

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

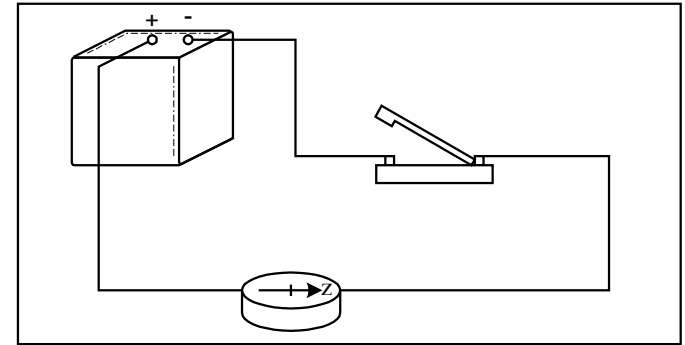
หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า
และโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

การเกิดสนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กเกิดจาก 2 กรณี

1 โดยวัสดุแม่เหล็กธรรมชาติ

2 โดยกระแสไฟฟ้า



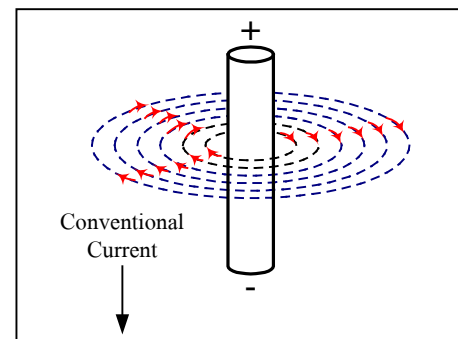
Oersted ค้นพบว่ากระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวด แต่ไม่สามารถมองเห็นได้สนามแม่เหล็กนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวด และมีอิเล็กตรอนจำนวนมากเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สนามแม่เหล็กเล็กๆ ของอิเล็กตรอนทั้งหมดรวมกัน ผลลัพธ์คือ มีสนามแม่เหล็กมากพอที่จะทำให้เข็มของเข็มทิศเคลื่อนที่ได้

การทดลองของ Oersted
แสดงการต่อสายตัวนำ
แล้ววางเข็มทิศบนสายตัวนำ
ให้เข็มของเข็มทิศมีทิศขนาน
กับลวดตัวนำ



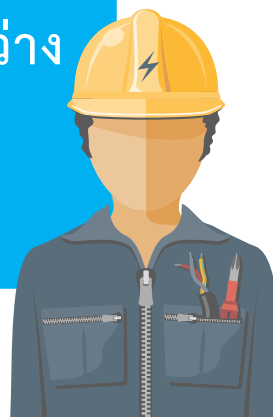
ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กรอบตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สังเกตเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กมีลักษณะเป็นวง ไม่มีจุดไหนที่เราเรียกว่าขั้วแม่เหล็ก



สนามแม่เหล็กถูกผลิตขึ้นรอบ
ทุก ๆ จุดของลวดตัวนำ
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

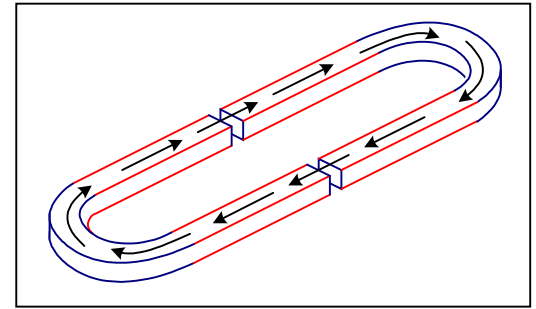
สนามแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นวง เนื่องจากแท่งแม่เหล็กมีเส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนในอากาศและบางส่วนในแท่งแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กคือการแบ่งแยกระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กในแท่งแม่เหล็กกับอากาศ



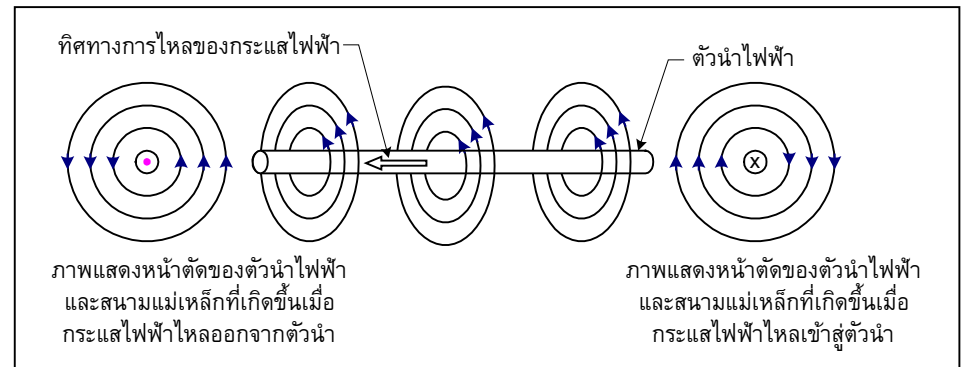
ถ้าวางแท่งแม่เหล็กรูปตัวยู (U) 2 แท่งด้วยกัน ดังแสดงในรูป สนามแม่เหล็กทั้งหมดภายในแท่งแม่เหล็กทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะเหมือนกัน

ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กคือทิศทางที่ถูกส่งออกโดยขั้วเหนือไปยังแท่งแม่เหล็กที่อยู่ใกล้ๆ และจะถูกใช้เพื่อเดินทางรอบๆ ของสนามแม่เหล็ก

การเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนที่จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ในอากาศ และขั้วใต้ไปยังขั้วเหนือในแท่งแม่เหล็ก ส่วนรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ ทวนเข็มนาฬิกาเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลออกจากตัวนำ และตามเข็มนาฬิกาเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ตัวนำ



วางแท่งแม่เหล็กรูปตัวยู
2 แท่งเข้าด้วยกัน
สนามแม่เหล็กจะอยู่ภายใน
ของแท่งแม่เหล็กทั้งหมด



แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำ
ตามทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้า



กฎมือขวาสำหรับตัวนำไฟฟ้าที่เป็นเส้นตรง

มีวิธีง่ายกว่าเพื่อจำทิศทางของสนามแม่เหล็กรอบตัวนำไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า “กฎมือขวาสำหรับตัวนำไฟฟ้า” กำมือขวารอบแท่งตัวนำ หัวแม่มือจะแสดงการชี้ในทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วที่เหลือทั้งสี่จะแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก



กฎมือขวาสำหรับเส้นลวด

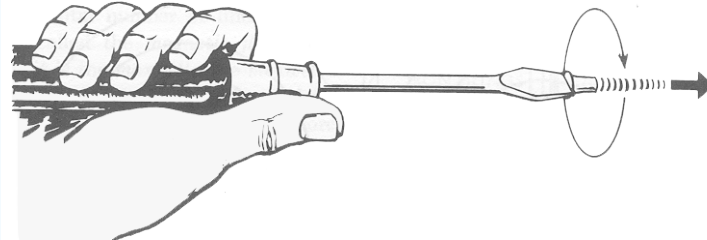
สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าคือ สนามแม่เหล็กบางส่วนภายนอกและบางส่วนตรงกลางของขดลวด

