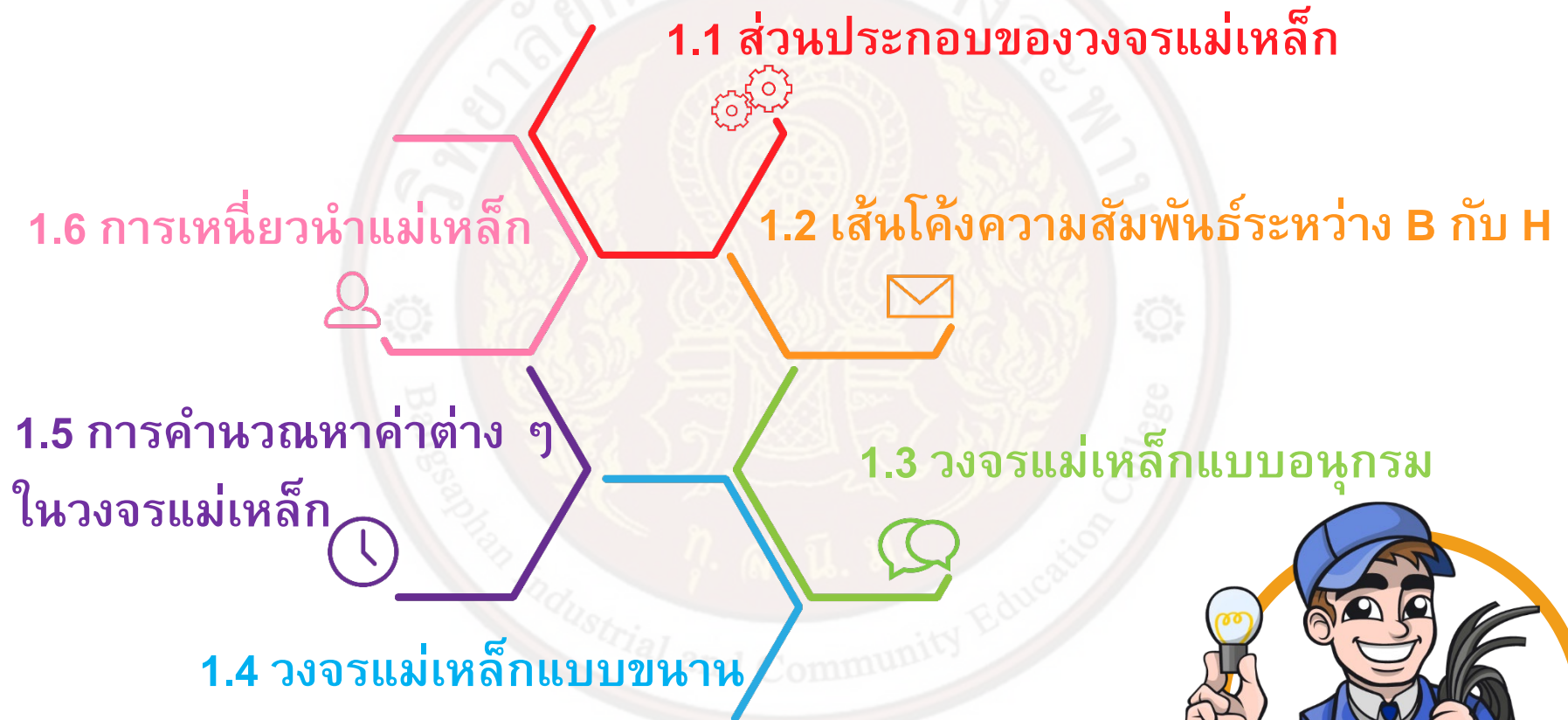




วงจรแม่เหล็ก และการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

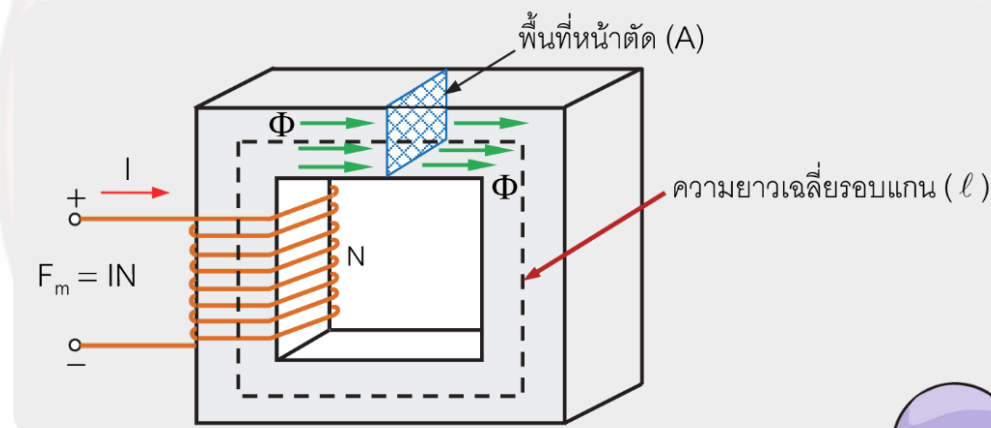


หัวข้อเรื่อง (Topics)



ส่วนประกอบของวงจรแม่เหล็ก

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำงานได้เมื่อเกิดการแปรสภาพพลังงาน จากพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแม่เหล็กทั้งสิ้น



ขดลวดพันรอบแกนเหล็กมีจำนวน N รอบ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้เกิดแรงดันแม่เหล็ก (F_m) และมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) เดินทางผ่านแกนเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) จำนวนหนึ่ง



ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หมายถึง จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่อักษรย่อที่ใช้แทนความหมายของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคือ B หน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคือ เทสลา (Tesla หรือ T) ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน 1 เทสลา คือ จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก 1 เวเบอร์ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร
($\frac{Wb}{m^2}$) หรือ เทสลา (T)

Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

A = พื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน หน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)



แรงดันแม่เหล็ก

แรงดันแม่เหล็ก หมายถึง แรงดันซึ่งทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก โดยหน่วยของแรงดันแม่เหล็กคือแอมแปร์-เทอน (At) เมื่อแอมแปร์คือหน่วยของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดและเทอนคือจำนวนรอบของขดลวด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_m = IN$$

F_m = แรงดันแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอน (At)

I = กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

N = จำนวนรอบของขดลวด หน่วยเป็น เทอน (t)



ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หมายถึง แรงดันแม่เหล็กที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กต่อระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน โดยหน่วยความเข้มของสนามแม่เหล็ก คือ แอมแปร์-เทอนต่อเมตร เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H = \frac{F_m}{l}$$

$$H = \frac{IN}{l}$$

H = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเมตร

F_m = แรงดันแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอน (At)

l = ระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น เมตร (m)



ความซาบซึ่มได้

ความซาบซึ่มได้ หมายถึง คุณสมบัติของตัวกลางที่ยินยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งใช้สัญลักษณ์ μ (เป็นอักษรกรีกอ่านว่ามิว) (ไชยชาญ หินเกิด, 2552: 14) หรือบางครั้งค่าความซาบซึ่มได้เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$B = \mu H$$

โดยความซาบซึ่มได้ของสารแต่ละชนิด ประกอบด้วย

1. ความซาบซึ่มได้ของอากาศ
2. ความซาบซึ่มได้สัมพัทธ์



ความต้านทานแม่เหล็ก

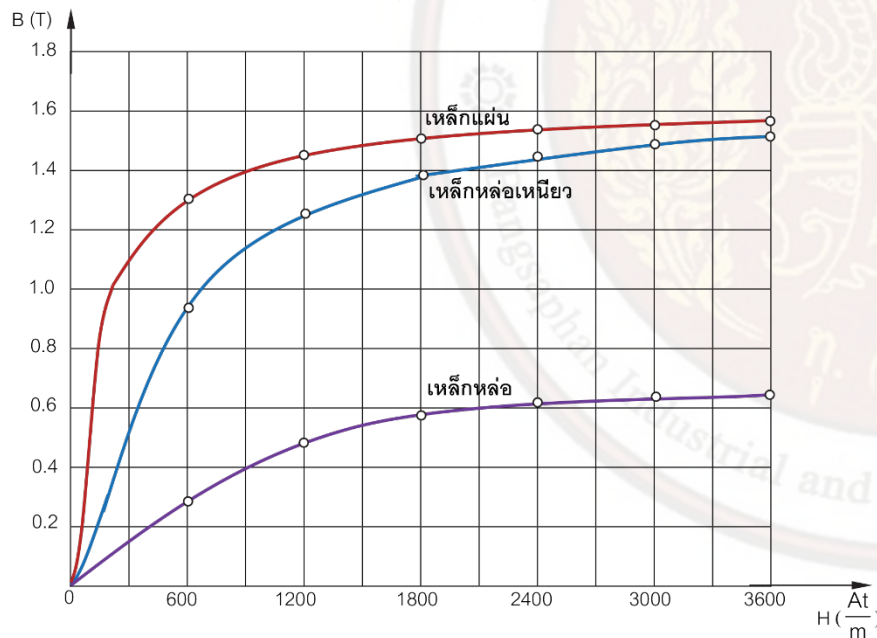
ความต้านทานแม่เหล็ก หมายถึง ค่าแสดงความต้านทานในการที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้มากหรือน้อยเพียงใดในวงจรแม่เหล็ก ซึ่งใช้สัญลักษณ์ $\mathcal{R}_m$ โดยความต้านทานแม่เหล็กจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก สารที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก ได้แก่ อากาศ ไม้ ทองเหลือง พลาสติก เป็นต้น สารที่มีอำนาจแม่เหล็ก ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล เหล็กกล้าซิลิคอน เป็นต้น โดยความต้านทานแม่เหล็กมีหน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเวเบอร์ คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\begin{aligned}\mathcal{R}_m &= \frac{F_m}{\Phi} = \frac{IN}{\Phi} \\ &= \frac{IN}{BA} = \frac{IN}{\mu H A} \\ &= \frac{IN}{\mu_o \mu_r \frac{IN}{\ell} A} \\ \mathcal{R}_m &= \frac{\ell}{\mu_o \mu_r A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{R}_m &= \text{ความต้านทานเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเวเบอร์ } \left(\frac{\text{At}}{\text{Wb}}\right) \\ \ell &= \text{ระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น เมตร (m)} \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น ตารางเมตร (m}^2\text{)} \\ \mu_o &= \text{ความซาบซึมได้ของอากาศซึ่งเท่ากับ } 4\pi \times 10^{-7} \text{ หน่วยเป็น เฮนรีต่อเมตร } \left(\frac{\text{H}}{\text{m}}\right) \\ \mu_r &= \text{ความซาบซึมได้สัมพัทธ์}\end{aligned}$$

เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H

วัสดุแต่ละชนิดที่เป็นสารแม่เหล็กจะมีลักษณะเส้นโค้ง B-H ที่คล้ายคลึงกันแต่มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่างกันโดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากัน ทั้งนี้เพราะวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กมีค่าความซาบซึมได้ไม่เท่ากัน ถ้าสารชนิดใดมีค่าความซาบซึมได้ที่มากกว่าก็จะให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าด้วย



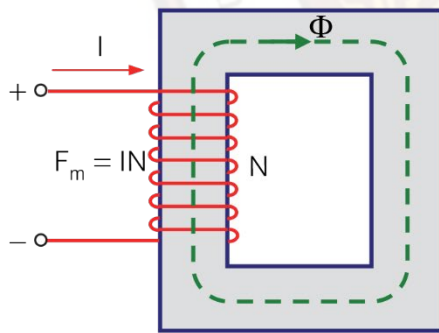
แสดงเส้นโค้ง B-H ของเหล็กแผ่น เหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อ จะเห็นว่าที่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากันความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กของเหล็กแผ่นมากกว่าเหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อเหนียวก็มากกว่าเหล็กหล่อตามลำดับ ทั้งนี้เพราะค่าความซาบซึมได้ของเหล็กแผ่นมากกว่าเหล็กหล่อเหนียว และค่าความซาบซึมได้ของเหล็กหล่อเหนียวมากกว่าเหล็กหล่อตามลำดับ

วงจรแม่เหล็กแบบอนุกรม

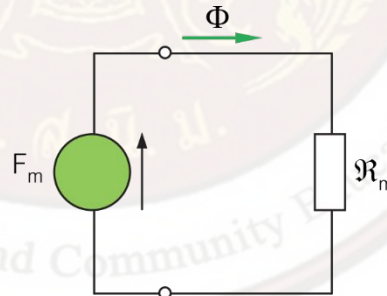
วงจรแม่เหล็กแบบอนุกรม หมายถึง วงจรแม่เหล็กที่มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร เพียงเส้นทางเดียว ซึ่งพิจารณาได้ 2 แบบ คือ

1.3.1 แบบไม่มีช่องอากาศ

ลักษณะแบบนี้แกนเหล็กจะเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด โดยไม่มีช่องอากาศเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูป (ก) และวงจรเทียบเท่าดังรูป (ข)



(ก) วงจรแม่เหล็ก

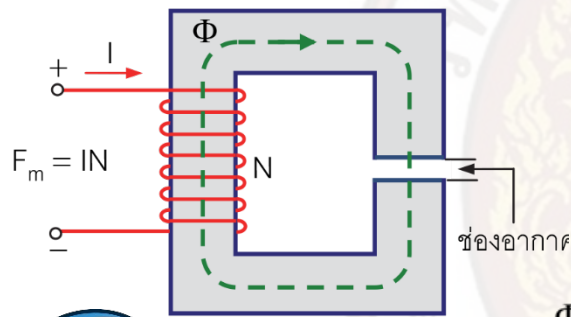


(ข) วงจรเทียบเท่า

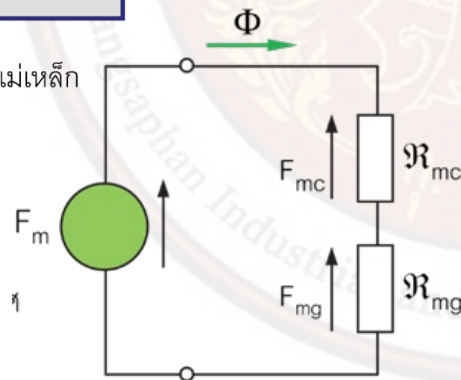


แบบมีช่องอากาศ

ลักษณะแบบนี้แกนเหล็กจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะมีช่องอากาศ (Air gap) เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กด้วย ดังรูป (ก) และวงจรเทียบเท่าดังรูป (ข)



(ก) วงจรแม่เหล็ก



(ข) วงจรเทียบเท่า

$$\mathcal{R}_m = \mathcal{R}_{mc} + \mathcal{R}_{mg}$$

$$F_m = F_{mc} + F_{mg}$$

$$= \Phi \mathcal{R}_{mc} + \Phi \mathcal{R}_{mg}$$

$$\mathcal{R}_m = \text{ความต้านทานแม่เหล็กทั้งหมด}$$

$$\mathcal{R}_{mc} = \text{ความต้านทานแม่เหล็กของแกนเหล็ก}$$

$$\mathcal{R}_{mg} = \text{ความต้านทานแม่เหล็กของช่องอากาศ}$$

$$F_m = \text{แรงดันแม่เหล็กทั้งหมด}$$

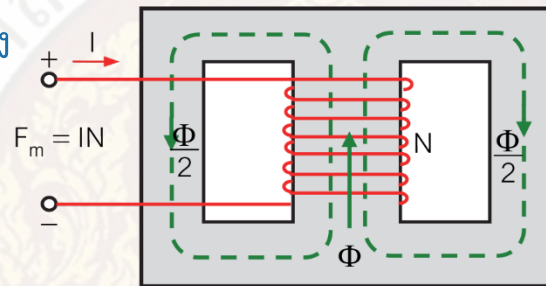
$$F_{mc} = \text{แรงดันแม่เหล็กที่แกนเหล็ก}$$

$$F_{mg} = \text{แรงดันแม่เหล็กที่ช่องอากาศ}$$

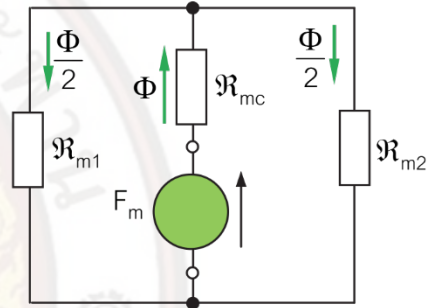


วงจรแม่เหล็กแบบขนาน

วงจรแม่เหล็กแบบขนาน หมายถึง วงจรแม่เหล็กที่มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่
ครบวงจรมากกว่าหนึ่งเส้นทาง

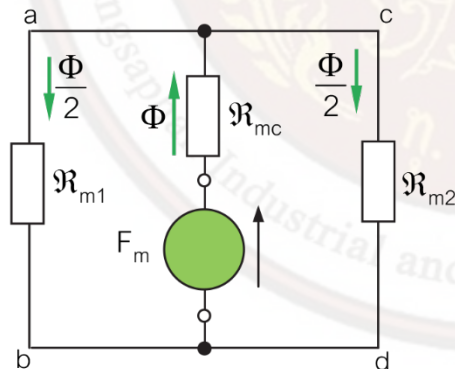


(ก) วงจรแม่เหล็ก



(ข) วงจรเทียบเท่า

จะได้แรงดันแม่เหล็กที่จุด ab เท่ากับแรงดันแม่เหล็กที่จุด cd



$$F_{mab} = F_{mcd}$$

$$\frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m1} = \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m2}$$

และ $F_{mc} = \Phi \mathcal{R}_{mc}$

ดังนั้น $F_m = F_{mc} + F_{mab}$

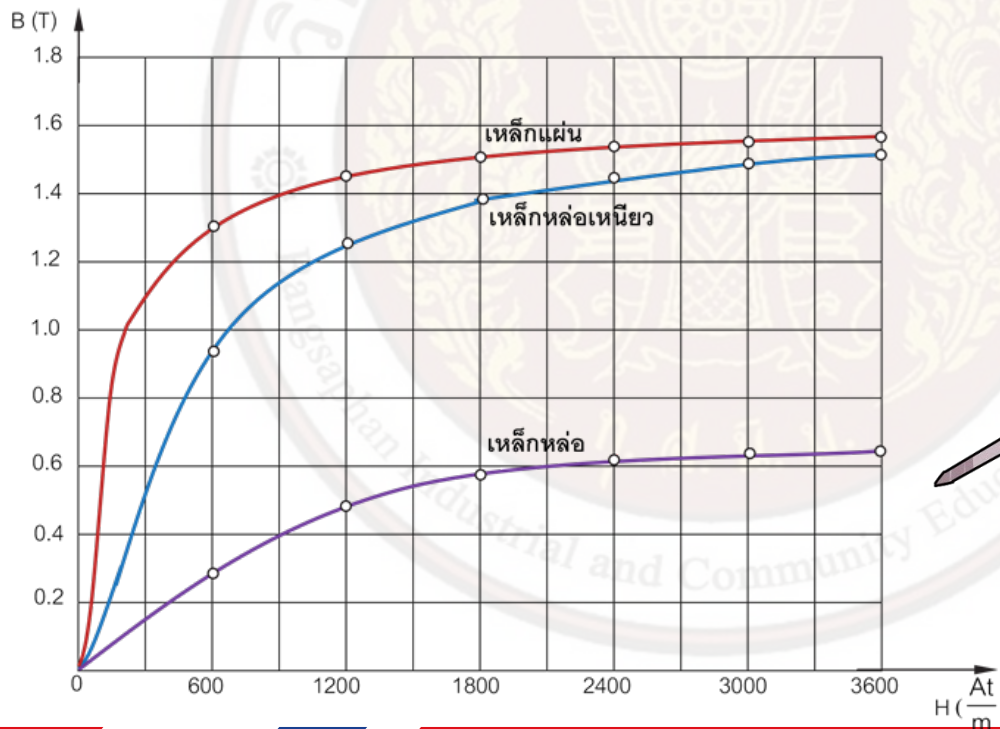
หรือ $F_m = \Phi \mathcal{R}_{mc} + \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m1}$

$$= \Phi \mathcal{R}_{mc} + \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m2}$$



การคำนวณค่าต่าง ๆ ในวงจรแม่เหล็ก

การคำนวณในวงจรแม่เหล็กของหน่วยนี้จะใช้กราฟของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H ของรูป ซึ่งเป็นการคำนวณขั้นพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในขั้นสูงต่อไป



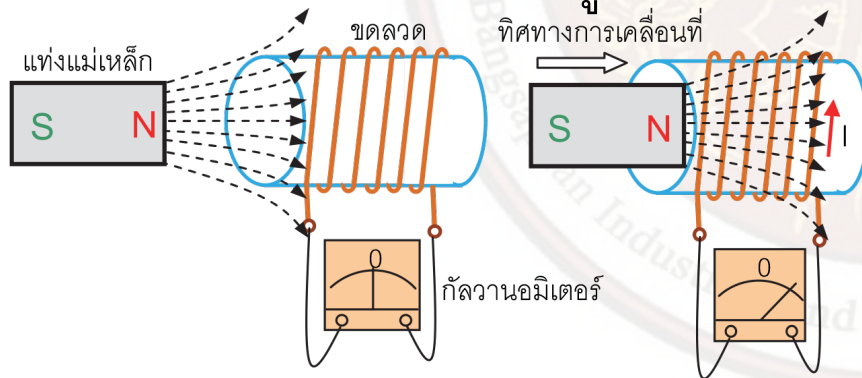
การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

ตัวนำหรือตัวนำที่พันเป็นขดลวดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำและรอบขดลวด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจะเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยและตัดกับตัวนำ เรียกแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า **แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวเอง** หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดหนึ่งไปคล้องตัดกับอีกขดลวดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นกับขดลวดที่ไปคล้อง เรียกแรงดันไฟฟ้านี้ว่า **แรงดันไฟฟ้าของการเหนี่ยวนำร่วม**

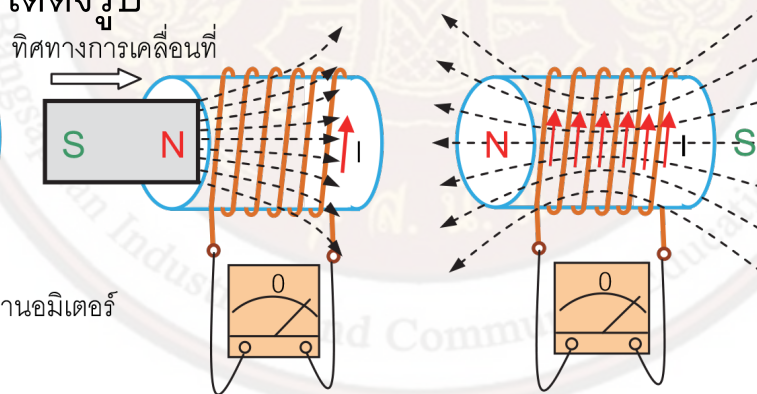


กฎของเลนซ์

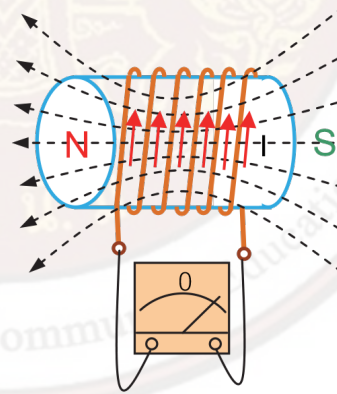
ซึ่งกฎของเลนซ์จะขึ้นเพื่อใช้หาทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากตัวนำหรือที่ขดลวดตัวนำ กล่าวว่ **ในวงจรมัดใด ๆ ที่สร้างขึ้นด้วยตัวนำ จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในวงลวดในทิศทางที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต่อต้านกับสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง** ซึ่งอธิบายได้ดังรูป



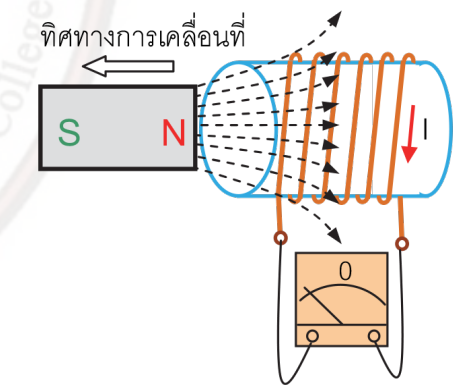
(ก) เมื่อขั้วแม่เหล็กยังไม่เคลื่อนที่



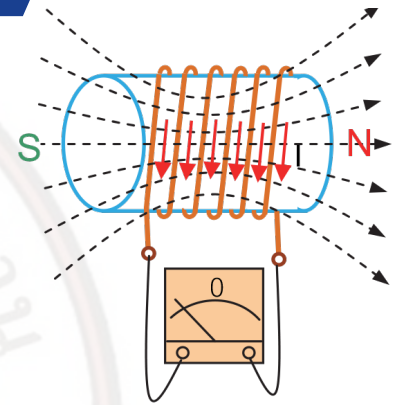
(ข) เมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปทางขวา



(ค) การเกิดสนามแม่เหล็ก



(ง) เมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ออกไปทางซ้าย



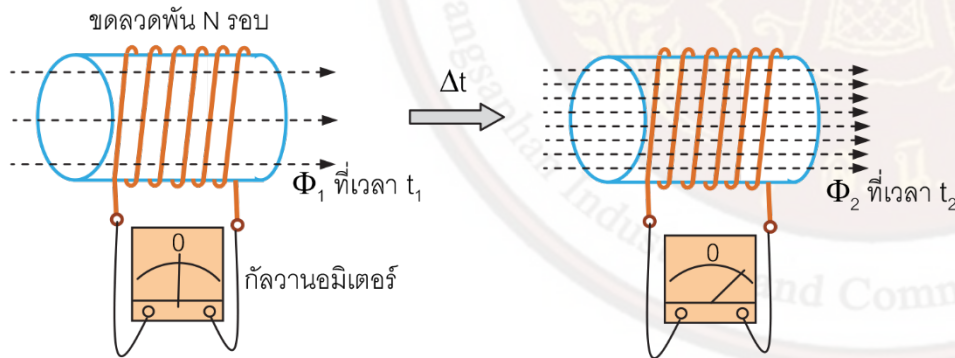
(จ) การเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวด

กฎของฟาราเดย์

จากหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นในปี ค.ศ. 1851 ไมเคิล ฟาราเดย์ได้ทำการทดลองและค้นพบเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นกับขดลวดตัวนำวิธีการดังนี้

1. เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่
2. เมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำซึ่งอยู่กับที่
3. เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดตัวนำซึ่งอยู่กับที่

ในวงจรปิดใด ๆ ที่สร้างขึ้นด้วยตัวนำจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านวงจรปิดนั้น



$$e_{\text{ind}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

e_{ind} = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

N = จำนวนรอบของขดลวด

$\Delta \Phi$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก

Δt = อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา

(ก) เส้นแรงแม่เหล็กยังไม่เปลี่ยนแปลง

(ข) เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



โครงสร้างและการทำงาน ของหม้อแปลงไฟฟ้า



หัวข้อเรื่อง (Topics)

2.1 ขนาดและมาตรฐาน
ของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดม
คติและการทำงานเบื้องต้น

2.5 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใน
การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.2 โครงสร้างและชนิด
ของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.4 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
อัตราส่วน และพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาดและมาตรฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกแบ่งออกตามขนาดและมาตรฐาน โดยมีพิกัดการใช้งานดังนี้

2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก มีขนาดพิกัดไม่เกิน 10 kVA ใช้สำหรับงานที่เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ



2.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดกลาง มีขนาดพิกัดตั้งแต่ 10 kVA - 1,000 kVA ซึ่งจะใช้กับงานจำหน่ายไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

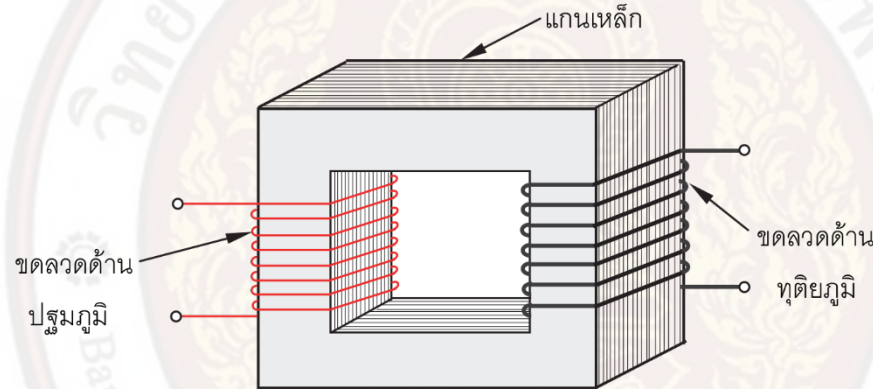


2.1.3 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ หรือบางครั้งเรียกว่าหม้อแปลงกำลัง ขนาดพิกัดเกิน 1000 kVA ขึ้นไป จะใช้กับงานจำหน่ายไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่



โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน คือ แกนเหล็กและขดลวด ซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น



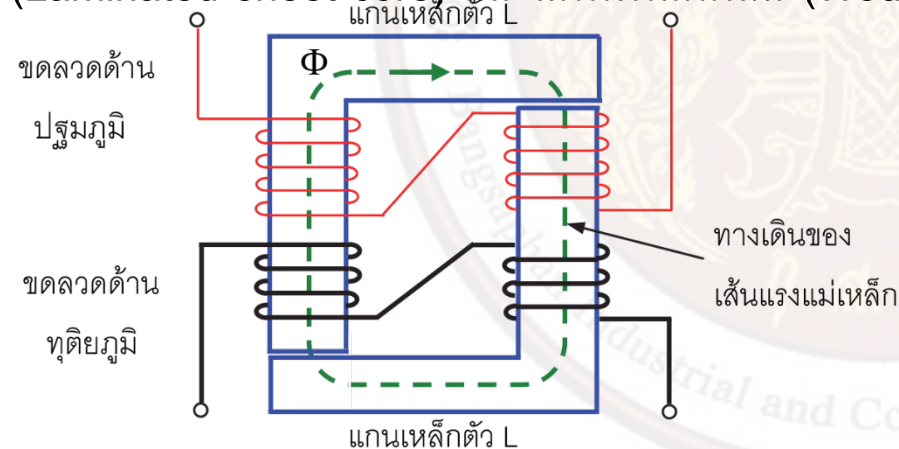
1. แกนเหล็ก เหล็กที่ใช้ในการทำแกนหม้อแปลงต้องมีความซาบซึมได้ (Permeability) สูง โดยแกนเหล็กจะต้องมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงถึง 1.35 ถึง 1.55 เวเบอร์/ตารางเมตร และต้องผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ

2. ขดลวด ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากจะทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ

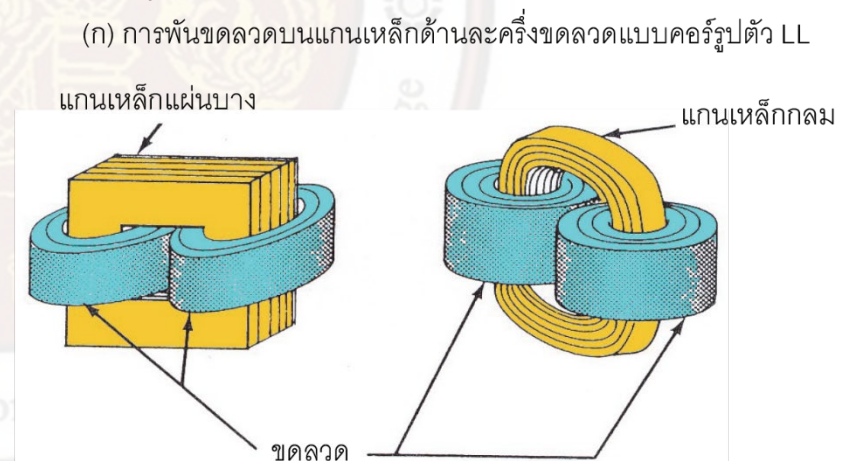
2.2.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังนี้

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)

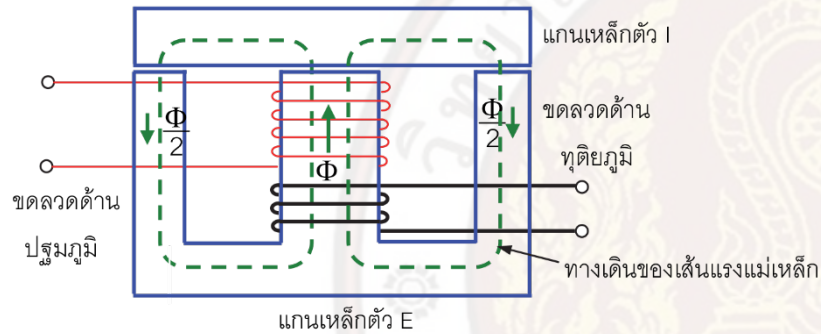


(ก) การพันขดลวดบนแกนเหล็กด้านละครึ่งขดลวดแบบคอร์รูปตัว LL

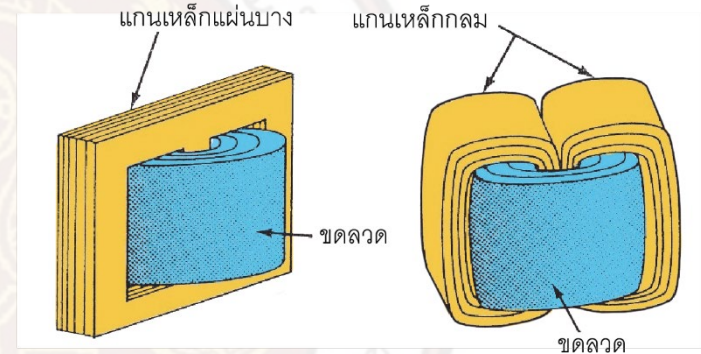


(ข) ลักษณะแกนเหล็กแบบคอร์

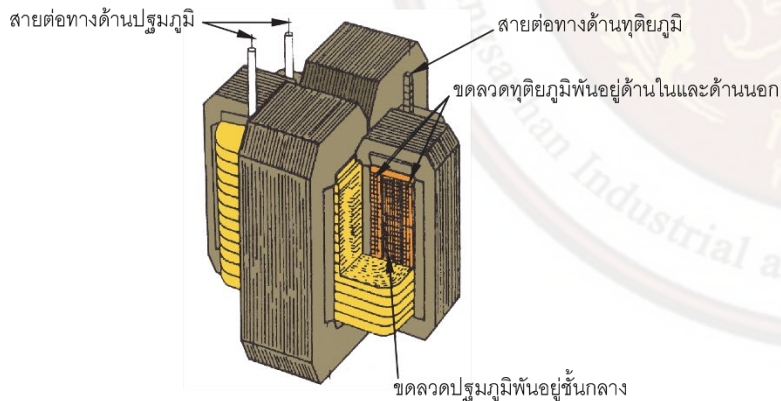
2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังรูป (ก) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง)



(ก) การพันขดลวดที่แกนกลางของแกนเหล็กแบบเชลล์รูปตัว EI



(ข) ลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์



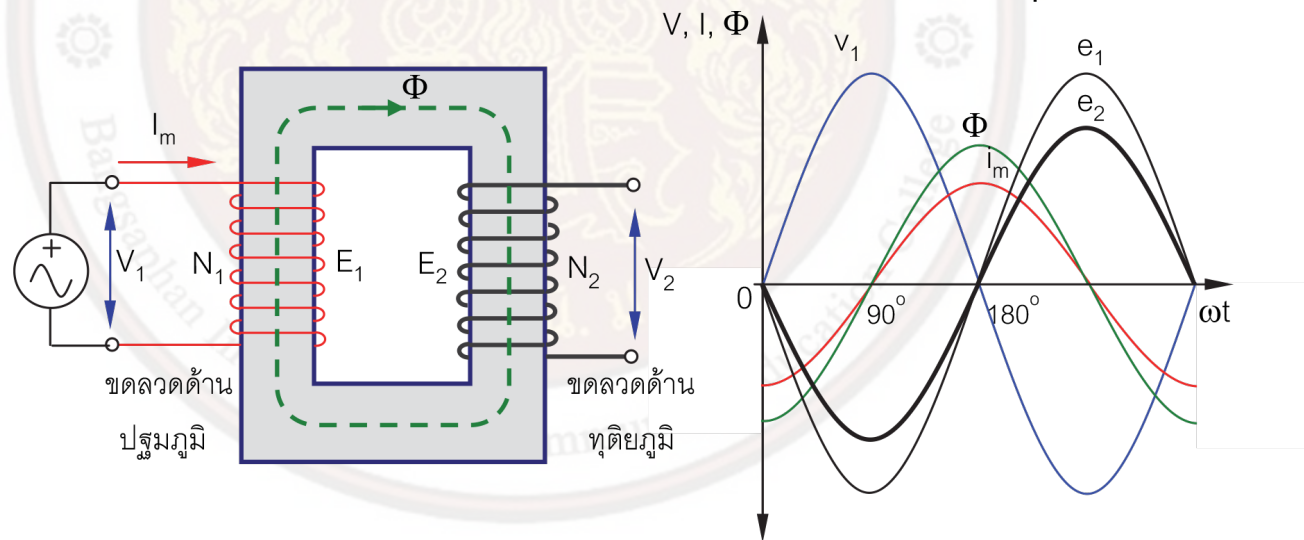
3. หม้อแปลงแบบเฮช (H - type transformer)
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเชลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและการทำงานเบื้องต้น

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กผ่านไป
ได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียใน
ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.3.1 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้
เข้าใจหลักการทำงานโดยจะพิจารณาให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ ซึ่งการ
ทำงาน

พิจารณาได้จากรูป

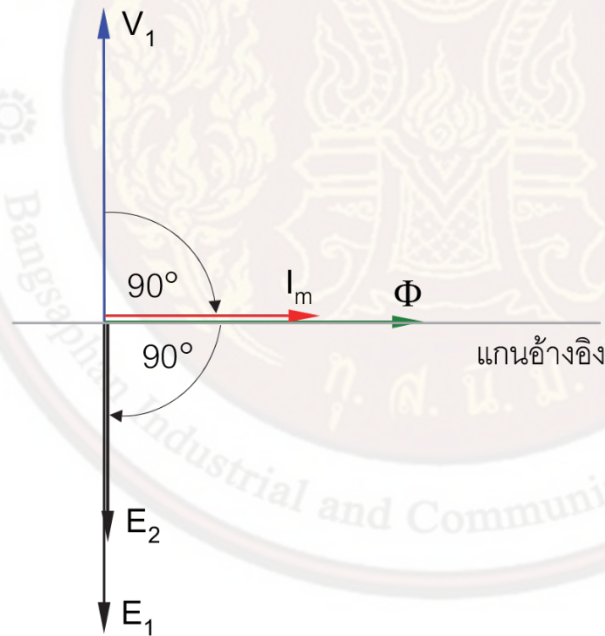


(ก) วงจรการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

(ข) รูปคลื่นแสดงค่าชั่วขณะของค่าต่างๆ

2.3.2 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ จากรูปคลื่นรูป

(ข) นำมาเขียนเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรม โดยกำหนดให้เฟสเซอร์ของ Φ เป็นแกนอ้างอิง โดยเฟสเซอร์ I_m กับ Φ จะร่วมเฟสกันและล่าหลังเฟสเซอร์ V_1 เป็นมุม 90° นอกจากนี้เฟสเซอร์ E_1 กับ E_2 ก็ร่วมเฟสกันและล่าหลังเฟสเซอร์ I_m เป็นมุม 90° และมีเฟสตรงข้ามกับ V_1 เป็นมุม 180° ดังรูป

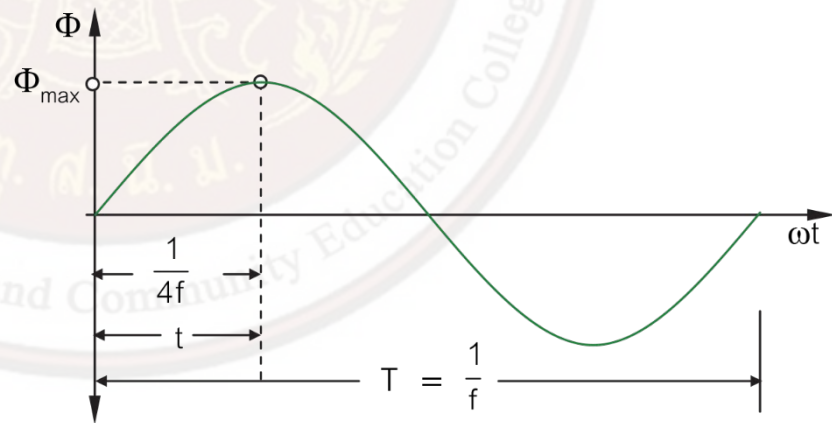


สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ อัตราส่วน และฟลักซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา มาคล่องตัดกับ
ขดลวด จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ตามสมการ

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

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กนี้
จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ (f) ของไฟฟ้า
กระแสสลับโดยมี Φ_{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 ดังนั้นจากสัมพันธะระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าของแรงดันไฟฟ้าค่าเฉลี่ย 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
คำนวณค่าได้ดังนี้ นำสมการ (2.2) หารด้วยสมการ (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

จากสมการที่ (2.4) จะได้

$$\begin{aligned} \text{พิกัด VA ทางด้านปฐมภูมิ} &= V_1 I_1 & \text{VA}_{\text{ปฐมภูมิ}} &= \text{VA}_{\text{ทุติยภูมิ}} \\ \text{พิกัด VA ทางด้านทุติยภูมิ} &= V_2 I_2 & V_1 I_1 &= V_2 I_2 \end{aligned}$$

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

จากสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

ถ้า a มากกว่า 1 จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบลดแรงดัน (Step down transformer)

ถ้า a น้อยกว่า 1 จะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดัน (Step up transformer)

การคำนวณค่าต่าง ๆ
ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

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

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ข. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} f &= 50 \text{ Hz} & N_1 &= 240 \text{ รอบ} \\ N_2 &= 30 \text{ รอบ} & \Phi_{\max} &= 0.125 \text{ Wb} \end{aligned}$$

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\begin{aligned} a &= \frac{N_1}{N_2} = \frac{240}{30} \\ a &= 8 \end{aligned}$$

อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 8 ตอบ

ข. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติย
ภูมิ

$$\begin{aligned} E_1 &= 4.44fN_1\Phi_{\max} \\ &= 4.44 \times 50 \times 240 \times 0.125 \end{aligned}$$

$$E_1 = 6,660$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 6,660 V ตอบ

$$\begin{aligned} E_2 &= 4.44fN_2\Phi_{\max} \\ &= 4.44 \times 50 \times 30 \times 0.125 \end{aligned}$$

$$E_2 = 832.5$$

หรือแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E2 คำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{E_1}{a} = \frac{6,600}{8} \\ &= 832.5 \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 832.5 V ตอบ



หม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อไม่มีโหลด



หัวข้อเรื่อง (Topics)



3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

3.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด



3.3 วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

3.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด



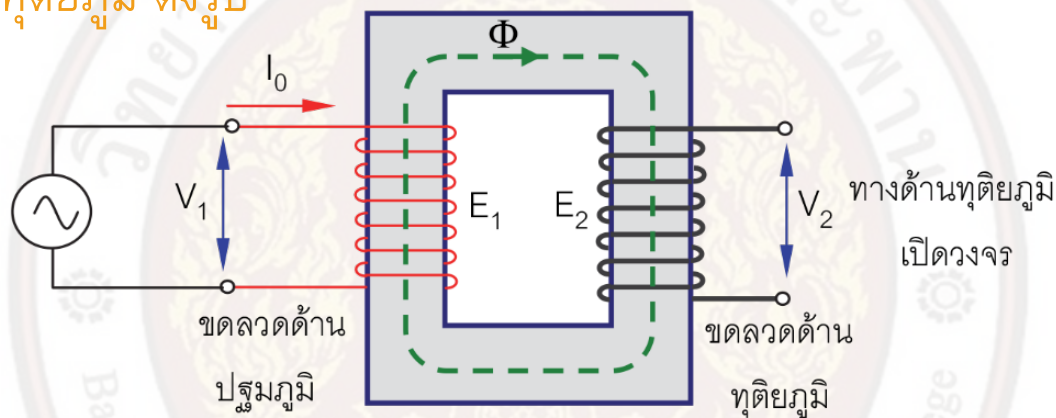
หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงนั้น เมื่อต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กรอบแกน ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียจากเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล นอกจากนี้ยังมีค่าความต้านทานจากขดลวดทั้งสองชุดที่พันรอบแกนเหล็กซึ่งในการพิจารณาการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดและหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อโหลด



การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด หมายถึง ภาวะที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิไม่มีโหลดต่ออยู่หรือเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ดังรูป

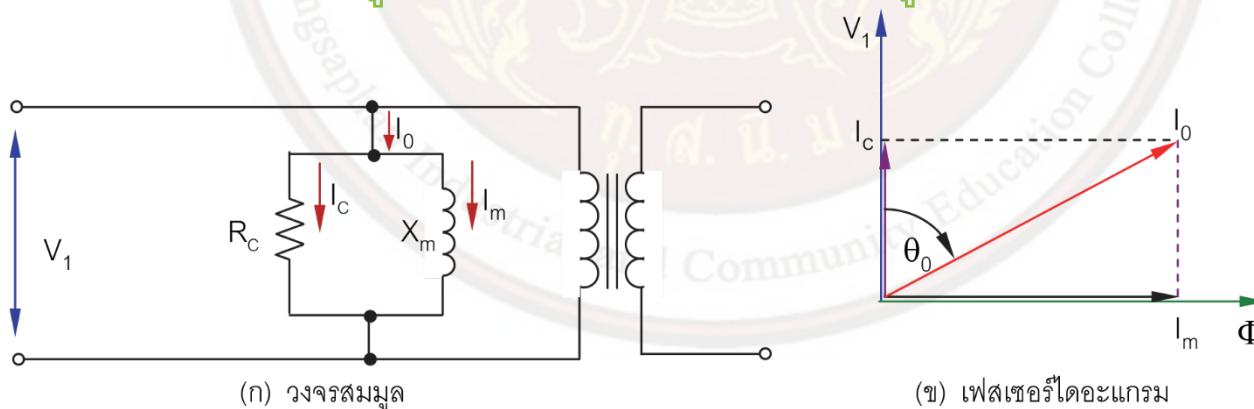


เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ V_1 ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปที่ขดลวดปฐมภูมิ เรียกกระแสนี้ว่า **กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด** หรือค่าของ **กระแสกระตุ้น** (I_0) ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้มีค่าเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเต็มพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า) และกระแสไฟฟ้านี้จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กและส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

การพิจารณากระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดพิจารณาได้ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก ซึ่งกระแสไฟฟ้าส่วนนี้จะรวมเฟสกับแรงดันไฟฟ้า V_1 และจะนำหน้าเส้นแรงแม่เหล็กเป็นมุม 90° ทางไฟฟ้า
2. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งกระแสไฟฟ้าส่วนนี้จะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า V_1 เป็นมุม 90° ทางไฟฟ้า และจะรวมเฟสกับเส้นแรงแม่เหล็ก
สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม ดังรูป



การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

ตัวอย่างที่ 3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดัน 1100/110 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ 1100 V มีกระแสไฟฟ้า 1.5 A และมีมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 70° จงคำนวณหา

- ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
- ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ค. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1100 \text{ V}$$

$$I_0 = 1.5 \text{ A}$$

$$\theta_0 = 70^\circ$$



ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}
 P_c &= V_1 I_0 \cos \theta_0 \\
 &= 1,100 \times 1.5 \times \cos 70^\circ \\
 &= 1,100 \times 1.5 \times 0.342 \\
 P_c &= 564.3
 \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 564.3 W ตอบ

ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}
 I_c &= I_0 \cos \theta_0 \\
 &= 1.5 \times \cos 70^\circ \\
 &= 1.5 \times 0.342 \\
 I_c &= 0.513
 \end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.513 A ตอบ

ค. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\begin{aligned}
 I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\
 &= 1.5 \times \sin 70^\circ \\
 &= 1.5 \times 0.939 \\
 I_m &= 1.408
 \end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 1.408 A



หม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อมีโหลด



หัวข้อเรื่อง (Topics)

4.1 ชนิดของโหลดที่ต่อเข้ากับ
หม้อแปลงไฟฟ้า



4.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของหม้อ
แปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด



4.2 การทำงานของหม้อ
แปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด

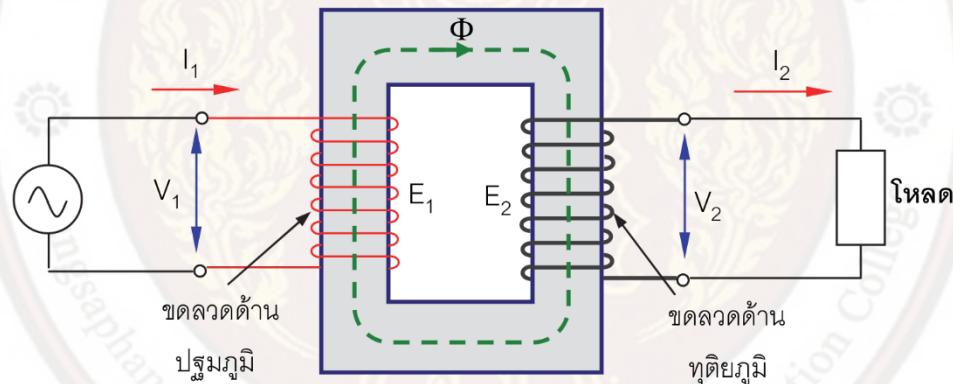


4.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ
ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด



ชนิดของโหลดที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเป็นภาวะที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีโหลดต่ออยู่และทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากขดลวดทุติยภูมิไปยังโหลด โดยกำหนดให้เป็นกระแส I_2 แสดงดังรูป

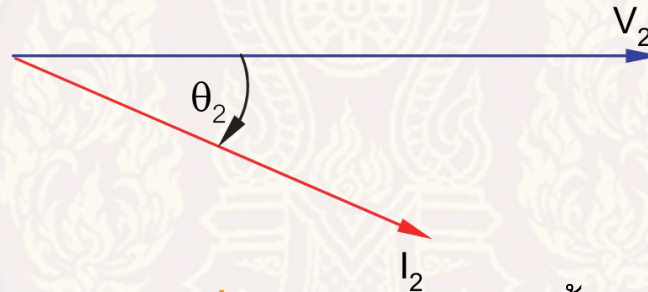


จากรูป โดยกระแส I_2 นี้จะมีขนาดและการต่างเฟสกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเท่าไร นั้นขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของโหลดหรือค่าตัวประกอบกำลังของโหลดที่นำมาต่อเข้ากับทางด้านทุติยภูมิซึ่งมี 3 ชนิด (ไชยชาญ หินเกิด, 2549: 49) ดังนี้

