

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 5
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่ 8

หน่วยที่ 8

โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หัวข้อเรื่อง (Topics)

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

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด
2. ปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด

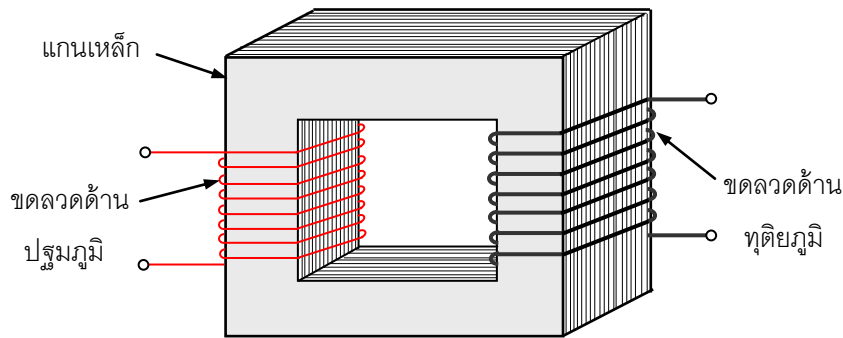
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

1. อธิบายโครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้
2. อธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้
3. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลดได้
4. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้
5. เขียนและอธิบายแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 6
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

8.1 โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

8.1.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน ก็คือ แกนเหล็กกับขดลวดซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น ดังรูปที่ 8.1



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 หน้าที่ของแกนเหล็กก็เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด

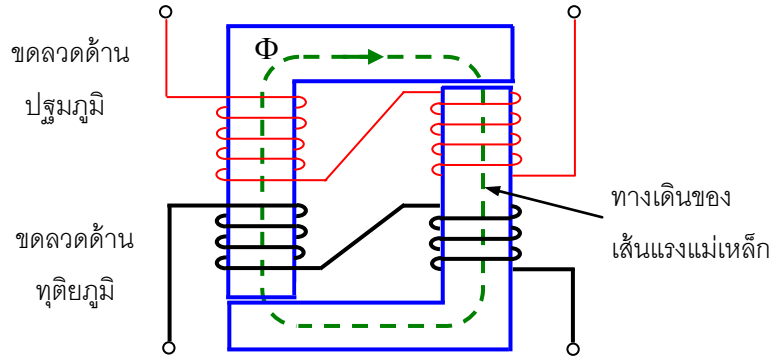
2. ขดลวด ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากนักก็ทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ ก็เป็นทองแดงเส้นแบน ซึ่งขดลวดนี้พันอยู่ที่แกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ขด คือ

- (1) ขดลวดทางด้านไฟเข้าหรือขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding)
- (2) ขดลวดทางด้านไฟออกหรือขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)

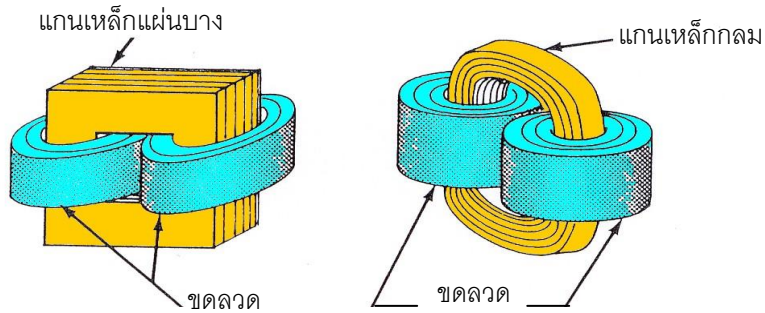
8.1.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้ดังนี้

1. หม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ขดลวดจะพันล้อมรอบแกนเหล็กโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะพันไว้ด้านละครึ่งขด ดังรูปที่ 8.2 (ก) ทั้งนี้เพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) ไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) ไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป LL และ UI โดยแกนเหล็กที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบาง (Laminated sheet core) กับแกนเหล็กกลม (Wound core) ดังรูปที่ 8.2 (ข) ซึ่งแกนเหล็กแบบคอร์นี้มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กทางเดียว

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 7
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8



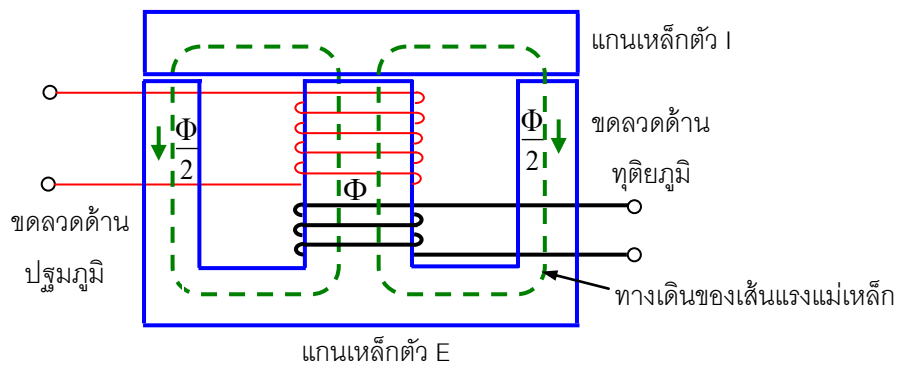
(ก) การพันขดลวดบนแกนเหล็กด้านละครึ่งขดลวด