ทิศทางของกระแสไฟฟ้ารอบขดลวดสามารถบอกชี้ได้โดยใช้ “กฎมือขวาสำหรับขดลวด” โดยกำมือขวารอบขดลวดตัวนำไฟฟ้านี้ นิ้วที่เหลือทั้งสี่จะแสดงทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำนี้ หัวแม่มือแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กภายในขดลวดและชี้ไปยังขั้วเหนือ



กฎของแมกซ์เวลล์

จะใช้ลักษณะการใช้งานของสกรูหรือตะปูเกลียวที่มีเกลียวขวาในการจำทิศทางของกระแสไฟฟ้าและทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยกำหนดให้ “ทิศทาง การเคลื่อนที่ของตะปูเกลียวไปข้างหน้าในทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ทิศทางการหมุนของเกลียวจะแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำ”

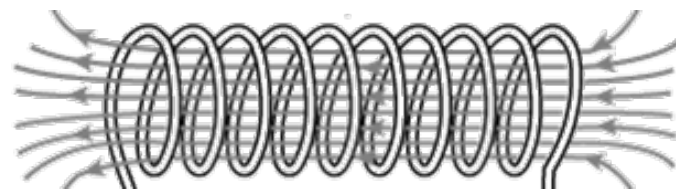


ทิศทางของกระแสไฟฟ้าโดยดูจาก
การเคลื่อนที่ของตะปูเกลียว



คุณลักษณะของแม่เหล็ก

แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force, mmf) แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force, mmf) คือความสามารถในการทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเปรียบได้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, emf) หรือแรงดันไฟฟ้า



แสดงขดลวด จำนวน 10 รอบ ซึ่งขดลวดและแกนเหล็ก คือองค์ประกอบพื้นฐานของมอเตอร์เครื่องกำเนิด และหม้อแปลงไฟฟ้า

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Field intensity, H)

ความเข้มของสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ 2 สิ่งนี้คือ

1. แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) แรงเคลื่อนแม่เหล็กมากกว่าจะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า
2. ความยาวของแบบฟอร์มขดลวดตัวนำไฟฟ้า ขดลวดตัวนำไฟฟ้าสั้นกว่าจะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมากกว่า

เส้นแรงแม่เหล็ก (Field strength ; Line of force, F)

เส้นแรงแม่เหล็ก (Flux, ϕ) คือเส้นแรงที่เกิดจากการส่งอำนาจความเป็นแม่เหล็กออกมารอบๆ แม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กวัดในหน่วยของเวเบอร์ (waber) โดยที่ 1 เวเบอร์ = 108 เส้น สามารถเปรียบเทียบได้กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า



ความต้านทานเส้นแรงแม่เหล็ก (Reluctance, R)

เส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ในลักษณะครบวงจรเราเรียกว่าวงจรแม่เหล็ก ในอากาศอำนาจแม่เหล็กไม่สามารถที่จะสร้างเส้นแรงใดๆ เพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามในวัสดุแม่เหล็ก เช่น แกนเหล็ก แรงสร้างอำนาจแม่เหล็กสามารถที่จะเป็นตัวสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้



ความซึมซาบ (Permeability)

ความซึมของสนามแม่เหล็ก (H) บอกให้เราทราบว่าในแกนตัวนำแม่เหล็กมีเส้นแรงแม่เหล็กเท่าไร ความซึมซาบจะเป็นตัวบอกคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแกนตัวนำแม่เหล็กแต่ละชนิดว่ายอมให้เกิดสนามแม่เหล็กได้มากหรือน้อย

- ⚡ สัญลักษณ์สำหรับความซึมซาบ (Permeability) คือ μ (อักษรกรีก)
- ⚡ ค่าของความซึมซาบของอากาศ (Permeability of air, μ_0) หมายถึงความซึมซาบของช่องว่างอากาศ (air gap) ของวงจรแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

$$\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \quad (\text{Wb} / \text{m}^2) / (\text{A} / \text{m})$$



ความซึมซาบสัมพัทธ์ (Relative permeability, μ)

คือความซึมซาบสัมพัทธ์ของวัสดุตัวนำแม่เหล็กวัสดุตัวนำแม่เหล็กชนิดอื่นๆ ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความซึมซาบของอากาศ เช่น ถ้าแกนเหล็กความซึมซาบสัมพัทธ์ (μ_r) เท่ากับ 500 ก็หมายความว่าค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในแกนมีค่าเท่ากับ 500 เท่าของอากาศ ค่าความซึมซาบของแกนเหล็กคือ

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 = 500 \times 1.26 \times 10^{-6} = 0.00063 \text{ (Wb / m}^2\text{) / (A / m)}$$



ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux density)

แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) ของขดลวด สร้างความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก (H) ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของลวดตัวนำและเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรง (เพิ่มหรือลดที่อัตราเดียวกัน) กับทั้งเส้นแรงแม่เหล็กและค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กของแกน

สัญลักษณ์สำหรับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กคืออักษรกรีก β หน่วยวัดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กคือ เทสลา (Tesla) โดยที่ 1 เทสลา มีค่าเท่ากับ 1 เวเบอร์ต่อตารางเมตร สามารถกล่าวได้ว่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กคือเส้นแรงแมยที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของวัสดุตัวนำแม่เหล็ก สามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้คือ

$$\beta \text{ (tesla)} = \mu \times H \text{ (ampere-turn x metre)}$$

หรือในรูปของเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ):

