



ปีการศึกษา 2530

เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก  
CORE LOSS TESTER

โดย

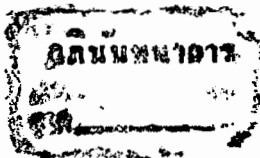
นายการุณ สุจริตประภากร  
MR. KAROON SUCHARITPRAPHAKORN

นายไกรสร อินทพิบูลย์  
MR. KRISORN INTHAPIBOOL

นายจรูญ ชนะโรจน์วิบูล  
MR. CHARUN TANAROJVIBOON

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประภาม ไพรสวรรณา  
MR. PRAPART PRISUWANNA



ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2530.


ภาควิชา ไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก

ผู้จัดทำ

1. นายคารุณ สุจริตประภากร 27.1018
2. นายไกรสร อินทพิบูลย์ 27.1028
3. นายจรัส ฐนะโรจน์วีมูล 27.1031

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ประภาส ไพรสุวรรณ)

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการของเครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก	2
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	47
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	51
กิตติกรรมประกาศ	52
เอกสารอ้างอิง	53



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูป 2.1 แสดงความถี่พัลส์ระหว่าง B กับ H ในสารแม่เหล็ก	7
รูป 2.2 วงแหวนทอรอย	8
รูป 2.3 วงจรแม่เหล็ก	9
รูป 2.4 วงจรแม่เหล็กชนิดมีทองอากาศ	10
รูป 2.5 หม้อแปลงกระแส	17
รูป 2.6 หม้อแปลงกระแสแบบร่องสี่เหลี่ยม	18
รูป 2.7 หม้อแปลงกระแสแบบกานค้ำน้ำหนัก	19
รูป 2.8 การถอดลายค่านปริมาตรของหม้อแปลงกระแส	19
รูป 2.3.1 วงจรตรวจจับสัญญาณผ่านศูนย์	21
รูป 2.3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	22
รูป 2.3.3 วงจรลอจิกของสัญญาณในรูป 2.3.3	24
รูป 2.3.4 วงจรร่างคลื่นรูปสี่เหลี่ยม	25
รูป 2.3.5 วงจรนับจำนวนคลื่นรูปสี่เหลี่ยม	26
รูป 2.3.6 วงจรหาค่าอาร์ เอ็ม เอส	27
รูป 2.3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	28
รูป 2.3.8 วงจร clock ที่ป้อนสู่ ADC 0809	29
รูป 2.3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์	30
รูป 2.3.10 รูปแสดงการต่อไมโครโปรเซสเซอร์	32
รูป 2.3.11 แสดงวงจรการต่อไมโครโปรเซสเซอร์	34
รูป 2.3.12 วงจรที่แสดงถึงการต่อหน่วยความจำเพิ่มให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์	35
รูป 3.1 แสดงลักษณะของหม้อแปลง	37
รูป 3.2 แสดงลักษณะของหม้อแปลง	40
รูป 3.3 แสดงถึงการวัดส่วนต่างๆ ของสเตเตอร์	41

รูป 3.4 แสดงถึงการวัดส่วนต่าง ๆ ของโรเตอร์

หน้า

42

รูป 4.1 วงจรการทดลอง

47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 บันทึกผลของสเตรเตอร์ 1	48
ตาราง 4.2 บันทึกผลของสเตรเตอร์ 2	49
ตาราง 4.3 บันทึกผลของสเตรเตอร์ 3	50



สัญลักษณ์

N	=	จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
I	=	กระแส (แอมป์)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
$\emptyset$	=	เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
H	=	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (แอมป์-รอบ) เมตร
B	=	ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์/ตร.เมตร)
M	=	สภาพความซึมซาบทางแม่เหล็ก
L	=	ความยาวของวงจรมแม่เหล็กที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทาง (เมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็กที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทาง (ตร.เมตร)
F	=	ความถี่ (เฮิรต)

## เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก

การุณ สุจริทประภากร

ไกรสร อินทพิบูลย์

จรัส ชนะโรจน์วิบูล

อาจารย์ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2530

### บทคัดย่อ

เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก เป็นเครื่องมือทดสอบสเตเตอร์ (stator), โรเตอร์ (rotor) และแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (armature core) ของเครื่องจักรไฟฟ้า สามารถทดสอบได้ทั้งสภาพขดลวดใหม่, เก่า, ใหม่, ลัดวงจร และลงดิน โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กในแกนเหล็กที่ต้องการทดสอบ และใช้คอมพิวเตอรมาช่วยในการวิเคราะห์ ผลการทดสอบจะช่วยให้มั่นใจว่าแกนเหล็กนั้นยังคงสภาพการใช้งานต่อไปหรือไม่

CORE LOSS TESTER

KARON SUJARITPRAPAKORN

KRISORN INTHAPIBOOL

CHARUN TANAROTVIBOOL

PRAPART PRISUWANNA ADVISOR

1987

ABSTRACT

CORE LOSS TESTER is the electrical equipment for testing stator, rotor and armature core of electrical machine which windings are new, old, burned, shorted and grounded. Electrical machine can be tested by the theory of induce voltage to excite magnetic flux in the test core. Use computer in analysis. The result is considered to reuse or omit this test core.

## บทที่ 1

### บทนำ

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อมอเตอร์เกิดใหม่ขึ้นมา ก็มักจะทำการเอาชกวดก  
ที่ใหม่ออก และทำการพันชกวดใหม่ หรือกรณีที่มีมอเตอร์ที่ใช้งานเกิดความร้อน  
สูงๆ ก็จะสามารถเห็นว่าเกิดจากการที่ชกวดมีการตีวงจร(short circuit)ลง  
ดิน(ground) ซึ่งผลสรุปเหล่านี้อาจไม่ถูกต้อง เพราะเหตุการณ์เหล่านี้จะเป็น  
เป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของแกนเหล็ก เช่นฉนวนของแผ่นเหล็กเกิดการ  
เสียหาย ดังนั้นการที่สามารถตรวจสอบสภาพของแกนเหล็กได้นั้นจะเป็นประโยชน์  
ที่สำคัญที่จะช่วยชี้จุดที่จะต้องแก้ไขของมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องและช่วยประหยัด

เวลา

เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก (core loss tester) คืออุปกรณ์  
ทดสอบสภาพแกนเหล็ก stator และ rotor ซึ่งช่วยสรุปผลว่าสภาพ  
ของแกนเหล็กมีสภาพที่ยังคงใช้งานได้อีกหรือไม่ และจะช่วยชี้จุดที่จะต้องแก้ไขของ  
แกนเหล็กโดยวิธีการหา core loss ซึ่งจะกล่าวในภายหลัง เครื่องนี้สามารถ  
ตรวจสอบแกนเหล็กได้ทั้งในสภาพชกวดที่พันแกนเหล็กเป็นสภาพชกวดใหม่และ  
เก่า หรือเป็นชกวดที่ใหม่ ตีวงจร หรือลงดินก็ตาม

## บทที่ 2

### หลักการของ เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก

ข้อมูลที่น่ามา เปรียบเทียบได้มาจากผู้ผลิตอุตสาหกรรมแผ่นเหล็กที่ใช้ประกอบแกนเหล็ก ซึ่งมีประโยชน์ในทางบอกสภาพทางแกนเหล็กเมื่อถูกนำมาทดสอบ ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่

1. ค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก มีหน่วยเป็น วัตต์/กิโลกรัม
2. ความเข้มสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น แอมแปร์เทิร์น/เมตร
3. เทาเวอร์แฟคเตอร์

เราใช้เครื่องมือนี้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ช่วยพิจารณาผลที่วัดได้แล้ว เราจะได้รับผลที่มีเหตุผลและเชื่อถือได้ว่าแกนเหล็กที่ถูกทดสอบนั้นอยู่ในสภาพที่

- ก. ดี ยังใช้งานต่อไป
- ข. ปานกลาง ยังพอใช้งานได้
- ค. เลว ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานต่อไป

### การคำนวณค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบ

#### ก. ค่าแรงดัน

ในการทดสอบหาค่าพลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็กนั้น เราจะต้องทำการคำนวณค่าแรงดันหรือศักดาไฟฟ้าที่จะป้อนให้แก่สายเคเบิลที่นำไปคล้องแกนเหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กนั้น ดังนั้นจึงเกิดค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ตามที่ใ้กำหนดไว้แล้ว (ค่าที่ได้เลือกไว้โดยประมาณคือ 1.5 เวเบอร์/ตารางเมตร) โดยที่ยังไม่ทำให้แกนเหล็กอิ่มตัว ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังนี้คือ

### สมการความสัมพันธ์แรงดันและความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

$$V = 4.44fNBA(s.f.)$$

โดยที่  $v$  = โวลต์เทจที่ป้อนสายเคเบิล(โวลต์)

$f$  = ความถี่(50 เฮิรท์)

$N$  = จำนวนรอบของสายเคเบิลที่คล้อง(1 รอบ)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่นำมาทดสอบ(ตาราง เมตร)

$s.f.$  = ค่าstaggering factor(0.95)

$B$  = ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก(1.5 เทสลา)

ผลจากการคำนวณนี้คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จะนำมาป้อนให้กับแกนเหล็กที่นำมาทดสอบ

#### ข. หาค่ากระแส

ค่ากระแสที่ป้อนให้กับแกนเหล็กที่นำมาทดสอบนั้น สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กกับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังสมการต่อไปนี้ คือ

$$N_i = Hl$$

$H$  = ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก( แอมแปร์ เทอร์น/ เมตร)

$l$  = ความยาวของทาง เกินของ เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กที่นำมาทดสอบ( เมตร)

$N$  = จำนวนรอบของสายเคเบิลที่คล้องแกนเหล็ก(1 รอบ)

$i$  = ค่ากระแสที่ป้อนสายเคเบิล( แอมแปร์)

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้มาจากกราฟของcore lossของชนิดของ

เหล็กที่นำมาทำแกนเหล็ก โดยพิจารณาที่ค่าความหนาแน่นของ เส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ 1.5 เทสลา อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก

ค่าพลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็กหาได้จากกราฟของ core loss โดยที่เราพิจารณาที่ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.5 เทสลา นำค่าที่อ่านได้นี้คูณกับน้ำหนักของแกนเหล็กที่นำมาทดสอบ จะได้ค่าพลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมด ปกติค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กที่มีหน่วยเท่ากับ วัตต์/กิโลกรัม จะมีค่าอยู่ในช่วง 1-3 วัตต์/กิโลกรัม ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าในความเป็นจริง เมื่อมาประกอบเป็นแกนเหล็ก โดยทั่วไปจะมีค่าสูงขึ้น 1 เท่าครึ่งถึง 2 เท่า เนื่องมาจากองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือ

1. วิธีการอัดแผ่นเหล็กเข้าด้วยกัน
2. ความหนาของแผ่นเหล็ก
3. ชนิดของฉนวนที่ใช้เคลือบบนแผ่นเหล็ก
4. ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอัดแผ่นเหล็ก
5. องค์ประกอบทางเคมีของสารฉนวน
6. ความแข็งของแผ่นเหล็ก

พลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ฮิสเทอรีซิส ลูป ( hysteresis loop) เกิดขึ้นจากผลของความถี่ของกระแสสลับที่ป้อนเข้าไปในแกนเหล็ก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของเหล็กเพื่อปรับมุมทางไฟฟ้าให้เป็นไปตามชั่วขณะของกระแสสลับที่เกิดขึ้นขณะนั้น การเคลื่อนไหวของโมเลกุลนี้จะใช้พลังงานและถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน

2. กระแสไหลวน( eddy current loss) เกิดขึ้นเนื่องจากผลของกระแสที่ไหลวนอยู่ในความหนาของแผ่นเหล็ก และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อแผ่นเหล็กหนาขึ้น กระแสที่ไหลวนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าและปลดปล่อยออกมาในรูปพลังงานความร้อน

เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก (core loss tester) ; ใ้รวมโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ได้รับผลอย่างรวดเร็ว กราฟข้อมูลนำมาใช้ในการช่วยทดสอบแกนเหล็กในขนาดต่างๆกัน ข้อมูลที่แสดงออกมาในตอนแรก จะแสดงค่าจริงของศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ค่าคาคะเนในการเหนี่ยวนำของกระแส และกำลังไฟฟ้าจากสภาพแกนปกติ ค่ากระแสและพลังงานที่ไ้จริงจากการวัดถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คาคะเนไว้

ทันทีที่ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อทดสอบถึงจุดที่กำหนดไว้ ก็จะมีวั้กระทำ กระแสและกำลังไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบแล้วแสดงคุณภาพของแกนนั้น ค่าที่แสดงออกมามีค่า วั้กต์/กิโลกรัม, เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ปรากฏ และ แอมแปร์เทอรัน/เมคร

ค่ากำลังไฟฟ้าที่วั้กไ้จะบอกค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก การเพิ่มการเหนี่ยวนำถูกต้องการสำหรับแกนที่ถูกฉั้วงจร ที่ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กขณะเต็ม ที่พื้นที่บริเวณเสียหายจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ

เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ปรากฏจะนาไ้โดยการหาร วั้กต์ คูณด้วยผลคูณของโวลท์และแอมป์ โ้โดยปกติแล้วแกนเหล็กที่ไ้จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ประมาณ 0.2-0.7 ยิ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าก็ยิ่งเป็นแกนเหล็กที่ไ้ดีขึ้น

ค่า แอมแปร์เทอรัน/เมคร เป็นค่าที่แสดงถึงค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ต้องการในชั้นของแผ่นเหล็ก ถ้าค่านี้ยิ่งต่ำค่าพลังงานสูญเสียยิ่งน้อย และประสิทธิภาพของแกนเหล็กเทียบกับค่า experience curve ค่าแอมแปร์เทอรัน/เมคร ที่คำนวณไ้จะก็ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะทราบถึงการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็กนี้  
ควรจะต้องถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องก่อน ซึ่งได้แก่ วงจรแม่เหล็ก และหม้อแปลง

## 2.1 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic circuit)

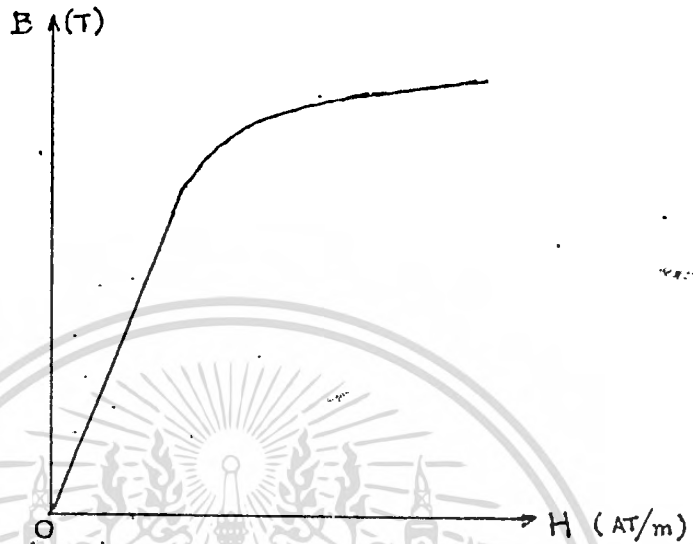
เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก  
จึงควรเข้าใจเกี่ยวกับสภาพ non linearity ของวงจรแม่เหล็ก รวมทั้งค่า  
เหนี่ยวนำของวงจรแม่เหล็ก

2.1.1) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ( B )  
และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ( H ) จะเป็น

$$B = \mu H \quad (2.1)$$

เมื่อ B เป็นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)  
H เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดนั้น มีหน่วยเป็นแอมแปร์  
คอเมตร หรือแอมแปร์เทอรันคอเมตร ( A /m ). หรือ ( AT/m ).

