



DC POWER SUPPLY FOR OSCILLATOR TUBE

จาก 3- ϕ 380 VAC เป็น 0-4000 VDC



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

009612

ปริญาพนันท์ปีการศึกษา 2534

เรื่อง

DC POWER SUPPLY FOR OSCILLATOR TUBE

จาก 3-φ 380 VAC เป็น 0-4000 VDC

ผู้จัดทำ

- 
1. 1. คุณาก กฤติกร คุ่มแวน
Mr. KRITTIKORN COOMVAN
 2. 2. นาย ธีรเทพ บราหมณ์ณี
Mr. THERATAPE BHRAMMANEE
 3. 3. นาย ไสว ฤทธิเทพ
Mr. SAWAI RITTHAPE

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พิชิต ล้ำทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis is about the built up of DC Power Supply for Oscillator Tube from power source which 3-phase 380 V to the DC out put 0-4000 V , by applications as this following.

- 1). AC Voltage Controller of phase control , for variability of power source.
- 2). Transformer , for step up power source voltage.
- 3). Three-phase Full Wave Bridge Rectifier , for convert out put voltage of transformer to DC voltage.

Otherwise , the in put side of transformer use feed back circuit of upper current by over load or short circuit , for increasing the trig angle of SCR and then in put voltage of transformer will decrease , so the DC out put voltage will decrease also or other case to maintain the current for constant.

For the DC out put voltage side 0-4000 V , use protection circuit in case of short circuit or over voltage of setting value from protection circuit in this side , the operation of the protection circuit will interrupt the power source to out of the operating system.

บทคัดย่อ

หนังสือวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเรื่องเกี่ยวกับการสร้าง DC Power Supply for Oscillator Tube จากแหล่งจ่าย 3-เฟส 380 โวลต์ เป็น แรงดัน ดีซี . 0-4000 โวลต์ โดยท้าวประยุกต์ใช้สิ่งดังต่อไปนี้

- 1). ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดการควบคุมเฟส ใช้เพื่อให้สามารถแปรค่าระดับแรงดันของแหล่งจ่าย ตามค่าที่ต้องการ
- 2). หม้อแปลงไฟฟ้า ใช้เพื่อเพิ่มระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายให้สูงขึ้น
- 3). ระบบการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ชนิด 3-เฟส ลูกคลื่นเต็มแบบสะพาน เพื่อให้ทำให้แรงดันเอาต์พุทของหม้อแปลงซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบดี

นอกจากนี้ทางด้านอินพุทของหม้อแปลง ก็มีวงจรป้องกันที่แรงดันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีโหลดเกิน หรือ ลัดวงจร เพื่อให้หม้อแปลงที่เสถียรเพิ่มขึ้น แล้วจะทำให้แรงดันอินพุทของหม้อแปลงลดลง เป็นผลให้แรงดัน ดีซี . เอาต์พุทลดลงด้วย หรืออีกนัยหนึ่งเพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่

ส่วนทางด้านเอาต์พุทที่เป็น ดีซี . 0-4000 โวลต์ ก็มีวงจรป้องกันการเกิดลัดวงจรหรือเพิ่มแรงดันเกินค่าที่ตั้งไว้จากวงจรป้องกัน ผลการทำงานของวงจรส่วนนี้ จะตัดแรงดันของแหล่งจ่ายออกจากระบบที่กำลังทำงาน

สารบัญ

บทที่ 1	วัตถุประสงค์และแนวทางในการดำเนินงาน	หน้า	1 - 4
บทที่ 2	การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง	หน้า	5 - 8
บทที่ 3	การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	หน้า	9 - 13
บทที่ 4	วงจรแม่เหล็ก และ หม้อแปลง	หน้า	14 - 31
บทที่ 5	การออกแบบการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นกระแสตรงชนิด 3 เฟส ลुकคลื่นเต็มแบบสะพาน	หน้า	32 - 35
บทที่ 6	การออกแบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	หน้า	36 - 45
บทที่ 7	การออกแบบหม้อแปลง 1 เฟส	หน้า	46 - 51
บทที่ 8	ผลการดำเนินงาน	หน้า	52 - 65
บทที่ 9	สรุปผลการดำเนินงาน	หน้า	66 - 67
	กิตติกรรมประกาศ	หน้า	68
	หนังสืออ้างอิง	หน้า	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

วัตถุประสงค์และแนวทางในการดำเนินงาน

1.1 วัตถุประสงค์

- 1). เพื่อสร้าง DC POWER SUPPLY 0 ~ 4000 Volts
- 2). แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้หลักการจาก 3-PHASE FULL WAVE BRIDGE
- 3). แรงดัน OUT PUT สามารถปรับค่าได้ โดยวิธี AC VOLTAGE CONTROLLER ชนิดการควบคุมเฟส (PHASE CONTROL)
- 4). ใช้หม้อแปลง 1-เฟส มาต่อกันเป็น 3-เฟส เพื่อใช้ค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง ช่วยในการลด HARMONICS
- 5). มีวงจรป้องกันกลับ ซึ่งเมื่อมีการลัดวงจร และ โหลดเกิน เพื่อทำให้กระแสยังคงที่อยู่ เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดยทำให้แรงดันที่แหล่งจ่ายมีค่าลดลง จากการควบคุมเฟสโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการป้องกันทางด้าน IN PUT
- 6). มีวงจรป้องกันทางด้าน DC OUT PUT เพื่อตัดระบบที่กำลังใช้งานอยู่ให้ออกจากระบบของแหล่งจ่าย

1.2 แนวทางในการทำงาน

- 1). ศึกษาทฤษฎีของ หม้อแปลง การควบคุมเฟส และการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
- 2). ออกแบบหม้อแปลงจาก specification ที่กำหนด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

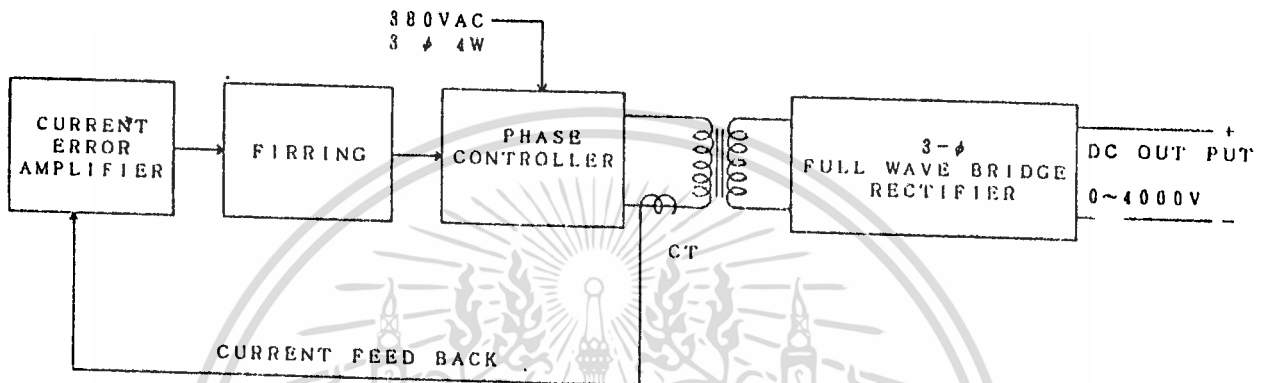
ข. แรงดัน out put 0 ~ 4000 VDC , กระแส 2 แอมป์

- 3). ออกแบบวงจรทริกเกอร์ เลสทีอาร์, ในการควบคุมเฟส
- 4). ออกแบบวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
- 5). ออกแบบวงจรการป้อนกลับ (FEED BACK CIRCUIT)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM

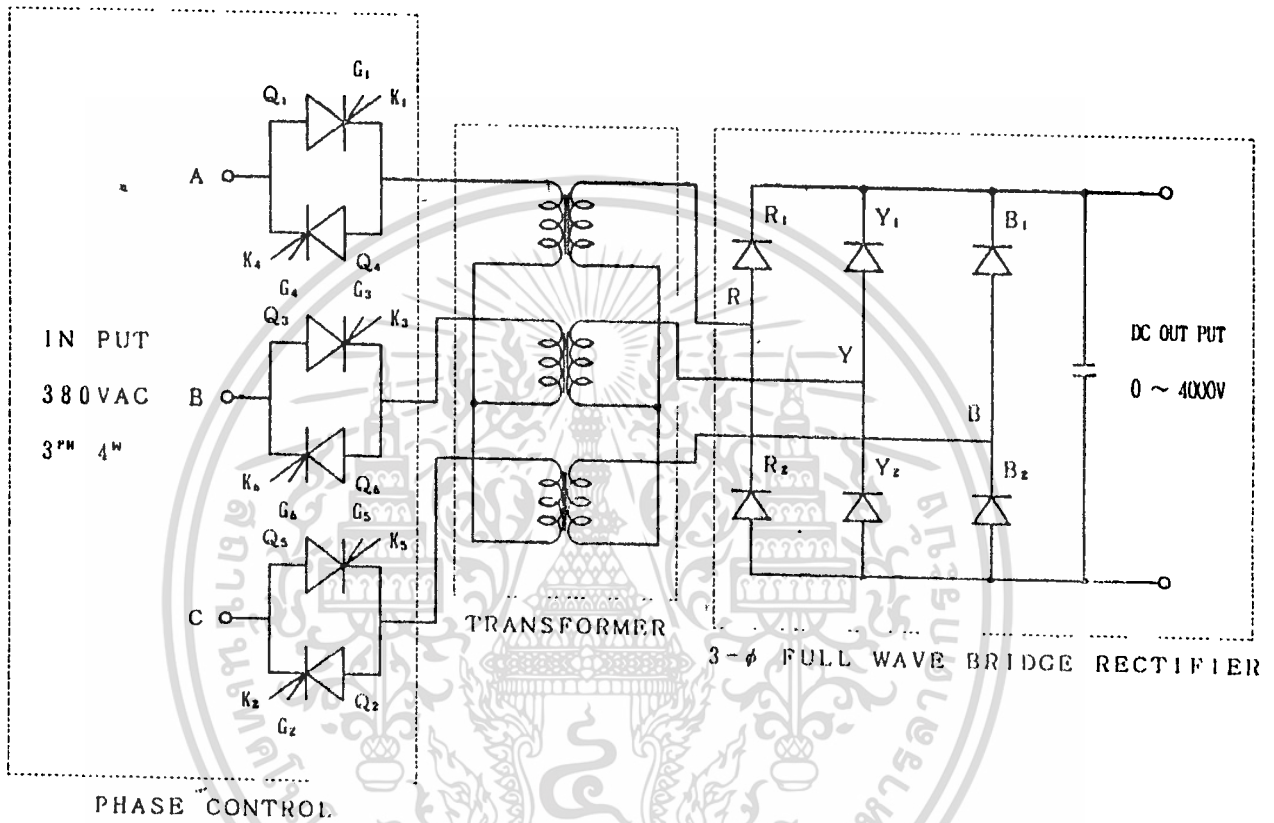


รูปที่ 1.1 แสดง BLOCK DIAGRAM ของการสร้าง DC POWER SUPPLY

จากรูป ที่ 1.1 สามารถแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

- 1). การควบคุมเฟส
 - ก. วงจรกำลังของเอสซีอาร์
 - ข. วงจรไฟร์ริง
 - ค. วงจรป้อนกลับ
- 2). ท้าอแปลง
- 3). การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดง วงจรกำลังของการสร้าง DC POWER SUPPLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง

(RECTIFIER)

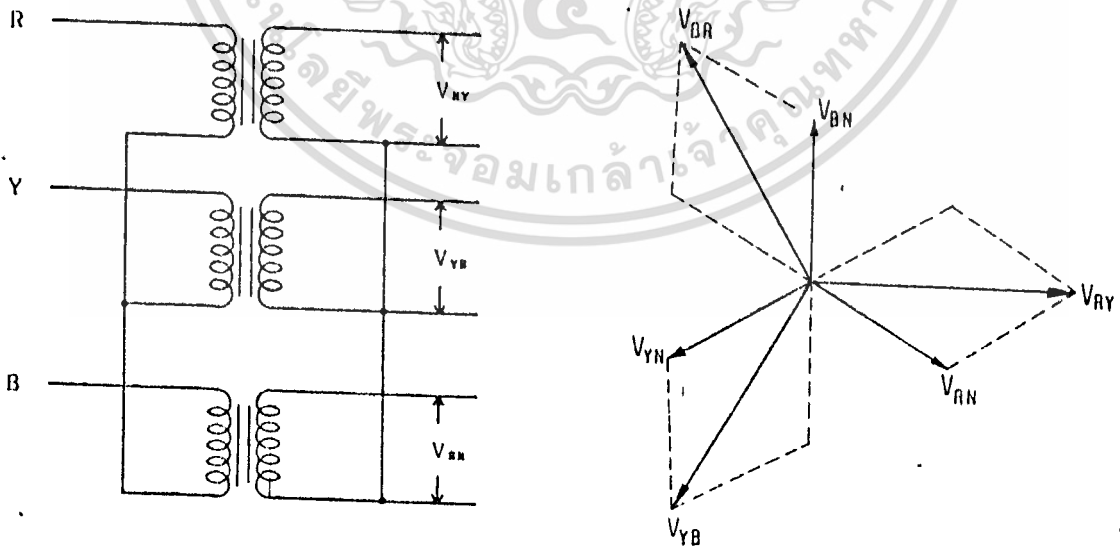
2.1 วงจรเรกติไฟร์ชนิด 3 เฟส (THREE - PHASE RECTIFIER CIRCUIT)

วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง จากระบบไฟ 3 เฟส สำหรับการให้งานที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระบบไฟ 3 เฟส ด้วยเหตุผลดังนี้

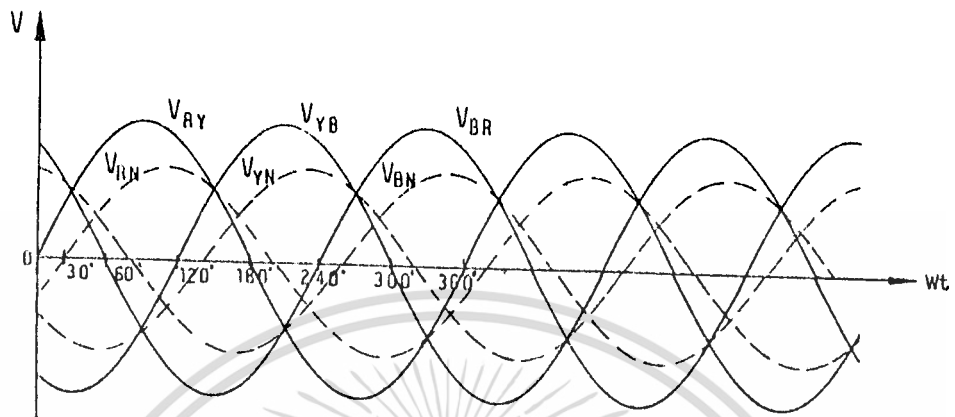
- 1). เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีสภาวะสมดุลทั้ง 3 เฟส
- 2). มีประสิทธิภาพและประหยัด
- 3). แรงดัน out put เรียบขึ้น

ในระบบไฟ 3 เฟส ที่ให้หม้อแปลง 1 เฟส มาต่อร่วมกันดังแสดงในรูป

2.1 และแสดง vector diagram ของแรงดันที่ตกที่ขดลวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.1 แสดง vector diagram ของแรงดันที่ตกที่ขดลวด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สำหรับการออกแบบ star - star



รูปที่ 2.2 แสดงแรงดันระบบไฟฟ้า 3 เฟส ตามเวลาต่าง ๆ

เมื่อ V_{RY} เป็นแรงดันอ้างอิง และตามรูป 2.2 สามารถเขียนเป็นสมการแสดงได้ดังนี้

$$V_{RY} = V_{m(L-L)} \sin(\omega t) = \sqrt{2} V_{RMS(L-L)} \sin(\omega t)$$

$$V_{YB} = V_{m(L-L)} \sin(\omega t - 120^\circ) = \sqrt{2} V_{RMS(L-L)} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{BR} = V_{m(L-L)} \sin(\omega t - 240^\circ) = \sqrt{2} V_{RMS(L-L)} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$$V_{RN} = V_{RY} / \sqrt{3} = 1/\sqrt{3} V_{m(L-L)} \sin(\omega t - 30^\circ)$$

$$V_{YN} = V_{YB} / \sqrt{3} = 1/\sqrt{3} V_{m(L-L)} \sin(\omega t - 150^\circ)$$

$$V_{BN} = V_{BR} / \sqrt{3} = 1/\sqrt{3} V_{m(L-L)} \sin(\omega t - 270^\circ)$$

$$V_{m(L-L)} = \sqrt{3} V_{m(L-N)} \quad , \quad V_{m(L-L)} = \sqrt{2} V_{RMS(L-L)}$$

$$V_{RMS(L-L)} = \sqrt{3} V_{RMS(L-N)} \quad , \quad V_{m(L-L)} = \sqrt{2} V_{RMS(L-L)}$$

