

บทที่ 4

การต่อหม้อแปลง

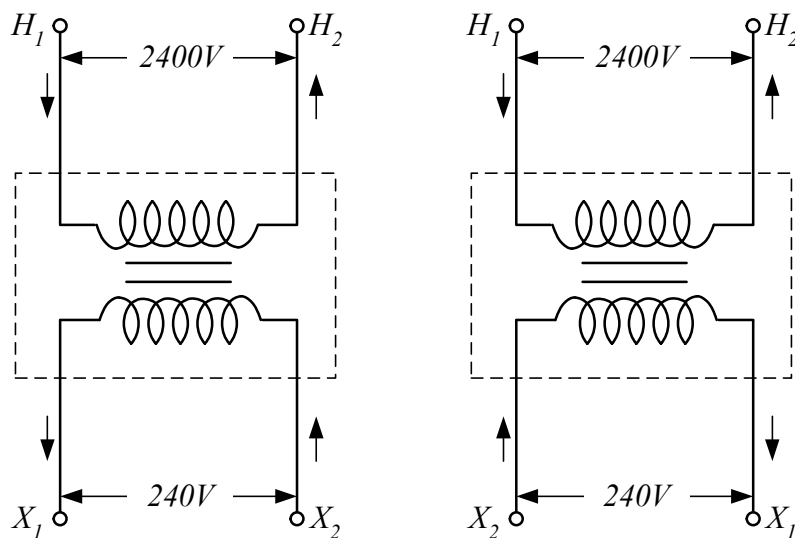
4.1 การต่อหม้อแปลง (*Transformer connections*)

การต่อหม้อแปลงเพื่อใช้งานมีหลายวิธีด้วยกัน เช่นการต่อหม้อแปลงขนานกัน การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวนสองหรือสามตัวมาต่อเป็นหม้อแปลงสามเฟส เป็นต้น การต่อหม้อแปลงดังกล่าวต้องต่ออย่างมีหลักเกณฑ์ที่ถูกต้อง ถ้าต่อผิดจะทำให้เกิดความเสียหายต่อหม้อแปลงและระบบไฟฟ้า ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงหลักเกณฑ์ต่างๆ เป็นเบื้องต้น

4.1.1 การกำหนดเครื่องหมายที่ขั้วหม้อแปลง (*Polarity marking*)

การกำหนดเครื่องหมายปลายสายที่ขั้วหม้อแปลงทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ บริษัทหรือโรงงานผู้ผลิตหม้อแปลงจึงได้ทำเครื่องหมายไว้หลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่บริษัทหรือโรงงานผู้ผลิตหม้อแปลงนั้นยึดถือ

การกำหนดตัวอักษรที่ใช้เป็นเครื่องหมายที่ขั้วหม้อแปลง ตามมาตรฐานของ เอ.เอส.เอ. (*A.S.A.* เป็นอักษรย่อของ *American Standard Association*) ซึ่งเป็นสมาคมผู้กำหนดมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้คิดและกำหนดมาตรฐานขึ้น โดยกำหนดให้ขั้วของขดลวดแรงดันสูง เป็น H_1 และ H_2 ขั้วของขดลวดแรงดันต่ำเป็น X_1 และ X_2



(ก)

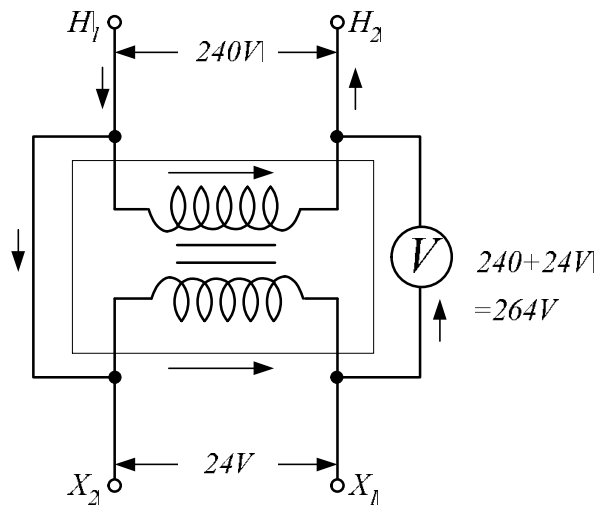
(ข)

