



# หน่วยที่

# 2

## โครงสร้าง และการทำงาน ของหม้อแปลงไฟฟ้า





# หัวข้อเรื่อง

2.1 ขนาดและมาตรฐาน  
ของหม้อแปลงไฟฟ้า



2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดม  
คติและการทำงานเบื้องต้น



2.5 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใน  
การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า



2.2 โครงสร้างและชนิด  
ของหม้อแปลงไฟฟ้า



2.4 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  
อัตราส่วน และพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า



## 2.1

# ขนาดและมาตรฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกแบ่งออกตามขนาดและมาตรฐาน โดยมีพิกัดการใช้งานดังนี้



**2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก** มีขนาดพิกัดไม่เกิน 10 kVA ใช้สำหรับงานที่เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

**2.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดกลาง** มีขนาดพิกัดตั้งแต่ 10 kVA - 1,000 kVA ซึ่งจะใช้กับงานจำหน่ายไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

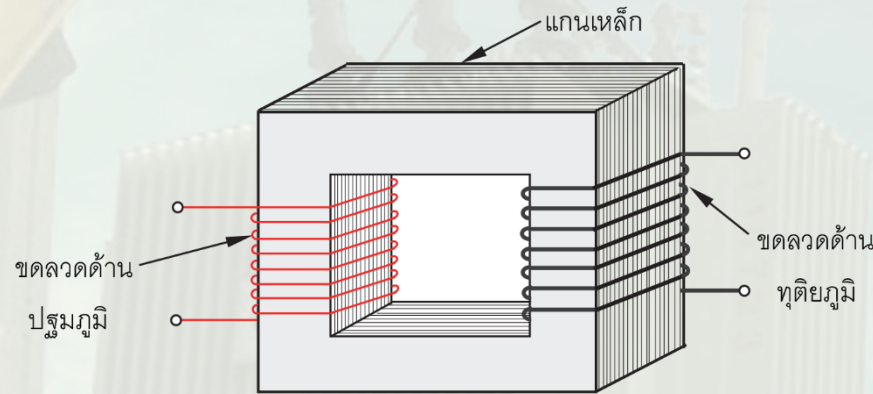


**2.1.3 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่** หรือบางครั้งเรียกว่าหม้อแปลงกำลัง ขนาดพิกัดเกิน 1000 kVA ขึ้นไป จะใช้กับงานจำหน่ายไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่



## 2.2 โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

**2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า** หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน คือ แกนเหล็กและขดลวด ซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น



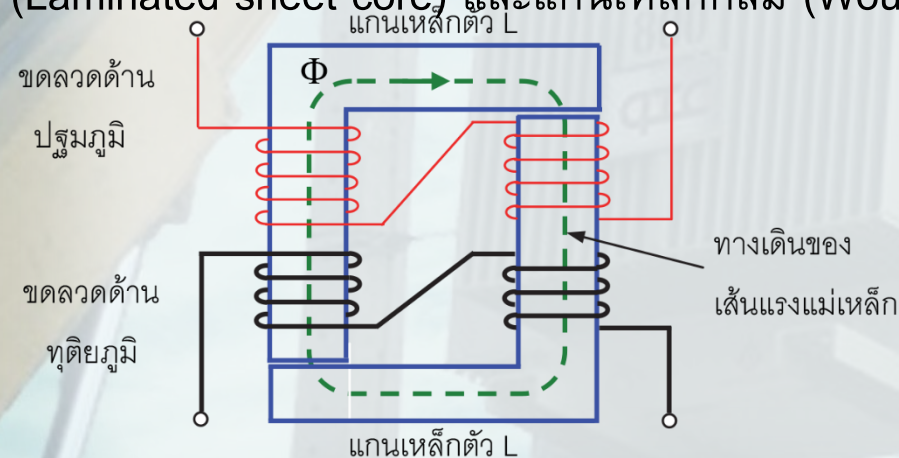
**1. แกนเหล็ก** เหล็กที่ใช้ในการทำแกนหม้อแปลงต้องมีความซาบซึมได้ (Permeability) สูง โดยแกนเหล็กจะต้องมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงถึง 1.35 ถึง 1.55 เวเบอร์/ตารางเมตร และต้องผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ

**2. ขดลวด** ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากจะทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ

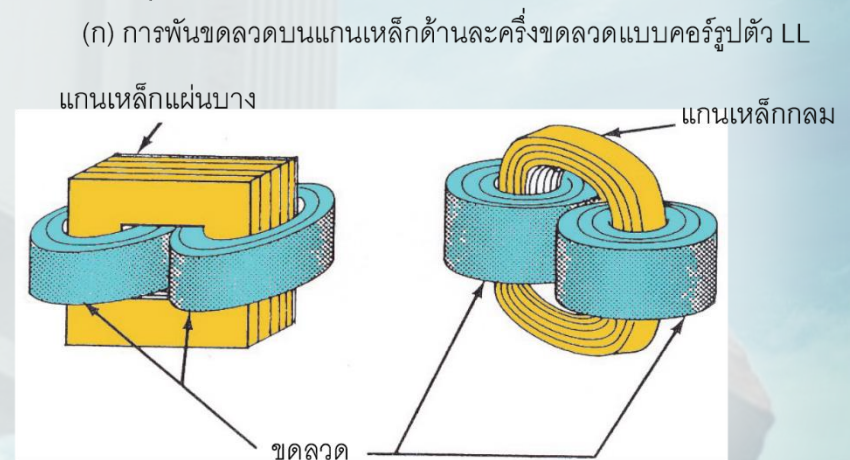
## 2.2.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังนี้

**1. หม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer)** หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ขดลวดจะพันล้อมรอบแกนเหล็กโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ด้านละครึ่งขดลวดของแกนแต่ละข้างดังรูปที่ 2.3 (ก) ทั้งนี้เพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) ไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) ไว้ด้านบนโดยแกนเหล็กที่ใช้มี 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบาง

(Laminated sheet core) และแกนเหล็กกลม (Wound core)



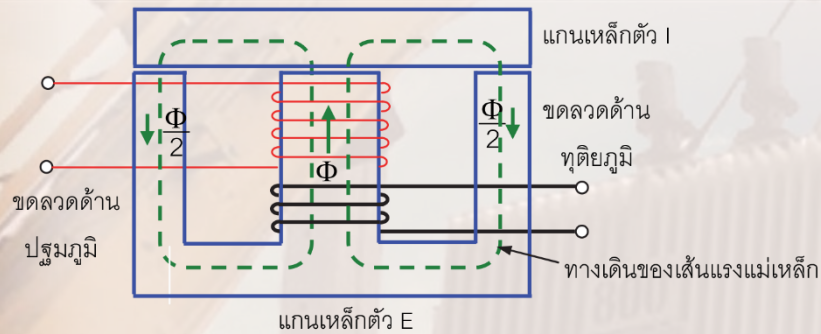
(ก) การพันขดลวดบนแกนเหล็กด้านละครึ่งขดลวดแบบคอร์รูปตัว LL



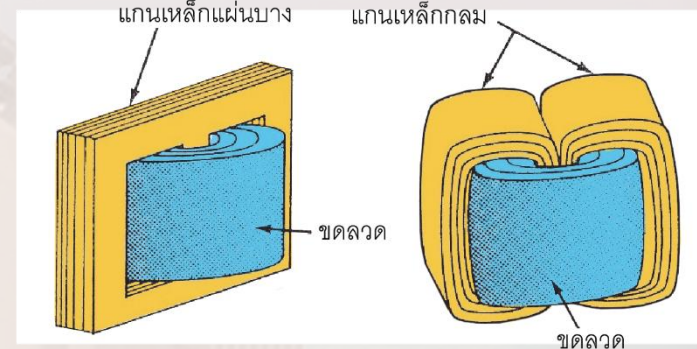
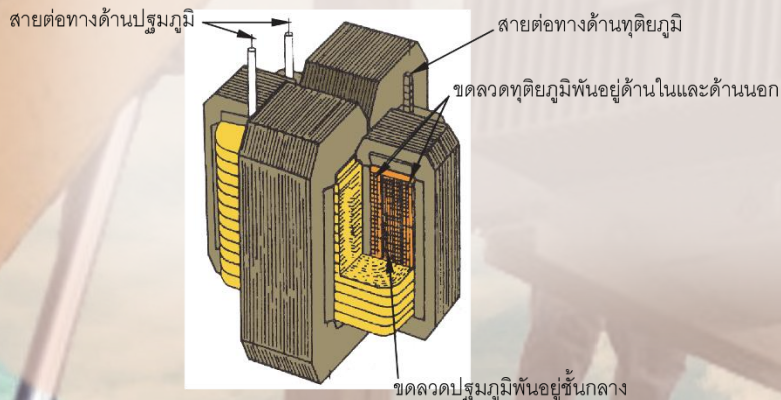
(ข) ลักษณะแกนเหล็กแบบคอร์



**2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type transformer)** หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังรูป (ก) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง)



(ก) การพันขดลวดที่แกนกลางของแกนเหล็กแบบเชลล์รูปตัว EI



(ข) ลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

**3. หม้อแปลงแบบเฮช (H - type transformer)** หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเชลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก

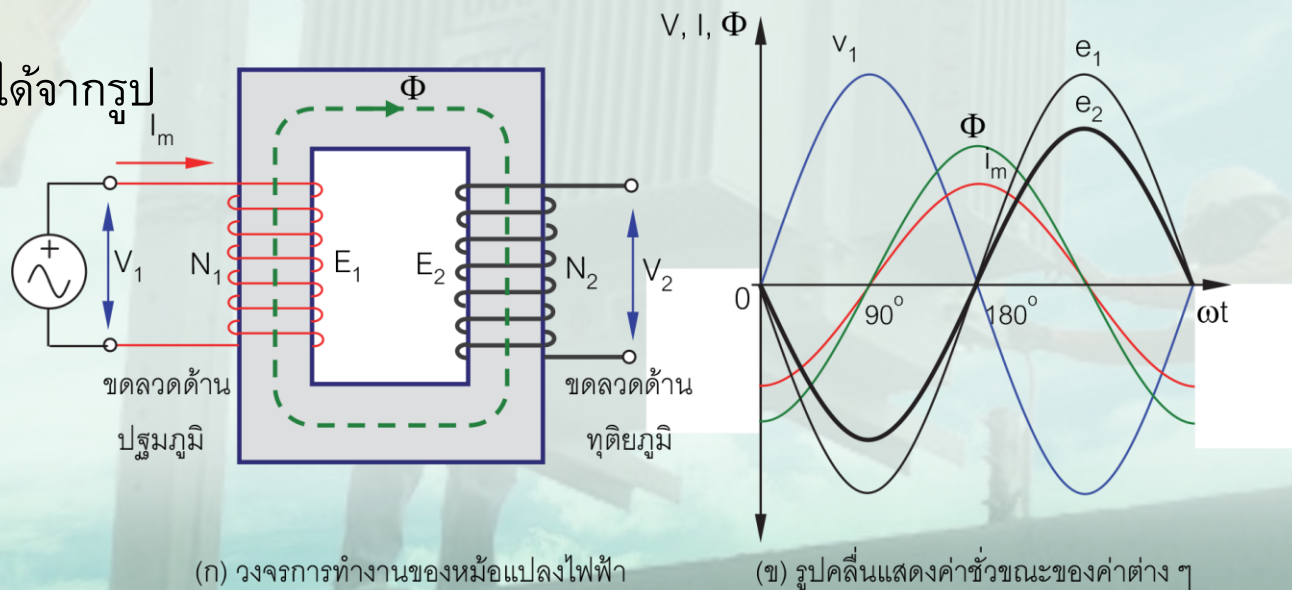
## 2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและการทำงาน

### เบื้องต้น

**หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ** หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กผ่านไปได้อย่างไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียในขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

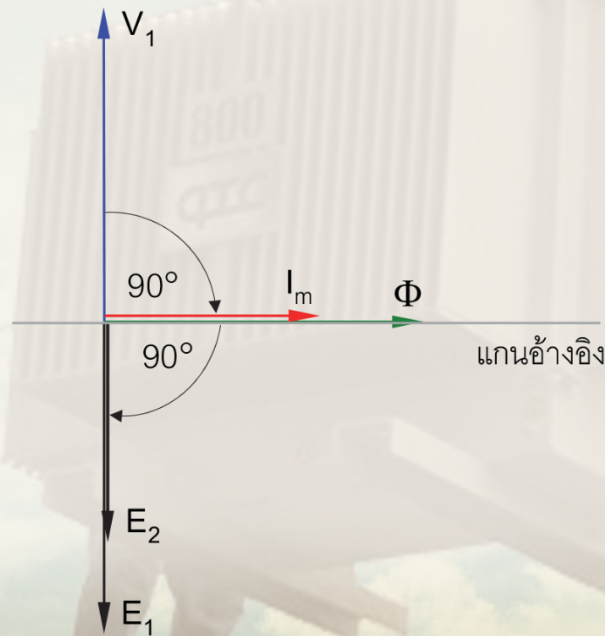
**2.3.1 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ** ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานโดยจะพิจารณาให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ ซึ่งการทำงาน

พิจารณาได้จากรูป





**2.3.2 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ** จากรูปคลื่นรูป (ข) นำมาเขียนเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรม โดยกำหนดให้เฟสเซอร์ของ  $\Phi$  เป็นแกนอ้างอิง โดยเฟสเซอร์  $I_m$  กับ  $\Phi$  จะร่วมเฟสกันและล้าหลังเฟสเซอร์  $V_1$  เป็นมุม  $90^\circ$  นอกจากนี้เฟสเซอร์  $E_1$  กับ  $E_2$  ก็ร่วมเฟสกันและล้าหลังเฟสเซอร์  $I_m$  เป็นมุม  $90^\circ$  และมีเฟสตรงข้ามกับ  $V_1$  เป็นมุม  $180^\circ$  ดังรูป





