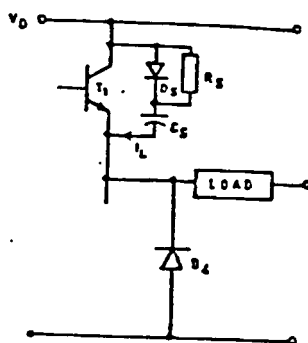


ค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์เริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการเก็บประจุ จะมีค่าสูงขึ้นอย่างทันทีทันใด ก่อนที่กระแสจะลดลง ระหว่างหยุดนำกระแสในช่วงเวลา t_p จะมีค่าพลังงานสูญเสียมากที่สุด ซึ่งสามารถที่จะทำลาทรานซิสเตอร์ได้จากการนิ่งทลาคครั้งที่สอง พลังงานสูญเสียในการสวิตช์ซึ่งสามารถที่จะลดลงได้ ถ้าอัตราเพิ่มศักดาไฟฟ้าตกคร่อมลดลงจนกระทั่งกระแสที่ผ่านมีค่าเป็นศูนย์ ทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุ C_u ดังรูปที่ 3.8



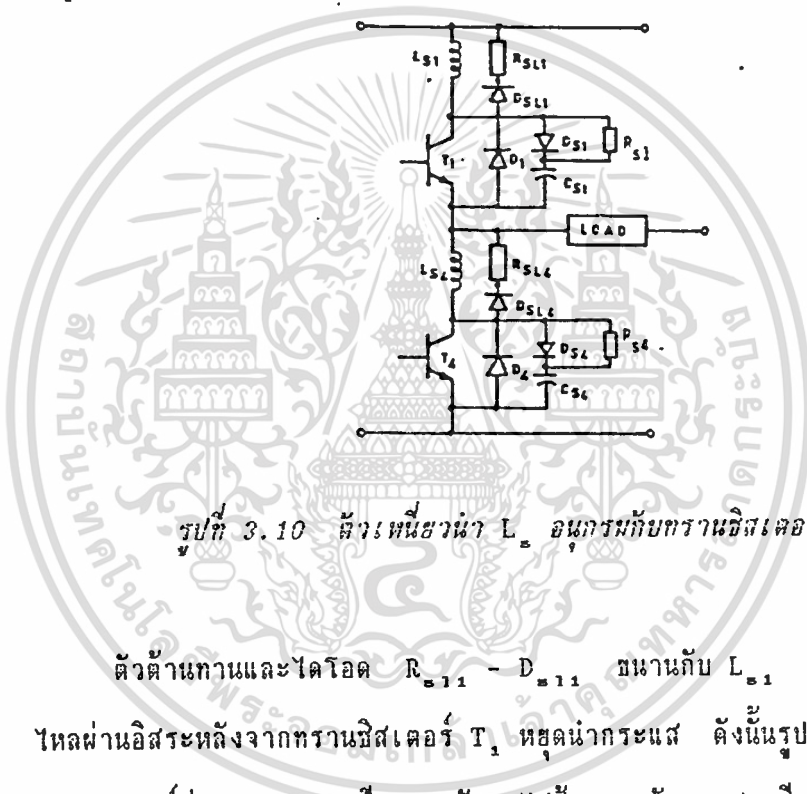
รูปที่ 3.8 การต่อตัวเก็บประจุ C_u

ศักดาของอุปกรณ์ควรวจะน้อยลงจนกระทั่งกระแสเป็นศูนย์ หลังจากที่ทำทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C_u จะยังเก็บประจุไปขึ้นกับกระแสของภาระจนกระทั่งศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเท่ากับแหล่งจ่ายทันทีที่ไดโอด D_2 นำกระแสศักดาของตัวเก็บประจุซึ่งเท่ากับของแหล่งจ่าย เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสตัวเก็บประจุ C_u ที่ต่อขนาน จะคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ กระแสจากการคายประจุสามารถทำลาทรานซิสเตอร์ได้ ถ้าไม่จำกัดค่าไว้ เพื่อเป็นการจำกัดค่ากระแสจึงต่อ R_u อนุกรมดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การต่อ R_u อนุกรม

ไดโอด D_3 เป็นทางผ่านของกระแสในการคายประจุ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานที่ความถี่ในการสวิตช์ที่สูง ไดโอด D_4 ยังคงนำกระแสในระหว่างช่วงการกั้นขวาง (t_{off}) ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 3.10 ขณะที่ T_1 นำกระแส กระแสในไดโอด D_4 จะเป็นศูนย์ในเวลาจำกัด ระหว่างเวลานี้การนำกระแสอย่างทันทีทันใดของทรานซิสเตอร์ T_1 และไดโอด D_4 ภาสได้เกิดการเกิดรีคัพเนอเรย์ที่ขณะลัดวงจรในแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้า ทำให้เกิดอัตราการเพิ่มของกระแสที่ผ่านทรานซิสเตอร์สูงมาก แต่สามารถจำกัดโดยการเพิ่มขดลวดเหนี่ยวนำ L_2 อนุกรมกับทรานซิสเตอร์ T_1 ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตัวเหนี่ยวนำ L_2 อนุกรมกับทรานซิสเตอร์

ตัวต้านทานและไดโอด $R_{S11} - D_{S11}$ หนานกับ L_{S1} จะช่วยให้อัตราการไหลผ่านอิสระหลังจากทรานซิสเตอร์ T_1 หยุดนำกระแส ดังนั้นรูปที่ 3.10 จึงเป็นวงจรสมมูลย์ชั่วขณะความเครียดของศักดาไฟฟ้าและพลังงานสูญเสียได้