รูปที่ 4-1 การกำหนดเครื่องหมายปลายสายที่ขั้วหม้อแปลง

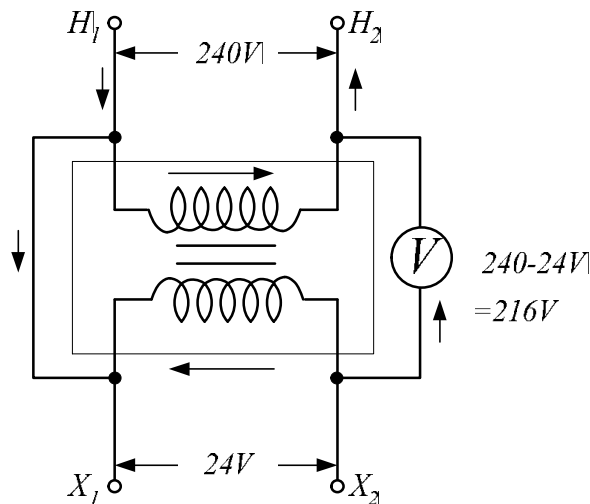
ก) แบบซับแทรกคิตีฟ โพลาริตี

ข) แบบแอดคิตีฟ โพลาริตี

ให้กำหนดขั้วทางด้านซ้ายมือของขดลวดแรงดันสูงเป็น H_1 และขั้วด้านขวาเป็น H_2 เสมอเมื่อผู้สังเกตมองจากด้านแรงดันต่ำ ถ้าจะกำหนดเครื่องหมายที่ขั้วหม้อแปลงเป็นแบบลบแทรกคิฟ โพลริตี (*Subtractive polarity*) ขั้วของขดลวดแรงดันต่ำด้านซ้ายมือจะต้องเป็น X_1 และขั้วด้านขวามือจะต้องเป็น X_2 ดังรูป 4-1 ก. แต่ถ้าจะกำหนดเครื่องหมายที่ขั้วหม้อแปลงเป็นแบบแอดคิฟ โพลริตี (*Additive polarity*) ขั้วของขดลวดแรงดันต่ำด้านซ้ายมือจะต้องเป็น X_2 และขั้วด้านขวามือจะต้องเป็น X_1 ดังรูป 4-2 ข.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-2 การต่อวงจรทดสอบเพื่อกำหนดเครื่องหมายปลายสายที่ขั้วหม้อแปลง

- ก) ค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์สูงกว่าแรงดันที่ป้อน จะเป็น แอดคิฟ โพลริตี
- ข) ค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ต่ำกว่าแรงดันที่ป้อน จะเป็น ลบแทรกคิฟ โพลริตี

ลำดับขั้นการทดสอบเพื่อกำหนดเครื่องหมายที่ขั้วของหม้อแปลง

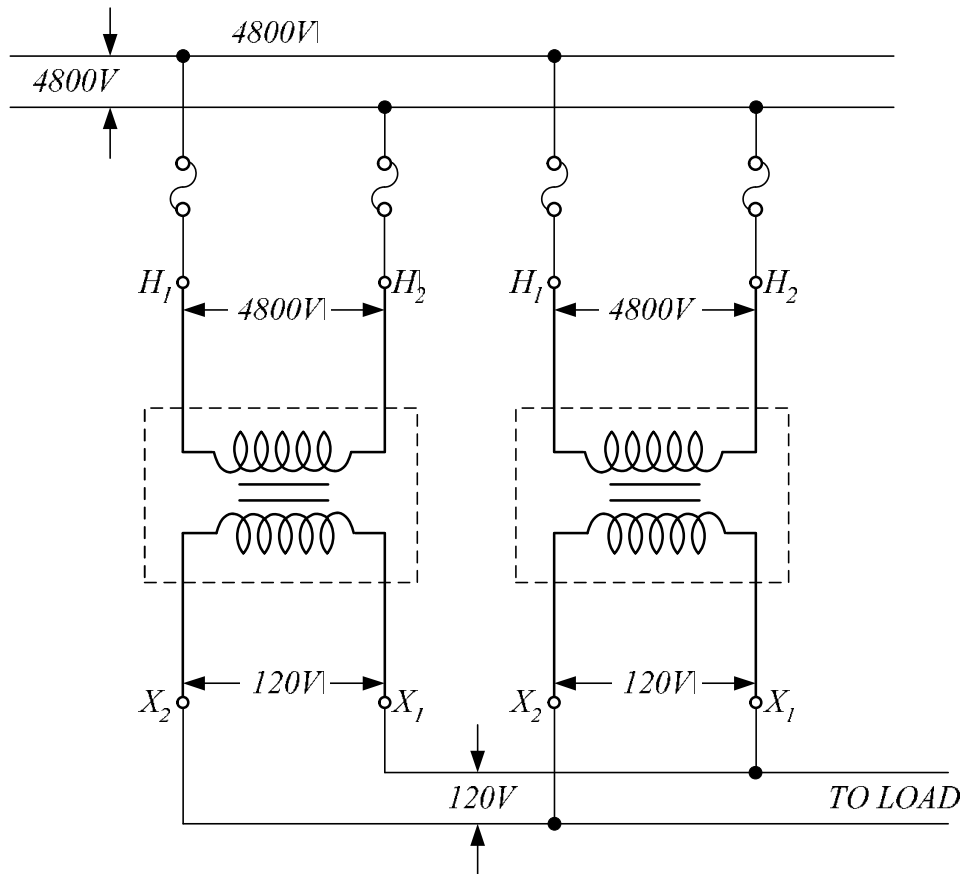
1. ต้องทดสอบให้แน่ใจว่า ปลายสายของขดลวดชุดใดเป็นขดลวดแรงดันต่ำ และปลายสายขดลวดชุดใดเป็นขดลวดแรงดันสูง โดยใช้มัลติมิเตอร์
2. ต่อสายจากปลายสายเส้นหนึ่งของขดลวดแรงดันสูงเข้ากับปลายสายเส้นหนึ่งของขดลวดแรงดันต่ำ ดังรูป 4-2
3. นำ เอ.ซี. โวลท์มิเตอร์ตั้งย่านวัดไว้สูงประมาณสองเท่าของแรงดันป้อนทางด้านขดลวดแรงดันสูงต่อกับปลายสายเส้นที่เหลือของขดลวดแรงดันสูง และปลายสายเส้นที่เหลือของขดลวดด้านแรงดันต่ำ ดังรูปที่ 4-2
4. ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 240V. เข้าที่ขดลวดแรงดันสูง ถ้าหากค่าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์เท่ากับผลบวกของแรงดันทั้งสองด้าน หรืออ่านค่าได้สูงกว่าแรงดันป้อนที่กำหนด เครื่องหมายที่ขั้วสายของหม้อแปลงจะต้องเป็นแบบแอดคิตีฟ โพลาริตี ดังรูปที่ 4-2 ก.
5. ถ้าค่าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์น้อยกว่าแรงดันป้อน หรือเท่ากับผลต่างของแรงดันทั้งสองด้าน การกำหนดเครื่องหมายที่ขั้วสายจะต้องเป็นแบบซับแทรคตีฟ โพลาริตี ดังรูปที่ 4-2 ข.

