

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 5
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

หน่วยที่ 12

การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า
- 12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – วาย
- 12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา
- 12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย
- 12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา
- 12.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
- 12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิด
- 12.8 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
- 12.9 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
2. ปฏิบัติการทดลองโดยการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

1. บอกรูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าได้
2. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – วายได้
3. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตาได้
4. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วายได้
5. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตาได้
6. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟสได้
7. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิดได้
8. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสได้
9. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสได้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน้า 6
รหัส 3104-2003		หน่วยที่ 12

12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

ในการต่อโหลดเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส มีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบวายและแบบเดลตา ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้า ก็ถือว่าเป็นโหลดของไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งมีการต่อแบบวายและเดลตาเช่นเดียวกัน โดยหม้อแปลงไฟฟ้ามี ขดลวดทางด้านปฐมภูมิและขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งการต่อขดลวดของแต่ละด้านสามารถต่อได้ทั้งแบบ วายและแบบเดลตา ดังนั้นแบบการต่อจึงขึ้นอยู่กับจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวหรือ 3 ตัว เพื่อนำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส (Stephen J. chapman, 2012: 126) ซึ่งมี 2 แบบ คือ

1. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
 2. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
- ซึ่งทั้ง 2 แบบยังมีรูปแบบการต่อเมื่อใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส ดังตารางที่ 12.1

ตารางที่ 12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวและ 3 ตัว เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัว
1. แบบวาย – วาย (Y – Y)	1. แบบเดลตาเปิด (Open Δ)
2. แบบเดลตา – เดลตา (Δ – Δ)	2. แบบวายเปิด–เดลตาเปิด (Open Y–Open Δ)
3. แบบเดลตา – วาย (Δ – Y)	3. แบบสก๊อตตี (Scott –T)
4. แบบวาย – เดลตา (Y– Δ)	หมายเหตุ ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะแบบเดลตาเปิดเท่านั้น

โหลดทางไฟฟ้าเมื่อนำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส จึงทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่สายและแรงดันไฟฟ้าที่เฟส ไปตกคร่อมที่โหลดดังกล่าว และยังทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลไปยังโหลดอีกด้วย ซึ่งมีทั้งกระแสไฟฟ้าที่สาย และกระแสไฟฟ้าที่เฟส ดังนั้นเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ของการต่อ หม้อแปลงไฟฟ้าไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ที่จะได้กล่าวในหน่วยนี้ ซึ่งได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

กำหนดให้

$$V_{L1} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ}$$

$$V_{ph1} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ}$$

$$I_{L1} = \text{กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ}$$

$$I_{ph1} = \text{กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ}$$

$$V_{L2} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิ}$$

$$V_{ph2} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ}$$

$$I_{L2} = \text{กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิ}$$

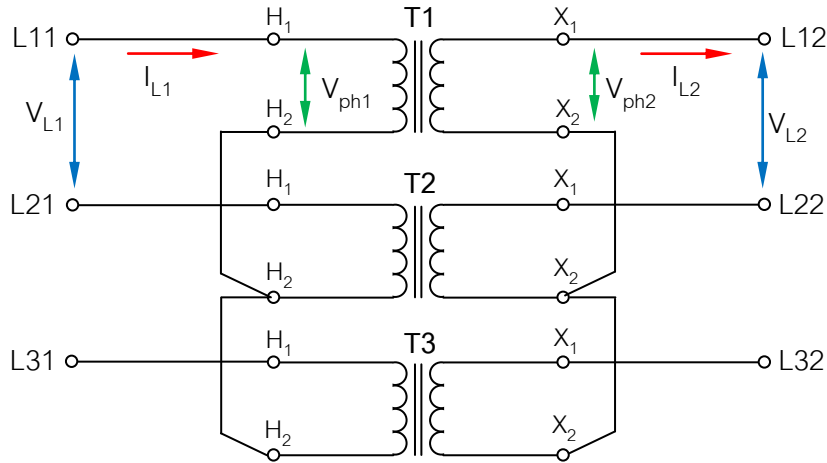
$$I_{ph2} = \text{กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ}$$

$$a = \text{อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 7
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

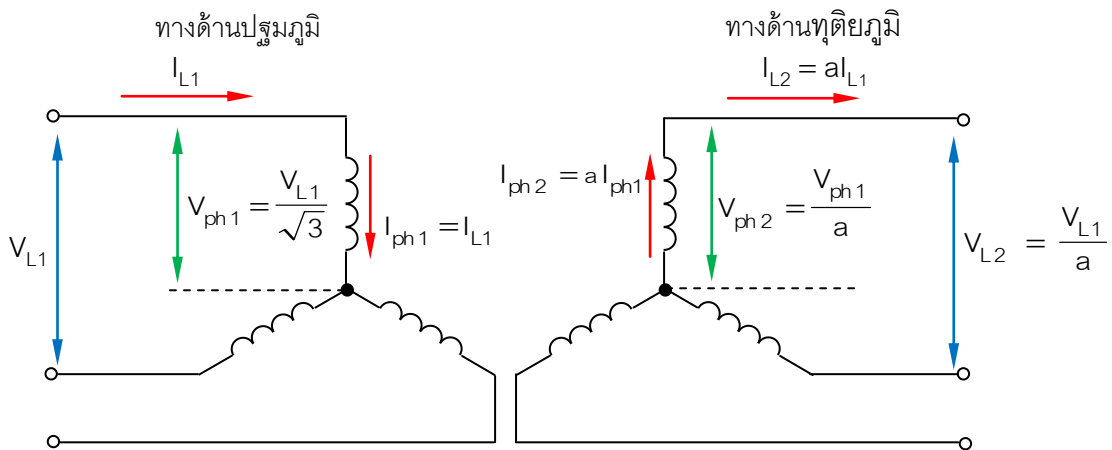
12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – วาย

เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวายและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวายเช่นกัน ดังรูปที่ 12.1 โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกัน และทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกันเช่นเดียวกัน



รูปที่ 12.1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – วาย

เมื่อ L11, L21 และ L31 เป็นไฟฟ้า 3 เฟส 3 สายทางด้านปฐมภูมิ โดย L12, L22 และ L32 เป็นไฟฟ้า 3 เฟส 3 สายทางด้านทุติยภูมิ จากรูปที่ 12.1 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 12.2 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้

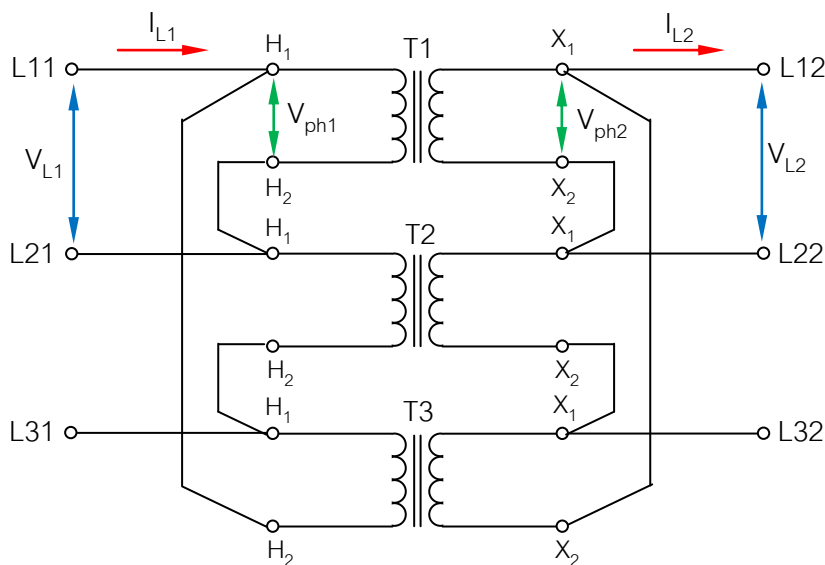


รูปที่ 12.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย – วาย

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 8
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

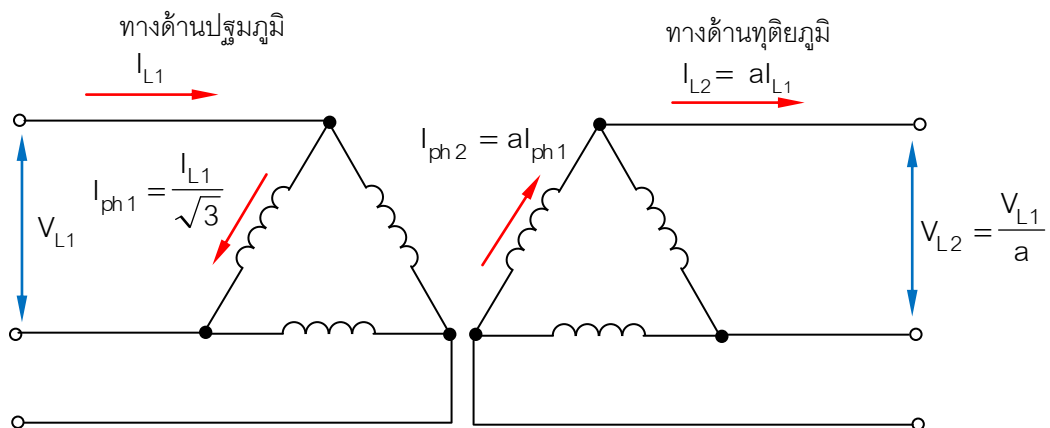
12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา

เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตา เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 12.3 โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H_2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T2 ปลาย H_2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T3 และปลาย H_2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T1 ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X_2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T2 ปลาย X_2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T3 และปลาย X_2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T1



รูปที่ 12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา

จากรูปที่ 12.3 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 12.4 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้

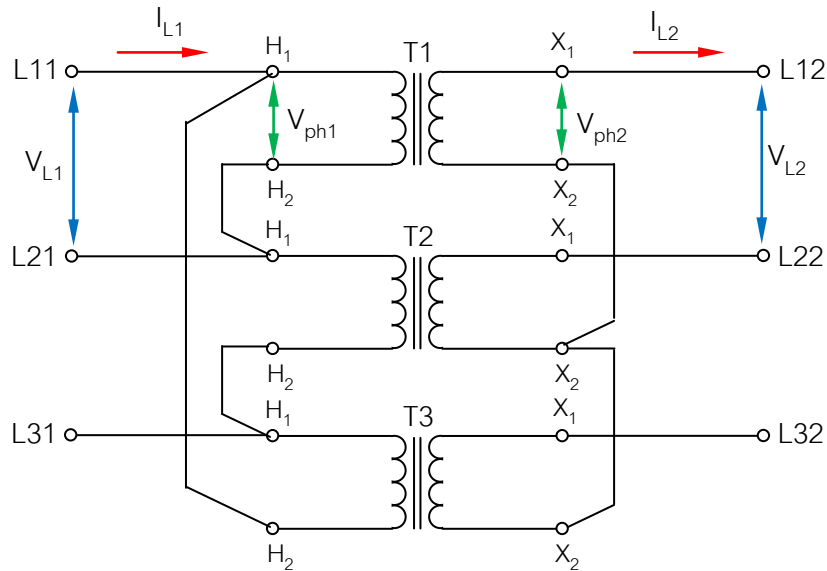


รูปที่ 12.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา – เดลตา

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 9
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