จากรูปที่ 3.9 เมื่อให้ทรานซิสเตอร์ T_1 หยุดนำกระแสโดยกำหนดให้การลดลงของกระแสเป็นแบบเชิงเส้น ช่วงเวลาการหยุดนำกระแส เรียกว่า "ฟอลล์ไทม์" (t_f) ค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลา t จะคำนวณได้จาก

$$v_c = \frac{1}{C_s} \int_0^t I_L dt \quad \dots (31)$$

$$v_c = \frac{1}{C_s} \int_0^t \frac{I_L}{t_f} t dt \quad \dots (32)$$

ถ้า C_u เลือกศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยเลือก V_{cd} ที่เวลา $t = t_c$ จะได้

$$V_{cd} = 0.5(I_{L1f})/C_s \quad \dots\dots (33)$$

จัดรูปสมการ (33) ใหม่

$$C_s \geq (I_{L1f})/2V_{cd} \quad \dots\dots (34)$$

ค่า V_{cd} เป็นสัดส่วนของ V_d

เนื่องจากตัวเก็บประจุจะเก็บประจุต่อเนื่องหลังจากกระแสการระจกกระทั่งศักดาไฟฟ้าเท่ากับแหล่งจ่าย V_d ที่เวลา $t = t_d$ ไดโอด D_u เริ่มนำกระแสการกระแสการจะถูกแบ่งระหว่างตัวเก็บประจุ C_u และไดโอด D_u ตัวเก็บประจุยังคงเก็บประจุจนศักดาไฟฟ้าสูงกว่าศักดาไฟฟ้า V_d จากผลของลวดตัวเหนี่ยวนำของวงจรร แต่จะลดลงจนเป็นค่าศักดาของแหล่งจ่าย รูปคลื่นที่พิจารณาสำหรับกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ i_{T4} กระแสของตัวเก็บประจุ i_{C4} และศักดาไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์เป็น V_{T4} ในวงจรรูปที่ 3.9 พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุเป็น

$$E_C = 0.5C_s V_d^2 \quad \dots\dots (35)$$

เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสพลังงานนี้จะถูกถ่ายเทไปยังตัวต้านทาน R_u ถ้า f เป็นความถี่ที่ทำงานของทรานซิสเตอร์ดังนั้นกำลังงานที่ถ่ายเทไปยังตัวต้านทาน R_u เป็น

$$P_{R_s} = 0.5C_s V_d^2 f \quad \dots\dots (36)$$

ค่า C_u เพิ่มขึ้นพลังงานสูญเสียในทรานซิสเตอร์จะลดลง มีผลให้ค่าสูญเสียในตัวต้านทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส ตัวต้านทาน R_u จะจำกัดค่ากระแสที่คาสออกมาผ่านทรานซิสเตอร์เพื่อความปลอดภัย โดยให้ค่า I_{m} เป็นค่าสูงสุดที่อมรับได้ของกระแสที่ผ่านทรานซิสเตอร์ และ I_{1} เป็นค่ากระแสการระจกในขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 นักกระแส สมมติให้ R_u จำกัดค่ากระแสที่คาสจากตัวเก็บประจุ ซึ่งหาได้จาก
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_s > V_d / (I_m - I_1) \quad \dots\dots(37)$$

ในอินเวอร์เตอร์การนำกระแสอาจจะสลับกันระหว่าง T_1 กับ D_4 สำหรับบางขณะในครึ่งรอบการทำงาน ดังนั้นเมื่อไดโอด D_4 นำกระแส T_1 จะนำกระแส การที่ทรานซิสเตอร์จะต้องนำกระแสในขณะที่กระแสของการคายประจุรวมกับกระแส ภาระและกระแสที่กลับทิศทาง (The reverse recovery current, I_{rr}) ของไดโอด D_4 จากสมการที่ (37) สามารถพิจารณาได้ว่า

$$R_s > V_d / (I_m - I_1 - I_{rr}) \quad \dots\dots(38)$$

โดยสมการ (38) นี้จะช่วยในการหาค่าของ R_s ที่น้อยที่สุดได้

ค่าที่มากที่สุดของ R_s จะถูกกำหนดโดยช่วงเวลาในการทำงานน้อยที่สุด ($t_{on(min)}$) ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะละเลยผลของตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรม เสือ ดังนั้นค่าที่น้อยที่สุดในช่วงการทำงานในการออกแบบเท่ากับสามเท่าของค่าคง ที่ของเวลา $R_s C_s$ ดังสมการที่ (39)

$$t_{on(min)} > 3R_s C_s \quad \dots\dots(39)$$

จากสมการที่ (39) จะได้ว่า

$$R_s < t_{on(min)} / 3C_s \quad \dots\dots(40)$$

หมายความว่า ถ้าค่า R_s มีค่าน้อยๆ C_s จะสามารถคายประจุได้เร็วขึ้น

จากสมการที่ (38) และสมการที่ (40) จะได้ว่า

$$V_d / (I_m - I_1 - I_{rr}) < R_s < t_{on(min)} / 3C_s \quad \dots\dots(41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

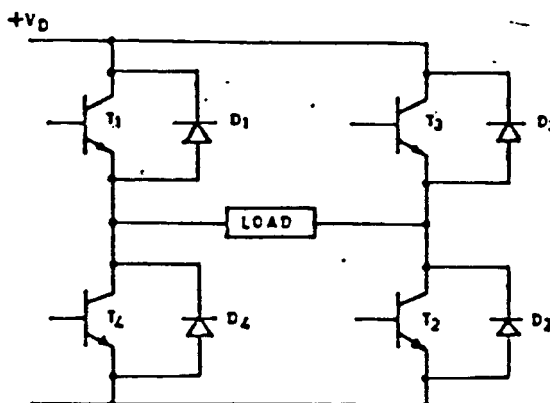
จากสมการที่ (34) และสมการที่ (41) สามารถที่จะใช้ในการหาค่าตัวแปร สำหรับ R_u และ C_u สมการที่ (36) ช่วยในการหาค่ากำลังของตัวต้านทาน R_u

3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับโครงการนี้เป็นอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ เนื่องจากสามารถส่งผ่านกำลังได้สูง เพราะสาเหตุว่าในการหลอมโลหะต้องใช้กำลังงานสูงมาก โดยวงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว เบอร์ 2SD466 ซึ่งภายในตัวทรานซิสเตอร์มีการต่อแบบดาร์ลิงตัน ทำให้ใช้กระแสเบสไม่มากในการทำงาน

การทำงานของอินเวอร์เตอร์จะนำมาต่อเข้ากับไฟกระแสตรง จากนั้นทำการสวิตชิงที่ละคู่สลับกัน มีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมการะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมทั้งซีกบวกและซีกลบ โดยมีขนาดของยอดคลื่นเท่ากับไฟกระแสตรงที่ป้อนเข้า ในการขับให้ทรานซิสเตอร์ทำงานต้องขับทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว เพื่อให้เกิดการสูญเสียในการสวิตชิงน้อยที่สุด นอกจากนี้จะต้องมีการต่อส่วนแอนติพาราเลลไดโอดคร่อมทรานซิสเตอร์แต่ละตัวด้วย โดยควรใช้สายที่ต่อมีความยาวน้อยที่สุด เพื่อลดผลกระทบอินดักแตนซ์ของสาย ส่วนอุปกรณ์ช่วยในการสวิตหรือสับเบอเรจจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เร็วและไม่เป็นอันตราย

