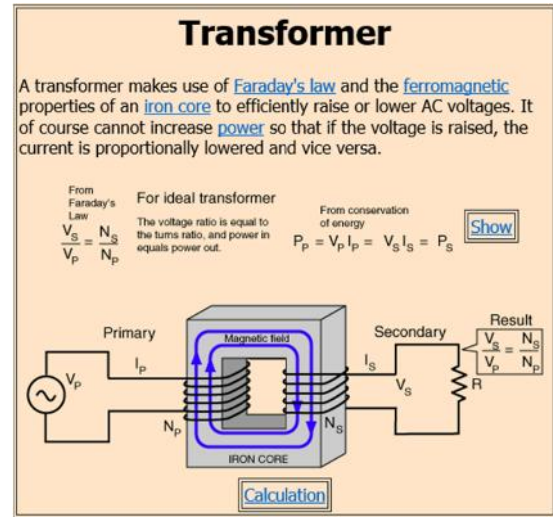


# บทที่ 2

## การคำนวณ หม้อแปลงไฟฟ้า



### วัตถุประสงค์

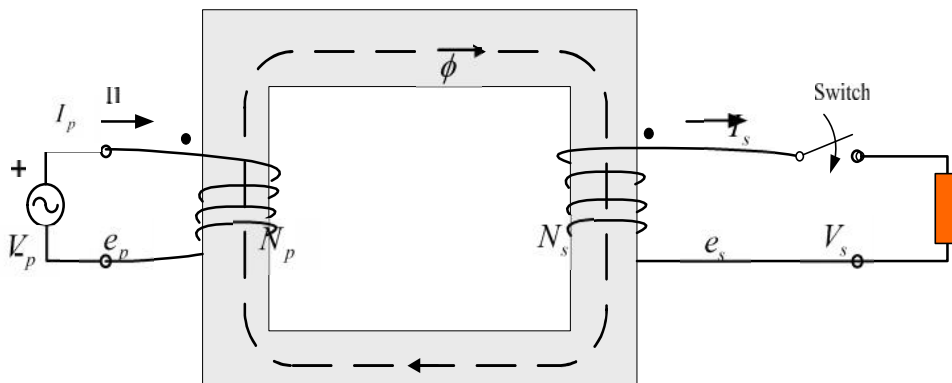
1. บอกความสัมพันธ์ของสมการของหม้อแปลงไฟฟ้าได้
2. คำนวณวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ และในทางปฏิบัติได้
3. คำนวณประสิทธิภาพและกำลังสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าได้

### 3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าในทางอุดมคติ

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ (Ideal Transformer) ด้วยเงื่อนไข 3 ประการดังนี้

1. ไม่พิจารณาค่าความต้านทานของขดลวด
2. ไม่พิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล และความสูญเสียในแกนเหล็ก
3. กำหนดให้ค่าความซึมซาบของแกนเหล็กมีค่าสูงสุด

เมื่อพิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าในทางอุดมคติดังรูปที่ 2-1 เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) และแรงดันไฟฟ้าต้านปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 2-1 พบว่าแรงดันต้านปฏิกิริยาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเวลาเช่นกัน เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งในแกนเหล็กมีค่าเท่ากัน เมื่อแรงดันต้านปฏิกิริยาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กดังสมการที่ 2-2



**รูปที่ 2-1** วงจรหม้อแปลงไฟฟ้าในทางอุดมคติ

โปรแกรมช่วยคำนวณ คลิกที่นี่ : <http://hyperphysics.phy-str.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html>

$$V_p = e_p = N_p \frac{dw}{dt} \tag{2-1}$$

$$V_s = e_s = N_s \frac{dw}{dt} \tag{2-2}$$

**เมื่อ**

$V_p$  = แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$V_s$  = แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$e_p$  = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิ

$e_s$  = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิ

$I_p$  = กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$I_s$  = กระแสไฟฟ้าด้านไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$N_p$  = จำนวนรอบของตัวนำด้านปฐมภูมิ

$N_s$  = จำนวนรอบของตัวนำด้านทุติยภูมิ

$w$  = เส้นแรงแม่เหล็ก

จากสมการที่ 2-1 และ 2-2 จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2-3 เรียกว่าอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า (Turn ratio,  $a$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2-3)$$

ผลรวมแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า(mmf) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ ( $mmf_p = I_p N_p$ ) คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ และ คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ( $mmf_s = I_s N_s$ ) จากความสัมพันธ์นี้แสดงได้ดังสมการที่ 2-4

$$\sum mmf = 0 \quad (2-4)$$

$$mmf_p + mmf_s = 0 \quad (2-5)$$

เมื่อแทนค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางต้นปฐมภูมิและทุติยภูมิในสมการที่ 2-5 จะได้ สัดส่วนของกระแสไฟฟ้ากับจำนวนรอบขดลวดดังสมการที่ 2-6 และ 2-7

$$I_p N_p = I_s N_s$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2-6)$$

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2-7)$$

**ตัวอย่างที่ 2-1** หม้อแปลงไฟฟ้ามีขดลวดด้านปฐมภูมิจำนวน 230 รอบ รับแรงดัน 380 V และมีขดลวดด้านทุติยภูมิจำนวน 450 รอบ และหม้อแปลงไฟฟ้านี้จ่ายกระแสให้กับโหลด 10 A จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

- ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ข. แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ
- ค. กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

### วิธีทำ

ก. จากสมการอัตราส่วนของหม้อแปลง

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{200}{450} = 0.44$$

ข. หาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากสมการที่ 2-3

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$V_s = \frac{V_p}{a} = \frac{230}{0.44} = 522.73 \text{ V}$$

ค. กระแสด้านปฐมภูมิ

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$I_p = \frac{I_s}{a} = \frac{10}{0.44} = 22.73 \text{ A}$$

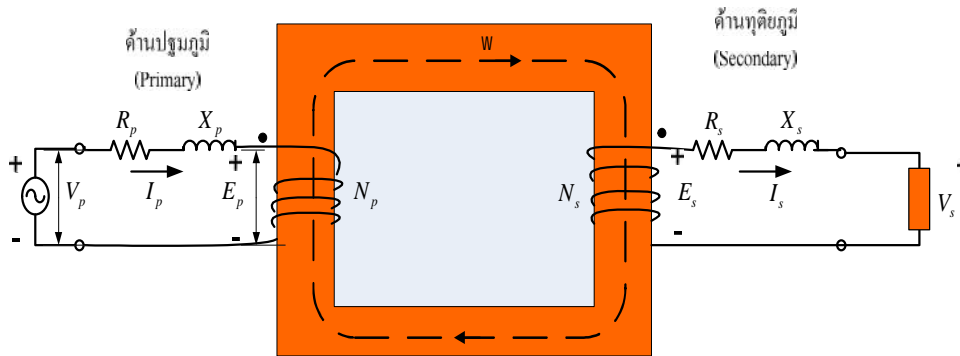
จากตัวอย่าง เมื่อ  $a < 1$  หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบแปลงแรงดันขึ้นและกระแสด้านอินพุตจะมากกว่ากระแสเอาต์พุต

## 2-2 หม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติ

การคำนวณหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ในทางปฏิบัตินี้จะพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทานกับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดทางด้านปฐมภูมิและทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งจะได้สมการของอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2-8

$$\frac{Z_p}{Z_s} = \left( \frac{N_p}{N_s} \right)^2 = a^2 \quad (2-8)$$

เมื่อ  $Z_p =$  อิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิ  $Z_s =$  อิมพีแดนซ์ด้านทุติยภูมิ  
 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิคือผลรวมของค่าความต้านทาน( $R_p$ )ของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ( $X_p$ ) ของขดลวดปฐมภูมิ ดังสมการที่ 2-9 และค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดด้านทุติยภูมิ( $R_s$ ) และ ( $X_s$ ) ดังสมการที่ 2-10



รูปที่ 2-5 วงจรหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติ

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} \quad (2-9)$$

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \quad (2-10)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของหม้อแปลงไฟฟ้าหาได้จากค่าของ โวลต์แอมป์ (VA) ทั้งสองด้านดังสมการที่ 2-11 และสมการที่ 2-12

$$S_p = V_p I_p \quad (2-11)$$

$$S_s = V_s I_s \quad (2-12)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) จะเท่ากับกำลังไฟฟ้าปรากฏคูณกับค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor:  $PF$ ) ของโหลด ดังสมการที่ 2-13

$$P = S \cos \theta \quad (2-13)$$

เมื่อ  $\cos \theta = PF$

**ตัวอย่างที่ 2-2** หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส เป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง มีแรงดันอินพุตเท่ากับ 2300 V แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต 230 V มีพิกัด 750 kVA ใช้กับความถี่ไฟฟ้า 50Hz เมื่อมีค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดดังนี้