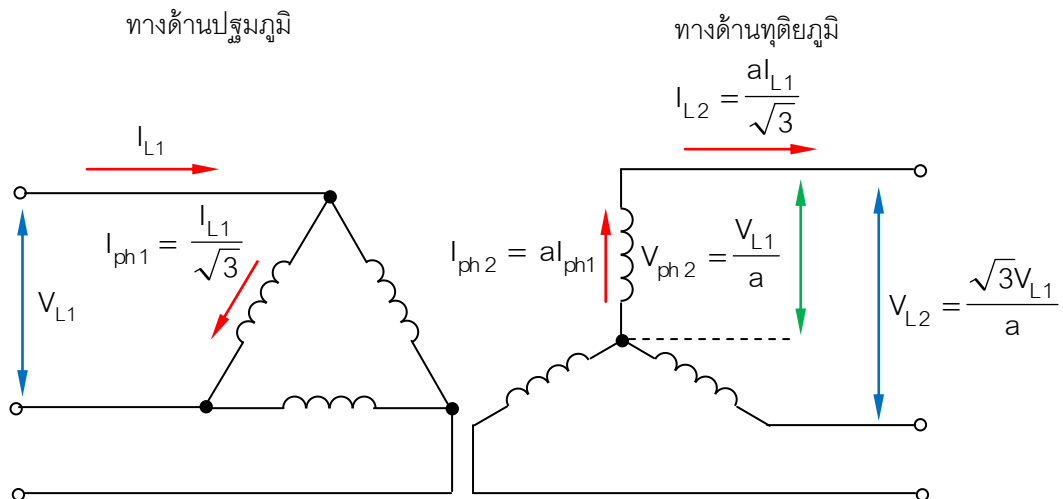
12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย

เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวาย ดังรูปที่ 12.5 ซึ่งการต่อทั้งแบบเดลตาและแบบวายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 12.2 และในหัวข้อ 12.3



รูปที่ 12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย

จากรูปที่ 12.5 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 12.6 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้

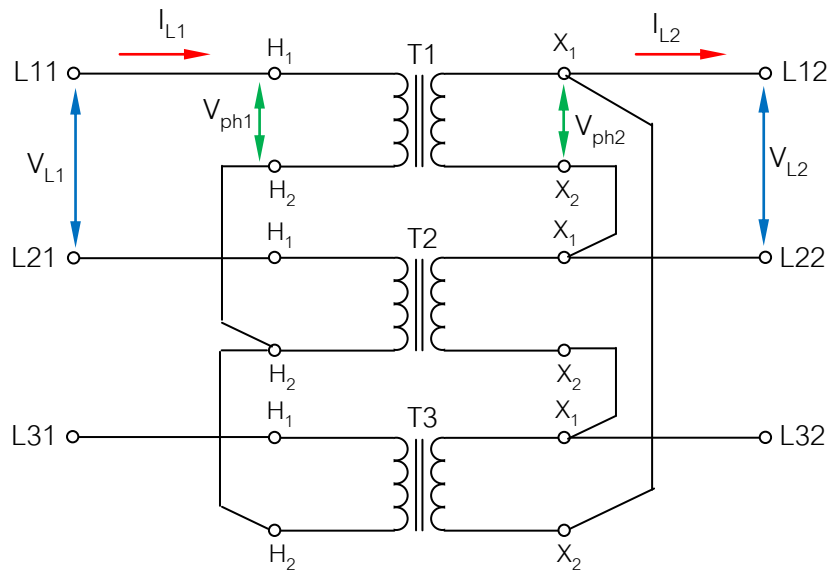


รูปที่ 12.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา – วาย

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 10
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

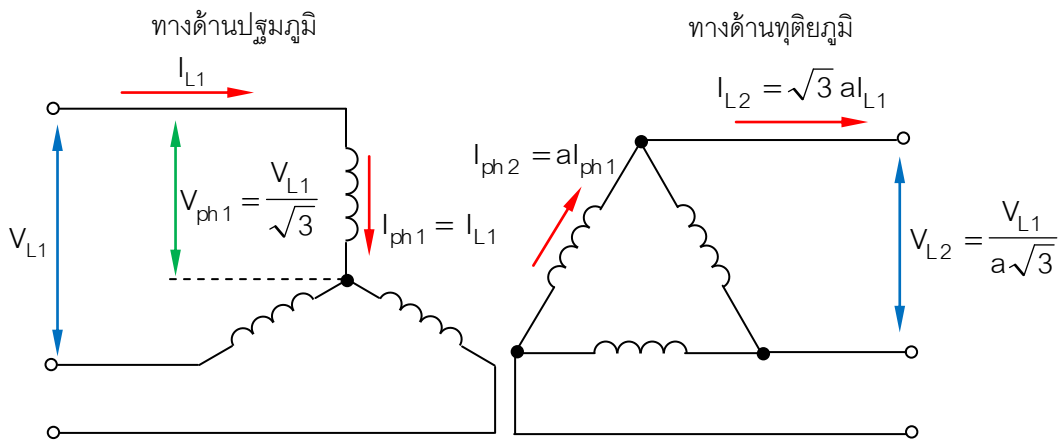
12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา

เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวายและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตา ดังรูปที่ 12.7 ซึ่งการต่อทั้งแบบเดลตาและแบบวายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 12.2 และในหัวข้อ 12.3



รูปที่ 12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา

จากรูปที่ 12.7 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 12.8 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้



รูปที่ 12.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย – เดลตา

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 11
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

12.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

ตัวอย่างที่ 12.1 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 1 เฟส จำนวน 3 ตัว แต่ละตัวมีอัตราส่วนเท่ากับ 100 นำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อมีโหลดมีแรงดันที่สายกับสายทางด้านปฐมภูมิ 22 kV และกระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ 6 A จงคำนวณหา แรงดันไฟฟ้าที่เฟส แรงดันไฟฟ้าที่สาย กระแสไฟฟ้าที่เฟส และกระแสไฟฟ้าที่สาย ทางด้านทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว ต่อกันลักษณะดังนี้