โดยเอาที่พ่วงของอินเวอร์เตอร์จะต้องมีการต่อเข้ากับหม้อแปลง เพื่อทำการแยกภาระออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์และเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้มีการใช้ตัวเก็บประจุต่ออนุกรมเพื่อกรองไฟกระแสตรงไม่ให้ผ่านเข้าหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้หม้อแปลงเกิดการอิ่มตัวขึ้นได้



3.6 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง คอซิล์เหนืวหน้าและการคำนวณภาวะ

หลักการพื้นฐานของการลอมโลหะด้วยการเหนืวหน้า คือต้องส่งผ่านกำลังไปสู่อำนาจลอมให้มากที่สุด ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่ขึ้นอยู่กับการเสถียรที่ไหลผ่านคอซิล์เหนืวหน้าจะต้องมีค่าสูง, ความถี่จะต้องมีค่ามาก ดังนั้นการสวิตชิงที่ความถี่สูงๆ และจากการพิจารณาถึงคุณสมบัติของ เนื้อสารหรือ อำนาจลอมที่ถือ เป็นภาวะซึ่งมีผลของสกินเอฟเฟค

การออกแบบจำนวนรอบของหม้อแปลง

หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ที่มีพื้นที่หน้าตัด $6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ แรงดันไฟฟ้าพิกัดด้านปฐมภูมิ มีค่า $\sqrt{2} \times 220 = 311$ โวลต์ จากการทดลองความหนาแน่นฟลักซ์ของแกนเฟอร์ไรท์ที่มีค่า 0.2 เทสลา (Tesla) ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับจากเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ 20 kHz นำค่าต่างแทนลงในสมการหม้อแปลงแบบพัลส์คือ

$$V = 4 * f * N * B * A \quad \dots (42)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้าพิกัดปฐมภูมิเป็นค่าอาร์เอ็มเอส (V)

f คือ ความถี่ของกระแสสลับ (Hz)

N คือ จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ (รอบ)

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์ (T)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรท์ของหม้อแปลง (m^2)

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$311 = 4 * 20 * 10^3 * N * 0.2 * 6 * 10^{-4}$$

$$N = 33 \text{ รอบ}$$

ในโครงการเลือกใช้จำนวนรอบปฐมภูมิเท่ากับ 40 รอบ

การคำนวณภาวะของเข้าลอม

เข้าลอมเป็นสารชนิดกราไฟท์ (Graphite) ซึ่งเป็นสารประเภทเดียวกับเนื้อสารที่ต้องการลอมซึ่งเป็นสารจำพวกสารไดอะแมกเนติก (Diamagnetic) ซึ่งมีค่าความซึม

เข้าแม่เหล็ก (μ_r) ประมาณ 1 แต่เข้าลอมมีค่าสภาพความต้านทาน () มากกว่าเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานาได้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่ เข้าหาล้อมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง(d) 4 เซนติเมตร มีความยาว(1) 8 เซนติเมตร มีสภาพความต้านทาน(ρ)ของกราฟไฟท์ 1.42×10^{-5} โอห์มเมตร มีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก(μ_r)ของกราฟไฟท์ 1 จาก

$$= \sqrt{\rho / \mu \pi F} \quad \dots\dots(43)$$

$$= \sqrt{(1.42 \times 10^{-5}) / (\pi * 20 \times 10^3 * 4 * \pi * 10^{-7})}$$

$$= 0.0134 \text{ เมตร}$$

คิดค่าความต้านทานของเข้าหาล้อมซึ่งเป็นภาวะโคมประมาณจะได้

$$R = \rho \pi d / l \quad \dots\dots(44)$$

$$= (1.42 \times 10^{-5} * \pi * 4 * 10^{-2}) / (0.0134 * 8 * 10^{-2})$$

$$= 1.66 * 10^{-3} \text{ โอห์ม}$$

การออกแบบคอสล์เหนียวน้ำ

ในการออกแบบคอสล์จะพิจารณาเฉพาะเข้าหาล้อม โดยการตัดเนื้อสารที่จะหลอมทิ้งไป เพราะมีค่าน้อยมาก แรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสค่านปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับ $V_{rms} = \sqrt{[(311)^2 * (T/2) / (T/2)]} = 311$ โวลท์ โดยที่ T คือคาบของแรงดันไฟฟ้า กระแสทางค่านปฐมภูมิกำหนดให้มีค่าสอดคล้องกับ 10 แอมป์ ดังนั้นกระแสค่าอาร์เอ็มเอสมีค่า $= 10 / \sqrt{2} = 7.07$ แอมป์ ให้ชุดทุติยภูมิของหม้อแปลงมี 2 รอบ ค่าอัตราส่วนของจำนวนรอบมีค่าเป็น $a = 20 / 1$ ดังนั้น $V_{2rms} = 311 / 20 = 15.5$ โวลต์ $I_{2rms} = 7.07 * 20 = 141.4$ แอมป์ ค่าอิมพีแดนซ์ของภาวะที่ข้ามมาทางค่านคอสล์จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า $V_{2rms} / I_{2rms} = 15.5 / 141.4 = 0.11$ โอห์ม

$$R_1 = a^2 R_2 \quad \dots\dots(45)$$

$$0.11 = N^2 * 1.66 * 10^{-3} \text{ โอห์ม}$$

$$N^2 = 66.28$$

$$N = 8 \text{ รอบ}$$

ดังนั้นจะได้จำนวนรอบของคอสล์เหนียวน้ำเพื่อทำให้แมทชิ่งกับภาวะคือ 8 รอบ คอสล์เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.6 เซนติเมตร ความยาว 8 เซนติเมตร ค่าความเหนียวน้ำของคอสล์