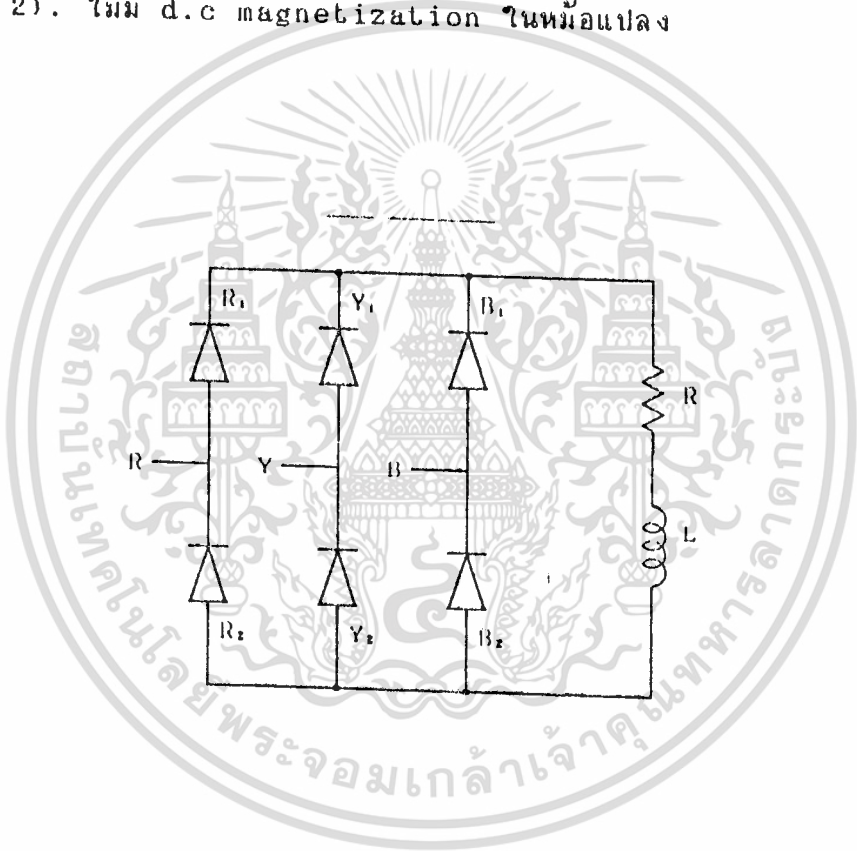
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรเรกติไฟร์แบบสะพาน 3 เฟส ชนิดลูกคลื่นเต็ม

(THREE-PHASE FULL WAVE BRIDGE CIRCUIT)

ข้อดีของการแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟส เป็นไฟกระแสตรงในลักษณะของ full wave bridge คือ

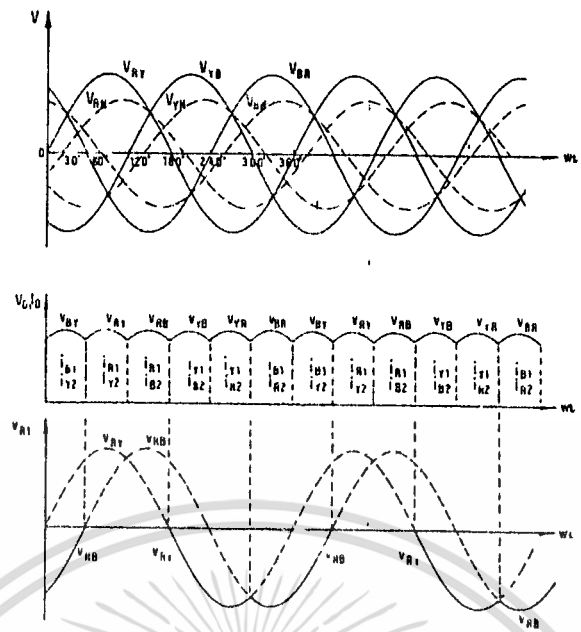
- 1). มี ripple น้อย
- 2). ไม่มี d.c magnetization ในหม้อแปลง



รูปที่ 2.3 แสดงวงจร Three-phase full wave bridge circuit.

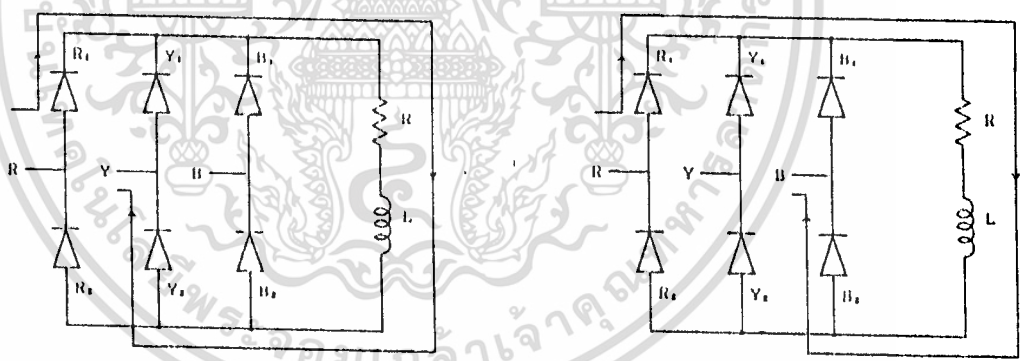
เป็นวงจรที่ใช้ไวดิโอตทั้งหมด ไวดิโอตที่ต่ออนุกรมกัน เช่น B_1 และ B_2 ทำหน้าที่เป็น flywheeling diode แรงดัน out put และแรงดันคร่อมไวดิโอต และช่วงก้ำรนำกระแสแสดงในรูป 2.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงช่วงการนำกระแส แรงดัน out pul และแรงดันคร่อมไดโอด R_1

อธิบายการทำงานของ 3- ϕ full wave bridge



รูปที่ 2.5 แสดง วงจร FULL WAVE BRIDGE

จากรูปที่ 2.5 R_1 นำกระแสซึ่งนิจาวณาที่ช่วง 60-120 องศา ก่อน จะเห็นว่าจากเฟสในช่วงนี้มี V_{RY} เข้ามาทำให้ ไดโอด R_1 และ Y_2 นำกระแส ดูจากรูปที่ 2.4

แต่พอช่วง 120-180 องศา จะมี V_{BR} ซึ่งอยู่ในช่วงลบ ทำให้ R_1 และ B_2 นำกระแส ซึ่งเมื่อกระแสผ่านโหลด แล้วจะเห็นว่ากระแสจะผ่านโหลดทางเดียวกับช่วง 120-180 องศา ทำให้ V_{BR} อยู่ทางที่วงบวมดังรูปที่ 2.5 นี้มีการนำไปใช้

บทที่ 3



การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
(AC. VOLTAGE CONTROLLER)

3.1 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส
แบบเต็มลูกคลื่น โดยที่โหลดต่อแบบวาย (WYE)

ในวงจรรูป 3.1 เป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส เต็มลูกคลื่น (THREE-PHASE FULL WAVE CONTROLLER) จะเห็นว่า จะมีกระแสไหลในโหลดเมื่อ แอสที่อาร์อย่างน้อยที่สุดใน 2 Line จะต้องนำกระแสแรงดันระหว่าง Line จะมีค่าเท่ากับ

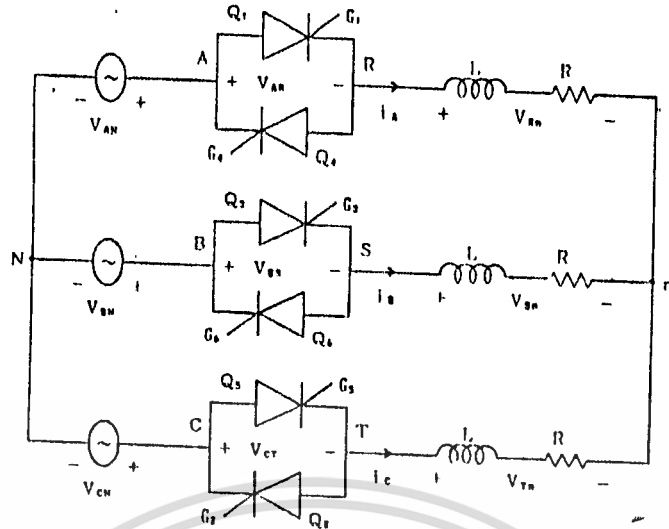
$$\begin{aligned} V_{AB} &= \sqrt{2}v\sin\omega t \\ V_{BC} &= \sqrt{2}v\sin(\omega t - 2\pi/3) \\ V_{CA} &= \sqrt{2}v\sin(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned} \quad (3.1)$$

เพื่อความสะดวกต่อกรออ้างอิงถึงมุมทริกเกอร์แก่แอสที่อาร์ทั้งหมด ควรพิจารณาถึงในสภาวะที่ไม่มีกรควบคุม โดยแอสที่อาร์ในวงจร และมีโหลดเป็นความต้านทานดังแสดงในรูป 5.2 กระแสที่ไหลในโหลดจะตามแรงดันระหว่าง Line กับ Neutral

$$V_{AN} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot V_{AB} \angle -30^\circ \quad (3.2)$$

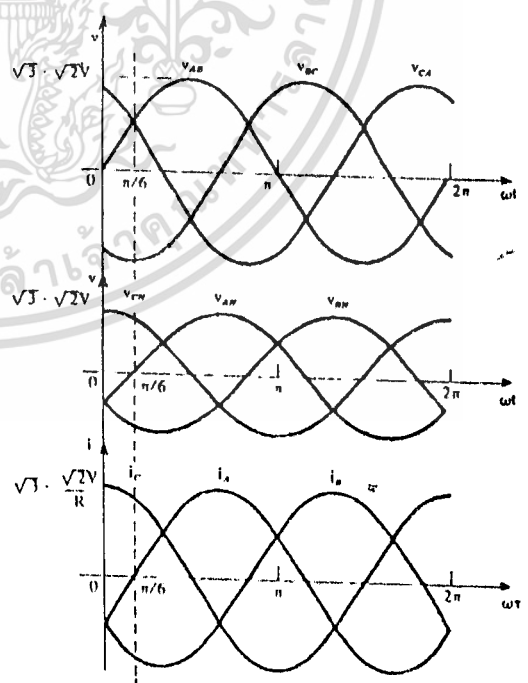
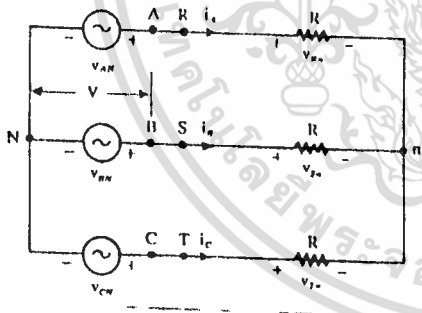
$$i_A = \sqrt{2}v / \sqrt{3}R \cdot \sin(\omega t - \pi/6) \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



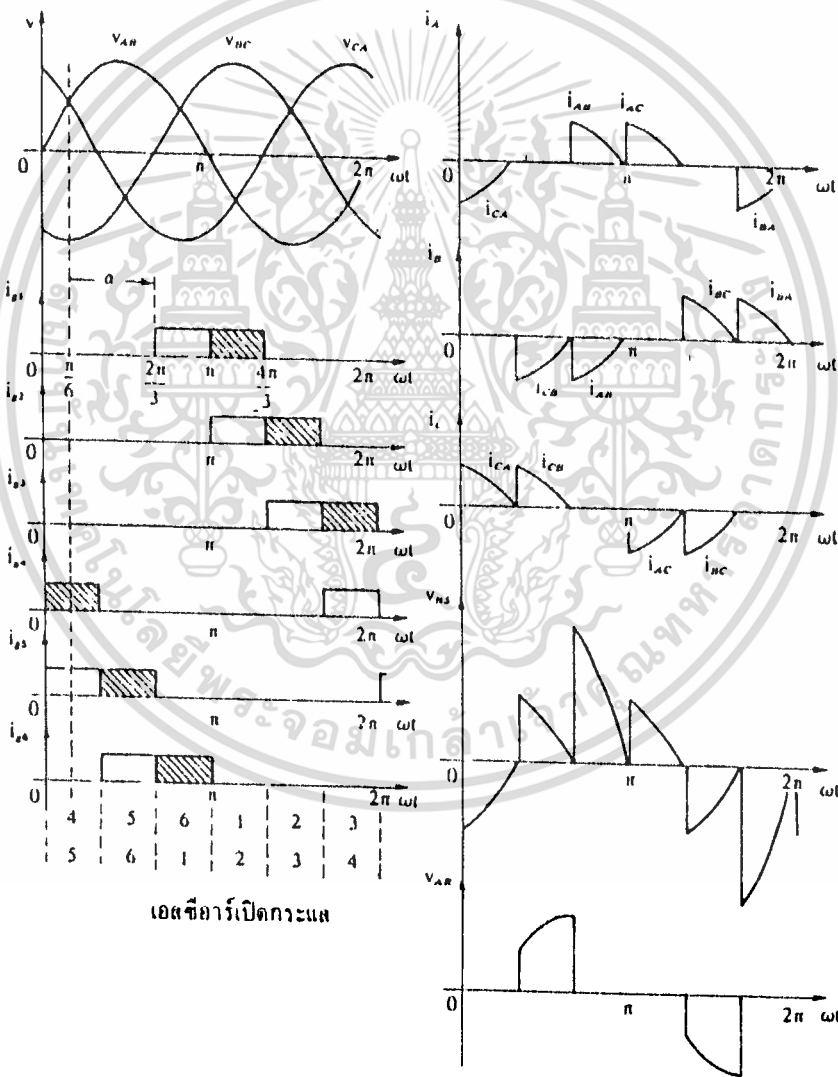
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรความคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส แบบเต็มลูกคลื่น

มุมทริกเกอร์สำหรับเอสซีอาร์ Q_1 ที่ต้องการให้เอสซีอาร์ Q_1 เริ่มนำกระแสที่มุม $\omega t = \pi/6$ เป็นมุมทริกเกอร์ $(\alpha) = 0$ นั่นคือ มุมทริกเกอร์เท่ากับ $\alpha = \omega t - \pi/6$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3.2 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสในระบบ 3 เฟส

สัญญาณทริกเกอร์ของเอสทีอาร์จะต้องมีลำดับ (Sequence) สอดคล้องกับแหล่งจ่ายไฟ และสัญญาณทริกเกอร์แก่เอสทีอาร์ Q_1 เป็นมุม α แล้ว Q_2 จะต้องเป็น $\alpha + 2\pi/3$ และ Q_3 ต้องเป็น $\alpha + 4\pi/3$ ส่วน Q_4 ต้องเป็น $\alpha + \pi$, Q_5 ต้องเป็น $\alpha + 2\pi/3 + \pi$ และ Q_6 ต้องเป็น $\alpha + 4\pi/3 + \pi$ ลำดับของสัญญาณทริกเกอร์ดังแสดงในรูป 3.3 โดยที่ Q_1 มีมุมทริกเกอร์ (α) เท่ากับ $\pi/2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบที่ 3 มิติ หรือ 2 มิติ แสดงรูปคลื่นของวงจรรูป 3.1 ที่ $\phi = 0$, $\alpha = \pi/2$

ในรูปที่ 3.3 ที่ $\omega t = 0^+$, v_{cA} มีค่าเป็นบวกและมีความโน้มเอียงที่จะส่งกระแสผ่าน เอสซีอาร์ Q_1 และ Q_2 เรียงเป็นอนุกรม โดยจะต้องมีสัญญาณเข้าทริก เอสซีอาร์สองตัวนี้หรือจุดรวั๊กก่อนแล้ว เมื่อถึงจุด $\omega t = \pi/3$, v_{cA} ได้ลดค่าลง จากค่าบวกกลายเป็นศูนย์ จะเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณทริกเกอร์ ig6 แต่เป็นจุดสิ้นสุดของ ig4 ทั้งช่วงต่อไปนี้เป็นช่วงที่กระแส i_A มีค่าเท่ากับศูนย์ จึงได้เขียนแรงงาในพัลส์สี่เหลี่ยมของ ig5 แสดงไว้ ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน จึงได้แรงงาไว้ในส่วนท้ายของ ig1 ถึง ig6 สำหรับเอสซีอาร์ Q_2 จะมีมุมจุดทริกเกอร์ใหญ่สุดได้เพียง