- แบบววาย – ววาย
- แบบเดลตา – เดลตา
- แบบเดลตา – ววาย
- แบบววาย – เดลตา
- kVA ที่หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของการต่อทั้ง 4 แบบ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ทางด้านปฐมภูมิ ดังนี้

$$V_{L1} = 22 \text{ kV} = 22000 \text{ V}$$

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

ก. แบบววาย – ววาย

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{22000}{\sqrt{3}} = 12701.7 \text{ V}$$

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{12701.7}{100} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

$$V_{L2} = \sqrt{3} V_{ph2} = \sqrt{3} \times 127$$

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

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 6$$

$$I_{ph2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

$$I_{L2} = I_{ph2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

ข. แบบเดลตา – เดลตา

$$V_{ph1} = V_{L1} = 22000 \text{ V}$$

$$I_{ph1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3.464 \text{ A}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 12
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{22000}{100} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$V_{L2} = V_{ph2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{ph2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} = \sqrt{3} \times 346.4$$

$$I_{L2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

ค. แบบเดลตา – วาย

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{22000}{100}$$

$$V_{ph2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$V_{L2} = \sqrt{3} V_{ph2} = \sqrt{3} \times 220$$

$$V_{L2} = 381.04 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 381.04 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{ph2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

$$I_{L2} = I_{ph2} = 346.4$$

$$I_{L2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

ง. แบบวาย – เดลตา

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{12701.7}{100} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

$$V_{L2} = V_{ph2}$$

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

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 13
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 6$$

$$I_{ph2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} = \sqrt{3} \times 600$$

$$I_{L2} = 1039.2 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 1039.2 A **ตอบ**

จ. kVA ที่หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของการต่อทั้ง 4 แบบ

1. แบบววาย – ววาย

$$\begin{aligned} \text{kVA ที่จ่ายให้กับโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = \sqrt{3} \times 220 \times 600 = 228624 \text{ VA} \\ &= 228.624 \text{ kVA} \end{aligned} \quad \text{ตอบ}$$

2. แบบเดลตา – เดลตา

$$\begin{aligned} \text{kVA ที่จ่ายให้กับโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = \sqrt{3} \times 220 \times 600 = 228624 \text{ VA} \\ &= 228.624 \text{ kVA} \end{aligned} \quad \text{ตอบ}$$

3. แบบเดลตา – ววาย

$$\begin{aligned} \text{kVA ที่จ่ายให้กับโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = \sqrt{3} \times 381.04 \times 346.4 = 228610 \text{ VA} \\ &= 228.61 \text{ kVA} \end{aligned} \quad \text{ตอบ}$$

4. แบบววาย – เดลตา

$$\begin{aligned} \text{kVA ที่จ่ายให้กับโหลด} &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = \sqrt{3} \times 127 \times 1,039.2 = 228586 \text{ VA} \\ &\cong 228.61 \text{ kVA} \end{aligned} \quad \text{ตอบ}$$

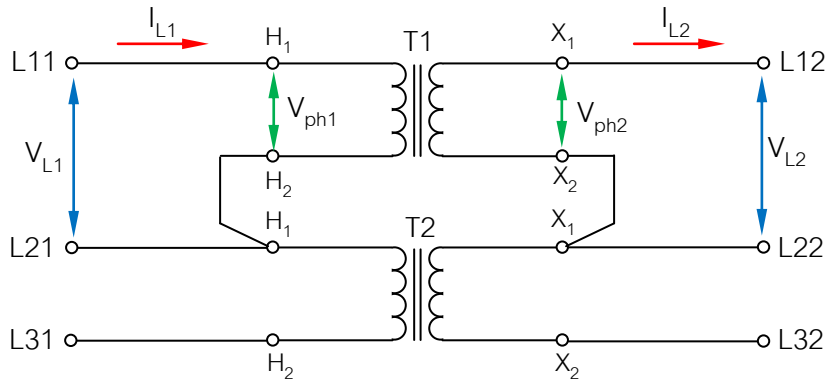
12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิด

12.7.1 **วัตถุประสงค์ของการต่อแบบเดลตาเปิด** แบบนี้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส แบบเดลตาเปิด วัตถุประสงค์ของการต่อแบบเดลตาเปิด ก็คือ

- เมื่อการต่อหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว ถ้าตัวใดตัวหนึ่งการเกิดชำรุดหรือต้องการซ่อมบำรุงสามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหลืออีก 2 ตัว มาต่อแบบเดลตาเปิดได้
- ถ้าความต้องการของโหลดไม่เกิน 55-60 เปอร์เซ็นต์ ของโหลดทั้งหมดก็สามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหลืออีก 2 ตัว มาต่อแบบเดลตาเปิดได้เช่นกัน

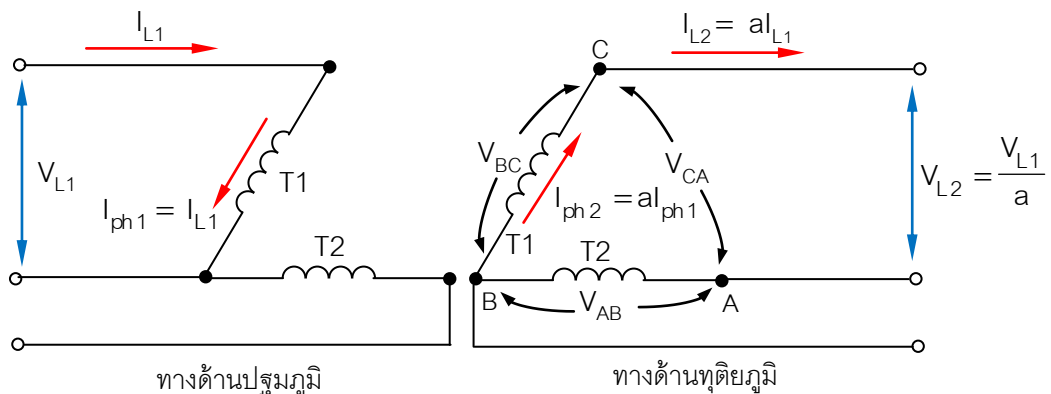
การต่อหม้อแปลงแบบเดลตาเปิด จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตาเปิด ดังรูปที่ 12.9

