

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2003	สอนครั้งที่ 12-13
	ชื่อหน่วย โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 8.1 โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- 8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด
- 8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด
- 8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ต่อดวงจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายโครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2. อธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ 3. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลดได้ 4. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้ 5. อธิบายแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้	1. ต่อดวงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดได้ 2. ต่อดวงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ

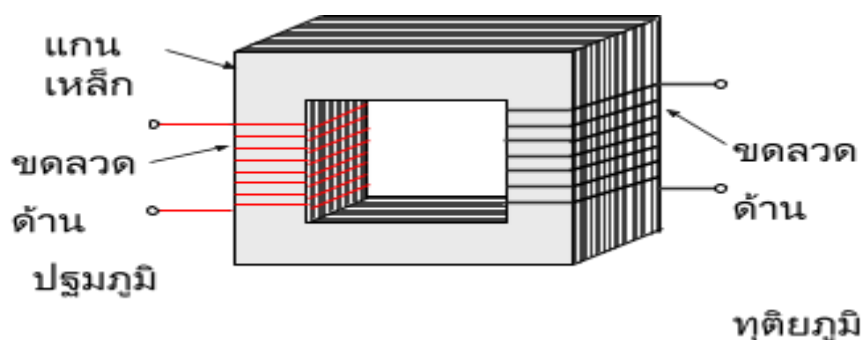
		6. ทำงานด้วยความ เต็มใจ
--	--	----------------------------

เนื้อหาสาระ

8.1.1

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน ก็คือ แกนเหล็กกับขดลวดซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น ดังรูป



รูปที่ 8.1 โครงสร้างเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. แกนเหล็ก เหล็กที่ใช้ในการทำแกนหม้อแปลงต้องมีความซาบซึมได้ (Permeability) สูง โดยแกนเหล็กจะต้องมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงถึง 1.35 ถึง 1.55 เวเบอร์/ตารางเมตร และต้องผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ แล้วฉาบด้วยฉนวนทั้งสองด้าน ซึ่งคุณสมบัติต้องมีความเป็นฉนวนตามผิว (Surface insulation) สูง ทั้งนี้เพื่อลดกระแสไหลวน (Eddy current) ในแกนเหล็กจากนั้นจึงนำเหล็กที่เป็นแผ่นบางในแต่ละแผ่นมาอัดซ้อนกัน หน้าทีของแกนเหล็กก็คือเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด

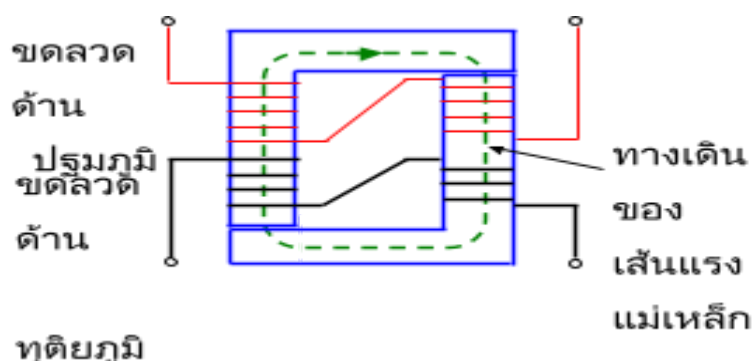
2.ขดลวด ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากนักก็ทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ ก็เป็นทองแดงเส้นแบน ซึ่งขดลวดนี้พันอยู่ที่แกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ขด คือ

2.1 ขดลวดทางด้านไฟเข้าหรือขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding)

2.2 ขดลวดทางด้านไฟออกหรือขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)