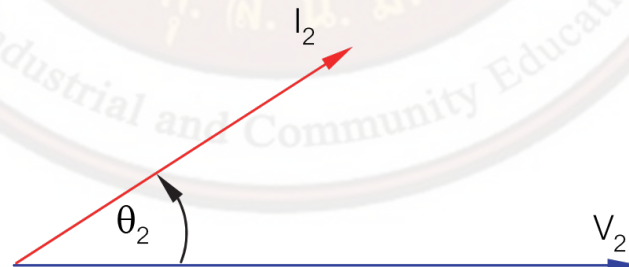
4.1.1 โหลดที่เป็นตัวต้านทานอย่างเดียว โหลดชนิดนี้จะทำให้กระแส I_2 ร่วมเฟสกับแรงดัน V_2 โดยมีมุม θ_2 เท่ากับศูนย์ หรือโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง (pf. = 1) ดังรูปที่ 4.2



4.1.2 โหลดที่เป็นตัวต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ โหลดชนิดนี้จะทำให้กระแส I_2 ล้าหลังแรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 มุมหนึ่ง หรือโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง (pf. = lag) ดังรูปที่ 4.3



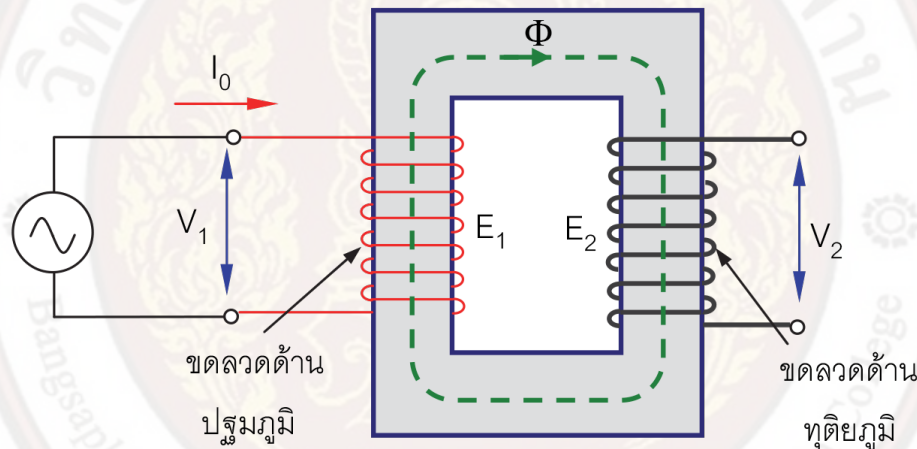
4.1.3 โหลดที่เป็นตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ โหลดชนิดนี้จะทำให้กระแส I_2 นำหน้าแรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 มุมหนึ่ง หรือโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า (pf. = lead) ดังรูปที่ 4.4



การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด

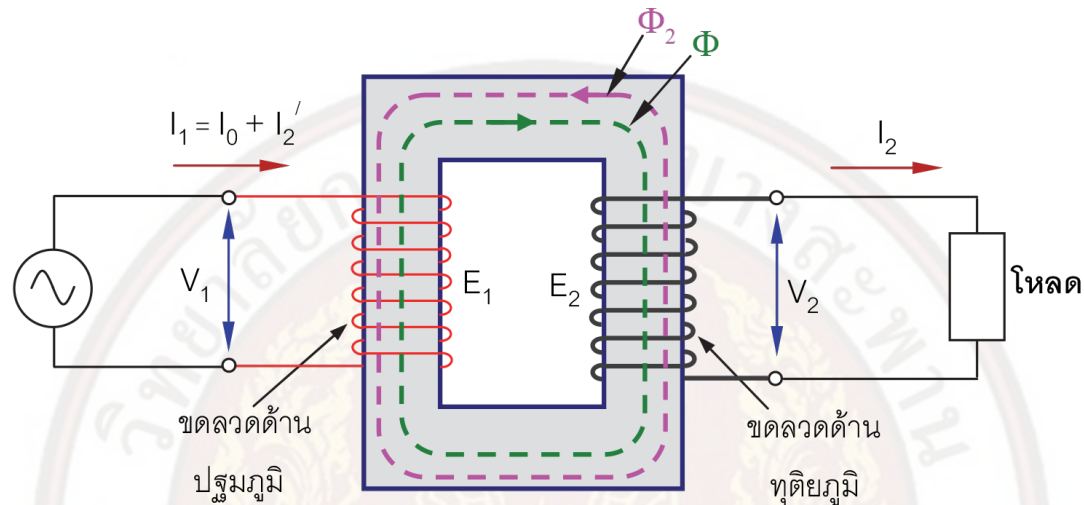
จากการที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีโหลดทำให้เกิดการไหลของกระแส I_2 ซึ่งผลของกระแส I_2 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนเหล็ก นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการไหลของกระแสทางด้านปฐมภูมิเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งพิจารณาการทำงานดังนี้

1. เมื่อไม่มีโหลด



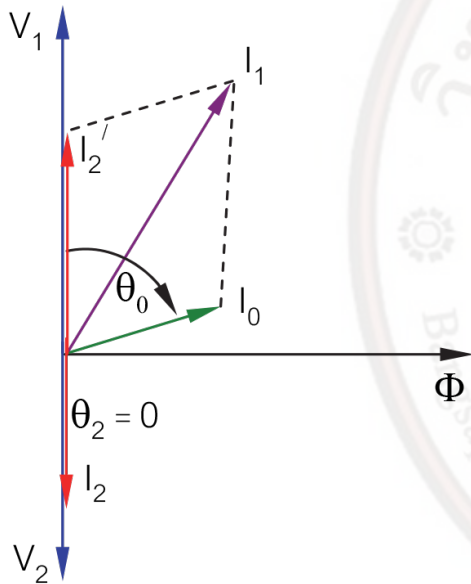
จากรูป เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_1 ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิ โดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ไม่มีโหลดต่ออยู่จะมีเพียงกระแส I_0 ไหลเข้าไปที่ขดลวดปฐมภูมิและสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปรอบแกนเหล็กและไปคล้องตัดกับขดลวดทั้งสอง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิคือ E_1 และเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิคือ E_2 ตามลำดับ

2. เมื่อมีโหลด



จากรูป เมื่อต่อโหลดเข้ากับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า I_2 และสร้างแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_2 I_2$ ซึ่งเรียกว่า แอมแปร์-เทอน ลดเส้นแรงแม่เหล็ก (Demagnetizing ampere turn) ซึ่งกระแส I_2 จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก Φ_2 ขึ้นมา โดยมีทิศทางตรงข้ามกับ Φ ที่สร้างจากกระแส I_0 เป็นผลให้ Φ ลดลง และทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 ทางด้านปฐมภูมิลดลงด้วยทำให้เกิดผลต่างของแรงดันไฟฟ้า V_1 กับ E_1 ซึ่งทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น จึงเรียกกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ว่า กระแสไหลทางด้านปฐมภูมิ (Load component of primary current) มีค่าเป็น I_2' และมีเฟสตรงกันข้ามกับ I_2

เฟสเซอร์ไดอะแกรม ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด

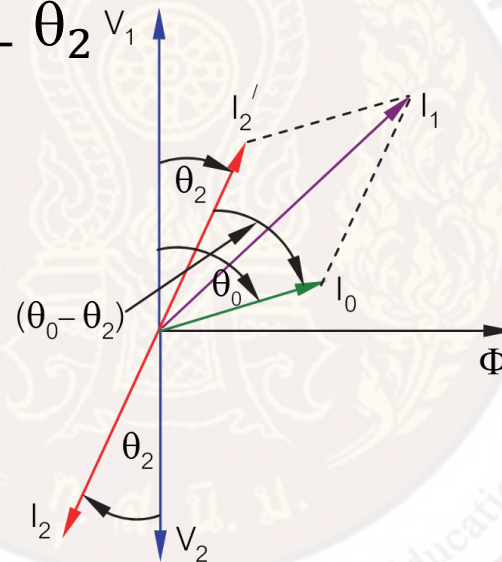


4.3.1 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1

(I_2 รวมเฟสกับ V_2) จากรูปเฟสเซอร์ I_2 เป็นกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิและรวมเฟสกับแรงดัน V_1 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' และ θ_2 เป็นมุมต่างเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_2 เมื่อนำหลักการทางตรีโกณมิติ คำนวณขนาดกระแส I_1 ได้ดังนี้

$$I_1 = \sqrt{(I_0)^2 + (I_2')^2 + 2I_0I_2'\cos\theta_0} \quad \dots (4.3)$$

4.3.2 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังล้าหลัง (l_2 ล้าหลัง V_2) จากรูป เฟสเซอร์ l_2 เป็นกระแสทางด้านทุติยภูมิและล้าหลังเฟสเซอร์ เป็นมุม θ_2 โดยเฟสเซอร์ l_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิและล้าหลังเฟสเซอร์แรงดัน v_1 เป็นมุม θ_2 เช่นเดียวกัน ส่วนเฟสเซอร์ l_2' เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ l_0 กับเฟสเซอร์ l_2' โดยมุมระหว่างเฟสเซอร์ l_0 กับ l_2 เท่ากับ $\theta_0 - \theta_2$



เมื่อนำหลักการทางตรีโกณมิติคำนวณขนาดกระแส l_1 ได้ดังนี้

$$l_1 = \sqrt{(l_0)^2 + (l_2')^2 + 2l_0l_2' \cos(\theta_0 - \theta_2)} .$$

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลด

ตัวอย่างที่ 4.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดันไฟฟ้า 1,200/200 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ 1,200 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส 76.35° เมื่อยังไม่มีโหลด และเมื่อต่อโหลดมีกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ 240 A โดยมีมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส 30° จงคำนวณหา

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$V_1 = 1,200 \text{ V และ } V_2 = 200 \text{ V}$$

ข. กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$I_0 = 3 \text{ A} \quad I_2 = 240 \text{ A}$$

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$\theta_0 = 76.35^\circ \quad \theta_2 = 30^\circ$$

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

ก. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200}{200} = 6$$

อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

6

ตอบ

ข. กระแสไหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$I_2' = \frac{I_2}{a} = \frac{240}{6} = 40$$

กระแสไหลดทางด้านปฐมภูมิมี่ค่าเท่ากับ 40 A

ตอบ

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} I_1 &= \sqrt{(I_0)^2 + (I_2')^2 + 2I_0I_2' \cos(\theta_0 - \theta_2)} \\ &= \sqrt{(3)^2 + (40)^2 + (2 \times 3 \times 40) \times \cos(76.35^\circ - 30^\circ)} \\ &= \sqrt{9 + 1600 + (240 \times \cos 46.35^\circ)} \\ &= \sqrt{1,774.66} \\ I_1 &= 42.12 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิมี่ค่าเท่ากับ 42.12 A

ตอบ

The logo of Rangsit University is a circular emblem. The outer ring contains the text 'วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน' (Vithayalai Karachai Phang Sa Phan) in Thai and 'Rangsit Industrial and Community Education College' in English. The inner circle features a traditional Thai royal crest (Korom) with a crown and two mythical animals (Gajasingha and Singha) holding a shield. Below the crest, the Thai text 'ก. ส. น. ม.' is visible.

วงจรสมมูล ของหม้อแปลงไฟฟ้า

หัวข้อเรื่อง (Topics)



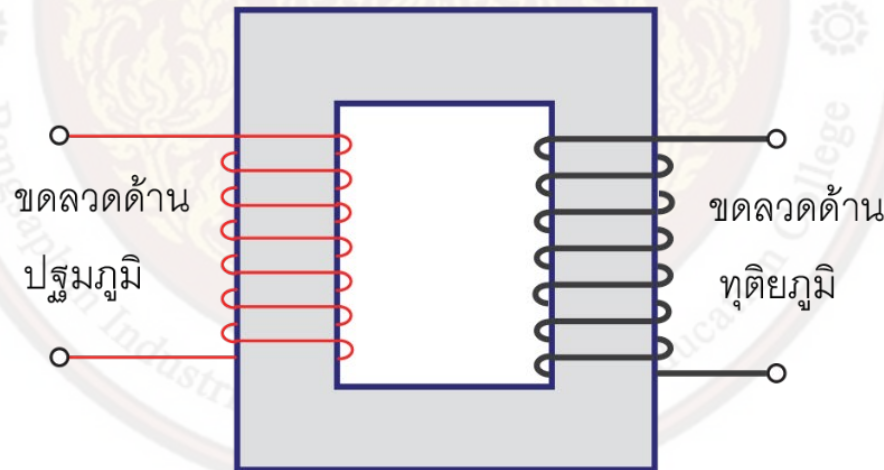
ความหมายวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า หมายถึง การแทนค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบของวงจรไฟฟ้า เช่น ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่พันรอบแกนเหล็กทั้ง 2 ด้าน สามารถแทนด้วยค่าความต้านทานและค่ารีแอ็กแตนซ์ ทั้งนี้เพื่อให้การวิเคราะห์เกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้ามีความสะดวกและรวดเร็ว



ความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า และวิธีการย้ายค่า

5.2.1 ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จากรูปขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กของขดลวดทั้งสองด้านย่อมมีค่าความต้านทาน โดยค่าความต้านทาน ($R = P \frac{l}{A}$) จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของขดลวด (l) หรือจำนวนรอบที่พันและพื้นที่หน้าตัดของขดลวด (A)

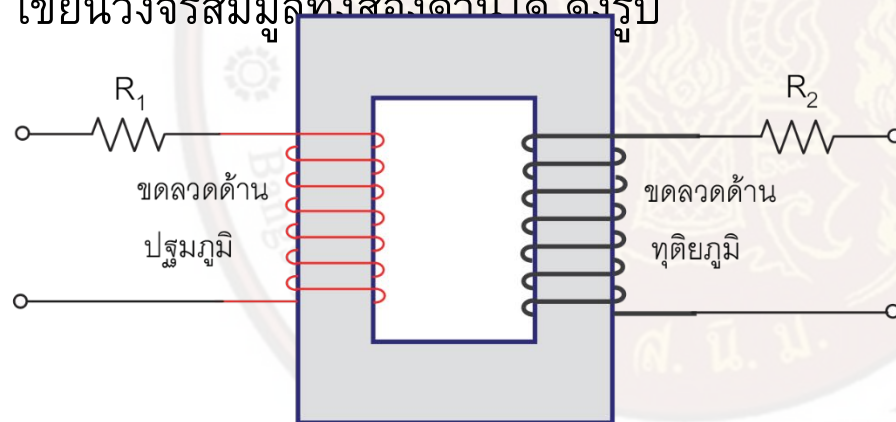


ดังนั้นขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ จึงมีค่าความต้านทานอยู่ใน
ขดลวด

ถ้าให้ R_1 = ความต้านทานของขดลวดด้านปฐมภูมิ

และ R_2 = ความต้านทานของขดลวดด้านทุติยภูมิ

เขียนวงจรสมมูลทั้งสองด้านได้ ดังรูป



5.2.2 วิธีย้ายค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. การย้ายค่าความต้านทานของขดลวดจากทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งเป็นการย้ายค่า R_2 มาไว้ทางด้านปฐมภูมิ โดย R_1 ทางด้านปฐมภูมิให้คงที่ไว้ เรียกค่าความต้านทานที่ย้ายไปว่า **ความต้านทานที่ย้ายจากขดทุติยภูมิไปขดปฐมภูมิ** กำหนดให้เป็น R_2' ซึ่งหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า นั่นคือการสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดมีค่า

$$\begin{aligned} &= \text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ขดปฐมภูมิ} + \text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ขดทุติยภูมิ} \\ &= (I_1)^2 R_1 + (I_2)^2 R_2 \end{aligned}$$

แต่เมื่อย้ายไปทางขดปฐมภูมิจะได้เป็น

$$\text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = (I_1)^2 R_1 + (I_1)^2 R_2'$$

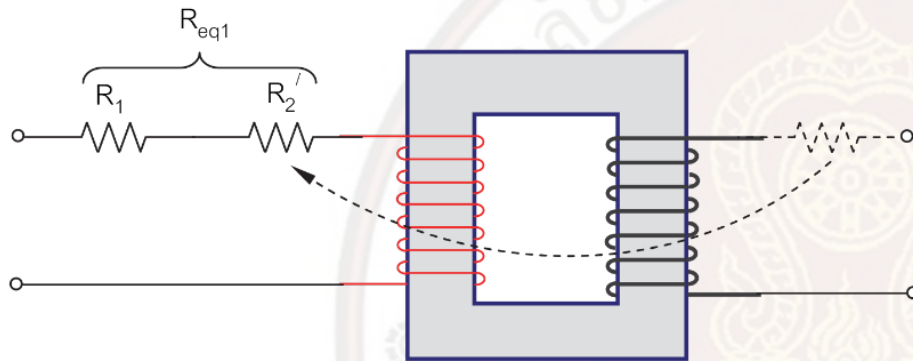
$$\text{แต่} \quad (I_1)^2 R_2' = (I_2)^2 R_2 = \text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ขดทุติยภูมิ}$$

$$\begin{aligned} R_2' &= \frac{(I_2)^2}{(I_1)^2} \times R_2 \\ &= a^2 R_2 \end{aligned}$$

$$R_2' = a^2 R_2 \quad \dots (5.1)$$



นั่นหมายความว่า ถ้าต้องการย้ายค่าความต้านทานจากทุติยภูมิมาไว้ทางปฐมภูมิต้องคูณด้วย
ค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ายกกำลังสอง ซึ่งวงจรสมมูลที่ย้ายไปแสดงดังรูปที่ 5.3



จากวงจรรูปที่ 5.3 จะเห็นว่า R_1 ต่ออนุกรมกับ R_2' เมื่อนำมารวมกันจะเป็นความต้านทานค่าใหม่
เรียกว่า ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ กำหนดให้
เป็น R_{eq1} หาค่าได้ดังนี้

$$R_{eq1} = R_1 + R_2'$$
$$R_{eq1} = R_1 + a^2 R_2$$

2. การย้ายค่าความต้านทานของขดลวดจากปฐมภูมิมาไว้ทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งเป็นการย้ายค่า R_1 มาไว้ทางด้านทุติยภูมิ โดย R_2 ทางด้านทุติยภูมิคงที่ไว้ ซึ่งเรียกค่าความต้านทานที่ย้ายไปว่า **ความต้านทานที่ย้ายจากขดปฐมภูมิไปขดทุติยภูมิ** กำหนดให้เป็น R_2 ซึ่งหาค่าได้จากความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้า นั่นคือ การสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดมีค่า

$$\text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = (I_1)^2 R_1' + (I_2)^2 R_2$$

แต่

$$(I_2)^2 R_1' = (I_1)^2 R_1 = \text{การสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ขดปฐมภูมิ}$$

$$(I_2)^2 R_1' = (I_1)^2 R_1$$

$$R_1' = \frac{(I_1)^2}{(I_2)^2} \times R_1$$

$$= \frac{1}{2} \times R_1$$

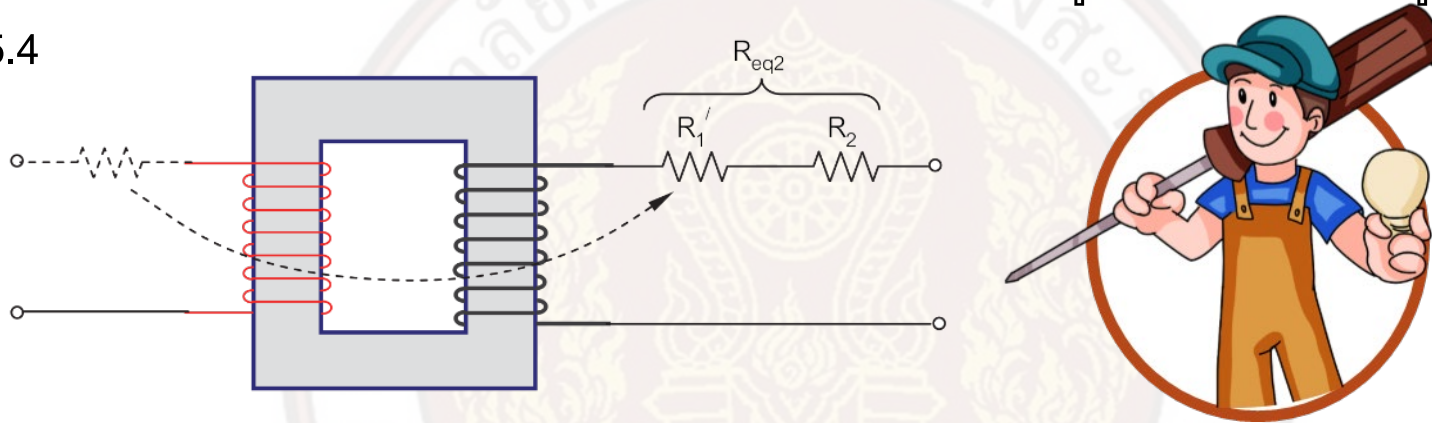
$$R_1' = \frac{R_1}{2}$$

..... (5.3)



หมายความว่า ถ้าต้องการย้ายค่าความต้านทานจากปฐมภูมิมาไว้ทางทุติยภูมิต้องการ
ด้วยค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ายกกำลังสอง ซึ่งวงจรสมมูลที่ย้ายไปแสดงดังรูปที่

5.4



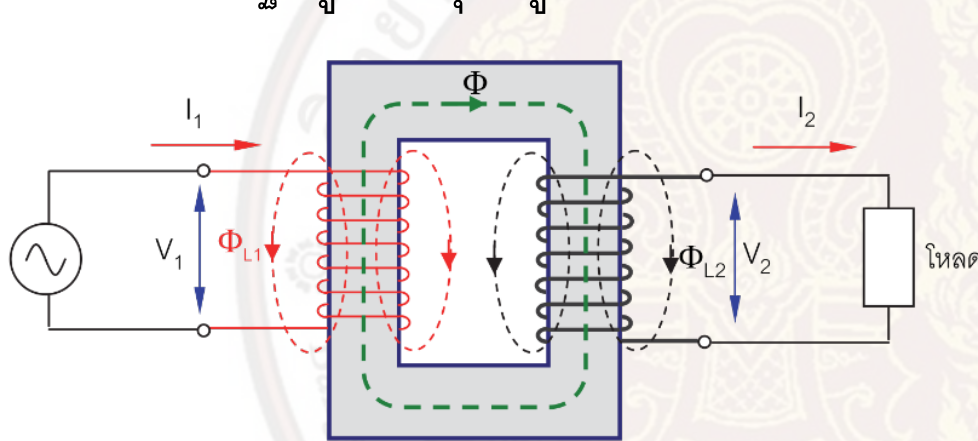
จากวงจรรูปที่ 5.4 จะเห็นว่า R_2 ต่ออนุกรมกับ R_1' เมื่อนำมารวมกันจะเป็นความต้านทาน
ค่าใหม่ เรียกว่า **ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ**
กำหนดให้เป็น R_{eq2} หาค่าได้ดังนี้

$$R_{eq2} = R_2 + R_1'$$

$$R_{eq2} = R_2 + \frac{R_1}{a^2}$$

การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลและรีแอกแตนซ์

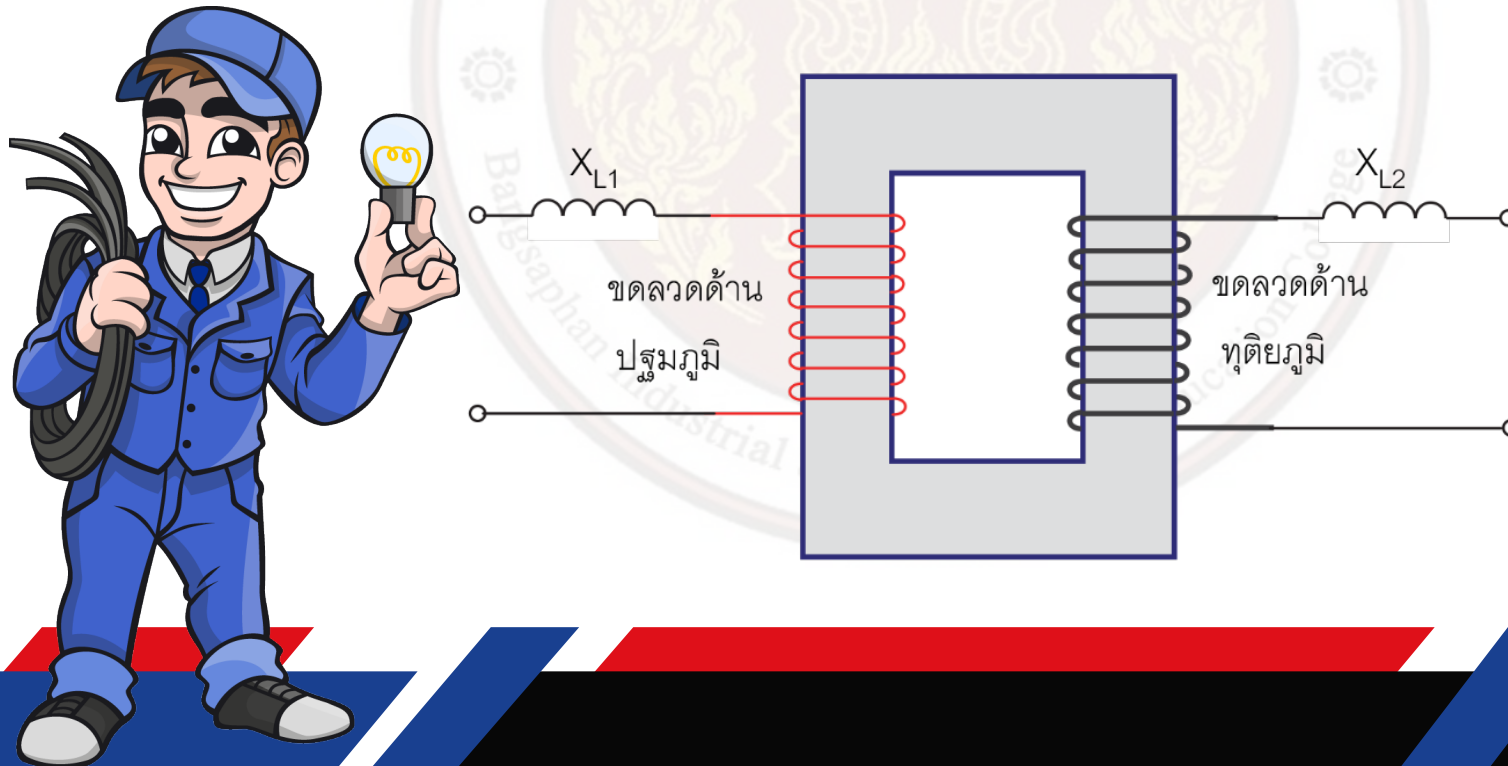
เส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่เกิดขึ้นรอบแกนเหล็กเกิดจากกระแสไฟฟ้าในส่วนที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กและไปคล้องตัดกับขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ แล้วเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และ E_2 ตามลำดับ



เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีโหลดทำให้เกิดมีกระแส I_2 โหลที่ขดลวดทุติยภูมิและกระแส I_2 ที่ขดลวดปฐมภูมิแล้วสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมาทั้งสองด้านโดยมีอากาศเป็นทางเดิน เรียกเส้นแรงแม่เหล็กนี้ว่า **เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล** กำหนดให้เป็น Φ_{L1} และ Φ_{L2} ตามลำดับ และเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามไฟฟ้ากระแสสลับไปคล้องตัดกับขดลวดแต่ละขด

รีแอกแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า และวิธีการย้ายค่า

5.4.1 ค่ารีแอกแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จากการมีค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลของขดลวดทั้งสองขดจึงกำหนดให้เป็น X_{L1} และ X_{L2} ซึ่งเขียนวงจรสมมูลของขดลวดได้ดังรูป



5.4.2 วิธีการย้ายค่ารีแอกแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. การย้ายค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวดจากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งเป็นการย้ายค่า X_{L2} มาไว้ทางด้านปฐมภูมิ โดยค่า X_{L1} ทางด้านปฐมภูมิให้คงที่ไว้ ซึ่งเรียกค่ารีแอกแตนซ์ที่ย้ายไปว่า **รีแอกแตนซ์ที่ย้ายจากขดทุติยภูมิไปขดปฐมภูมิ** กำหนดให้เป็น X_{L2}' ซึ่งหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า นั่นคือกำลังไฟฟ้ารี้แอกตีฟในขดลวดทองแดงทั้งหมดมีค่า $(I_1)^2 X_{L1} + (I_2)^2 X_{L2}$

= กำลังไฟฟ้ารี้แอกตีฟที่ขดลวดปฐมภูมิ + กำลังไฟฟ้ารี้แอกตีฟที่ขดลวดทุติยภูมิ

= แต่เมื่อย้ายไปทางขดปฐมภูมิจะได้เป็น

$$\text{กำลังไฟฟ้ารี้แอกตีฟในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = (I_1)^2 X_{L1} + (I_1)^2 X_{L2}'$$

$$\text{แต่} \quad (I_1)^2 X_{L2}' = (I_2)^2 X_{L2} = \text{กำลังไฟฟ้ารี้แอกตีฟที่ขดลวดทุติยภูมิ}$$

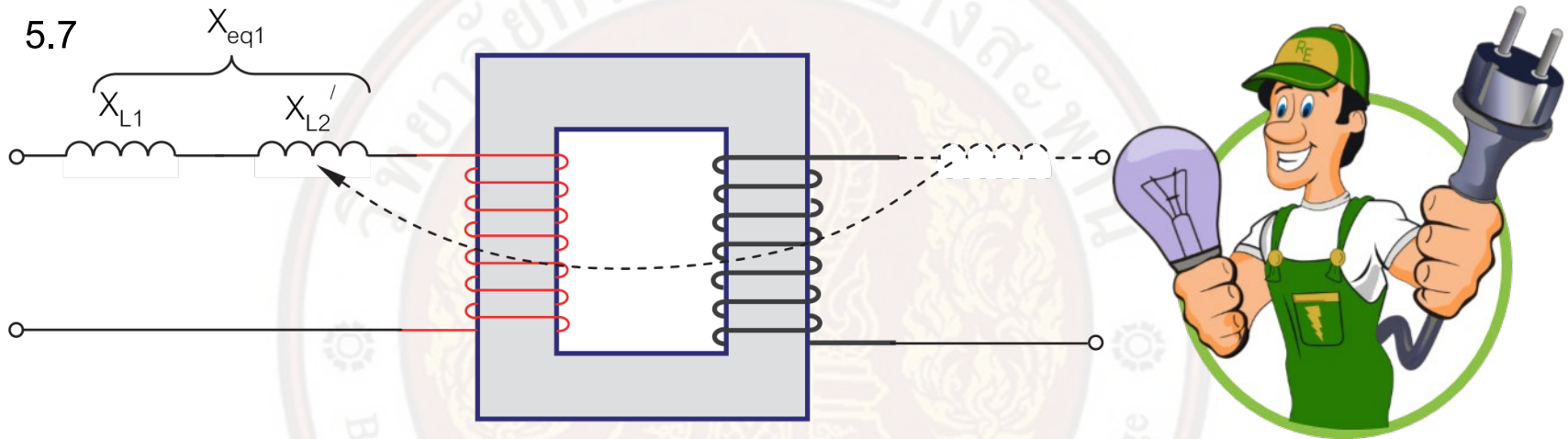
$$\begin{aligned} X_{L2}' &= \frac{(I_2)^2}{(I_1)^2} \times X_{L2} \\ &= a^2 X_{L2} \end{aligned}$$

$$X_{L2}' = a^2 X_{L2}$$

.... (5.5)



นั่นหมายความว่า ถ้าต้องการย้ายค่ารีแอกแตนซ์จากทุติยภูมิมาไว้ทางปฐมภูมิต้องคูณด้วยค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ายกกำลังสอง ซึ่งวงจรสมมูลที่ย้ายไปแสดงดังรูปที่



จากวงจรรูปที่ 5.7 จะเห็นว่า X_{L1} ต่ออนุกรมกับ X_{L2}' เมื่อนำมารวมกันจะเป็นรีแอกแตนซ์ค่าใหม่เรียกว่า **ค่ารีแอกแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ** กำหนดให้เป็น X_{eq1} หาค่าได้ดังนี้

$$X_{eq1} = X_{L1} + X_{L2}'$$

$$X_{eq1} = X_{L1} + a^2 X_{L2} \quad \dots (5.6)$$

2. การย้ายค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวดจากปฐมภูมิมาไว้ทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งเป็นการย้ายค่า X_{L1} มาไว้ทางด้านทุติยภูมิ โดยค่า X_{L2} ทางด้านทุติยภูมิให้คงที่ไว้ เรียกค่ารีแอกแตนซ์ที่ ย้ายไปว่า **รีแอก-แตนซ์ที่ย้ายจากขดปฐมภูมิไปขดทุติยภูมิ** กำหนดให้เป็น X_{L1}' ซึ่งหาค่า ได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้านั้นคือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในขดลวดทองแดงทั้งหมดมี ค่า $(I_1)^2 X_{L1} + (I_2)^2 X_{L2}$

= กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ขดลวดปฐมภูมิ + กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ขดลวดทุติยภูมิ

= แต่เมื่อย้ายไปทางขดทุติยภูมิจะได้เป็น

$$\text{กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในขดลวดทองแดงทั้งหมด} = (I_1)^2 X_{L1}' + (I_2)^2 X_{L2}$$

แต่

$$(I_2)^2 X_{L1}' = (I_1)^2 X_{L1} = \text{กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ขดลวดปฐมภูมิ}$$

$$(I_2)^2 X_{L1}' = (I_1)^2 X_{L1}$$

$$X_{L1}' = \frac{(I_1)^2}{(I_2)^2} \times X_{L1}$$

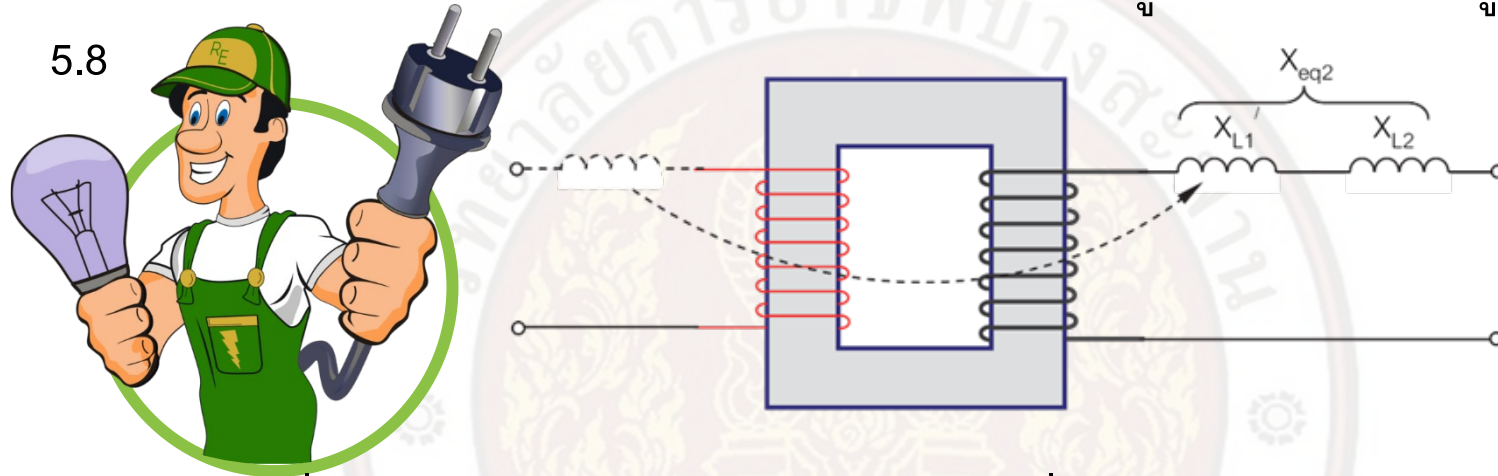
$$= \frac{1}{a^2} \times X_{L1}$$

$$X_{L1}' = \frac{X_{L1}}{a^2}$$

.... (5.7)



นั่นหมายความว่า ถ้าต้องการย้ายค่ารีแอกแตนซ์จากปฐมภูมิมาไว้ทางทุติยภูมิต้องหารด้วยค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ายกกำลังสอง ซึ่งวงจรสมมูลที่ย้ายไปแสดงดังรูปที่ 5.8



จากวงจรรูปที่ 5.8 จะเห็นว่า X_{L2} ต่ออนุกรมกับ $X_{L1'}$ เมื่อนำมารวมกันจะเป็นรีแอกแตนซ์ค่าใหม่เรียกว่า ค่ารีแอกแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ กำหนดให้เป็น X_{eq2} หาค่าได้ดังนี้

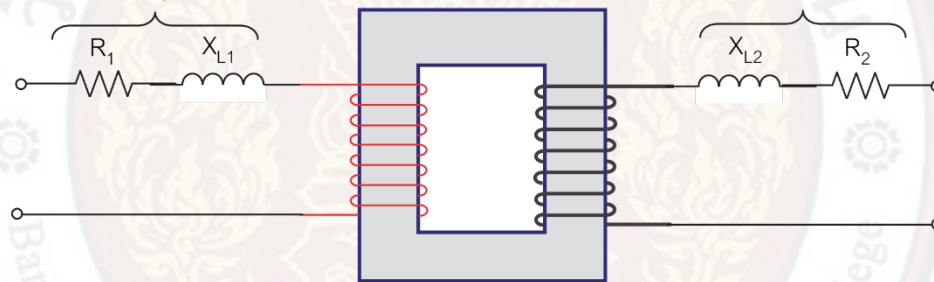
$$X_{eq2} = X_{L2} + X_{L1'}$$

$$X_{eq2} = X_{L2} + \frac{X_{L1}}{a^2}$$

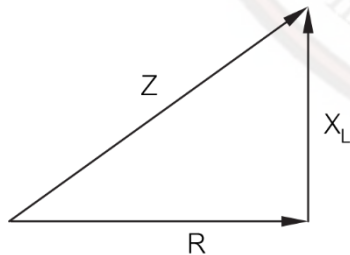
.... (5.8)

อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า และวิธีการย้ายค่า

ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีค่าความต้านทานและค่ารีแอ็กแตนซ์ โดยค่าทั้งสองของแต่ละขดลวดจะเทียบเท่าว่าต่ออนุกรมกัน และผลรวมของทั้งสองค่าเรียกว่า **อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า** (Impedance of transformers) โดยให้ Z_1 เป็นอิมพีแดนซ์ทางด้านปฐมภูมิและ Z_2 เป็นอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 5.9



ซึ่งความสัมพันธ์ของความต้านทาน รีแอ็กแตนซ์ อิมพีแดนซ์ จะเขียนเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก เรียกว่า**สามเหลี่ยมอิมพีแดนซ์** ดังรูปที่ 5.10



$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองด้าน คำนวณได้ดังนี้

ทางด้านปฐมภูมิ

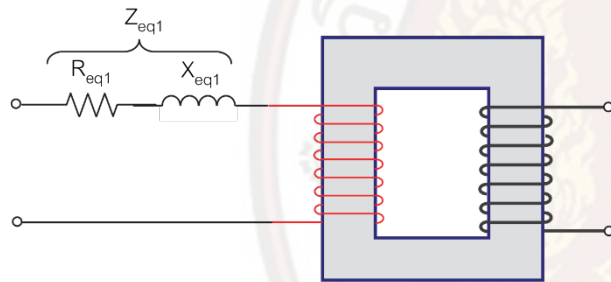
$$Z_1 = \sqrt{(R_1)^2 + (X_{L1})^2} \quad \dots (5.9)$$

ทางด้านทุติยภูมิ

$$Z_2 = \sqrt{(R_2)^2 + (X_{L2})^2} \quad \dots (5.10)$$

วิธีการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

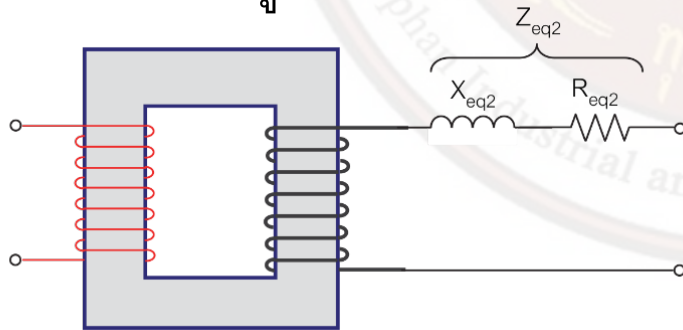
1. อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ ดังรูปที่ 5.11



$$Z_{eq1} = \sqrt{(R_{eq1})^2 + (X_{eq1})^2}$$



2. อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 5.12



$$Z_{eq2} = \sqrt{(R_{eq2})^2 + (X_{eq2})^2} \quad \dots (5.12)$$

การคำนวณค่าต่าง ๆ ของวงจรสมมูล

ตัวอย่างที่ 5.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 kVA ขนาดแรงดันไฟฟ้า 2400/240 V มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

ค่าความต้านทานที่ขดลวดแรงดัน 2400 V = 0.75Ω

ค่าความต้านทานที่ขดลวดแรงดัน 240 V = 0.0075Ω

ค่ารีแอ็กแตนซ์ที่ขดลวดแรงดัน 2400 V = 1Ω

ค่ารีแอ็กแตนซ์ที่ขดลวดแรงดัน 240 V = 0.01Ω

จงคำนวณหา

ก. ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

ข. ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

ค. ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

ง. ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

จ. ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ



วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 2400 \text{ V} \quad \text{และ} \quad V_2 = 240 \text{ V}$$

$$R_1 = 0.75 \, \Omega \quad \text{และ} \quad R_2 = 0.0075 \, \Omega$$

$$X_{L1} = 1 \, \Omega \quad \text{และ} \quad X_{L2} = 0.01 \, \Omega$$

ดังนั้น

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2400}{240} = 10$$

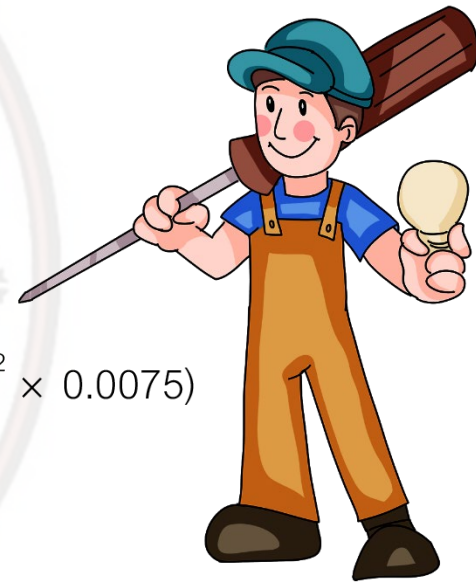
ก. ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} R_{eq1} &= R_1 + a^2 R_2 = 0.75 + (10^2 \times 0.0075) \\ &= 0.75 + 0.75 \end{aligned}$$

$$R_{eq1} = 1.5$$

ความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ $1.5 \, \Omega$

ตอบ



ข. ค่าความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

$$R_{eq2} = R_2 + \frac{R_1}{a^2} = 0.0075 + \frac{0.75}{10^2}$$
$$= 0.0075 + 0.0075$$

$$R_{eq2} = 0.015$$

ความต้านทานสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 0.015 Ω **ตอบ**

ค. ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

$$X_{eq1} = X_{L1} + a^2 X_{L2} = 1 + (10^2 \times 0.01)$$
$$= 1 + 1$$

$$X_{eq1} = 2$$

รีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 2 Ω **ตอบ**

ง. ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

$$X_{eq2} = X_{L1} + \frac{X_{L1}}{a^2} = 0.01 + \frac{1}{10^2}$$
$$= 0.01 + 0.01$$

$$X_{eq2} = 0.02$$

รีแอ็กแตนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 0.02 Ω **ตอบ**



จ. ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}Z_{eq1} &= \sqrt{(R_{eq1})^2 + (X_{eq1})^2} \\&= \sqrt{(1.5)^2 + (2)^2} \\&= \sqrt{6.25}\end{aligned}$$

$$Z_{eq1} = 2.5$$

อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 2.5 Ω

ตอบ

$$\begin{aligned}Z_{eq2} &= \sqrt{(R_{eq2})^2 + (X_{eq2})^2} \\&= \sqrt{(0.015)^2 + (0.02)^2} \\&= \sqrt{6.25 \times 10^{-4}}\end{aligned}$$

$$Z_{eq2} = 0.025$$

อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 0.025 Ω

ตอบ





การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า



หัวข้อเรื่อง (Topics)

6.1 จุดประสงค์ของการ
ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า



6.3 การทดสอบหม้อแปลง
ไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร



6.2 การทดสอบหม้อแปลง
ไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร



6.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ
ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า



จุดประสงค์ของการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

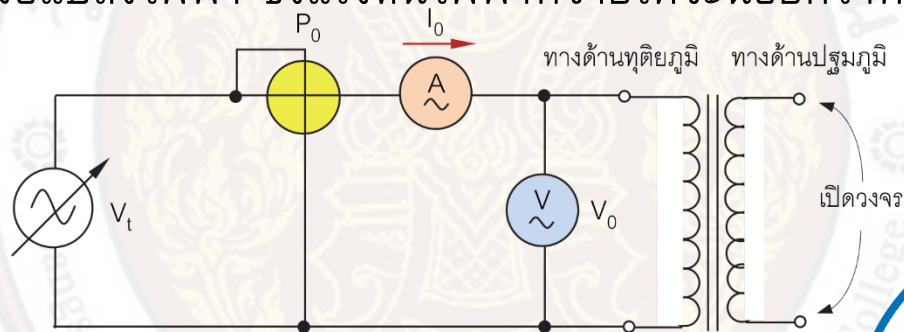
จุดประสงค์ของการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

เพื่อต้องการหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย การสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในขดลวดทองแดง และนำไปสู่การหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนี้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ายังใช้หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ



การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะเปิดวงจร

การทดสอบแบบนี้สามารถกระทำได้ทั้ง 2 ด้านของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการเปิดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่ง ส่วนมากจะกระทำทางด้านทุติยภูมิแล้วเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ เพราะการทดสอบแบบนี้จะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับฟลักซ์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้จะน้อยกว่าทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 6.1 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะเปิดวงจร

จากรูปที่ 6.1 ถ้ากำหนดให้

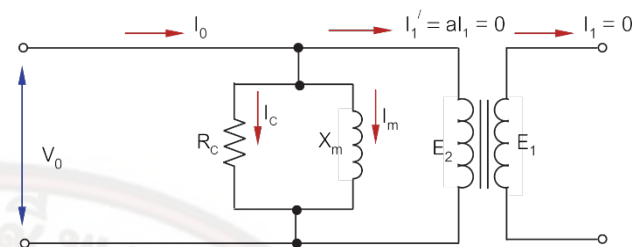
P_0 = กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์

V_0 = แรงดันไฟฟ้าที่ฟลักซ์ที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์

I_0 = กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์



จากวงจรการทดสอบ เขียนเป็นวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด ดังรูปที่



รูปที่ 6.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะเปิดวงจร

6.2

จากวงจรสมมูล รูปที่ 6.2 จะเห็นว่ากระแส I_0 แยกไหลเป็นสองส่วน คือ กระแส I_c และกระแส I_m ส่วนกระแส I_1' มีค่าเท่ากับศูนย์เพราะขดลวดอีกทางด้านหนึ่งเปิดวงจร และเมื่อทราบค่าของกระแส I_0 จะทำให้ทราบค่าในส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กและส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ค่าความต้านทานสมมูลของแกนเหล็ก และค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กได้ตามลำดับ ดังนี้

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 \quad \dots (6.1)$$

I_c = ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \quad \dots (6.2)$$

I_m = ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$R_c = \frac{V_0}{I_c} \quad \dots (6.3)$$

R_c = ค่าความต้านทานสมมูลของแกนเหล็ก

$$X_m = \frac{V_0}{I_m} \quad \dots (6.4)$$

X_m = ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลของแกนเหล็ก

นอกจากนี้ยังหามุมเฟสระหว่างแรงดัน V_0 กับกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด I_0 ได้ดังนี้

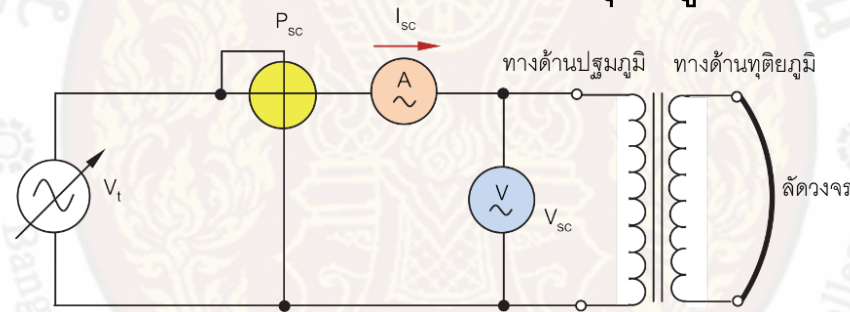
$$P_0 = V_0 I_0 \cos \theta_0$$

$$\theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{V_0 I_0} \right) \quad \dots (6.5)$$



การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

ในการทดสอบแบบนี้สามารถกระทำได้ทั้ง 2 ด้านของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการลัดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งส่วนมากจะทดสอบทางด้านปฐมภูมิแล้วลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิเพราะการทดสอบแบบนี้จะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เท่ากับพิกัดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทางด้านปฐมภูมินั้นจะใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าทางด้านทุติยภูมิซึ่งแหล่งจ่ายไม่ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้ามาก



รูปที่ 6.3 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

จากรูปที่ 6.3 ถ้ากำหนดให้

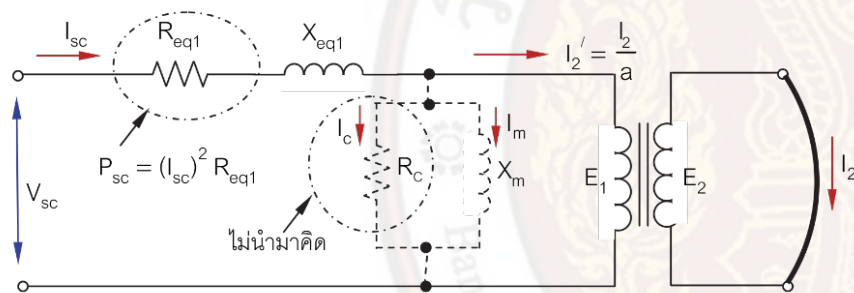
P_{sc} = กำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์

V_{sc} = แรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์

I_{sc} = กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรซึ่งเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่พิกัด



เนื่องจากแรงดัน V_{sc} ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าประมาณ 5-12 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด จึงทำให้กระแสไฟฟ้า I_0 มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด (กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กจึงไม่นำมาคิดเช่นเดียวกัน) เมื่อทราบค่าต่าง ๆ จากเครื่องวัดไฟฟ้าทั้งสามจะสามารถหาค่าของอิมพีแดนซ์สมมูล ค่าความต้านทานสมมูลและค่ารีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิได้ตามลำดับ ดังนี้



รูปที่ 6.4 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

$$Z_{eq1} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad \dots (6.6)$$

$$R_{eq1} = \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \quad \dots (6.7)$$

$$X_{eq1} = \sqrt{(Z_{eq1})^2 - (R_{eq1})^2} \quad \dots (6.8)$$

Z_{eq1} = อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

R_{eq1} = ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

X_{eq1} = รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

การทดสอบในสภาวะเปิดวงจร จะได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ($P_c = P_0$)

การทดสอบในสภาวะลัดวงจร จะได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมด ($P_{co} = P_{sc}$)