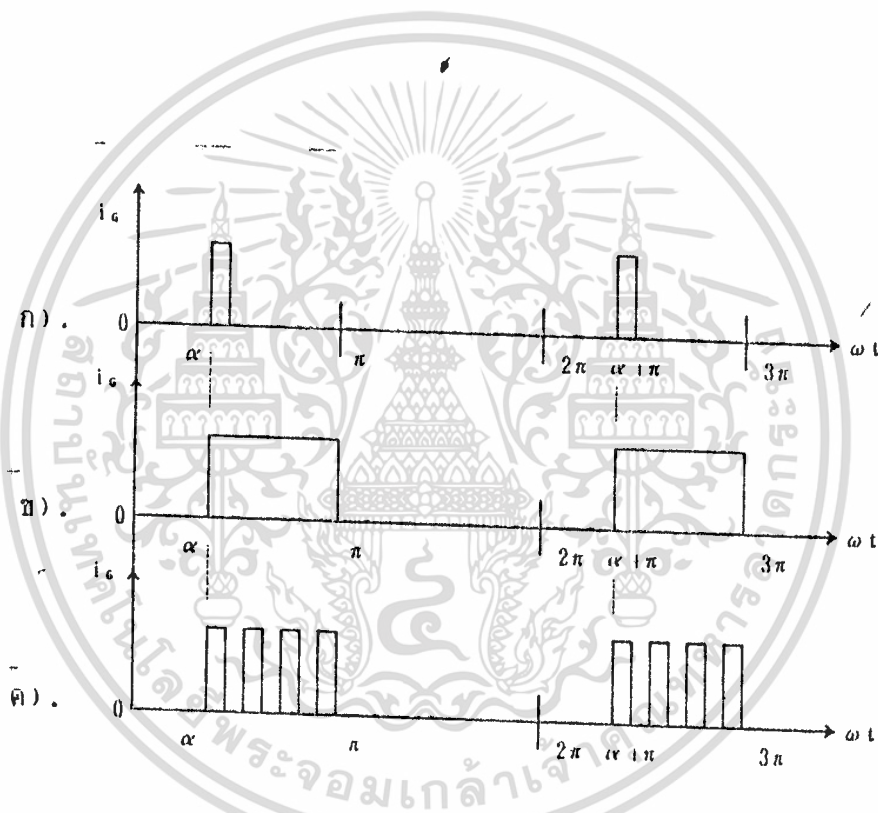
$$\alpha = \pi - \pi/6 = 5\pi/6$$

ดังนั้นช่วงของมุมทริกเกอร์จะมีค่าอยู่ในช่วง $0 < \alpha < 5\pi/6$



3.2 สัญญาณทริกเกอร์ (TRIGGER)

สัญญาณทริกเกอร์ที่จ่ายให้แก่ขาเกตของเอสซีอาร์ ควรจะผ่านหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ แยกขนาดคาบอดของเอสซีอาร์ออกจากกัน เรียกกันว่า ISOLATING TRANSFORMER หม้อแปลงจะมีขนาดเล็กเมื่อใช้พัลส์แคบ ๆ แต่หม้อแปลงจะมีขนาดใหญ่เมื่อต้องการพัลส์ที่กว้าง ดังนั้น พัลส์ที่ต่อเนื่องตลอดจะทำให้ต้องใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณทริกเกอร์

- ก). สัญญาณเป็นพัลส์
- ข). สัญญาณเป็นพัลส์ต่อเนื่อง
- ค). สัญญาณเป็นพัลส์ความถี่สูง

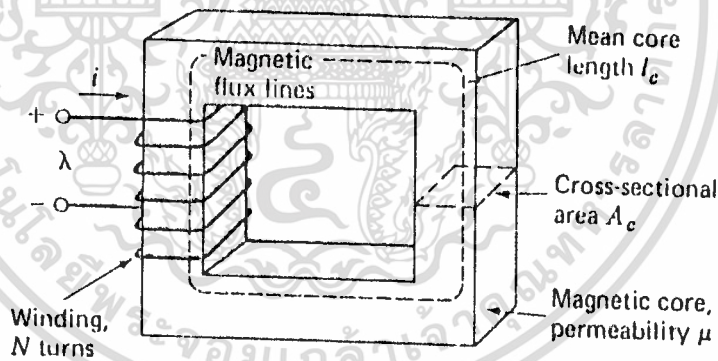
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วงจรแม่เหล็ก (MAGNETIC CIRCUIT) และ หม้อแปลง (TRANSFORMER)

4.1 วงจรแม่เหล็ก (MAGNETIC CIRCUIT)

เครื่องจักรไฟฟ้าทุกประเภท การทำงานจะมีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก ดังนั้น วงจรแม่เหล็กที่จะศึกษา นี้ จะเป็นวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า คือ เปลี่ยนจากไฟฟ้าเป็นสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.1 เป็นลักษณะของวงจรแม่เหล็กอย่างง่าย ๆ โดยใช้ขดลวดพันรอบแกน (CORE) ที่ทำด้วยสารแม่เหล็ก (MAGNETIC MATERIAL) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (MAGNETOMOTIVE FORCE) นี้จะผลักดันให้อิทธิพลของขดลวดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n\pi f = Ni \tag{4.1}$$

- เมื่อ $n\pi f$ คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (amp-turn)
- N คือ จำนวนรอบของขดลวด (turn)
- i คือ กระแสไฟฟ้า (amp)

$n\pi f$ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในแกน ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก หาได้จากกฎมือขวา โดยใช้มือขวากำรอบขดลวด ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ในทิศทางของกระแส i นิ้วหัวแม่มือจะบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก

จาก $\int \phi \cdot H \cdot dl = Ni$ แต่เนื่องจากในแกน H มีค่าเท่า ๆ กันทุก ๆ จุดและ H มีทิศทางเดียวกับ l เสมอ ดังนั้น

$$n\pi f = Ni = Hl \tag{4.2}$$

- เมื่อ H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (amp-turn / m)
- l คือ ความยาวเฉลี่ยของแกน (m)

ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H เป็นไปตามสมการ 4.3

$$B = \mu H \tag{4.3}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

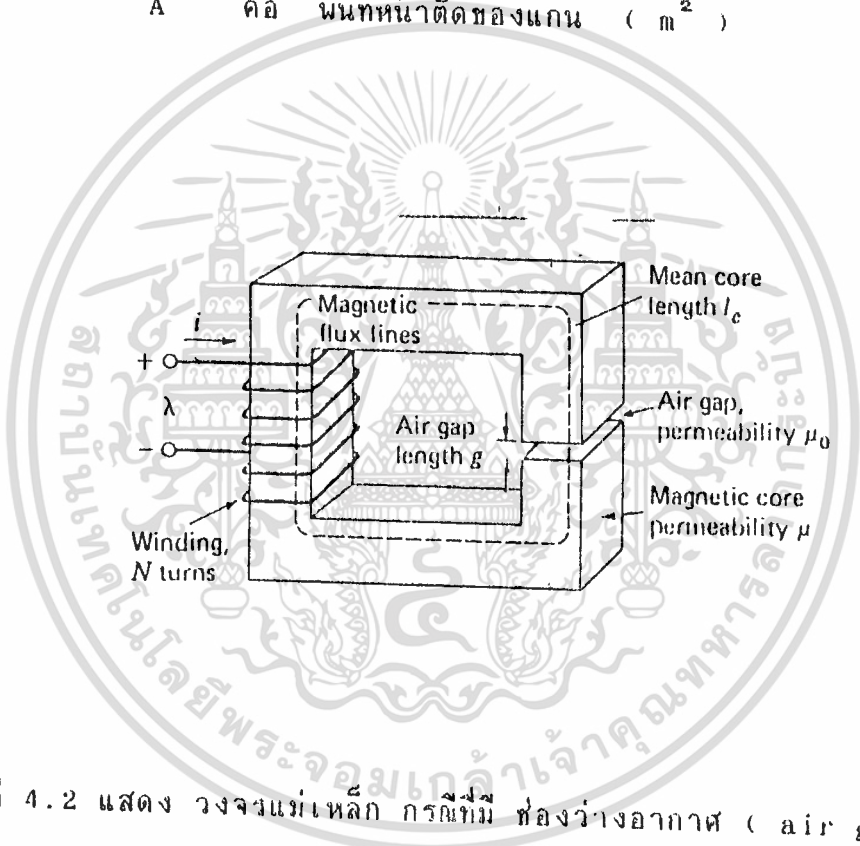
- เมื่อ B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Weber/m²)
- μ_0 คือ ความซึมซาบแม่เหล็กในสุญญากาศ = $4\pi \times 10^{-7}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (Weber/amp-turn-m) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คือ แปลความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $\phi = \int_S B \cdot dA$ เนื่องจากในแกน B มีค่าคงที่ทุก ๆ จุด และ B มีทิศทางเดียวกับ A เสมอ ดังนั้น

$$\phi = BA \tag{4.4}$$

เมื่อ ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (Weber)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)



รูปที่ 4.2 แสดง วงจรแม่เหล็ก กรณีที่มี ช่องว่างอากาศ (air gap)

ในกรณีที่มีช่องว่างอากาศ กว้าง g ดังรูปที่ 4.2 จะได้ว่า

$$B_c = \phi / A_c \quad , \quad B_g = \phi / A_g$$

เมื่อ B_c , A_c คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กและพื้นที่หน้าตัดของแกน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ B_g , A_g คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กและพื้นที่หน้าตัดของช่อง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $A_c = A_g$ ถือว่าไม่มีค่า fringing field

$$B_c = B_g = \phi / A_c$$

$$\text{mmf} = Ni = H_c l_c + H_g g = B_c \cdot l_c + B_g \cdot g$$

$$\text{แต่ } B = \phi / A$$

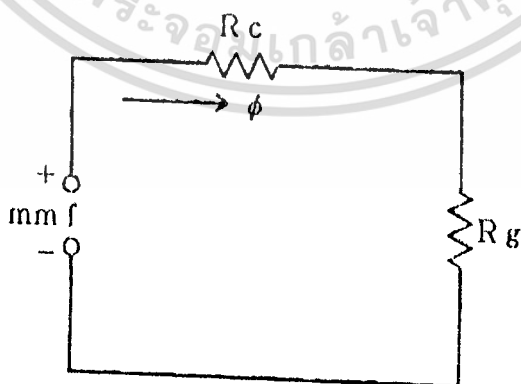
$$\text{mmf} = \frac{l_c \cdot \phi}{\mu A_c} + \frac{g \cdot \phi}{\mu_0 A_c} = R_c \cdot \phi + R_g \cdot \phi$$

$$\text{mmf} = \phi (R_c + R_g) \quad (4.5)$$

เมื่อ $R_c = l_c / \mu A_c$ เป็นค่ารีลัคแตนซ์ขดลวดแกน (amp-turn/Weber)

$R_g = g / \mu_0 A_c$ เป็นค่ารีลัคแตนซ์ทองช่องอากาศ (amp-turn/Weber)

เมื่อพิจารณาจากสมการ 4.5 สามารถเขียนเป็นวงจรทางไฟฟ้าได้ดังรูป 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.3 นี้แสดงวงจรทางไฟฟ้าที่เขียนแทนรูปที่ 4.2

เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดขึ้นในวงจรมแม่เหล็ก จะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด ผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก กับ จำนวนรอบของขดลวด เรียกว่า เส้นแรงค้ำงเกี่ยว (FLUX LINKAGE)

$$\lambda = N\phi \quad (4.6)$$

เมื่อ λ คือ เส้นแรงค้ำงเกี่ยว (Weber-turn)

เส้นแรงค้ำงเกี่ยว ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นลู่กับคุณสมบัติของแกน ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง เส้นแรงค้ำงเกี่ยว และกระแส i เรียกว่าค่า ความเหนี่ยวนำ (INDUCTANCE ; L) มีหน่วยเป็น Henry หรือ Weber-turn/amp

$$L = \frac{\lambda}{i} \quad (4.7)$$

$$L = \frac{N\phi}{i}$$

จากรูปที่ 4.2 ถ้าไม่คิดค่า A_c จะได้ว่า

$$L = \frac{i \phi R_g}{i} = \frac{\phi R_g}{1} = \frac{\phi g}{N \mu_0 A_c}$$

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_c}{g} \quad (4.8)$$

ถ้า เส้นแรงค้ำงเกี่ยวเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้เกิด แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ขึ้นในขดลวดตามกฎของ Faraday' Law

$$-e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{Nd\phi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} \quad (4.9)$$

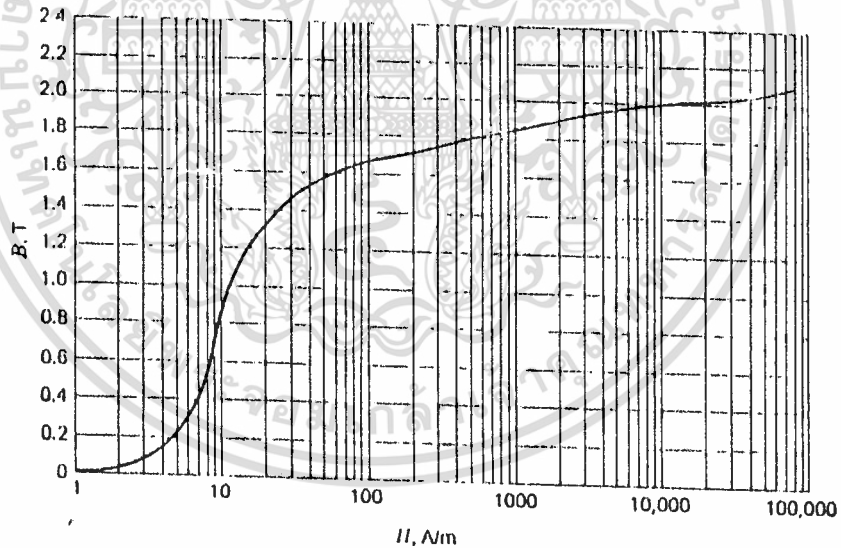
e = แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ; INDUCED VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึ (๒๖๖๖) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดจะมีทิศทางกับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวด

4.2 คุณสมบัติของสารแม่เหล็ก

จากที่กล่าวมาแล้วนั้น B จะแปรผันตรงตาม H โดยมีค่าคงที่คือ μ หมายความว่า ถ้าเพิ่มค่า H ทำให้ B เพิ่มขึ้นเป็น μ เท่าของ H ถ้าเขียนเป็นกราฟระหว่าง B กับ H (B - H Curve) จะได้เป็นเส้นตรง แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ นั้น ค่า μ จะไม่คงที่ B - H Curve จะไม่เป็นเส้นตรง และจะมีจุดลู่จุดหนึ่งไม่ว่าจะเพิ่มค่า H มากเท่าไรก็แล้วแต่ B จะมีค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า จุดอิ่มตัวของ B - H Curve ของ สารแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.4

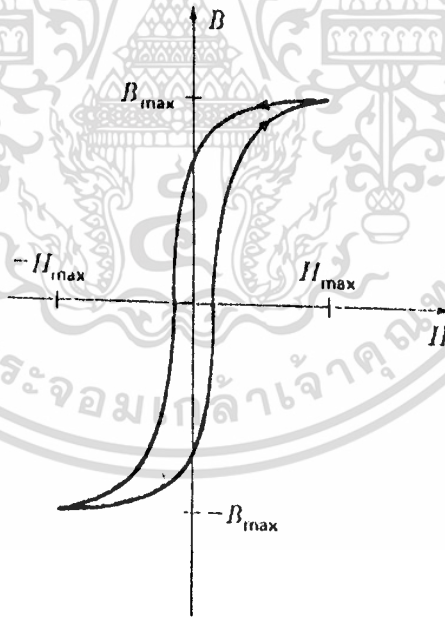


รูปที่ 4.4 แสดง B - H Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ B - H Curve มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า DC Magnetizing curve

เหตุที่เกิดจุดอิ่มตัวขึ้นมานี้เพราะว่า สารแม่เหล็กจะประกอบด้วยแท่งแม่เหล็กเล็ก ๆ อยู่ภายในซึ่งเรียกว่า domain ถ้า domain เรียงตัวกันเป็นระเบียบ สารแม่เหล็กจะเกิด ความเข้มสนามแม่เหล็ก B ขึ้นมาจุดอิ่มตัวคือจุดที่ domain ทุกตัว เรียงตัวในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นไม่ว่าจะเพิ่มกระแสมากเท่าไรก็ตาม (เพิ่มค่า H) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก B ก็ยังคงเท่าเดิม

ถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าเอซี เข้าไปในทวดลวด ทิศทางของ B ก็จะเปลี่ยนตาม อัตราการเปลี่ยนของกระแส คือทำให้ domain กลับทิศทางนั่นเอง เนื่องจากต้องให้พลังงานในกาาเปลี่ยนแปลงทิศทางของ domain ดังนั้นจึงทำให้เส้น B-H Curve ไม่ทับเส้นเดิม (B-H Curve ขณะเพิ่มกระแสกับ B-H Curve ขณะลดกระแสไม่ทับกัน) จึงทำให้เกิด Hysteresis loop ขึ้นมาดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 แสดง Hysteresis loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 พลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในสารแม่เหล็ก (CORE LOSS)

อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกประเภทที่ทำงานโดยอาศัย วงจรแม่เหล็ก จะเกิดพลังงานสูญเสียขึ้นมา ซึ่งเรียกว่า การสูญเสียในแกนเหล็ก (CORE LOSS) พลังงานสูญเสียนี้อย่างแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (EDDY CURRENT LOSS) และ การสูญเสียเนื่องจาก Hysteresis (Hysteresis loss)

4.3.1 EDDY CURRENT LOSS เป็นพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก จากกฎของ Faraday's Law ที่ว่า ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของ ϕ จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นมา เนื่องจากแกนก็เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อ ϕ เปลี่ยนแปลงจึงทำให้เกิด แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสไหลวนในแกน ค่าความสูญเสียชนิดนี้จะ เป็นไปตามสมการ 4.10

$$P_e = K_e (B_m f \tau)^2 \tag{ 4.10 }$$

- เมื่อ P_e คือ ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน
- τ คือ ความหนาแผ่นเหล็กบาง (LAMINATED SHEET STEEL)
- B_m คือ ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุด
- f คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย
- K_e คือ Proportionality constant