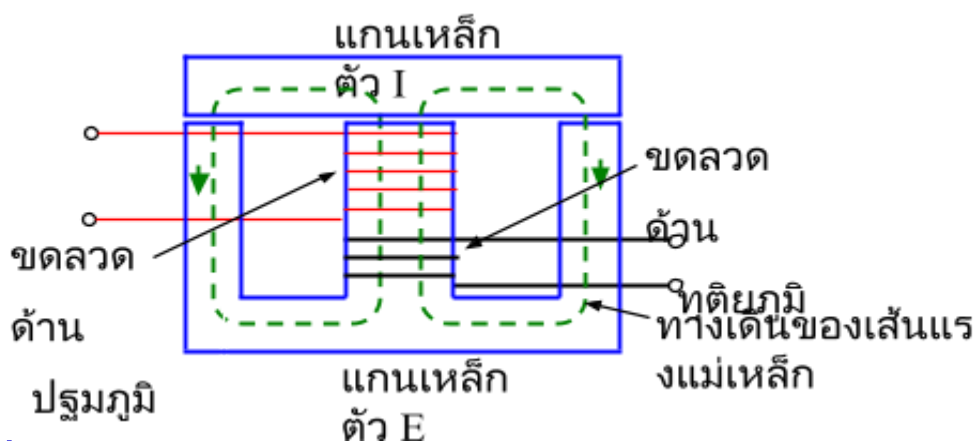
8.1.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้ดังนี้

1.หม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ขดลวดจะพันล้อมรอบแกนเหล็กโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะพันไว้ด้านละครึ่งขด ทั้งนี้เพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) ไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) ไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป LL และ UI โดยแกนเหล็ก ที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบาง (Laminated sheet core) กับแกนเหล็กกลม (Wound core) ซึ่งแกนเหล็กแบบคอร์นี้มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กทางเดียว



รูปที่ 8.2 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบคอร์

2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังรูปซึ่งการ พันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) พันไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป EI นอกจากนี้แกนเหล็กที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือแกนเหล็กแผ่นบางกับแกนเหล็กกลม แกนเหล็กแบบเชลล์มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กสองทาง



รูปที่ 8.3 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

3. หม้อแปลงแบบเฮช (H-type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้า

แบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเชลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมี

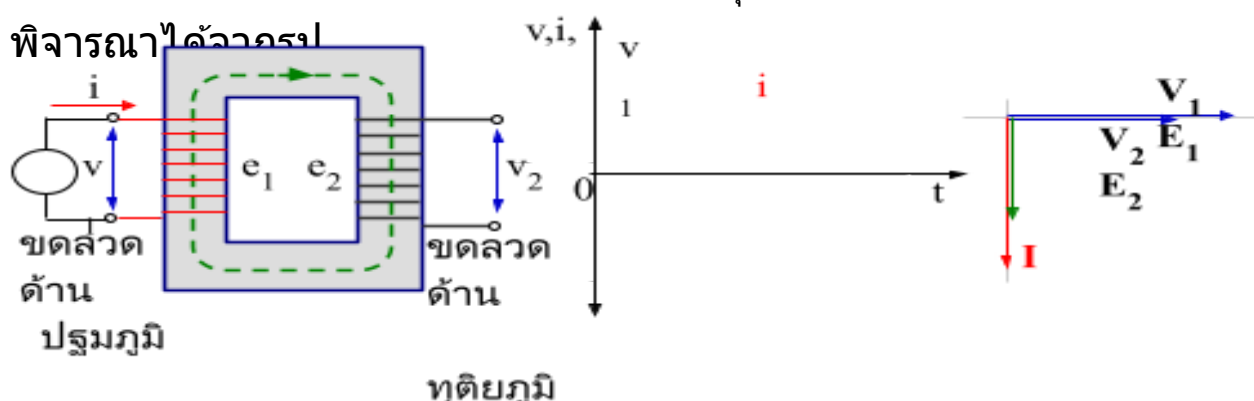
ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก ซึ่งขดลวด
 ทุติยภูมิจะพันอยู่ด้านในครึ่งหนึ่งก่อน จากนั้นคั่นด้วยฉนวนและพันขด
 ลวดปฐมภูมิเต็มจำนวนรอบพันทับลงไปแล้วคั่นด้วยฉนวน จากนั้นจึงพัน
 ขดลวดทุติยภูมิที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งไว้ที่ด้านนอก ดังรูปที่ 8.4

