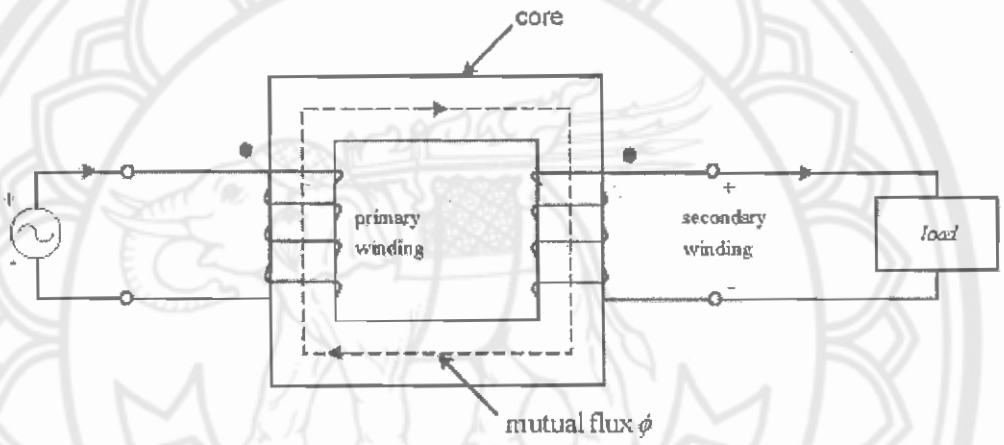
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งให้มีค่าแตกต่างกันหรือเท่ากัน

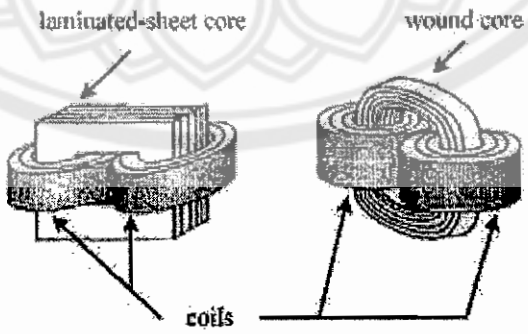
2.1 ลักษณะโครงสร้างของหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยขดลวดไฟฟ้า 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary coil) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary)

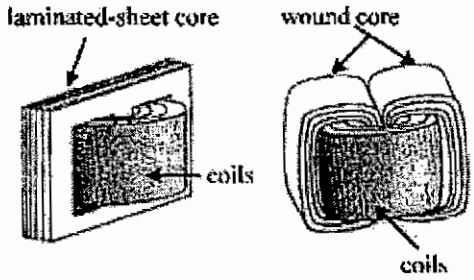


รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าตามลักษณะการพัน แบ่งได้เป็น แบบคอร์ มีลักษณะ ตามรูปที่ 2.2 และ แบบเชลล์ มีลักษณะดังรูป 2.3

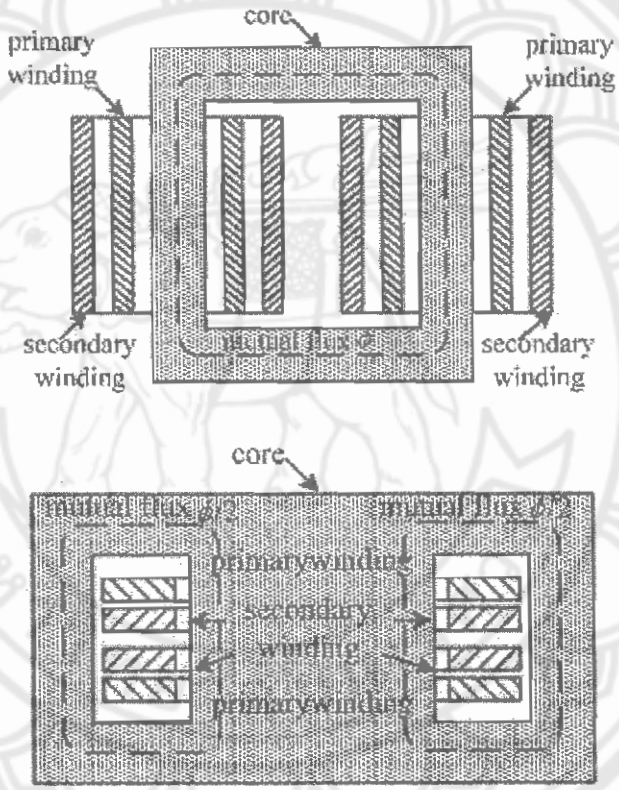


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหม้อแปลงแบบคอร์



รูปที่ 2.3 ลักษณะหม้อแปลงแบบเชลล์

ในการที่จะลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล จะต้องพันขดลวดให้มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.4



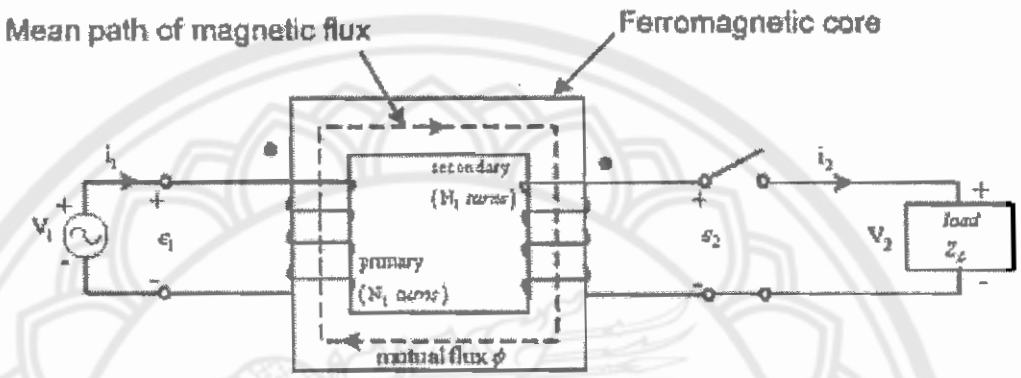
รูปที่ 2.4 การจัดวางขดลวดเพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ที่พันลงในหม้อแปลงแบบคอร์และแบบเชลล์