จากสมการ 4.10 ค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน จะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็ก ที่ให้ทำแกนยกกำลังสอง การลดค่าความสูญเสียนี้อาจทำได้โดยการให้แผ่นเหล็กบาง ๆ (LAMINATED SHEET STEEL) มาประกอบกันเป็นแกน โดยวางให้แผ่นเหล็กบาง ๆ หนาเท่ากับทิศทางของ B คือให้ B หรือ ϕ ตัดแกนเหล็กน้อยที่สุด

4.3.2 ความสูญเสียเนื่องจาก Hysteresis เกิดขึ้นเนื่องจาก Hysteresis Loop ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของ domain มีค่าเป็นไปตามสมการ 4.11

$$P_h = K_h f B_m^2 \quad (4.11)$$

การลดค่า Hysteresis Loss ทำได้โดยเลือกใช้สารแม่เหล็ก ที่มี Hysteresis Loop แคบ ๆ

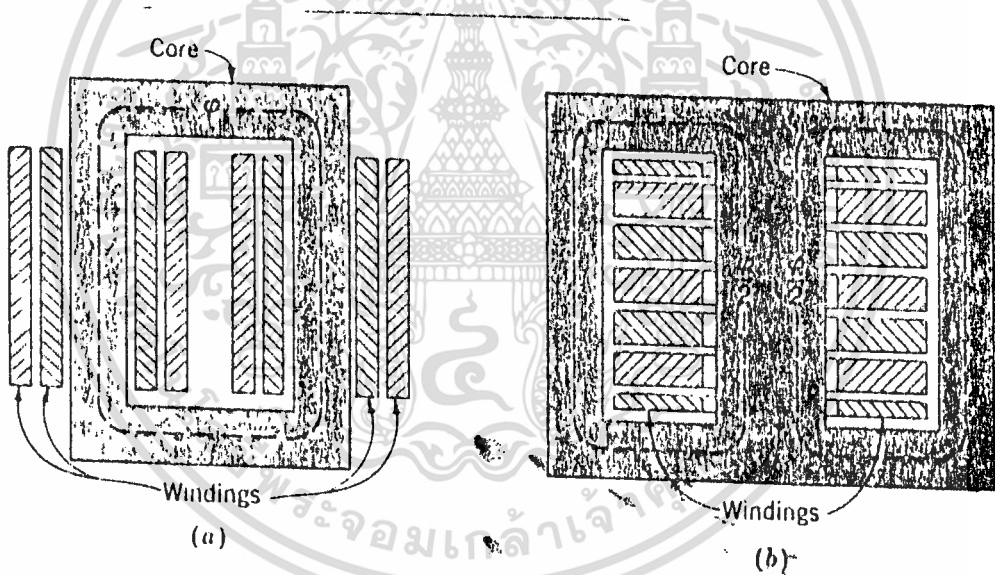


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 หม้อแปลง (TRANSFORMER)

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นตัวทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสให้ได้ตามต้องการ ทั้งทางด้าน ขาเข้า (INPUT) และ ทางด้านขาออก (OUTPUT) ต่างก็อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยมีการเชื่อมโยงกันด้วย วงจรแม่เหล็ก ซึ่งใช้สารแม่เหล็กเป็นแกน

ลักษณะของแกนหม้อแปลงแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ CORE TYPE และ SHELL TYPE ดังรูปที่ 4.6



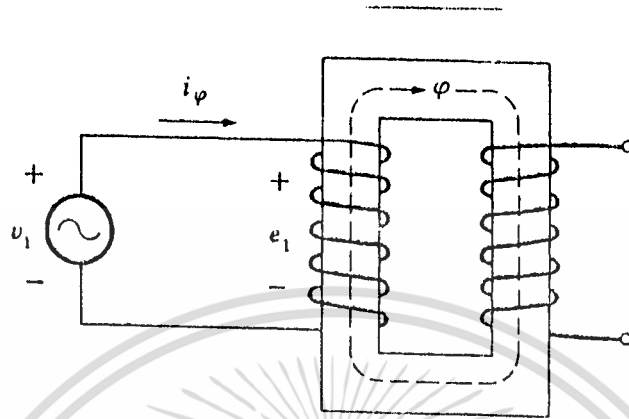
รูปที่ 4.6 a) CORE TYPE

b) SHELL TYPE

แบบ CORE TYPE ทดลวดทางด้านปฐมภูมิ (PRIMARY) และ ทุดิยภูมิ (SECONDARY) จะพันแยกกัน

แบบ SHELL TYPE ทั้งขด ปฐมภูมิ และ ทุดิยภูมิ พันอยู่บนแกนเดียวกัน คือที่แกนกลางของแกน ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 หม้อแปลงสภาวะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.7 แสดง หม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

ขณะที่หม้อแปลงยังไม่จ่ายโหลด ถ้าต่อชุดปฐมภูมิ เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสลับ จะมีกระแส i_1 ไหลในวงจร กระแสส่วนนี้เป็นตัวทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก และความสูญเสียชั้นในแกน

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาเป็นไฟสลับ ดังนั้นทำให้ ϕ เกิดการเปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา ตามการเปลี่ยนแปลงของกระแส จึงเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นมา ตามกฎของ Faraday's Law

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

- เมื่อ e_1 คือแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (Volt)
- λ_1 คือเส้นแรงแม่เหล็กคัลลงเกี่ยวข้องกับด้านปฐมภูมิ (Weber-turn)
- ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก (Weber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้เพื่อจำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (turn)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ ที่เกิดขึ้นในแกน จะอยู่ในรูปของ

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \tag{4.12}$$

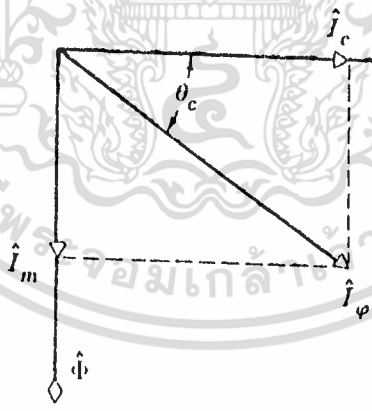
$$e_1 = N_1 d\phi = \omega N_1 \phi_m \cos \omega t = E_1 \cos \omega t \tag{4.13}$$

$$E_m = \omega N_1 \phi_m = 2\pi f N_1 \phi_m$$

$$E_1 = E_m / \sqrt{2} = 4.44 f N_1 \phi_m \tag{4.14}$$

เมื่อ E_1 เป็นค่า rms. ของ e_1

จากสมการ 4.12 และ 4.13 e_1 นำหน้า ϕ อยู่ 90 องศา และเนื่องจากผลลวดมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นกระแส i_ϕ ก็จะล้าหลัง e_1 อยู่ด้วยมุม θ_c ซึ่งแสดงด้วย phasor diagram ดังรูปที่ 4.8



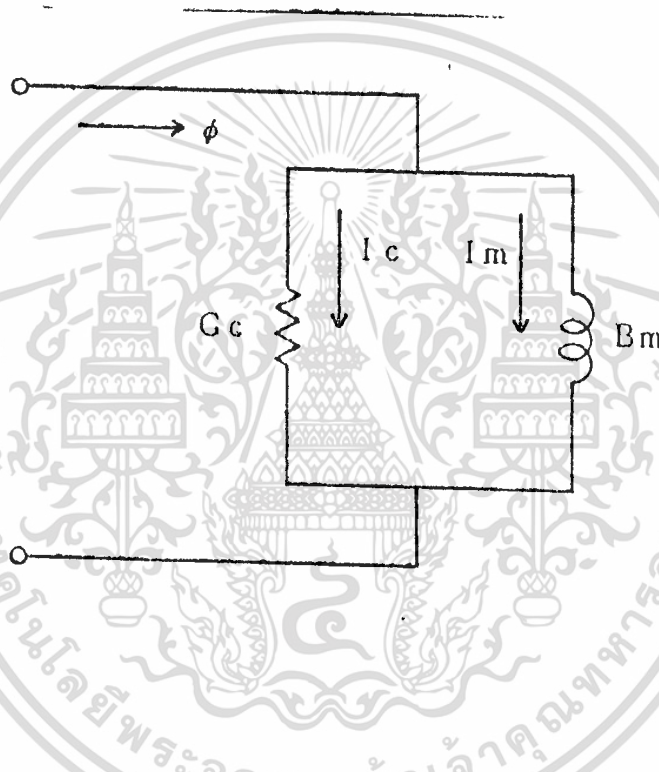
รูปที่ 4.8 แสดง PHASOR DIAGRAM ขณะไม่มีโหลด

I_ϕ สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ I_m และ I_c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งคือกระแสการไหลของพลังงานที่ศึกษาที่ศึกษา ไม่ใช่เอกสารที่ใช้ไปเป็นเอกสารในการค้า
 ไปว่ากรณีเป็นสิ่งที่ศึกษาให้เกิดขึ้นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $\cos \theta_c$ เป็นส่วนที่ทำให้เกิด การสูญเสียชั้นในแกน

$$P_c = E_1 I_c \cos \theta_c \quad (4.15)$$

I_m คือ magnetizing current เป็นส่วนทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในแกนของหม้อแปลง กระแสส่วนนี้จะล้าหลัง E_1 อยู่ 90 องศา มีค่าเท่ากับ $I_c \sin \theta_c$ จากรูปที่ 4.8 ถ้านำมาเขียนด้วยวงจรเทียบเท่า ได้ดังรูป 4.9

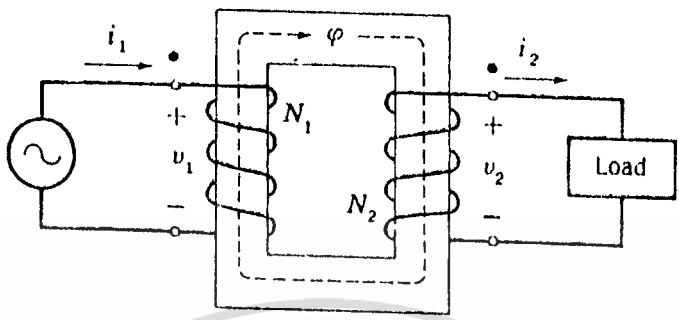


รูปที่ 4.9 แสดงวงจรเทียบเท่าของแกน

4.6 หม้อแปลงอุดมคติ (IDEAL TRANSFORMER)

เป็นการศึกษาหม้อแปลงโดยถือว่า ไม่มีค่าความสูญเสีย คือหม้อแปลงทำหน้าที่ถ่ายทอด (TRANSFER) พลังงานจากขดปฐมภูมิ (PRIMARY) ไปทาง ขดทุติยภูมิ (SECONDARY) ได้อย่างสมบูรณ์ 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงหม้อแปลงในอุดมคติ และ โหลด

จากรูปที่ 4.10 จะได้ว่า

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad ; \quad v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

ถ้านำค่า v_1 ทหารด้วยค่า v_2 จะได้ว่า $v_1/v_2 = N_1/N_2$ แต่เนื่องจากหม้อแปลงอุดมคติ ไม่มีความสูญเสียทำให้

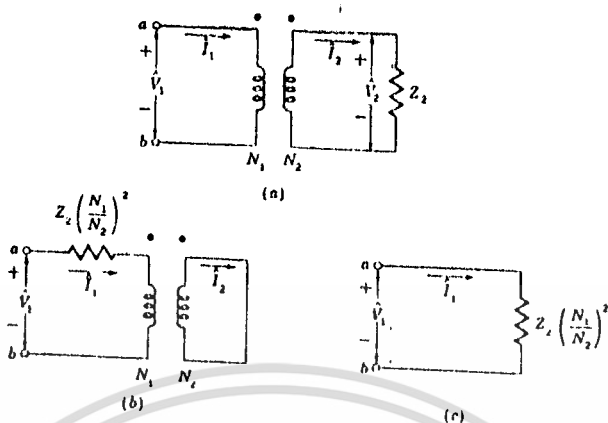
$$N_1 i_1 = N_2 i_2 \quad \text{หรือ} \quad i_2/i_1 = N_1/N_2$$

$$v_1 i_1 = v_2 i_2 \quad \text{หรือ} \quad i_2/i_1 = v_1/v_2$$

ถ้าเขียนสมการในรูปของ phaser จะได้ว่า

$$v_1/v_2 = N_1/N_2 = i_2/i_1 \tag{4.16}$$

จากสมการ 4.16 เป็นสูตรการ referred แรงดันและกระแส ในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการ referred ค่าอิมพีแดนซ์ Z (IMPEDANC) จากด้านทุติยภูมิไปยังด้านปฐมภูมิ สามารถทำได้ดังรูป 4.11



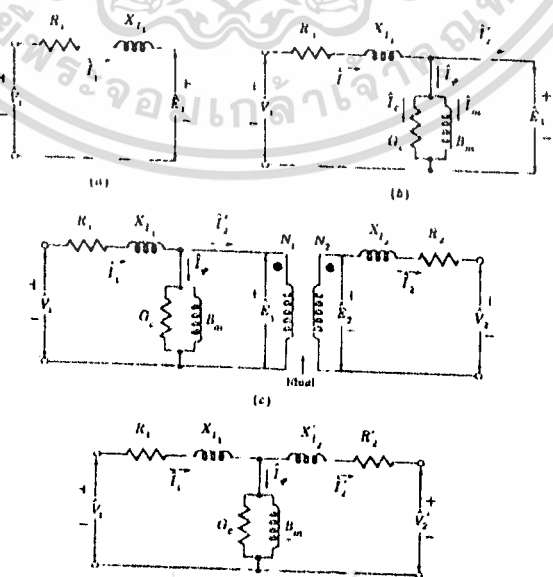
รูป 4.11 แสดงการ referred impedance Z

$$Z_1 = V_1 / I_1 = (N_1 / N_2)^2 \cdot V_2 / I_2$$

$$Z_1 = (N_1 / N_2)^2 \cdot Z_2$$

4.7 วงจรเทียบเท่า (EQUIVALENT CIRCUIT)

หม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วย หม้อแปลงกักแม่เหล็ก และ ค่าความสูญเสียเล็กต่าง ๆ ที่กล่าวเทียบแทนหม้อแปลง ด้วยวงจรทางไฟฟ้า (EQUIVALENT CIRCUIT) แสดงดังรูป 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.12 แสดงดังลำดับการเทียบ วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลง

รูป (a) เป็นวงจรแทนขดลวดด้านปฐมภูมิ ซึ่งประกอบด้วย R_1 เป็นค่าความต้านทานของขดลวด X_{11} เป็นค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลของขดปฐมภูมิ

รูป (b) วงจรด้านปฐมภูมิมารวมเข้ากับวงจรเทียบเท่าของแกน (CORE)

รูป (c) เป็นวงจรรวมค่าความสูญเสียใน ขดปฐมภูมิ ขดทุติยภูมิ วงจรเทียบเท่าของแกน และหม้อแปลงอุดมคติ

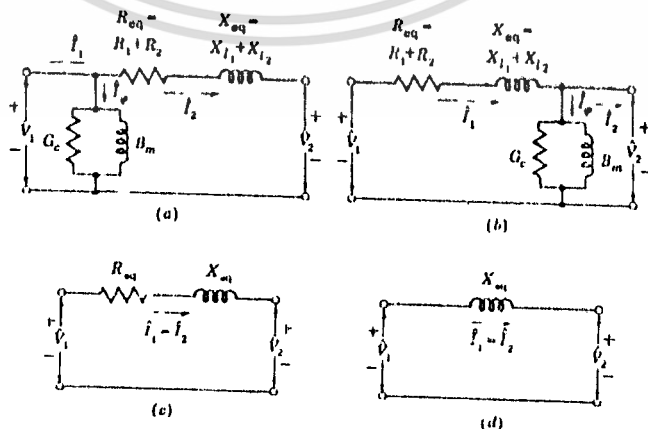
รูป (d) เป็นวงจรเทียบเท่าอย่างสมบูรณ์ของหม้อแปลงซึ่ง referred ค่าต่าง ๆ ไปทางด้านปฐมภูมิ

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

$$R_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_1$$

$$X_{12} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot X_{21}$$

จากวงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงจะต่อเป็น T-circuit ซึ่งเมื่อนำไปรวมกับโหลดชนิดอื่น การคำนวณวงจรจะเป็นเรื่องที่ยากยุ่งยาก ดังนั้นในการคำนวณจึงนิยมใช้วงจรเทียบเท่าโดยประมาณ (Approximate equivalent circuit) ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.13 แสดงวงจรเทียบเท่าโดยประมาณ