การคำนวณค่าต่าง ๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 6.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 10 kVA ขนาดแรงดัน 450/120 V จากการทดสอบ ดังนี้
ทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ) $V_0 = 120$ V, $I_0 = 4.2$ A, $P_0 = 140$ W
ทดสอบในสภาวะลัดวงจร (ลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ) $V_{SC} = 25$ V, $I_{SC} = 22.2$ A, $P_{SC} = 260$ W

จงคำนวณหา

- ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก
- ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)
- รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)
- อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

วิธีทำ เมื่อทดสอบในสภาวะเปิดวงจร

หามุม θ_0 ได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\theta_0 &= \cos^{-1}\left(\frac{P_0}{V_0 I_0}\right) \\ &= \cos^{-1}\left(\frac{140}{120 \times 4.2}\right) \\ \theta_0 &= 73.9^\circ\end{aligned}$$

ก. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}I_c &= I_0 \cos \theta_0 \\ &= 4.2 \times \cos 73.9^\circ \\ &= 4.2 \times 0.277 \\ I_c &= 1.16\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 1.16 A

ตอบ

ข. ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\begin{aligned}I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\ &= 4.2 \times \sin 73.9^\circ \\ &= 4.2 \times 0.96 \\ I_m &= 4.032\end{aligned}$$

ส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 4.032 A

ตอบ

ค. ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}R_c &= \frac{V_0}{I_c} \\&= \frac{120}{1.16} \\R_c &= 103.44\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 103.44 Ω **ตอบ**

ง. รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)

$$\begin{aligned}X_m &= \frac{V_0}{I_m} \\&= \frac{120}{4.032} \\X_m &= 29.76\end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลของแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 29.76 Ω **ตอบ**
เมื่อทดสอบในสภาวะลัดวงจร

จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}Z_{eq1} &= \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \\&= \frac{25}{22.2} \\Z_{eq1} &= 1.126\end{aligned}$$

อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 1.126 Ω **ตอบ**

จ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}R_{eq1} &= \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \\&= \frac{260}{(22.2)^2} \\R_{eq1} &= 0.527\end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ 0.527 Ω

ตอบ

ข. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned}X_{eq1} &= \sqrt{Z_{eq1}^2 - R_{eq1}^2} \\&= \sqrt{(1.126)^2 - (0.527)^2} \\&= \sqrt{1} \\X_{eq1} &= 1\end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ

1 Ω

ตอบ



ประสิทธิภาพ ของหม้อแปลงไฟฟ้า



หัวข้อเรื่อง (Topics)



7.1 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า



7.2 การสูญเสียในแกนเหล็ก



7.3 การสูญเสียในขดลวดทองแดง



7.4 การหากล้างไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า



7.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า



7.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่มีค่าการสูญเสีย
น้อยกว่าเครื่องกลไฟฟ้าประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าและ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้น
ไม่มีการสูญเสียทางกล ดังนั้นจึงทำให้หม้อแปลงไฟฟ้า
มีการสูญเสียเพียง 2 ส่วน ได้แก่

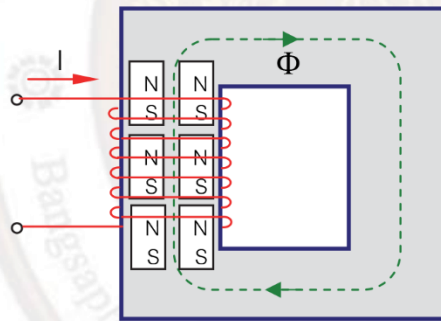
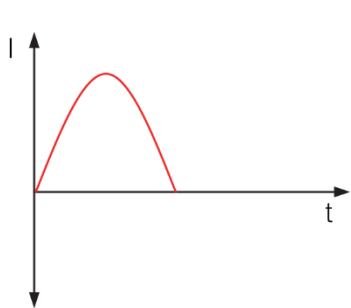
1. การสูญเสียในแกนเหล็ก
2. การสูญเสียในขดลวดทองแดง



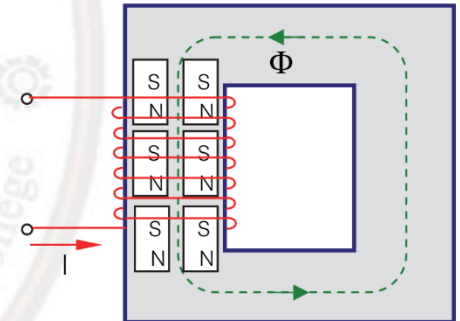
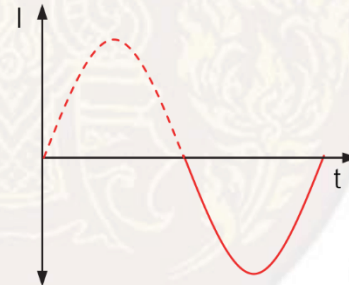
การสูญเสียในแกนเหล็ก

การสูญเสียส่วนนี้จะเกิดขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งออกเป็น

7.2.1 การสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงขนาด และทิศทางตลอดเวลาตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามา ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูป (ก) เมื่อครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า



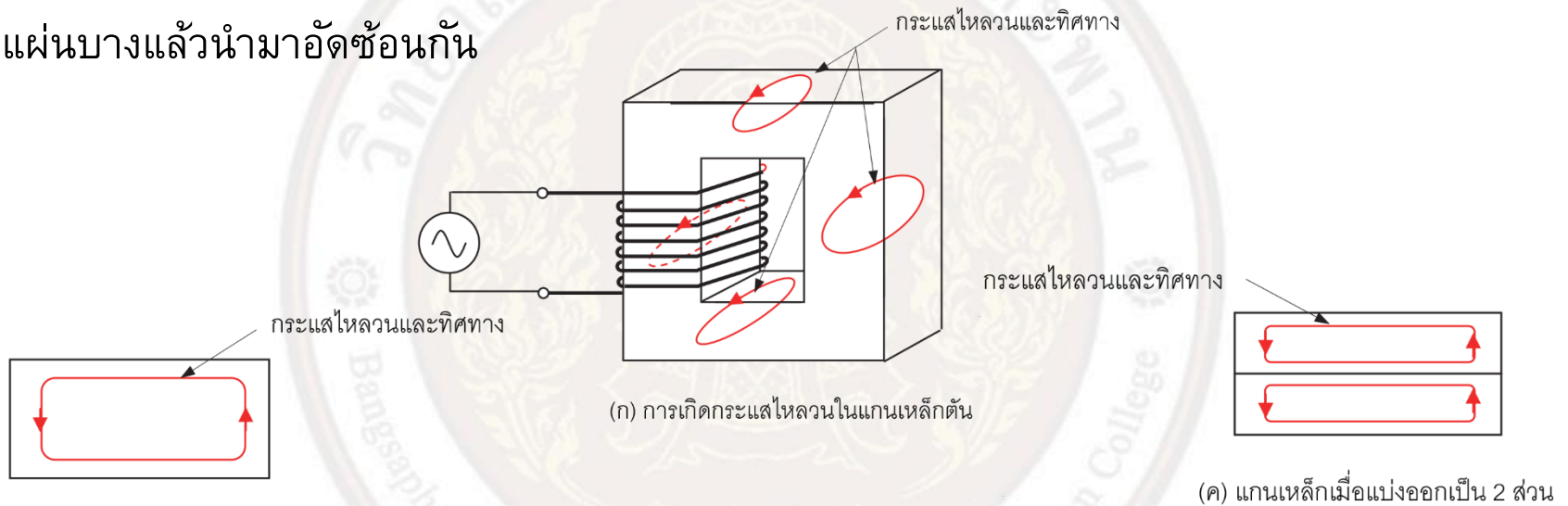
(ก) เมื่อครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาจ่ายให้กับขดลวด



(ข) เมื่อครึ่งไซเคิลลบเข้ามาจ่ายให้กับขดลวด

จากรูป (ข) เมื่อครึ่งไซเคิลลบเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตามไฟฟ้าสลับและมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะทำให้โมเลกุลของแกนเหล็กเรียงตัวเป็นแบบ S-N และ S-N รอบแกนเหล็ก

7.2.2 การสูญเสียจากกระแสไหลวน เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลวนภายในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งพิจารณาได้จากรูป (ก) ถ้าให้แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแกนเหล็กตันจึงทำให้เกิดกระแสไหลวนและมีทิศทางตามรูป (ข) ถ้าต้องการลดกระแสไหลวนที่แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำได้โดยลดพื้นที่การไหลของกระแสไหลวนโดยทำเป็นเหล็กแผ่นบางแล้วนำมาอัดซ้อนกัน



(ข) ทิศทางของกระแสไหลวนเมื่อมองจากด้านบน

จากรูป (ค) เมื่อแบ่งแกนเหล็กตันออกเป็น 2 ส่วน โดยแกนเหล็กทั้งสองไม่ถึงกันและทำให้เกิดกระแสไหลวนในแต่ละส่วนลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากกระแสไหลวนลดลงด้วย การสูญเสียที่แกนเหล็กนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

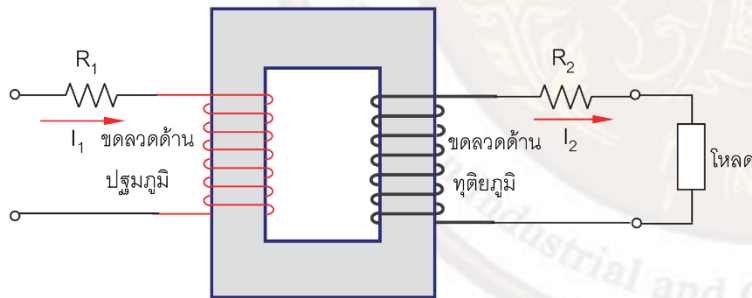
การสูญเสียในขดลวดทองแดง

เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าผันจากขดลวดทองแดงทั้งสองด้านโดยจะมีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทั้งสองซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปจะออกมาในรูปของความร้อน แบ่งออกเป็น

1. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ
2. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

กำหนดให้ P_{co1} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ

P_{co2} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ



จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อ
พิจารณาเฉพาะค่าความต้านทาน

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า รูป

$$P_{co1} = I_1^2 R_1 \quad \dots (7.1)$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงหาได้ ดังนี้

$$P_{co2} = I_2^2 R_2 \quad \dots (7.2)$$

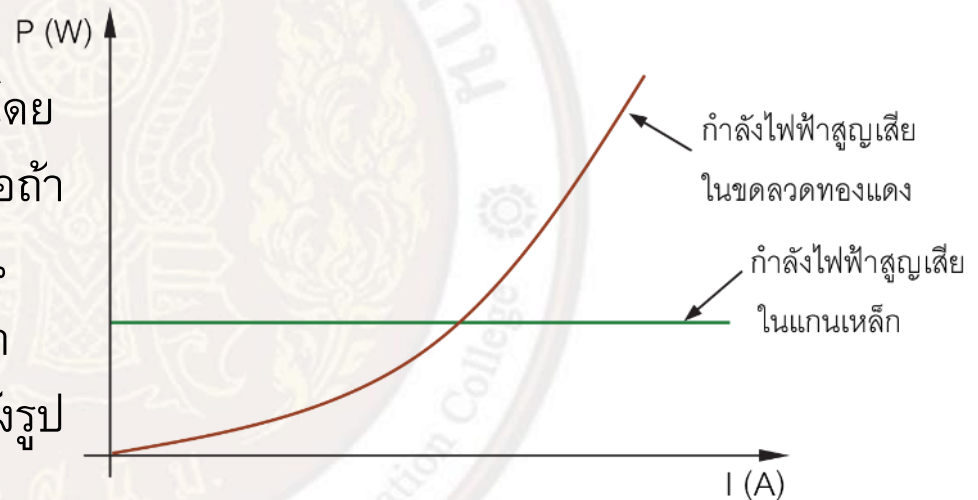
ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของขดลวด $(P_{co}) P_{co} = P_{co1} + P_{co2}$ (7.3)

นอกจากนี้ การหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดยังได้จากการย้ายค่าต่าง ๆ ดังนี้

จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ $P_{co} = I_1^2 R_{eq1}$ (7.4)

จากทางด้านปฐมภูมิมาไว้ทางด้านทุติยภูมิ $P_{co} = I_2^2 R_{eq2}$ (7.5)

การสูญเสียในขดลวดทองแดงนี้จะมีค่าไม่คงที่โดยเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่ไหล ดังนั้นถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลมาก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงจะมีค่ามากตามไปด้วยสามารถนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ดังรูป



จากรูป จะเห็นว่าเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่ไหล ส่วนเส้นกราฟการสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งสองด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่ไหลดยกกำลังสอง

การหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง ที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงนั้น เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดหรือได้จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะลัดวงจร ก็เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงเมื่อเต็มพิกัดเช่นเดียวกัน

กำหนดให้

P_{co} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด

P_{con} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดที่พิกัดใด ๆ

n = จำนวนเท่าที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเทียบกับพิกัด

$$P_{co} = I^2 R_{eq}$$

$$P_{con} = (nI)^2 R_{eq}$$

$$\frac{P_{con}}{P_{co}} = \frac{(nI)^2 R_{eq}}{I^2 R_{eq}}$$

$$= \frac{n^2 I^2}{I^2} \times \frac{R_{eq}}{R_{eq}} = n^2$$

$$\frac{P_{con}}{P_{co}} = n^2 \quad \text{.....(7.6)}$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังอินพุตที่จ่ายเข้ามาให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นกำลังไฟฟ้า และมีกำลังไฟฟ้าบางส่วนได้สูญเสียไปในแกนเหล็กและในขดลวด

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังอินพุต}} \times 100 \\ &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด}} \times 100\end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \quad \dots(7.7)$$

$$= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \times 100$$

$$\begin{aligned}\text{โดยกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต} \quad P_{\text{out}} &= V_2 I_2 \cos\theta \quad \dots(7.8) \\ &= \text{kVA} \times \text{pf.}\end{aligned}$$

$$\text{และกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด} \quad P_{\text{loss}} = P_c + P_{\text{co}} \quad \dots(7.9)$$

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 7.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 25 kVA ขนาดแรงดัน 2200/250 V มีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 1.5Ω และ 0.01936Ω ตามลำดับ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลังและมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 260 W จงคำนวณหา

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า = 25 kVA

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2,200}{250}$$

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a = 8.8$$

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$I_1 = \frac{\text{kVA} \times 10^3}{V_1} = \frac{25 \times 10^3}{2200}$$

$$V_1 = 2200 \text{ V} \quad \text{และ} \quad V_2 = 250 \text{ V}$$

$$I_1 = 11.36 \text{ A}$$

$$R_1 = 1.5 \Omega \quad \text{และ} \quad R_2 = 0.01936 \Omega$$

$$I_2 = \frac{\text{kVA} \times 10^3}{V_2} = \frac{25 \times 10^3}{250}$$

$$\text{pf.} = 0.8 \text{ ล้าหลัง} \quad \text{และ} \quad P_c = 260 \text{ W}$$

$$I_2 = 100 \text{ A}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

$$\begin{aligned}P_{co1} &= I_1^2 R_1 = (11.36)^2 \times 1.5 \\&= 193.5 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{co2} &= I_2^2 R_2 = (100)^2 \times 0.01936 \\&= 193.6 \text{ W}\end{aligned}$$

$$P_{co} = P_{co1} + P_{co2} = 193.5 + 193.6$$

$$P_{co} = 387.1 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 387.1 W

ตอบ

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$\begin{aligned}P_{loss} &= P_c + P_{co} \\&= 260 + 387.1\end{aligned}$$

$$P_{loss} = 647.1$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

647.1 W

ตอบ

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$P_{\text{out}} = \text{kVA} \times \text{pf.} = 25 \times 10^3 \times 0.8$$
$$= 20 \times 10^3 \text{ W}$$

$$P_{\text{out}} = 20 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \times 100$$
$$= \frac{20 \times 10^3}{20 \times 10^3 + 647.1} \times 100$$
$$\eta = 96.87$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 96.87%

ตอบ



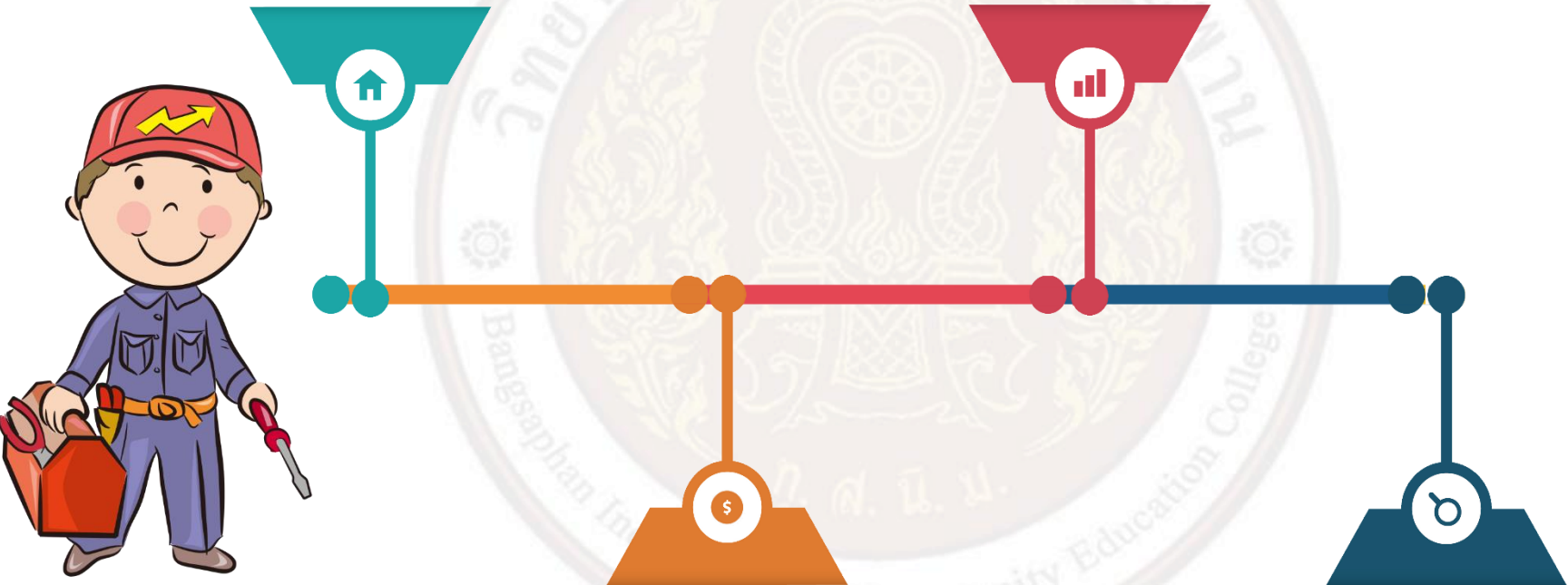
เครื่องหมายแสดงชั้น และการขนานหม้อแปลงไฟฟ้า



หัวข้อเรื่อง (Topics)

8.1 การทดสอบหาข้อของหม้อแปลงไฟฟ้า

8.3 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า



8.2 ตัวอย่างการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

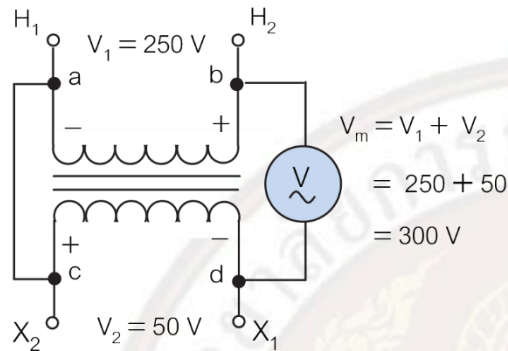
8.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการ
ขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบหาข้อของหม้อแปลงไฟฟ้า

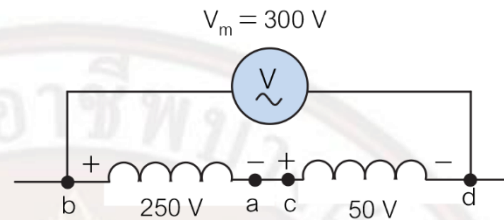
การกำหนดเครื่องหมายปลายสายที่ข้อของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่าง ๆ บริษัทหรือโรงงานผู้ผลิตจึงทำเครื่องหมายที่ข้อไว้ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตยึดถือ

8.1.1 แบบข้อเสริมกัน (Additive polarity) สมมติว่าต้องการทดสอบหาข้อของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งขนาดแรงดันไฟฟ้า 250/50 V ให้ปฏิบัติดังนี้

1. ให้นำสายไฟฟ้ามารับเข้าที่ข้อสายของทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (250 V) และปลายสายอีกข้างหนึ่งมาต่อเข้ากับข้อสายด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (50 V) จากรูปที่ 8.1 คือจุดต่อ a กับ c
2. ให้นำเอซีโวลต์มิเตอร์มาต่อเข้ากับข้อสายของทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (250 V) และข้อสายด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (50 V) จากรูปที่ 8.1 คือจุดต่อ b กับ d
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูง ตามพิกัดคือ 250 V
4. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเอซีโวลต์มิเตอร์



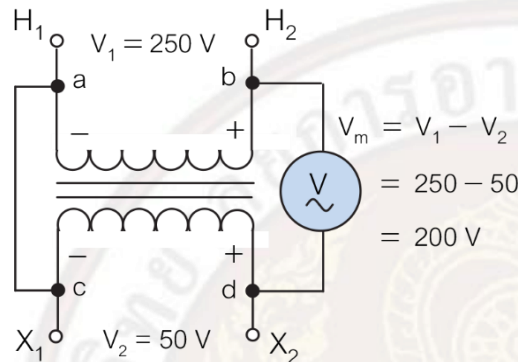
(ก) วงจรการทดสอบ



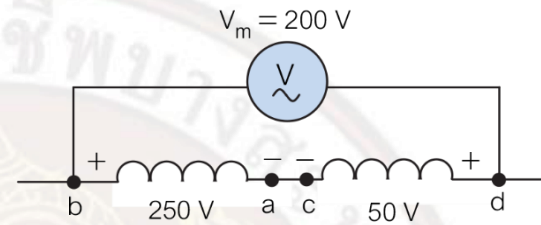
(ข) ขนาดและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากวงจรรูปที่ 8.1 (ก) ถ้ากำหนดให้จุด a เป็นขั้ว H_1 และจุด b เป็นขั้ว H_2 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 250 V เข้ามาทางด้านแรงดันสูงจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งทางด้านแรงดันสูงและแรงดันต่ำ ถ้าเอซีโวลต์มิเตอร์อ่านค่าเท่ากับ 300 V หมายความว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดทั้งสองมีขั้วเสริมกัน(ขั้ว + และขั้ว - ที่จุด ab เสริมกับขั้ว + และขั้ว - ที่จุด cd) ถ้าเอซีโวลต์มิเตอร์ได้ค่าในลักษณะนี้สรุปได้ว่าสายไฟที่ต่อเข้าด้วยกันคือ a กับ c ดังนั้นจุด c จะเป็นขั้ว X_1 (โดยจุด a คือขั้ว H_1 ที่กำหนดไว้แล้ว) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าขั้วสายของเอซีโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่กับจุด d จะเป็นขั้ว X_1 (โดยจุด b คือขั้ว H_2 ที่กำหนดไว้แล้ว)

8.1.2 แบบขั้วหักล้างกัน (Subtractive polarity) สมมติว่าต้องการทดสอบหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งขนาดแรงดันไฟฟ้า 250/50 V ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าตัวเดิม



(ก) วงจรการทดสอบ



(ข) ขนาดและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากวงจรรูปที่ 8.2 (ก) ถ้ากำหนดให้จุด a เป็นขั้ว H_1 และจุด b เป็นขั้ว H_2 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 250 V เข้ามาทางด้านแรงดันสูงจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งทางด้านแรงดันสูงและแรงดันต่ำ ถ้าเอซีโวลต์มิเตอร์อ่านค่าเท่ากับ 200 V หมายความว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดทั้งสองมีขั้วหักล้างกัน(ขั้ว + และขั้ว - ที่จุด ba หักล้างกับขั้ว + และขั้ว - ที่จุด cd) ถ้าเอซีโวลต์มิเตอร์ได้ค่าในลักษณะนี้ก็สรุปได้ว่าสายไฟที่ต่อเข้าด้วยกันคือ a กับ c ดังนั้นจุด c จะเป็นขั้ว X_1 (โดยจุด a คือขั้ว H_1 ที่กำหนดไว้แล้ว) หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าขั้วสายของเอซีโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่กับจุด d จะเป็นขั้ว X_2 (โดยจุด b คือขั้ว H_2 ที่กำหนดไว้แล้ว) การทราบขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าจะช่วยให้การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าได้หลายระดับแรงดัน

ตัวอย่างการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

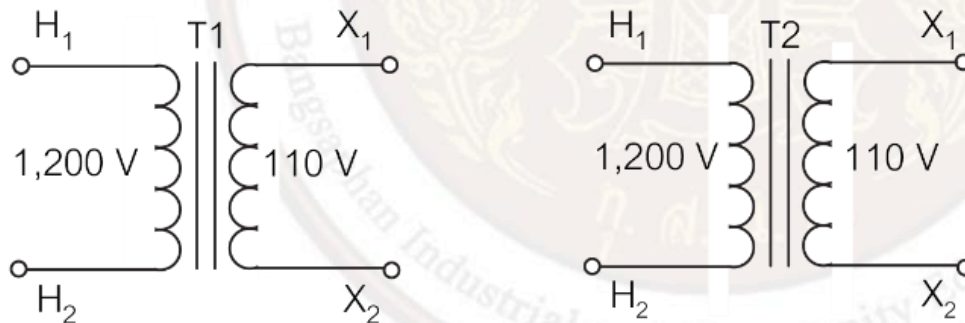
ตัวอย่างที่ 8.1 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดแรงดัน 1200/110 V 2 ตัว มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ จงแสดงวิธีการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับรับแรงดันไฟฟ้าและจ่ายแรงดันไฟฟ้าดังนี้