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีขนาดใหญ่จึงเหมาะสำหรับการส่งจ่ายไฟฟ้าที่
 จ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ๆ ขนาดหลายร้อย กิโลโวลต์แอมแปร์

8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้
 เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กผ่านไปได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียในขด
 ลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

8.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด ในการทำงาน
 ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานโดยจะพิจารณาให้
 หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ ซึ่งการทำงาน
 พิจารณาได้จากรูป



(ก) วงจรการทำงานของหม้อแปลง
 แสดงค่าชั่วขณะของค่าต่าง ๆ
 แผนภาพเฟสเซอร์

(ข) รูปคลื่น
 (ค)

รูปที่ 8.5 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด

จากรูปที่ 8.5 (ก) และ 8.5 (ข) เมื่อจ่ายแรงดัน v_1 ซึ่งเป็นค่าชั่วขณะรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดปฐมภูมิ ทำให้มีกระแส i ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ และกระแส i นี้ จะสร้าง Φ และเปลี่ยนแปลงไปตามกับกระแส i ซึ่ง Φ ร่วมเฟสกับกระแส i จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะไปคล้องกับขดลวดทั้งสองขดทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ (e_1) เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน** (Back emf.) และ ขดลวดทุติยภูมิ (e_2) เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำรวม** (Mutual induced emf.) โดยแรงเคลื่อน-ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองจะมีเฟสหน้าหน้า Φ

8.2.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและอัตราส่วนของหม้อแปลง

จากกฎของฟาราเดย์ **เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลามากล้องตัดกับขดลวด ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด** ตามสมการ

$$e = N \frac{d\Phi}{dt}$$

เมื่อพิจารณาขดลวดทางด้านปฐมภูมิเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ จะได้

$$V_1 = E_1 = 444 N_1 \Phi_{ma} \quad \text{..... (8.2)}$$

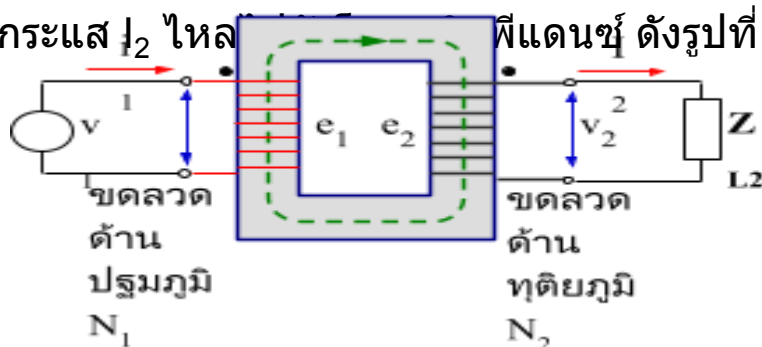
ในทำนองเดียวกันทางด้านทุติยภูมิ จะได้

$$V_2 = E_2 = 444 N_2 \Phi_{ma} \quad \text{..... (8.3)}$$

อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า กำหนดให้เป็น a ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของค่าต่าง ๆ ของหม้อ-แปลงไฟฟ้า หาค่าได้ดังนี้โดยนำสมการที่ 8.2 หารด้วยสมการที่ 8.3 จะได้

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_2} &= \frac{E_1}{E_2} = \frac{444 N_1 \Phi_{ma}}{444 N_2 \Phi_{ma}} \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \text{..... (8.4)} \end{aligned}$$

8.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดอิมพีแดนซ์ Z_{L2} มาต่อเข้ากับทางด้านทุติยภูมิ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็น V_2 และมีกระแส I_2 ไหลผ่านโหลดอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 8.6