4.1.2 การขนานหม้อแปลง (*Parallel operation*)

จุดประสงค์ของการขนานหม้อแปลงก็คือ พิกัดกำลังของหม้อแปลงตัวเดิมไม่เพียงพอที่จะจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำหม้อแปลงตัวอื่นมาต่อขนานกับหม้อแปลงตัวเดิม การขนานหม้อแปลงสามารถทำได้โดยใช้หม้อแปลงตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ดังรูป 4-3

การต่อหม้อแปลงเฟสเดียวสองตัวขนานกัน มีสิ่งที่ควรคำนึงถึงดังนี้ คือ

1. พิกัดแรงดันของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิทั้งสองต้องเท่ากันก็คือ หม้อแปลงทั้งสองต้องมีอัตราส่วนแรงดันเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (*Circulating current*) ในขดลวดของหม้อแปลงทั้งสองตัว ผลที่ตามมาคือเกิดการสูญเสียในรูปของความร้อนที่ขดลวดของหม้อแปลง
2. หม้อแปลงทั้งสองตั้งต้องมีโพลาริตีเหมือนกัน หมายความว่าต้องต่อขั้วเหมือนกันเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 4-3 และรูปที่ 4-4 ถ้าต่อขั้วที่ไม่เหมือนกันเข้าด้วยกันจะเกิดการลัดวงจร
3. เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทั้งสองจะต้องเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันหม้อแปลงจะไม่สามารถแบ่งโหลดให้เป็นไปตามอัตราส่วนของพิกัด เค.วี.เอ. ของหม้อแปลง แต่ละตัวได้



รูปที่ 4-4 การต่อหม้อแปลงเฟสเดียว ซึ่งมีโพลาริตีเหมือนกัน (Additive polarity) สองตัวขนานกัน

หม้อแปลงเฟสเดียวสองตัวในรูปที่ 4-4 มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าเท่ากันทั้งสองด้านมีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เท่ากันและทั้งสองต่างก็มีโพลาริตีเหมือนกันคือเป็นแบบแอดดิทีฟ โพลาริตี การนำหม้อแปลงทั้งสองตัวมาต่อขนานกันทำได้ง่ายมากคือ นำปลายสาย H_1 ของหม้อแปลงทั้งสองมาต่อกับสายไฟเส้นหนึ่งแล้วนำปลายสาย H_2 มาต่อรวมกันแล้วต่อกับสายไฟอีกสายไฟอีกเส้นหนึ่ง ในทำนองเดียวกันแรงดันต่ำ ก็นำปลายสาย X_1 ของหม้อแปลงทั้งสองมาต่อรวมกันแล้วนำปลายสาย X_2 ของหม้อแปลงทั้งสองมาต่อรวมกันจากจุดต่อรวมของ X_1 และ X_2 ต้องมีสายไฟต่อไปยังโหลด

4.2 การต่อหม้อแปลงสามเฟส (Three-phase transformer connections)

หม้อแปลงเฟสเดียวจะมีขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอย่างต่ำขดละ 1 ชุด ต่อหม้อแปลงหนึ่งตัว ส่วนหม้อแปลงสามเฟสจะมีขดลวดปฐมภูมิ 3 ชุด และ ขดลวดทุติยภูมิ 3 ชุดในหม้อแปลงหนึ่งตัว เราสามารถใช้หม้อแปลงเฟสเดียวที่มีอยู่จำนวนสองหรือสามตัวมาต่อเป็นหม้อแปลงสามเฟสได้ ชุดของหม้อแปลงสามเฟสที่ได้เรียกว่า 1 แบงก์ (Bank)

สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการนำหม้อแปลงเฟสเดียว มาต่อเป็นหม้อแปลงสามเฟสก็คือ หม้อแปลงเฟสเดียวทั้ง 3 ตัว ต้องเหมือนกันทุกประการ กล่าวคือ พิกัด เค.วี.เอ. ความถี่ พิกัดแรงดัน ค่าความต้านทานของขดลวด ค่าลิกเกจรีแอคแตนซ์ และ กระแสเอ็กไซต์ต้องเท่ากัน

การต่อหม้อแปลงสามเฟส สามารถต่อได้ 4 แบบ คือ

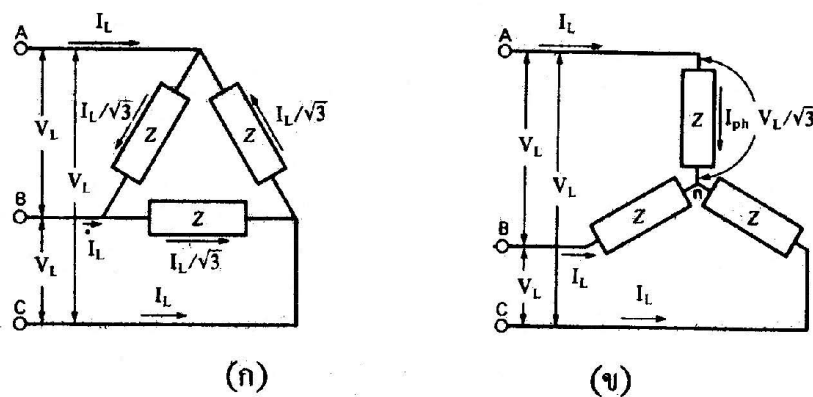
1. แบบวาย – ยาย (Y-Y)
2. แบบเดลต้า – เดลต้า (Δ - Δ)
3. แบบวายเดลต้า (Y- Δ)
4. แบบเดลต้า – ยาย (Δ -Y)

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ ขอให้พิจารณาคคุณสมบัติเฉพาะของระบบไฟฟ้า 3 เฟส (*three phase system*) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ

- ก. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย (*three-phase three-wire system*)
- ข. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย (*three-phase four-wire system*)

แรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 3 สาย นั้นการไฟฟ้าจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 220V ส่วนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายนั้น การไฟฟ้าจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 380/220V. แรงดันที่วัดได้ระหว่างสาย (*line voltage*) คือ $V_L=380V$. แรงดันที่วัดได้ระหว่างสายเส้นใดเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัล (สายศูนย์) เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (*phase voltage*) คือ $V_{ph.}=220V$.

โหลดที่นำมาต่อกับระบบไฟฟ้า 3 เฟสนั้น อาจมีสภาพสมดุล หรือไม่สมดุลก็ได้ แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะโหลดที่สมดุลเท่านั้น โหลดสมดุลของระบบไฟฟ้า 3 เฟส ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ (Z) 3 ตัว ที่มีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถต่อได้ 2 แบบคือ แบบเดลต้า (*delta*) และแบบวาย (*Wye*) ดังรูป 4-5



รูปที่ 4-5 ก) อิมพีแดนซ์ต่อแบบเดลต้า ข) อิมพีแดนซ์ต่อแบบวาย

โหลดต่อแบบเดลต้า ดังรูปที่ 4-5 ก. มีแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย V_L เท่ากับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส V_{ph} แต่กระแสไฟฟ้าในสาย I_L (*line current*) เท่ากับกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส I_{ph} (*phase current*) คูณด้วย $\sqrt{3}$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

โหลดต่อแบบ Δ

$$V_L = V_{ph}$$

และ

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$$

โหลดต่อแบบวาย ดังรูปที่ 4-5 ข. มีแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย V_L เท่ากับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส V_{ph} คูณด้วย $\sqrt{3}$ แต่กระแสในสาย I_L เท่ากับกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส I_{ph} เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

โหลดต่อแบบ Y

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_{ph}$$

และ

$$I_L = I_{ph}$$

กำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 3 เฟส เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

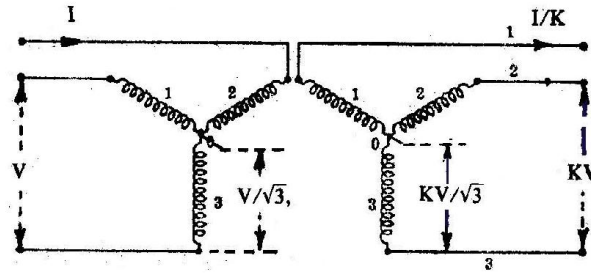
$$P = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos \theta$$