(ข) ลักษณะแกนเหล็กแบบคอร์

รูปที่ 8.2 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบคอร์

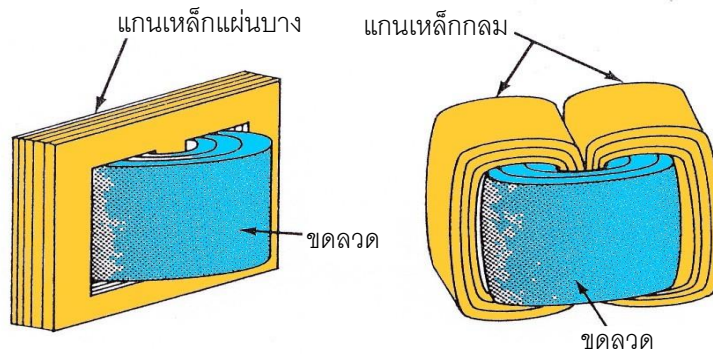
2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังรูปที่ 8.3 (ก) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) พันไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป EI นอกจากนี้แกนเหล็กที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือแกนเหล็กแผ่นบางกับแกนเหล็กกลม ดังรูปที่ 8.3 (ข) แกนเหล็กแบบเชลล์มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กสองทาง



(ก) การพันขดลวดที่แกนกลางของแกนเหล็กแบบเชลล์

รูปที่ 8.3 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

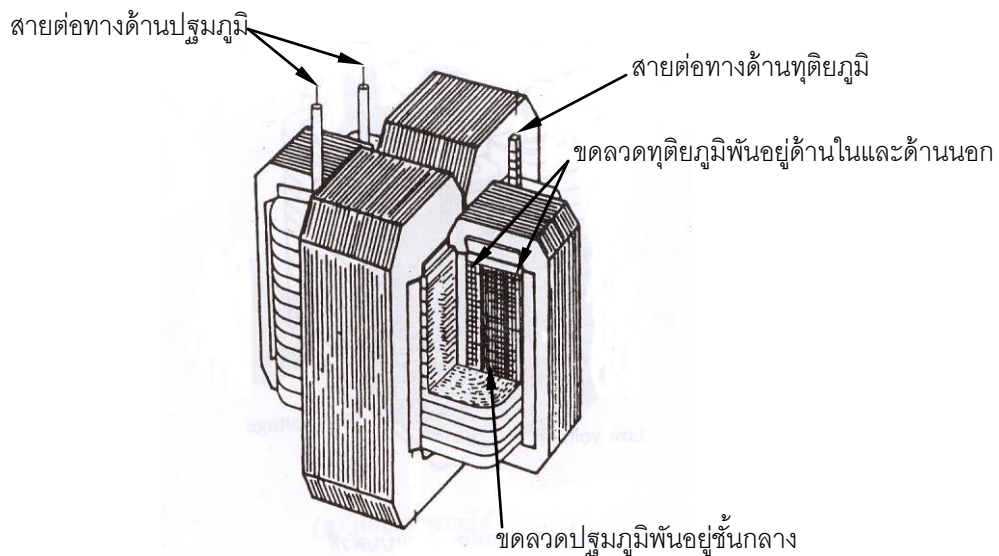
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 8
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8



(ข) ลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

รูปที่ 8.3 (ต่อ) การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

3. หม้อแปลงแบบเฮช (H-type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเชลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก ซึ่งขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ด้านในครั้งหนึ่งก่อน จากนั้นคั่นด้วยฉนวนและพันขดลวดปฐมภูมิเต็มจำนวนรอบพันทับลงไปแล้วคั่นด้วยฉนวน จากนั้นจึงพันขดลวดทุติยภูมิที่เหลืออีกครั้งหนึ่งไว้ที่ด้านนอก ดังรูปที่ 8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีขนาดใหญ่จึงเหมาะสำหรับการส่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ๆ ขนาดหลายร้อยกิโลวัตต์แอมแปร์ (ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ, 2549 : 305)



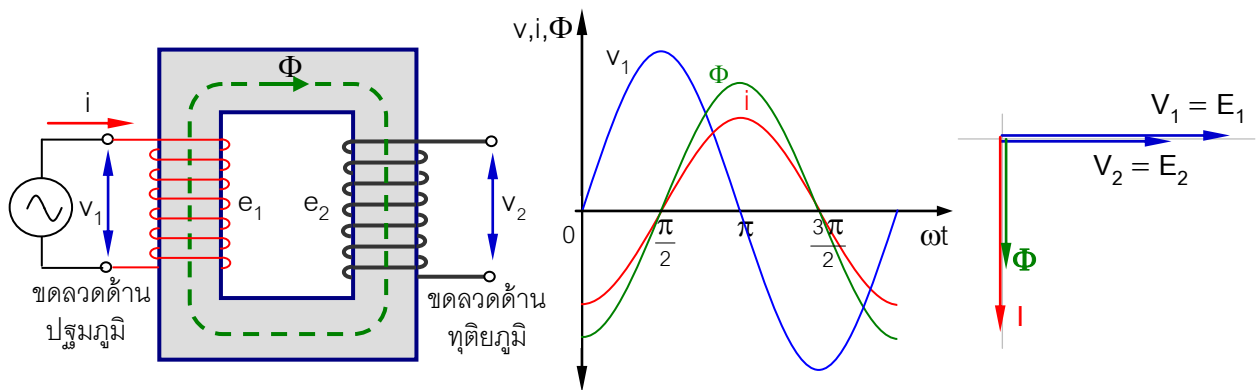
รูปที่ 8.4 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเฮช