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 14
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12



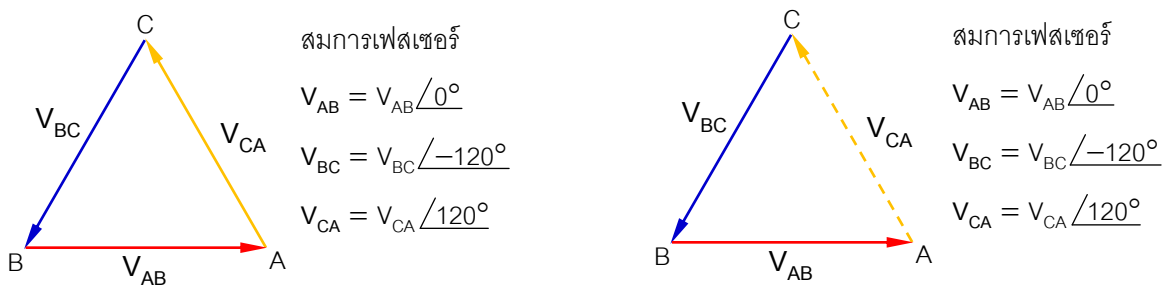
รูปที่ 12.9 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตาเปิด

จากรูปที่ 12.9 นำมาเขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 12.10 สังเกตเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ด้านคล้ายอักษรตัว V จึงเรียกการต่อแบบเดลตาเปิดอีกอย่างหนึ่งว่า การต่อแบบ V-V (V-V connection) เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้



รูปที่ 12.10 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตาเปิด

12.7.2 การพิสูจน์แรงดันไฟฟ้าของเฟสใดเฟสหนึ่งเมื่อถูกเปิด ในไฟฟ้า 3 เฟสนั้นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีมุมเฟสต่างกัน 120° ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 12.11 (ก) เป็นแผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบเดลตา-เดลตา ส่วนรูปที่ 12.11 (ข) เป็นแผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบเดลตาเปิด



(ก) เฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ต่อแบบเดลตา-เดลตา (ข) เฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ต่อแบบเดลตาเปิด

รูปที่ 12.11 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าของการต่อแบบเดลตา-เดลตาและเดลตาเปิด

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 15
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

จากระบบไฟฟ้า 3 เฟส ผลรวมทางเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\begin{aligned} V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} &= 0 \\ V_{CA} &= -V_{AB} - V_{BC} \\ &= -V_{AB} \angle 0^\circ - V_{BC} \angle -120^\circ \\ &= -V_{AB} (1 + j0) - V_{BC} (-0.5 - j0.866) \end{aligned}$$

แต่ขนาด $V_{CA} = V_{AB} = V_{BC}$

$$\begin{aligned} V_{CA} &= -V_{CA} (1 + j0) - V_{CA} (-0.5 - j0.866) \\ &= V_{CA} \{(-1 - j0) + 0.5 + j0.866\} \\ &= V_{CA} (-0.5 + j0.866) \\ V_{CA} &= V_{CA} \angle 120^\circ \end{aligned}$$

จากการพิสูจน์เห็นว่าขนาดและทิศทางของ V_{CA} (รูปที่ 12.11 (ข) เส้นประ) เป็นไปตามระบบไฟฟ้า 3 เฟส นั่นคือมีขนาดแรงดันแต่เฟสเท่ากันโดยมีมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสต่างกัน 120° ทางไฟฟ้า

12.7.3 พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิด การหาพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิด จะต้องเปรียบเทียบกับพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

กำหนดให้ $I_{L\Delta}$ = กระแสไฟฟ้าที่สายของการต่อแบบเดลตาเปิด

$I_{L\Delta\Delta}$ = กระแสไฟฟ้าที่สายของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

kVA_{oΔ} = พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิด

kVA_{ΔΔ} = พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

โดย $I_{L\Delta} = \frac{I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3}}$ เมื่อเปรียบเทียบกับ การต่อแบบเดลตา-เดลตา

ดังนั้น $kVA_{o\Delta} = \sqrt{3} V_L I_{L\Delta} = \sqrt{3} V_L \times \frac{I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3}}$

$$kVA_{o\Delta} = V_L I_{L\Delta\Delta} \quad \dots (12.1)$$

และ $kVA_{\Delta\Delta} = \sqrt{3} V_L I_{L\Delta\Delta} \quad \dots (12.2)$

นำสมการที่ 12.1 หารสมการที่ 12.2 จะได้

$$\frac{kVA_{o\Delta}}{kVA_{\Delta\Delta}} = \frac{V_L I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3} V_L I_{L\Delta\Delta}}$$

$$\frac{kVA_{o\Delta}}{kVA_{\Delta\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.5773$$

ดังนั้น $kVA_{o\Delta} = 0.5773 \times kVA_{\Delta\Delta} \quad \dots (12.3)$

จากสมการที่ 12.3 เห็นว่าพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิดมีค่า 0.5773 เท่าของพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา หรือ 57.73 เปอร์เซ็นต์ของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 16
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