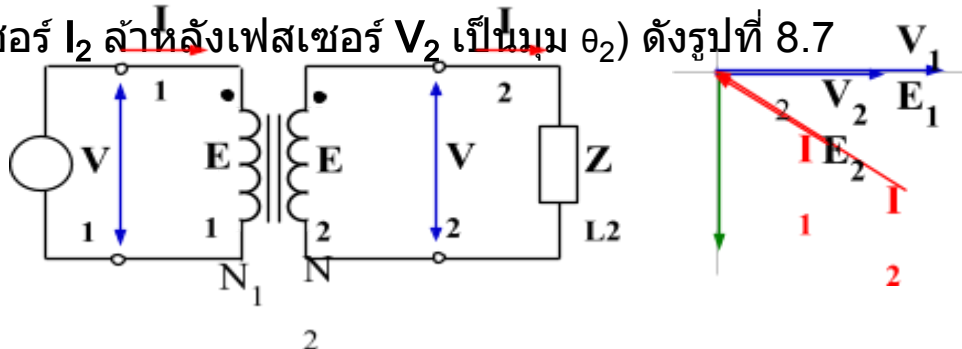
รูปที่ 8.6 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด จากรูปที่ 8.6 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติแรงดันไฟฟ้า E_1 จะเท่ากับ V_1 เสมอ และเส้นแรงแม่เหล็กจะต้องคงที่และเท่ากับเมื่อไม่มีโหลด เมื่อมีกระแส I_2 ไหลผ่านโหลดอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิจึงทำให้เกิดกระแส I_1 ทางด้านปฐมภูมิด้วย และส่งผลให้เกิดแรงดันแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้านขึ้น จะได้ว่า

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

ดังนั้น
$$I_1 = \frac{I_2}{a} \quad \text{..... (8.5)}$$

ซึ่งวงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด และให้โหลด Z_{L2} ที่ต่ออยู่มีค่าตัวประกอบกำลังล่าช้า (เฟสเซอร์ I_2 ล้าหลังเฟสเซอร์ V_2 เป็นมุม θ_2) ดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 วงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

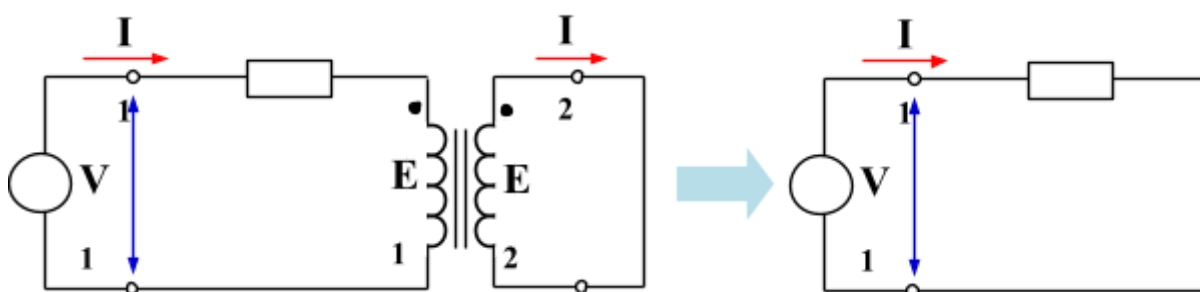
หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติจะได้ว่าขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ นั่นคือ

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad \dots (8.6)$$

โดย
$$Z_{L2} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{\frac{V_1}{a}}{\frac{I_1}{a}} = \frac{V_1}{a^2 I_1}$$

ดังนั้น
$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 Z_{L2}$$

จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของทั้งสองด้าน ถ้าพิจารณาทางด้านปฐมภูมิเมื่อทำการย้ายค่าของ Z_{L2} จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิเป็น Z_1 ดังนั้นถือว่าทางด้านทุติยภูมิกำหนดให้ลัดวงจรและเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ ดังรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

8.2.4

พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

เป็นความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำหนดให้เป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) ถ้าเป็นหน่วยใหญ่ก็เป็นกิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA) และเมกะโวลต์แอมแปร์ (MVA) ซึ่งได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ หรือผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งพิกัดทั้งสองด้านกำหนดให้มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$VA_{\text{primary}} = VA_{\text{secondary}}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

ตัวอย่างที่ 8.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 Hz ขนาดพิกัด 75 kVA 22000/250 V มีจำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ 60 รอบ จงคำนวณหา

- ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
- ข. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด
- ค. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$f = 50 \text{ Hz} \quad N_2 = 60 \text{ รอบ}$$

$$V_1 = 22000 \text{ V} \quad V_2 = 250 \text{ V}$$

$$\text{พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า} = 75 \text{ kVA} = 75 \times 10^3 \text{ VA}$$

ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{22000}{250} = 88$$

$$\text{จาก} \quad \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\text{ดังนั้น} \quad N_1 = a N_2 = 88 \times 60 = 5280 \text{ รอบ}$$

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 5280 รอบ

ตอบ

ข. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

$$V_2 = 4.44 N_2 \Phi_{\text{ma}}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Phi_{\text{ma}} = \frac{V_2}{4.44 N_2} = \frac{250}{4.44 \times 60} = 9.375 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9.375 mWb

ตอบ

ค. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

$$I_1 = \frac{kV_1}{V_1} = \frac{75 \times 10^3}{22000}$$

$$I_1 = 3409A$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 3.409 A

ตอบ

$$I_2 = \frac{kV_2}{V_2} = \frac{75 \times 10^3}{250}$$

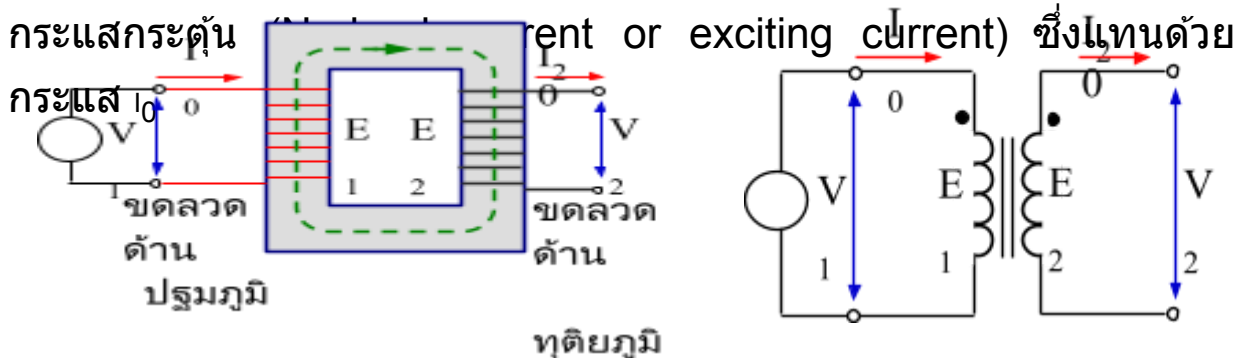
$$I_2 = 300A$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 300 A

ตอบ

8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงเมื่อไม่มีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงนั้นมีความต่าง ๆ ตรงข้ามกับหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ เมื่อยังไม่ได้ต่อโหลดจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ดังรูป แสดงด้วยสัญลักษณ์ เมื่อจ่ายแรงดัน V_1 ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ เรียกกระแสไฟฟ้างี้ว่า กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดหรือค่าของกระแสกระตุ้น



(

(ก) การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด (ข) วงจรแสดงสัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 8.9 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

จากรูป กระแส I_0 นี้ถูกแทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่แยกไหลออกเป็นอีก 2 ส่วน คือ

1. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss current) แทนด้วยกระแส I_C โดยกระแสส่วนนี้ทำให้เกิดการสูญเสียจากฮิสเทอรีซิสและจากกระแสไหลวน (Hysteresis and eddy current losses)

2. กระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing current) แทนด้วยกระแส I_m โดยกระแสส่วนนี้จะสร้างเส้นแรง-แม่เหล็กรวมที่เปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และ E_2 ขึ้นที่ขดลวด

$$I_0 = \sqrt{I_C^2 + I_m^2} \quad \text{..... (8.9)}$$

โดย θ_0 เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0 หาได้ดังนี้

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{I_m}{I_C}\right) \quad \text{..... (8.10)}$$