$$L = N^2 \mu A / l \quad \dots\dots(46)$$

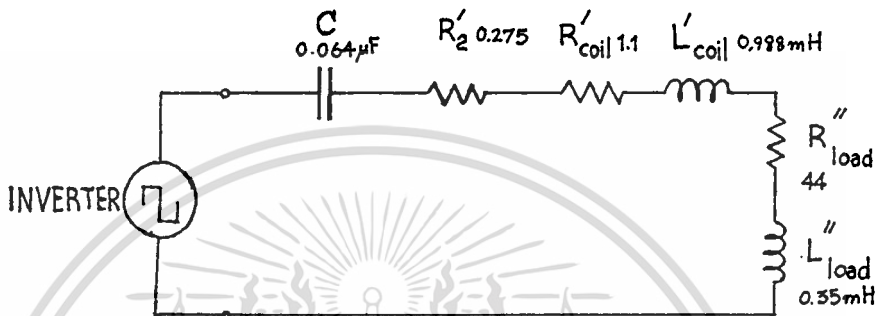
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะของโรงเรียนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังโรงเรียนอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

$$L = 64 * 4 * \pi * 10^{-7} * \pi * 5.6 * 10^{-2} / (2 * 8 * 10^{-2}) = 2.47 \mu H$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมมูลของภาวะและคอิลล์

วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดซิงเกิ้ลเฟสที่เรโซแนนท์ที่มีค่าเอาต์พุตที่ประกอบด้วยภาวะที่เป็น RLC ที่ต่ออนุกรมกันซึ่งในโครงการนี้สามารถนำค่าต่างๆ ของหม้อแปลงความถี่สูง, ตัวเก็บประจุ, คอิลล์เหนี่ยวนำและเข้าหาลอมมาเขียนเป็นวงจรสมมูลจะได้



รูปที่ 3.11 วงจรสมมูลของส่วนโหลด

เมื่อ C คือ ค่าตัวเก็บประจุที่กรองไฟกระแสตรง

R'_2 คือ ค่าความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

R'_{coil} คือค่าความต้านทานของคอิลล์ที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

L'_{coil} คือค่าความเหนี่ยวนำของคอิลล์ที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

R''_{load} คือค่าความต้านทานของเข้าหาลอมที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

L''_{load} คือค่าความเหนี่ยวนำ

นำของเข้าหาลอมที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ ค่าตัวแปรต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.11

3.7 การหล่อเย็นในแท่งตัวนำโคสใช้ น้ำ (Water cooling in conductor)

ได้มีการใช้น้ำอย่างกว้างขวาง ในการเป็นอุปกรณ์หล่อเย็นของเครื่องเหนี่ยวนำ

นำความร้อนด้วยส่นามแม่เหล็ก โคสจะให้มีการไหลผ่านท่อเล็กๆที่เป็นตัวนำ เนื่อง

จากความสำคัญของหัวข้อนี้จะมีความสำคัญมากในการทดลองและการใช้งาน ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ต้องใช้ทฤษฎีเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์หลักการของด้านขนาดของพลังงานความร้อนที่ไหลจากผนังท่อที่มีน้ำไหลผ่าน สามารถที่จะคิดหาความสัมพันธ์เป็นสมการในรูปของสามปริมาณที่ไม่มีขนาดได้ดังต่อไปนี้

The Nusselt number, $Nu = Pd/k\theta$ (47)

The Reynolds number, $Re = v\rho d/\eta$ (48)

The Prandtl number, $Pr = c\eta/k$ (49)

เมื่อ k, γ, c และ η เป็นคุณสมบัติของของเหลวที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในท่อ

v เป็นค่าความเร็วในการไหลของของเหลว

d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

และ θ เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังท่อกับของเหลว

ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu, Re และ Pr นี้จะได้จากการพิจารณาวัตถุขนาดใหญ่ที่ใช้ทดลองสำหรับของเหลวและก๊าซดังนี้

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} \quad \text{.....(50)}$$

สำหรับการไหลของไหลไหลผ่านท่อ ($Re > 2100$) มีค่าความถูกต้องตามการเปลี่ยนแปลงของ l/d น้อยมาก แต่ถ้าค่า l/d มีค่ามาก 10 จะต้องนำมาพิจารณาโดยจะใช้ค่าของ l/d สกกำลัง 0.05

การปล่อยให้น้ำไหลผ่านท่อ น้ำจะร้อนขึ้นโดยตัวเองและผลของอุณหภูมิที่แตกต่างจะถูกนำมาพิจารณาถึงผลที่ทำให้ค่าของ Nu มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำที่เปลี่ยนไปตามค่าของอุณหภูมิ โดยที่น้ำซึ่งจะไหลเข้าไปในท่อจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส และจะไหลออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป ดังนั้นขอบเขตของการใช้งานจะอยู่ประมาณ 10 ถึง 60 องศาเซลเซียส ถ้าเกินกว่าขอบเขตนี้ค่าของ γ จะมีการเปลี่ยนแปลงจากค่า 1000 เป็น 980 kgm^{-3} (995) และ ค่าของ c จะเปลี่ยนแปลงจากค่า 4190 เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $4180 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ (4180) โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ต่างๆดังแสดงใน
 ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง

	อุณหภูมิจาก (องศาเซลเซียส)					
	10	20	30	40	50	60
k	0.58	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65
Pr	9.50	7.00	5.47	4.34	3.57	3.07
$\times 10^{-4}$	13.10	10.10	8.00	6.50	5.50	4.70
$(Pr^{0.4} / \eta^{0.8})$	498.00	542.00	591.00	638.00	674.00	718.00
p.u.	0.92	1.00	1.09	1.18	1.24	1.33

ค่าสัมประสิทธิ์ความถูกต้องสำหรับ Nu จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจาก (ค่าคงที่ $\times Pr^{0.4} / \eta^{0.8}$) จะใช้ที่เงื่อนไขความสัณฐานที่อุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส ค่าความถูกต้องยอมรับได้โดยใช้