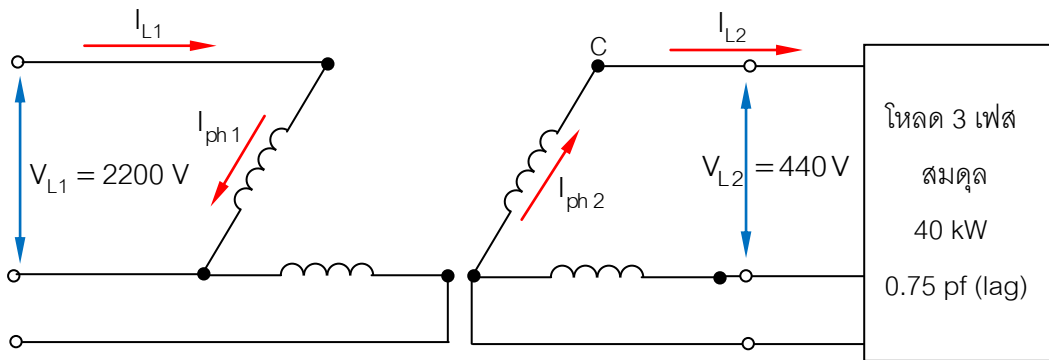
ตัวอย่างที่ 12.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 35 kVA 2 ตัว ขนาดแรงดัน 2200/440 V ต่อแบบเดลตาเปิด ดังรูปที่ 12.2 เป็นโหลดแบบสมมูลมีกำลังไฟฟ้าที่โหลด 40 kW ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.75 ล้าหลัง จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ
- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ $V_{L1} = 2200 \text{ V}$ และ $V_{L2} = 440 \text{ V}$

$$P_T = 40 \text{ kW} \quad \text{pf}_2 = 0.75 \text{ ล้าหลัง}$$

$$a = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{2200}{440} = 5$$



รูปที่ 12.12 วงจรของตัวอย่างที่ 12.2

- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ

$$P_T = \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \cos \theta_2$$

$$I_{L2} = \frac{P_T}{\sqrt{3} V_{L2} \cos \theta_2} = \frac{40 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.75}$$

$$I_{L2} = 70 \text{ A}$$

แต่

$$I_{\text{ph}2} = I_{L2} = 70 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 70 A

ตอบ

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 70 A

ตอบ

- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$$I_{\text{ph}1} = \frac{I_{\text{ph}2}}{a} = \frac{70}{5} = 14 \text{ A}$$

แต่

$$I_{L1} = I_{\text{ph}1} = 14 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 14 A

ตอบ

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 14 A

ตอบ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 17
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

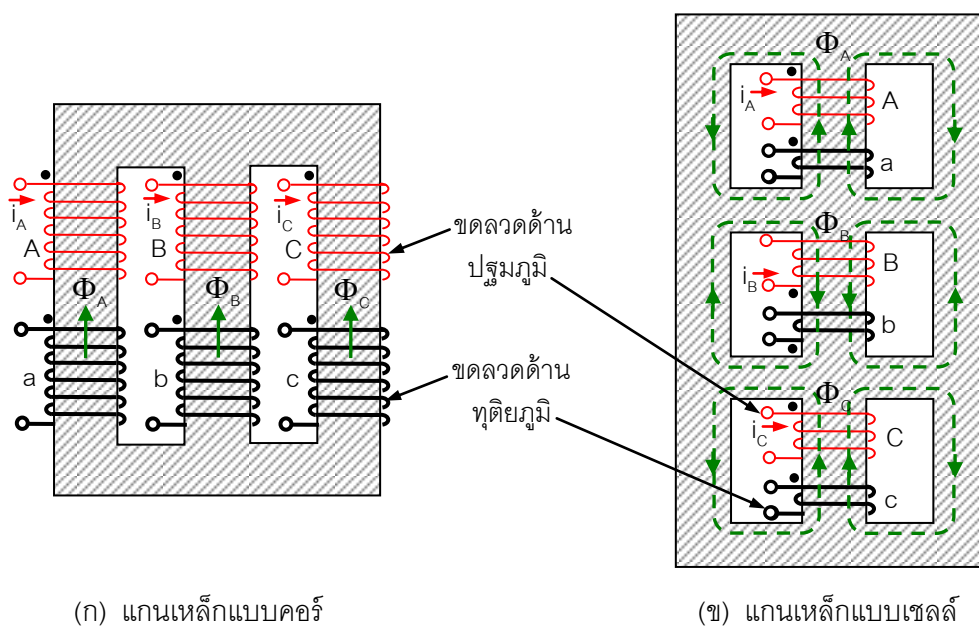
12.8 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟสซึ่งได้แก่ ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย เห็นว่าในระบบนั้น จะมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้าไปตามสายส่ง ซึ่งเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่นี้ก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสสามารถสร้างได้ 2 วิธี คือ

1. การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว มาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อใช้งานกับ ไฟฟ้า 3 เฟส ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 12.1 ถึงหัวข้อ 12. 6 แต่วิธีการทำแบบนี้ทำให้สูญเสียพื้นที่ในการ ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า และยังมีน้ำหนักของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 ตัวรวมกันซึ่งมากกว่าหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เพียงตัวเดียว

2. การสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส บนโครงสร้างแกนเหล็กเดียวกัน

12.8.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส มีโครงสร้างเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส คือ ประกอบด้วยแกนเหล็กกับขดลวด โดยแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสก็เป็นแบบคอร์และแบบเชลล์ โดยโครงสร้างแบบคอร์แสดงดังรูปที่ 12.13 (ก) และแบบเชลล์ดังรูปที่ 12.13 (ข)