$\mu$  เป็นค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ( permeability ) ซึ่งจะประกอบ  
ขึ้นจาก  $\mu_0$  (  $4 \times 10^{-7}$  ) และ  $\mu_r$  ในสภาพสารแม่เหล็ก ( Ferromagnetic  
material ) ทั่วๆ ไปแล้วในที่นี้ก็คือเหล็กที่นำมาใช้ทำแกนเหล็กนั่นเอง ค่า  $\mu_r$   
จะไม่คงที่ และถ้าพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H แล้วเห็นว่า  
ช่วงแรกค่า  $\mu_r$  (ซึ่งแปรตามค่า slope ของกราฟ) จะมีค่าที่ซึ่งช่วงดังกล่าว  
เรียกว่าช่วงเริ่มต้นการทำงานของสนามแม่เหล็กช่วงต่อมาจะเป็นช่วงใช้งาน  
ของวงจรทั่วไปที่ค่า  $\mu_r$  จะสูงตามค่าความชันและช่วงสุดท้ายจะเป็นช่วงถึงจุดอิ่ม  
ตัวของวงจรแม่เหล็ก ทำให้ค่า  $\mu_r$  ตกลงมามาก ซึ่งความสัมพันธ์ที่เรานำมาใช้เป็น  
หลักการในการสร้าง reactor ควบคู่กันจะกล่าวต่อไปในขั้นตอนการออกแบบ



รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  กับ  $H$  ในสารแม่เหล็ก  
ลักษณะความสัมพันธ์ของสารแม่เหล็กจากรูป จะเห็นได้ว่าจากสมการ

(2.1) เราเขียนได้ใหม่เป็น

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (2.2)$$

ค่า  $\mu_r$  ที่มีขนาดสูงสุดของสารใดๆ จะสามารถหาได้จากการลากเส้น  
ตรงไปสัมผัสกับ เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  กับ  $H$  ของสารนั้น และสมการ

(2.2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  กับ  $H$  นี้เราเรียกว่า เส้นโค้งค่าเน็ค  
แม่เหล็ก

### 2.1.2) mmf และกฎของแอมแปร์

แรงเคลื่อนระหว่างจุดกำหนดสองจุด  $a$  และ  $b$  จะมีค่าคำนวณได้จาก

สูตร

$$F = \int_a^b H \cdot dl$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเมื่อ  $F$  เป็นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นแอมแปร์หรือแอมแปร์เทิร์น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

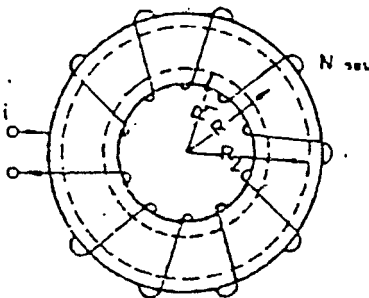
กฎของแอมแปร์ เป็นกฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็ก ใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\int_S J \cdot da = \oint H \cdot dl_{\text{closed curve}} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $J$  เป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตร

$\therefore \int_S J \cdot da$  แสดงถึงปริมาณของกระแสทั้งหมดที่เหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก (ซึ่งอยู่ภายใน closed curve ของวงจรมแม่เหล็กที่เราเลือกไว้) และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็มีทิศทางตามกฎมือขวา เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรมแม่เหล็กต่างๆ ก็เช่น วงจรมแม่เหล็กในรูป 2.2 เป็นวงจรมแม่เหล็กอย่างง่าย ๆ เป็นวงแหวนทอรอยซึ่งมีขนาดสม่ำเสมอตลอด มีขั้วลวด  $N$  รอบพันอยู่ภายนอก และมีกระแสไฟฟ้า  $i$  ไหลอยู่ในขั้วลวดนั้น เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ค่าซ้ายของสมการ 2.4 ก็จะมีค่าเป็น  $Ni$  คือ จำนวนกระแสทั้งหมดที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก และสมการ 2.4 ก็จะกลายมาเป็น

$$Ni = \oint H \cdot dl \quad (2.5)$$



รูป 2.2: วงแหวนทอรอย



ซึ่งถ้าคิดเส้นรอบวง  $R_1$  จะได้

$$H_1(2\pi R_1) = Ni$$

ถ้าคิดเส้นรอบวงที่  $R_2$  จะได้

$$H_2(2\pi R_2) = Ni$$

ค่าของสนามแม่เหล็กภายในวงแหวนทอโรยัลโดยเฉลี่ยจะมีค่าหาได้จากสมการ

$$H(2\pi R) = Ni$$
$$H = \frac{Ni}{2\pi R}$$

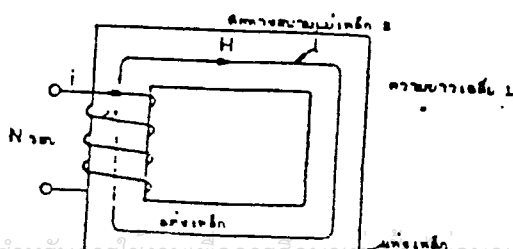
เมื่อ  $R$  เป็นรัศมีโดยเฉลี่ยของวงแหวนทอโรย

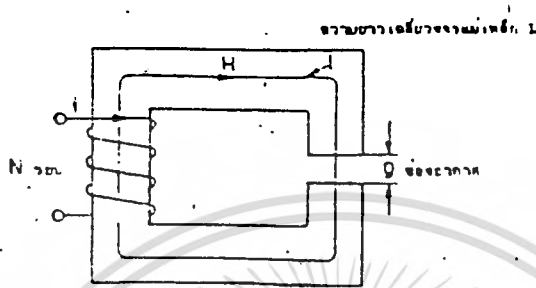
ความยาว  $2\pi R$  เป็นความยาวเฉลี่ยของวงจรมแม่เหล็ก ซึ่งค่าความยาวเฉลี่ยของวงจรมแม่เหล็กนี้จะเป็นค่าที่เรานำมาคำนวณ และโดยทั่วไปจะคิดว่สนามแม่เหล็กภายในส่วนตัดขวางของวงจรม จุดใดจุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากันตลอด เพราะฉะนั้น วงจรมแม่เหล็กในรูป 2.3 สามารถใช้สมการ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

$$Ni = Hl$$

เมื่อ  $l$  เป็นความยาวเฉลี่ยของวงจรมในรูป 2.3 ซึ่งเราสามารถหาค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กภายในวงจรมแม่เหล็กนี้ได้

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r \frac{Ni}{l}$$





รูป 2.4 วงจรแม่เหล็กชนิดมีช่องอากาศ

รูป 2.4 แสดงวงจรแม่เหล็กอันมีตัวกลาง 2 ชนิด ชนิดหนึ่งเป็นช่องอากาศ  
กรณีนี้จากสมการ(2.5) กลายมาเป็น

$$\begin{aligned} Ni &= \int H \cdot dl \text{ ของวงจรเหล็ก} + \int H \cdot dl \text{ ของวงจรช่องอากาศ} \\ &= Hl \text{ เหล็ก} + Hg \text{ อากาศ} \\ &= \frac{B}{\mu_0 \mu_r} l + \frac{B}{\mu_0} g \end{aligned}$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน  $\mu_r$  จะสูงกว่า  $\mu_0$  มาก และเมื่อใดก็ตามที่  $g \gg \frac{l}{\mu_r}$   
แล้ว เราสามารถใช้ค่าโดยประมาณในการคำนวณโดยการตัดค่า  $\mu_r$  ในส่วนของ  
วงจรที่เป็นสารแม่เหล็กออก คงเหลือแค่ส่วนของวงจรช่องอากาศ

$$\begin{aligned} \therefore Ni &\approx Hg \text{ (Air)} \\ &\approx \frac{B}{\mu_0} g \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เส้นแรงแม่เหล็ก ( Flux )

เส้นแรงแม่เหล็กเป็นปริมาณสเกลาร์ ไม่มีทิศทาง เราอาจหาขนาดของเส้นแรงแม่เหล็ก ได้จากนิยามของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น Surface Integral ของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก B กับพื้นที่ผิว A ดังข้างล่างนี้

$$\phi = \int_S B \cdot dA \quad (2.6)$$

ถ้าค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก B มีค่าสม่ำเสมอทั่วทุกจุดแล้ว เราสามารถหาค่าของเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  ได้โดยการคูณพื้นที่หน้าตัด A ที่ตั้งฉากกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก B ในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดนั้น

$$\text{นั่นคือ} \quad \phi = BA \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\phi$  เป็นเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวบบ์ ( Wb )

ในวงจรแม่เหล็กอันหนึ่ง เซนวงจรแม่เหล็กในรูป 3.4 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแส I ทั้งหมด อาจไม่ผ่านตลอดวงจร บางส่วนอาจกระโดดข้ามวงจรแม่เหล็กคานบนไปสู่วงจรทางคานล่างโดยผ่านอากาศรอบข้าง เส้นแรงแม่เหล็กเหล่านี้เรียกว่า เส้นแรงแม่เหล็กรั่ว (leakage flux) และปรากฏการณ์อีกชนิดหนึ่งในวงจรแม่เหล็กที่มีช่องอากาศคือ เส้นแรงแม่เหล็กระหว่างช่องอากาศจะไม่สม่ำเสมอตามไปทั่ว และมีแนวโน้มที่จะลดลงกว่าในส่วนที่เป็นสารแม่เหล็ก ทั้งนี้เพราะพื้นที่หน้าตัดจริงของช่องอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าขรรวมๆ ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า fringing

๔.1.4 ค่าความเหนี่ยวนำ ( Inductance ) เป็นโหนดทางไฟฟ้าของขดลวดในวงจรแม่เหล็กซึ่งสามารถหาได้จากนิยามที่ว่าค่าความเหนี่ยวนำ  $L$  เท่ากับ

$$L = \frac{\text{จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กที่เกี่ยวข้องล่องวงจรทั้งหมด}}{\text{กระแส}}$$

$$= \frac{\lambda}{i}$$

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  กับ  $H$  และนิยามของความเหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่า ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดในวงจรแม่เหล็กใด ๆ จะมีค่าแปรตามกำลังสองของจำนวนรอบของขดลวดนั้น และจะมีค่าแปรตามค่าของความซึมซาบซึ่งถ้าเป็นสารแม่เหล็กจะไม่คงที่ แต่จากการที่ออกแบบ Reactor และ Transformer นั้นจะประกอบด้วยส่วนสารแม่เหล็กและส่วนของอากาศซึ่งมีระยะของของอากาศประมาณ 5% ของความยาวรอบของวงจรแม่เหล็กค่าความเหนี่ยวนำจึงค่อนข้างคงที่

จากสูตร  $HL = Ni$

$$i = \frac{HL}{N}$$

จากสูตร  $B = \mu H$   $i = \frac{BL}{\mu N}$

(กรณีว่า ช่องว่างอากาศ  $\geq 5\%$  ของวงจรแม่เหล็กแล้วเราจะ

ได้ว่า  $i = \frac{Bg}{\mu_0 N}$

จากสูตร  $B = \frac{\phi}{A}$  wb/m<sup>2</sup> ,  $i = \frac{\phi l}{\mu_0 N A}$

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N\phi}{i} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad \text{Henry}$$

กรณี ช่องว่างอากาศ  $\geq 5\%$  ของ วงจรแม่เหล็กแล้วเราจะได้ว่า ค่าความเหนี่ยวนำนั้นมีค่าแปรตามกำลังสองของขดลวดนั้น ๆ

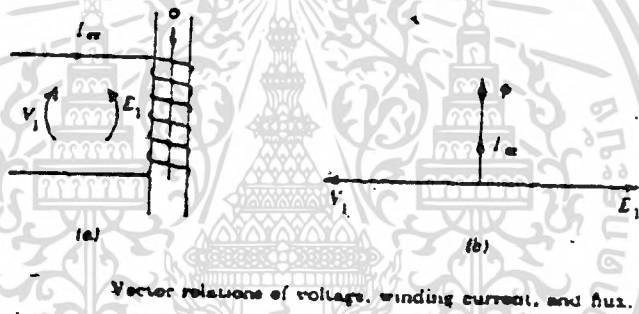
$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad \text{เฮนรี่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

### 2.2.1 แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ( Induced Voltage )

การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า ( Electromotive Force ) ในหม้อแปลง มีหลักการดังนี้ เมื่อป้อนแรงดันเข้าไปที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะทำให้กระแสไหลในขดลวดมากพอที่จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ( Magnetic flux ) ขึ้น ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของแรงดันที่ป้อน การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กนี้เองทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในขดลวดซึ่งมีทิศทางก้ำกวมกับแรงดันที่ป้อนเข้าไป



เวกเตอร์ แสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน, กระแสในขดลวด, สนามแม่เหล็ก สมมุติว่าเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังนี้

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

และ  $N_1$  = จำนวนรอบของขดลวดทาง ปฐมภูมิ

จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ( Induced Voltage ) : ในขดลวดในระนาบใดระนาบหนึ่ง มีค่าดังนี้

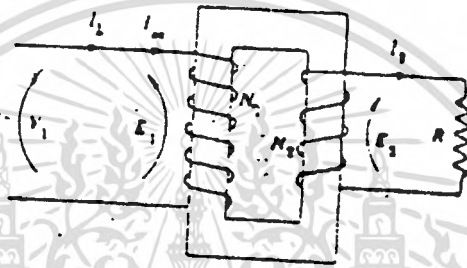
$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} && \text{Volt} \\ &= -\omega N_1 \phi_m \cos \omega t \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โศกาศสูงสุด  $e_m = \omega N_1 \phi_m$   
 $= 2\pi f N_1 \phi_m$

และค่า rms  $E_1 = \frac{2.4}{\sqrt{2}} f N_1 \phi_m = 4.44 f N_1 \phi_m$   
 $= 4 \times (1.11) \times f N_1 \phi_m$

1.11 คือ form factor สำหรับรูปคลื่น sine wave



รูปเหมือนแปลง two-winding แสดงให้เห็นกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดทั้งสอง

ถ้าขดลวดทุติยภูมิ มี  $N_2$  รอบ flux จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดัน  $E_2$  ขึ้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับ  $N_2$

$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$   
 $E_1$  และ  $E_2$  ถูกเหนี่ยวนำขึ้นด้วยเส้นแรงแม่เหล็กอันเดียวกัน ฉะนั้นค่าทั้งสองนี้จะอยู่ในเฟสเดียวกัน

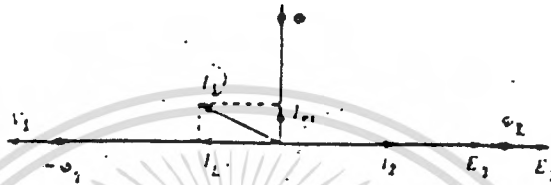
ถ้าสมมุติว่าเอาโหลดความต้านทานมาก่อทางขดลวดทุติยภูมิ จะทำให้เกิดกระแสทางขดลวดทุติยภูมิ เท่ากับ  $I_2$  และมีเฟสทับกับ  $E_2$  ซึ่งกระแส  $I_2$  จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น อย่างไรก็ตามตามหลักการแล้ว ขดลวดทางขดลวดปฐมภูมิจะต้องพยายามรักษาปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กให้คงเดิมเสมอ นั่นคือขดลวดทางปฐมภูมิจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมาหักล้าง ซึ่ง  $N_1 I_1$  จะคงเท่ากับ  $N_2 I_2$  นั้นหมายความว่า ทางปฐมภูมิจะต้องทิ้งกระแส

ออกมาจากแหล่งจ่ายอีก  $I_L$  รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_L = \frac{N_2 I_2}{N_1}$

$$\frac{I_L}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$



Vector Diagram แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสเมื่อ  
ละเลยค่า resistances และ leakage reactance.