องค์ประกอบของหม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลัง ในการสร้างจะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้ คือ

- การวางของแกนเหล็กและขดลวด และการยึดของแกนเหล็กและขดลวดแน่นหนาเพียงใด
- ขดลวดปฐมภูมิ , ทุติยภูมิ , ทำให้แห้ง , มุมเฟสในการพัน , แบบของขดลวด , ระยะห่างช่องอากาศ , และฉนวนตัวนำ

- น้ำมัน , ตัวหล่อเย็น , ตัวทำให้แห้ง , ผู้ดูแลรักษา และตัวแปรอื่นๆ
- ขั้วเชื่อมต่อไฟภายนอกกับหม้อแปลง และเครื่องรองแกนหรือเพลาต่างๆ และสวิตช์ที่ต่อแยกไฟที่หม้อแปลงไปใช้งาน

2.2 ทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 แสดงหม้อแปลงในอุดมคติ

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง แรงดัน V_1 ที่จ่ายให้ขดลวดด้านปฐมภูมิก็จะเปลี่ยนไปด้วย ถ้าสมมติให้มีความต้านทานที่ด้านปฐมภูมิมีค่าเป็นศูนย์แล้ว จะทำให้มีการสร้างฟลักซ์ในแกนเหล็กขึ้นมาและมีทิศทางต้านกับทิศทางเดิม ทำให้เกิดแรงดัน e_1 ขึ้นมาดังสมการ

$$V_1 = e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \tag{2.1}$$

เมื่อ $\lambda_1 = N_1\phi$

$$e_1 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \tag{2.2}$$

เมื่อกำหนดให้ความต้านทานในขดลวดทุติยภูมิเป็นศูนย์และสวิตช์ต่อวงจรทางด้านทุติยภูมิแล้ว จะได้

$$V_2 = e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \frac{d\varphi}{dt} \tag{2.3}$$

เขียนสมการใหม่ได้ คือ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \tag{2.4}$$

จากกฎของแอมป์ เมื่อดูจากรูปที่ 2.5 จะได้

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0 \tag{2.5}$$

ถ้าให้ความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าสูงมากๆ

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \tag{2.6}$$

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะทางด้านอินพุตเท่ากับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะทางด้านเอาต์พุต

$$V_1 i_1 = V_2 i_2 \tag{2.7}$$

ให้รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแสในรูปของฟลักซ์เป็นรูปคลื่นซายน์ จะเขียนสมการของสัญญาณฟลักซ์ได้ดังนี้

$$\phi = \phi_{max} \sin \omega t \tag{2.8}$$

เมื่อ ϕ_{max} คือ ค่าฟลักซ์สูงสุด และ ω เท่ากับ $2\pi f$ โดย f แทนความถี่ ดังนั้นแรงดันเหนี่ยวนำ e_1 หาได้จาก

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = \omega N_1 \phi_{max} \cos \omega t \tag{2.9}$$

แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ นำกระแสอยู่ 90° มีทิศทางเป็นบวก ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งค่า *rms* ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} = f N_1 \phi_{max} = 4.44 f N_1 \phi_{max} \tag{2.10}$$

ถ้าไม่พิจารณาความต้านทานในขดลวด แรงดันไฟฟ้าด้านทานกลับจะเท่ากับแรงดันที่จ่าย ดังนั้น

$$V_1 = E_1 = 4.44 f N_1 \phi_{max} \tag{2.11}$$

$$\phi_{max} = \frac{V_1}{4.44 f N_1} \tag{2.12}$$

จากรูปที่ 2.6 เมื่อมองในรูปเฟสเซอร์ของแรงดันและกระแส จะได้ความสสัมพันธ์ดังสมการนี้

$$\overline{V_1} = \frac{N_1}{N_2}\overline{V_2} = a\overline{V_2} \tag{2.13}$$

$$\overline{I_2} = \frac{N_2}{N_1}\overline{I_2} = \frac{1}{a}\overline{I_2} \tag{2.14}$$

และ

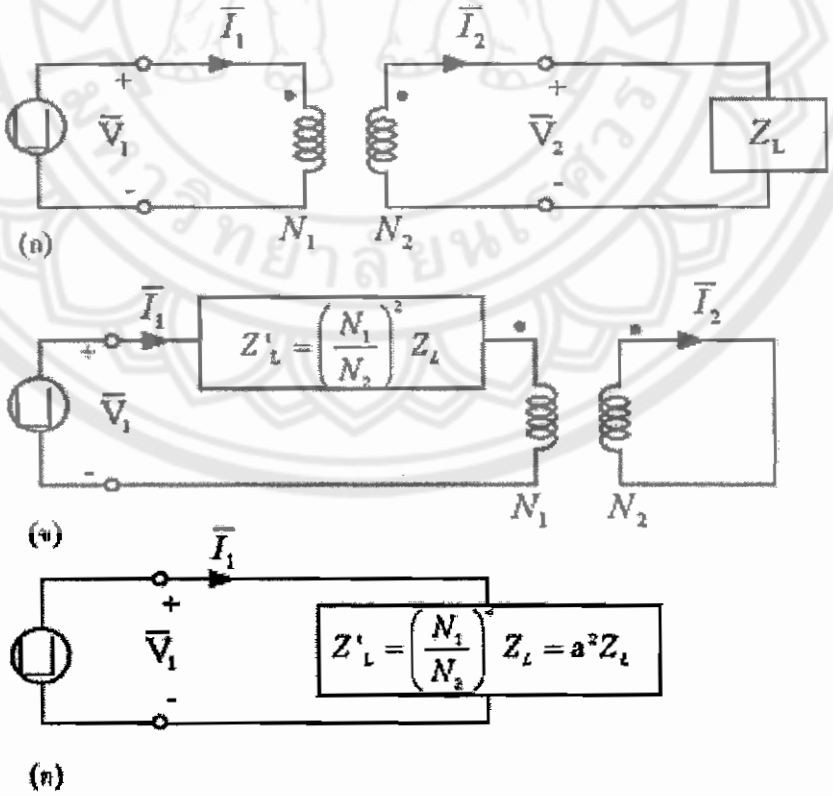
$$\overline{V_2} = \overline{I_2}Z_L \tag{2.15}$$