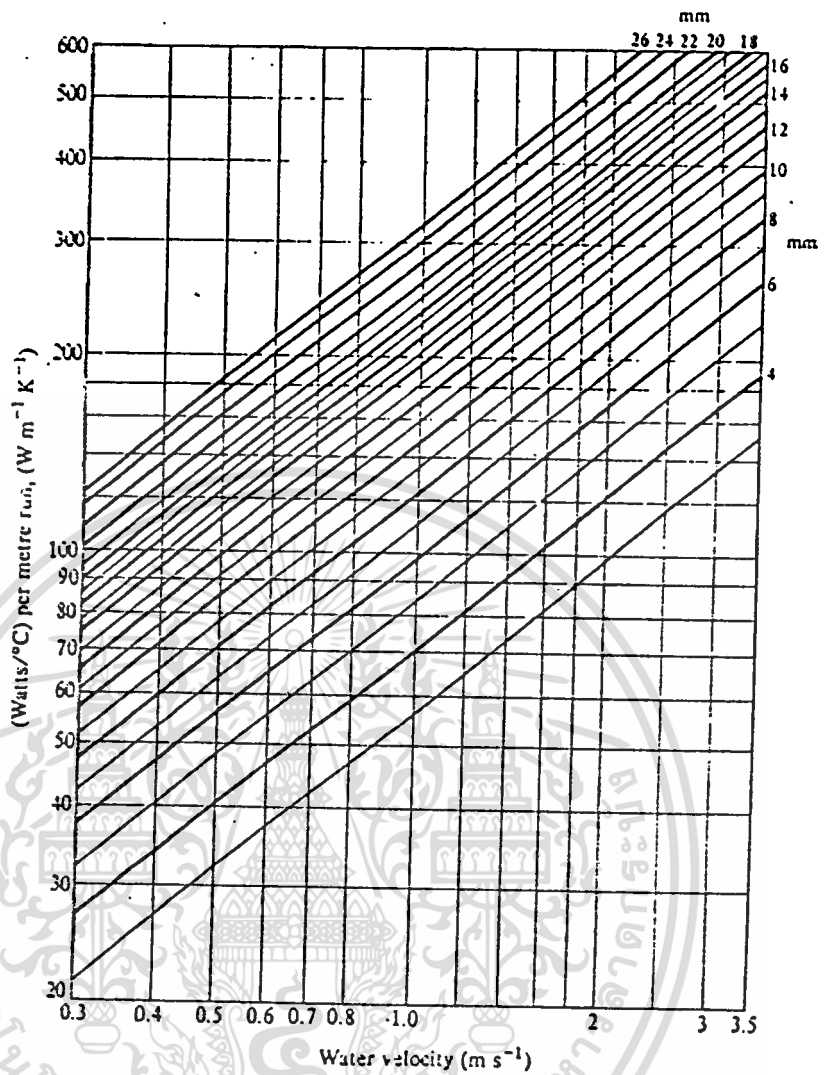
$$(0.84 + 0.008\theta) \dots (51)$$

θ เป็นองศาเซลเซียส

การใช้สมการที่ 52 เพื่อความสะดวกในการใช้งาน จึงเอาลักษณะความสัณฐานที่หาได้มาวาดกราฟบนมาตราส่วนของ log-log ได้ลักษณะเป็นเส้นตรง โดยความสัณฐานของ w/θ ต่อความยาวของท่อที่มีหน่วยเป็นเมตรกับปริมาณน้ำ หรือกับความเร็ว สำหรับความเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อโดยการคูณ ϕ โดยค่าประมาณของพื้นที่ผิวภายใน ซึ่งสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{W}{\theta l} &= 0.023 \pi (vd)^{0.8} \gamma^{0.8} \left(\frac{k Pr^{0.4}}{\eta^{0.8}} \right) \\ &= 0.023 \pi (995)^{0.8} (vd)^{0.8} (0.6 \times 542) \\ &= 5893 (vd)^{0.8} \dots (52) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ในหัวข้อวัตถุประสงค์ต่อเมตรเคลวิน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13.12 ความสัมพันธ์ของความเร็วกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่เปลี่ยนไป

เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลจะเท่ากับ $(\pi D^2/4)v \times 60 \times 10^3$ ลิตรต่อนาที
 $= .47\ 120vd^2$ ลิตรต่อนาที

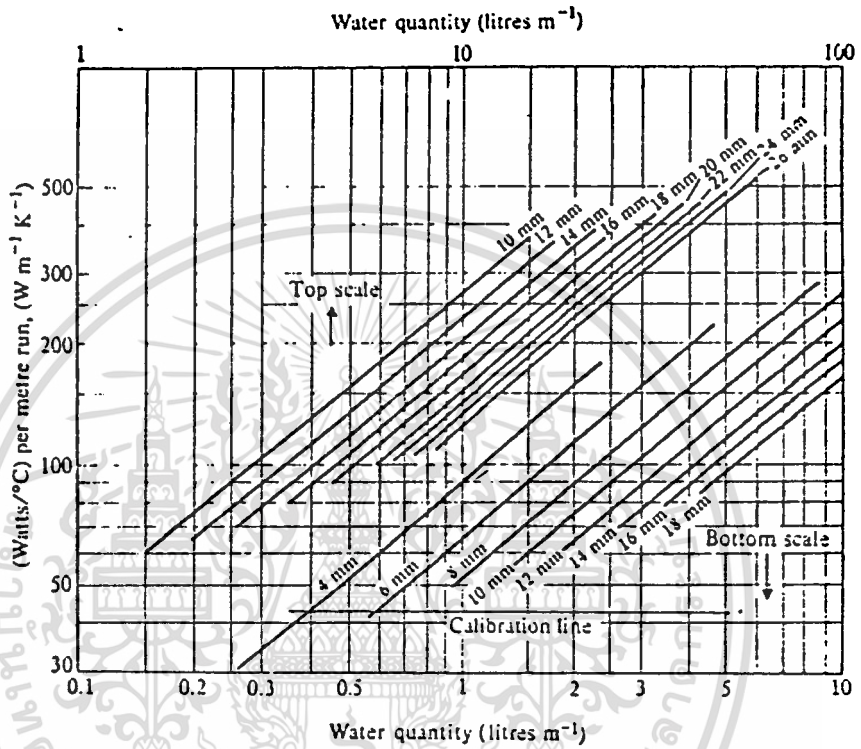
จากสมการ (49) สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{W}{\theta t} = 1.076 \left(\frac{L}{d} \right)^{0.9} \dots (53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ 1 เป็นปริมาณน้ำที่ไหล (ลิตรต่อนาที) ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดท่อดังรูปที่



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดท่อกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ

โดยกำหนดให้ (l/d) เป็นค่าคงที่, มีความสูญเสียคงที่ และเส้นของการปรับแต่งซึ่งจะอยู่ในแนวทางใช้มาตรฐานข้างล่าง*10
มาตรฐานการใช้งาน