ที่กล่าวมานี้ เป็นกรณีที่มีสมมุติว่าไม่มีสติกกาตกรวมเนื่องจากความต้านทานหรือ core loss และไม่มี leakage flux

สรุปความสัมพันธ์ไคทั้งนี้ 
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (I_1 = I_L)$$

### 2.2.2 หม้อแปลงแรงดัน ( Potential Transformer )

สัญลักษณ์ : PT

หม้อแปลงแรงดัน คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟแรงสูง หรือ วงจรไฟแรงต่ำ ให้มีแรงดันเป็นอัตราส่วนกับแรงดันของวงจรมานั้น เพื่อให้สำหรับเครื่องวัด หรือทำให้รีเลย์ทำงาน

หม้อแปลงแรงดัน เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิ และแกนเหล็ก นั่นคือเป็นหม้อแปลงแรงดันให้เหมาะที่จะใช้สำหรับเครื่องวัด หรือในการ ทำให้รีเลย์ทำงาน

### 2.2.3 หม้อแปลงกระแส ( Current Transformer )

สัญลักษณ์ : CT

หม้อแปลงกระแส คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสสูงๆ ในวงจรไฟแรงสูง หรือแรงต่ำให้เป็นกระแสที่มีค่าต่ำลงเป็นอัตราส่วน เพื่อใช้กับเครื่องวัดหรือรีเลย์

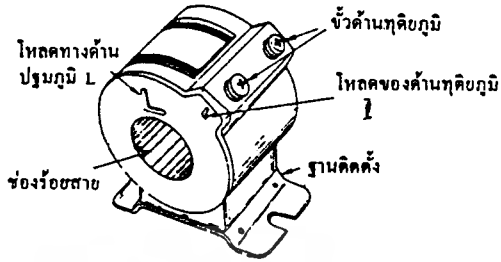
เมื่อกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็น  $1/\text{อัตราส่วนการสนขดลวด}$  คูณด้วยกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ และกระแส นี้จะถูกส่งไปใช้กับเครื่องวัด หรือรีเลย์ที่ต่ออยู่

โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงกระแส แบบร้อยสายผ่าน

หม้อแปลงกระแสแบบร้อยสายผ่าน หมายถึงหม้อแปลงกระแสแบบที่สนขดลวดทุติยภูมิกับแกนเหล็กเท่านั้น สำหรับทางคานปฐมภูมินั้นใช้การร้อยสายไฟผ่านช่องเปิดตะตุที่ทำได้

หม้อแปลงกระแสแบบร้อยสายผ่านที่มีช่องร้อยสายเป็นช่องกลม

หม้อแปลงกระแสแบบช่องกลม เป็นแบบที่ใช้กับสายไฟ หรือสายเคเบิล ได้โดยการร้อยผ่านโดยตรง หม้อแปลงกระแสแบบนี้มี  $k$  และ  $L$  ทางคานปฐมภูมิจะอยู่คานเดียวกันกับขั้ว  $k$  และ  $-1$  ของคานทุติยภูมิคล้ายกับ หม้อแปลงกระแสแบบร้อยสายผ่านสามารถจะเปลี่ยนอัตราการแปลงกระแสโดยวิธีการร้อยสายผ่าน



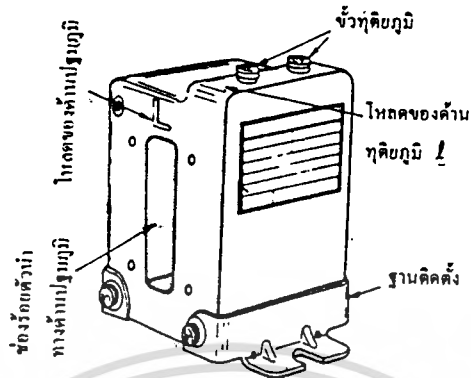
แบบช่องกลม  
(แบบ Epoxy resin mold)



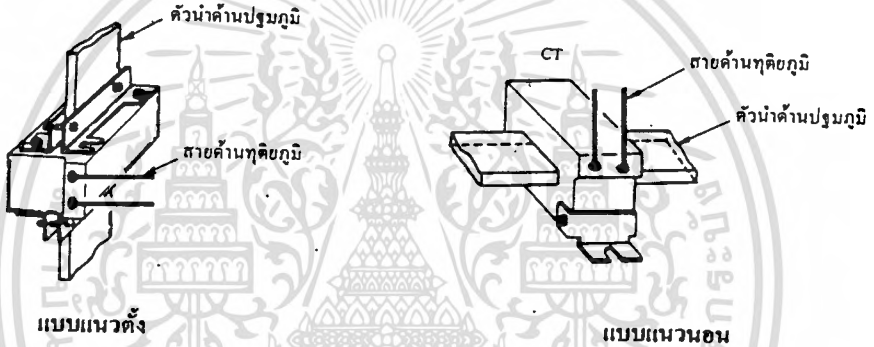
รูป 2.5

หม้อแปลงกระแสแบบร้อยสายผ่านแบบช่องสี่เหลี่ยม

หม้อแปลงกระแสแบบนี้เป็นแบบที่ช่องที่ให้ค้ำหน้าทางค้ำปรุณภูมิผ่าน มีรูปเป็นสี่เหลี่ยมเหมาะสำหรับใช้กับค้ำหน้าทางค้ำปรุณภูมิที่เป็นรูปแถบทองแดง



(Epoxy resin mold type)

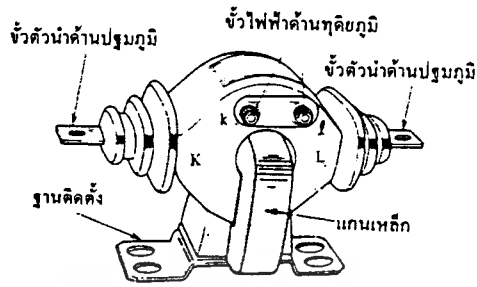


รูป 2.6

โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงกระแส ชนิดที่มีค้ำค้ำทางค้ำทุติยภูมิที่อยู่หม้อแปลงกระแสแบบนี้เป็นแบบที่มีทั้งขดลวดทางค้ำทุติยภูมิ และทางค้ำทุติยภูมิพันรอบแกนเหล็กอยู่ การใช้งานจะทำโดยต่อเข้ากับสายไฟ ทางค้ำทุติยภูมิ และสายไฟทางค้ำทุติยภูมิ

แบบก้านค้ำ

หม้อแปลงกระแสแบบนี้เป็นแบบที่ค้ำค้ำทุติยภูมิเป็นก้านโลหะมีการพันเพียง 1 รอบ ใช้สำหรับค้ำกระแสทุติยภูมิที่มีค่าสูง



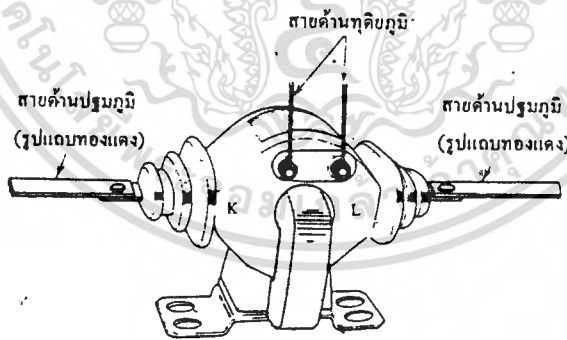
แบบกั้นตัวนำ (Epoxy resin mold)

รูป 2.7

การทอสายคานปฐมภูมิ

ขั้วไฟฟ้าทางคานปฐมภูมิ และทุติยภูมิจากขั้วไปขวา จะเป็น K, L และ k ,

1 ตามลำดับ

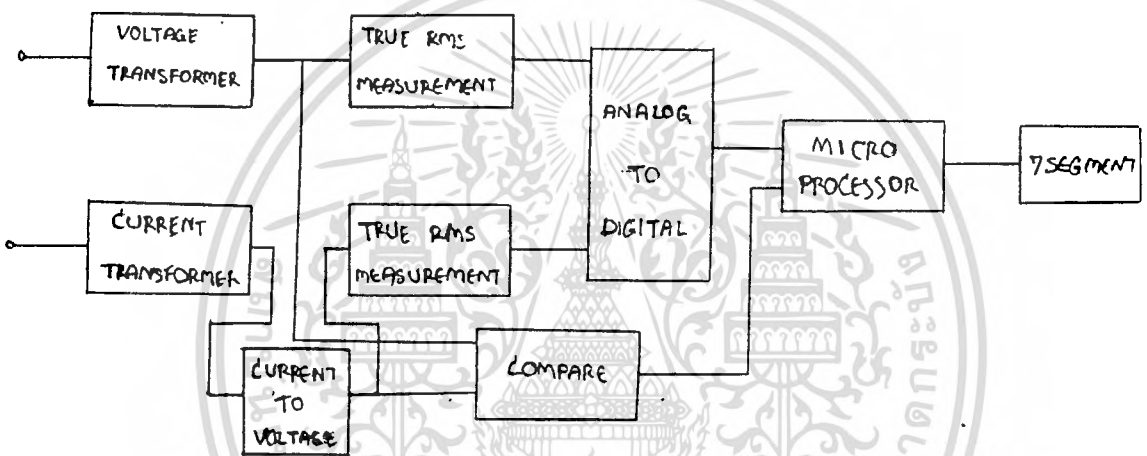


การต่อสายคานปฐมภูมิ

รูป 2.8

### 2.3 การวัดค่าไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของส่วนต่างๆ ของวงจร และเทคนิคต่างๆ ในการออกแบบวงจร ซึ่งนำมากล่าวถึงเฉพาะส่วนที่สำคัญเท่านั้น โดยมีหลักการทำงาน คือ วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟกเตอร์ จากนั้นทำการติดกับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า และนำค่าดังกล่าวไปแสดงผลอยู่ที่ SEVEN SEGMENT DISPLAY โดยมีลักษณะ BLOCK DIAGRAM ดังรูป



เนื่องจากวงจรในการวัดแรงดันไฟฟ้านั้นเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเราจะต้องเลือกใช้สัญญาณอินพุตที่ของการวัดนี้ให้อยู่ในระดับที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานได้ โดยใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า จากนั้นจึงนำไปเข้าวงจรวัดค่า RMS. (ROOT MEAN SQUARE) แล้วแปลงค่า RMS. นี้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำไปติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์

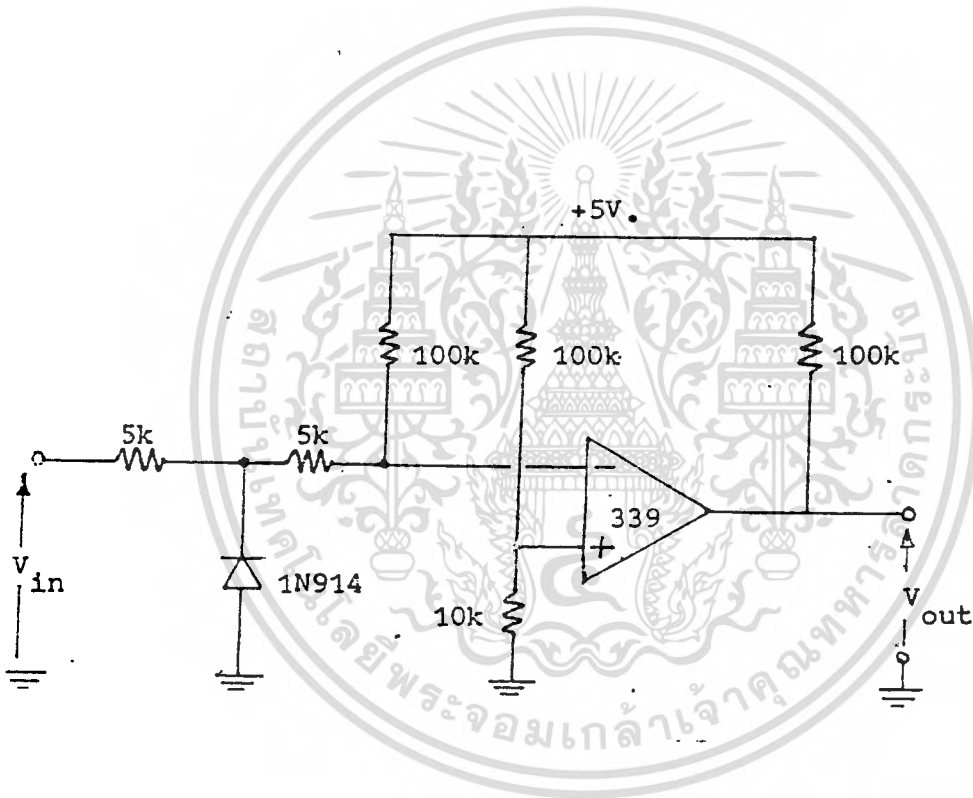
การวัดกระแสไฟฟ้ามีหลักการ เช่น เกี่ยวกับการวัดแรงดันไฟฟ้า โดยจะวัดกระแสไฟฟ้าอยู่ในรูปของแรงดันก่อน แล้วจึงทำการลดระดับสัญญาณลง

ส่วนในการหาค่ากำลังไฟฟ้า เราไม่สามารถจะวัดค่าโดยตรงได้ ดังนั้นเราจึงนำไมโครโปรเซสเซอร์มาคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้วัดได้ คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นี้ หาได้จากการวัดช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะกล่าวต่อไป

#### 2.3.1 การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

ในกรณีนี้ สมมติว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณคลื่นรูปขายน้ําเสมอ ในขั้นแรก ต้องเปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปขายน้ําของแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าให้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่ามุมเฟสที่แตกต่างกัน

วงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปขายน้ําไปเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ในเครื่องกั้นแบบไขว้วงจร ทตรวจจับสัญญาณผ่านศูนย์ (ZERO-CROSSING DETECTOR) ดังวงจร ในรูปที่ 2.3.1