4.8 การทดสอบการ SHORT CIRCUIT และ OPEN CIRCUIT

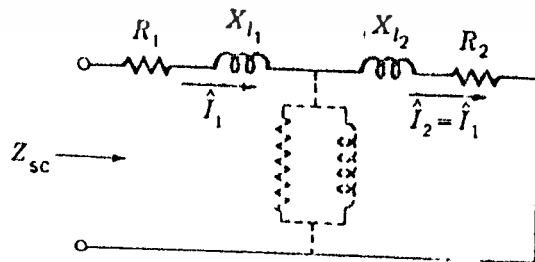
การหาค่าวงจรเทียบเท่าโดยประมาณของหม้อแปลง สามารถหาได้จาก การทดลอง ซึ่งค่าที่ได้จะถูก referred ไปด้านใดด้านหนึ่ง ขึ้นอยู่กับการทดลอง เช่น ถ้าทดลองทางด้านปฐมภูมิ ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองจะถูก referred ไป ด้านปฐมภูมิ เป็นต้น

4.8.1 การทดสอบ SHORT CIRCUIT

จากรูปที่ 4.14 เป็นวงจรเทียบเท่าซึ่ง referred ไปทางด้านปฐมภูมิ ทำ การ SHORT CIRCUIT ทางด้านทุติยภูมิ เนื่องจากค่า R_2 และค่า X_{12} มีค่าต่ำ มากเมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นวงจรเทียบเท่าของแกน

$$R_{sc} = R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$X_{sc} = X_{eq} = X_{11} + X_{12}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ารูปที่ 4.14 นี้แสดงวงจรเทียบเท่า เมื่อ SHORT CIRCUIT ทางด้าน ทุติยภูมิ

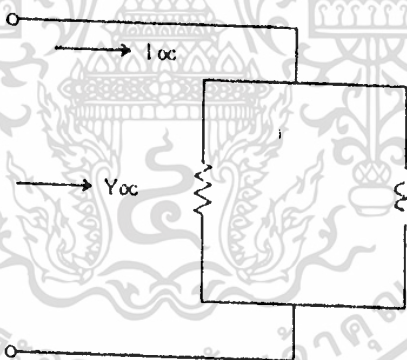
$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

4.8.2 การทดสอบ OPEN CIRCUIT

เมื่อ OPEN CIRCUIT ด้านทุติยภูมิ ค่า Y_{ϕ} จะมีผลกับวงจรมากกว่าค่าอื่น ๆ ในวงจร จึงถือเสมือนว่ามี Y_{ϕ} เพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.15 แสดง วงจรเทียบเท่า เมื่อ OPEN CIRCUIT ด้านทุติยภูมิ

$$Y_{\phi} = Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{V_{oc}}$$

$$G_c = G_{oc} = \frac{P_{oc}}{V_{oc}^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

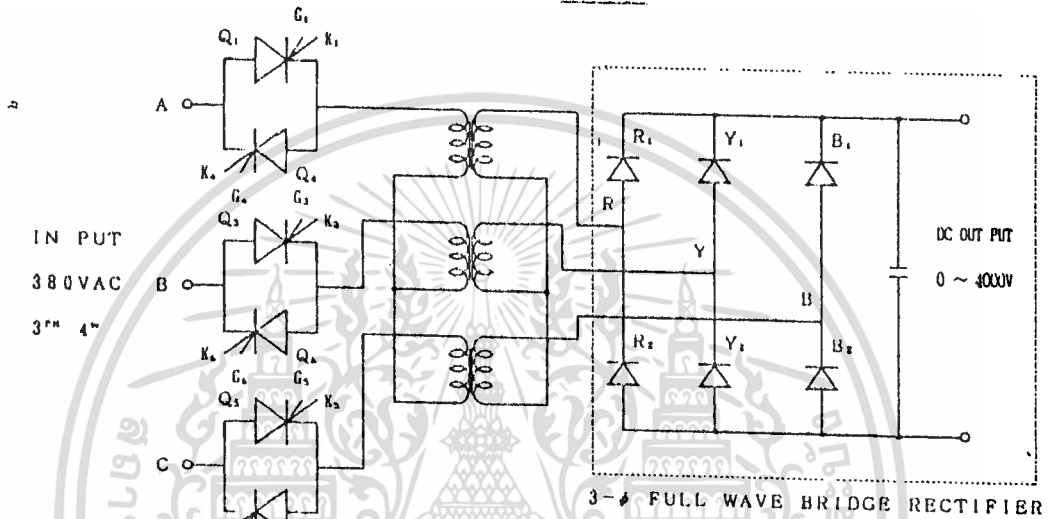
$$B_m = B_{oc} = \sqrt{Y_{oc}^2 - G_{oc}^2}$$

บทที่ 5

การออกแบบการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

ชนิด 3 เฟส ลุกคลื่นเต็มแบบสะพาน

(3-PHASE FULL WAVE BRIDGE RECTIFIER DESIGN)



รูปที่ 5.1 แสดง วงจรเรกติไฟร์

ค่าแรงดัน out put และ กระแสที่ต้องการคือ

$$V_{dc} = 4000 \text{ V} ; I_{dc} = 2 \text{ A}$$

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่น

เกิดจากการพล็อตจากฟังก์ชันรบบคาบ (Periodic function) $y(t)$ ที่คาบเวลา T จะหาค่าเฉลี่ย Y_{avg} ของรูปคลื่นได้คือ

$$T$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ (1/T) ศึกษาใช้เพื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า RMS. ของรูปคลื่น (effective value หรือ root mean square value)

T

$$Y_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [Y(t)]^2 dt}$$

T

จาก $V_{o(L-L)}$ = $(1/T) \int_0^T Y(t) dt$

$$= \frac{1}{2\pi/3} \int_0^{2\pi/3} V_{RY} d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi/3} \int_0^{2\pi/3} V_{m(L-L)} \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{3}{\pi} \int_0^{2\pi/3} V_{m(L-L)} \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{3}{\pi} \int_0^{2\pi/3} \frac{1}{\sqrt{2}} V_{RMS(L-L)} \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{3}{2\pi} V_{RMS(L-L)} \int_0^{2\pi/3} \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{3}{2\pi} V_{RMS(L-L)} [-\cos \omega t]$$

$$= \frac{3}{2\pi} V_{RMS(L-L)} [-\cos(2\pi/3) + \cos(\pi/3)]$$

$$= \frac{3}{2\pi} V_{RMS(L-L)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก V_{dc} จะมีใช้ตัด $v_{o(L-L)}$ ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{3}{2\pi} V_{RMS(L-L)}$$

$$\text{จาก } V_{\text{RMS(L-L)}} = 3 V_{\text{RMS(L-N)}}$$

$$V_{\text{dc}} = [(3\sqrt{2}\sqrt{3}/\pi) V_{\text{RMS(L-N)}}] \quad (5.1)$$

จาก V_{dc} ต้องการ 4000 V

$$\text{จะได้ } V_{\text{RMS(L-N)}} = ? \text{ แทนค่าใน (5.1)}$$

$$\begin{aligned} 4000 &= [(3\sqrt{2}\sqrt{3}/\pi) V_{\text{RMS(L-N)}}] \\ V_{\text{RMS(L-N)}} &= (4000\pi)/(3\sqrt{2}\sqrt{3}) = 1710.06 \text{ V} \\ V_{\text{RMS(L-L)}} &= \sqrt{3} V_{\text{RMS(L-N)}} \\ &= 2961.91 \text{ V} \end{aligned}$$

นำ $V_{\text{RMS(L-N)}} = 1710.06 \text{ V}$ ไปคำนวณหาขนาดของ หม้อแปลง

หากกระแสผ่านไดโอด

$$\text{กำหนด } I_{\text{dc}} = 2 \text{ A}$$

เนื่องจากรูป 1 ต่อเป็นแบบสตาร์กระแสผ่านไดโอดจะมีค่าเท่ากับ $1/3$ เท่าของกระแสไหล (I_{dc})

$$\text{กระแสเกินไดโอด} = I_{\text{dc}}/3 = 0.33 I_{\text{dc}}$$

$$\text{จะได้} = 0.66 \text{ A}$$

กระแส R_{RMS} ผ่านไดโอดแต่ละตัว

$$I_{\text{RMS}} = (I_{\text{dc}})^2 / 3 = 0.577 I_{\text{dc}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 154 ปี 154 ปี เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหรือ $I_{\text{RMS}} = (I_{\text{L}}) / \sqrt{3}$ ให้คัดแปลงให้ทราบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดต้องทนแรงดันรีเวอร์สได้มากกว่า $V_{RMS(L-L)}$

$$\text{จาก } V_{RMS(L-N)} = 1710.06 \text{ V}$$

$$V_{max(L-N)} = \sqrt{2}V_{RMS(L-N)}$$

$$= \sqrt{2}(1710.06)$$

$$= 2418.39 \text{ V}$$

$$V_{max(L-L)} = \sqrt{3}V_{max(L-N)}$$

$$= \sqrt{3}(2418.39)$$

$$= 4188.77 \text{ V}$$

กระแสเฉลี่ยผ่านไดโอดแต่ละตัวเท่ากับ 0.66 A

ทนแรงดันรีเวอร์สได้มากกว่า 4188.77 V

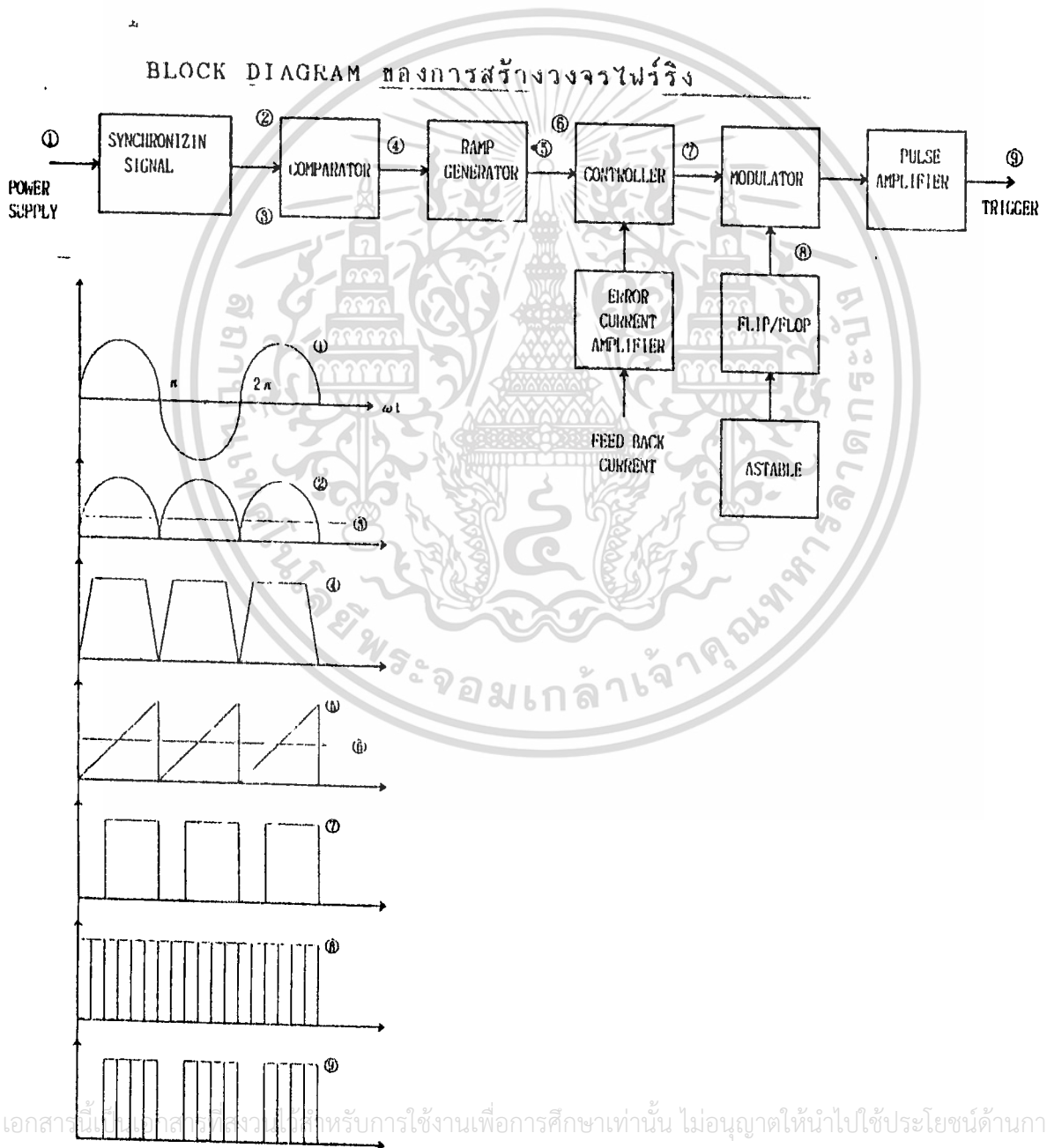


บทที่ 6

การออกแบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

(AC. VOLTAGE CONTROLLER DESIGN)

6.1 วงจรไฟร์ริง (FIRING CIRCUIT)

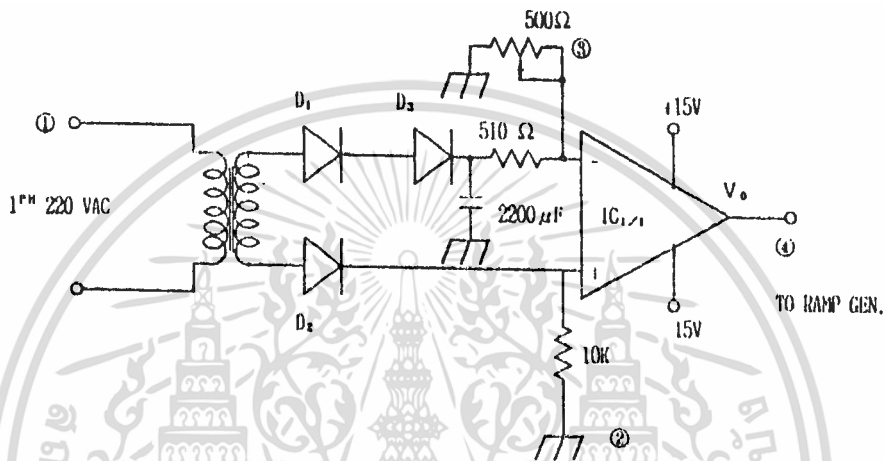


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.1 แสดง BLOCK DIAGRAM และ สัญญาณ OUT PUT ของแต่ละ BLOCK

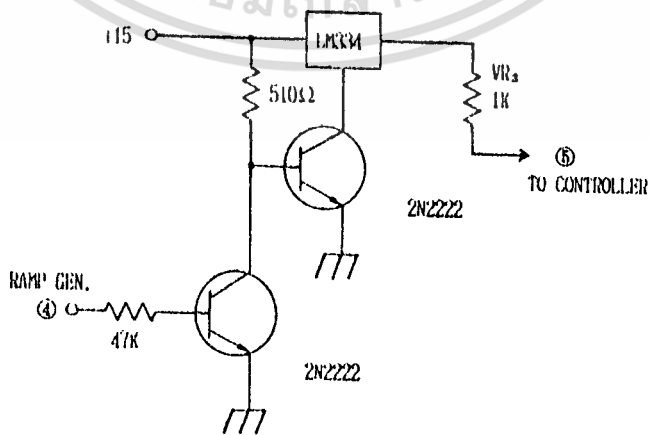
6.2 รายละเอียดของวงจรจาก BLOCK DIAGRAM

ซิงโครไนซ์ และ คอมพาราเตอร์ (SYNCRONIZING and COMPARATOR)



รูปที่ 6.2 แสดงวงจร ซิงโครไนซ์ และ คอมพาราเตอร์

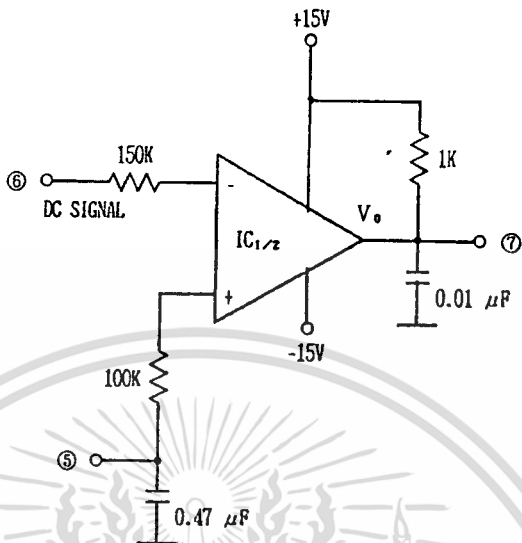
แรมป์ เจเนอเรเตอร์ (RAMP GENERATOR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้จัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.3 แสดงวงจร แรมป์ เจเนอเรเตอร์

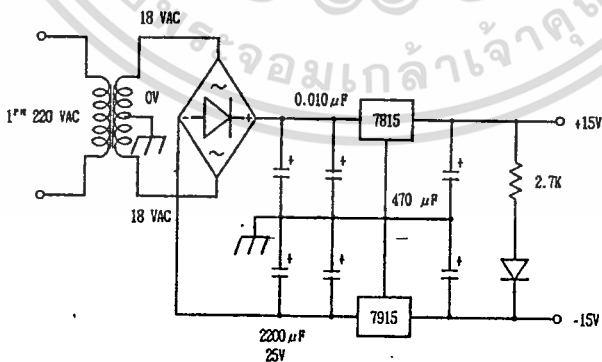
คอนโทรลเลอร์ (CONTORLLER)