กำหนดให้ pf_0 เป็นตัวประกอบกำลังเมื่อไม่มีโหลด และหาได้ดังนี้

$$\text{pf}_0 = \cos \theta_0 \quad \text{..... (8.11)}$$

เมื่อไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อมจากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอ็กแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จะได้ว่า

$$V_1 = E_1 \quad \text{..... (8.12)}$$

เมื่อทราบของกระแส I_0 และมุม θ_0 ก็สามารถหาค่าของกระแส I_C และ I_m ได้ตามลำดับดังนี้

$$I_C = I_0 \cos \theta_0 \quad \text{..... (8.13)}$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \quad \text{..... (8.14)}$$

จากวงจรสมมูลรูปที่ 8.9 (ค) ซึ่งกระแส I_0 แยกไหลออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนของกระแส I_C ที่ไหลผ่านแทนด้วยความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss resistance) กำหนดให้เป็น R_C ส่วนของกระแส I_m ที่ไหลผ่านแทนด้วยรีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing reactance) กำหนดให้เป็น X_m ซึ่งทั้งสองค่าต่อขนานกันและต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_1

(A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, jr. and Stephen D. Umans, 2003 : 62) และหาค่าได้ดังนี้

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} \quad \text{..... (8.15)}$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} \quad \text{.....}$$

(8.16)

จากสมการที่ 8.13 นำค่าของแรงดัน V_1 มาคูณทั้ง 2 ข้าง จะได้

$$V_1 I_c = V_1 I_0 \cos \theta_0$$

ซึ่งผลคูณของ $V_1 I_c$ ก็คือค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก กำหนดให้เป็น P_c ดังนั้น

$$P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad \text{..... (8.17)}$$

ตัวอย่างที่ 8.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดัน 1600/240 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฐมภูมิ 1600 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 1400 W ไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อมจากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอกแตนซ์รั่วซึม จงคำนวณหา

- ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก
- ข. กระแสทำแม่เหล็ก
- ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก
- ง. รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1600 \text{ V} \quad I_0 = 3 \text{ A} \quad \text{และ} \quad P_c = 1400 \text{ W}$$

หามุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0

$$\text{จากสมการ} \quad P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad \text{ดังนั้น} \quad \cos \theta_0 = \frac{P_c}{V_1 I_0}$$

และ

$$\theta_0 = \cos^{-1}\left(\frac{P_c}{V I_0}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1400}{16000}\right) = 73.08^\circ$$

ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 = 3 \times \cos 73.08$$

$$I_c = 3 \times 0.29 = 0.873 \text{ A}$$

กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ **0.873 A ตอบ**

ข. กระแสทำแม่เหล็ก

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 = 3 \times \sin 73.08$$

$$I_m = 3 \times 0.95 = 2.868 \text{ A}$$

กระแสทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ **2.868 A ตอบ**

ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก

$$R_c = \frac{V_l}{I_c} = \frac{160}{0.873} = 1832.6 \Omega$$

ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ **1832.76 Ω**

ตอบ

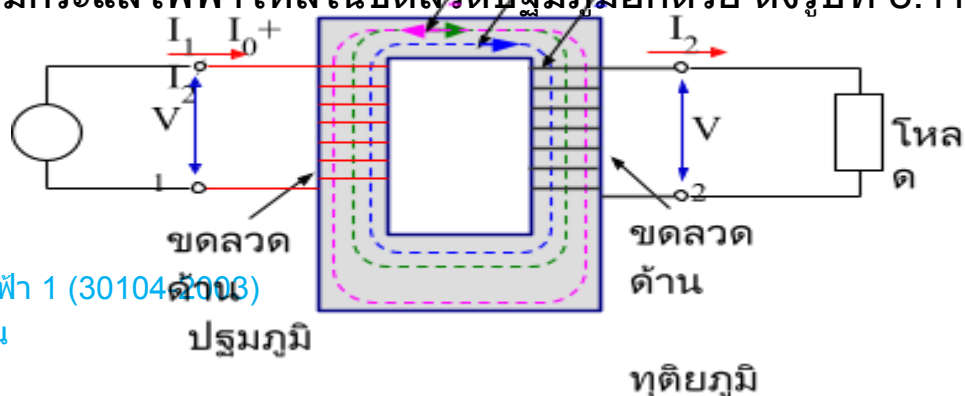
ง. รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก