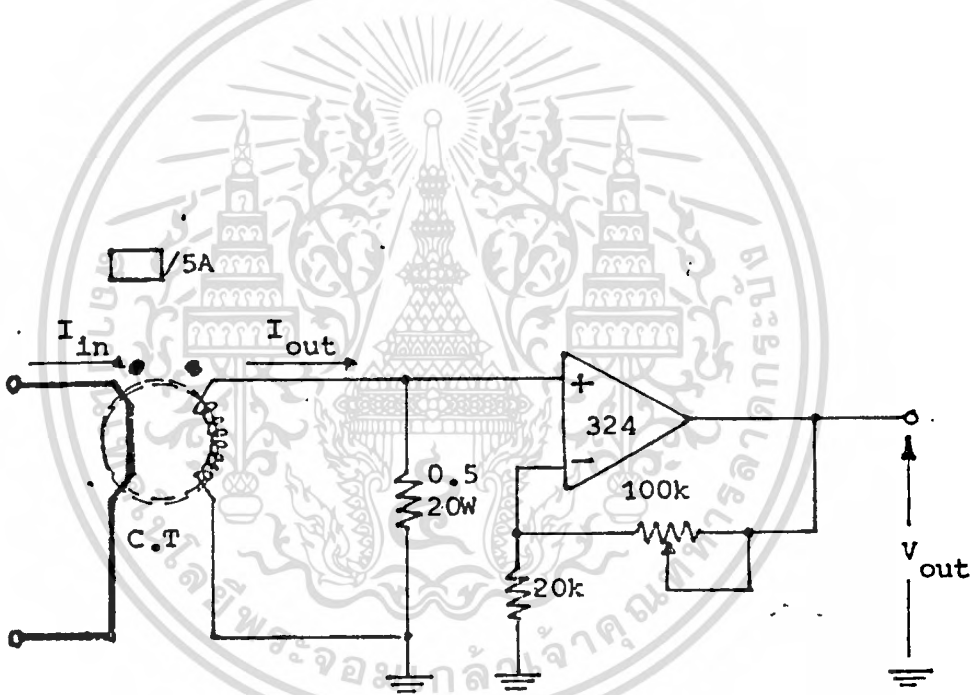
รูปที่ 2.3.1 วงจรทตรวจจับสัญญาณผ่านศูนย์

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะต้องถูกลดขนาดลงมาเสียก่อน โดยใช้ ซีที (Potential Transformer)

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ถูกลดขนาดแล้วจะถูกป้อนเข้าวงจรทตรวจจับสัญญาณผ่านศูนย์ ในรูปที่ 2.3.1 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

สำหรับสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะใช้ ซีที (Current Transformer) ในการลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในวงจร ซึ่งโดยทั่วไปมีอัตราส่วนกระแสเข้าและออก ดังนี้ 50/5, 60/5, 100/5 ฯลฯ โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้าสูงสุดทางคานชุกขุมมิของ ซีที จะเท่ากับ 5 แอมป์ ซึ่งจะต้องเปลี่ยนสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ทำได้โดยการต่อความต้านทานเข้าทางคานชุกขุมมิของ ซีที สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้ (ถกรวมความต้านทาน) จะมีรูปร่างและเฟสเหมือนกันสัญญาณกระแสไฟฟ้าทางคานปฐมภูมิของ ซีที ทุกประการ แยกต่างหากที่ขนาดของสัญญาณเท่านั้น แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะต้องถูกนำไปขยายอีกครั้งเพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณที่เหมาะสมที่จะใช้เปรียบเทียบหาขนาดของกระแสไฟฟ้าต่อไป

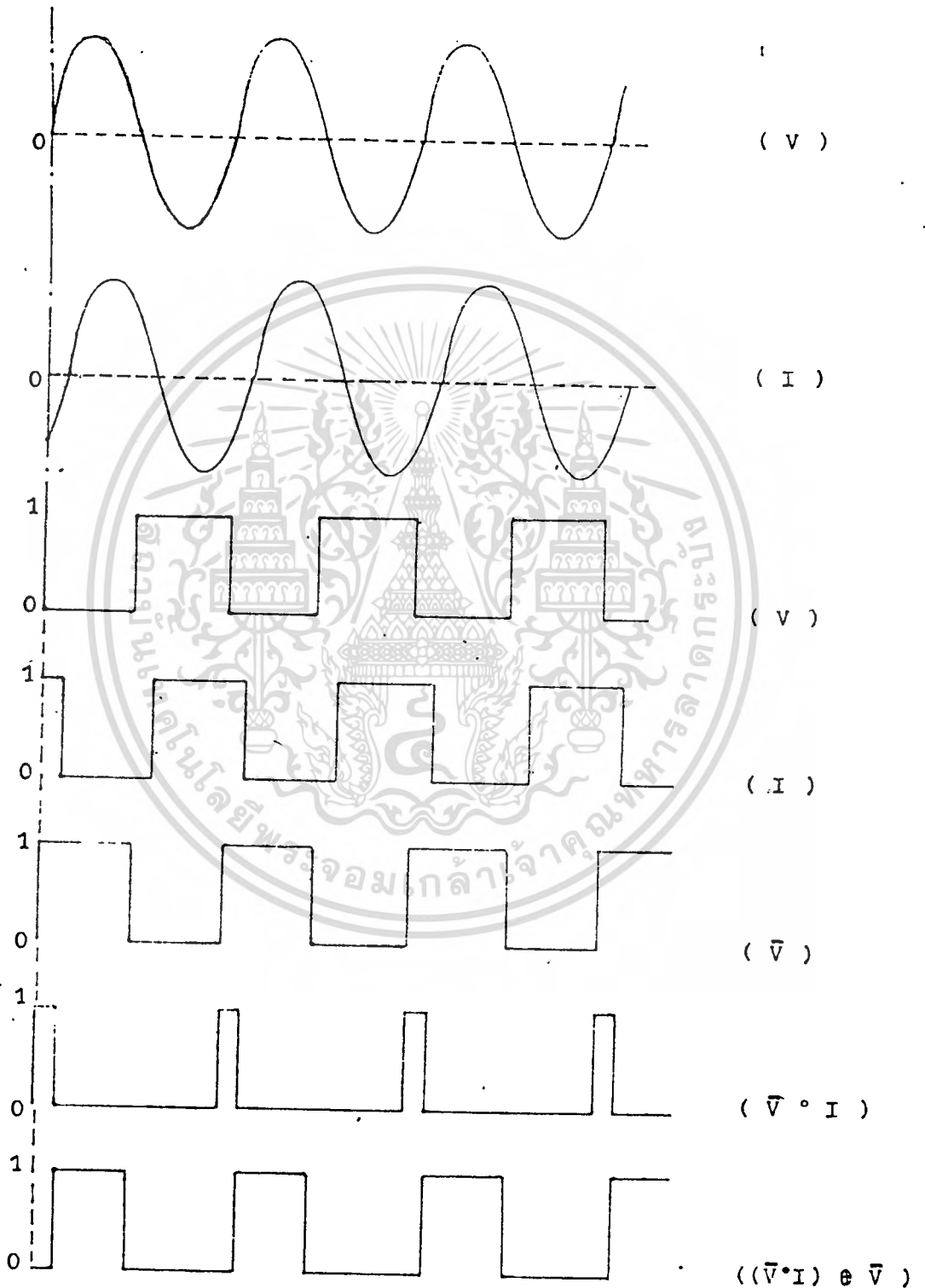


รูปที่ 2.3.2 วงจร เปลี่ยนสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

สัญญาณแรงดันที่ได้จะถูกนำไปป้อนเข้าวงจร กรววจจับสัญญาณผ่านศูนย์ เช่นเดียวกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำไปเปรียบเทียบหาค่ามุมเฟสที่ต่างกันต่อไป

พิจารณารูปที่ 2.3.3 ซึ่งแสดงลักษณะการ เปรียบเทียบของสัญญาณคลื่นรูปไซน์ กับคลื่นรูปสี่เหลี่ยม และแสดงลักษณะการ เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

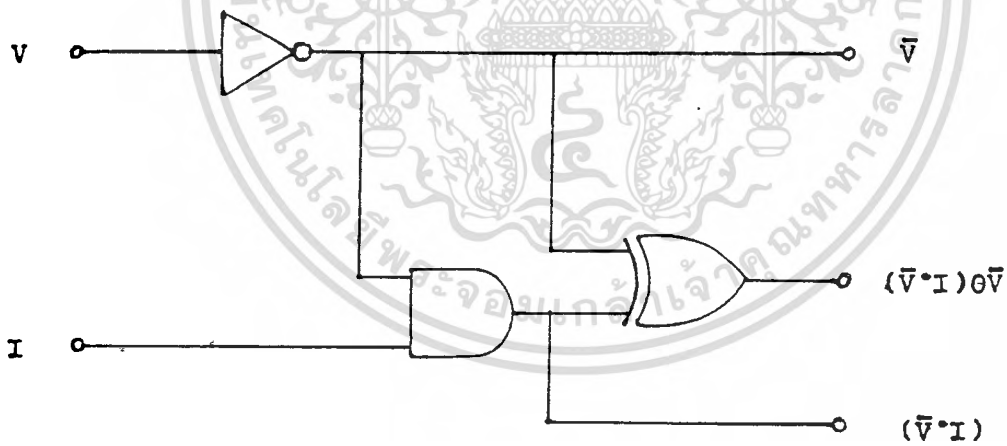


รูปที่ ๒.๓ แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

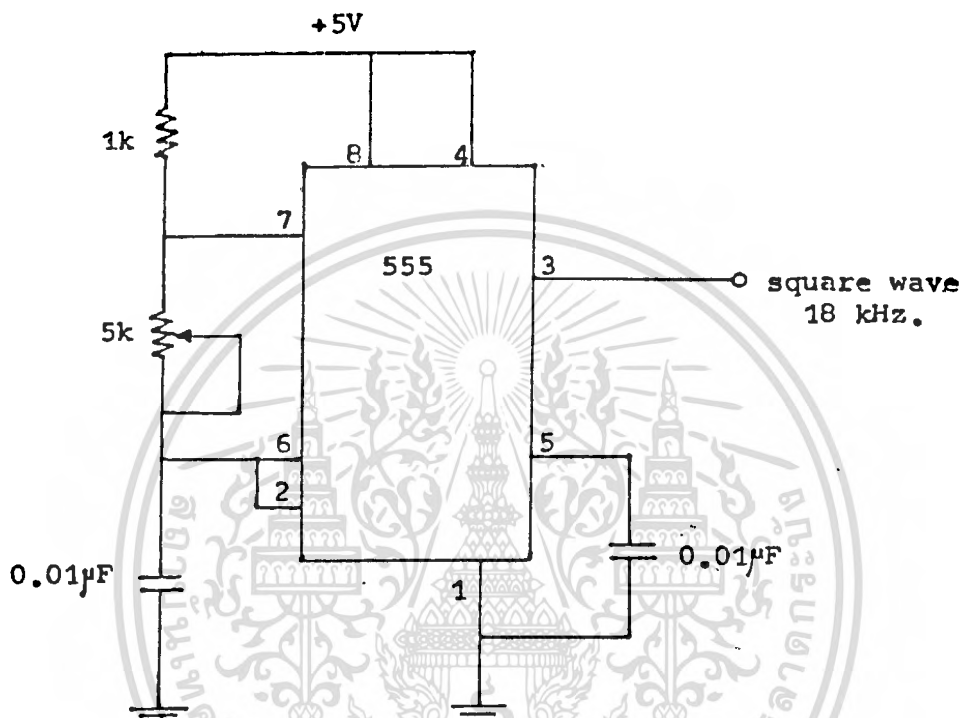
จากรูปที่ 2.3.3 จะเห็นว่า ช่วงที่สัญญาณ ( $\bar{V} \cdot I$ ) เป็น 1 นั้น คือช่วงเวลาที่มีสัญญาณกระแสไฟฟ้าความถี่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ การจะหาค่ามุมเฟสที่สัญญาณกระแสไฟฟ้าความถี่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทำได้โดยที่ทราบค่าความถี่ของสัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีค่าเท่ากับ 0.02 วินาที เทียบได้กับมุม 360 องศา จะได้ว่ามุมเฟสที่แตกต่างกัน 1 องศา เทียบได้กับช่วงเวลา 55.55 ไมโครวินาที ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถหาค่ามุมเฟสที่ต่างกันของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ โดยการหาช่วงเวลาที่ ( $\bar{V} \cdot I$ ) เป็น 1 ด้วย 55.55 ไมโครวินาที ในทางปฏิบัติจะให้สัญญาณที่มีความเท่ากับ 55.55 ไมโครวินาที (สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม) ผ่านเข้าวงจรนับ โดยช่วงเวลาในการนับคือ ช่วงเวลาที่ ( $\bar{V} \cdot I$ ) เป็น 1 นั้นเอง ค่าที่วงจรมับได้ก็คือ ค่ามุมเฟสที่แตกต่างกันของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.3.4 วงจรลอจิกของสัญญาณในรูปที่ 2.3.3

วงจรรีจิสเตอร์สี่เหลี่ยม ความถี่ 18 กิโลเฮิรตซ์ (คาบ : 55 ไมโครวินาที) ในเครื่องนับแบบไอ ซี เมอร์ 555 คงวงจรมันรูปที่ 2.3.6

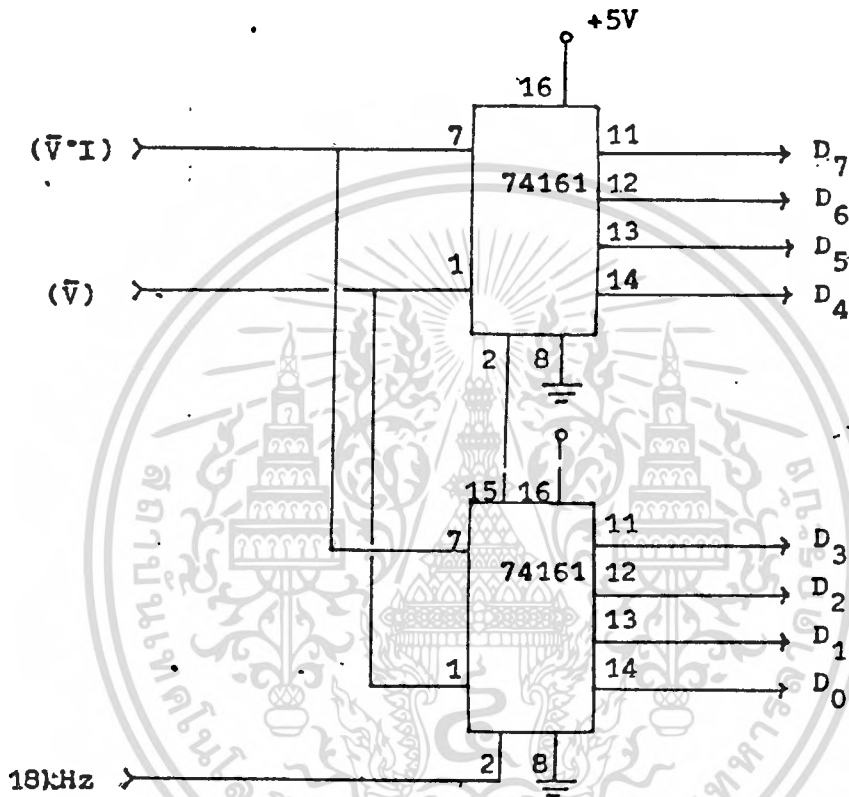
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.5 วงจรสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

ทำการปรับค่าความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม จนได้ค่าความถี่ 18 กิโลเฮิร์ต โดยดูจาก ออสซิลโลสโคป (oscilloscope)

สำหรับวงจรนับจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ในเครื่องกันแบบใช้ ไอซี เบอร์ 74161 ซึ่งเป็นวงจรนับ 16 ไท้สลัทธ์เป็นเลขฐานสอง แต่ค่ามุมเฟสที่แตกต่างกันนั้น มีค่าได้ถึง 90 องศา ดังนั้นจึงใช้ ไอซี เบอร์ 74161 สองตัวต่อกัน ซึ่งจะ สามารถนับได้ถึง 255 ลูกคลื่น เพียงพอกับความต้องการ