หรือ

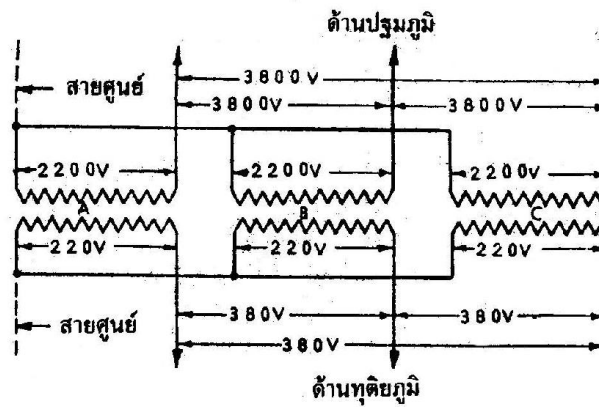
$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

ก. การต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย (*Wye-Wye connection*)

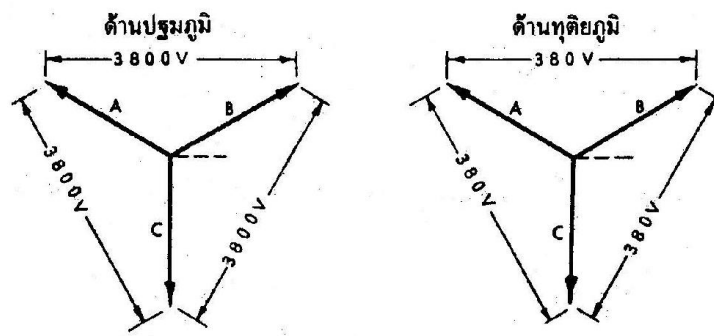
การต่อหม้อแปลงแบบวาย-วายแสดงไว้ในรูป 4-6 คือขั้ว H_1 ของขดลวดปฐมภูมิต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสามเฟส ส่วนขั้ว H_2 ของหม้อแปลงทั้งสามตัวต่อรวมกันที่จุดนิวทรัล (*neutral*) สำหรับด้านทุติยภูมิก็มีการต่อทำนองเดียวกัน คือขั้ว X_1 ของขดลวดทุติยภูมิต่อกับโหลด ส่วนขั้ว X_2 ของหม้อแปลงทั้งสามตัวต่อรวมกันที่จุดนิวทรัลจะสังเกตเห็นว่าการต่อหม้อแปลงดังกล่าวมีลักษณะเหมือนตัวอักษรวาย จึงเขียนแทนด้วยตัวอักษร Y การต่อแบบนี้บางครั้งเรียกว่าการต่อแบบสตาร์ (*star connection*)



(ก)



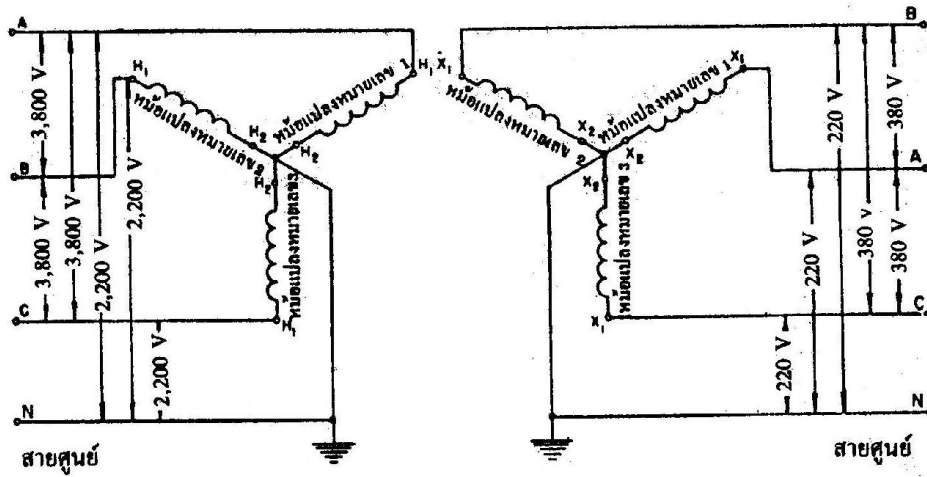
(ข)



(ค)

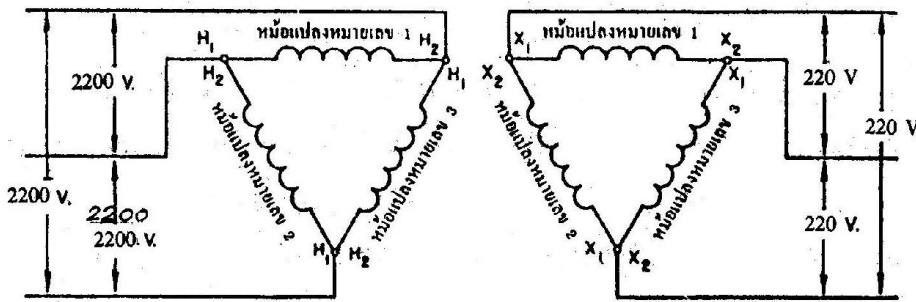
รูปที่ 4-6 การต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย

ก) วงจรอย่างง่าย ข) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 3 ตัวมาต่อรวมกันแบบ Y-Y ค) โวลต์เตจ
เวกเตอร์ไคอะแกรม

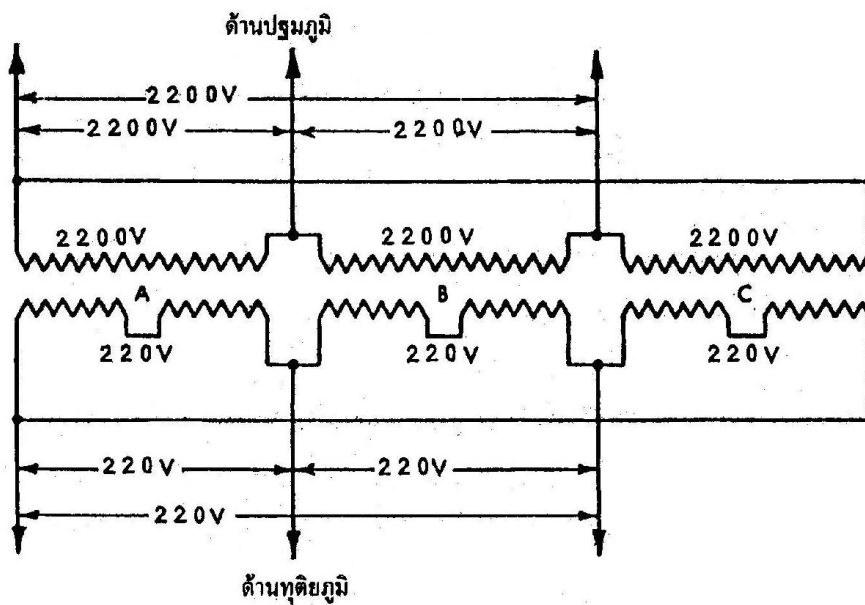


รูปที่ 4-7 การต่อหม้อแปลงเฟสเดียว 3 ตัว เป็นหม้อแปลงสามเฟสสี่สายแบบ Y-Y

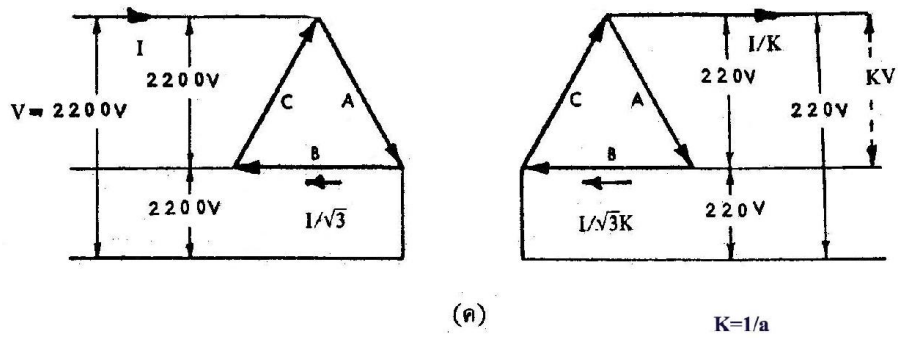
ข. การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-เดลต้า (*Delta-delta connection*)



(ก)



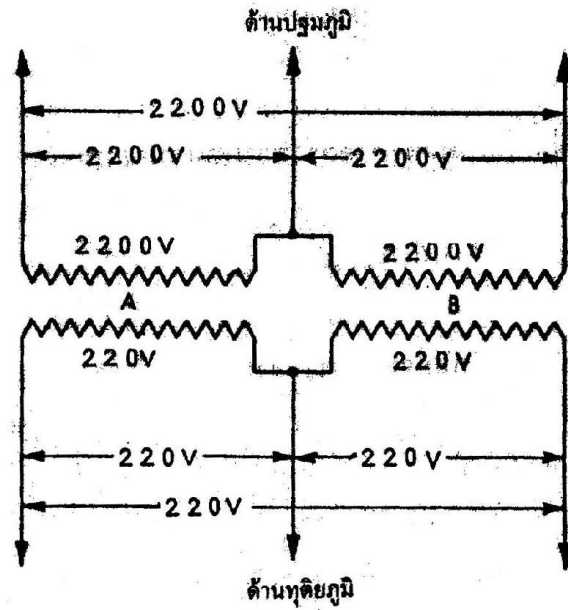
(ข)