ก. 2400/220 V

ข. 1200/220 V

วิธีทำ กำหนดขั้วให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว ดังรูปที่

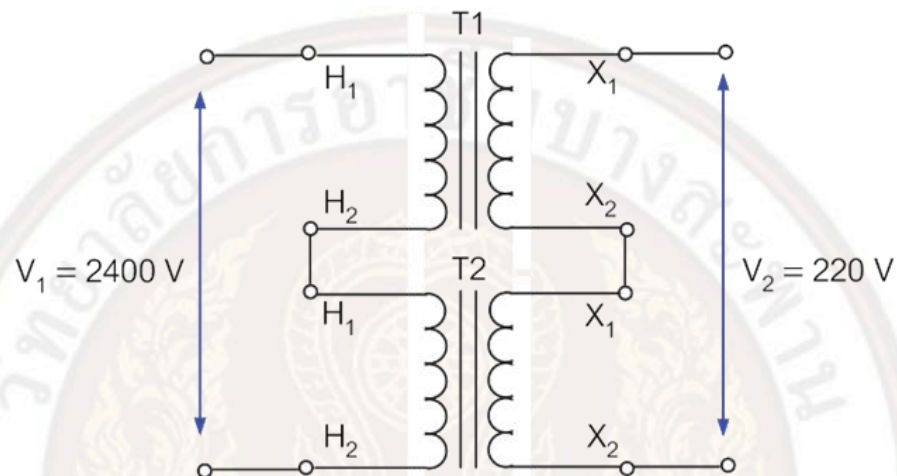
8.3



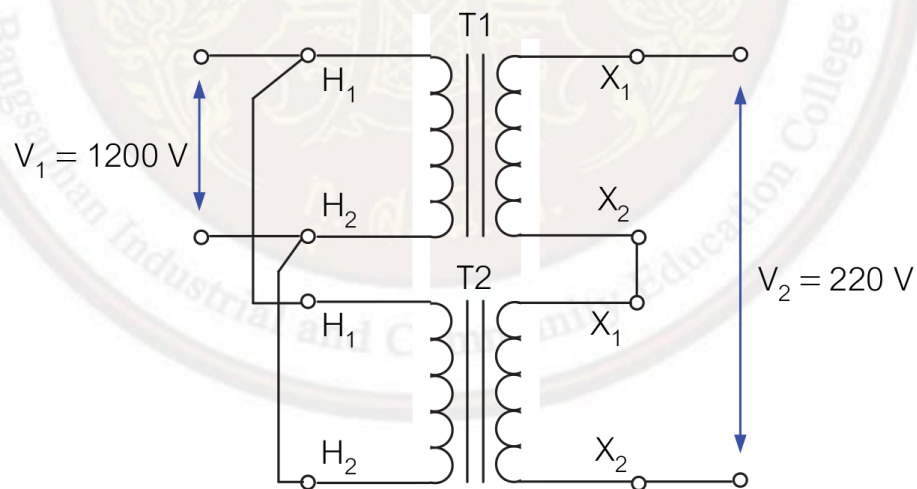
รูปที่ 8.3 การกำหนดขั้วให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขั้วหักล้างกัน



ก. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัวให้รับแรงดันไฟฟ้า 2400 V จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 V



ข. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัวให้รับแรงดันไฟฟ้า 1200 V จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 V

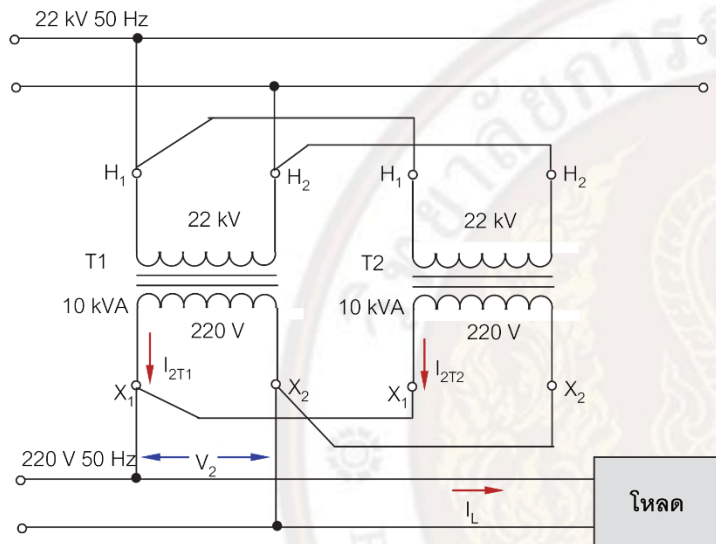


การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า 1 ตัวเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดแล้ว และมีโหลดมาต่อเพิ่มอีกจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้านั้นจ่ายโหลดเกินพิกัด ซึ่งเป็นอันตรายต่อตัวหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลดที่เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการขนานหม้อแปลงไฟฟ้าเข้ากับระบบเพื่อช่วยกันจ่ายโหลดในการขนานหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้าด้วยกัน ต้องพิจารณาดังนี้

1. พิกัดแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองต้องเท่ากัน
2. หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองจะต้องมีขั้วที่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางขั้วที่เหมือนกัน
3. อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องเท่ากัน หรืออยู่ในพิกัดความเผื่อที่กำหนดให้ ± 0.5 ของอัตราส่วนที่กำหนดให้
4. อัตราส่วนพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA) จะต้องไม่มากกว่า 3 : 1 (ข้อกำหนดนี้ระบุไว้ในมาตรฐาน VDE เท่านั้น)

การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว มาต่อขนานกัน แสดงดังรูปที่ 8.4 ตามข้อกำหนดมาตรฐาน



รูปที่ 8.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส สองตัวขนานกันโดยมีขั้วแบบหักล้างกัน

ในการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า จะกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมาต่อขนานกันมี คุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ซึ่งได้แก่

1. มีพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน (พิกัด kVA)
2. มีอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากัน
3. มีอิมพีแดนซ์เท่ากัน

$$I_{2T1} = I_{2T2} = \frac{I_L}{2}$$

kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$T1 = I_{2T1} V_2$$

kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$T2 = I_{2T2} V_2$$

เมื่อ

$$I_{2T1} = \text{กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า T1}$$

$$I_{2T2} = \text{กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า T2}$$

$$I_L = \text{กระแสไฟฟ้าที่โหลด}$$

$$V_2 = \text{แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ}$$

จากที่กำหนดให้ถ้าให้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัวนำมาต่อขนานกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกระแสไฟฟ้าที่โหลด (I_L) จะได้ว่า

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 8.2 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 10 kVA 22 kV/220 V 50 Hz จำนวน 2 ตัว นำมาต่อขนานกัน ดังรูปที่ 8.4 และมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ โดยมีกระแสไฟฟ้าที่ไหล 70 A

แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสอง 220 V จงคำนวณหา

ก. กระแสไฟฟ้าที่ฟักัดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว

ข. กระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจ่ายออกไป

ค. kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว



วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ ฟักัดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว = 10 kVA และ $I_L = 70$ A
ก. กระแสไฟฟ้าที่ฟักัดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว

$$V_1 = 22000 \text{ V} \quad \text{และ} \quad V_2 = 220 \text{ V}$$

$$I_{2T1} = I_{2T2} = \frac{\text{kVA}}{V_2}$$
$$= \frac{10 \times 10^3}{220}$$

$$I_{2T1} = 45.45$$

กระแสไฟฟ้าที่ฟักัดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 45.45 A

ตอบ

ข. กระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจ่ายออกไป

$$\begin{aligned} I_{2T1} &= I_{2T2} = \frac{I_L}{2} \\ &= \frac{70}{2} \\ I_{2T1} &= 35 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจ่ายออกไปมีค่าเท่ากับ 35 A **ตอบ**

ค. kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว

kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว

$$\begin{aligned} &= I_{2T1} V_2 = I_{2T2} V_2 \\ &= 35 \times 220 \\ &= 7700 \text{ VA} \\ &= 7.7 \text{ kVA} \end{aligned}$$

kVA ขณะจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 7.7 kVA **ตอบ**





การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส



หัวข้อเรื่อง (Topics)



9.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของไฟฟ้า 3 เฟส



9.2 การต่อแบบวาย-วาย (Y-Y)



9.3 การต่อแบบเดลตา-เดลตา (Δ - Δ)



9.4 การต่อแบบเดลตา-วาย (Δ -Y)



9.5 การต่อแบบวาย-เดลตา (Y- Δ)



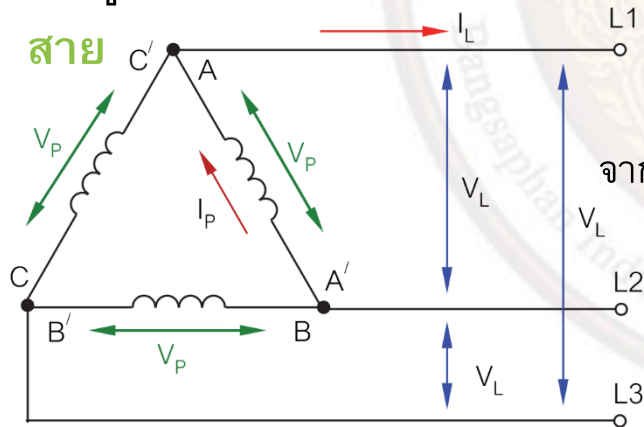
9.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟสใน



ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าของไฟฟ้า 3 เฟส

การต่อโหลดเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส มี 2 แบบ คือ แบบวายและแบบเดลตา ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าถือว่าเป็นโหลดของไฟฟ้า 3 เฟส เช่นเดียวกันซึ่งมีการต่อแบบวายและเดลตา ซึ่งการต่อทั้ง 2 แบบจะให้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน พิจารณาได้ดังนี้

9.1.1 แบบเดลตา เป็นการต่อโดยนำปลายของขดลวดชุดหนึ่งต่อเข้ากับต้นของขดลวดอีกชุดหนึ่ง จากรูปที่ 9.1 ถ้านำปลาย A' เข้ากับต้น B ปลาย B' เข้ากับต้น C และปลาย C' เข้ากับต้น A เป็นป่วงรูปสามเหลี่ยมหรือแบบเดลตา ซึ่งจะได้สายออกมาเพียง 3 สาย จึงเรียกว่า **ระบบ 3 เฟส 3 สาย**



รูปที่ 9.1 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา

เมื่อ

$$V_L = V_P \quad \dots (9.1)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P \quad \dots (9.2)$$

จากรูปที่ 9.1 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

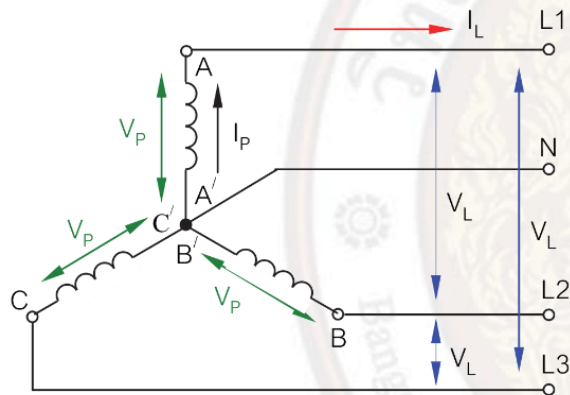
V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สาย

V_P = แรงดันไฟฟ้าที่เฟสหรือแรงดันที่ขดลวด

I_L = กระแสไฟฟ้าที่สาย

I_P = กระแสไฟฟ้าที่เฟสหรือกระแสที่ขดลวด

9.1.2 แบบวาย เป็นการต่อโดยนำปลายของขดลวดทั้ง 3 รวมกัน จากรูปที่ 9.2 ถ้านำปลาย A', B' และ C' มาต่อรวมกันจะเรียกจุดนี้ว่า **นิวทรัล** (Neutral point) จะกำหนดโดยตัวอักษร N ซึ่งจะได้สายออกมา 3 สายและนิวทรัลอีก 1 สาย รวมเป็น 4 สาย จึงเรียกว่า **ระบบ 3 เฟส 4 สาย** (Three phase fourwire) แต่ถ้าไม่ต่อสายนิวทรัลไปยังระบบ จะเรียกว่า **ระบบ 3 เฟส 3 สาย**



รูปที่ 9.2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย 3 เฟส 4 สาย

จากรูปที่ 9.2 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V_L = \sqrt{3} V_P \quad \dots (9.3)$$

$$I_L = I_P \quad \dots (9.4)$$

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สาย

V_P = แรงดันไฟฟ้าที่เฟสหรือแรงดันที่ขดลวด

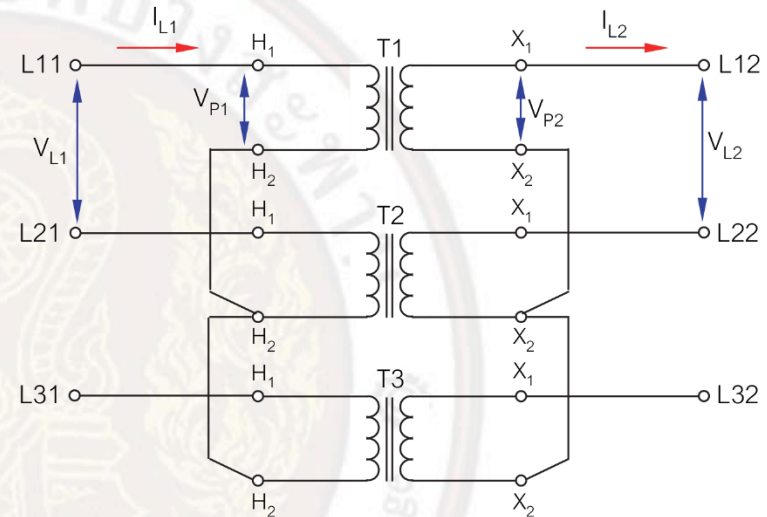
I_L = กระแสไฟฟ้าที่สาย

I_P = กระแสไฟฟ้าที่เฟสหรือกระแสที่ขดลวด

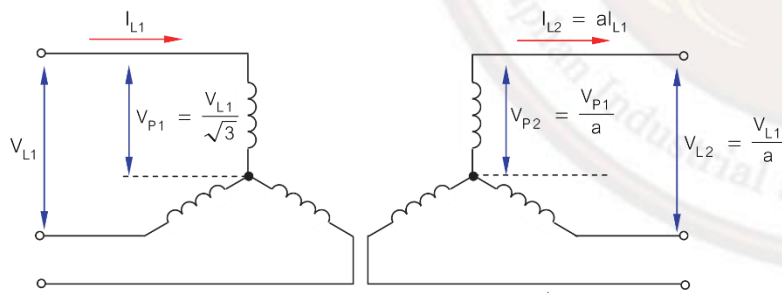
จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของการต่อแบบเดลตาและแบบวาย ดังนั้นถ้านำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส (Bank of three single phase transformer) ก่อนที่จะนำหม้อแปลงไฟฟ้ามาต่อเข้าด้วยกันนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีขั้วที่เหมือนกัน ซึ่งได้จากการหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า

การต่อแบบวาย-วาย (Y-Y)

การต่อแบบวาย-วาย (Y-Y) เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวายและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวายเช่นกัน จากรูปที่ 9.3 โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกัน และทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกันเช่นเดียวกัน



รูปที่ 9.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย-วาย (Y-Y)

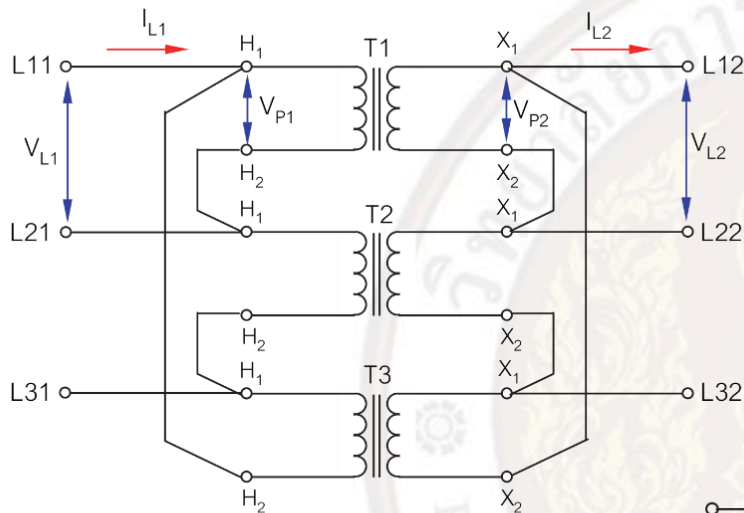


รูปที่ 9.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย-วาย

จากรูปที่ 9.3 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 9.4 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงแรงดันไฟฟ้าลง ดังนี้

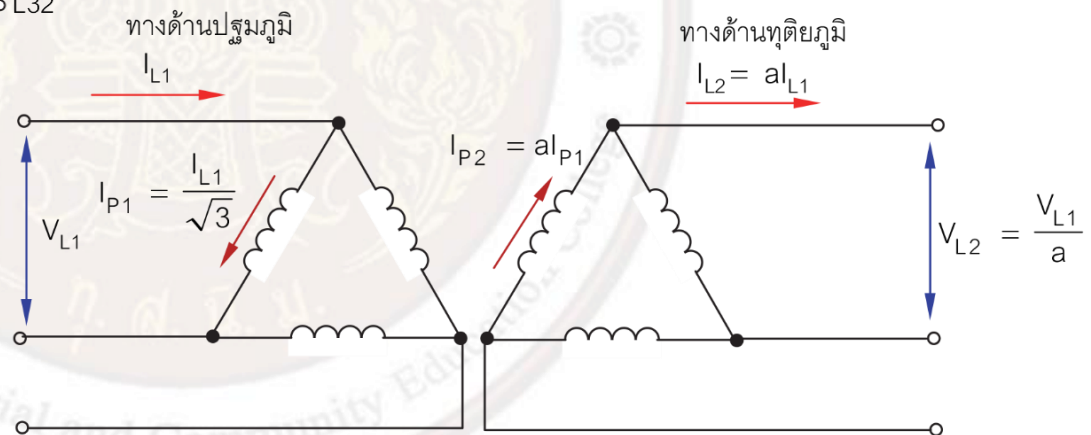
การต่อแบบเดลตา-เดลตา (Δ - Δ)

การต่อแบบเดลตา-เดลตา (Δ - Δ)เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตาเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 9.5 โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น H1 ของ T2 ปลาย H2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น H1 ของ T3 และปลาย H2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น H1 ของ T1 ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น X1 ของ T2 ปลาย X2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น X1 ของ T3 และปลาย X2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น X1 ของ T1



รูปที่ 9.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-เดลตา (Δ - Δ)

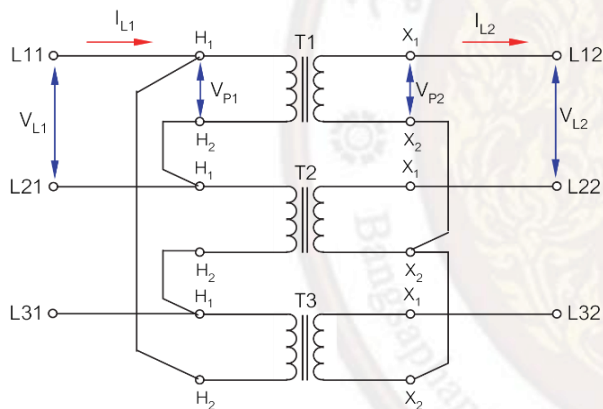
จากรูปที่ 9.3 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 9.4 เพื่อให้
เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและ
กระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อ
แปลงไฟฟ้าแบบแปลงแรงดันไฟฟ้าลง ดังนี้



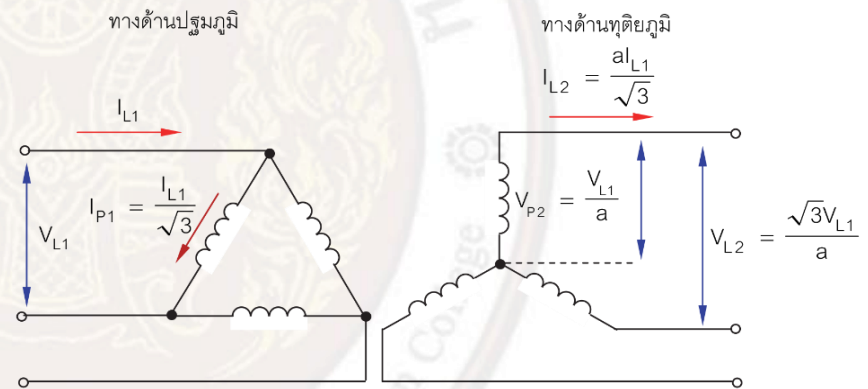
รูปที่ 9.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา-เดลตา

การต่อแบบเดลตา-วาย (Δ -Y)

การต่อแบบเดลตา-วาย (Δ -Y) เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวาย ดังรูปที่ 9.7 ซึ่งการต่อทั้งแบบเดลตาและแบบวายได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 9.2 และในหัวข้อ 9.3



รูปที่ 9.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-วาย (Δ -Y)

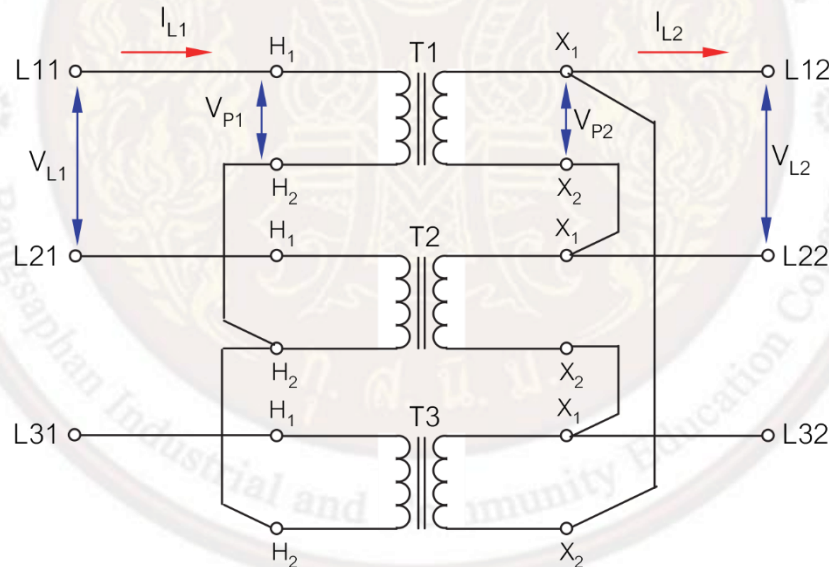


รูปที่ 9.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา-วาย

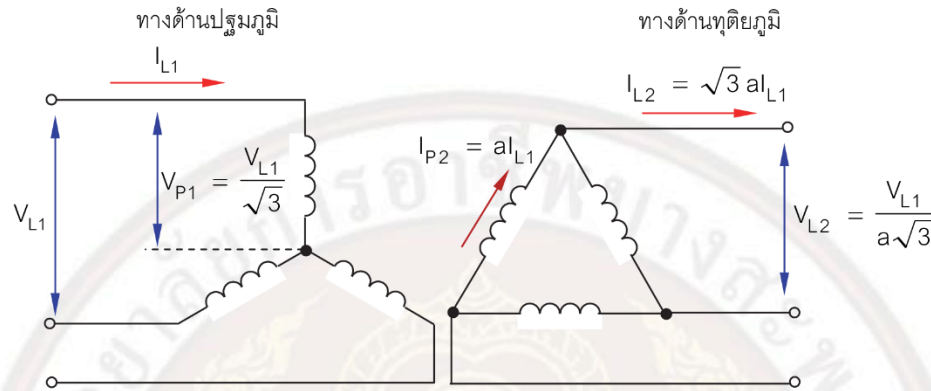
จากรูปที่ 9.7 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 9.8 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงแรงดันไฟฟ้าลง ดังนี้

การต่อแบบวาย-เดลตา (Y- Δ)

การต่อแบบวาย-เดลตา (Y- Δ) เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวาย และขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตา ดังรูปที่ 9.9 และความสัมพันธ์ของ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า แบบแปลงแรงดันไฟฟ้าลง ดังรูปที่ 9.10



รูปที่ 9.9 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย-เดลตา (Y- Δ)



รูปที่ 9.10 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย-เดลตา

จากหัวข้อ 9.2, 9.3, 9.4 และ 9.5

เมื่อ

V_{L1} = แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ

a = อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

V_{P1} = แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$L11$ = สายของเฟสที่ 1 ทางด้านปฐมภูมิ

I_{L1} = กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ

$L21$ = สายของเฟสที่ 2 ทางด้านปฐมภูมิ

I_{P1} = กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$L31$ = สายของเฟสที่ 3 ทางด้านปฐมภูมิ

V_{L2} = แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิ

$L12$ = สายของเฟสที่ 1 ทางด้านทุติยภูมิ

V_{P2} = แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ

$L22$ = สายของเฟสที่ 2 ทางด้านทุติยภูมิ

I_{L2} = กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิ

$L32$ = สายของเฟสที่ 3 ทางด้านทุติยภูมิ

I_{P2} = กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟสใน

ตัวอย่างที่ 9.1 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 1 เฟส จำนวน 3 ตัว แต่ละตัวมีอัตราส่วนเท่ากับ 100 นำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อจ่ายโหลดมีแรงดันที่สายทางด้านปฐมภูมิ 22 kV และกระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ 6 A จงคำนวณหา แรงดันไฟฟ้าที่เฟส แรงดันไฟฟ้าที่สาย กระแสไฟฟ้าที่เฟส และกระแสไฟฟ้าที่สาย ทางด้านทุติยภูมิ เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว ต่อกันลักษณะดังนี้