ถ้าความสัมพันธ์ที่เกินขอบเขตสามารถหาค่าได้โดยถ้า 1 มีค่าต่ำมากจะมีการไหลผ่านได้น้อยกว่าเดิม สำหรับค่า 1 ที่มีค่ามากจะมีค่าของความดันที่ลดลงไปตาม

โดยที่ทั้งรูปที่ 3.12 และ 3.13 ใช้เมื่ออุณหภูมิมีค่า 20 องศาเซลเซียสซึ่งที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้าและความสูญเสียเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่สำหรับที่อุณหภูมิอื่นให้ใช้สมการที่ (51) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าของปริมาณน้ำ

เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเป็น องศาเซลเซียส และ Q เป็นปริมาณน้ำ
(ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)

$$\text{พลังงานความร้อนที่ถ่ายเท} = (c * \rho * Q * \theta) \quad \text{w.....(54)}$$

$$= 0.0691Q \quad \text{kw.....(55)}$$

เมื่อ 1 มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที



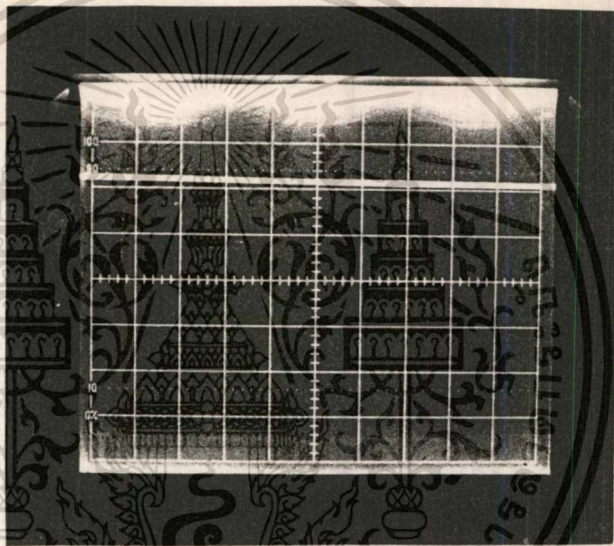
บทที่ A การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสให้กระแสคงที่

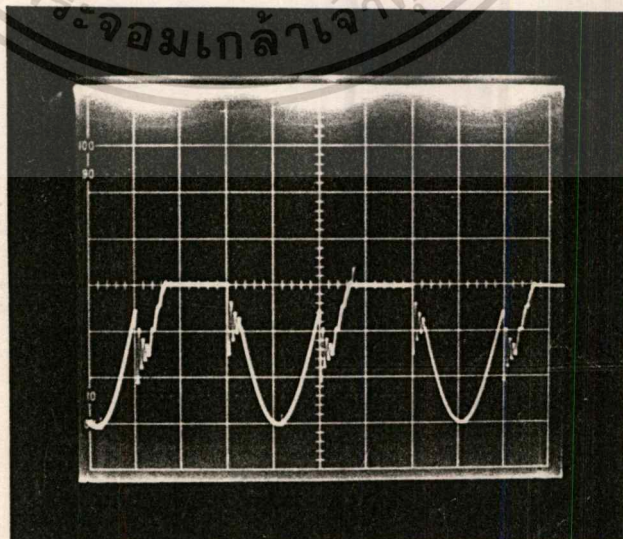
4.1.1 โหลดความต้านทาน ให้มีการปรับตั้งค่ากระแสคงที่เป็น 3 แอมป์

โดยก่อนการทดลอง จะต้องรอการะไว้ตลอดเวลา เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้

เมื่อการะค่าหนึ่ง โดยมึระดับแรงดันเป็น 200 โวลต์ และคักตาคร่อม SCR เป็นดังรูป



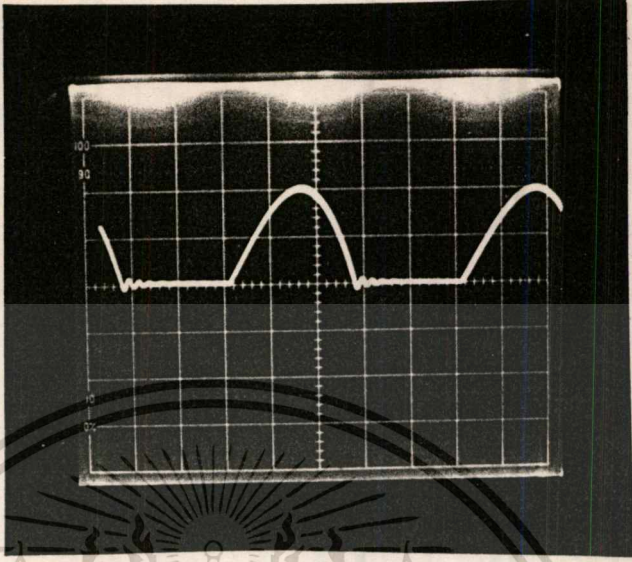
รูปแสดงระดับแรงดันไม่ตรง 200 โวลต์ มาตรฐาน 100 V/div



รูปแสดงแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ มาตรฐาน 100 V/div , 5 ms/div

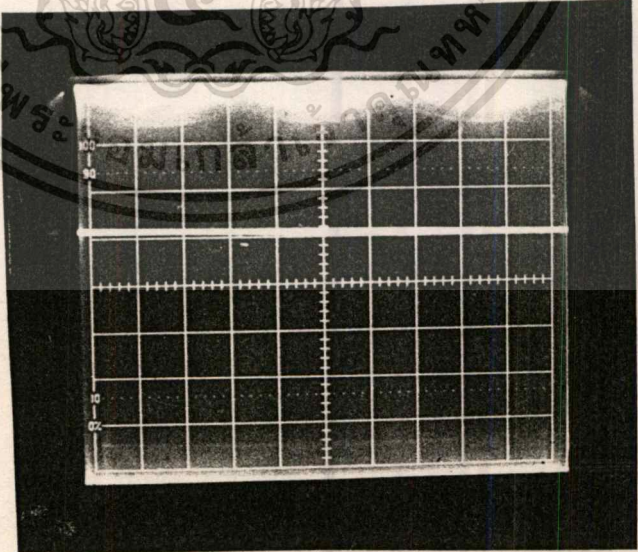
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะกระแสเป็นดังนี้