จะได้

$$\frac{\overline{V_1}}{\overline{I_1}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2\left(\frac{\overline{V_2}}{\overline{I_2}}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L = a^2 Z_L \tag{2.16}$$

ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของโหลดเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิจะได้

$$Z_L' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L = a^2 Z_L \tag{2.17}$$



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของหม้อแปลงในอุดมคติเมื่อย้ายจากทางด้านทุติยภูมิมาทางด้านปฐมภูมิ

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

กระแสกระตุ้นขณะหม้อแปลงยังไม่จ่ายโหลดจะมีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วนคือกระแสที่ทำให้เกิดความสูญเสียในแกนเหล็กในรูปความร้อน I_e และกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็ก I_m ซึ่งกระแส I_e จะอินเฟสกับแรงดันที่จ่ายให้ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งหาได้จาก

$$I_e = \frac{P_e}{E_1} \tag{2.18}$$

โดย P_e คือ ผลรวมของความสูญเสียจากฮีสเตอร์ริซีสและกระแสไหลวนในแกนเหล็ก ซึ่งในจงจรแม่เหล็กแบบเชิงเส้นคุณลักษณะของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H จะเป็นเส้นตรงและความซึมซาบแม่เหล็กจะมีปริมาณคงที่ ซึ่งกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กก็จะเป็นสัดส่วนกับฟลักซ์และอินเฟสกัน ดังนั้นกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก ทางด้านปฐมภูมิก็จะล้าหลังแรงดันเหนี่ยวนำ (E_1) อยู่ 90° เมื่อหม้อแปลงไม่ได้จ่ายโหลดดังรูปที่ 2.7 ก็จะทำให้ได้กระแสทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ

$$I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \tag{2.19}$$

และตัวประกอบกำลังขณะ ไม่มีโหลดหาได้จาก

$$\cos\theta_0 = \frac{I_c}{I_0} \tag{2.20}$$

จากรูปที่ 2.7 (ค) แสดงแอดมิดแตนซ์ (y_0) ที่เพิ่มเข้าไปซึ่งหาได้จาก

$$y_0 = g_c - jb_m = \frac{\overline{I_0}}{E_1} \tag{2.21}$$

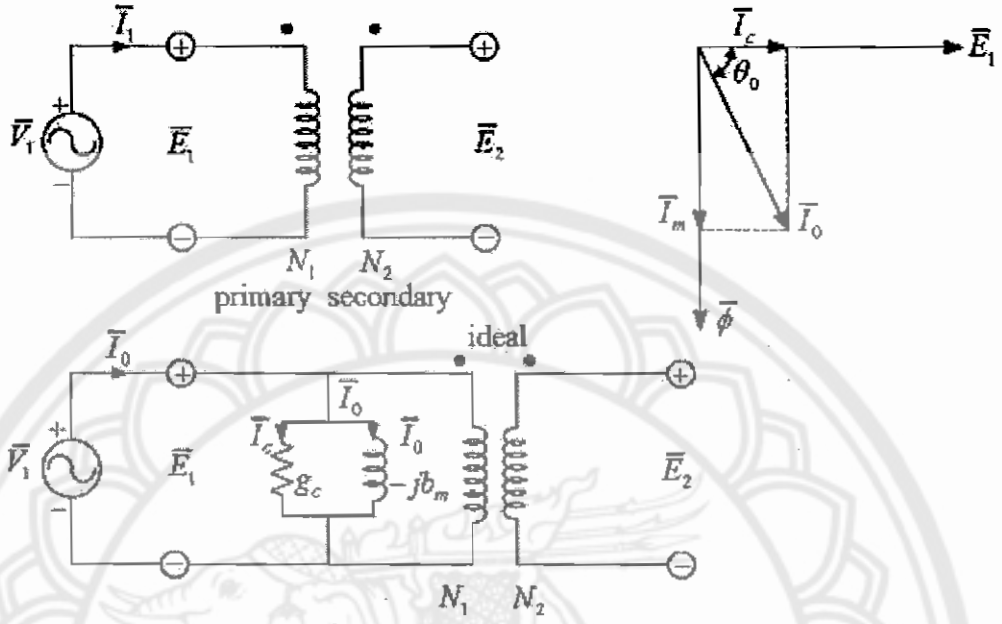
เมื่อความนำ

$$g_c = \frac{I_c}{E_1} \tag{2.22}$$

และค่าซัสเซฟแตนซ์

$$b_m = \frac{I_m}{E_1} \tag{2.23}$$

สารแม่เหล็กพวกเฟอร์โรแมกนีติกนิยมนำมาใช้ทำแกนเหล็กของหม้อแปลง โดยมีคุณสมบัติแบบไม่เชิงเส้นทำให้เกิดความสูญเสียฮีสเตอร์รีซีสลูปตามมา