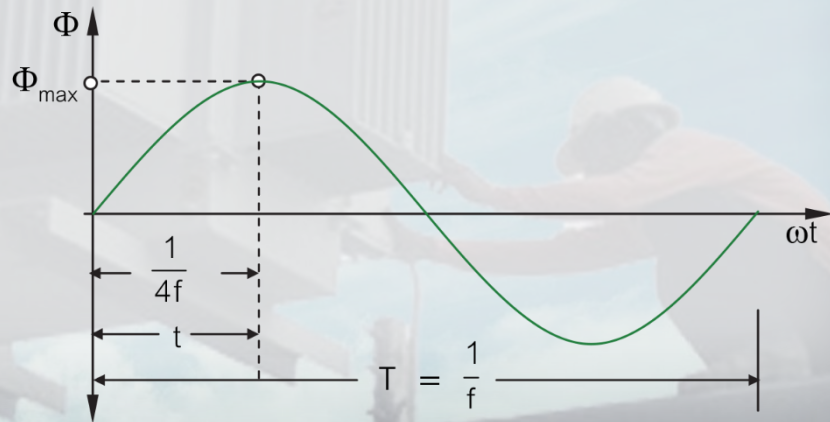
## 2.4

# สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ อัตราส่วน และพิกัดของหม้อแปลง ไฟฟ้า

จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา มาคล่องตัดกับ  
ขดลวด จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ตามสมการ

$$e = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กนี้  
จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ (f) ของไฟฟ้า  
กระแสสลับโดยมี  $\Phi_{max}$  มีค่าสูงสุดที่เวลา  
เท่ากับ  $\frac{1}{4f}$  ดังรูป



เนื่องจากขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าพัน N รอบ ดังนั้นค่าของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าเฉลี่ยในเวลา t นั่นคือ

$$\begin{aligned} E_{av} &= N \frac{\Phi_{\max}}{t} \\ &= N \frac{\Phi_{\max}}{\frac{1}{4f}} \\ E_{av} &= 4fN\Phi_{\max} \end{aligned}$$

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นจากสัมพัทธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าของแรงดันไฟฟ้าค่าเฉลี่ย เรียกว่าค่าฟอร์มแฟกเตอร์ (Form factor) ซึ่งมีค่าตามสมการ ดังนี้

$$\text{ค่าฟอร์มแฟกเตอร์} = \frac{\text{ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้}}{\text{ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย}} = \frac{E}{E_{av}}$$



### 2.4.1 อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำหนดให้เป็น  $a$  ซึ่งจะเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า คำนวณค่าได้ดังนี้หาสมการ (2.2) หาด้วยสมการ (2.3) จะได้

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1\Phi_{\max}}{4.44fN_2\Phi_{\max}}$$
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

ถ้ากำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในสภาวะไม่มีโหลดและกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ มีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิด ดังนั้นถือว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E_1$  เท่ากับแรงดันไฟฟ้า  $V_1$  ที่จ่ายให้ และแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E_2$  มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้า  $V_2$  ตามลำดับ

ดังนั้น

$$E_1 = V_1$$

และ

$$E_2 = V_2$$

**2.4.2 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า** เป็นความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะกำหนดเป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) หากเป็นหน่วยใหญ่จะเป็น กิโลโวลต์แอมแปร์(kVA) และเมกะโวลต์แอมแปร์ (MVA) ซึ่งได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิหรือผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งพิกัดทั้งสองด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$\text{พิกัด VA ทางด้านปฐมภูมิ} = V_1 I_1 \quad \text{VA}_{\text{ปฐมภูมิ}} = \text{VA}_{\text{ทุติยภูมิ}}$$

$$\text{พิกัด VA ทางด้านทุติยภูมิ} = V_2 I_2 \quad V_1 I_1 = V_2 I_2$$
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

จากสมการที่ (2.4) จะได้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

จากสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

ถ้า  $a$  มากกว่า 1 จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบลดแรงดัน (Step down transformer)

ถ้า  $a$  น้อยกว่า 1 จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดัน (Step up transformer)



## 2.5 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 Hz มีจำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ 240 รอบและทาง ด้านทุติยภูมิเป็น 30 รอบ ตามลำดับ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่แกนเหล็ก 0.125 Wb จงคำนวณหา

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ข. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$f = 50 \text{ Hz} \quad N_1 = 240 \text{ รอบ}$$

$$N_2 = 30 \text{ รอบ} \quad \Phi_{\max} = 0.125 \text{ Wb}$$

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{240}{30}$$

$$a = 8$$

อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 8                      ตอบ

ข. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติย  
ภูมิ

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_{\max}$$

$$= 4.44 \times 50 \times 240 \times 0.125$$

$$E_1 = 6,660$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 6,660 V ตอบ

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_{\max}$$

$$= 4.44 \times 50 \times 30 \times 0.125$$

$$E_2 = 832.5$$

หรือแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E_2$  คำนวณได้จากสูตร

$$E_2 = \frac{E_1}{a} = \frac{6,600}{8}$$

$$= 832.5$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 832.5 V ตอบ