รูปที่ 12.13 การพันขดลวด 2 ขด ในแต่ละเฟสของแกนเหล็กแบบคอร์และแบบเชลล์

จากรูปที่ 12.13 (ก) และรูปที่ 12.13 (ข) กำหนดให้ขดลวด A, ขดลวด B และขดลวด C เป็นขดลวด ทางด้านปฐมภูมิ โดยขดลวด a, ขดลวด b และขดลวด c เป็นขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ของเฟส A, เฟส B และเฟส C ตามลำดับ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า i_A , i_B และ i_C ให้กับขดลวด A, ขดลวด B และขดลวด C ก็ทำให้เกิด Φ_A , Φ_B และ Φ_C ขึ้นที่ขาของแกนเหล็กที่ขดลวดพันอยู่โดยขนาดและทิศทางจะเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่น ของกระแสไฟฟ้าสลับในแต่ละเฟส

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 18
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

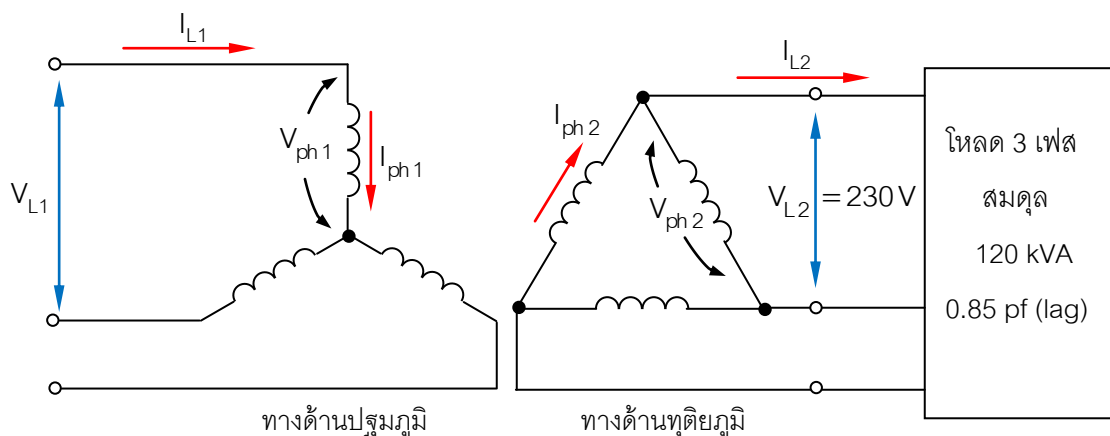
12.8.2 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส มีขดลวดทางด้านปฐมภูมิและขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันอยู่ที่โครงสร้างแกนเหล็กเดียวกัน ซึ่งมีรูปแบบการต่อเช่นเดียวกันกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัวที่กล่าวมาแล้ว มีดังดังนี้

1. แบบวาย – ยาย (Y – Y)
2. แบบเดลตา – เดลตา (Δ – Δ)
3. แบบเดลตา – ยาย (Δ – Y)
4. แบบวาย – เดลตา (Y– Δ)

12.9 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ตัวอย่างที่ 12.3 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ของระบบจำหน่าย ขนาด 150 kVA แรงดัน 4000/230 V มีการต่อขดลวดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิดังรูปที่ 12.4 โหลดเป็นแบบสมมูลมีกำลังไฟฟ้าที่โหลด 120 kVA แรงดัน 230 V ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.85 ล้าหลัง ถ้ากำหนดให้อิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงที่ย้ายไปทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ $(0.012 + j0.016)\Omega/ph$ จงคำนวณหา

- ก. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ
- ข. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ
- ค. แรงดันไฟฟ้าที่สายด้านปฐมภูมิ
- ง. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ถ้ามีการสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมด 911 W



รูปที่ 12.14 วงจรของตัวอย่างที่ 12.3

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 P_T &= \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \cos \theta_2 && \text{โดย } \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = 120 \text{ kVA} \\
 &= 120 \times 10^3 \times 0.85 && \text{(เพราะ } \cos \theta_2 = \text{pf}_2 = 0.85) \\
 &= 102 \times 10^3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 19
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

ก. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ

$$I_{L2} = \frac{P_T}{\sqrt{3} V_{L2} \cos\theta_2} = \frac{102 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 230 \times 0.85}$$

$$I_{L2} = 301.235 \text{ A}$$

แต่

$$I_{ph2} = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{301.235}{1.732} = 173.932 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 301.235 A **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 173.932 A **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$$a = \frac{V_{ph1}}{V_{ph2}} = \frac{\left(\frac{V_{L1}}{\sqrt{3}}\right)}{V_{ph2}} = \frac{\left(\frac{4000}{\sqrt{3}}\right)}{230} = 10$$

โดย

$$I_{ph1} = \frac{I_{ph2}}{a} = \frac{173.923}{10} = 17.392 \text{ A}$$

แต่

$$I_{L1} = I_{ph1} = 17.329 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 17.329 A **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 17.329 A **ตอบ**

ในไฟฟ้า 3 เฟส การหาค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า เพื่อความสะดวกต้องหาค่าต่าง ๆ เป็นต่อเฟสก่อน และในการคำนวณใช้แรงดัน V_{ph2} เป็นแกนอ้างอิง ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

ค. แรงดันไฟฟ้าที่สายด้านปฐมภูมิ โดย $I_{ph2} = I_{ph2} / \theta_2$ และ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.85 = 31.78^\circ$

$$\begin{aligned} V'_{ph1} &= V_{ph2} + I_{ph2} (R_{eq2} + jX_{eq2}) \\ &= 230 / 0^\circ + \{173.923 / -31.78^\circ \times (0.012 + j0.016)\} \\ &= 230 / 0^\circ + (173.923 / -38.96^\circ \times 0.02 / 53.13^\circ) \\ &= 230 / 0^\circ + 3.478 / 21.35^\circ \end{aligned}$$

$$V'_{ph1} = 233.24 / 0.31^\circ \text{ V}$$

ดังนั้น

$$V_{L1} = \sqrt{3} a V_{ph1} = 1.732 \times 10 \times 233.24$$

$$V_{L1} = 4039.71 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 4039.71 V **ตอบ**