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 9
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กผ่านไปได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียในขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

8.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานโดยจะพิจารณาให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ ซึ่งการทำงานพิจารณาได้จากรูปที่ 8.5



(ก) วงจรการทำงานของหม้อแปลง (ข) รูปคลื่นแสดงค่าชั่วขณะของค่าต่าง ๆ (ค) แผนภาพเฟสเซอร์

รูปที่ 8.5 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด

จากรูปที่ 8.5 (ก) และ 8.5 (ข) เมื่อจ่ายแรงดัน v_1 ซึ่งเป็นค่าชั่วขณะรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดปฐมภูมิ ทำให้มีกระแส i_1 ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและกระแส i_1 นี้ จะสร้าง Φ และเปลี่ยนแปลงไปตามกับกระแส i_1 ซึ่ง Φ ร่วมเฟสกับกระแส i_1 จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะไปคล้องกับขดลวดทั้งสองขด ทำให้เกิดแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ (e_1) เรียกว่า **แรงดันไฟฟ้าต่อต้าน** (Back emf.) และขดลวดทุติยภูมิ (e_2) เรียกว่า **แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำร่วม** (Mutual induced emf.) โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองจะมีเฟสหน้า Φ

แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงในอุดมคติ จากรูปคลื่นรูปที่ 8.5 (ข) นำมาเขียนเป็นแผนภาพเฟสเซอร์ โดยกำหนดให้เฟสเซอร์ของ V_1 เป็นแกนอ้างอิง โดยเฟสเซอร์ I_1 กับ Φ ร่วมเฟสกันและล้าหลังเฟสเซอร์ V_1 เป็นมุม 90° นอกจากนี้เฟสเซอร์ E_1 กับ E_2 ก็ร่วมเฟสกันและร่วมเฟสกับ V_1 ดังรูปที่ 8.5 (ค)

8.2.2 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและอัตราส่วนของหม้อแปลง

จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลามาคล้องตัดกับขดลวด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ตามสมการ

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

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 10
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

เมื่อพิจารณาขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad \dots (8.1)$$

แต่

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$$

ดังนั้น

$$e_1 = N_1 \frac{d}{dt} \Phi_{\max} \sin \omega t$$

$$= \omega N_1 \Phi_{\max} \cos \omega t$$

หรือ

$$e_1 = \omega N_1 \Phi_{\max} \sin (\omega t + 90^\circ)$$

โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e_1 จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\omega t = 0$

$$E_{1m} = \omega N_1 \Phi_{\max}$$

แต่ $\omega = 2\pi f$

$$E_{1m} = 2\pi f N_1 \Phi_{\max}$$

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ก็คือ $E_m = \sqrt{2} E$ แทนค่าจะได้

$$\sqrt{2} E_1 = 2\pi f N_1 \Phi_{\max}$$

$$E_1 = \frac{2\pi f N_1 \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\max}$$

เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ จะได้

$$V_1 = E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\max} \quad \dots (8.2)$$

ในทำนองเดียวกันทางด้านทุติยภูมิ จะได้

$$V_2 = E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_{\max} \quad \dots (8.3)$$

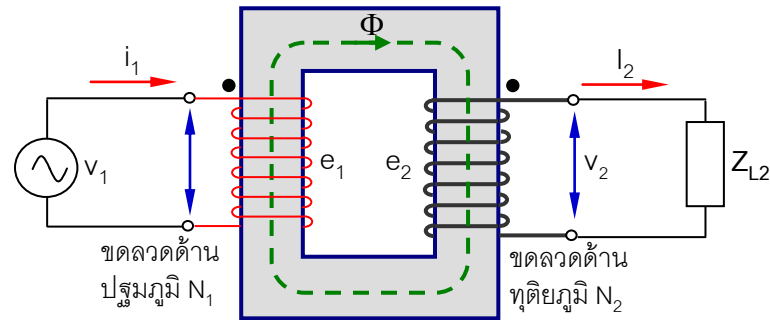
8.2.3 อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า กำหนดให้เป็น a ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า หาค่าได้ดังนี้โดยนำสมการที่ 8.2 มารวด้วยสมการที่ 8.3 จะได้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 f N_1 \Phi_{\max}}{4.44 f N_2 \Phi_{\max}}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \dots (8.4)$$

8.2.4 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดอิมพีแดนซ์ Z_{L2} มาต่อเข้ากับทางด้านทุติยภูมิ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็น V_2 และมีกระแส I_2 ไหลไปยังโหลดอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 8.6