รูปที่ 2.3.6 วงจรนับจำนวนคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

เมื่อสัญญาณ  $(\bar{V} \cdot I)$  เป็น 1 วงจรจะเริ่มนับ. และเมื่อสัญญาณ  $\bar{V}$  ตกลงเป็น ศูนย์ วงจรนับจะทำการลบค่าที่นับได้ทั้งหมดให้เป็น ศูนย์ เพื่อรอให้  $(\bar{V} \cdot I)$  ขึ้นเป็น 1 อีกครั้ง จึงจะทำการนับใหม่

จากรูปที่ 2.3.3 จะเห็นว่า มีสัญญาณ  $(\bar{V} \cdot I) \oplus \bar{V}$  อยู่ด้วย จะเห็นได้ว่าช่วงที่  $(\bar{V} \cdot I) \oplus \bar{V}$  มีสถานะเป็น 1 นั้น วงจรนับได้ทำการนับเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งหมายความว่า ขณะนั้นได้คำนวณเฟสที่แตกต่างแล้ว สัญญาณนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณบอกให้ไมโครโปรเซสเซอร์

รู้ว่าสามารถอ่านค่ามุมเฟสที่แตกต่างเพื่อที่จะนำเอาไปประมวลผลต่อไปได้แล้ว

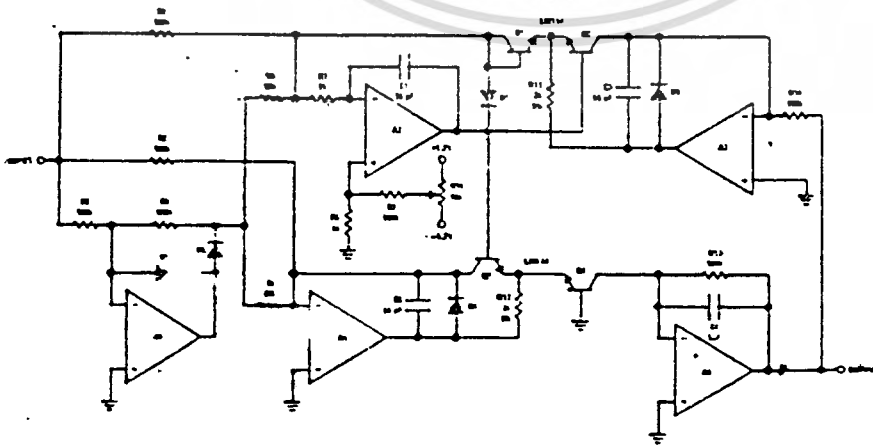
จากลักษณะของวงจรถักกล่าว จะสามารถอ่านค่ามุมเฟสที่แตกต่างกันได้กรณีแรงดันไฟฟ้ามีเฟสหน้าท่ากระแสไฟฟ้าเท่านั้น (สีกิ่ง เพาเวอร์แฟกเตอร์) ถ้าสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีเฟสหน้าท่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (สีกิ่ง เพาเวอร์แฟกเตอร์) แล้ววงจรจะให้ค่ามุมเฟสที่แตกต่างกันเป็นศูนย์เสมอ

### 2.3.2 การหาค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

#### 2.3.2.1 การหาค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า

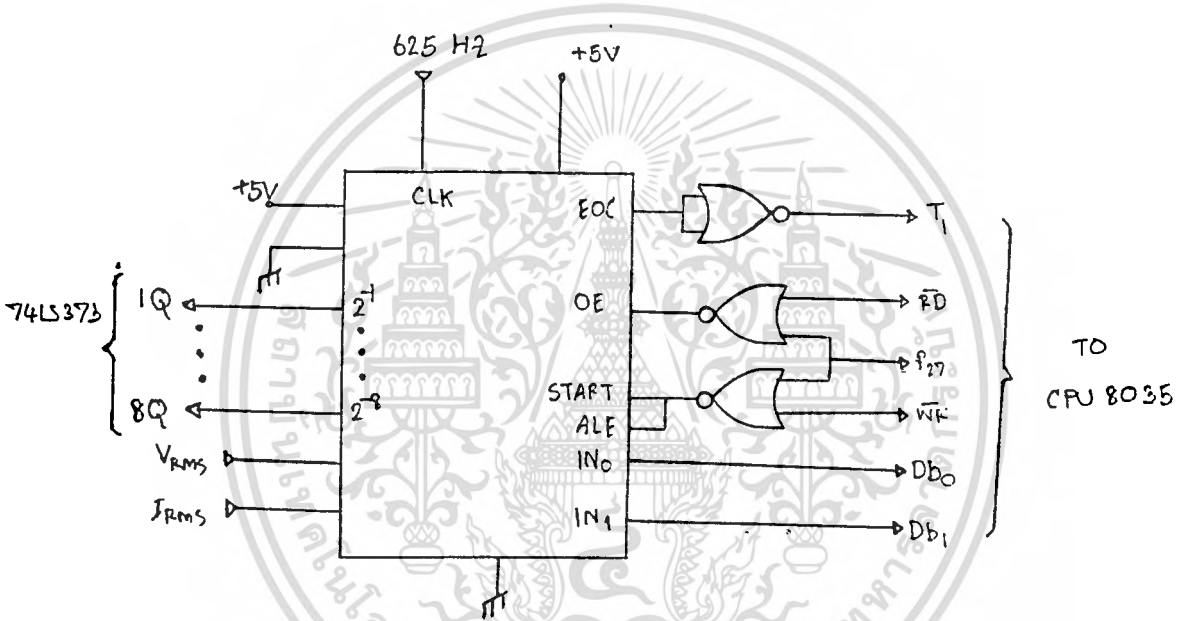
เมื่อทำการลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าลงแล้วจะได้แรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนแรงดันไฟฟ้าเกือบทุกประการ ต่างกันที่ขนาดซึ่งจะเป็นอัตราส่วนที่คงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้นถ้าหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ลดขนาดแล้ว ได้ก็จะสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าจริงได้ โดยใช้ตัวคูณที่เหมาะสม

ขั้นแรกหลังจากลดขนาดแรงดันไฟฟ้าลงแล้ว จะนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนเข้าตัววงจรหาค่า อาร์ เอ็ม เอส ซึ่งวงจรนี้ใช้งานได้กับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าค่าประมาณ 0-10 โวลต์ เอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเท่ากับ ค่าอาร์ เอ็ม เอส ของสัญญาณที่ป้อน ไม่ว่าจะ เป็นสัญญาณรูปแบบใด



รูปที่ 2.3.7 วงจรหาค่า อาร์ เอ็ม เอส

สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ ทิจิตอล จึงจะสามารถใช้กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ในเครื่องกันแบบใช้ ไอซี เบอร์ 0809 ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณทิจิตอล รายละเอียดเกี่ยวกับ ไอซี เบอร์ 0809 จะไม่กล่าวถึงในที่นี้ จะแสดงแค่เพียงวงจรที่ใช้งานเท่านั้น

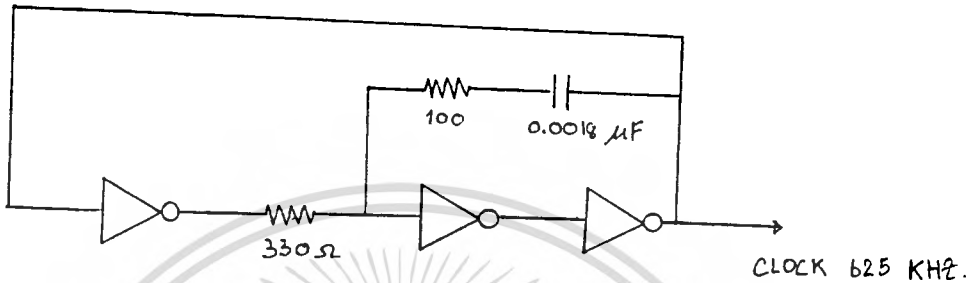


รูปที่ 2.3.8 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ ทิจิตอล

สำหรับไฟเลี้ยงวงจรและแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงจะต้องมีความถูกต้องอย่างสูงและคงที่ จึงได้ออกแบบระบบไฟเลี้ยงเพิ่มเติมโดยไม่ใช้ไฟเลี้ยงร่วมกับวงจรส่วนอื่นๆ

ไอซี เบอร์ 0809 ใช้ระบบ มัลติ-เพล็กซ์ สามารถรับสัญญาณได้ 8 สัญญาณ เลือกใช้ช่องสัญญาณที่ 1 สำหรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า สัญญาณ ทิจิตอล ที่ได้จะถูกส่งเข้าเป็นข้อมูลของระบบ ไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อรอให้ทำการอ่านเมื่อต้องการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



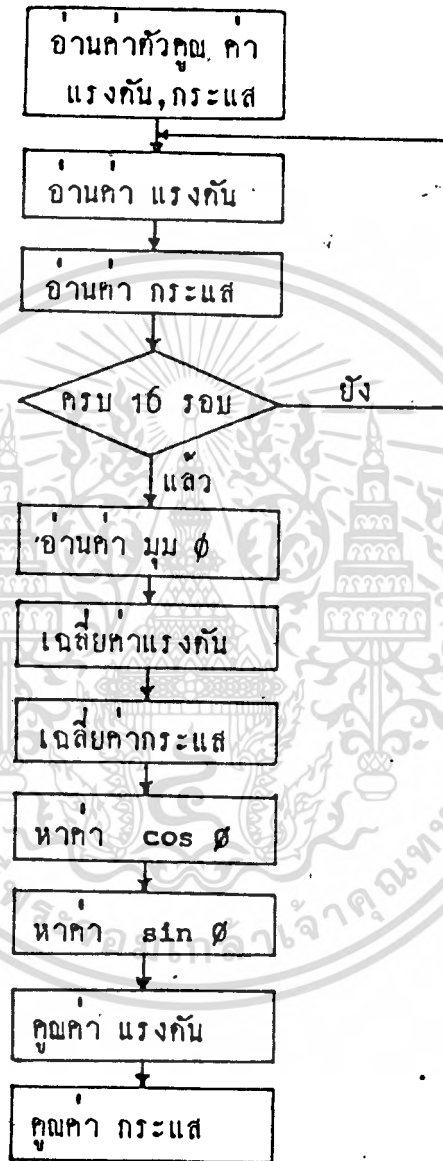
รูปที่ 2.3.9 วงจร clock ที่ป้อนสู่ ADC 0809

### 2.3.2 การหาค่าขนาดกระแสไฟฟ้า

สัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณในรูปแรงดันไฟฟ้าก็จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรหาค่า อาร์เอ็มเอส แล้วจึงทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ ดิจิตอล เช่น เกี่ยวกับการหาค่าแรงดันไฟฟ้า แต่ใช้ช่องสัญญาณที่ 2 ข้อมูล ดิจิตอล ที่ได้จะถูกส่งเข้าสายสัญญาณข้อมูลของระบบ ไมโครโปรเซสเซอร์ เช่นกัน

การสั่งให้ ไอซี เบอร์ 0809 ทำการเปลี่ยนสัญญาณและส่งข้อมูลนั้น จะกระทำโดย ไมโครโปรเซสเซอร์ ตามที่โค้โปรแกรมเอาไว้

ขั้นตอนการทำงานของ ไมโครโปรเซสเซอร์ ในการอ่านค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และมุม  $\phi$



รูปที่ 2.3.10

ในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จะทำการอ่านอย่างละ 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้น สำหรับค่ามุม  $\phi$  นั้นก็สามารถหาค่าเฉลี่ยได้เช่นกัน แต่ในเครื่องต้นแบบไม่ได้ทำได้ เพราะไม่ต้องการให้เสียเวลา เนื่องจากการอ่านค่ามุม  $\phi$  แต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 0.02 วินาที ถ้าทำ 10 ครั้ง ก็จะเสียเวลา 0.2 วินาที ทำให้การทำงานในแต่ละรอบนานขึ้น แต่ก็ไม่ใช่จะเป็นผลเสียมากนัก อีกประการหนึ่งคือ ค่ามุม  $\phi$  นั้น เมื่อนำไปหาค่า  $\cos \phi$  ไม่ได้ใช้เศษทศนิยมของมุม ดังนั้นค่าทศนิยมที่จะได้จากการเฉลี่ยจะไม่ให้ประโยชน์อะไร ส่วนค่าจำนวนเต็มของมุม  $\phi$  จะได้ค่าประมาณเท่าๆ กันจึงไม่ค่อยมีผลเท่าใดนัก

นอกจากหาค่า  $\cos \phi$  แล้ว สองขั้นตอนสุดท้าย คือ การดูค่าคงที่กับค่าที่อ่านได้เพื่อให้ได้ค่าเท่ากับขนาดจริงภายหลังจากที่ลดขนาดของสัญญาณลงมาแล้วด้วย พีที และ ซีที โดยที่ค่าคงที่คือค่าพิคคัลสัญญาณของอุปกรณ์ที่ใช่คือ พีที และ ซีที อาจจะไม่เท่ากับอัตราส่วนที่ลดลงของขนาดสัญญาณก็ได้ การปรับแต่งจะทำการปรับที่วงจรถือ ปรับอัตราขยายสัญญาณ ถ้าอุปกรณ์ลดขนาดสัญญาณลดขนาดลงมากเกินไปและปรับอัตราลดทอนสัญญาณถ้าอุปกรณ์ลดขนาดสัญญาณลดขนาดลงมาน้อยเกินไป