$$X_m = \frac{V_l}{I_m} = \frac{160}{2.868} = 55.88 \Omega$$

รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ **55.88 Ω ตอบ**

8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเป็นภาวะที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีโหลดต่ออยู่ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากขดลวดทุติยภูมิไปยังโหลดและยังทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิอีกด้วย ดังรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเกิดกระแส I_2 กับ Φ_2 และ I_2' กับ Φ_2'

จากรูป เมื่อต่อโหลดเข้ากับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ทำให้เกิดการไหลของกระแส I_2 และสร้างแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_2 I_2$ ซึ่งเรียกว่า **แอมแปร์-รอบลดเส้นแรงแม่เหล็ก** (Demagnetizing ampere turn) ซึ่งกระแส I_2 ก็สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก Φ_2 ขึ้นมา โดยมีทิศทางตรงข้ามกับ Φ ที่สร้างจากกระแส I_0 เป็นผลให้ Φ ลดลง และทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 ของทางด้านปฐมภูมิลดลงไปด้วยจึงทำให้เกิดผลต่างของแรงดันไฟฟ้า V_1 กับ E_1 จึงทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น เรียกกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ว่า **กระแสไหลทางด้านปฐมภูมิ** (Load component of primary current) มีค่าเป็น I_2' จากการ มีกระแส I_2' ทางด้านปฐมภูมิ โดย I_2' นี้จะสร้าง Φ_2' ขึ้นมาก็ทำให้เกิดแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_1 I_2'$ และมีค่าเท่ากับแรงดันแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ $N_2 I_2$ โดยมีทิศทางต่อต้านกันและมีสภาพเป็นกลาง (Neutralized) ไปในทันทีทันใด ซึ่งเหลือเพียงแต่เส้นแรงแม่เหล็กรวมเพียงอย่างเดียวโดยผลรวม

ของกระแส I_1 ทางด้านปฐมภูมิได้จากกระแส I_0 เมื่อไม่มีโหลดกับกระแส
 โหลดทางด้านปฐมภูมิ I_2' ทางเฟสเซอร์ จากรูปที่ 8.11 กระแส I_2' เป็น
 กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ เนื่องจาก I_0 มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกระแสที่
 โหลดจึงไม่นำมาคิด ดังนั้น

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \quad I_2' = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) I_2$$

$$I_2' = \frac{I_2}{a} \quad \text{..... (8.18)}$$

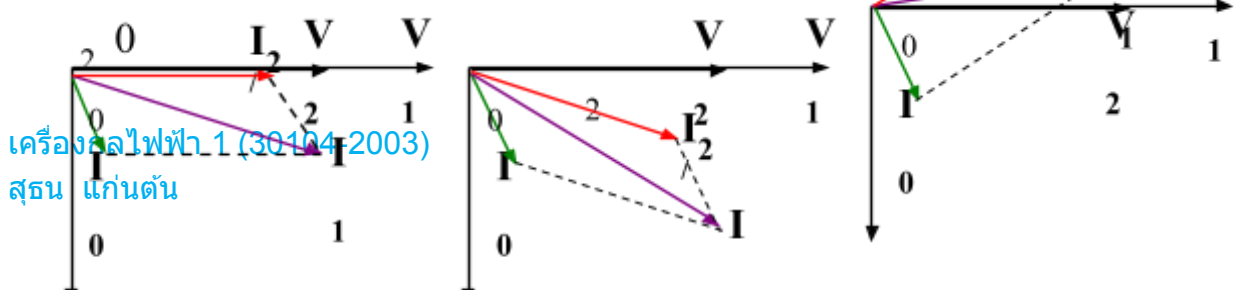
8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เมื่อมีโหลด