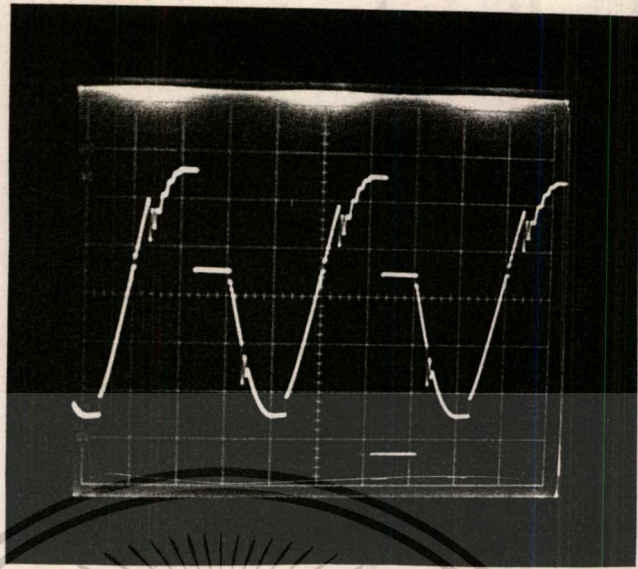
รูปแสดงกระแสไหลผ่านหลอด พาดกราฟส่วน 5 A/div , 2 ms/div

4.1.2 เมื่อการขยับการเพิ่มขึ้น นั่นคือ ค่าความถี่รวมของระบบจะมีการลดลงเมื่อกระแสที่ ทำให้ค่าของศักดาไฟฟ้าที่ออกมา จะมีการลดลง เป็น 100 โวลต์ ศักดาครอม SCR จะเป็นดังภาพ



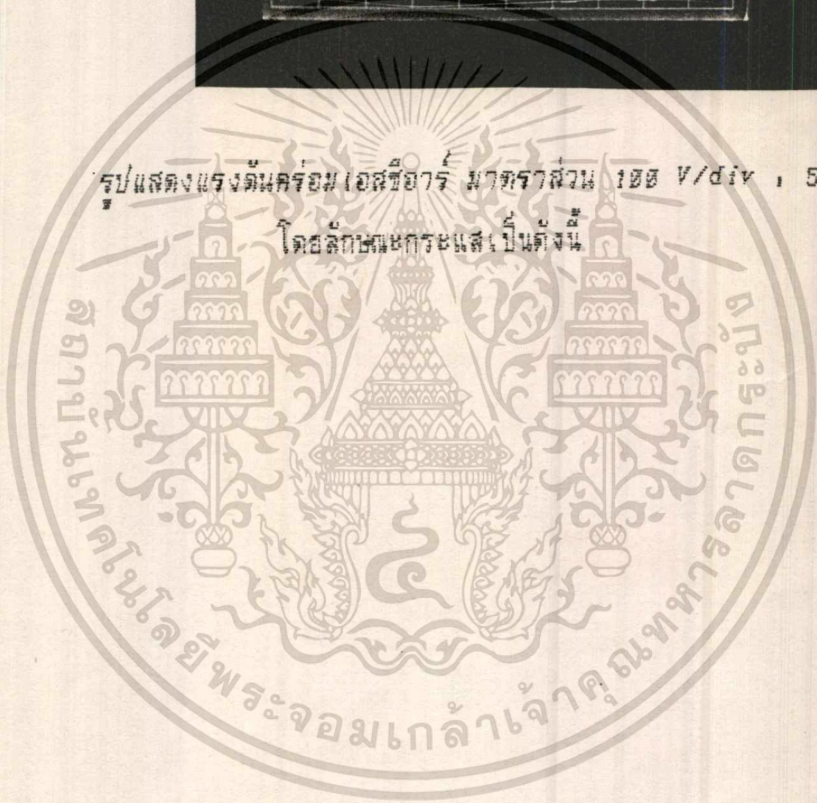
รูปแสดงระดับแรงดันไฟตรง 100 โวลต์ พาดกราฟส่วน 100 V/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงแรงดันคร่อมแอสซิสอาร์ มาตรฐานส่วน 100 V/div , 5 ms/div

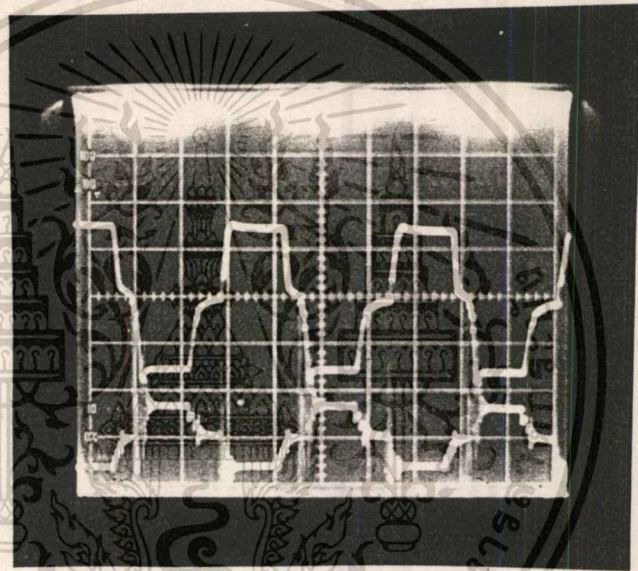
โดยลักษณะกระแสเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ ภายใต้การควบคุมกระแสคง
ที่ 4 แอมป์ โดทรานซิสเตอร์มีการทำงาน 27 เปอร์เซ็นต์ และอีก
78 เปอร์เซ็นต์ไม่มีกระแสของเวลาทั้งหมด โดยใช้ความถี่ประมาณ 15
กิโลเฮิร์ต