รูปที่ 2.7 หม้อแปลงขณะไม่จ่ายโหลด

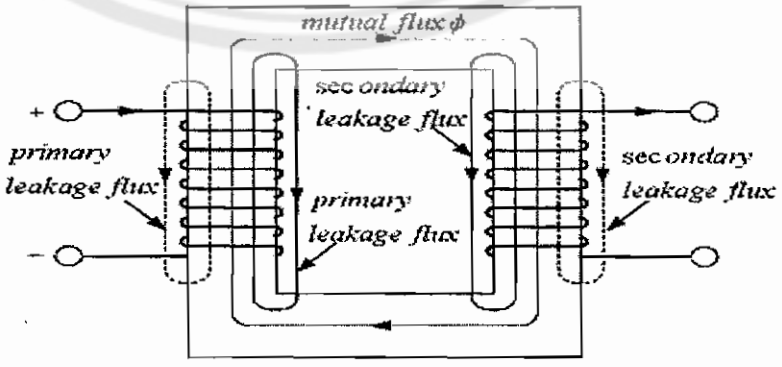
(ก) แสดงกระแสของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

(ค) วงจรสมมูลหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

2.4 อิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงที่มีการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กและวงจรสมมูล

หม้อแปลงที่ใช้งานจริงจะมีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ (ϕ_{l1}) และทางด้านทุติยภูมิ (ϕ_{l2}) แสดงดังรูปที่ 2.8 และเมื่อเขียนเป็นวงจรสมมูลจะเขียนได้ดังรูปที่ 2.9 ส่วนวงจรสมมูลแบบประมาณจะแสดงรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.8 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กรั่วทางด้านปฐมภูมิ (ϕ_{l1}) และทางด้านทุติยภูมิ (ϕ_{l2})

จากรูปที่ 2.9 กระแสทางด้านปฐมภูมิเมื่อเขียนอยู่ในรูปเฟสเซอร์ จะได้

$$\overline{I_1} = \overline{I_2'} + \overline{I_0} \tag{2.24}$$

$$= \left(\frac{N_2}{N_1}\right)\overline{I_2} + \overline{I_0} \tag{2.25}$$

$$= \frac{\overline{I_2}}{a} + \overline{I_0} \tag{2.26}$$

และแรงดันที่จ่ายทางด้านปฐมภูมิเมื่อเขียนอยู่ในรูปเฟสเซอร์

$$\overline{V_1} = \overline{E_1} + \overline{I_1}\left(R_1 + jX_{l1}\right) \tag{2.27}$$

$$= \overline{E_1} + \overline{I_1}Z_{l1} \tag{2.28}$$

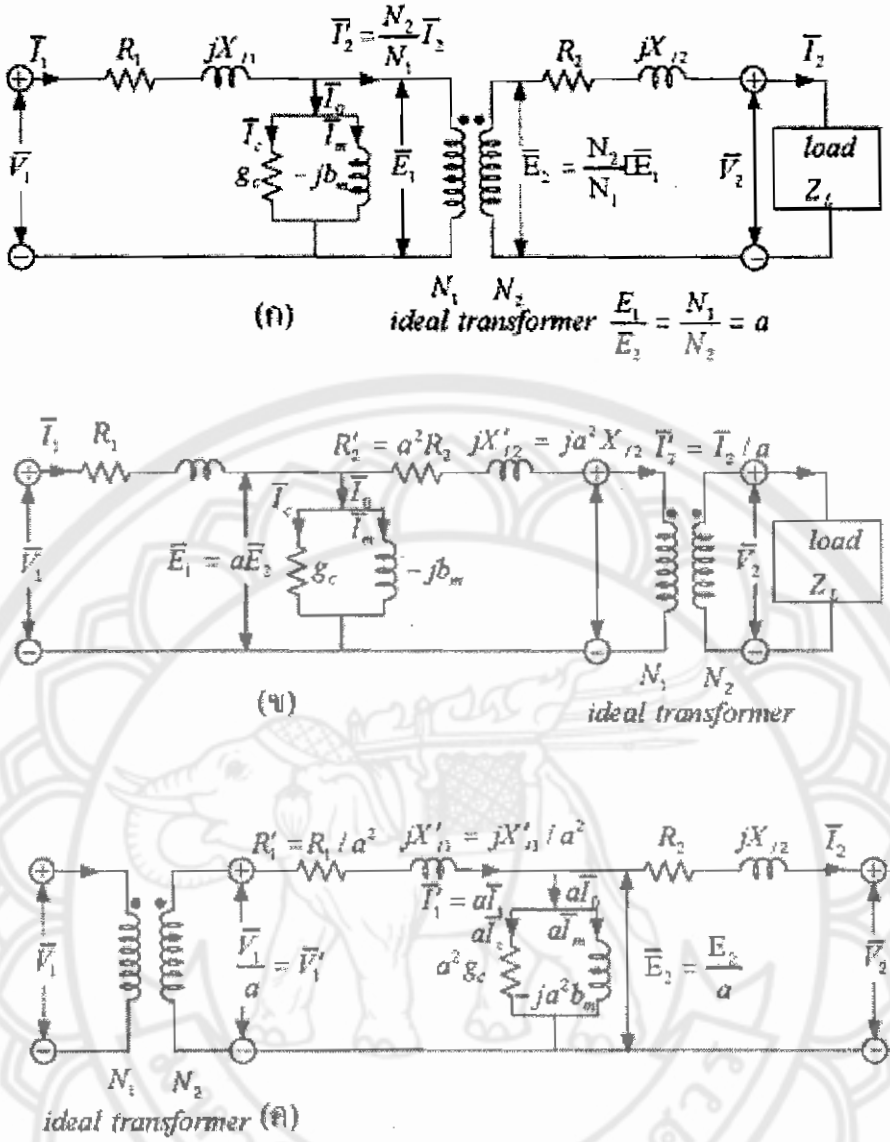
ส่วนแรงดันเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิเมื่อเขียนอยู่ในรูปเฟสเซอร์คือ

$$\overline{E_2} = \overline{V_2} + \overline{I_2}\left(R_2 + jX_{l2}\right) \tag{2.29}$$

$$= \overline{V_2} + \overline{I_2}Z_{l2} \tag{2.30}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $\overline{E_1} = \overline{E_2}$ เกิดจากฟลักซ์ที่คล้องระหว่างขดลวด (Mutual Flux) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ในรูปอัตราส่วนคือ

$$\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_2}} = \frac{N_1}{N_2} = a \tag{2.31}$$