ก. แบบวาย-วาย ข. แบบเดลตา-เดลตา

ค. แบบเดลตา-วาย ง. แบบวาย-เดลตา

จ. พิสัย kVA ในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าในการต่อแบบเดลตา-วายและแบบวาย-เดลตา มีค่าเท่ากัน

วิธีทำ

โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ทางด้านปฐมภูมิ ดังนี้

$$V_{L1} = 22 \text{ kV} = 22,000 \text{ V}$$

$$I_{L1} = 6 \text{ A} \text{ และ } a = 100$$

ก. แบบวาย-วาย

$$V_{P1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{22,000}{\sqrt{3}} = 12,701.7 \text{ V}$$

ดังนั้น

$$V_{P2} = \frac{V_{P1}}{a} = \frac{12,701.7}{100}$$

$$V_{P2} = 127$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V

ตอบ

$$V_{L2} = \sqrt{3}V_{P2} = \sqrt{3} \times 127$$

$$V_{L2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V

ตอบ

$$I_{P1} = I_{L1} = 6$$

ดังนั้น

$$I_{P2} = aI_{P1} = 100 \times 6$$

$$I_{P2} = 600$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A

ตอบ

และ

$$I_{L2} = I_{P2} = 600$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A

ตอบ

ข. แบบเดลตา-เดลตา

$$V_{P1} = V_{L1} = 22,000 \text{ V}$$

$$I_{P1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3.464 \text{ A}$$

ดังนั้น

$$V_{P2} = \frac{V_{P1}}{a} = \frac{22,000}{100} = 220$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V

ตอบ

$$V_{L2} = V_{P2} = 220$$

$$V_{L2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V

ตอบ

$$I_{P2} = a I_{P1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{P2} = 346.4$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A

ตอบ

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{P2} = \sqrt{3} \times 346.4$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A

ตอบ

ค. แบบเดลตา-วาย

$$V_{P2} = \frac{V_{P1}}{a} = \frac{22,000}{100} = 220$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V

ตอบ

$$V_{L2} = \sqrt{3}V_{P2} = \sqrt{3} \times 220$$

$$V_{L2} = 381 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 381 V

ตอบ

$$I_{P2} = aI_{P1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{P2} = 346.4$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A

ตอบ

$$I_{L2} = I_{P2} = 346.4$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A

ตอบ

ง. แบบวาย-เดลตา

$$V_{P2} = \frac{V_{P1}}{a} = \frac{12,701.7}{100} = 127$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V

ตอบ

$$V_{L2} = V_{P2} = 127$$

$$V_{L2} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V

ตอบ

$$I_{P2} = a I_{P1} = 100 \times 6$$

$$I_{P2} = 600$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A

ตอบ

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{P2} = \sqrt{3} \times 600$$

$$I_{L2} = 1,039.2$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 1,039.2 A

ตอบ

จ. พิสูจน์ kVA ในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าในการต่อแบบเดลตา-วาย และแบบ
วาย-เดลตา มีค่าเท่ากัน

แบบเดลตา-วาย ($V_{L2} = 381 \text{ V}$, $I_{L2} = 346.4 \text{ A}$)

$$\begin{aligned}\text{kVA ในการจ่ายโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \\ &= \sqrt{3} \times 381 \times 346.4 \\ &= 228.6 \times 10^3 \text{ VA} \\ &= 228.6 \text{ kVA}\end{aligned}$$

แบบวาย-เดลตา ($V_{L2} = 127 \text{ V}$, $I_{L2} = 1039.2 \text{ A}$)

$$\begin{aligned}\text{kVA ในการจ่ายโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \\ &= \sqrt{3} \times 127 \times 1039.2 \\ &= 228.6 \times 10^3 \text{ VA} \\ &= 228.6 \text{ kVA}\end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า kVA ในการจ่ายโหลดของการต่อแบบเดลตา-วาย และแบบวาย-เดลตา มีค่าเท่ากันซึ่ง
เท่ากับ 228.6 kVA นอกจากนี้ยังมีค่าเท่ากับการต่อแบบวาย-วาย การต่อแบบเดลตา-เดลตา ด้วยเช่นกัน



หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

หัวข้อเรื่อง (Topics)

10.1 ความหมายของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

10.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

10.3 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง

10.4 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

10.5 การนำหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวดมาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

10.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

10.7 หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้

ความหมายของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

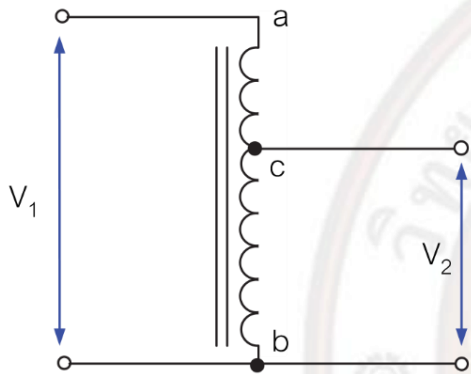
(Auto transformer) หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี
ขดลวดเพียงชุดเดียวโดยขดลวดชุดเดียวนี้จะทำหน้าที่
เป็นทั้งขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ บางครั้งเรียกหม้อ
แปลงไฟฟ้าแบบนี้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด



ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

10.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง

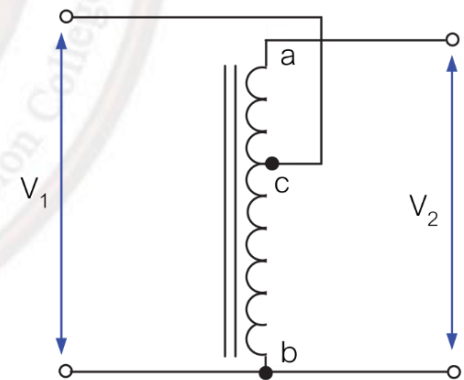


(ก) ชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง

หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้ขดลวดทั้งชุดจะทำหน้าที่เป็นขดลวดปฐมภูมิ และอีกส่วนหนึ่งของขดลวดจะทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ จากรูปที่ 10.1 (ก) ขดลวดช่วง ab จะทำหน้าที่เป็นขดลวดปฐมภูมิ ส่วนขดลวดช่วง cb จะทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ โดยมีจุด c เป็นจุดต่อแยก (Tap) โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_1 เข้าที่ขั้ว ab แล้วนำเอาแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว cb จ่ายให้กับโหลดซึ่งแรงดันไฟฟ้า V_2 มีค่าน้อยกว่า V_1

10.2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

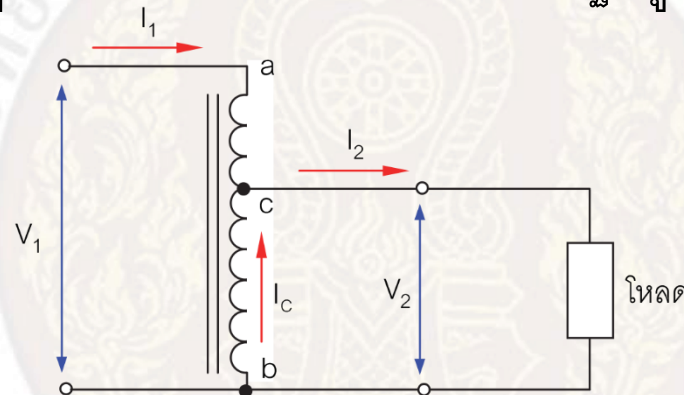
จากรูปที่ 10.1 (ข) ขดลวดช่วง ab จะทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ ส่วนขดลวดช่วง cb จะทำหน้าที่เป็นขดลวดปฐมภูมิ โดยมีจุด c เป็นจุดต่อแยก โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_1 เข้าที่ขั้ว cb แล้วนำเอาแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ab จ่ายให้กับโหลดซึ่งแรงดันไฟฟ้า V_2 มีค่ามากกว่า V_1



(ข) ชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต ชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตที่มีแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและเมื่อต่อโหลดเข้าทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 10.2



รูปที่ 10.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลงและมีโหลด

จากรูปที่ 10.2 เมื่อต่อโหลดเข้าทางด้านทุติยภูมิจะทำให้มีกระแส I_2 ไหลไปยังโหลดและทำให้เกิดมีกระแส I_1 ไหลทางด้านปฐมภูมิด้วย โดยกระแส I_1 เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในช่วงของขดลวด ac จะเห็นว่าช่วงขดลวด cb ขดลวดจะทำหน้าที่ทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในช่วงขดลวด bc จะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างกระแส I_2 กับกระแส I_1 ซึ่งแทนด้วย I_c จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_{ab}}{N_{cb}} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตนี้จะมี
อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ามี
สมการเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ
แยกขดลวดดังนี้

N_{ab} = จำนวนรอบของขดลวดช่วง ab

N_{cb} = จำนวนรอบของขดลวดช่วง cb

$$I_2 = I_1 + I_c \quad \dots (10.1)$$

$$V_2 I_2 = V_2 I_1 + V_2 I_c \quad \dots (10.2)$$

จากสมการที่ (10.2) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. กำลังไฟฟ้านำ (Conducted power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดในช่วงขดลวด ac

กำหนดให้เป็น S_{con} ดังนั้น $S_{con} = V_2 I_1 \quad \dots (10.3)$

2. กำลังไฟฟ้าถ่ายโยง (Transformed power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดในช่วงขดลวด cb

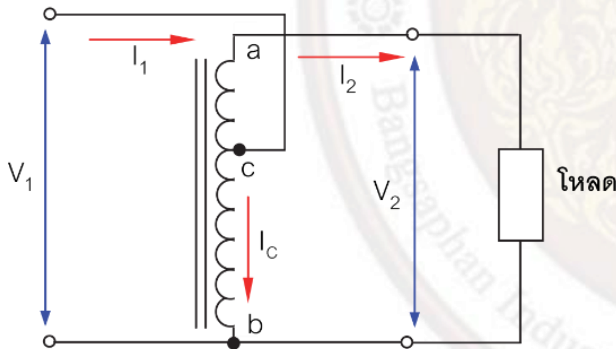
กำหนดให้เป็น S_{tran} ดังนั้น $S_{tran} = V_2 I_c \quad \dots (10.4)$

และกำหนดให้ $S_2 = V_2 I_2$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต นอกจากนี้
ยังมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้านำรวมกับกำลังไฟฟ้าถ่ายโยง ดังนั้น S_2 คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$S_2 = S_{con} + S_{tran} \quad \dots (10.5)$$

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต ชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตที่มีแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิมากกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและเมื่อต่อโหลดเข้าทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 10.3 จากรูปที่ 10.3 เมื่อต่อโหลดเข้าทางด้านทุติยภูมิจะทำให้มีกระแส I_2 ไหลไปยังโหลดและทำให้มีกระแส I_1 ไหลทางด้านปฐมภูมิด้วย โดยกระแส I_2 เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในช่วงของขดลวด ca จะเห็นว่าช่วงขดลวด cb ขดลวดจะทำหน้าที่ทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในช่วงขดลวด bc จะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างกระแส I_1 กับกระแส I_2 ซึ่งแทนด้วย I_c จะได้ว่า $I_c = I_1 - I_2$



รูปที่ 10.3 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้นและมีโหลด

จากรูปที่ 10.3 จะได้ว่า

$$I_1 = I_2 + I_c \quad \dots (10.6)$$

จากสมการที่ (10.1) นำ V_1 คูณตลอดจะได้


$$V_1 I_1 = V_1 I_2 + V_1 I_c \quad \dots (10.7)$$

จากสมการที่ (10.4) จะเห็นว่าการแปลงไฟฟ้าแบบออโต แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. กำลังไฟฟ้านำ (Conducted power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดในช่วงขดลวด ca

กำหนดให้เป็น S_{con} ดังนั้น

$$S_{con} = V_1 I_2 \quad \dots (10.8)$$

2. กำลังไฟฟ้าถ่ายโยง (Transformed power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดในช่วงขดลวด bc

กำหนดให้เป็น S_{tran} ดังนั้น

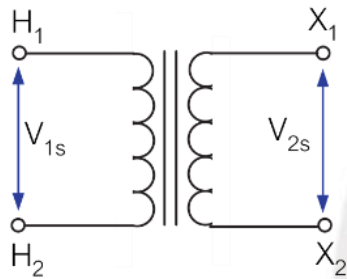
$$S_{tran} = V_1 I_c \quad \dots (10.9)$$

และกำหนดให้ $S_1 = V_1 I_1$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าอินพุตของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต นอกจากนี้ยังมีค่า

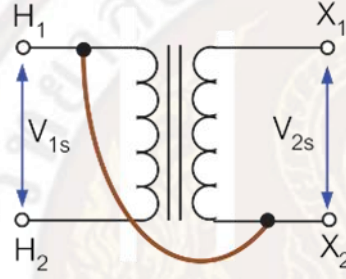
เท่ากับกำลังไฟฟ้านำรวมกับกำลังไฟฟ้าถ่ายโยง ดังนั้น S_1 คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$S_1 = S_{con} + S_{tran} \quad \dots (10.10)$$

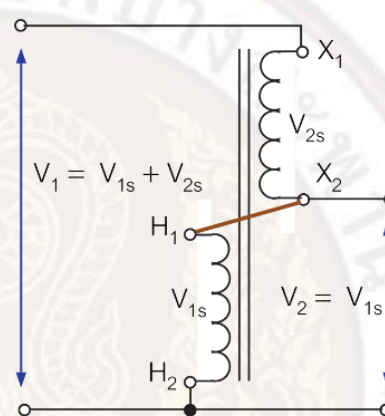
การนำหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวดมาต่อเป็น หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต



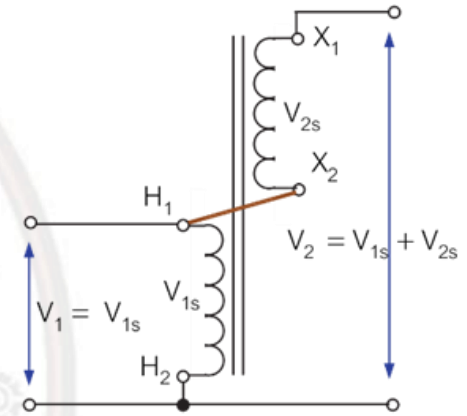
(ก) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดลวด



(ข) สายต่อวงจรให้ขั้ว H_1 กับขั้ว X_2 ถึงกัน



(ค) ต่อแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง



(ง) ต่อแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

จากรูปที่ 10.4 (ก) เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดพร้อมเครื่องหมายแสดงขั้ว จากรูปที่ 10.4 (ข) เมื่อต่อสายไฟโดยให้ขั้ว H_1 และ X_2 ถึงกันจากนั้นนำมาเขียนวงจรใหม่เพื่อง่ายต่อการพิจารณาวงจร จากรูปที่ 10.4 (ค) เป็นการต่อแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_1 เข้าที่ขั้ว X_1 กับ H_2 และแรงดันไฟฟ้า V_2 ที่จะจ่ายให้กับโหลดออกที่ขั้ว X_2 กับ H_2 และจากรูปที่ 10.4 (ง) เป็นการต่อแบบออโตชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_1 เข้าที่ขั้ว H_1 กับ H_2 และแรงดันไฟฟ้า V_2 ที่จะจ่ายให้กับโหลดออกที่ขั้ว X_1 กับ H_2

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต

ตัวอย่างที่ 10.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตขนาด 10 kVA 500/400 V เป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง

เมื่อจ่ายโหลดตามพิกัดขนาด 10 kVA จงคำนวณหา

- ก. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ
- ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ
- ค. กำลังไฟฟ้านำ
- ง. กำลังไฟฟ้าถ่ายโยง

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 500 \text{ V และ } V_2 = 400 \text{ V}$$

$$S_2 = S_1 = 10 \text{ kVA} = 10 \times 10^3 \text{ VA}$$

ก. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ $S_1 = V_1 I_1$

$$I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{10 \times 10^3}{500}$$

$$I_1 = 20$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 20 A **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ $S_2 = V_2 I_2$

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{10 \times 10^3}{400}$$

$$I_2 = 25$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 25 A **ตอบ**

ค. กำลังไฟฟ้านำ

$$S_{\text{con}} = V_2 I_1$$

$$= 400 \times 20$$

กำลังไฟฟ้านำมีค่าเท่ากับ 8,000 VA **ตอบ**

$$S_{\text{con}} = 8,000$$

ง. กำลังไฟฟ้าถ่ายโยง

$$S_{\text{tran}} = V_2 (I_2 - I_1)$$

$$= 400 \times (25 - 20)$$

$$S_{\text{tran}} = 2,000$$

กำลังไฟฟ้าถ่ายโยงมีค่าเท่ากับ 2,000 VA

หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้

หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตแบบหนึ่งซึ่งมีขดลวดเพียงชุดเดียวที่ทำหน้าที่เป็นทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ โดยแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิสามารถปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกหม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ว่า **หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโตปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้**



(ก) รูปจริงของแวลรีแอก

(ข) โครงสร้างภายในของแวลรีแอก

(ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 10.5 รูปจริง โครงสร้าง และสัญลักษณ์ของแวลรีแอก

โครงสร้างประกอบด้วยขดลวดทองแดงเพียงชุดเดียวพันอยู่บนแกนเหล็กแบบทอรอยด์ (Toroid) โดยด้านบนของขดลวดจะถูกบิดให้แบนเพื่อให้แปรงถ่านสัมผัสกับขดลวด



หม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบเครื่องวัดไฟฟ้า

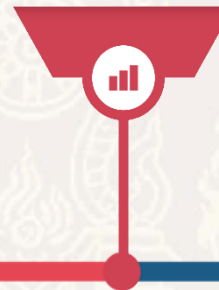


หัวข้อเรื่อง (Topics)

11.1 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า



11.3 การต่อวัตต์มิเตอร์ร่วมกับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าและหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



11.2 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



11.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบเครื่องวัดไฟฟ้า



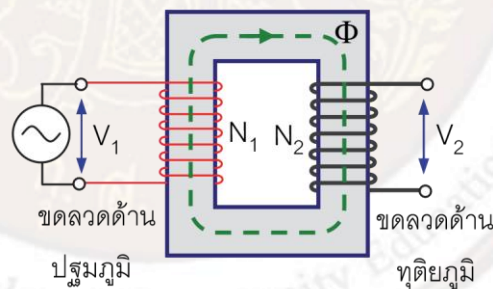
หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าที่มีค่าสูงให้มีค่าต่ำลง เพื่อให้มีความเหมาะสมกับย่านวัดแรงดันของโวลต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์และเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

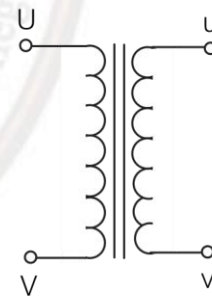
11.1.1 โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า จากรูปที่ 11.1 (ก) แสดงรูปจริงของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential transformer) หรือเรียกว่า P.T. ประกอบด้วยแกนเหล็กที่ทำจากเหล็กแผ่นบางเคลือบฉนวนแล้วนำมาอัดซ้อนกัน และขดลวดทองแดงคือขดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนเหล็ก



(ก) รูปจริงของ P.T.



(ข) วงจรการทำงาน



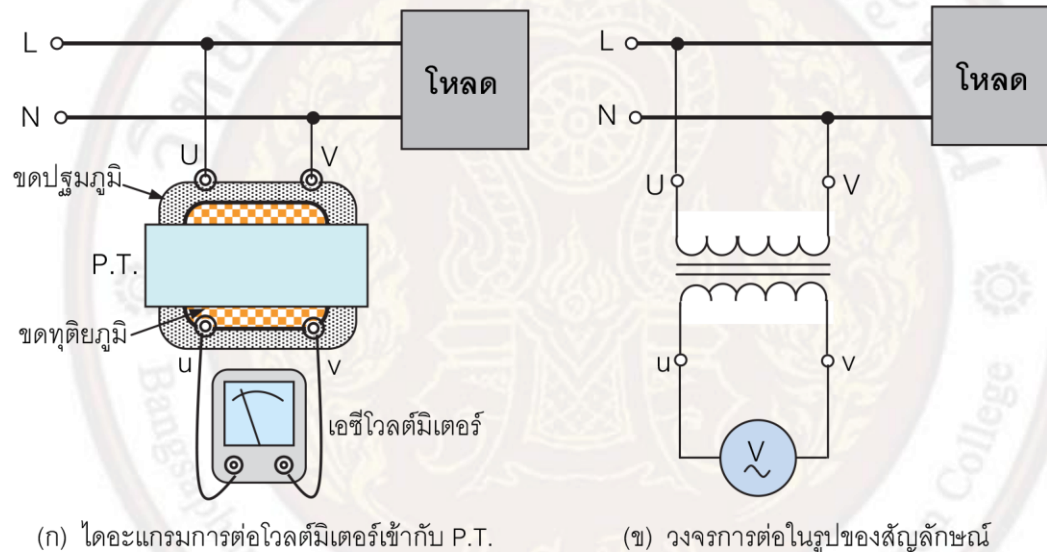
(ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 11.1 โครงสร้าง วงจรการทำงาน และสัญลักษณ์ของ P.T.

11.1.2 การต่อวงจรและการอ่านค่า หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับเครื่องวัด

ไฟฟ้าจะมีขนาด 100-500 VA จากรูปที่ 11.2 (ก) โดยขดลวดปฐมภูมิจะมีขนาดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ต่อให้กับโหลด ส่วนขดลวดทุติยภูมิจะมีโวลต์มิเตอร์ต่ออยู่โดยปกติจะมีขนาดแรงดันไฟฟ้า 110-120 V

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ $\times a_v$



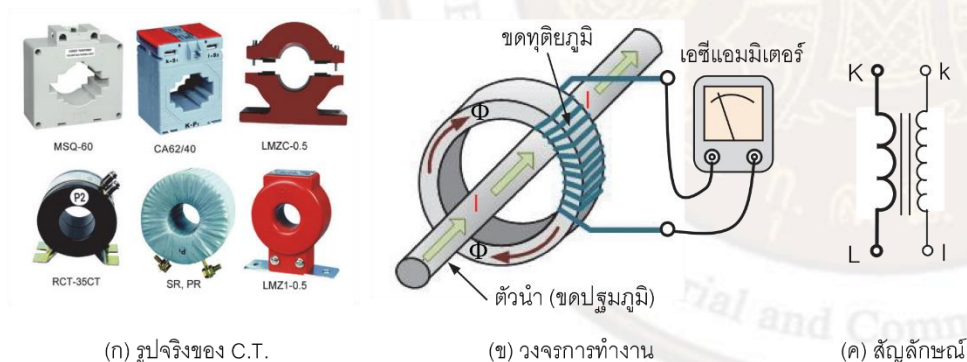
รูปที่ 11.2 การต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับ P.T.

ในการอ่านค่าจากรูปที่ 11.2 (ก) ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 12 ($a_v = 12$) และเอซีโวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ 100 โวลต์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดหาได้จากแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์คูณกับ a_v ซึ่งมีค่าเท่ากับ $100 \times 2 = 1200 \text{ V}$

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าที่มีค่าสูงให้มีค่าต่ำลง เพื่อให้มีความเหมาะสมกับย่านวัดกระแสไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์และเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

11.2.1 โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า จากรูปที่ 11.3 (ก) แสดงรูปจริงของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current transformer) หรือเรียกว่า C.T.

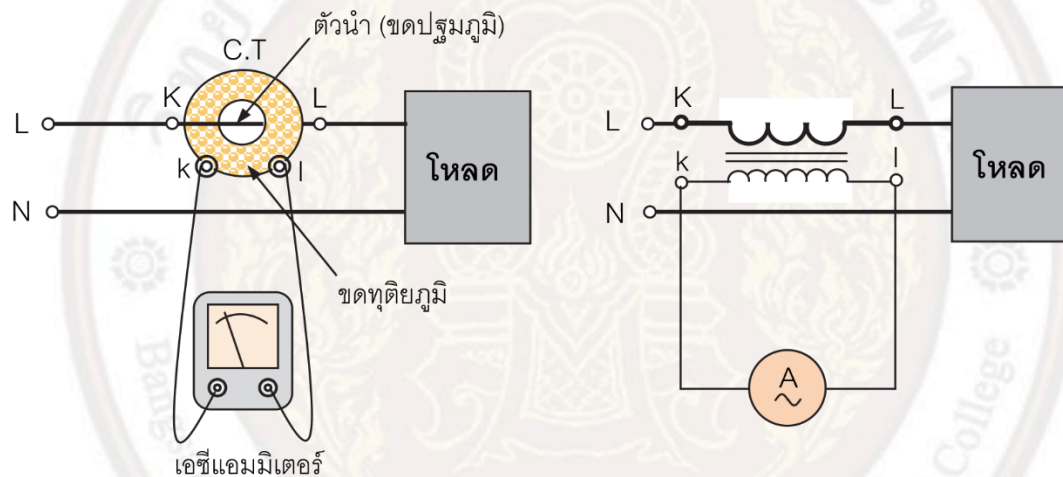


รูปที่ 11.3 โครงสร้าง วงจรการทำงาน และสัญลักษณ์ของ C.T.