### 2.3.3 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

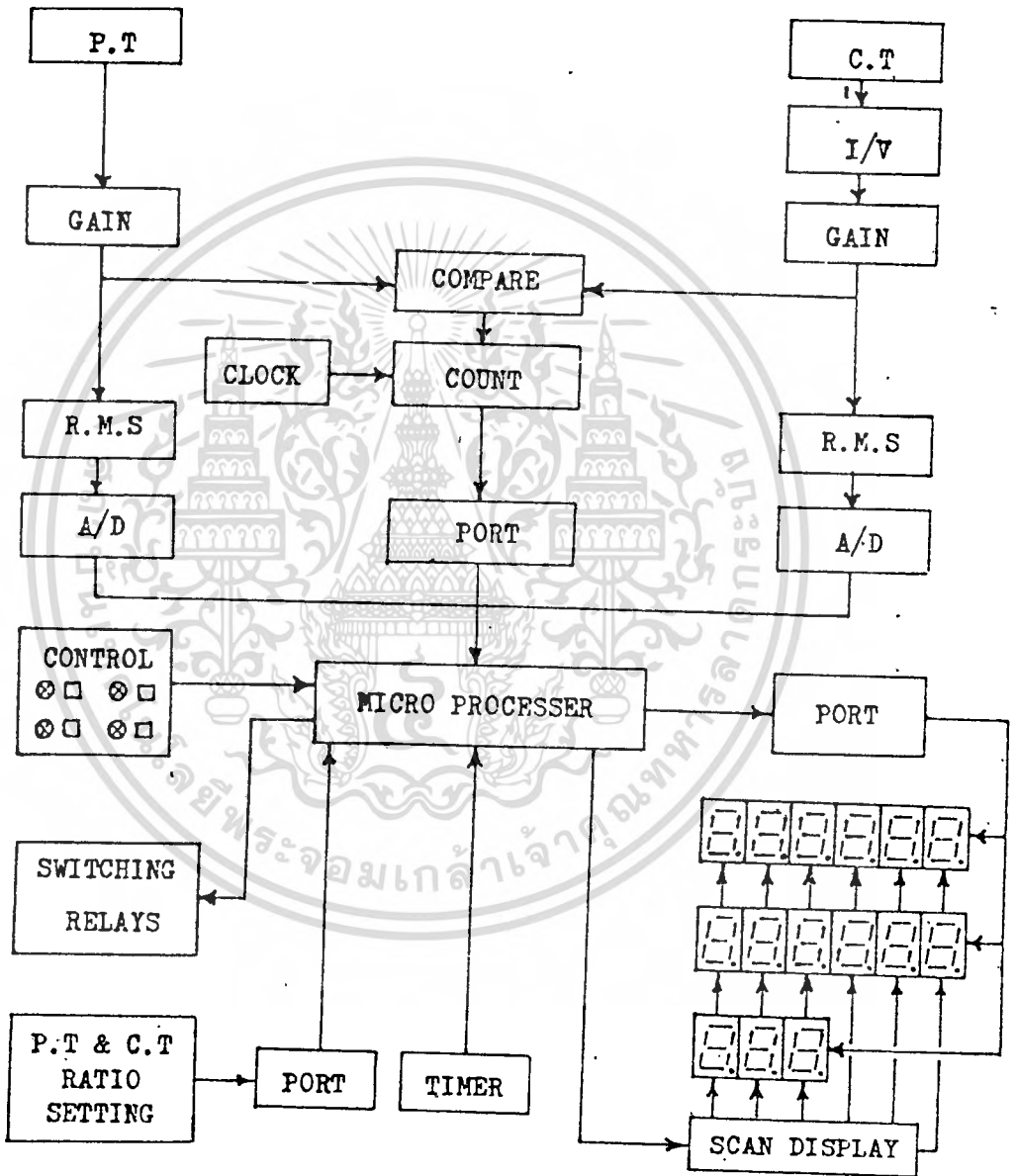
ในการคำนวณหาค่า กำลังไฟฟ้านั้น เราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลตามโปรแกรมที่สร้างไว้ โดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้ในตอนต้น คือค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

ค่าที่ได้จะถูกนำไปแสดงผลต่อไป

### 2.3.4 ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของวงจร

ส่วนที่สำคัญที่สุดของวงจรอีกส่วน คือ วงจรที่ใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด ซึ่งก็คือ วงจรของระบบไมโครโปรเซสเซอร์นั่นเอง วงจรนี้ค่อนข้างซับซ้อนและยากแก่การอธิบายให้เข้าใจได้ในช่วงเวลาอันสั้น ดังนั้นจึงไม่กล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบวงจรส่วนนี้ แต่จะอธิบายถึงหน้าที่และความสัมพันธ์กับวงจรอื่นๆ ก็แสดงในรูปแบบ



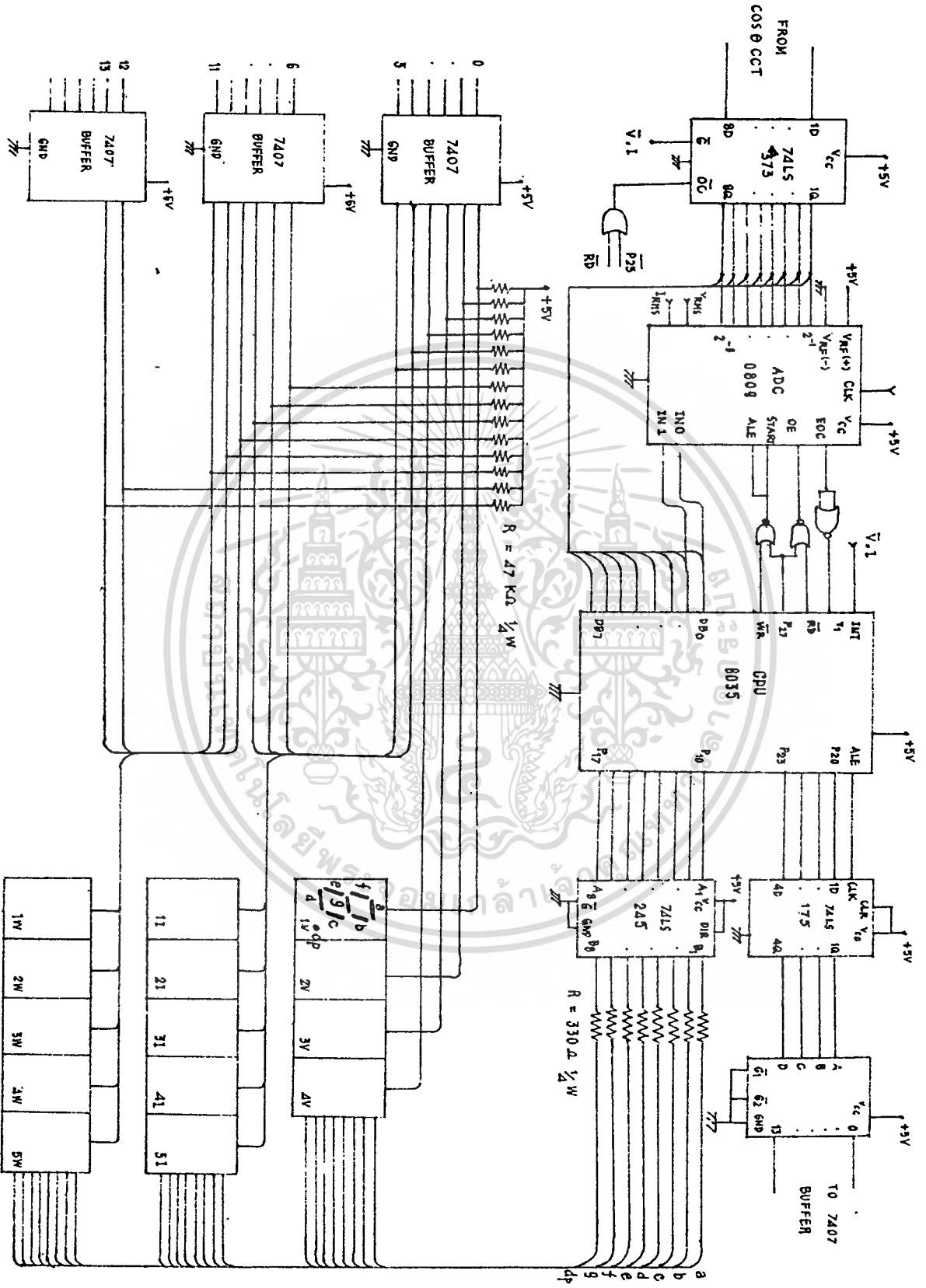
รูปที่ 2.3.11 รูปแสดงการต่อไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3.13 จะเห็นว่าส่วนต่างๆ ของวงจรจะถูกโยงเข้าหาไมโครโปร-  
เซสเซอร์ทั้งสิ้น ซึ่งหน้าที่ของไมโครโปรเซสเซอร์จะมีดังนี้

สัญญาณแรงดันไฟฟ้า เมื่อถูกลดขนาดของสัญญาณลงแล้วก็ถูกนำไปหาค่า อาร์-  
เอ็มเอส แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบ คิจิกอด ส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ ให้เก็บข้อมูลไว้  
สัญญาณกระแสไฟเช่นกัน เมื่อถูกลดขนาดลงแล้วก็เปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า นำไปหาค่า  
อาร์เอ็มเอส แปลงให้เป็นข้อมูล คิจิกอด ให้ไมโครโปรเซสเซอร์เก็บค่าไว้ สัญญาณแรงดัน  
ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าถูกนำไปเปรียบเทียบหาค่าความมเพสที่แตกต่างกัน แล้วส่งค่าความมเพสที่ได้  
ไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์เก็บไว้อีกเช่นกัน จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ไมโครโปรเซสเซอร์รับไป  
นั้น เป็นข้อมูลของสัญญาณที่ถูกลดขนาดลงแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์จึงต้องหาข้อมูลเพิ่มเติม โดย  
นำข้อมูลมาจากส่วน C.T & P.T ratio setting เพื่อนำมาคูณข้อมูลที่ได้อีกค่าขนาดที่  
แท้จริงของสัญญาณ แก่ค่าที่ได้จากนิพจน์ภาคโคเน็องจากอุปกรณ์ต่างๆ มีความผิดพลาด จึงต้อง  
ปรับแก้วงจร GAIN ทั้งของทางค่านแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง  
เมื่อทำการคูณข้อมูลปรับแก้วงจรแล้ว ก็จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ในการหาค่าขนาด  
แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จะทำทั้งหมด 16 รอบ แล้วหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 16 ครั้ง  
มาเป็นค่าที่ของถาวร การวัดความมเพสแตกต่างจะทำเพียงครั้งเดียว การหาค่า  $\cos \phi$  และ  
 $\sin \phi$  นั้น จะให้โปรแกรมทำการหาจากข้อมูลของมุม  $\phi$  แล้วนำไปคำนวณหาค่าวัคค์ หลัง  
จากนั้นจะนำข้อมูลที่ไค้ทั้งหมดไปเปลี่ยนเป็นข้อมูลที่จะใช้กับภาคแสดงผล คือ แปลงให้เป็น  
7 - segment code นั้นเอง

ส่วนลักษณะวงจรของไมโครโปรเซสเซอร์ 8035 ใค้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3.13  
และวงจรที่แสดงถึงการค่อหน่วยความจำเพิ่มให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ รูปที่ 2.3.14



รูป 2.3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 3

## การคำนวณและการสร้าง

## 3.1 การออกแบบหม้อแปลงตัวที่หนึ่ง

ในการออกแบบขั้นแรกทดลองให้ใช้เป็นแบบหม้อแปลงกระแส โดยทางคานเอาชุด  
ทองการกระแส 2,000 แอมป์ และพันขดลวด 3 รอบ เพราะฉะนั้นจะได้

$$\begin{aligned} \text{แรงเคลื่อนแม่เหล็ก mmf} &= NI \\ &= 3 \times 2,000 = 6,000 \text{ แอมป์-รอบ} \end{aligned}$$

และออกแบบให้หม้อแปลงมีช่องอากาศด้วย ซึ่งจะคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad NI &= Hl \\ &= \frac{B_l}{\mu} \quad (B = \mu H) \end{aligned}$$

$$\text{กรณีมีช่องอากาศ} \quad NI = \frac{Bg}{\mu_0}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 6,000 = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} * g$$

$$g = 7.54 \text{ มิลลิเมตร}$$

คำนวณปริมาตรทองการสัคคาไฟฟ้า 220 โวลต์ กระแส 6 แอมป์ เนื่องจากแรง  
เคลื่อนแม่เหล็กทางคานปริมาตรทองเท่ากับทางคานขุคิยุมิ

$$\text{หาจำนวนรอบ} \quad 6,000 = IN \quad (6)$$

$$N = 1,000 \text{ รอบ}$$

แต่ในการปฏิบัติจะพันขดลวดปริมาตร 1,200 รอบ เพื่อรักษาการสูญเสียทาง  
โดยใช้ขดลวด S.P.G. เบอร์ 16

คานขุคิยุมิมิกระแส 2,000 แอมป์ สัคคาไฟฟ้า 12.5 โวลต์

ใช้  $J = 10$  แอมป์ต่อตารางมิลลิเมตร

เหตุที่ออกแบบให้  $J$  มากขนาดนี้ได้เพราะเราทำการทดสอบเพียงชั่วขณะเท่านั้น

พื้นที่หน้าตัดของขดลวด  $\frac{2,000}{10} = 200$  ตารางมิลลิเมตร เลือกใช้ลวดแบนขนาด

$2.7 \times 14$  ตารางมิลลิเมตร จำนวน 6 เส้นต่อขนานกัน จะได้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด =  $2.7 \times 1.4 \times 6 = 226.8$  ตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า 200 ตารางมิลลิเมตร สรุปว่าใช้ได้

### หาความหนาของแกนเหล็ก

จากสูตร  $E = 4.44 f N B A$

โดย  $E = 220$  โวลต์

$f = 50$  เฮิรตซ์

$N = 1,200$  รอบ

$B = 2$  เทสลา เพื่อให้หม้อแปลงอิ่มตัว

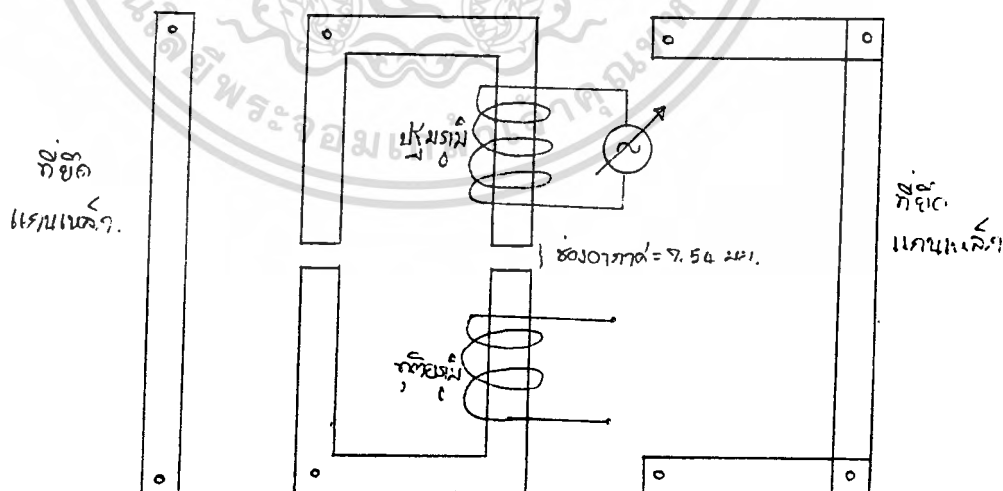
$A = 3.7 \times d$  ตารางเมตร

$d =$  ความหนาของแกนเหล็ก

แทนค่า  $220 = 4.44 \times 50 \times 1,200 \times 2 \times 3.7 \times d$

$d = 1.5$  ซม.