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 11
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่ 8



รูปที่ 8.6 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

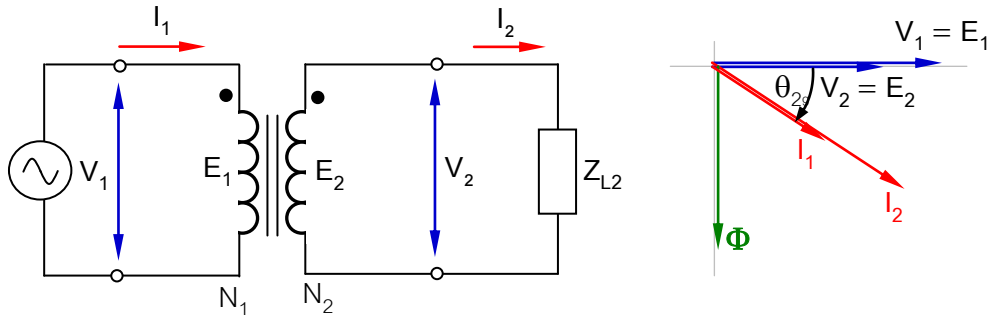
จากรูปที่ 8.6 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติแรงดันไฟฟ้า E_1 จะเท่ากับ V_1 เสมอ และเส้นแรงแม่เหล็กจะต้องคงที่และเท่ากับเมื่อไม่มีโหลด เมื่อมีกระแส I_2 ไหลผ่านโหลดอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิจึงทำให้เกิดกระแส I_1 ทางด้านปฐมภูมิด้วย และส่งผลให้เกิดแรงดันแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้านขึ้น จะได้ว่า

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

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

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

ซึ่งวงจรมุมและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด และให้โหลด Z_{L2} ที่ต่ออยู่มีค่าตัวประกอบกำลังล่าหลัง (เฟสเซอร์ I_2 ล่าหลังเฟสเซอร์ V_2 เป็นมุม θ_2) ดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 วงจรมุมและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติจะได้ว่าขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ นั่นคือ

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

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

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

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 12
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

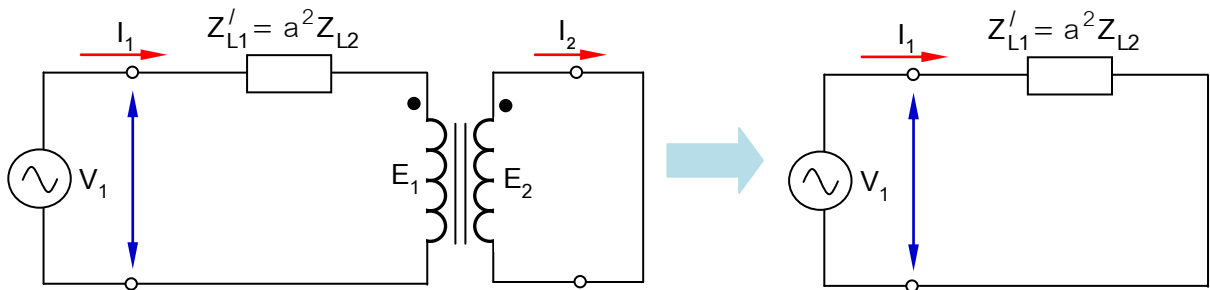
เห็นว่าโหลดอิมพีแดนซ์ Z_{L2} ทางด้านทุติยภูมิสามารถแทนด้วยอิมพีแดนซ์สมมูลทางด้านปฐมภูมิได้ กำหนดให้เป็น Z'_{L1} ซึ่งเท่ากับ $\frac{V_1}{I_1}$ นั่นคือ

$$Z'_{L1} = a^2 Z_{L2} \quad \dots (8.7)$$

ในทำนองเดียวกันอิมพีแดนซ์ Z_{L1} ทางด้านปฐมภูมิก็สามารถย้ายไปทางด้านทุติยภูมิได้เช่นกัน นั่นคือ

$$Z'_{L2} = \frac{Z_{L1}}{a^2} \quad \dots (8.8)$$

จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของทั้งสองด้าน ถ้าพิจารณาทางด้านปฐมภูมิเมื่อทำการย้ายค่าของ Z_{L2} จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิเป็น Z'_{L1} ดังนั้นถือว่าทางด้านทุติยภูมิกำหนดให้ลัดวงจรและเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ ดังรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

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

$$VA_{\text{ปฐมภูมิ}} = VA_{\text{ทุติยภูมิ}}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

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

- จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด
- กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

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

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

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

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 13
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

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

จาก $\frac{N_1}{N_2} = a$

ดังนั้น $N_1 = aN_2 = 88 \times 60 = 5280$ รอบ

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 5280 รอบ **ตอบ**

ข. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

$$V_2 = 4.44fN_2\Phi_{\max}$$

$$\Phi_{\max} = \frac{V_2}{4.44fN_2}$$

$$= \frac{250}{4.44 \times 50 \times 60}$$

$$= 0.01876 = 18.76 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าเท่ากับ 18.76 mWb **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

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

$$I_1 = 3.409 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 3.409 A **ตอบ**