แผนภาพเฟสเซอร์จะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบ
 กำลังของโหลดที่ต่ออยู่ ดังนี้

**8.5.1 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 (I_2'
 รวมเฟสกับ V_2)** โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิและ
 รวมเฟสกับแรงดัน V_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0
 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ก)

**8.5.2 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังล่าช้า (I_2'
 ล่าช้า V_2)** โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิและ
 ล่าช้าเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวม
 ของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ข)

**8.5.3 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังนำหน้า (I_2'
 นำหน้า V_2)** โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิและนำ
 หน้าเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวม
 ของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ค)



รูปที่ 8.12 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 8.3 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดันไฟฟ้า 1200/200 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฐมภูมิ 1200 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส 70° โดยมีกระแสล้าหลังแรงดันเมื่อยังไม่มีโหลด และเมื่อต่อโหลดมีกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ 240 A จงคำนวณหา

- กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ
- กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$
- กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1200 \text{ V} \quad V_2 = 200 \text{ V} \quad I_0 = 3 \text{ A} \quad I_2 = 240 \text{ A} \quad \theta_0 = 70^\circ$$

หาอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

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

ก.กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$I_1' = \frac{I_2}{a} = \frac{240}{6} = 40 \text{ A}$$

กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ **40 A**

ตอบ

ข.กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(1) = 0^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I_1' \\ &= I_0 \angle \theta_0 + I_1' \angle \theta_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3 \angle 70^\circ + 40 \angle 0^\circ \\
 &= (1.026j2.819) + 40 \\
 &= 41.026j2.81 \\
 I_1 &= 41.122 \angle 3.9^\circ
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฏุมุมที่ $pf_2 = 1$ มีค่าเท่ากับ 41.122 A

ตอบ

ค.กระแสไฟฟ้าทางด้านปฏุมุมที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(0.866) = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_0 + I_2 \\
 &= I_0 \angle \theta_0 + I_2 \angle \theta_2 \\
 I_1 &= 3 \angle 70^\circ + 40 \angle 30^\circ \\
 &= (1.026j2.819) + (34.64j20) \\
 &= 35.66j22.8 \\
 I_1 &= 42.342 \angle 32.6^\circ
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฏุมุมที่ $pf_2 = 0.866$ ล้าหลังมีค่าเท่ากับ 42.342 A

ตอบ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การ วัดผล ประเมินผล
1.ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของ การเรียนรู้ในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญ ของความรู้อย่างไร โครงสร้างและการทำงานของ หม้อแปลงไฟฟ้า	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ ของการเรียนใน หน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญ ของโครงสร้างและการทำงานของ หม้อแปลงไฟฟ้า	1. คำถาม ประจำหน่วย 2. แบบทดสอบ ก่อน เรียนหน่วยที่ 8

1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 8 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย	1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 8 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จดบทที่กย่อ 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 8 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน	1. power point หน่วยที่ 8 2. คำถามหน่วยที่ 8 1. ใบสรุปหน่วยที่ 8 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 1. แบบทดสอบหลังเรียน หน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ 1. ใบมอบงาน หน่วยที่ 8
--	--	---

7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย
---	---	--------------------------

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 8
4. ใบมอบหมายงานที่ 8

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุชน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา **30104-2003** ชื่อรายวิชา **เครื่องกลไฟฟ้า 1**

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ **8** หัวข้อเนื้อหาที่สอน **โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า**

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วน
เพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ []
ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุง
เพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุง
เพราะ.....

เครื่องกลไฟฟ้า 1 (30104-2003)

สุชน แก่นตัน

5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิพิสัย [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

8. ด้านทักษะพิสัย [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

9. ด้านจิตพิสัย [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

ผลการสอนของครู

10. [] นำพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....

11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย

.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2003

ชื่อหน่วย โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่	รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์หาค่าการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความสะอาดเรียบร้อย หลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายใน ชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- 16–20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- 14–15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- 12–13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

- 10–11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ _____ ผู้ประเมิน
 (_____)
 ____ / ____ / ____