∴ จะทำ Bobbin ขนาด  $3.7 \times 1.5$  ตารางเซนติเมตร



รูป 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เมื่อนำหม้อแปลงมาทดสอบได้ผลดังนี้

INPUT		OUTPUT	
V(Volt)	I (Amp)	V(Volt)	I (Amp)
60	1.2	0.075	90
80	1.4	0.102	110
106	1.6	0.150	130
127	1.8	0.181	150
137	2.0	0.200	170
160	2.2	0.238	190
167	2.6	0.258	210
182	3.0	0.27	220

จากผลการทดสอบเอาชุดที่ได้ทั้งสัปดาห์ไฟฟ้า และกระแสมีค่าต่ำมาก จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ออกมามีค่าต่ำด้วย ซึ่งใช้ทดสอบแกนเหล็กได้เฉพาะมอเตอร์ขนาดเล็กๆ เท่านั้น ไม่ได้ความจุประสงค์ที่กองการ เพราะฉะนั้นหม้อแปลงกระแสตัวนี้จึงใช้ไม่ได้

### 3.2 การออกแบบหม้อแปลงตัวที่สองแบบ CORE TYPE

#### พิจารณาจากคุณสมบัติ

ต้องการสัปดาห์ไฟฟ้าสูงๆ 220 โวลต์ กระแส 20 แอมป์

#### หาจำนวนรอบของขดลวด

จากสูตร  $E = 4.44 fNBAS$

$E = 220$  โวลต์

$f = 50$  เฮิรตซ์

$B = 1.2$  เทสลา

$A = 8 \times 8 \times 10^{-4}$  ตร.ม.

$$s = 0.95$$

$$\text{แทนค่า } 220 = 4.44 \times 50 \times N \times 1.2 \times 8 \times 8 \times 10^{-4} \times 0.95$$

$$N = 135 \text{ รอบ}$$

แต่ในการปฏิบัติพันชดสวค 120 รอบ โดยพันค้านละ 60 รอบ แล้วนำมาทำต่อ  
อนุกรมกัน โดยใช้ลวดเบอร์ 11 S.P.G. และพันชดสวคปฐมภูมิไว้ค้านใน

### พิจารณาค้านทุติยภูมิ

ต้องการตัดคาไฟฟ้าสูงสุด 15 โวลต์ กระแส 2,000 แอมป์

### หาจำนวนรอบของชดสวค

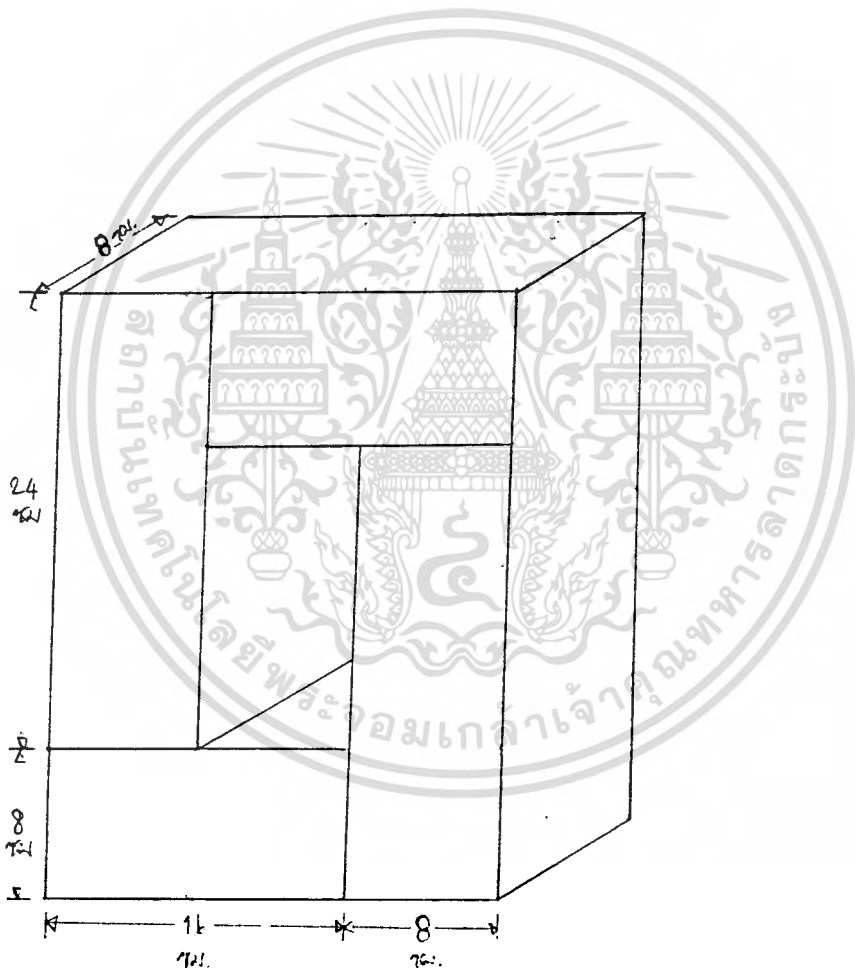
$$\text{จากสูตร } E = 4.44 f N B A S$$

$$\text{แทนค่า } 15 = 4.44 \times 50 \times N \times 1.2 \times 8 \times 8 \times 10^{-4} \times 0.95$$

$$N = 9.3 \text{ รอบ}$$

ในการปฏิบัติพันชดสวค 10 รอบ โดยแบ่งพันค้านละ 5 รอบ โดยใช้ลวดแบน  
ขนาด 2.7 14 ตร.มม. ขนาดกัน 7 เส้นเหมือนหม้อแปลงตัวแรกแต่ขนาดเพิ่มขึ้นอีก 1 ชั้น  
เพื่อความสามารถในการรับกระแสค้ชั้น และปลอกกั๊ยชั้น และพันห้บชดสวคปฐมภูมิ

$$\text{ขนาดของ Bobbin} = 8 \times 8 \text{ ตร.ซม.}$$

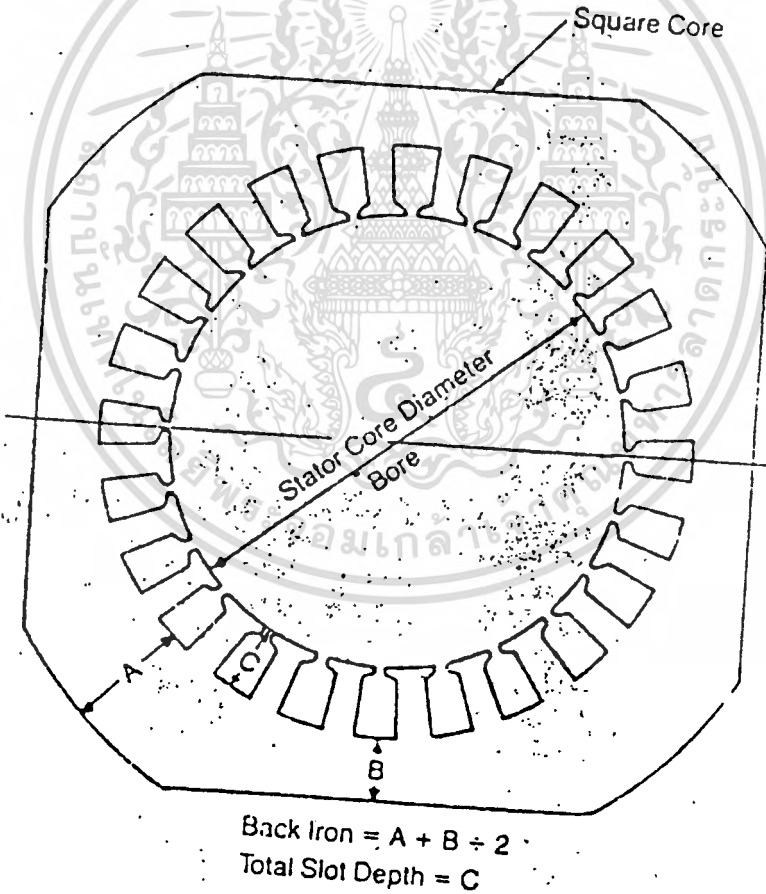


รูป 3.2

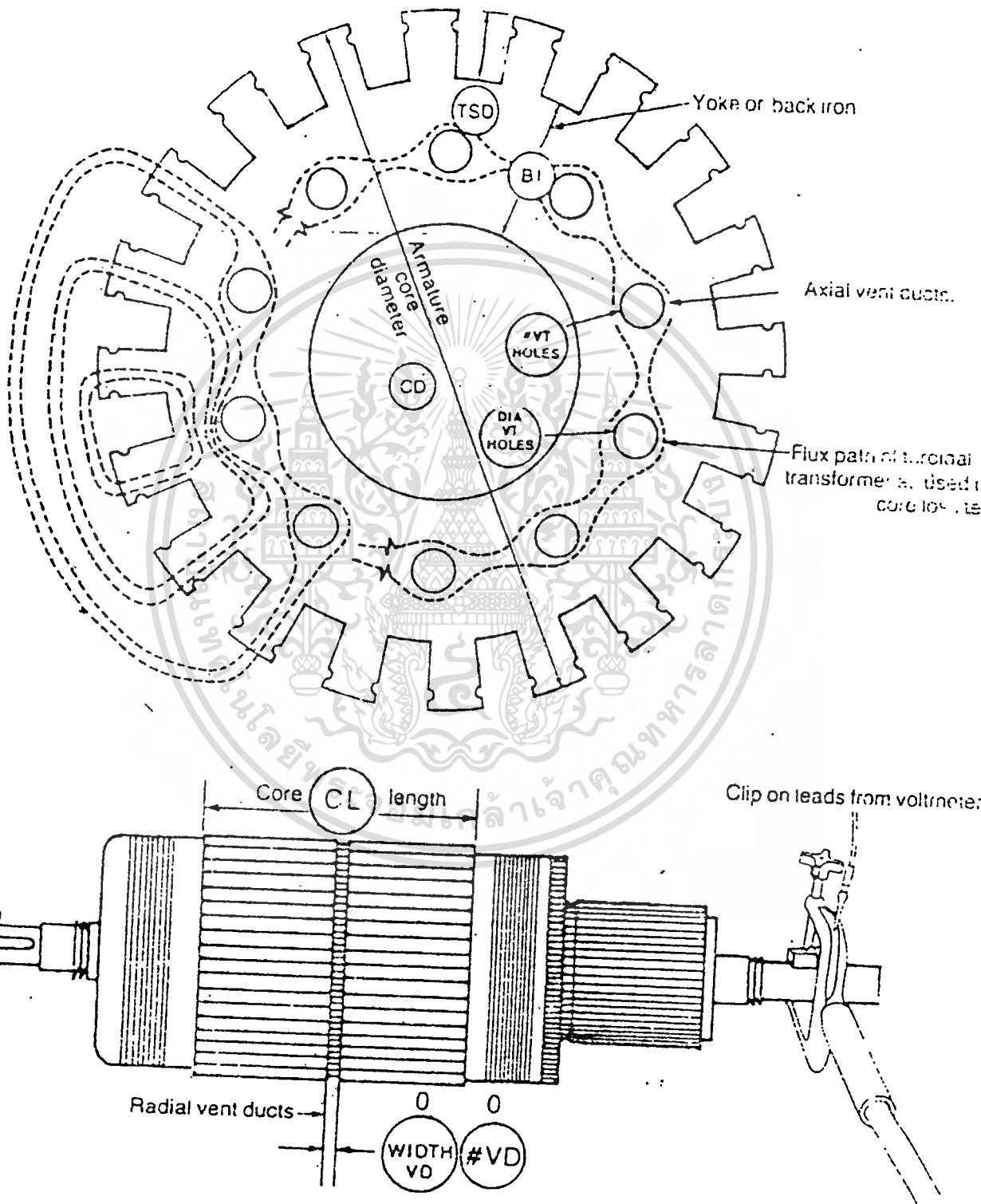
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบโปรแกรมประมวลผลหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเพื่อการเปรียบเทียบ

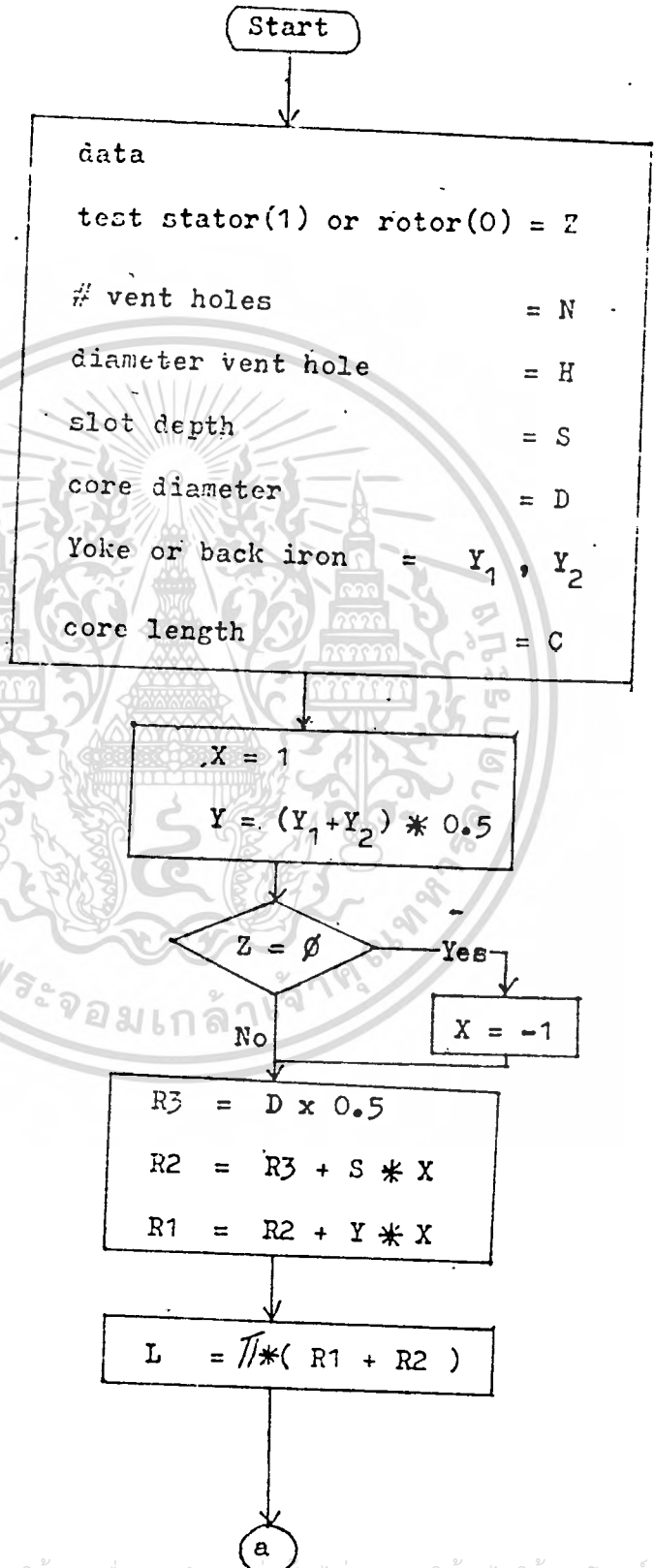
โปรแกรมนี้จะรวมการคำนวณหาปริมาณของแกนเหล็ก จากการป้อนข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดส่วนต่างๆ ของแกนเหล็กดังนี้.