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

$$I_2 = 300 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 300 A **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 8.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 Hz ขนาดพิกัด 5 kVA 4.4 kV/440 V มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด 1.2 T แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 10 V/รอบ จงคำนวณหา

ก. จำนวนรอบของขดลวดแต่ละด้าน

ข. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

ค. พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

(Mulukutta S. Sarmar and Mukesh K. Pathak, 2010: 111-112)

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$f = 50 \text{ Hz} \quad E/N = 10 \text{ V/รอบ}$$

$$V_1 = 4.4 \text{ kV} \quad V_2 = 440 \text{ V} \quad B_{\max} = 1.2 \text{ T}$$

$$\text{พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า} = 5 \text{ kVA} = 5 \times 10^3 \text{ VA}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 14
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

ก. จำนวนรอบของขดลวดแต่ละด้าน

$$N_1 = \frac{V_1}{E/N} = \frac{4400}{10}$$

$$= 440 \text{ รอบ}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{E/N} = \frac{440}{10}$$

$$= 44 \text{ รอบ}$$

จำนวนรอบของขดลวดในแต่ละด้านมีค่าเท่ากับ 440 รอบ และ 44 รอบ **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

$$I_1 = \frac{kVA}{V_1} = \frac{5 \times 10^3}{4400}$$

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

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 1.136 A **ตอบ**

$$I_2 = \frac{kVA}{V_2} = \frac{5 \times 10^3}{440}$$

$$I_2 = 11.363 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 11.363 A **ตอบ**

ค. พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$\Phi_{\max} = \frac{V_2}{4.44fN_2} = \frac{440}{4.44 \times 50 \times 44}$$

$$= 0.045 \text{ Wb}$$

จาก $B_{\max} = \frac{\Phi_{\max}}{A_c}$ (เมื่อ $A_c =$ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก)

ดังนั้น $A_c = \frac{\Phi_{\max}}{B_{\max}} = \frac{0.045}{1.2}$

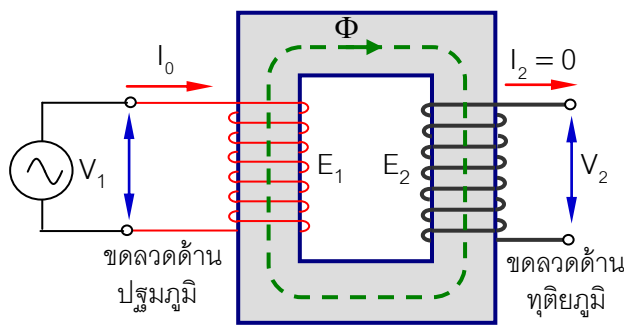
$$A_c = 0.0375 \text{ m}^2$$

พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.0375 m² **ตอบ**

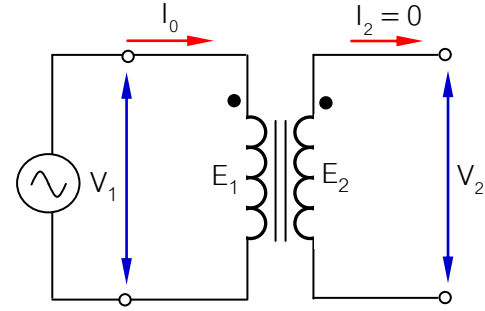
8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงนั้นมีค่าต่าง ๆ ตรงข้ามกับหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ เมื่อยังไม่ได้ต่อโหลดจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 8.9 (ก) ส่วนรูปที่ 8.9 (ข) แสดงด้วยสัญลักษณ์ เมื่อจ่ายแรงดัน V_1 ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ เรียกกระแสไฟฟ้างี้ว่า กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดหรือค่าของกระแสกระตุ้น (No-load current or exciting current) ซึ่งแทนด้วยกระแส I_0

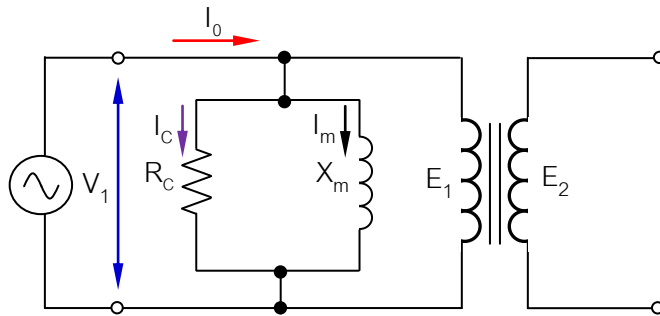
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 15
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8



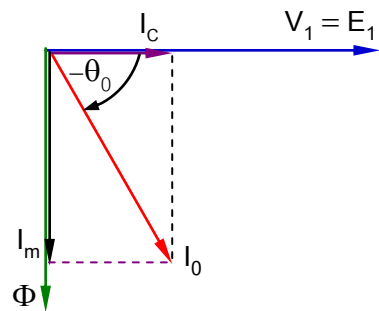
(ก) การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด



(ข) วงจรแสดงสัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า



(ค) วงจรสมมูลเมื่อไม่มีโหลด



(ง) แผนภาพเฟสเซอร์เมื่อไม่มีโหลด

รูปที่ 8.9 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

จากรูปที่ 8.9 (ค) 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 โดยกระแสส่วนนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่เปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และ E_2 ขึ้นที่ขดลวด

จากรูปที่ 8.9 (ง) แสดงแผนภาพเฟสเซอร์ โดยให้ V_1 เป็นแกนอ้างอิง โดยมีเฟสเซอร์ของกระแส I_m ร่วมเฟสกับ Φ และล้าหลังเฟสเซอร์แรงดัน V_1 เป็นมุม -90° โดยเฟสเซอร์ของกระแส I_c ร่วมเฟสกับแรงดัน V_1 ผลรวมทางเฟสเซอร์ของ I_c กับ I_m ได้เฟสเซอร์ของกระแส I_0 และล้าหลังเฟสเซอร์ V_1 เป็นมุม $-\theta_0$ โดยขนาดของกระแส I_0 หาได้ดังนี้

$$I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \quad \dots (8.9)$$

โดย θ_0 เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0 หาได้ดังนี้

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{I_m}{I_c}\right) \quad \dots (8.10)$$

กำหนดให้ pf_0 เป็นตัวประกอบกำลังเมื่อไม่มีโหลด และหาได้ดังนี้

$$pf_0 = \cos \theta_0 \quad \dots (8.11)$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 16
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่ 8

เมื่อไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อมจากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอกแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จะได้ว่า

$$V_1 = E_1 \quad \dots (8.12)$$

เมื่อทราบของกระแส I_0 และมุม θ_0 ก็สามารถหาค่าของกระแส I_c และ I_m ได้ตามลำดับดังนี้

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 \quad \dots (8.13)$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \quad \dots (8.14)$$

จากวงจรสมมูลรูปที่ 8.9 (ค) ซึ่งกระแส I_0 แยกไหลออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนของกระแส I_c ที่ไหลผ่านนั้น แทนด้วยความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss resistance) กำหนดให้เป็น R_c ส่วนของกระแส I_m ที่ไหลผ่านแทนด้วยรีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing reactance) กำหนดให้เป็น X_m ซึ่งทั้งสองค่าต่อขนานกันและต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_1 (A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, jr. and Stephen D. Umans, 2003 : 62) และหาค่าได้ดังนี้

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

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} \quad \dots (8.16)$$

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

$$P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad \dots (8.17)$$

- เมื่อ
- P_c = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (W)
 - V_1 = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (V)
 - I_0 = กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (A)
 - I_c = กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก (A)
 - I_m = กระแสทำแม่เหล็กเหล็ก (A)
 - R_c = ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก (Ω)
 - X_m = รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Ω)
 - θ_0 = เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0 (deg)

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 17
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่ 8

ตัวอย่างที่ 8.3 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

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

$$\text{และ} \quad \theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_c}{V_1 I_0} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{1400}{1600 \times 3} \right) = 73.08^\circ$$

ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก

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

$$I_c = 3 \times 0.291 = 0.873 \text{ A}$$

กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ

$$0.873 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

ข. กระแสทำแม่เหล็ก

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

$$I_m = 3 \times 0.956 = 2.868 \text{ A}$$

กระแสทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

$$2.868 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{1600}{0.873}$$

$$R_c = 1832.76 \ \Omega$$

ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ

$$1832.76 \ \Omega \quad \text{ตอบ}$$

ง. รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{1600}{2.868}$$

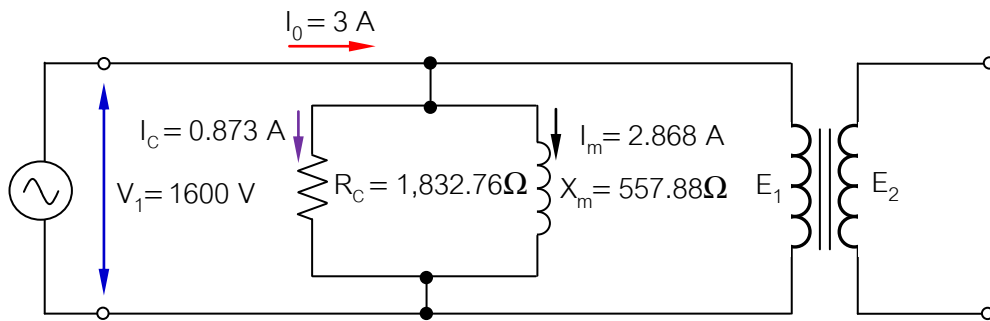
$$X_m = 557.88 \ \Omega$$

รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

$$557.88 \ \Omega \quad \text{ตอบ}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 18
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