(ก) (ข) (ค)

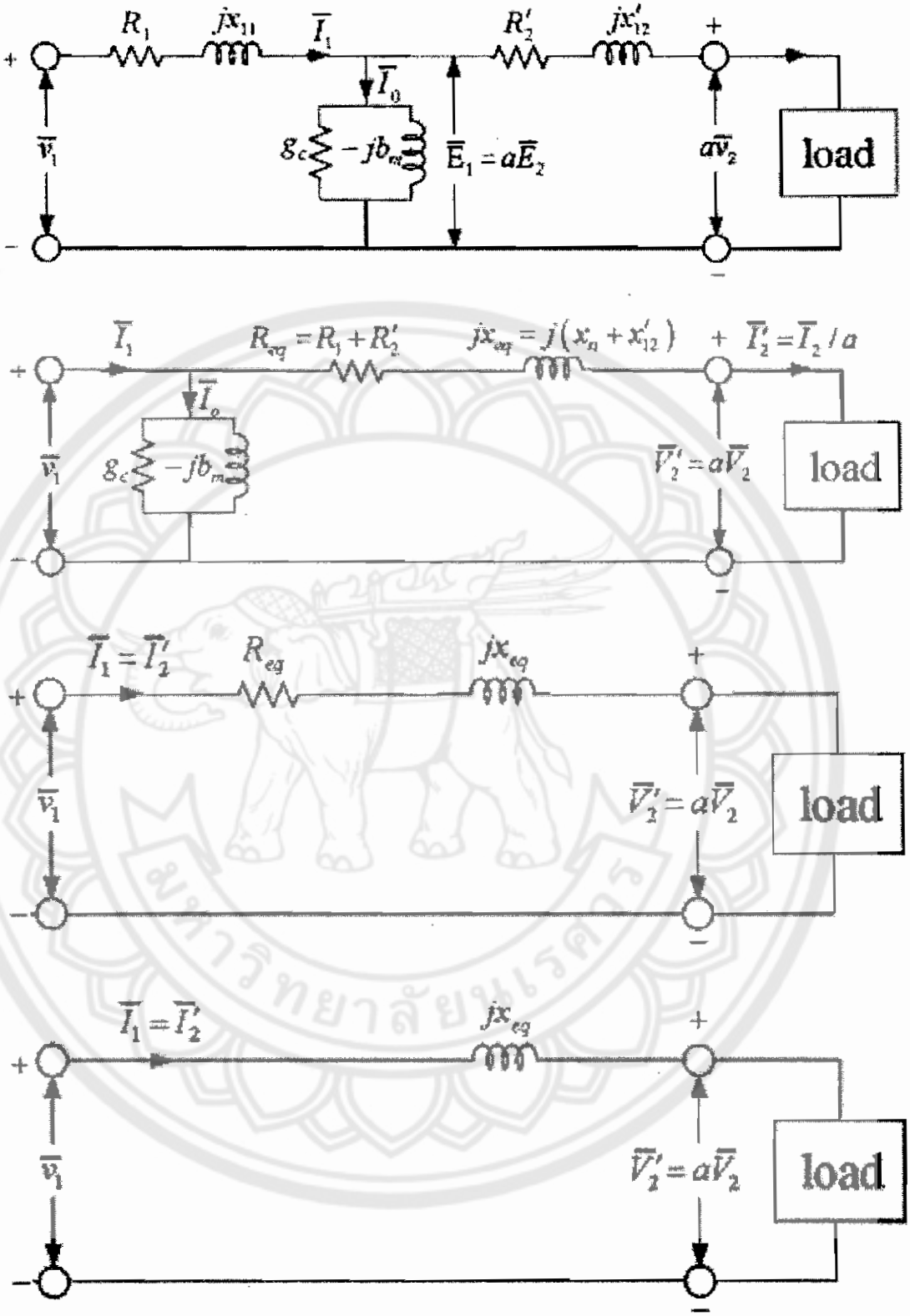
รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของหม้อแปลง

(ก) แสดงกระแสกระตุ้น ความต้านทานขดลวด และเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล

(ข) เมื่อย้ายไปทางด้านปฐมภูมิ

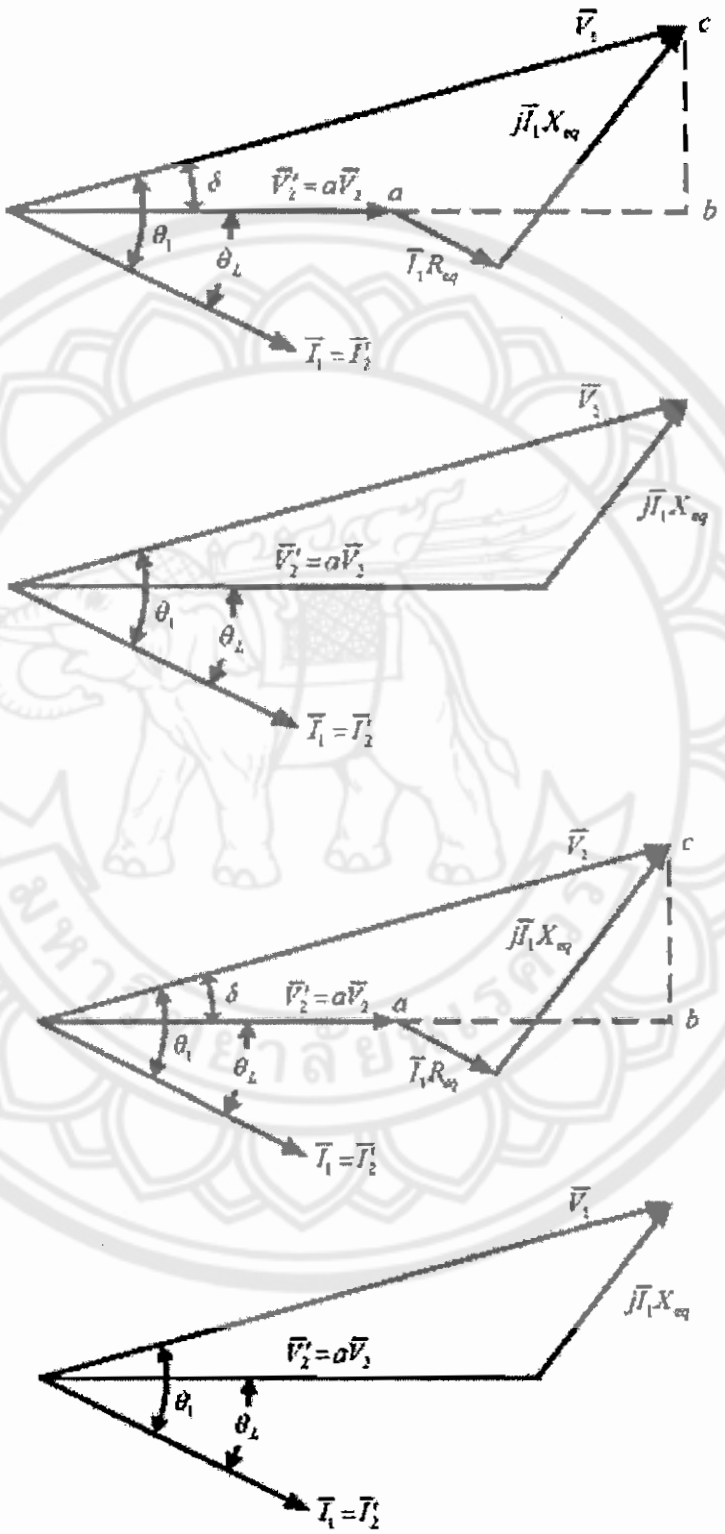
(ค) เมื่อย้ายไปทางด้านทุติยภูมิ

เมื่อเขียนวงจรสมมูลใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จะเขียนได้ดังรูปที่ 2.10โดยเมื่อ R_{eq} มีค่าน้อยกว่า X_{eq} มากๆ และถ้าไม่พิจารณา core loss current (I_c) และ magnetizing current component (I_m) ก็จะเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลที่เขียนใหม่

เฟสเซอร์ของวงจรสมมูลของหม้อแปลงในรูปที่ 2.10 แสดงในรูปที่ 2.11 จากรูป (ก) ถึงรูป (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 แสดงเฟสเซอร์ของวงจรสมมูลรูปที่ 2.10

2.5 ค่าต่อหน่วย (Per-Unit,pu)

ค่า Per-Unit มีความสำคัญในการคำนวณเพื่อดูแลลักษณะหรือเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลง หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีการหมุน ในการวิเคราะห์หรือแก้ปัญหาต่างๆ ร่วมกันในระบบไฟฟ้า

ค่าปริมาณต่อหน่วย (Per-Unit) หาได้จาก

$$Quantity\ in\ pu = \frac{actual\ quantity}{base-value\ quantity} \tag{2.32}$$

ค่าฐานของกำลังไฟฟ้าจริง $(VA)_{base}$ และแรงดัน $(VA)_{base}$ โดยส่วนมากจะถูกเลือกพิจารณาก่อน ซึ่งค่าฐานของกระแสในระบบ 1 เฟส คำนวณได้จาก

$$I_{base} = \frac{(VA)_{base}}{V_{base}} \tag{2.33}$$

ส่วนค่าฐานของปริมาณต่างๆในระบบไฟฟ้า 1 เฟส หาได้ดังนี้

$$P_{base} = Q_{base} = |S|_{base} = (VA)_{base} \tag{2.34}$$

$$R_{base} = X_{base} = |Z|_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} \tag{2.35}$$

$$G_{base} = B_{base} = |Y|_{base} = \frac{I_{base}}{V_{base}} \tag{2.36}$$

ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยโดยทั่วไปหาได้จาก

$$|Z|_{pu} = \frac{\text{actual impedance in ohms}}{\text{base iinpedance in ohms}} = |Z|_{ahm}\frac{(VA)_{base}}{(V_{base})^2} \tag{2.37}$$

การเปลี่ยนค่า Per-Unit อาจจะมีการเปลี่ยนฐานจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่งดังนี้

$$(P,Q,VA)_{pu(base2)} = (P,Q,VA)_{pu(base)}\frac{(VA)_{base1}}{(VA)_{base2}} \tag{2.38}$$

$$\left(R,X,|Z|\right)_{pu(base2)} = \left(R,X,|Z|\right)_{pu(base1)} \frac{(VA)_{base2}}{(VA)_{base1}} \left(\frac{V_{base1}}{V_{base2}}\right)^2 \qquad (2.39)$$