รูปที่ 6.4 แสดงวงจร คอนโทรลเลอร์

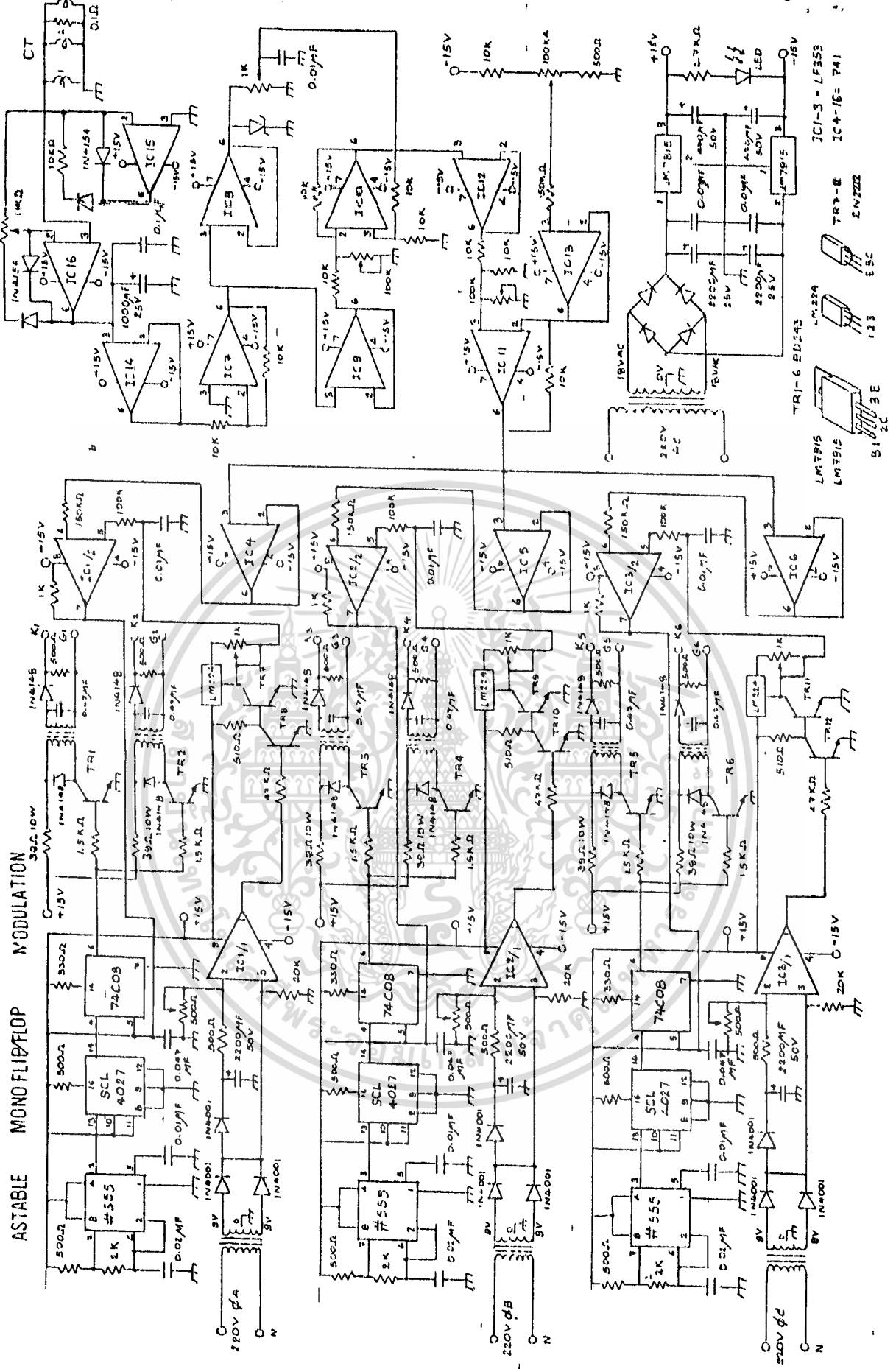
แหล่งจ่ายสำหรับวงจรทริกเกอร์

(POWER SUPPLY FOR TRIG CIRCUIT)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 6.5 แสดงวงจรแหล่งจ่ายของวงจรทริกเกอร์**

ASTABLE MONO FLIP FLOP MODULATION



- IC1-3 = LF353
- IC4-16 = 741
- TR1-2 = 2N294
- TR3-5 = 2N2222
- TR1-6 = BD133
- LM7915
- LM7915
- 5100 3E
- 5100 3E
- 5100 3E

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับที่ 6.6 แสดง วงจรทั้งหมดการควบคุมของการควบคุมเฟส ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

เมื่จจ่ายไฟ 220 โวลท์ให้แก่หม้อแปลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกแปลงให้ลดต่ำลงเหลือ 9 โวลท์ และ 15 โวลท์ ทางด้าน 9 โวลท์ ถูกเรียงกระแสแบบฟูลเวฟ เซนเตอร์แท็ปแล้วจัดส่งไปยังขา 3 ขา ของไอซี 4/1 (LF 353) เพื่อเปรียบเทียบกับ (Comparative) กับแรงดันกระแสตรงซึ่งผ่านการฟิลเตอร์ด้วย C_0 และถูกลดแรงดันลงเหลือประมาณ 0.7 โวลท์ ด้วย R_1 และ V_{ref} ที่ขา 2 ของไอซี 4/1 ออกไปยังขา 1 และถูกส่งไปยังชุดกำเนิดสัญญาณแรมป์ (Ramp Generator) ซึ่งประกอบด้วย Q_1 และ Q_2 ที่ต่อแบบดาร์ลิ่งตัน ไอซี 5 (LM 334) เป็นตัวควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่สามารถปรับได้ด้วยตัว V_{ref} เพื่อให้ได้แรงดันขาออก 10 โวลท์ และถูกส่งต่อไปยังไอซี 4/1 ที่ขา 5

ทางด้าน 15 โวลท์ ถูกเรียงกระแสแบบฟูลเวฟเซ็นเตอร์แท็ปคู่ โดยผ่านการฟิลเตอร์และควบคุมแรงดันให้คงที่แบบไอซี Regulated 15 โวลท์ บวก, ลบ จ่ายให้กับไอซีทุกตัวในวงจร และถูกส่งไปควบคุมระดับแรงดันด้วย Volume 100 K เพื่อส่งไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแรมป์ ที่ขา 6 ของไอซี 4/2 ออกที่ขา 7 เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ได้ โดยมีขนาดความสูง 15 โวลท์ ส่งไปยังไอซี 3

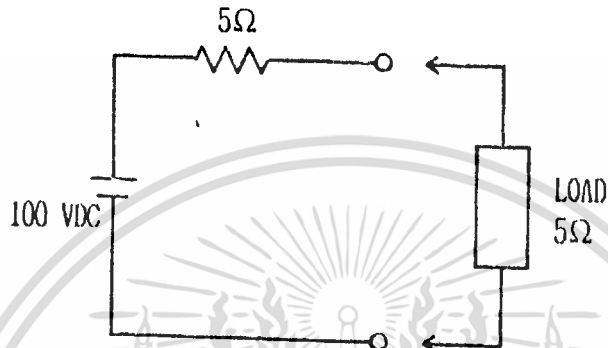
ที่ไอซี 1 ใ้วงจรตั้งเวลาแบบสแตเบิ้ลปรับความถี่ที่ V_{ref} ได้ความถี่ที่ต้องการประมาณ 20 กิโลเฮิรท์ จ่ายให้กับไอซี 2 ซึ่งเป็นวงจรฟลิปฟลอปแบบโมนอ (Flip-Flop mono) ออกไปยังขา 4 ของไอซี 3 เพื่อผสมสัญญาณกับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มาจากไอซี 4/2 ที่ตัวไอซี 3 เป็นแบบแอนด์เกต (And gate) จะทำการผสมสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกันเป็นพัลส์เทรน (Pulse Train) สัญญาณถูกส่งออกไปยังขา 6 ให้แก่ Q_3 และ Q_4 เพื่อขยายระดับสัญญาณ ให้พযเหมาะสมแก่หม้อแปลง ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ (Pulse Transformer) และถูกส่งไปทั้งทาเกตและทาคาโอดของเลสซีคาร์ต่อไป

เหตุที่ต้องใช้หม้อแปลงเป็นตัวขยาย และ แปลงสัญญาณก็เพื่อป้องกัน ไฟแรงสูงของทางด้านไฟฟ้ากำลัง มาทำความเสียหายให้กับวงจรปริกเกอ์ และหม้อแปลงที่ใช้ต้องเป็นชนิดแกนเฟอร์ไรท์ เพราะสัญญาณที่ถูกส่งมามีความถี่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

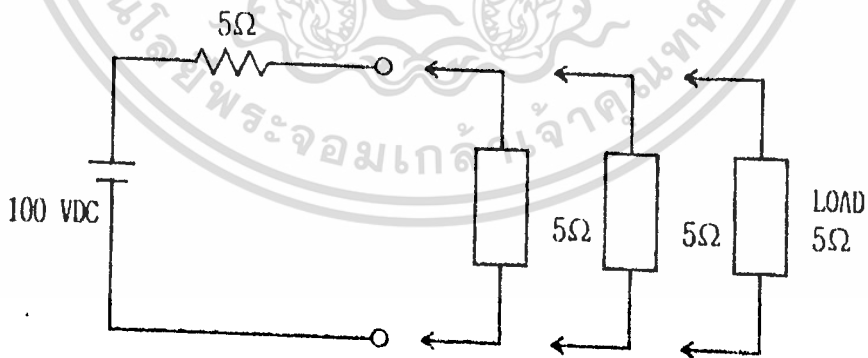
6.2 หลักการรักษาระดับกระแส OUT PUT ให้อยู่ที่

จากกฎของโอมท์ $I = E/R$



จากรูปข้างบนนี้ $I = 100/10 = 10 \text{ A}$

เมื่อต่อโหลดเพิ่มอีก 2 ชุด ดังรูปข้างล่าง จะทำให้ความต้านทานของ โหลดรวมลดลง ซึ่งจากกฎของโอมท์จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น



$$R_T = 6.67 \text{ โอห์ม}$$

$$I = 100/6.6 = 14.49 \text{ A}$$

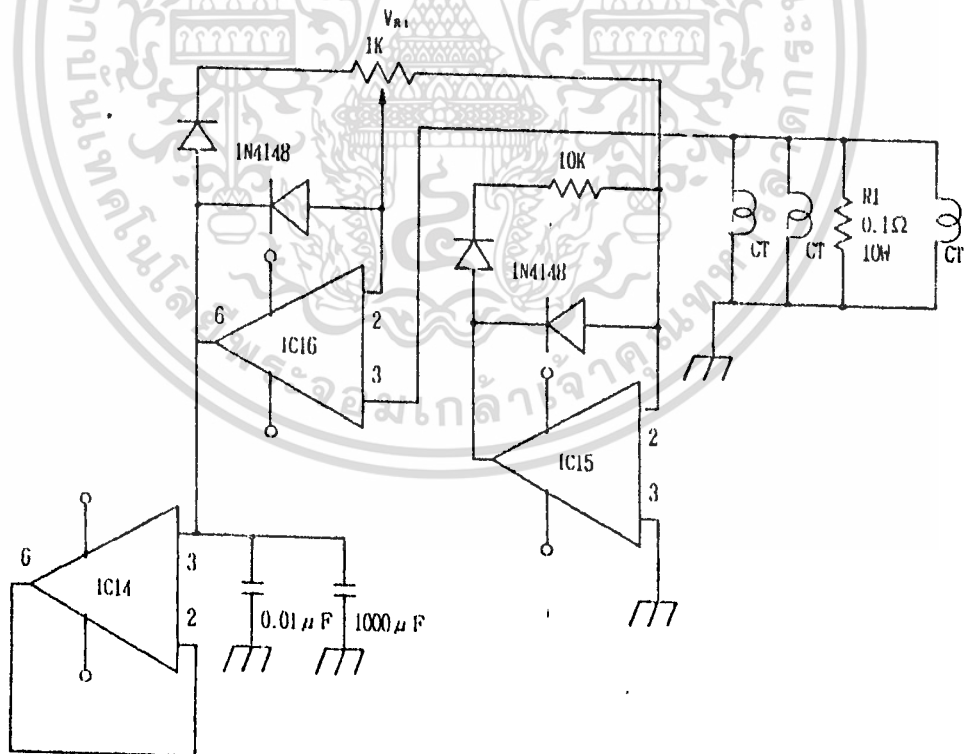
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ถ้าต้องการให้กระแสมีค่า 10 แอมป์ เท่าเดิม จะต้องลดระดับแรงดันลง เช่นถ้าลดแรงดันลงเป็น 6.67 โวลต์ จะได้กระแส 10 แอมป์เท่าเดิมคือ

$$I = 66.67 / 6.67 = 10 \text{ A}$$

จากหลักการนี้ เราสามารถนำไปควบคุมกระแสของ DC POWER SUPPLY ให้คงที่ โดยการป้อนกลับ (FEED BACK) ค่าของกระแส OUT PUT ไปควบคุมมุมในการทริกเอสซีอาร์ เพื่อลดระดับแรงดัน IN PUT

วงจรถ่ายสัญญาณป้อนกลับจากหม้อแปลงกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งคู่ปีที่ 6.7 แสดงวงจรเรกติไฟร์และการเพิ่มอัตราขยาย

จากรูปเรานำหม้อแปลงกระแส (CURRENT TRANSFORMER) ขนาด 50/5 ที่รับสัญญาณ จากด้าน PRIMARY ของหม้อแปลงทั้งสามลูก มาต่อแบบขนาน โดยใช้ ความต้านทานขนาด 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ เติมเฟสหนึ่งเฟสใด หรือทั้งสามเฟส มีกระแสเพิ่มขึ้น ระดับแรงดันที่ตกคร่อม R_1 จะเพิ่มขึ้นและจะถูกเรกติไฟร์พร้อมทั้งขยาย สัญญาณ แรงดันให้สูงขึ้น โดยมี V_{R_1} เป็นตัวปรับอัตราการขยาย จากนั้นจะผ่านการกรองด้วย แคปปาซีเตอร์ เพื่อให้แรงดันไฟตรงเรียบขึ้น พร้อมทั้งจะสามารถนำไปทำการควบคุมได้

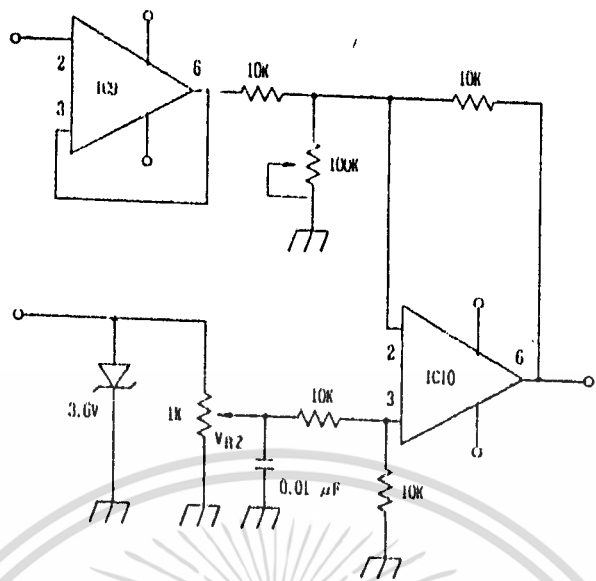
เนื่องจากวงจรที่ออกแบบต้องการแรงดันไฟตรงที่เป็นลบ จึงต้องนำไปผ่านวงจร ออปแอมป์ อินเวอร์ตติง ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 6.8 แสดงวงจร อินเวอร์ตติง

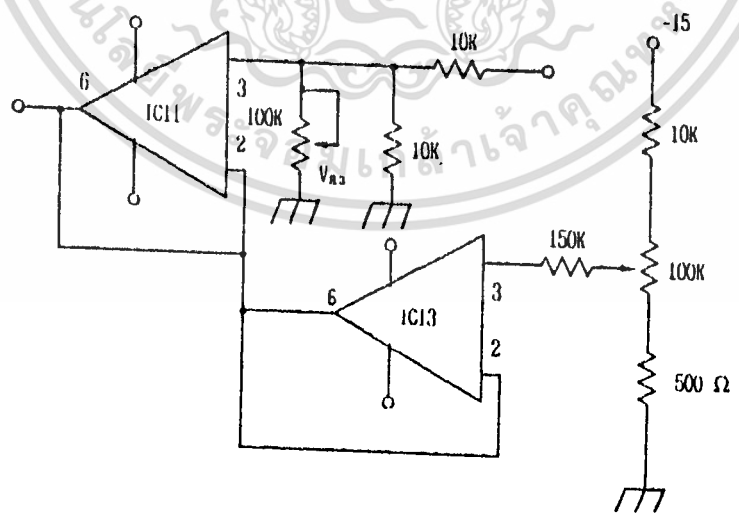
จากนั้นส่งแรงดันไปสองทาง ตามรูปที่ 6.9 ทางแรกไปสร้างแรงดันอ้างอิงโดย IC_{10} ซึ่งใช้ ซีเนอร์ทไดโอด ขนาด 3.6 โวลต์ ดังนั้นการปรับอัตราการขยายของวงจรในรูปที่ 6.7 ต้องปรับอัตราการขยายที่ V_{R_1} ให้มีแรงดันออกมามากกว่า 3.6 โวลต์ และนำไปเข้าขา NON-INVERTING ของ IC_{10} ซึ่งใช้เป็นแรงดันอ้างอิง