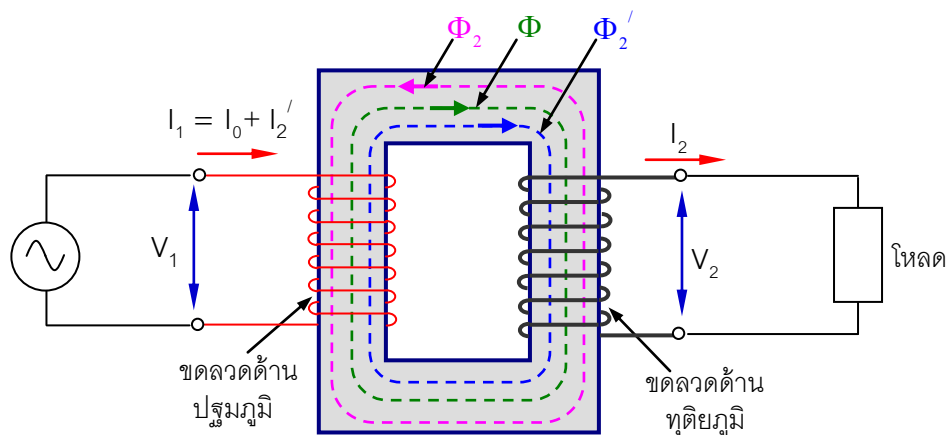
เขียนวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด ดังรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 กำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเป็นภาวะที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีโหลดต่ออยู่ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากขดลวดทุติยภูมิไปยังโหลดและยังทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิอีกด้วย ดังรูปที่ 8.11



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

จากรูปที่ 8.11 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' จากการมีกระแส I_2' ทางด้านปฐมภูมิ โดย I_2' นี้จะสร้าง Φ_2' ขึ้นมาก็ทำให้เกิดแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_1 I_2'$ และมีค่าเท่ากับแรงดันแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ $N_2 I_2$ โดยมีทิศทางต่อต้านกันและมีสภาพเป็นกลาง (Neutralized) ไปในทันทีทันใด ซึ่งเหลือเพียงแต่เส้นแรงแม่เหล็กร่วมเพียงอย่างเดียวโดยผลรวมของกระแส I_1 ทางด้าน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 19
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

ปฐมภูมิได้จากกระแส I_0 เมื่อไม่มีโหลดกับกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิ I_2' ทางเฟสเซอร์ จากรูปที่ 8.11 กระแส I_2' เป็นกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

แรงดันแม่เหล็กทางด้านปฐมภูมิ = แรงดันแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$N_1 (I_0 + I_2') = N_2 I_2$$

เนื่องจาก I_0 มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกระแสที่ไหลจึงไม่นำมาคิด ดังนั้นจะได้

$$N_1 I_2' = N_2 I_2$$

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

$$I_2' = \frac{I_2}{a}$$

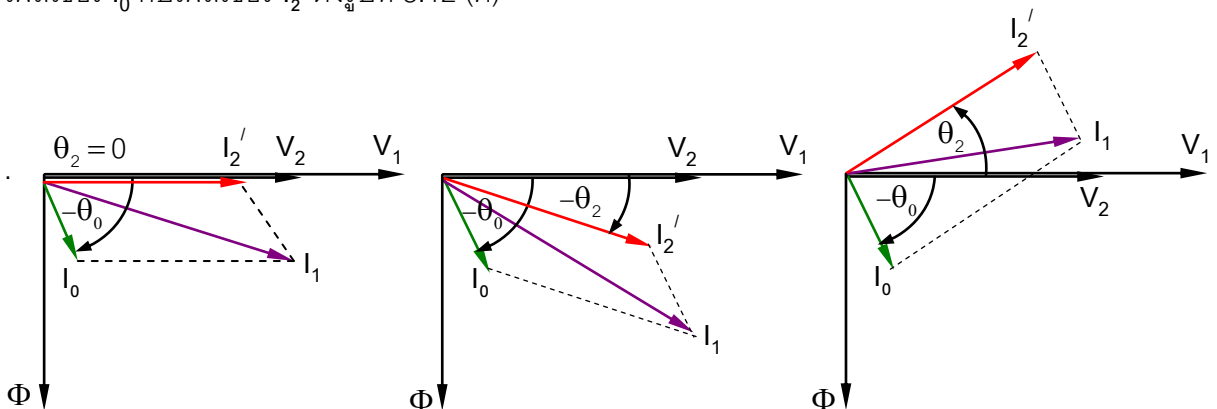
..... (8.18)

8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

8.5.1 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 (I_2' ร่วมเฟสกับ V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิและร่วมเฟสกับแรงดัน V_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ก)

8.5.2 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังล้าหลัง (I_2' ล้าหลัง V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิและล้าหลังเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ข)

8.5.3 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังนำหน้า (I_2' นำหน้า V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิและนำหน้าเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ค)



(ก) ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1

(ข) ตัวประกอบกำลังล้าหลัง

(ค) ตัวประกอบกำลังนำหน้า

รูปที่ 8.12 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 20
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

จากแผนภาพเฟสเซอร์รูปที่ 8.9 (ก) รูปที่ (ข) และรูปที่ (ค) หากกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิหาได้ดังนี้

$$I_1 = I_0 + I'_2 \quad (\text{ผลรวมทางเฟสเซอร์}) \quad \dots (8.19)$$

- เมื่อ
- I_1 = กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (A)
 - I_0 = กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด (A)
 - I'_2 = กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ (A)
 - a = อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 8.4 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดันไฟฟ้า 1200/200 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฐมภูมิ 1200 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส 70° โดยมีกระแสล้าหลังแรงดันเมื่อยังไม่มีโหลด และเมื่อต่อโหลดมีกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ 240 A จงคำนวณหา