ง. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมด

$$P_{co} = 3(I_{ph2})^2 R_{eq2} = 3 \times (173.923)^2 \times 0.012 = 1089 \text{ W}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 20
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_{co}} \times 100$$

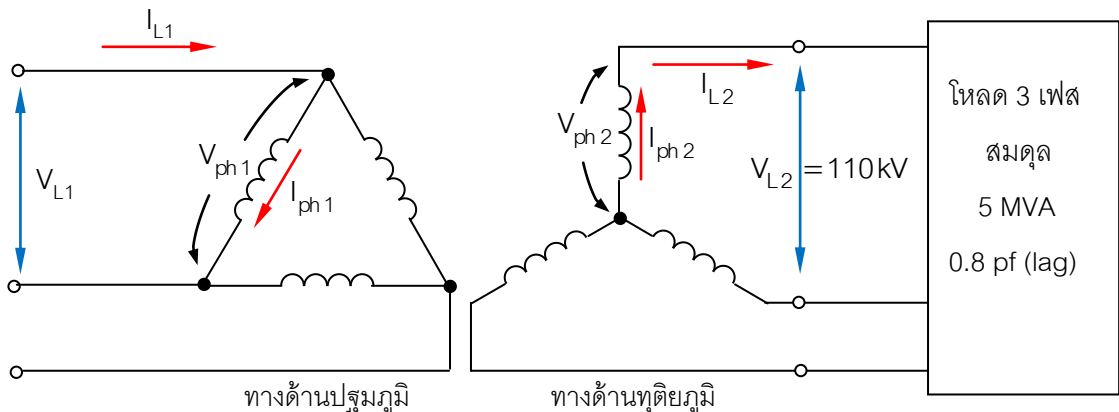
$$= \frac{102 \times 10^3}{102 \times 10^3 + 911 + 1089} \times 100$$

$$= 98.07 \%$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ **98.07 %** **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 12.4 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ของระบบสายส่งขนาด 10 MVA แรงดัน 13.8 kV/110 kV เพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า มีการต่อขดลวดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิดังรูปที่ 12.5 โหลดเป็นแบบสมมูลมีกำลังไฟฟ้าที่โหลด 5 MVA แรงดัน 110 kV ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง และให้ประสิทธิภาพ 97.5 % มีการสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมด 40 kW จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ
- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ
- ความต้านทานสมมูลต่อเฟสที่ย้ายค่ามาทางด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงสูง)



รูปที่ 12.15 วงจรของตัวอย่างที่ 12.4

วิธีทำ

$$P_T = \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \cos \theta_2 \quad \text{โดย } \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} = 5 \text{ MVA}$$

$$= 5 \times 10^6 \times 0.8 \quad (\text{เพราะ } \cos \theta_2 = \text{pf}_2 = 0.8)$$

$$= 4 \times 10^6 \text{ W} = 4 \text{ MW} = 4000 \text{ kW}$$

- กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิ

$$I_{L2} = \frac{P_T}{\sqrt{3} V_{L2} \cos \theta_2} = \frac{4 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 110 \times 10^3 \times 0.8}$$

$$I_{L2} = 26.244 \text{ A}$$

แต่

$$I_{ph2} = I_{L2} = 26.244 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมี่ค่าเท่ากับ **26.244 A** **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมี่ค่าเท่ากับ **26.244 A** **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 21
รหัส 3104-2003	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	หน่วยที่ 12

ข. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$$a = \frac{V_{ph1}}{V_{ph2}} = \frac{V_{L1}}{\left(\frac{V_{L2}}{\sqrt{3}}\right)} = \frac{13.8 \text{ kV}}{\left(\frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}}\right)}$$

$$= 0.2173$$

โดย

$$I_{ph1} = \frac{I_{ph2}}{a} = \frac{26.244}{0.2173}$$

$$= 120.773 \text{ A}$$

แต่

$$I_{L1} = \sqrt{3} I_{ph1} = 1.732 \times 120.773$$

$$= 209.178 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิมี่ค่าเท่ากับ 209.178 A **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิมี่ค่าเท่ากับ 120.773 A **ตอบ**

ค. ความต้านทานสมมูลต่อเฟสที่ย้ายค่ามาทางด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงสูง)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad \text{และ} \quad P_{out} = P_T$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\left(\frac{\eta}{100}\right)} = \frac{4 \times 10^6}{\left(\frac{97.5}{100}\right)} = 4102.56 \times 10^3 \text{ W}$$

หากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดของ 3 เฟส จะได้

$$(P_c + P_{co}) = P_{in} - P_{out}$$

$$P_{co} = P_{in} - P_{out} - P_c$$

$$P_{co} = P_{in} - P_{out} - P_c$$

$$P_{co} = (4102.56 - 4000 - 40) \text{ kW}$$

$$P_{co} = 62.56 \text{ kW}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดต่อเฟส ($P_{co/ph}$)

$$P_{co/ph} = \frac{P_{co}}{3} = \frac{62.56 \text{ kW}}{3} = 20.85 \text{ kW}$$

แต่

$$P_{co/ph} = (I_{ph2})^2 R_{eq2}$$

ดังนั้น

$$R_{eq2} = \frac{P_{co/ph}}{(I_{ph2})^2} = \frac{20.85 \times 10^3}{(26.244)^2}$$

$$R_{eq2} = 30.27 \Omega$$

ความต้านทานสมมูลต่อเฟสที่ย้ายค่ามาทางด้านทุติยภูมิมี่ค่าเท่ากับ 30.27 Ω **ตอบ**