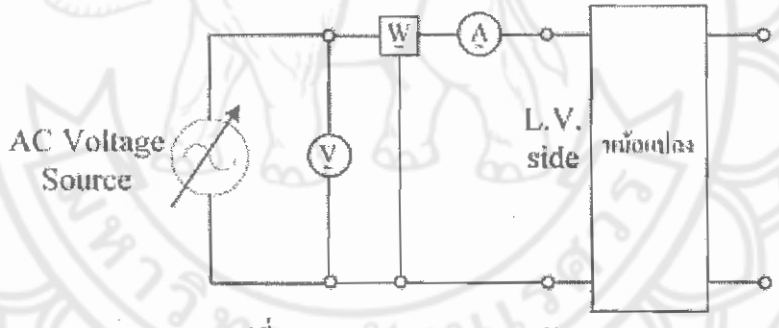
$$\left(G,B,|Y|\right)_{pu(base2)} = \left(G,B|Y|\right)_{pu(base1)} \frac{(VA)_{base1}}{(VA)_{base2}} \left(\frac{V_{base2}}{V_{base1}}\right)^2 \qquad (2.40)$$

2.6 การทดสอบหาขั้ววงจรสมมูลของหม้อแปลง

การทดสอบหาวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จะสามารถหาได้โดยการทดสอบขณะเปิดวงจรหรือไม่มีโหลด และการทดสอบขณะลัดวงจร โดยนำข้อมูลจากการทดสอบมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรสมมูล

2.6.1 การทดสอบขณะเปิดวงจร

การทดสอบแบบเปิดวงจรหรือการทดสอบแบบไม่มีโหลด โดยปกติจะนิยมเปิดแรงดันทางด้านแรงดันสูงและจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้าทางด้านแรงดันต่ำดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเครื่องมือวัดจะอยู่ทางด้านแรงดันต่ำ



รูปที่ 2.12 การทดสอบขณะเปิดวงจร

ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าจนถึงค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงดันต่ำ ซึ่งค่ากระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า จะเป็นค่ากระแสไฟฟ้ากระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีค่าประมาณ 3-5% ของพิกัดกระแส ทำการบันทึกข้อมูลที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงดันต่ำซึ่งประกอบด้วย V_{oc} , I_{oc} และ W_{ac} นำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณหาค่า R_c และ jX_m ได้ดังนี้

$$\cos\theta_{oc} = \frac{W_{oc}}{V_{oc} \times I_{oc}} \qquad (2.41)$$

$$\theta_{oc} = \cos^{-1}\left(\frac{W_{oc}}{V_{oc} \times I_{oc}}\right) \quad (2.42)$$

$$I_{c,L} = I_{oc}\cos\theta_{oc} \quad (2.43)$$

$$I_{m,L} = I_{oc}\sin\theta_{oc} \quad (2.44)$$

$$R_{c,L} = \frac{V_{oc}}{I_{c,L}} \quad (2.45)$$

$$X_{m,L} = \frac{V_{oc}}{I_{m,L}} \quad (2.46)$$

กำหนดให้อัตราส่วนหม้อแปลง (a) เท่ากับ $\frac{V_H}{V_L}$

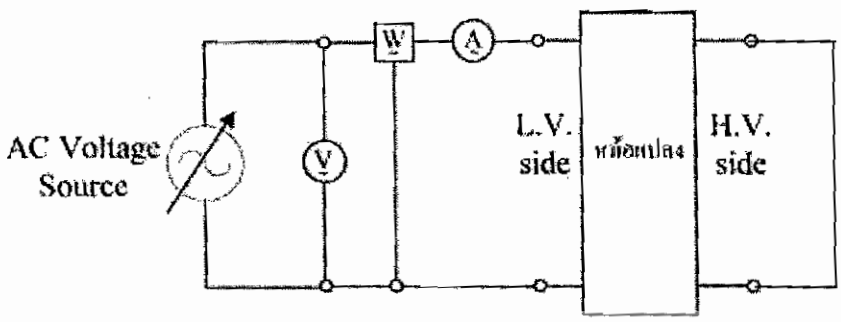
และเมื่อย้ายค่ามาทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะได้

$$R_{c,H} = a^2 \times R_{c,L} \quad (2.47)$$

$$X_{m,H} = a^2 \times X_{m,L} \quad (2.48)$$

2.6.2 การทดสอบขณะลัดวงจร

การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า นิยมลัดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยให้แหล่งจ่ายแรงดันต่ำ โดยให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและเครื่องมือวัดอยู่ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง วิธีทดสอบโดยการลัดวงจรขดลวดทางด้านแรงดันต่ำแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ เข้าที่ขดลวดด้านแรงดันสูง โดยต่อเครื่องมือวัดประกอบด้วยแอมมิเตอร์ , วัตต์ , โวลต์มิเตอร์ , ดังแสดงในรูปที่2.13 แล้วเริ่มทำการทดสอบโดยค่อยๆ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า **จนกระทั่งมีค่าเท่ากับพิกัดกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า และบันทึกข้อมูลของ I_{sc} , V_{sc} , W_{sc}**



รูปที่ 2.13 การทดสอบขณะลัดวงจร

ในการทดสอบโดยการลัดวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงจะใช้แรงดันประมาณ 2-12% ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ทดสอบ ดังนั้นการทดสอบลัดวงจร จะทำให้สามารถหาค่าอิมพิแดนซ์พารามิเตอร์ในวงจรสมมูลได้