$R_p = 0.039 \Omega, X_p = 0.28 \Omega, R_s = 0.00039 \Omega, X_s = 0.0028 \Omega$  เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทำงานที่พิกัดโหลด จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

- ก. กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ
- ข. อิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ
- ค. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ
- ง. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ

### วิธีทำ

ก. หากกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ เมื่อ  $S_p = 750 \text{ kVA}$

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{2300}{230} = 10$$

จะได้ 
$$I_p = \frac{S_p}{V_p} = \frac{750 \times 10^3 \text{ VA}}{2300 \text{ V}} : I_p = 326.1 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิคือ

$$I_s = a I_p = 10 \times 326.1 \text{ A} : I_s = 3261 \text{ A}$$

ข. หาค่าอิมพีแดนซ์  $Z_p$  จกสมการที่

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{(0.093)^2 + (0.28)^2}$$

$$Z_p = 0.295 \ \Omega$$

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = \sqrt{(0.00093)^2 + (0.0028)^2}$$

$$Z_p = 0.00295 \ \Omega$$

ค. หาค่าแรงดันตกคร่อมที่ขดปฐมภูมิ

$$I_p Z_p = (326.1)(0.295) = 96.2 \text{ V}$$

$$I_s Z_s = (3261)(0.00295) = 9.62 \text{ V}$$

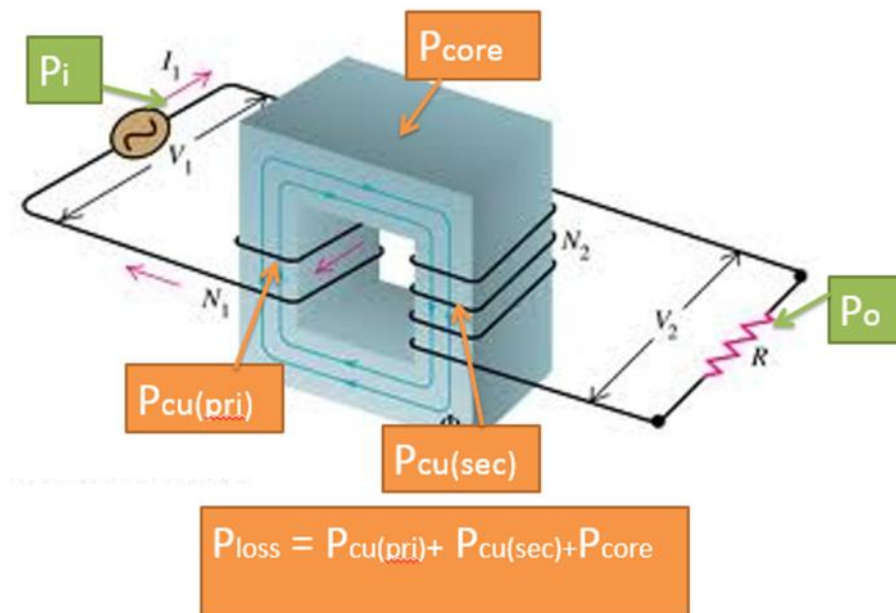
ง. หาค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$E_p = V_p - I_p Z_p = 2300 - 96.2 : E_p = 2204 \text{ V}$$

$$E_s = V_s + I_s Z_s = 230 + 9.62 : E_s = 239.6 \text{ V}$$

### 2-3 ประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Losses) แสดงดังรูปที่ 2-6 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลง 2 ส่วน คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด(Copper losses) ทั้งทางด้านขดลวดปฐมภูมิและขดลวดด้านทุติยภูมิและการกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก(Core losses)



รูปที่ 2-6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

- 1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
  1. กำลังสูญเสียฮิสเตอรีซิส(Hysteresis Loss)
  2. กำลังสูญเสียจากกระแสไหลวน(Eddy Current Loss)
- 2) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) ดังสมการ

$$P_{cu} = I^2 R$$

เมื่อ  $P_{cu}$  = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด



ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า หาได้จากสมการที่ 2-14

$$y = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (2-14)$$

เมื่อ  $P_i$  = กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต และ  $P_o$  = กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต

เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตของหม้อแปลงไฟฟ้าคือผลรวมของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการที่ 2-15

$$P_i = P_o + P_{loss} \quad (2-15)$$

และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงแสดงดังสมการที่ 2-16

$$P_{loss} = P_{core} + P_{cu} \quad (2-16)$$

เมื่อ  $P_{core}$  = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

**ตัวอย่างที่ 2-3** หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส พิกัด 150kVA มีแรงดันไฟฟ้า 2400/240 V ทำการจ่ายให้กับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.8(lagging) เมื่อทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ ขดลวดทั้งสองได้เท่ากับ 1,100 W การสูญเสียที่แกนเหล็กเท่ากับ 150 W จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

- ก. กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต
- ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม
- ค. กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต
- ง. ประสิทธิภาพ

### วิธีทำ

ก. กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต  $P_o$

$$P_o = P = S \cos \theta = 150 \text{ kVA} \times 0.8 : P = 120 \text{ kW}$$

ข. หากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม } P_{loss} &= 1,100 \text{ W} + 150 \text{ W} \\ &= 1.25 \text{ kW} \end{aligned}$$

ค. กำลังไฟฟ้าอินพุต  $P_i$

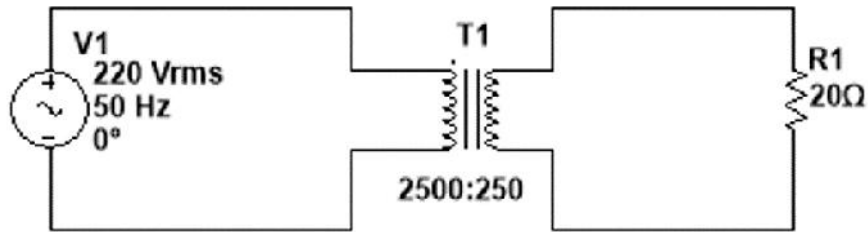
$$\begin{aligned} P_i &= P_o + P_{loss} \\ &= 120 \text{ kW} + 1.25 \text{ kW} = 121.25 \text{ kW} \end{aligned}$$

ง. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{efficiency} &= (P_o/P_i)100\% \\ &= (120 / 121.25) \times 100 = 98.96\% \end{aligned}$$

## แบบฝึกหัดบทที่ 2

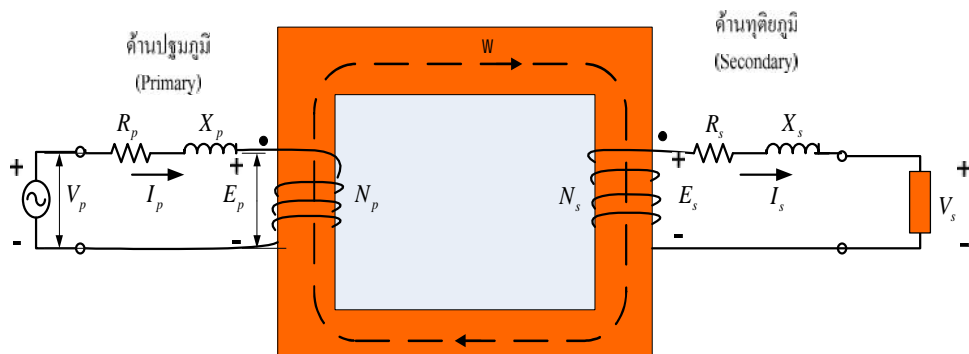
จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว



จากรูปด้านบน ใช้ตอบคำถามข้อ 1-5

1. จำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิเท่ากับ.....รอบ  
 ก. 220      ข. 2500      ค. 250      ง. 20
2. แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ.....V  
 ก. 22      ข. 25      ค. 20      ง. 120
3. กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ.....A  
 ก. 1.1      ข. 110      ค. 10.1      ง. 0.11
4. กำลังไฟฟ้าด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ.....W  
 ก. 22.2      ข. 24.2      ค. 220.0      ง. 25.5
5. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้านี้เท่ากับ.....%  
 ก. 100      ข. 97      ค. 98      ง. 95

จากรูปต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 6-10





12. ความต้านทาน  $R_s = \dots\dots$

ก. 0.62      ข. 0.24      ค. 0.52      ง. 1.04

13. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้านี้เท่ากับร้อยละ .....

ก. 98.2      ข. 94.8      ค. 97.6      ง. 100