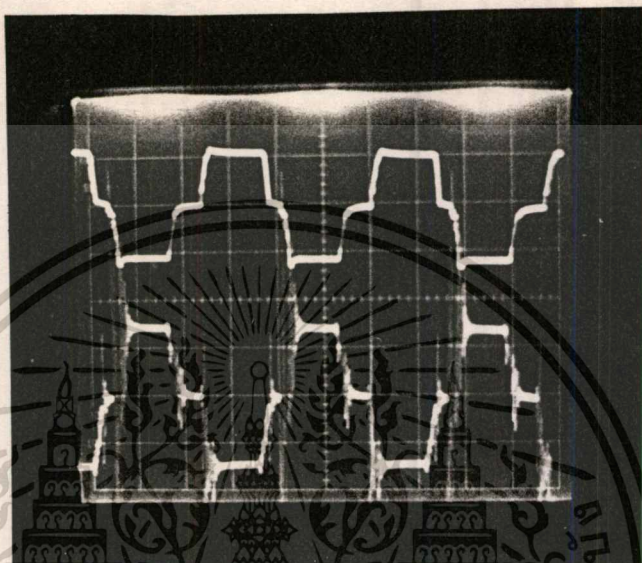
4.2.1 โหลดความต้านทาน ทดสอบภายใต้การพิจารณากระแส 4 แอมป์
คงที่ ที่ภาระค่าหนึ่ง จะทำให้มีระดับของแรงดันไฟตรง 150 โวลต์
และมีลักษณะของแรงดันและกระแส ที่เอาท์พุทดังรูป



รูปบนแสดงแรงดันเอาท์พุท มาตรการส่วน 100 V/div , 20 s/div

รูปล่างแสดงกระแสเอาท์พุท มาตรการส่วน 5 A/div , 20 s/div

4.2.2 เมื่อมีการเพิ่มภาระให้มากขึ้น แต่เนื่องจากค่ากระแสยังคงเดิม ทำให้ค่าศักดาไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง โดยจะมีลักษณะดังรูป



รูปบนแสดงแรงดันเอาต์พุต มาตรฐาน 100 V/div , $20\text{ }\mu\text{s/div}$

รูปล่างแสดงกระแสเอาต์พุต มาตรฐาน 5 A/div , $20\text{ }\mu\text{s/div}$

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์

จากหลักการและทฤษฎีการหลอมโลหะโคบอลต์คาร์บอนเห็นส่วนนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำและกระแสไหลวนในเนื้อสารที่ต้องการหลอมซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็กและไฟฟ้าต่างกัน พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดความเข้มสนามแม่เหล็ก ความถี่ของสนามแม่เหล็กและสภาพต้านทานของสาร แต่จะมีผลของสกินเอฟเฟกต์มาเกี่ยวข้องเนื่องจากความถี่สูงและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งสารหลอมละลายในที่สุด ระบบการหลอมโลหะในโรงงานนี้เป็นาการหลอมโลหะประเภทที่ไม่นำแม่เหล็กซึ่งเรียกว่าสารไดอะแมกเนติก เช่น ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งทำให้ต้องส่งผ่านพลังงานไปสู่เข้าหลอมที่ทำด้วยกราฟไฟท์แทน ถึงแม้ว่ากราฟไฟท์จะเป็นสารชนิดไดอะแมกเนติกเช่นเดียวกับโลหะที่ต้องการหลอมก็ตาม แต่กราฟไฟท์มีค่าสภาพต้านทานที่สูงกว่าเกือบพันเท่า ทำให้สามารถเกิดพลังงานความร้อนได้มากและถ่ายเทความร้อนสู่โลหะเพื่อการหลอมละลายต่อไป

ส่วนระบบการทำงานของเครื่องหลอมอันประกอบไปด้วยส่วนวงจรเรียงกระแสชนิดควบคุมเฟสได้ซึ่งมีวงจรควบคุมการทริกเอสซีอาร์เพื่อให้มีการทำงานแบบกระแสเอ้าท์พุทคงที่ตามค่าที่ตั้งไว้ เมื่อผ่านจากวงจรกรองเพื่อให้ได้ไฟกระแสตรงก็จะป้อนพลังงานเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีเอ้าท์พุทต่ออยู่กับส่วนของโหลดแบบวีวีอาร์ไอซ์แนนท์ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่กรองไฟตรงและทำให้เกิดเรโซแนนท์ หม้อแปลงความถี่สูงเพื่อแยกส่วนของวงจรและเพิ่มกระแสที่ไหลเข้าสู่คอสล์เหนี่ยวนำเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้มีความถี่สูงมาก ๆ เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนซึ่งเป็นผลให้เกิดพลังงานความร้อนถ่ายเทสู่โลหะที่ต้องการหลอม นอกจากนี้จะต้องมีระบบระบายความร้อนที่คอสล์เหนี่ยวนำด้วยเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้

การทำงานของระบบในการทดลองของโรงงานนี้สามารถส่งผ่านพลังงานสู่เข้าหลอมได้ที่จุดเรโซแนนท์ แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องต่างๆ อีกดังนี้

1. วงจรขับเบสยังทำงานได้ไม่ดีนักและควรแยกออกจากส่วนของวงจรกำลังเพื่อความปลอดภัย

นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนจากวงจรกำลังมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นว่าเป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติ ไม่ว่ากรณีใดทุกสิ่งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ 2. อดทนกับวีเตอร์กำลังมีพิกัดแรงดันต่ำเกินไป เมื่อทำงานที่แรงดันค่า

สูงๆ ทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้

3. ตัวเก็บประจุที่เอาที่ผิดเกิดความร้อนและทนค่าแรงดันไม่ได้ทำให้เสียหายได้

4. สไปร์คโวลเตจมีค่าสูงทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังเสียหาย

5. ปุ่มปัดสำหรับระบายความร้อนต่อกับท่อและคอยล์ที่มีขนาดเล็กมากทำให้อัตราการไหลของน้ำต่ำ และกินกระแสสูง

6. การทำงานเวลานานๆ ทำให้วงจรเกิดความร้อนมากเป็นผลให้เกิดการทำงานที่เปลี่ยนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณ ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง
ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือด้านเอกสาร
และอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงงานนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณอาจารย์ วิจิตร กิณเวศ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะทั้งทางด้านทฤษฎีและทาง
ปฏิบัติในขณะที่ทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย ที่กรุณาให้ใช้ห้องอาจารย์สำหรับทำงาน

ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้จัดหาแหล่ง
ข้อมูลอันดีเยี่ยมสำหรับค้นคว้าศึกษาทางด้านวิชาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P.C. Sen, "Thyristor DC Drives" ,John.Wiley&Sons,1981.
2. P.C. Sen, "Power Electronics" ,Mc Graw-Hill, 1987
3. George Chrysis "High Frequency Switching power supplies" ,
Mc Graw-Hill,1984.
4. John Davies ,Peter.Simson,"Induction Heating Handbook,"
Mc Graw-Hill,INC,1979



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้