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนำมาค่าอิมพิแดนซ์พารามิเตอร์ได้โดยการคำนวณดังนี้

$$\cos\theta_{sc} = \frac{W_{sc}}{V_{sc} \times I_{sc}} \tag{2.49}$$

$$\theta_{sc} = \cos^{-1}\left(\frac{W_{sc}}{V_{sc} \times I_{sc}}\right) \tag{2.50}$$

$$Z_{sc} = \frac{|V_{sc}|}{|I_{sc}|}\angle\theta \tag{2.51}$$

$$R_{sc,H} = |Z_{sc}|\cos\theta_{sc} \tag{2.52}$$

$$X_{sc,H} = |Z_{sc}|\sin\theta_{sc} \tag{2.53}$$

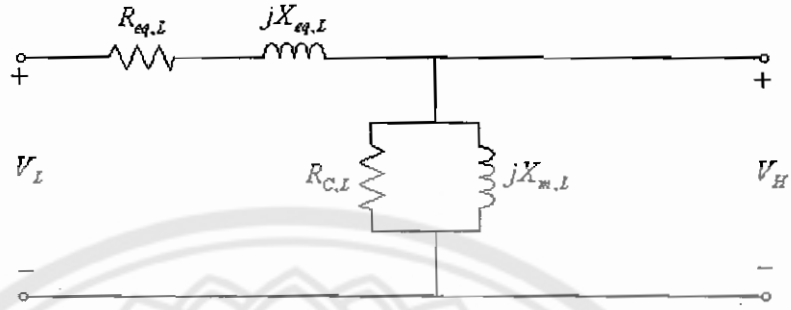
กำหนดให้อัตราส่วนหม้อแปลง (a) เท่ากับ $\frac{V_H}{V_L}$

และเมื่อย้ายค่ามาทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำจะได้

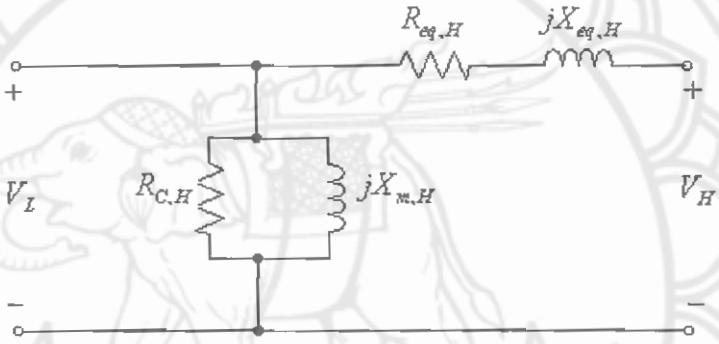
$$R_{sc,L} = \frac{1}{a^2}R_{sc,H} \tag{2.54}$$

$$X_{sc,L} = \frac{1}{a^2}X_{sc,H} \tag{2.55}$$

ดังนั้นนจึงสามารถสรุปวงจรสมมูลของหม้อแปลงที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในรูป 2.14 และรูปที่ 2.15 ซึ่งย้ายค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาอยู่ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงและแรงดันไฟฟ้าต่ำ



รูปที่ 2.14 เป็นวงจรสมมูลที่ย้ายพารามิเตอร์ต่างๆ มาไว้ทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 2.15 เป็นวงจรสมมูลที่ย้ายพารามิเตอร์ต่างๆ มาไว้ทางด้านทุติยภูมิ

2.7 การสูญเสียในหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีส่วนเคลื่อนไหวจึงไม่มีแรงเสียดทาน ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะเกิดจาก

1. การสูญเสียในแกนเหล็ก แบ่งการสูญเสียเป็น 2 แบบคือ สูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์รีซีสและกระแสไหลวน การสูญเสียนี้ในทางปฏิบัติถือว่าคงตัว(เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงในหม้อแปลงที่ไร้ภาระเต็มพิกัดเพียง 1-3 % เท่านั้น) การสูญเสียนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการใช้แกนเหล็กบางและมีซิลิกอนสูงเราหาการสูญเสียในแกนเหล็กได้โดยการทดสอบแบบวงจรเปิด
2. การสูญเสียในขดลวด การสูญเสียนี้ขึ้นอยู่กับความต้านทานของขดลวดของหม้อแปลงโดยมีค่า = $I^2_1R_1 + I^2_2R_2 = I^2_1R_{01} = I^2_2R_{02}$ การสูญเสียนี้จะเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้ายกกำลังสอง หรือ kVA^2 สามารถหาได้โดยการทดสอบแบบลัดวงจร

2.8 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

สมการที่พิจารณาประสิทธิภาพกำหนดดังนี้ คือ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \tag{2.56}$$

เนื่องจากการสูญเสียของหม้อแปลงประกอบด้วยการสูญเสียที่แกน (core loss : P_c) และการสูญเสียเนื่องจากทองแดง (copper loss : P_{cu})

ดังนั้น สมการเขียนใหม่ได้ดังนี้คือ $\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_{cu}}$ และการสูญเสียเนื่องจากทองแดงคำนวณได้ตามสมการ

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \tag{2.57}$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_{eq1} = I_2^2 R_{eq2} \tag{2.58}$$

การสูญเสียเนื่องจากทองแดงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเส้นแรงสูงสุด ในแกนที่เป็นผลจากแรงดัน ซึ่งจ่ายให้กับหม้อแปลงดังนั้นการต่อหม้อแปลงเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันคงที่นั้นการสูญเสียที่แกน ทั้งหมดจะคงที่ด้วยและสามารถหาค่าการสูญเสียดังกล่าวได้จากการทดสอบหม้อแปลงขณะไร้โหลด ซึ่งจะทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลและสามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos\theta_2}{V_2 I_2 \cos\theta_2 + P_c + I_2^2 R_{eq2}} \tag{2.59}$$

$$P_{out} = V_2 I_2 \cos\theta_2 \tag{2.60}$$

ปกติแรงดันโหลดจะคงที่ประสิทธิภาพจึงขึ้นอยู่กับกระแสโหลด I_2 และตัวประกอบกำลังที่โหลด $\cos\theta_2$