$$\beta \text{ (tesla)} = \phi \text{ (Wb)} / \text{พื้นที่ (m}^2\text{)}$$



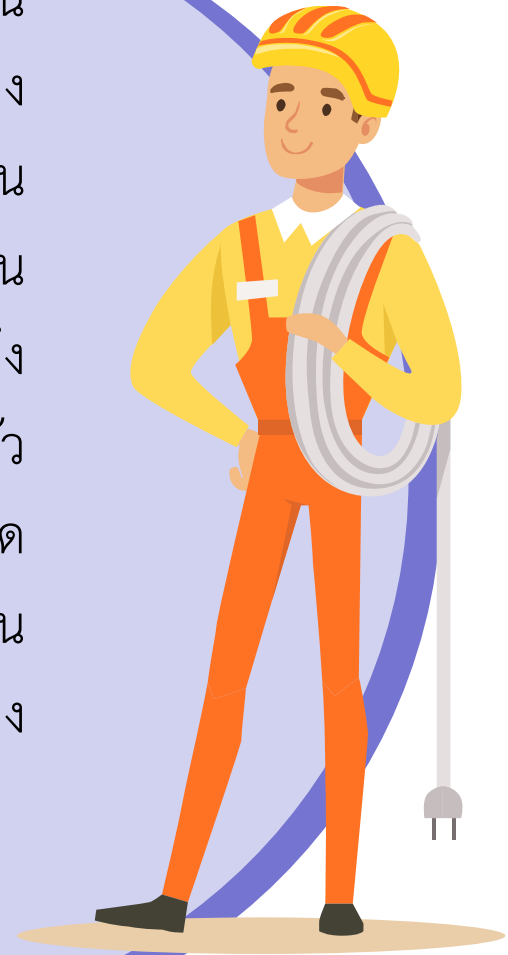
คุณลักษณะของวัสดุแม่เหล็ก

โดยปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า มีสิ่งหนึ่งที่เหมือนกันคือ ขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็กซึ่งแกนเหล็กเหล่านี้ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ (เรียกว่า laminations) แล้วนำมาอัดซ้อนเข้าด้วยกันให้แน่น ระหว่างการทำงานแกนเหล็กกลายเป็นแม่เหล็ก ซึ่งคุณลักษณะทางแม่เหล็กของแกนเหล็กจึงมีความสำคัญต่อการเข้าใจถึงการทำงานเครื่องกลไฟฟ้าชนิดต่างๆเป็นอย่างมาก



การอิ่มตัวของวัสดุตัวนำแม่เหล็ก (Saturation)

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด จะเกิดความหนาแน่น
เส้นแรงแม่เหล็กขึ้น ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะได้เส้นแรงแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่นเส้น
แรงแม่เหล็กจะเพิ่มตามสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลใน
ขดลวด แต่การเพิ่มความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะสูงถึง
จุดจุดหนึ่งเท่านั้นและจะไม่เพิ่มขึ้นอีก จุดนี้เราเรียกการอิ่มตัว
ของวัสดุตัวนำแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจนถึงจุด
อิ่มตัวจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าจะเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้มีความมากขึ้น
ไปอีกเท่าใดก็ตามก็จะมีผลต่อความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหรือมีผลเพียงเล็กน้อยมาก





เส้นแรงแม่เหล็กตกค้างและการเก็บเส้นแรงแม่เหล็ก (Residual Magnetism and Retentivity)

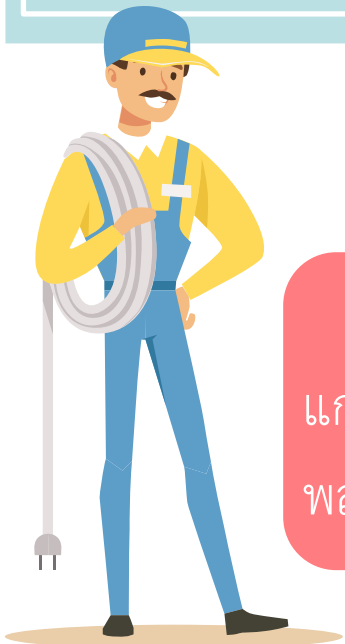
หลังแกนเหล็กได้กลายเป็นแม่เหล็กเพียงชั่วคราว เมื่อหยุดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก แกนเหล็กก็ยังคงมีเส้นแรงแม่เหล็กหลงเหลืออยู่ ซึ่งสิ่งนี้คือความสามารถของวัสดุตัวนำแม่เหล็กที่มีต่อการเก็บเส้นแรงแม่เหล็กเอาไว้เมื่อกระแสลดลงเป็นศูนย์ แม่เหล็กถาวรที่ทำจากเหล็กกล้า (hard steel) จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเหลืออยู่ภายในแท่งเหล็กเกือบทั้งหมด ส่วนเหล็กอ่อนนั้นจะมีเส้นแรงแม่เหล็กเหลือภายในแท่งเหล็กเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งเรียกว่า เส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง (Residual magnetism)



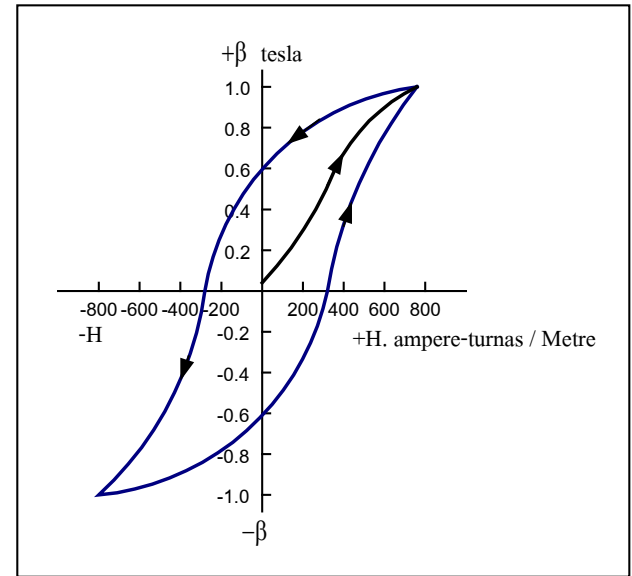
ฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis)

เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเส้นแรงสนามแม่เหล็กจะลดลงสู่ศูนย์ อย่างไรก็ตามขณะนั้นยังคงมีสนามแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็ก ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มีชั่วตรงข้ามจากเดิมก็จะทำให้เส้นแรงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีชั่วแม่เหล็กตรงข้ามและจะเกิดสนามแม่เหล็กตกค้างในทิศทางตรงกันข้ามด้วย โดยตอนแรกเส้นแรงสนามแม่เหล็กจะลดลงเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งจากนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กก็จะกลับกับทิศทางเดิม

เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กจะล่า
หลังกระแสไฟฟ้าในขดลวดเสมอ สามารถกล่าวได้
ว่าเหล็กมีฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis) มาจากคำ
ภาษาอังกฤษมีความหมายว่า ทำให้
ล่าหลัง (to lag) กราฟแสดงในรูป เรียกว่า
วงฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis loop)



จะเห็นได้ว่าต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อกลับทิศทางของอิเล็กตรอนใน
แกนของขดลวด เพราะฉะนั้นฮิสเตอร์รีซิสจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความสูญเสีย
พลังงานในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า



กราฟฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis cuve)
หรือ กราฟ B-H ที่ครอบคลุม
กระแสลับ ที่ครบหนึ่งรอบ



วงจรแม่เหล็ก

วงจรแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 2 แบบคือวงจรแม่เหล็กอนุกรมและวงจรแม่เหล็กขนาน ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยวงจรไฟฟ้าได้ แต่คุณสมบัติของสารแม่เหล็กที่ประกอบอยู่ในวงจรแม่เหล็กไม่เป็นเส้นตรง (non-linear) ดังนั้นในการคำนวณอาจต้องใช้กราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็ก(B-H curve) ช่วยในการคำนวณ