ส่วนทางที่สอง จะส่งผ่าน IC_{10} ซึ่งเป็นวงจร บัพเฟลอร์ แล้วนำไปเข้าขา INVERTING ของ IC_{10} โดยมี V_{R_2} คลายปรับระดับแรงดันให้เท่ากับแรงดันอ้างอิง เพื่อให้ OUT PUT ออกที่ขา 6 เป็น 0 โวลต์ ไปรอกที่ขา 3 ของ IC_{11}



รูปที่ 6.9 แสดงวงจร คอมพาราเรเตอร์ (COMPARATOR)

ส่วนขาที่ 2 ของ IC₁ จะมีแรงดัน 0 ~ 10 โวลต์ ดีซี. โดยการปรับ
 วอลลุ่ม 100K ohm นี้ จะนำผลที่เปรียบเทียบจาก IC₁ ไปทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณ
 แลมป์ของแต่ละเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ารูปที่ 6.10 นี้คือสิ่งที่มีให้ดูและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 6.10 แสดงวงจรแรงดันอ้างอิงของสัญญาณป้อนกลับ (FEED BACK)

เมื่อโหลดใช้กระแสมากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสมากกว่าแรงดันอ้างอิง และแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงจะรวมกับแรงดันที่ปรับไว้ที่ IC_{11} ทำให้ระดับแรงดันที่ขา 6 ของ IC_{11} มากขึ้นส่งผลไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแลมบ์ ก็จะทำให้หม้อทริกเพิ่มขึ้นและแรงดันที่ OUTPUT ก็ลดลงด้วย เป็นผลให้กระแสลดตามลงด้วย โดยสามารถปรับ V_{RS} ในรูปที่ 6.10 ซึ่งเป็นอัตราการลดลงของแรงดันว่าจะต้องการลดแรงดันลงมาก หรือ น้อย ตามต้องการได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

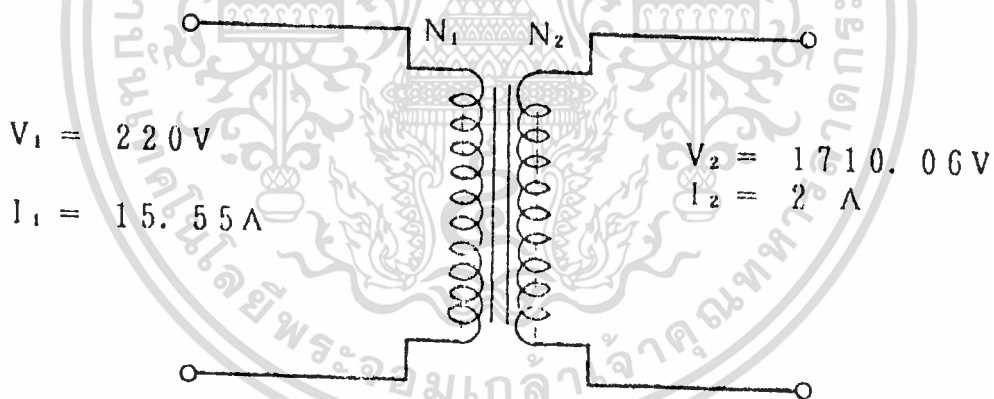
บทที่ 7

การออกแบบหม้อแปลง 1 เฟส

(TRANSFORMER DESIGN)

เนื่องจากใช้หม้อแปลงชนิด 1 เฟส จำนวน 3 ลูก มาต่อเป็น 3 เฟส แบบ star-star ดังนั้น หม้อแปลงแต่ละลูกจะมีแรงดันขาเข้า (INPUT) เป็น 220 โวลต์

จากแรงดัน OUT PUT ที่ใช้ในการคำนวณหม้อแปลง คือ 1710.06 โวลต์ และ กระแส OUT PUT คือ 2 แอมป์



$$\text{จาก } V_1/V_2 = I_2/I_1$$

$$I_1 = \frac{1710.06 \times 2}{220}$$

$$\text{กระแสขาเข้า} = 15.55 \text{ แอมป์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันขาเข้า (INPUT) = 220 โวลต์
กระแสขาเข้า = 15.55 แอมป์

แรงดันขาออก (OUTPUT) = 1710.06 โวลต์
กระแสขาออก = 2 แอมป์

ขนาดของหม้อแปลง = 220×15.55

= 3421.12 VA

เลือกใช้ค่า = 3500 VA

7.1 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแกนกลาง

พ.ท หน้าตัดแกนกลาง = $\sqrt{VA / 5.58}$ inc²

= $\sqrt{3500 / 5.58}$

= 10.6 inc²

เลือกให้แกนกลางขนาด = 3" x 4"

จะได้ พ.ท หน้าตัดแกนกลาง = 12 inc²

= $12 / (39.37)^2$

= 0.0077 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 หาจำนวนรอบของชุดปฐมภูมิ

$$N_1 = E_1 / 4.44 f B_{max} A$$

เมื่อ	N_1	คือจำนวนรอบของชุดปฐมภูมิ	
	E_1	คือแรงดันขาเข้า	= 220 โวลต์
	f	คือความถี่	= 50 เฮิรต์
	B_{max}	คือค่าความหนาแน่นแม่เหล็กสูงสุด	= 1 เทสลา
	A	คือ พ.ท หน้าตัดของแกนกลาง	= 0.0077 ตร.ม

$$N_1 = 220 / 4.44 \times 50 \times 1 \times 0.0077$$

$$= 128.7$$

เลือกใช้จำนวนรอบ

$$= 130 \text{ รอบ}$$

7.3 คำนวณหาจำนวนรอบของชุดทุติยภูมิ

$$N_2 = E_2 / 4.44 f B_{max} A$$

เมื่อ	N_2	คือจำนวนรอบของชุดทุติยภูมิ	
	E_2	คือแรงดันขาออก	= 1710.06 โวลต์
	f	คือความถี่	= 50 เฮิรต์
	B_{max}	คือค่าความหนาแน่นแม่เหล็กสูงสุด	= 1 เทสลา
	A	คือ พ.ท หน้าตัดของแกนกลาง	= 0.0077 ตร.ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

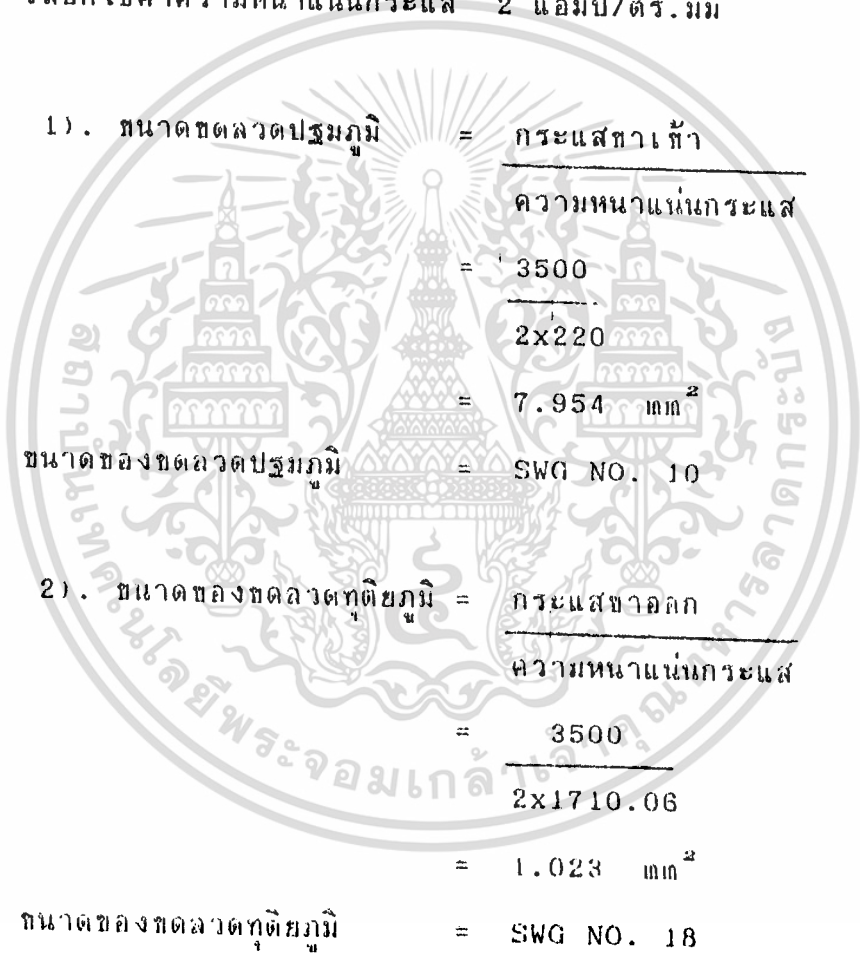
$$N_2 = 1710.06 / 4.44 \times 50 \times 1 \times 0.0077$$

$$= 1000.4$$

เลือกใช้จำนวนรอบ = 1000 รอบ

7.4 หาขนาดของท่อลวดที่ใช้นั้น

เลือกใช้ค่าความหนาแน่นกระแส 2 แอมป์/ตร.มม



1). ขนาดท่อลวดปฐมภูมิ = $\frac{\text{กระแสขาเข้า}}{\text{ความหนาแน่นกระแส}}$

$$= \frac{3500}{2 \times 220}$$

$$= 7.954 \text{ มม}^2$$

ขนาดของท่อลวดปฐมภูมิ = SWG NO. 10

2). ขนาดของท่อลวดทุติยภูมิ = $\frac{\text{กระแสขาออก}}{\text{ความหนาแน่นกระแส}}$

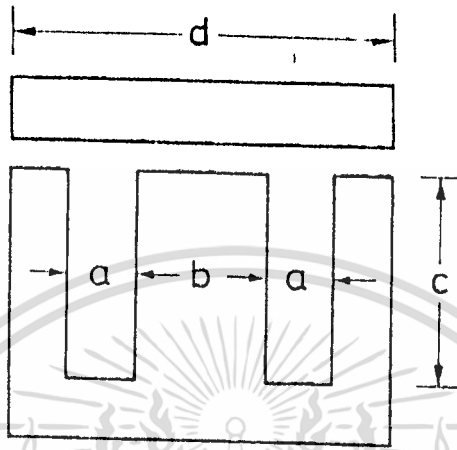
$$= \frac{3500}{2 \times 1710.06}$$

$$= 1.023 \text{ มม}^2$$

ขนาดของท่อลวดทุติยภูมิ = SWG NO. 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 วาขุละเกียคขนาดของตัว E และ I

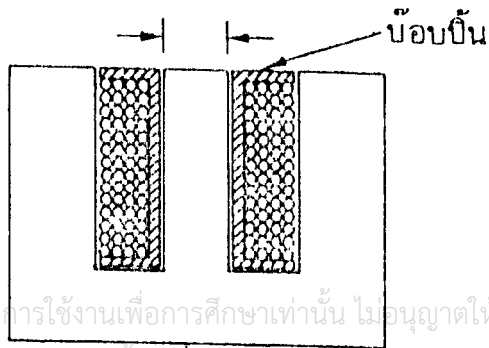


$$a : b : c : d = 1 : 2 : 3 : 6$$

จากอัตราส่วนนี้ ถ้าเราทราบระยะด้านใดด้านหนึ่ง ย่อมคำนวณหาความยาวของด้านที่เหลือได้ทั้งหมด แกนตัว E ที่มีขายจะมีขนาดดังต่อไปนี้ (นอกขนาดของด้าน b เป็นมิลลิเมตร) คือ 10 , 13 , 16 , 19 , 20 , 22 , 25 , 28 , 32 , 45 , 52 , 63

7.6 ลักษณะการใส่ตะลวดลงในแกน

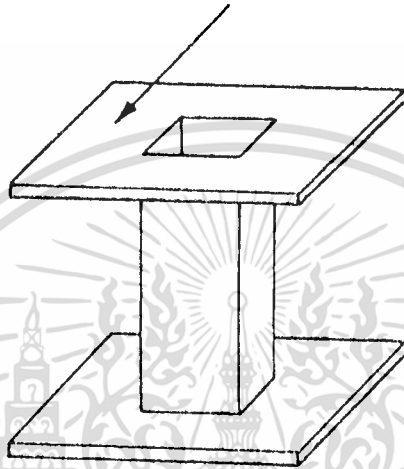
ขนาดกว้างของแกนตัว E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 ลักษณะของบ็อบบี้

ตัวบ็อบบี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ผลการดำเนินงาน

8.1 การทดสอบ OPEN CIRCUIT ของหม้อแปลง

TRANSFORMER NO. 1		TRANSFORMER NO. 2		TRANSFORMER NO. 3	
VOLTAGE [V]	CURRENT [A]	VOLTAGE [V]	CURRENT [A]	VOLTAGE [V]	CURRENT [A]
30	0.10	30	0.10	30	0.10
40	0.18	40	0.12	40	0.18
90	0.19	90	0.19	90	0.19
100	0.20	100	0.20	100	0.20
140	0.28	140	0.24	140	0.23
150	0.30	150	0.30	150	0.30
170	0.38	170	0.38	170	0.36
180	0.47	180	0.48	180	0.46
190	0.60	190	0.06	190	0.60
200	0.70	200	0.75	200	0.70
210	0.80	210	0.80	210	0.80
220	1.00	220	0.90	220	0.90
230	1.20	230	1.20	230	1.20

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าของแรงดันและกระแสจากการทดสอบ OPEN CIRCUIT
ของหม้อแปลงแต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การทดสอบหาแรงดัน OUT PUT ของหม้อแปลง 1 เฟส

IN PUT [VOLT]	TRANSFORMER NO. 1	TRANSFORMER NO. 2	TRANSFORMER NO. 3
	OUT PUT [V]	OUT PUT [V]	OUT PUT [V]
10	60	65	70
20	125	135	130
30	200	200	200
40	300	265	270
50	350	335	330
60	420	400	400
70	500	470	480
80	550	550	550
90	630	620	600
100	700	680	660
110	750	740	740
120	800	810	800

ตารางที่ 8.2 แสดงแรงดัน OUT PUT ของหม้อแปลงแต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 การทดสอบหาแรงดัน OUT PUT ของหม้อแปลง เมื่อ ต่อแบบ star-star

IN PUT [V]	OUT PUT [V]	IN PUT [V]	OUT PUT, [V]	IN PUT [V]	OUT PUT [V]
R - Y	R - Y	Y - B	Y - B	B - R	B - R
15	120	15	120	15	125
40	260	40	260	40	260
50	350	50	350	55	380
64	430	64	430	70	500
79	550	74	500	80	560
82	620	80	620	84	660
104	700	104	720	104	700

ตารางที่ 8.3 แสดงแรงดัน OUT PUT ของหม้อแปลงเมื่อแบบ star-star

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 การทดสอบหาแรงดัน ดี.ที OUT PUT

หลักการ ใช้หลอดไส้ (INCANDESCENT LAMP) ขนาด 100 วัตต์
จำนวน 16 หลอด ต่ออนุกรมกัน ที่แรงดัน 220 โวลต์ แล้ววัดแรงดันตกคร่อมแต่ละหลอด

$$\begin{aligned} \text{วัตต์กำลังของหลอดทั้งหมด} &= 16 \times 100 \\ &= 1600 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่ออนุกรมกันจะได้แรงดัน} &= 16 \times 220 \\ &= 3520 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

INCANDESCENT LAMP NO.	VOLTAGE DROP (VOLT)
1	220
2	218
3	220
4	210
5	213
6	218
7	216
8	216
9	208
10	215
11	211
12	210
13	218
14	209
15	218
16	209
๕	TOTAL 3429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 แสดงแรงดันตกคร่อมหลอดแต่ละหลอด จำนวน 16 ดวง

จะเห็นว่า แรงดันที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้ มีค่า = 3429 โวลท์
 แต่จากการคิดแรงดันตกคร่อมโวลต์ ได้ = 3520 โวลท์

ซึ่งค่าที่วัดได้นี้เป็นค่าที่ยอมรับได้ คือ 3420 โวลท์

$$\begin{aligned} \text{ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{(3520-3429)}{3520} \times 100 \\ &= 2.58 \% \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อสรุปได้ดังมีติด

- 1) . คุณสมบัติของไส้หลอด
- 2) . ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด
- 3) . แรงดันที่ตกคร่อมในสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 ผลของวงจรถ้อนกลับ

จากการที่มีวงจรถ้อนกลับเพื่อรักษาระดับของกระแสให้คงที่ ดังแสดงในตารางข้างล่าง ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบกระแสของกรณีและไม่มีวงจรถ้อนกลับ