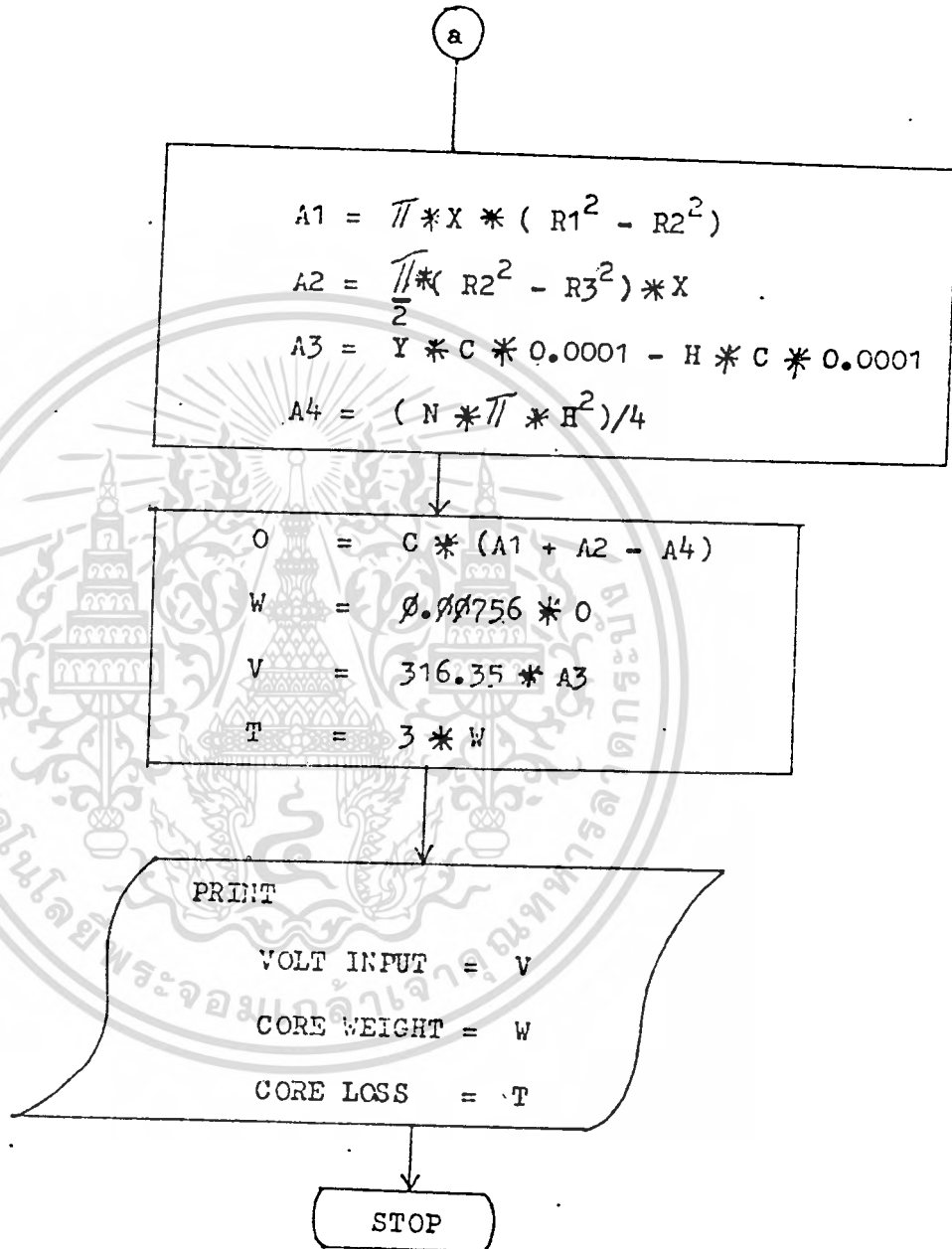
รูป 2.3 แสดงถึงการวัดส่วนต่างๆของ STATOR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูป 3.4 แสดงถึงการวัดสวนต่างๆของ ROTOR  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โปรแกรมประมวลผลาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กที่เป็นค่าเปรียบเทียบ และหาค่าแรงกับ  
 โปรแกรมที่ลงงานก่อนนี้ เต็มที่ โดยให้เครื่อง PERSONAL COMPUTER ของ  
 CASIO รุ่น FX - 750 P

```

5  INPUT " STATOR(1) OR ROTOR(Ø) = " ; Z
6  INPUT " # VT HOLES = " ; N
7  INPUT " DIA VT HOLE = " ; H
1Ø INPUT " SLOT DEPTH = " ; S
2Ø INPUT " CORE DIA = " ; D
3Ø INPUT " YOKE OUTSIDE = " ; Y1
4Ø INPUT " YOKE INSIDE = " ; Y2
5Ø INPUT " CORE LENGTH = " ; C
55  X = 1
6Ø Y = ( Y1 + Y2 ) * .5
65  IF Z = Ø THEN X = -1
7Ø R3 = D * .5
75  R2 = R3 + S * X
8Ø R1 = R2 + Y * X
85  L = PI * ( R1 + R2 )
9Ø A1 = PI * ( R12 - R22 ) * X
95  A2 = PI * .5 * ( R22 - R32 ) * X

```

$$170 \quad A3 = Y * C * \phi.7771 - H * C * \phi.0001$$

$$185 \quad A4 = (N * \pi * H^2) / 4$$

$$110 \quad O = C * (A1 + A2 - A4)$$

$$115 \quad W = O * .00765$$

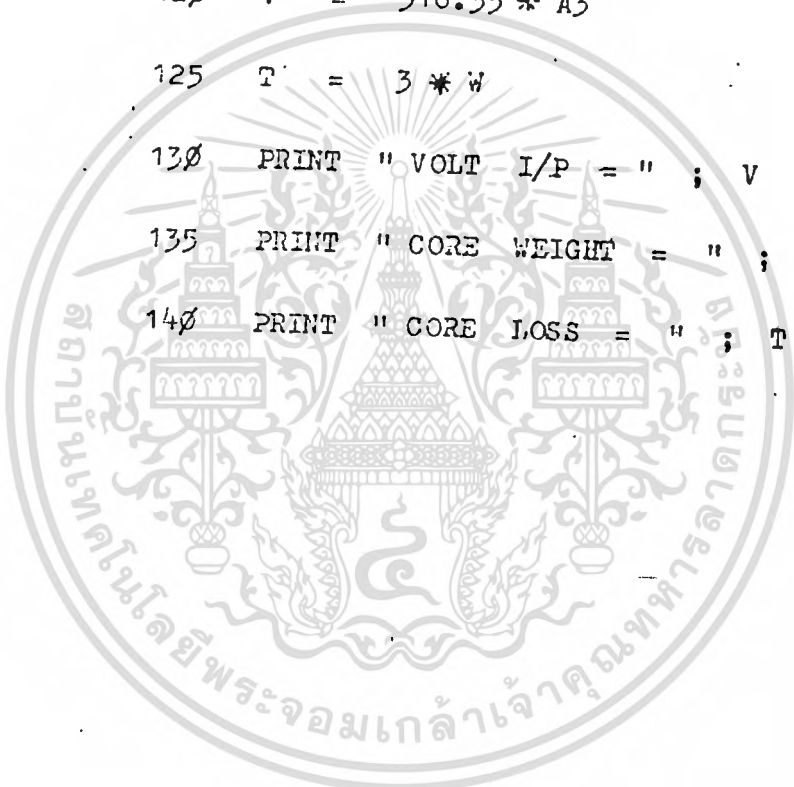
$$120 \quad V = 316.35 * A3$$

$$125 \quad T = 3 * W$$

130 PRINT " VOLT I/P = " ; V

135 PRINT " CORE WEIGHT = " ; W

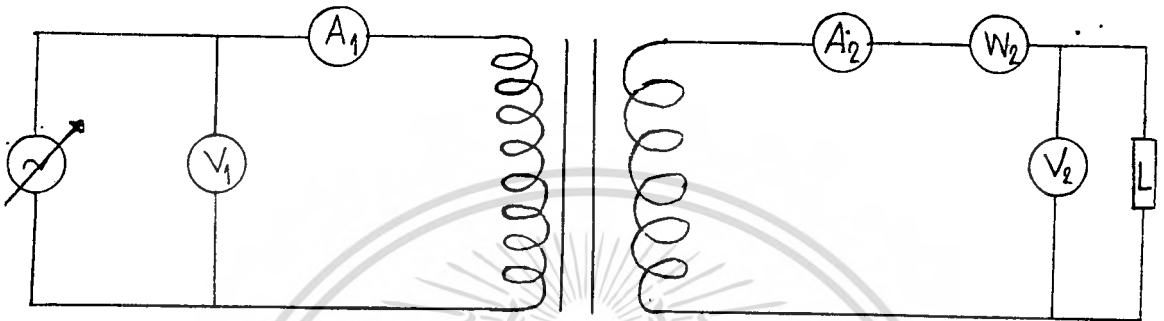
140 PRINT " CORE LOSS = " ; T



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง



รูป 4.1 วงจรการทดลอง

ใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า ( Variac ) ปรับแรงดันไฟฟ้าทางก้านอินพุทของหม้อแปลงเพื่อให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุท ณ. จุดที่เราได้คำนวณค่าไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วเราก็ทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าทางก้านปรัมภูมิของหม้อแปลง, แรงดันไฟฟ้าทางก้านหุติยภูมิของหม้อแปลง กระแสทางก้านปรัมภูมิของหม้อแปลง, กระแสทางก้านหุติยภูมิของหม้อแปลง, ค่าความสูญเสียของโหลด ( Load ) โดยโหลดอาจเป็นสเตรเตอร์โรเตอร์ หรืออาร์มาเจอร์ก็ได้ แต่ในที่นี้ใช้โหลดสเตรเตอร์

#### 4.2 ผลการทดลอง

##### 4.2.1 สเตรเตอร์ 1

Core length	(C)	6.1	cm.
Back iron	(Y)	1.2	cm.
Core diameter	(D)	7.97	cm.
Slot depth	(S)	1.43	cm.
Induce Voltage	(V)	0.23	Volt
Weight	(W)	3.10	Kg.
Core loss	(T)	9.31	Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตาราง 4.1 บันทึกผลของสเตเตอร์ 1

Vpri (Volt)	Ipri (A)	Vsec (Volt)	Isec (A)	Power(W)
2	2	0.07	22	1.5
4	4	0.15	48	7.0
6	6	0.23	70	14
7	8	0.25	90	22.3
8	10	0.31	110	33.6
10	12	0.36	140	50.0
12	14	0.45	150	66.8
14	16	0.53	190	99.7
16	18	0.55	200	109
17	20	0.60	225	133.7

### 4.2.2 สเตเตอร์ 2

Core length	(C)	5.89	cm.
Back iron	(Y)	1.39	cm.
Core diameter	(D)	8.48	cm.
Slot depth	(S)	1.33	cm.
Induce Voltage	(V)	0.38	Volt
Weight	(W)	3.39	Kg.
Core loss	(T)	10.17	Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 บันทึกผลของสเคเทออร์ 2

Vpri (Volt)	Ipri (A)	Vsec (Volt)	Isec (A)	Power (W)
2	2	0.06	25	1.5
3	4	0.15	48	7.1
5	6	0.29	70	20.1
8	8	0.40	95	37.6
11	10	0.46	120	54.6
12	12	0.51	140	70.7
14	14	0.56	170	94.2
15	16	0.61	190	114.7
17	18	0.66	215	140.5
18	20	0.70	240	166.3

4.2.3 สเคเทออร์ 3

Core length	(C)	7.37	cm.
Back iron	(Y)	1.13	cm.
Corn diameter	(D)	8.22	cm.
Slot depth	(S)	1.35	cm.
Induce Voltage	(V)	0.42	Volt
Weight	(W)	3.56	Kg.
Core loss		10.67	Watts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 มัณเฑาะว์ของสเตรเตอร์ 3

Vpri (Volt)	Ipri (A)	Vsec (Volt)	Isec (A)	Power (W)
1	2	0.06	22	1.3
2	4	0.14	50	7.0
4	6	0.23	70	16
6	8	0.32	95	30.1
10	10	0.42	122	50.7
12	12	0.48	150	71.3
14	14	0.55	170	92.4
16	16	0.58	185	106.2
17	18	0.64	215	136.2
18	20	0.68	240	161.6

Vpri = แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางคานปฐมภูมิ

Vsec = แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางคานทุติยภูมิ

Ipri = กระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงทางคานปฐมภูมิ

Isec = กระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงทางคานทุติยภูมิ

Power = กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่แกนเหล็กหดรอบ

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 5.1 บทวิจารณ์

1. มิเตอร์ที่วัดทางต้านหุติยภูมิเป็นคิจิตรลมิเตอร์ที่สร้างขึ้นมา สำหรับใช้ติดกับเครื่องตรวจสอบรูปหารแกนเหล็ก ส่วนมิเตอร์ที่วัดทางต้านปฐมภูมิเป็นโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์แบบเข็ม
2. เนื่องจากหลอดแคงทางต้านปฐมภูมิออกแบบไว้รับกระแสไม่เกิน 20 แอมป์ จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าทางต้านหุติยภูมิมีค่าน้อย เราจึงไม่สามารถใช้เครื่องที่กับการทดสอบแกนเหล็กของเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ได้
3. การพันขดลวดหุติยภูมิเนื่องจากต้องใช้ลวดแบน 2.7 14 ตารางมิลลิเมตร ขนาดกัน 7 เส้น และพันกันละ 5 รอบ แล้วจึงจะค่ออนุกรมกันเป็น 10 รอบ โดยการเชื่อมต่อกับบัสบาร์ ( Bus Bar ) โดยใช้แก๊สเชื่อมซึ่งต้องระมัดระวังอย่างมากเพราะในการเชื่อมมีความร้อนสูงมากอาจทำให้หลอดแคงเสื่อมคุณภาพจึงต้องทำการระบายความร้อนโดยใช้น้ำชุบน้ำพันไว้เมื่อเชื่อมเสร็จแล้วก็นำมาอบอีกทีหนึ่งเพื่อไล่ความชื้น

#### 5.2 สรุปผลการทดลอง

1. สำหรับโวลต์มิเตอร์ 1 ค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กที่คำนวณได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์มีค่าประมาณ 9.13 และค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กที่อ่านจากการวัดได้ประมาณ 14 วัตต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันจึงสรุปว่าแกนเหล็กของมอเตอร์ 1 นี้ยังสามารถใช้งานได้หนึ่งเป็นไปตามความจริง เพราะเป็นมอเตอร์ที่จะนำไปพันขดลวดใหม่
2. สำหรับมอเตอร์ 2 ค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กที่คำนวณได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์มีค่าประมาณ 10.17 วัตต์ แต่ค่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กที่อ่านจากการวัดได้ประมาณ 37.6 วัตต์ ซึ่งมีค่ามากกว่ากันมาก จึงสรุปว่าแกนเหล็กของมอเตอร์ 2 เสื่อมคุณภาพแล้วไม่ควรนำมาใช้อีก เช่นเดียวกับมอเตอร์ 3 (จากการคำนวณ 10.67 วัตต์, จากการวัด 50.7 วัตต์) ซึ่งมอเตอร์ 2 และ มอเตอร์ 3 เป็นมอเตอร์ที่ทิ้งแล้วเพราะใช้ไม่ได้

### กติกกรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงว่งไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางความรู้ และแนวทางในการแก้ไข้ปัญหา และขอขอบคูนเพื่อนักศึกษาที่มีส่วนให้กำลังใจ คำแนะนำ ตลอดจนอุปกรณ และเครื่องมือในการทำโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. โจจิ โอฮาม่า, "อุปกรณ์รับและจ่ายไฟสำหรับโรงงาน และอาคารขนาดใหญ่", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 195 หน้า, 2527
2. วิทยานินทร์, "เครื่องตรวจสอบคุณภาพแกนเหล็ก", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 51 หน้า, 2529
3. วิทยานินทร์, "เครื่องแสดงผลทางไฟฟ้า", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 70 หน้า, 2529
4. วิทยานินทร์, "อุปกรณ์แก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัตโนมัติ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 60 หน้า, 2529
5. John Markus, "Modern Electronic Circuit Reterener Manaul", McGRAW-HILL, 1238 หน้า, 1980
6. National Semiconductor, "Linear Data Book", CORTORATION, 1,000 หน้า, 1982
7. National Semiconductor, "Microprocessor Data Book", SEED, 753 หน้า, 1986
8. National Semiconductro, "Ship Support And Memory Data Book", SEED, 605 หน้า, 1986