การหาค่าต่าง ๆ ในวงจรแม่เหล็ก

1 ถ้าทราบค่าเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) และพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ทำให้สามารถหาค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ได้

$$B = \phi / A$$

2 ถ้าทราบค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ (μ_r) และความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) สามารถหาค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ได้

$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H$$

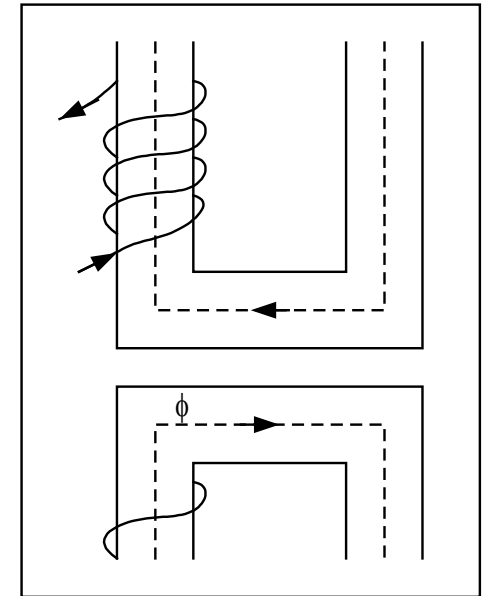
3 จากกราฟ B-H ถ้าทราบค่า B สามารถหาค่า H ได้ และถ้าทราบค่า H สามารถหาค่า B ได้ ถ้าตัวนำแม่เหล็กเป็นช่องว่างอากาศ ค่า $B = \mu_0 H$ เมื่อ $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6}$

4 ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) = จำนวนรอบของขดลวด (N) x กระแสไฟฟ้า (I)
และแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) x ความยาวของขดลวด (l)

วงจรแม่เหล็กอนุกรม



วงจรแม่เหล็กอนุกรมคือวงจรแม่เหล็กที่มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กครบรอบเพียงเส้นทางเดียว ดังแสดงในรูป



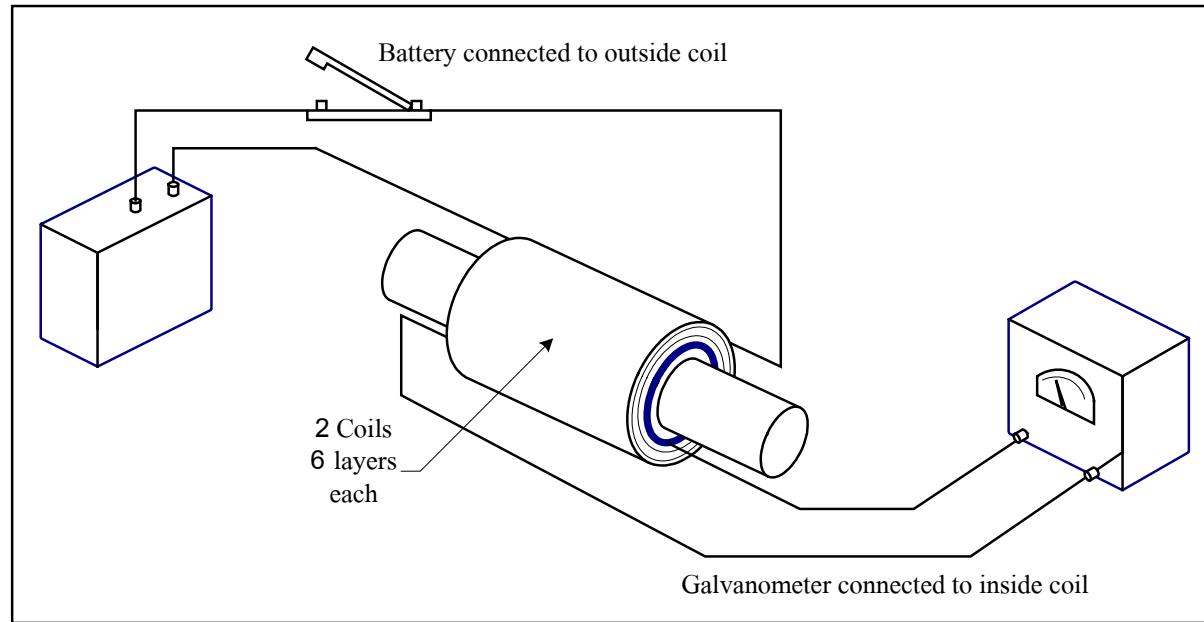
แสดงวงจรแม่เหล็กอนุกรม

การเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในหม้อแปลงไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กถูกผลิตโดยกระแสไฟฟ้า ในทางกลับกันสนามแม่เหล็กก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยสนามแม่เหล็กเรียกว่า การเหนี่ยวนำ (Induction) แรงเคลื่อนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเรียกว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (Electromotive force, emf)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบหลักการที่สำคัญมากเกี่ยวกับการเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (emf) 2 ประการ ประการแรกพันขดลวดบนแบบฟอร์มและเชื่อมต่อขดลวดกับกัลวานอร์มิเตอร์ (Galvanometer) กัลวานอร์มิเตอร์คือ มิเตอร์ซึ่งสามารถวัดกระแสน้อยๆ ได้จากนั้นหุ้มฉนวน (Insulation) บนขดลวดชุดแรก แล้วพันขดลวดชุดที่ 2 ในแบบเดียวกันกับขดลวดชุดแรก แล้วเชื่อมต่อขดลวดชุดที่สองนี้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านสวิตช์

เมื่อปิดสวิตช์ จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดชุดที่ 2 จะเห็นเข็มของกัลวานอร์มิเตอร์ (Galvanometer needle) เคลื่อนที่ เมื่อเปิดสวิตช์เข็มของกัลวานอร์มิเตอร์เคลื่อนที่ไปในทางตรงกันข้าม



ชุดการทดลองของฟาราเดย์ แสดงการเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนของ
หม้อแปลงไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าไม่มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้ง 2 ขด กระแสไฟฟ้าในขดลวดมาจากไหน ทำไมกระแสไหลเป็นเวลาสั้นเช่นนั้น สุดท้าย ทำไมกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางหนึ่งเมื่อปิดสวิตช์และเมื่อเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้าไหลทิศทางตรงข้าม คำถามเหล่านี้คือสิ่งที่ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบเอาไว้



แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการเคลื่อนของตัวนำ (Induction - motion, emf)

อีกการทดลองหนึ่งของฟาราเดย์ โดยวางลวดบนบอร์ดและเชื่อมต่อปลายของลวดกับกัลวานอมิเตอร์ แล้วก็เอาลวดชุดที่ 2 เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ เมื่อเคลื่อนย้ายลวดที่มีกระแสไฟฟ้า ที่ลวดชุดแรก เข็มของกัลวานอมิเตอร์มีการเคลื่อนที่ และมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำกำลังไหลในลวดชุดแรกเมื่อเคลื่อนที่ลวดชุดที่ 2 ห่างออกไปกัลวานอมิเตอร์จะแสดงการไหลของกระแสในทิศทางที่ตรงข้าม อย่างไรก็ตามกระแสจะไหลขณะที่ลวดกำลังเคลื่อนที่เท่านั้น