WITH FEED BACK CONTROL			NO FEED BACK CONTROL		
VOLTAGE (V)	LOAD (W)	CURRENT (mA)	VOLTAGE (V)	LOAD (W)	CURRENT (mA)
100	800	160	100	800	160
50	1600	200	95	1600	300
30	2400	220	90	2400	480

ตารางที่ 8.6 แสดงค่าของกระแสเมื่อเพิ่มโหลด ขณะมีและไม่มีวงจรถ้อนกลับ

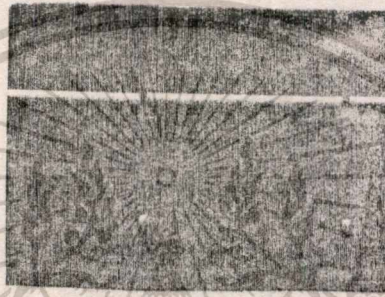
จากตารางจะเห็นว่า เมื่อมีวงจรถ้อนกลับ ค่าของกระแสเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

แต่เมื่อไม่มีวงจรถ้อนกลับกระแสจะเพิ่มมากกว่าการมีวงจรถ้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6 ภาพแสดงสัญญาณเวลาที่พุกทลงแต่ละวงจร

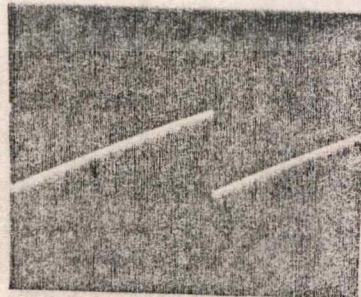
8.6.1). สัญญาณเวลาที่พุกทของ $IC_1/2$ (ขา 1)



2 Volts/Div. , 2 msec

8.6.2). สัญญาณเวลาที่พุกทของวงจรเรอ (RAMP CIRCUIT)

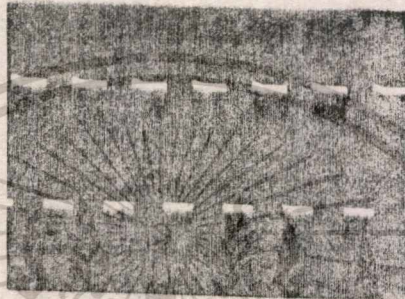
$IC_1/2$ (ขา 5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

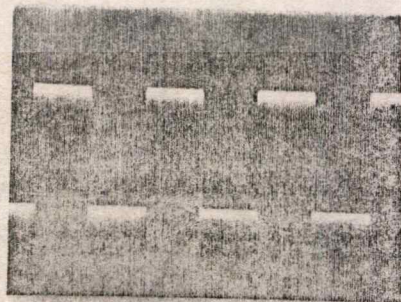
5 Volts/Div. , 2 msec

8.6.3). สัญญาณเอาต์พุทของวงจระสแตเบิล (ABSTABLE)
จาก IC555 (ทา 3)



5 Volts/Div. , 50 μ sec

8.6.4). สัญญาณเอาต์พุทของวงจรถับฟลิป (FLIP-FLOP)
จาก IC-SCL 4027 (ทา 14)

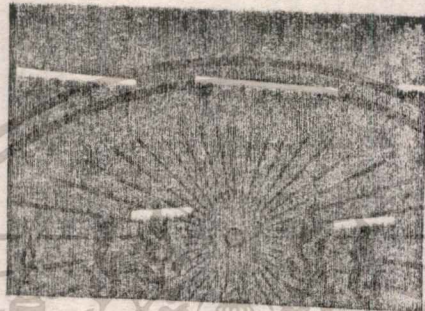


5 Volts/Div. , 50 μ sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

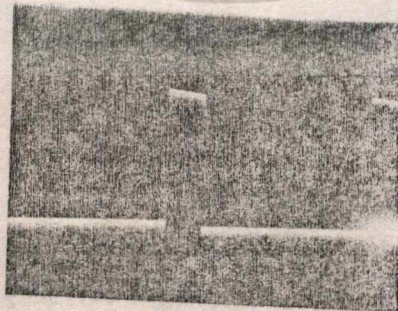
8.6.5). สัญญาณเอาต์พุทของ IC₁/2 (ขา 7)

ก). แสดงพัลส์แบบกว้าง



5 Volts/Div. , 2 msec

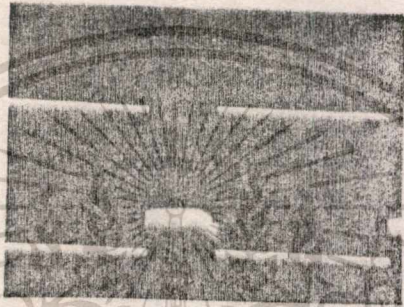
ข). แสดงพัลส์แบบแคบ



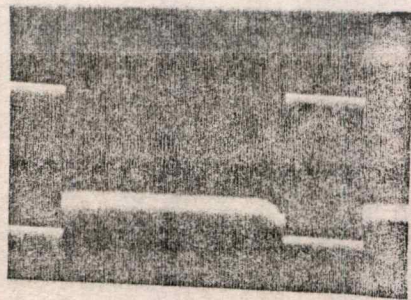
5 Volts/Div. , 2 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6.6). สัญญาณเอาต์พุตของวงจร มอดดูเลข จาก IC 74C08 (ทา 6)
ก). แสดงการมอดดูเลข กรณีสปีลส์แบบกว้าง



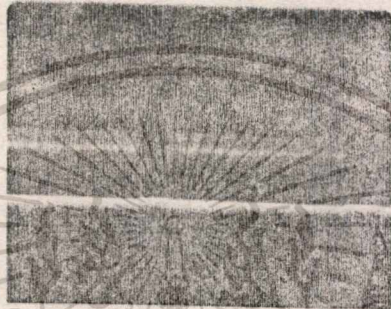
ข). แสดงการมอดดูเลข กรณีสปีลส์แบบแคบ



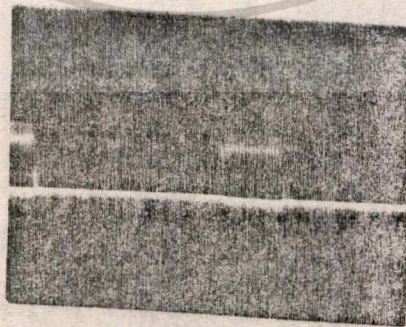
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2 Volts/Div. , 1 msec

8.6.7). สัญญาณเอาท์พุทจากฟิล์มสกรานส์เฟอร์เมอร์

ก). กรณีที่กรีกที่ตำแหน่งมุมกว้าง 90-180 องศา



ข). กรณีที่กรีกที่ตำแหน่งมุมแคบ 0-90 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Volts/Div. , 1 msec

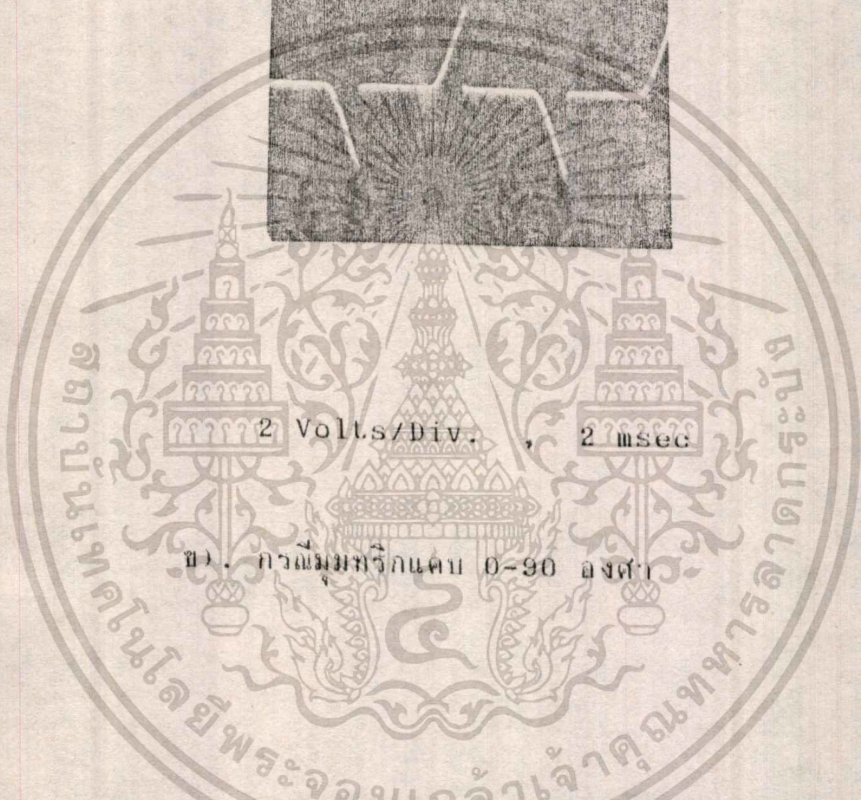
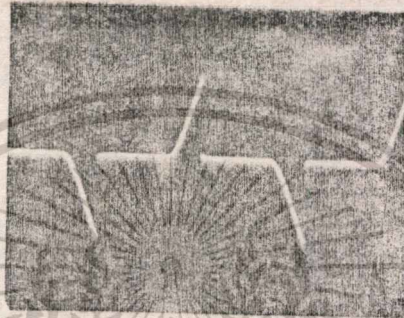
8.6.8). สัญญาณแสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรมป์กับแรงดันไฟตรง
ก). กรณีใช้โหลดปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2 Volts/Div. , 2 msec

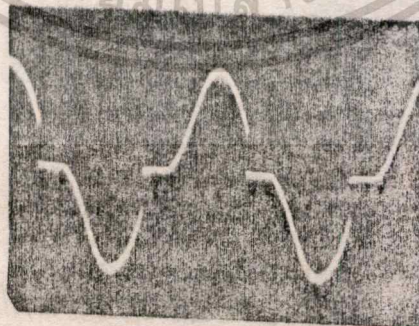
8.6.9). สัญญาณที่วัดคร่อมเอสซีอาร์

ก). กราฟมมทริกกว้าง 90-180 องศา



2 Volts/Div. , 2 msec

ข). กราฟมมทริกแคบ 0-90 องศา

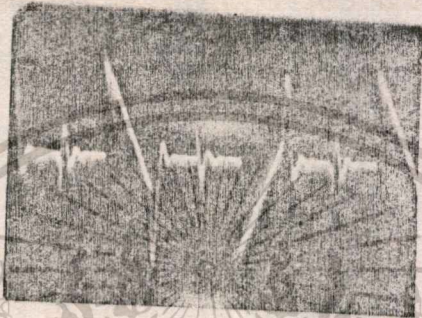


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

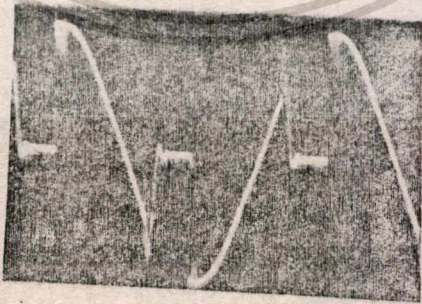
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 Volts/Div. , 2 msec

8.6.10). สัญญาณที่วัดพร้อมชุดปฐมภูมิของหม้อแปลง
ก). กรณีกรีกที่มุมกว้าง 90-180 องศา



ข). กรณีกรีกมุมแคบ 0-90 องศา

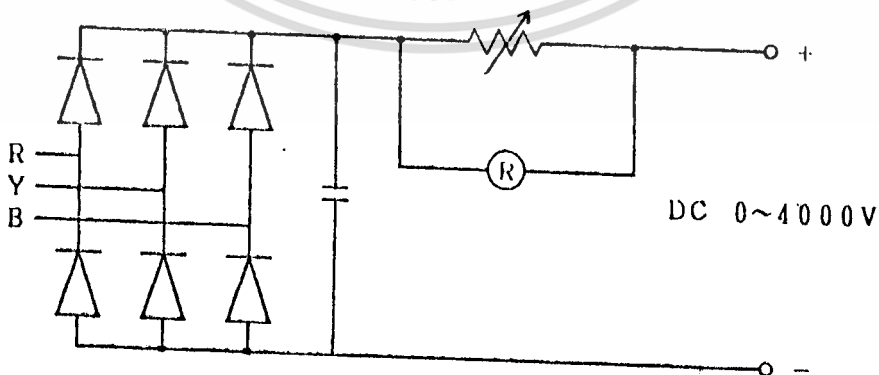


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
50 Volts/Div. , 2 msec

บทที่ 9

สรุปผลการดำเนินงาน

- 1). แรงดัน ดีซี. เลาก์พุท ที่ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้
- 2). แรงดัน ดีซี. เลาก์พุทสามารถปรับต่ำได้ โดยการควบคุมเฟส (PHASE CONTROL)
- 3). วงจรป้องกันโดยการป้อนกลับ (FEED BACK) จากสัญญาณของหม้อแปลงกระแสที่รับมาจากทดลองปฐมภูมิของหม้อแปลงเพื่อไปเพิ่มมุมทริกให้แรงดันทงเข้าของหม้อแปลงลดลงจะได้รักษาระดับกระแสให้คงที่เมื่อเกิดโหลดเกิน หรือการลัดวงจร ช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ได้ผลตามความคาดหมาย ซึ่งวิธีนี้เป็นารป้องกันด้าน IN PUT
- 4). วงจรป้องกันทางด้าน DC OUT PUT ทำงานได้ตามต้องการ สามารถช่วยป้องกันกรลัดวงจรอย่างรุนแรงได้ ซึ่งให้หลักการดังนี้



R = RELAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 9.1 แสดง วงจรป้องกันทางด้าน DC OUT PUT

จากรูปที่ 9.1 เมื่อมีกระแสมากขึ้น กระแสจะผ่านความต้านทานมากขึ้นทำให้มีแรงดันตกคร่อมความต้านทานจนมีค่ามากพอที่จะทำให้ คอยล์ของรีเลย์ทำงาน แล้วนำคอนแทคของรีเลย์ ไปอินเตอร์ลอคตัดแหล่งจ่ายออกจากระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ นิชิต ล่วงอง และทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้
ที่ให้ค่าปรึกษาช่วยเหลือในการทำ PROJECT นี้ จนบรรลุผลสำเร็จด้วยดี

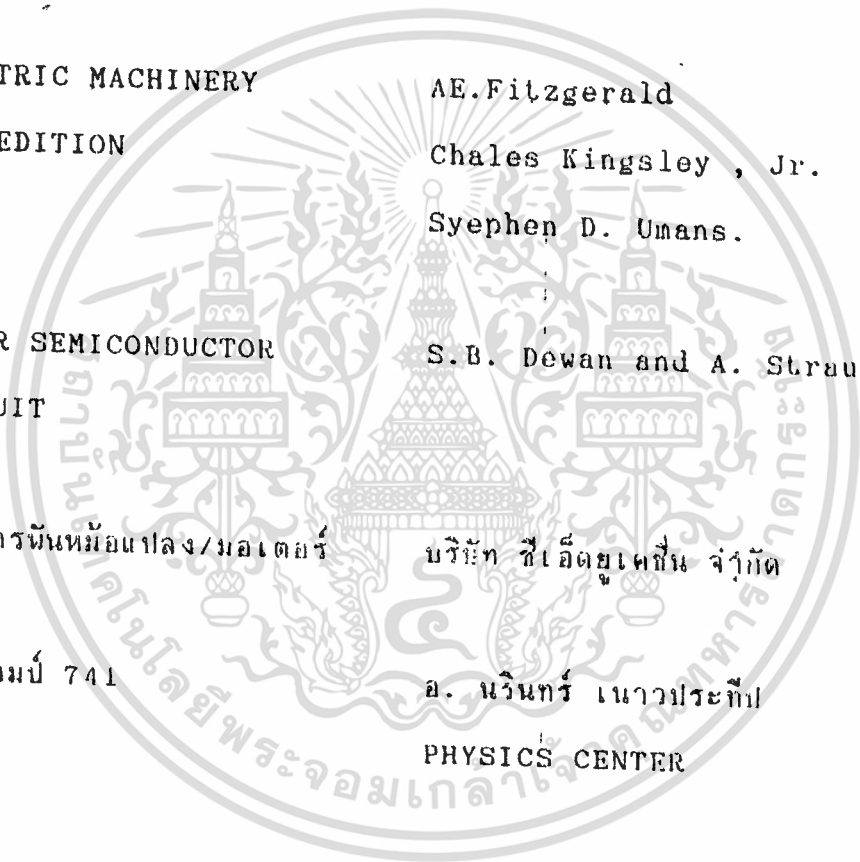


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง



- 1). POWER ELECTRONICS I
อูดมศักดิ์ ยั้งยืน
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
- 2). ELECTRIC MACHINERY
4th EDITION
AE.Fitzgerald
Chales Kingsley , Jr.
Syephen D. Umans.
- 3). POWER SEMICONDUCTOR
CIRCUIT
S.B. Dewan and A. Straughen
- 4). คู่มือการนับหม้อแปลง/มอเตอร์
บริษัท ซีอีดียูเคเอ็น จำกัด
- 5). ออปแอมป์ 741
อ. นรินทร์ เนาวประทีป
PHYSICS CENTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้