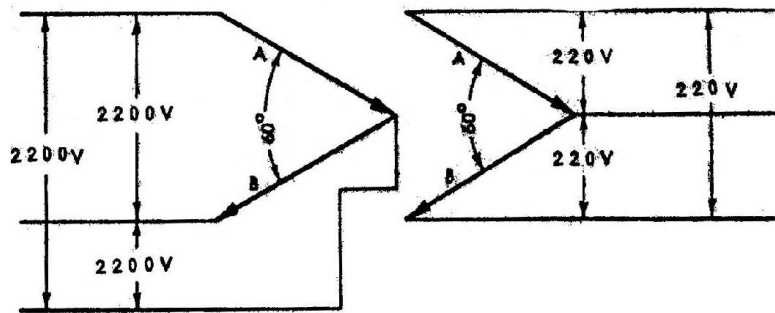
รูปที่ 4-8 การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-เดลต้า

- ก) วงจรอย่างง่าย
- ข) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 3 ตัวมาต่อรวมกันแบบ Δ - Δ
- ค) โวลต์เตจเวกเตอร์ ไดอะแกรม

ค. การต่อหม้อแปลงแบบโอเพนเดลต้า หรือ แบบ วี-วี (*Open-delta or V/V connection*)



(ก)

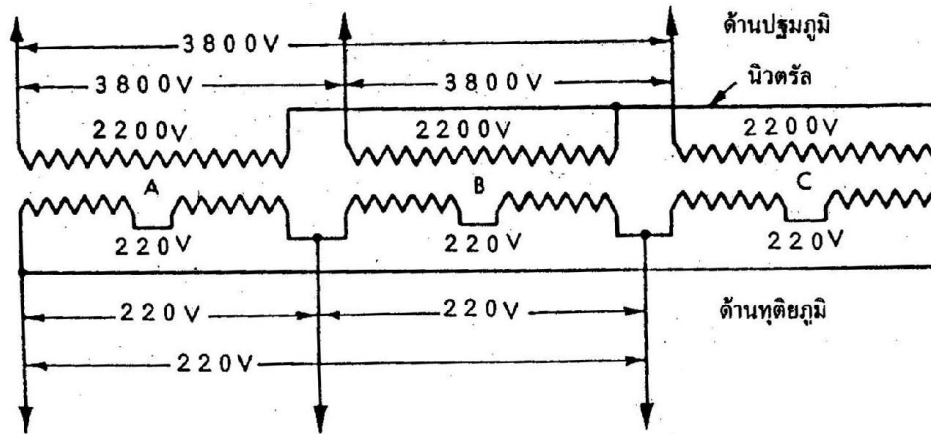


(ข)

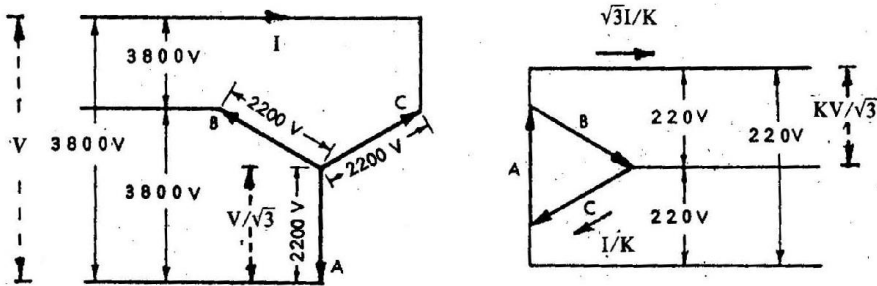
รูปที่ 4-9 การต่อหม้อแปลงแบบโอเพนเคลด้า

- ก) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 2 ตัวมาต่อรวมกันแบบโอเพนเคลด้า
- ข) โวลต์เตจเวกเตอร์ไดอะแกรม

ง. การต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลต้า (*Wye-delta connection*)



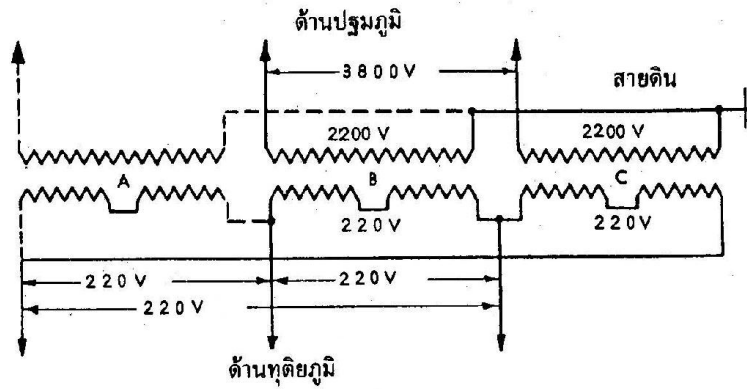
(ก)



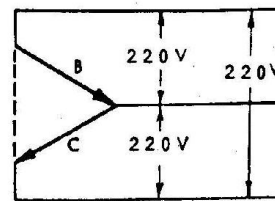
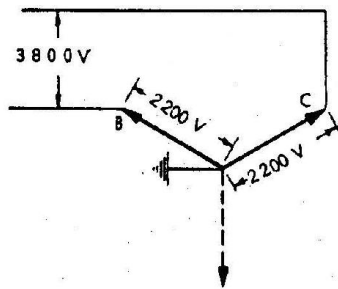
(ข)