จากรูปที่ 11.3 (ข) ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะต่ออนุกรมกับโหลดจะมีจำนวนรอบของขดลวดน้อยมากต่ำสุดคือ 1 รอบเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิและสร้างเส้นแรงแม่เหล็กโดยเปลี่ยนแปลงไปตามกับกระแสที่ไหลผ่าน

11.2.2 การต่อวงจรและการอ่านค่า หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับเครื่องวัดไฟฟ้าจากรูปที่ 11.4 (ก) ขดลวดปฐมภูมิซึ่งส่วนมากเป็นสายตัวนำไฟฟ้าจะลอดเข้าไปในตัว C.T. ไปยังโหลด ส่วนขดลวดทุติยภูมิโดยปกติมีขนาดกระแสไฟฟ้ามาตรฐานที่ 5 A โดยแอมมิเตอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดทุติยภูมิ

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด = ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ $\times a_i$



(ก) โดอะแกรมการต่อแอมมิเตอร์เข้ากับ C.T.

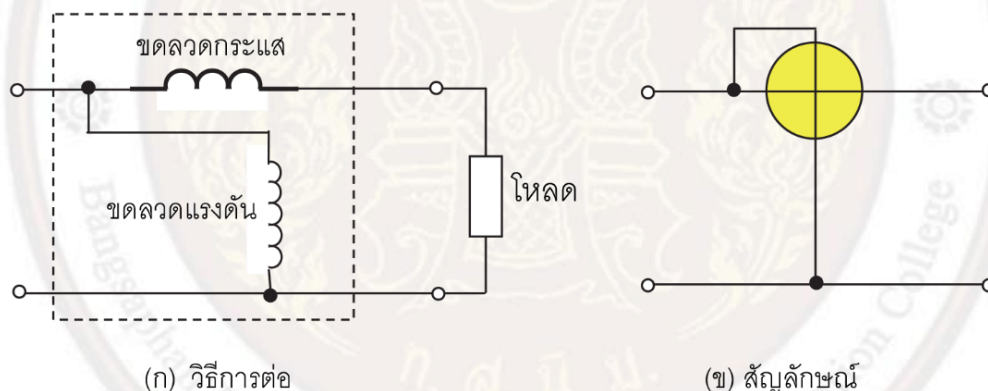
(ข) วงจรการต่อในรูปของสัญลักษณ์

รูปที่ 11.4 การต่อแอมมิเตอร์เข้ากับ C.T.

ในการอ่านค่าจากรูปที่ 11.4 (ก) ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 40 ($a_i \times 40$) และเอซีแอมมิเตอร์อ่านค่าได้ 4 A

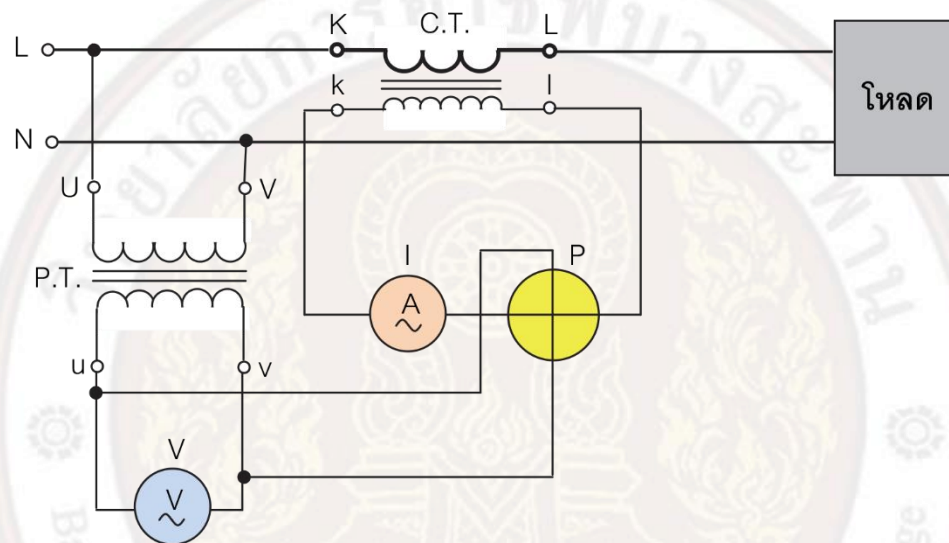
การต่อวัตต์มิเตอร์ร่วมกับหม้อแปลง แรงดันไฟฟ้าและหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

วัตต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าโดยวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current coil) และขดลวดแรงดันไฟฟ้า (Potential coil) แสดง



รูปที่ 11.5 วิธีการต่อและสัญลักษณ์ของวัตต์มิเตอร์

การต่อวัตต์มิเตอร์ขดลวดกระแสไฟฟ้าของวัตต์มิเตอร์จะต่อเข้ากับ C.T. และขดลวดแรงดันไฟฟ้าของวัตต์มิเตอร์จะต่อเข้ากับ P.T. ในการอ่านค่าของกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 11.6 การต่อโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และวัตต์มิเตอร์เข้ากับ C.T. และ P.T.

จากรูปที่ 11.6 ที่ C.T. จากขั้ว k นำมาต่อเข้ากับแอมมิเตอร์และต่ออนุกรมกับขดลวดกระแสไฟฟ้าของวัตต์มิเตอร์ ออกจากขดลวดกระแสไฟฟ้าของวัตต์มิเตอร์มาต่อเข้าที่ขั้ว I และที่ P.T. นำโวลต์มิเตอร์และขดลวดแรงดันไฟฟ้าของวัตต์มิเตอร์มาต่อเข้าที่ขั้ว u และขั้ว v

การคำนวณค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบเครื่องวัดไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 11.1 จากวงจรรูปที่ 11.6 ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดไฟฟ้ามีดังนี้

ค่าที่อ่านจากแอมมิเตอร์ (I) = 4 A ค่าอัตราส่วนของ C.T. = 20 : 1

ค่าที่อ่านจากโวลต์มิเตอร์ (V) = 110 V ค่าอัตราส่วนของ P.T. = 10 : 1

ค่าที่อ่านจากวัตต์มิเตอร์ (P) = 350 W

จงคำนวณหา

ก. ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ข. กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ค. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ง. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$A_i = 20 \text{ และ } A_v = 10$$

ก. ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า $pf. = \frac{P}{VI}$

$$= \frac{350}{110 \times 4}$$

$$pf. = 0.7955$$

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.7955 **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด (I_L)

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด = ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ $\times a_i$

$$= 4 \times 20$$

$$= 80$$

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าเท่ากับ 80 A **ตอบ**

ค. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

(V_L) แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ $\times a_v$

$$= 110 \times 10$$

$$= 1100$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าเท่ากับ 1100 V **ตอบ**

ง. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

$$\begin{aligned}\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด} &= \text{ค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์} \times a_i \times a_v \\ &= 350 \times 20 \times 10 \\ &= 70000 \\ &= 70 \times 10^3\end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าเท่ากับ 70 kW

ตอบ

หรือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดหาค่าได้อีกวิธีหนึ่ง ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด} &= V_L I_L \cos\theta \quad \text{แต่ } \cos\theta = \text{pf.} \\ \text{กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด} &= 1100 \times 80 \times 0.7955 \\ &= 70004 \\ &= 70 \times 10^3\end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าเท่ากับ 70 kW

ตอบ



การสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดเล็ก



หัวข้อเรื่อง (Topics)



12.1 ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก

12.2 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก



12.3 การพันขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

12.4 การประกอบแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า

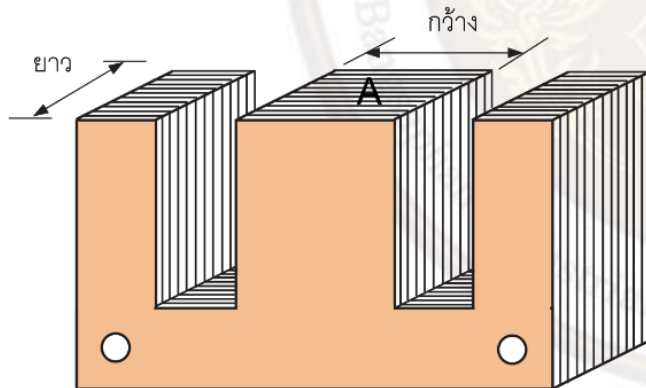


ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก

สำหรับการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดขนาดพิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นจัดอยู่ในประเภทที่มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 16 กิโลโวลต์แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1000 โวลต์ และความถี่ของระบบไฟฟ้าไม่เกิน 500 เฮิร์ตซ์

2. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก โดยหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก แกนเหล็กจะเป็นแบบเชลล์ซึ่งประกอบขึ้นจากแกนเหล็กรูปตัว E และตัว I โดยการวัดความกว้างและความยาวของขากลางของแกนเหล็ก โดยนำเอาแกนเหล็กทั้งหมดมาวางซ้อนกัน



$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

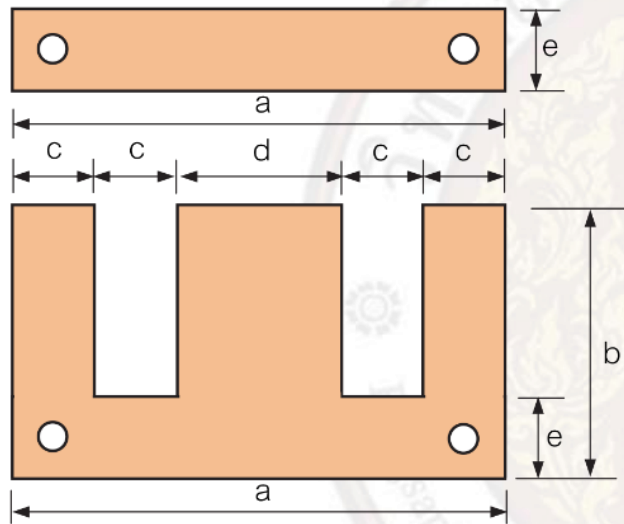
.... (12.1)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก หน่วยเป็น ตารางนิ้ว

VA = ขนาดพิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 12.1 ความกว้างและความยาวเพื่อหาพื้นที่หน้าตัด

ขนาดของแกนเหล็กในท้องตลาดทั่วไปนิยมบอกขนาดเป็นนิ้ว ดังตัวอย่างแกนเหล็กในรูปที่ 12.2



จากรูปที่ 12.2 โดย

a = ความยาวทั้งหมดของแกนเหล็ก

b = ความลึกของแกนเหล็ก

c = ความกว้างของขาต้านข้างหรือช่องว่างของแกนเหล็ก

รูปตัว E

d = ความกว้างของขากลางของแกนเหล็ก

e = ความกว้างของขาแกนเหล็กรูปตัว I

ที่ 12.2 ตัวอย่างแกนเหล็กรูปตัว E และตัว I ที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้า

จากขนาดต่าง ๆ ของแกนเหล็กรูปตัว E และรูปตัว I ที่กล่าวมาแล้วจะมีความสัมพันธ์กับขนาดฟลักต์กำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังตารางที่ 12.1

3. คำนวณจำนวนรอบของขดลวด การคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดทั้ง 2 ด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าคำนวณได้จากสมการดังนี้จำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44fB_{\max} A}$$

$$N_2 = \frac{V_2 \times 10^8}{4.44fB_{\max} A}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{V_1} \times N_1$$

V_1 = แรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

V_2 = แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ

f = ความถี่ของระบบไฟฟ้า

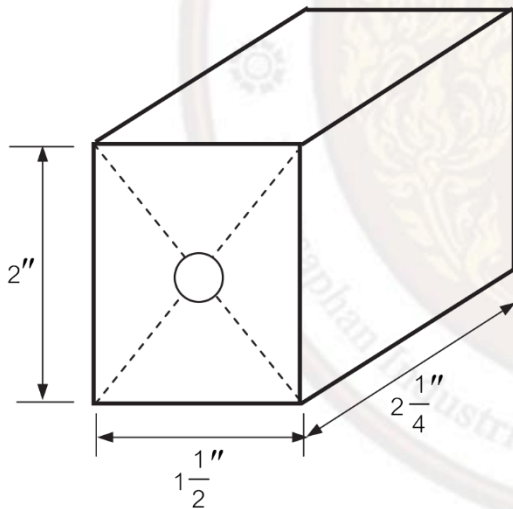
A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$B_{\max}$ = ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็ก

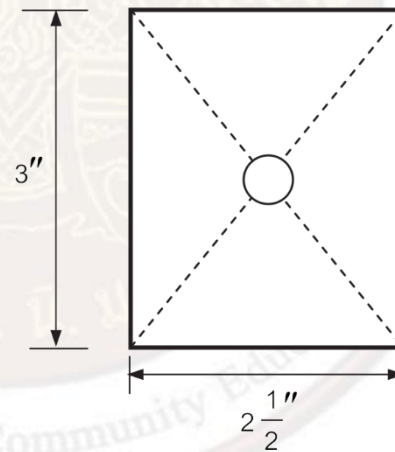
โดยความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กขณะยังไม่อิ่มตัวจะมีค่ามากหรือน้อย นั้นขึ้นอยู่กับค่าความซาบซึมได้ของแกนเหล็ก

4. หาขนาดของขดลวด โดยการหาขนาดของขดลวดทั้ง 2 ด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องไม่ให้ขดลวดรับกระแสไฟฟ้ามากเกินไปเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของขดลวด โดยทั่วไปจะเลือกค่าใดก็ได้ตั้งแต่ 400-700 เซอร์คูลามิลต่อกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ซึ่งหมายความว่าขดลวดตัวนำพื้นที่หน้าตัดขนาด 400-700 เซอร์คูลามิล สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 1 แอมแปร์

5. ทำแบบไม้ โดยการวัดความกว้างของแกนเหล็กที่ขากลาง คือ ระยะ d ซึ่งมีระยะ 1.5 นิ้ว วัดความหนาของแกนเหล็กทั้งหมด (ความยาว) ซึ่งหนา 5 เซนติเมตร หรือประมาณ 2 นิ้ว (1.968 นิ้ว) และวัดความลึกของแกนเหล็กขากลางคือระยะ b ลบด้วยระยะ e ($3 \text{ นิ้ว} - \frac{3}{4} \text{ นิ้ว}$) ได้เท่ากับ $4\frac{1}{4} \text{ นิ้ว}$

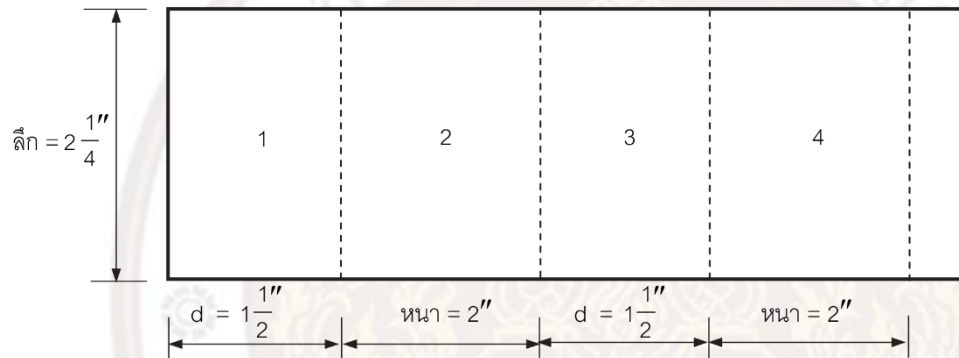


รูปที่ 12.3 ตัวอย่างแกนไม้

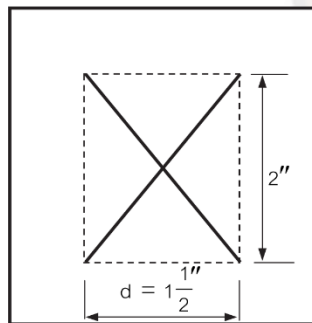


รูปที่ 12.4 แผ่นประกอบหัวท้ายจำนวน 2 แผ่น

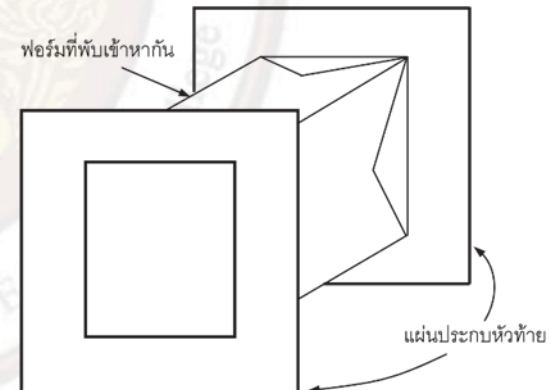
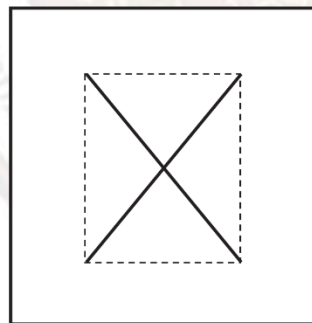
6. ทำฟอร์มกระดาษไฟเบอร์ โดยต้องตัดกระดาษไฟเบอร์ให้มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับแบบไม้ แต่การทำฟอร์มกระดาษไฟเบอร์จะต้องเผื่อ (เพิ่ม) ความหนาของกระดาษไฟเบอร์ด้วย หากไม่เผื่อความหนาเมื่อพับขดลวดและถอดออกจากแบบไม้แล้วจะประกอบเข้ากับแกนเหล็กได้ยาก



รูปที่ 12.5 ตัวอย่างกระดาษไฟเบอร์เพื่อใช้ทำฟอร์มเพื่อพับเข้าหากัน



รูปที่ 12.6 ตัวอย่างกระดาษไฟเบอร์เพื่อใช้ทำแผ่นประกบหัวท้าย



รูปที่ 12.7 ฟอร์มกระดาษไฟเบอร์ที่ทำสำเร็จแล้ว

การคำนวณค่าต่าง ๆ ในการสร้าง หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก

ตัวอย่างที่ 12.1 ต้องการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 Hz ขนาดกำลังไฟฟ้า 250 VA เพื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ 220 V และทางด้านทุติยภูมิ 110 V จงคำนวณหา

- ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
- ข. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ
- ค. ขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านปฐมภูมิ
- ง. ขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านทุติยภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

พิกัดกำลังไฟฟ้า = 250 VA หาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$V_1 = 220 \text{ V}$$

$$V_2 = 110 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

$$= \frac{\sqrt{250}}{5.58}$$

$$A = 2.83 \text{ ตารางนิ้ว}$$

ซึ่งมีระยะ d เท่ากับ 21 นิ้ว จะกำหนดให้เป็นความกว้างและ
 ๒ 5 เซนติเมตร (cm) โดยกำหนดให้เป็นความยาว ดังรูปที่ 1

รูปที่ 12.8 การเรียงแกนเหล็กรูปตัว E ให้นำขึ้น 5 เซนติเมตร

ตัดที่จะใส่แกนเหล็กว่ามีพื้นที่หน้าตัดเพียงพอหรือไม่ เพื่อเป็

กว้าง = $1\frac{1}{2}$ นิ้ว = 1.5 นิ้ว

ยาว = 5 เซนติเมตร = 1.968 นิ้ว

ใส่แกนเหล็ก = กว้าง × ยาว

= 1.5×1.968

รูปที่ 12.8 การเรียงแกนหลักรูปตัว E ให้หนาขึ้น 5 เซนติเมตร

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่จะใส่แกนเหล็กว่ามีพื้นที่หน้าตัดเพียงพอหรือไม่ เพื่อเปรียบเทียบกับ

ค่าที่ ความกว้าง = $1\frac{1}{2}$ นิ้ว = 1.5 นิ้ว

คำนวณได้ ความยาว = 5 เซนติเมตร = 1.968 นิ้ว

ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดที่ใส่แกนเหล็ก = กว้าง $\times$ ยาว
 = 1.5×1.968
 = 2.95 ตารางนิ้ว

ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ โดยเลือก $B_{\max}$ เท่ากับ 60,000 เส้นต่อตารางนิ้ว

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 f B_{\max} A} \\ &= \frac{220 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 60,000 \times 2.83} \\ &= 583.6 \\ N_1 &\cong 584 \end{aligned}$$

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 584 รอบ **ตอบ**

ข. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{V_2 \times 10^8}{4.44 f B_{\max} A} \\ &= \frac{110 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 60,000 \times 2.83} \\ &= 291.8 \\ N_2 &\cong 292 \end{aligned}$$

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 292 รอบ **ตอบ**

ค. ขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านปฐมภูมิ

$$\text{หากระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ } I_1 = \frac{VA}{V_1} = \frac{250}{220}$$

$$I_1 = 1.136 \text{ A}$$

เลือกขนาดขดลวดที่ทนกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 500 เซอร์คูลามิลต่อ 1 แอมแปร์ ทั้งทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิหาค่าพื้นที่หน้าตัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดของขดลวดปฐมภูมิ} &= 500 \times I_1 \\ &= 500 \times 1.136 \\ &= 568 \text{ เซอร์คูลามิล} \end{aligned}$$

นำค่าพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณได้ไปเปิดตารางขดลวด จากตารางที่ 12.2 โดยเลือกค่าที่ใกล้เคียงหรือมากกว่าค่าที่คำนวณได้คือเลือก 576 จะได้เบอร์ลวด SWG เท่ากับ 23

ดังนั้นขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ 23 SWG

ตอบ

ง. ขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านทุติยภูมิ

หากระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ $I_2 = \frac{VA}{V_2} = \frac{250}{110}$

$$I_2 = 2.27 \text{ A}$$

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดทุติยภูมิ $= 500 \times I_2$
 $= 500 \times 2.27$
 $= 1,135 \text{ เซอร์คูลามิล}$

นำค่าพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณได้ไปเปิดตารางขดลวด จากตารางที่ 12.2 โดยเลือกค่าที่มากกว่าค่าที่คำนวณได้คือเลือก 1296 จะได้เบอร์ลวด SWG เท่ากับ 20
ดังนั้นขนาดของขดลวดที่ใช้พันทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 20 SWG **ตอบ**

สรุปได้ว่า

ขดลวดปฐมภูมิจะต้องพัน 584 รอบ โดยใช้ลวดเบอร์ 23 SWG

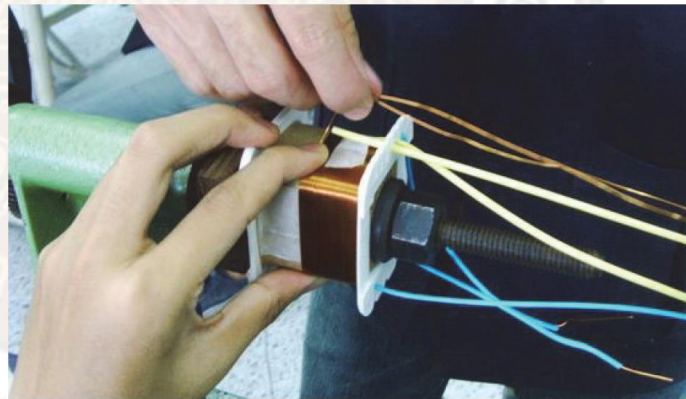
ขดลวดทุติยภูมิจะต้องพัน 292 รอบ โดยใช้ลวดเบอร์ 20 SWG

การพันขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากรูปที่ 12.9 (ก) เป็นฟอร์มที่ทำสำเร็จเรียกว่าบอบบิน (Bobbin) พร้อมกระดาดชนวนที่รองไว้ก่อนพัน โดยทั่วไปจะพันขดลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำหรือขดลวดทุติยภูมิอยู่ด้านใน ส่วนขดลวดทางด้านที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงจะพันอยู่รอบนอก ทั้งนี้ในการพันขดลวดทั้งสองจะต้องจัดเรียงให้เป็นระเบียบซึ่งการพันขดลวดทุก ๆ ชั้นจะต้องจัดเรียงให้แนบชิดกันดังรูปที่ 12.9 (ข) ข้อควรระวังขณะที่พันขดลวดจะต้องไม่ให้ขดลวดซ้ำ งอพับ มีรอยขีดข่วนหรือถลอก



(ก) บอบบินสำเร็จ

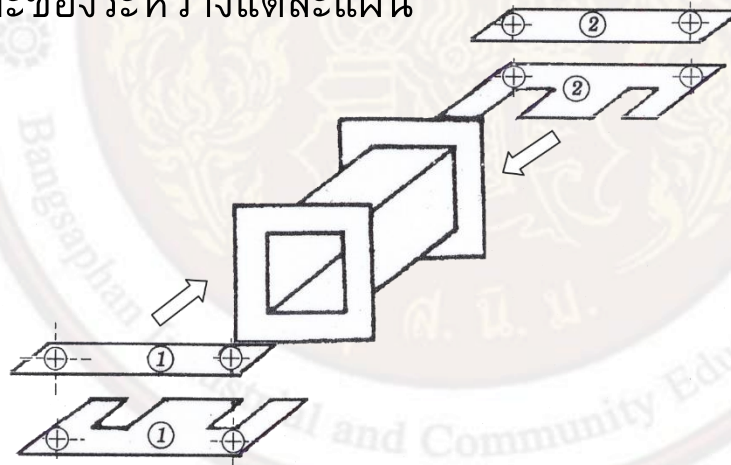


(ข) การพันขดลวดให้เรียงเส้นและการเผื่อปลายสาย

รูปที่ 12.9 การพันขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก

การประกอบแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า

เนื่องจากแกนเหล็กจะเป็นเส้นทางเดินของวงจรแม่เหล็ก ดังนั้นถ้าหากการจัดเรียงแกนเหล็กไม่แน่นจะเกิดมีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ค่าความต้านทานแม่เหล็กมีค่าสูง เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทำงานอาจจะเกิดการสั้นของแกนเหล็กตลอดเวลา ดังนั้นการประกอบแกนเหล็กตัว E และตัว I เข้าด้วยกันโดยประกอบแกนเหล็กตัว E ก่อนแล้วสลับด้านไปเรื่อย ๆ จนเต็ม แล้วประกอบแกนเหล็กตัว I ในแต่ละช่องระหว่างแต่ละแผ่น



รูปที่ 12.10 การประกอบแกนเหล็กตัว E และตัว I

(ที่มา : ดุสิต สุรยราช, 2546: 227)