- ก. กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ
- ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$
- ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1200 \text{ V} \quad V_2 = 200 \text{ V} \quad I_0 = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = 240 \text{ A} \quad \theta_0 = 70^\circ$$

หาอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

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

ก. กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$I'_2 = \frac{I_2}{a} = \frac{240}{6} = 40 \text{ A}$$

กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ **40 A** **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$

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

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I'_2 \\ &= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle \theta_2 \\ &= 3 \angle -70^\circ + 40 \angle 0^\circ \\ &= (1.026 - j2.819) + (40 + j0) \\ &= 41.026 - j2.819 \\ I_1 &= 41.122 \angle -3.93^\circ \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 1$ มีค่าเท่ากับ **41.122 A** **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 21
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่ 8

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

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

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I_2' \\ &= I_0 \angle -\theta_0 + I_2' \angle -\theta_2 \\ &= 3 \angle -70^\circ + 40 \angle -30^\circ \\ &= (1.026 - j2.819) + (34.641 - j20) \\ &= 35.667 - j22.819 \\ I_1 &= 42.342 \angle -32.61^\circ \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 0.866$ ล้าหลังมีค่าเท่ากับ 42.342 A **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 8.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มีจำนวนรอบที่พันของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ 600 รอบ และทางด้านทุติยภูมิ 150 รอบ เมื่อยังไม่มีโหลดต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฐมภูมิ มีกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ตัวประกอบกำลัง 0.285 ล้าหลัง และเมื่อต่อโหลดมีกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ 200 A จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ ค่าตัวประกอบกำลังด้านปฐมภูมิ โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังด้านทุติยภูมิ ดังนี้

ก. ที่ค่า $pf_2 = 1$

ข. ที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

ค. ที่ค่า $pf_2 = 0.707$ นำหน้า

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$N_1 = 600 \text{ รอบ} \quad N_2 = 150 \text{ รอบ} \quad I_0 = 4 \text{ A}$$

$$I_2 = 200 \text{ A} \quad pf_0 = 0.285 \text{ ล้าหลัง}$$

หาอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{600}{150} = 4$$

กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$I_2' = \frac{I_2}{a} = \frac{200}{4}$$

$$I_2' = 50 \text{ A}$$

และ

$$\theta_0 = \cos^{-1}(pf_0) = \cos^{-1}(0.285) = 73.44^\circ$$

ก. ที่ค่า $pf_2 = 1$ หากกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิดังนี้

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

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I_2' \\ &= I_0 \angle -\theta_0 + I_2' \angle \theta_2 \\ &= 4 \angle -73.44^\circ + 50 \angle 0^\circ \end{aligned}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 22
รหัส 3104-2003	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	หน่วยที่ 8

$$= (1.140 - j3.834) + (50 + j0)$$

$$= 51.140 - j3.834$$

$$I_1 = 51.284 \angle -4.29^\circ \text{ A} \quad \theta_1 = -4.29^\circ$$

และตัวประกอบกำลัง

$$pf_1 = \cos \theta_1 = \cos(-4.29^\circ)$$

$$pf_1 = 0.997 \text{ ล้าหลัง}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 1$ มีค่าเท่ากับ 51.284 A **ตอบ**

ตัวประกอบกำลังทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 0.997 ล้าหลัง **ตอบ**

ข. ที่ค่า $pf_2 = 0.8$ ล้าหลัง หากกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิดังนี้

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

ดังนั้น

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

$$= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle -\theta_2$$

$$= 3 \angle -73.44^\circ + 50 \angle -36.87^\circ$$

$$= (1.140 - j3.834) + (40 - j30)$$

$$= 1.140 - j33.834$$

$$I_1 = 53.265 \angle -39.43^\circ \quad \theta_1 = -39.43^\circ$$

และตัวประกอบกำลัง

$$pf_1 = \cos \theta_1 = \cos(-39.43^\circ)$$

$$pf_1 = 0.772 \text{ ล้าหลัง}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 0.8$ ล้าหลังมีค่าเท่ากับ 53.265 A **ตอบ**

ตัวประกอบกำลังทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 0.772 ล้าหลัง **ตอบ**

ค. ที่ค่า $pf_2 = 0.707$ นำหน้า หากกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิดังนี้

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(0.707) = 45^\circ$$

ดังนั้น

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

$$= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle +\theta_2$$

$$= 3 \angle -73.44^\circ + 50 \angle 45^\circ$$

$$= (1.140 - j3.834) + (35.355 + j35.355)$$

$$= 36.495 + j31.521$$

$$I_1 = 48.223 \angle 40.81^\circ \quad \theta_1 = 40.81^\circ$$

และตัวประกอบกำลัง

$$pf_1 = \cos \theta_1 = \cos(40.81^\circ)$$

$$pf_1 = 0.756 \text{ นำหน้า}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 0.707$ นำหน้ามีค่าเท่ากับ 48.223 A **ตอบ**

ตัวประกอบกำลังทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 0.756 นำหน้า **ตอบ**