รูปที่ 4-10 การต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลต้า

- ก) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 3 ตัวมาต่อรวมกันแบบ Y-Δ
- ข) โวลต์ที่เตจ เวคเตอร์ไคอะแกรม



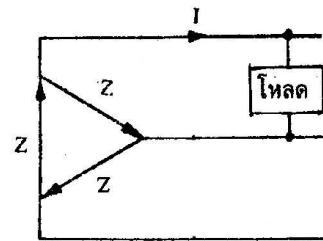
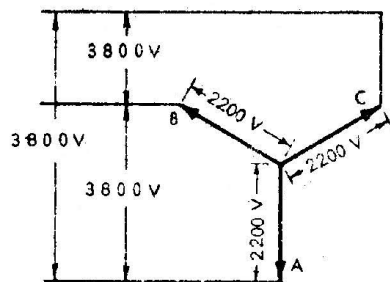
(ก)



(ข)

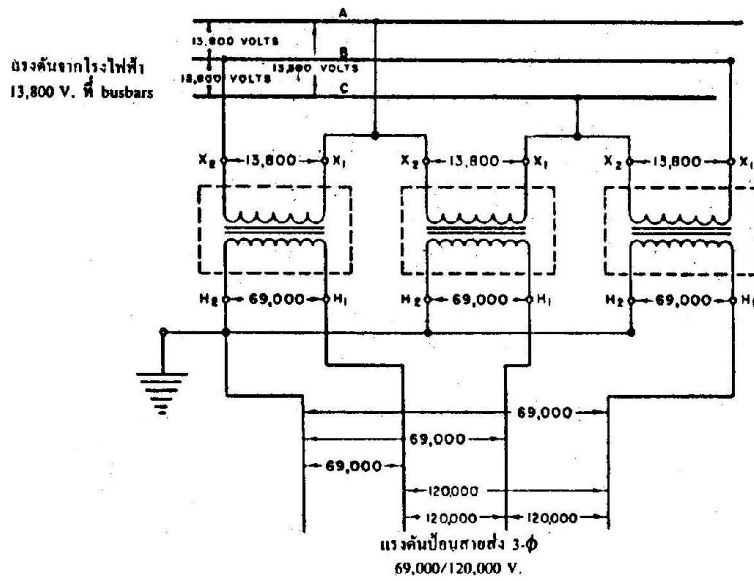
รูปที่ 4-11 การต่อหม้อแปลงแบบวาย-โอเพนเดลต้า

- ก) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 2 ตัว มาต่อรวมกันแบบวาย-โอเพนเดลต้า
- ข) โวลต์เตจเวกเตอร์ ไดอะแกรม

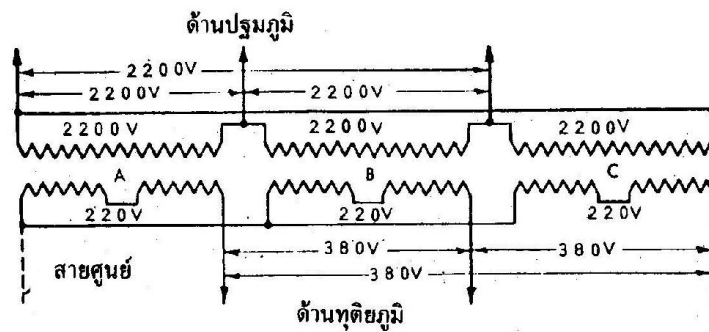


รูปที่ 4-12 วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Δ ที่มีโหลดต่ออยู่เพียงเฟสเดียว

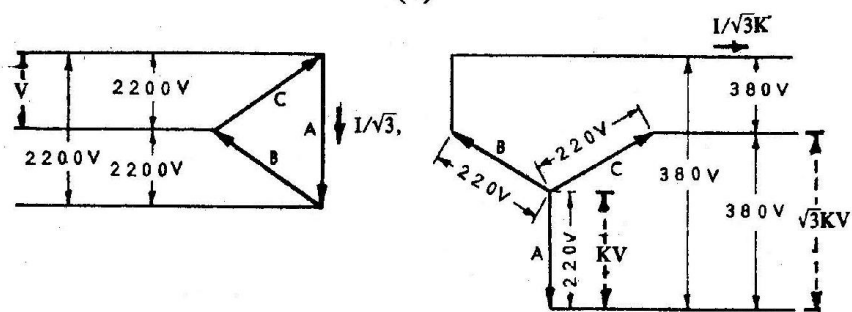
จ. การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย (*Delta-wye connection*)



(ก)



(จ)



(ค)

รูปที่ 4-13 การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย

- ก) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 3 ตัวมาต่อรวมกันแบบ Δ -Y และเป็นการเพิ่มแรงดัน
- ข) การนำหม้อแปลงเฟสเดียวจำนวน 3 ตัว มาต่อรวมกันแบบ Δ -Y และเป็นการลดแรงดัน
- ค) โวลต์เตจเวกเตอร์ ไคอะแกรม