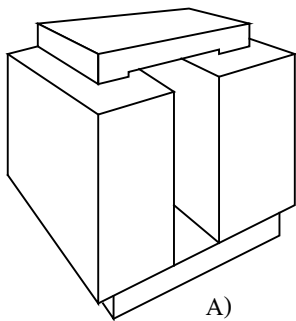


โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชุด ถูกแยกออกจากกันทางไฟฟ้า แต่จะมีแกนเหล็กเป็นทางเชื่อม อย่างไรก็ตามขดลวดสองชุดพันบนแกนเดียวกัน กระแสในขดลวดปฐมภูมิทำให้แกนเป็นแม่เหล็ก กระแสนี้ผลิตสนามแม่เหล็กในแกน ซึ่งมีผลต่อกระแสทั้งในปฐมภูมิและทุติยภูมิมีการออกแบบแกนของหม้อแปลงเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกัน:

1.

แกนแบบคอร์ (Core type) แสดงในรูป A) มีแกนข้างในขดลวด

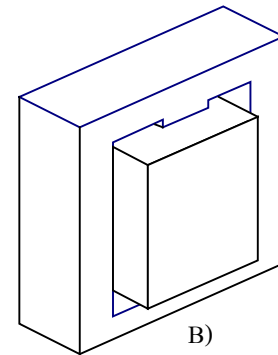


A)

A) แกนแบบ Core มีแกนข้างในขดลวด

2.

แกนแบบเชลล์ (Shell type) แสดงในรูป B) มีแกนล้อมรอบขดลวดหรืออยู่ภายนอกขดลวด



B)

B) แบบ Shell มีแกนล้อมรอบหรือภายนอกขดลวด



การพันขดลวดแบบต่างๆ

1.

แบบคอนเซนตริก (Concentric) หรือทรงกระบอกคือการพันขดลวดที่มีจุดศูนย์กลางการพันแบบนี้จะทำการพันขดลวดแรงดันต่ำไว้ด้านในเพื่อความปลอดภัยเนื่องจากมีกระแสสูง และระบายความร้อนได้ดี

2.

การพันแบบแซนด์วิช (Sandwich) การพันแบบนี้จะแบ่งขดลวดแรงดันต่ำออกเป็น 2 ส่วนแต่ละครึ่งของขดลวดแรงดันต่ำจะประกบหุ้มท้ายของขดลวดแรงดันสูง การพันขดลวดแบบนี้จะช่วยลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลให้น้อยลง

3.

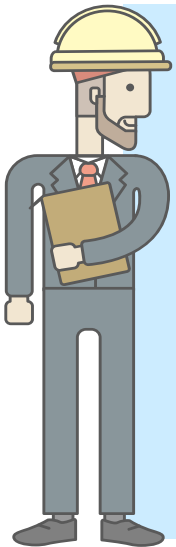
การพันแบบแพนเค้ก การพันขดลวดแบบนี้จะพันเป็นชุดๆ ในหนึ่งชุดจะมีการพันจากด้านในสุดออกมายังด้านนอกสุด ในแต่ละชุดจะทำการต่อแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ แต่การพันแบบนี้จะมีข้อยุ่งยากในการพันมากกว่าแบบอื่นๆ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2

หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

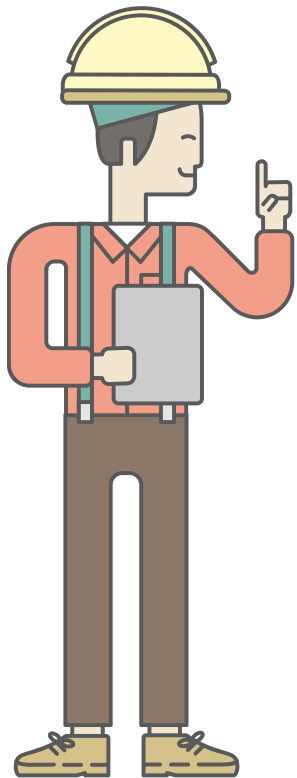
หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้ามีมากมายหลายขนาด หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ หม้อแปลงขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ หม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีขดลวดอย่างน้อยที่สุดหนึ่งชุด โดยปกติจุดประสงค์ของหม้อแปลงไฟฟ้าคือ เปลี่ยนระดับของแรงดันไฟฟ้า แต่บางครั้ง หม้อแปลงไฟฟ้าถูกใช้เพื่อแยกโหนดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

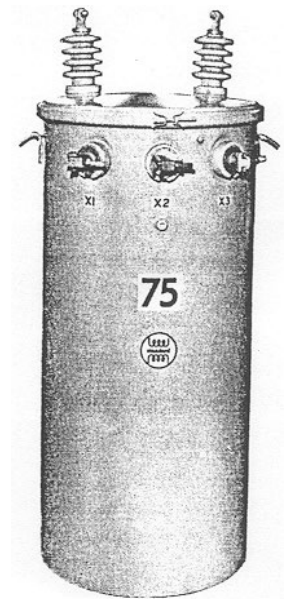


หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมาตรฐานมีขดลวดสองชุดขดลวดเหล่านี้เรียกว่า ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ ขดลวดปฐมภูมิคือ ขดลวดที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ขดลวดทุติยภูมิ คือ ขดลวดที่เชื่อมต่อกับโหลด ไม่มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดทุติยภูมิและขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิรับแรงดันไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงขึ้น (Step-up transformer) อยู่ที่สถานีจ่ายกำลังไฟฟ้าเช่น แรงดันไฟฟ้าถูกกำเนิดที่ 13,800 โวลต์ ปรับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็น 345,000 โวลต์ สำหรับในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปในระบบสายส่ง และจะปรับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงที่สถานีไฟฟ้าย่อยให้อยู่ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 15,000 โวลต์

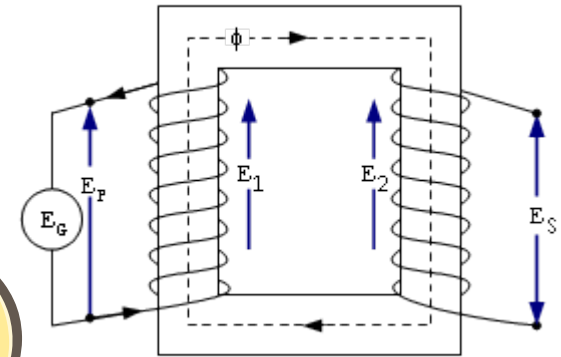
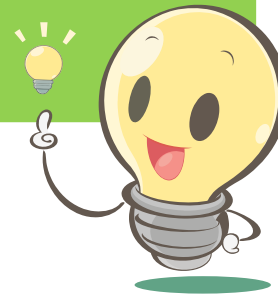


หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดใหญ่ในลักษณะเดียวกันมีครีบบระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนในหม้อแปลง หม้อแปลงไฟฟ้าตั้งใกล้จุดที่ถูกใช้กำลังไฟฟ้า



หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับ
ลดแรงดันไฟฟ้าจะแสดงเครื่องหมาย
ของขั้วสายกำลัง (Standard transformer Co.)

ในการอธิบายจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแกนเหล็ก
แบบคอร์ในการแสดงหลักการทำงานของหม้อแปลง
ไฟฟ้า



แสดงวงจรหม้อแปลงไฟฟ้า

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ให้เกิดขึ้นในแกนเหล็ก เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งในขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำขดลวดแต่ละขดด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนเดียวกันโดยสมมุติว่าไม่มีการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก

เมื่อ E1 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิ

E2 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิ

N1 คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N2 คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิคือ

$$E1 = N1\Delta\phi / \Delta\tau$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดทุติยภูมิคือ

$$E2 = N2\Delta\phi / \Delta\tau$$

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าตามกฎหมายของเลนซ์





หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าในความคิดซึ่งไม่มีการสูญเสียนั้นหมายความว่าขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิทั้งสองชุดไม่มีความต้านทาน ไม่มีกำลังสูญเสียในแกน ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลหรือทั้งหมดของเส้นแรงแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กเชื่อมต่อทางทั้งหมดของแต่ละรอบบนขดลวด

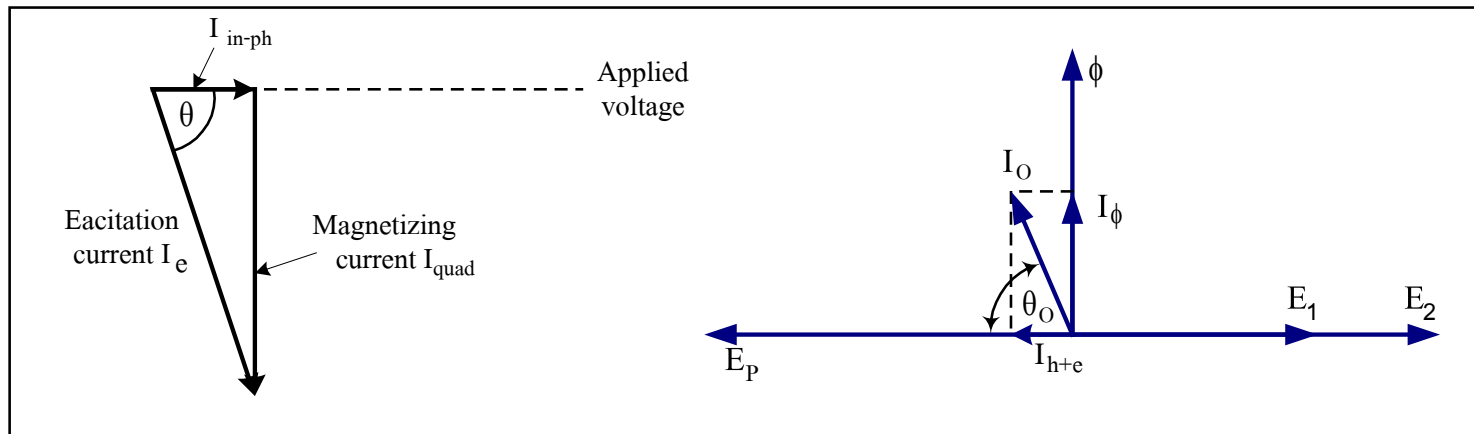


กระแสการกระตุ้น

กระแสการกระตุ้นเกิดจากกระแสสองส่วน ส่วนหนึ่งอยู่ในเฟสเดียวกับแรงดันไฟฟ้า กระแสส่วนนี้ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในแกนซึ่งเกิดจากกระแสไหลวน Eddy currents และ Hysteresis กระแสไหลวนในแกนเกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า แกนทั้งหมดเป็นตัวนำในการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก Hysteresis loss เป็นการสูญเสียเนื่องจากการเก็บพลังงานของวัสดุแม่เหล็กเพื่อใช้สร้าง ลูปฮีสเทอรีซิสในเส้นโค้ง B-H



ส่วนที่สอง เป็นกระแสกระตุ้นแม่เหล็กในแกน คือ กระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกระแสซึ่งแจกจ่าย Shuttle power คือกำลังที่สะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กและเป็นสนามแม่เหล็กกลับไปสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสองครั้งแต่ละรอบของความถี่ กระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจะมีความต่างเฟสกับแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา เฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสการกระตุ้น



Phasor diagram สำหรับกระแสการกระตุ้น กระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก จะมีความต่างเฟสกับแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา



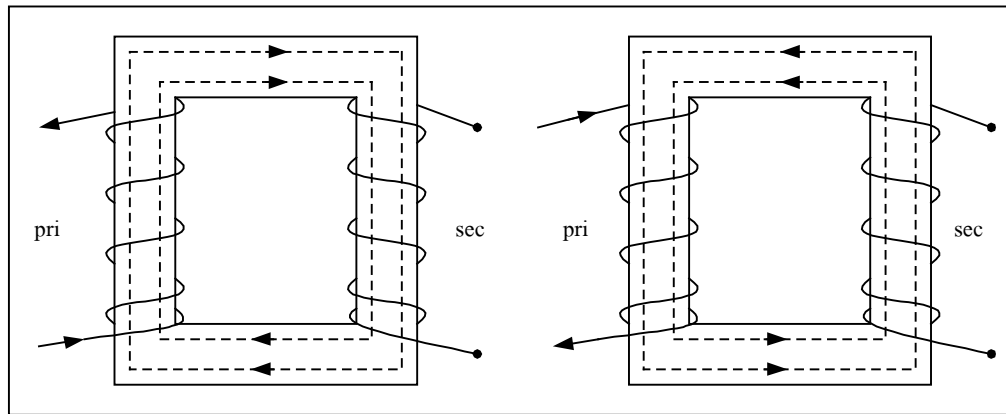
ขดลวดทุติยภูมิ

สิ่งสำคัญที่ต้องจดจำ คือ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ขณะนี้ไม่มีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงเนื่องจากขั้วของหม้อแปลงเปิด ขดลวดทุติยภูมิในความเป็นจริงจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า กระแสจะไหลถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่างขั้วของขดลวดทุติยภูมิ นั่นคือการจ่ายกระแสให้กับโหลด



แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำในทุติยภูมิ

เส้นแรงแม่เหล็กที่แกนเป็นทางเชื่อมขดลวดทุติยภูมิได้เหมือนกับขดลวดปฐมภูมิ ในขดลวดปฐมภูมิเป็นการเหนี่ยวนำในตัวเอง ในการคำนวณสมมุติว่าไม่มีการสูญเสียในขดลวด แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่การเหนี่ยวนำจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด



การขยายตัวและการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก (ที่ทำโดยกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิ)

เหนี่ยวนำแรงดันเข้าไปในขดทุติยภูมิ



สำหรับตัวอย่าง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด 120 โวลต์ จะเหนี่ยวนำด้วยตัวเองทำให้เกิด แรงดันไฟฟ้าต้านกลับในขดลวดปฐมภูมิ 120 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เหนี่ยวนำ คือ ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่มีการเหนี่ยวนำในแต่ละรอบ หรือวนซ้ำของขดลวด ถ้าขดลวดมี 12 รอบ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับในขดลวดแต่ละขดจะต้องเป็น 10 โวลต์ การเหนี่ยวนำเข้าไปในขดลวดแต่ละรอบ

ขดลวดทุติยภูมิถูกเชื่อมโดยเส้นแรงแม่เหล็กเดียวกันนี้ เพราะฉะนั้นต้องมีแรงดันไฟฟ้าจำนวนเดียวกันการเหนี่ยวนำในแต่ละรอบ ถ้าแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ถูกการเหนี่ยวนำในแต่ละรอบ ของขดลวดปฐมภูมิ ในขณะนั้นต้องเป็น 10 โวลต์ของการเหนี่ยวนำในแต่ละรอบของขดลวดทุติยภูมิ ถ้าขดลวดทุติยภูมิมีจำนวน 6 รอบ ก็จะมีแรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ที่ขั้วของขดลวดทุติยภูมิ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (การยุบตัวและการขยายตัวของสนามแม่เหล็ก) จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิและมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ เพราะฉะนั้นสนามแม่เหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือจากจุดสูงสุดในซีกบวกและที่จุดสูงสุดในซีกลบจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นในครึ่งรอบของคลื่นรูปไซน์ หรือในช่วงเวลา $T/2$ เมื่อ T คือ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงครบหนึ่งรอบของสนามแม่เหล็ก

$$\text{จาก } T = 1/f \text{ จะได้ว่า } T/2 = 1/2f$$



แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับจำนวนรอบคูณกับค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดในซีกบวก (หรือสูงสุดในซีกลบ)หารด้วยเวลาหนึ่งในสี่รอบของคลื่นรูปไซน์

$$\text{เขียนเป็นสมการจะได้ } E_{av} = N\phi\mu / (1 / 4\phi) = 4N\phi\mu\phi$$

$$\text{และ } E_{rms} = E = 1.11 E_{av}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } E = 4.44N\phi\mu\phi$$

$$\text{แต่ } \phi\mu = BmA$$

เมื่อ Bm คือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ / ตารางเมตร)

$\phi\mu$ คือเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (เวเบอร์)

A คือพื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่าน (ตารางเมตร)

$$\text{จะได้ว่า } E_1 = 4.44N_1\phi\mu\phi = 4.44N_1 BmAf$$

$$\text{และ } E_2 = 4.44N_2\phi\mu\phi = 4.44N_2 BmAf$$

อัตรารอบ

แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดปฐมภูมิหารจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ จะได้
โวลต์ต่อรอบ และจะเท่ากับโวลต์ต่อรอบของขดทุติยภูมิ สมการในทางคณิตศาสตร์ คือ

$$E_1 N_1 = E_2 N_2$$

E_1 คือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดปฐมภูมิ (โวลต์)

N_1 คือจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ (รอบ)

E_2 คือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดทุติยภูมิ (โวลต์)

N_2 คือจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ (รอบ)

สมการนี้สมมุติแรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เหนี่ยวนำในปฐมภูมิเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดทุติยภูมิ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$E_1 = E_2 \times (N_1 / N_2)$$

อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิและจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ (N_1 / N_2) เรียกว่า อัตรารอบ

โดยปกติจะไม่รู้จำนวนของรอบของขดลวด ทางผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าจะบอกอัตรารอบ โดยสมการอัตรารอบ N_1 / N_2 จะแทนโดยตัวอักษร “a” แล้วจะได้สมการเป็น

$$E_1 = E_2 \times a \text{ หรือ } E_2 = E_1 / a$$

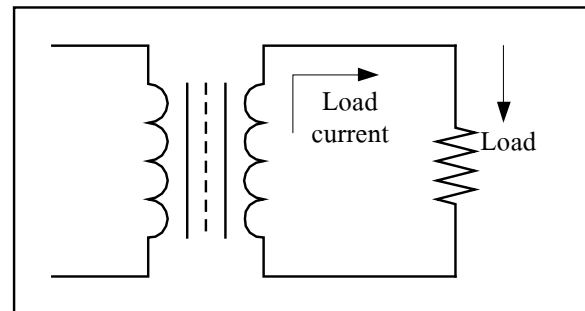




กระแสไหลในทุติยภูมิ

ไม่มีกระแสในขดลวดทุติยภูมิถ้าไม่มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างขั้ว กระแสจะเกิดในขดลวดปฐมภูมิเท่านั้น คือ กระแสการกระตุ้นและถ้ามีการเชื่อมต่อความต้านทานโหลดเข้าที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

โหลดต่ออนุกรมกับขดลวดทุติยภูมิ เพราะฉะนั้น กระแสผ่านโหลดจะไหลผ่านขดลวดชุดนี้ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น สนามแม่เหล็กที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีมุม 180° ต่างเฟสกับสนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิและต้านกับสนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิ



กระแสไหลผ่านที่ขดลวด
ทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า



เมื่อสนามแม่เหล็กทั้งสองรวมกัน ซึ่งเกิดขึ้นทั้งหมดครั้งเดียว

1. สนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิอ่อนลง แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่ขดลวดปฐมภูมิลด
2. กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิเพิ่มขึ้น เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิเพิ่มขึ้น
3. สนามแม่เหล็กขดลวดทุติยภูมิถูกหักล้างโดยสนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิพิเศษ ในแกนจะเหลือสนามแม่เหล็กเดิมจากกระแสที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก



การดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ในขณะที่โหลดเปลี่ยนจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กในแกน สนามแม่เหล็กขดลวดทุติยภูมิ คือ ผลคูณของกระแสกับจำนวนของรอบ ($N_2 I_2$) สนามแม่เหล็กขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเท่ากับสนามแม่เหล็กขดลวดทุติยภูมิ คือ ผลคูณของกระแสและรอบ ($N_1 I_1$) ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะดึงกระแสโดยอัตโนมัติจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า $N_1 I_1 = N_2 I_2$ กระแสการกระตุ้นจะไม่นำมาคิดเนื่องจากเป็นส่วนเล็กน้อยของผลรวมกระแส



กระแสไฟฟ้าในหม้อแปลงไฟฟ้า

สมการกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

สามารถเขียนอีกครั้งได้เป็น

$$I_2 = I_1 \times (N_1 / N_2)$$

โดยเฉพาะ N_1 / N_2 คืออัตรารอบ “a” เพราะฉะนั้น สามารถเขียนสมการได้

$$\begin{aligned} I_2 &= I_1 \times a \text{ หรือ} \\ I_1 &= I_2 / a \end{aligned}$$





กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนระดับแรงดันและกระแส สิ่งที่หม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนคือ กำลังของหม้อแปลง ถ้ายกเว้นค่าสูญเสียกำลังหม้อแปลงทางด้านรับ จะเท่ากับกำลังหม้อแปลงทางด้านจ่ายออก สามารถแทนกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏและกำลังไฟฟ้าต้านกลับด้วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริง

นั่นคือ กำลังทางด้านรับ (VA) = กำลังทางจ่าย (VA)

$$E_{\text{pri}} \times I_1 = E_{\text{sec}} \times I_2$$

$$E_{\text{pri}} I_1 = E_{\text{sec}} I_2$$

จะได้ว่า

$$E_{\text{pri}} / E_{\text{sec}} = I_2 / I_1 = a$$

จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับอัตรารอบของหม้อแปลงไฟฟ้า



หม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

กรณีนี้ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่มี การต่อโหลด เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ ขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้มีกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งกระแสนี้คือผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแส ที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กในแกน (I_ϕ) ซึ่งล้าหลังแรงที่จ่ายให้กับขดปฐมภูมิอยู่ 90 องศา กับกระแสที่ทำให้ เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก (I_{h+e}) ซึ่งอยู่ในเฟสกับแรงที่จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิ ส่วนกระแสที่ทำให้ เกิดการสูญเสียในขดลวดมีค่าน้อยมากจึงไม่น่ามาคิด ดังนั้นกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิจะมีค่าเพียง เล็ก น้อย เมื่อ เทียบ กับ กระแส เต็ม พิกัด ส่วน ทาง ด้าน ทุ ตี ย ภู มิ จะ ไม่ มี กระแสไหล ดังนั้นกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดทางด้านปฐมภูมิ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(I_0)^2 = (I_\phi)^2 + (I_{h+e})^2$$

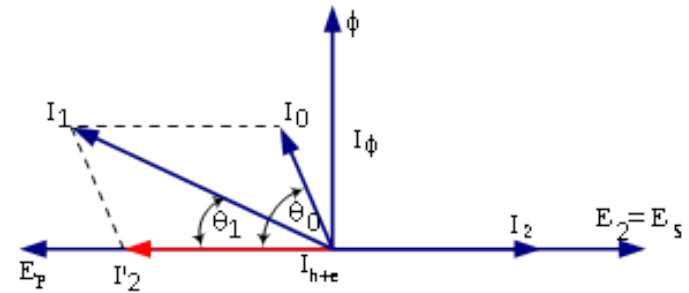
เมื่อ I_0 คือกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดทางด้านปฐมภูมิ

I_ϕ คือกระแสการกระตุ้นแม่เหล็กในแกน

I_{h+e} คือกระแสที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก



และสามารถนำค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด มาเขียนเป็นแผนภาพเฟสเซอร์หรือเวกเตอร์ไดอะแกรมได้



เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

จากเวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดจะเห็นได้ว่า

$$I_{\phi} = I_0 \sin \theta_0 \text{ และ } I_{h+e} = I_0 \cos \theta_0$$

เมื่อ $\cos \theta_0$ เป็นค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

ดังนั้น กำลังทางด้านรับไฟของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดคือค่าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด หาได้จาก

$$P_0 = E_1 I_0 \cos \theta_0$$



หม้อแปลงไฟฟ้าขณะมีโหลด

กรณีนี้ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีการต่อโหลด เมื่อมีโหลดต่อเข้ากับขดลวดทุติยภูมิ จะมีกระแส I_2 ไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิ ขนาดของกระแสและมุมต่างเฟสของกระแส I_2 กับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางด้านทุติยภูมิ E_{sec} จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของโหลดหรือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลด ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ

1 เมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน (Resistive load) หรือโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับหนึ่ง (Unity p.f.) กระแส I_2 จะอยู่ในเฟสกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางด้านทุติยภูมิ E_{sec}

2 เมื่อโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive load) หรือโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ล่าช้า (Lagging p.f.) กระแส I_2 จะล่าช้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางด้านทุติยภูมิ E_{sec} เป็นมุม θ_2

3 เมื่อโหลดเป็นตัวเก็บประจุ (Capacitive load) หรือโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นำหน้า (Leading p.f.) กระแส I_2 จะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางด้านทุติยภูมิ E_{sec} เป็นมุม θ_2

การเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะมีโหลดจะแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1.

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า E_{pri} ให้กับวงจรขดลวดปฐมภูมิขณะไม่มีโหลดจะมีกระแส I_0 ไหลในขดลวดปฐมภูมิและสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_μ ขึ้นในแกนเหล็กและจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดปฐมภูมิคือ E_1 และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดทุติยภูมิคือ E_2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะต่างเฟสกับแรงดันที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ 180 องศา

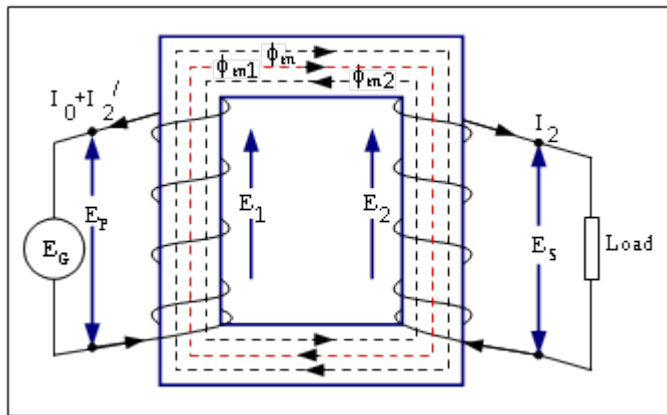
2.

เมื่อต่อโหลดเข้าทางด้านทุติยภูมิจะทำให้มีกระแส I_2 ไหลในขดลวดทุติยภูมิ โดยกระแสนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก $\phi_{\mu 2}$ ในแกนเหล็กด้วยแรงเคลื่อนแม่เหล็ก $N_2 I_2$ และมีทิศทางต่อต้านกับ ϕ_μ ทำให้ ϕ_μ ลดลงมีผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ E_1 ลดลงด้วย

3.

เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ E_1 ลดลงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง E_p กับ E_1 ทำให้เกิดกระแส I_2' ขึ้นทางด้านปฐมภูมิ และกระแส I_2' สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก $\phi_{\mu 1}$ ขึ้นมีทิศทางตรงข้ามกับ $\phi_{\mu 2}$ แต่มีขนาดเท่ากัน โดยที่ยังมีกระแส I_2 ทางด้านทุติยภูมิ กระแส I_2' จะขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดและอัตรารอบของหม้อแปลงไฟฟ้า ในขณะนี้กระแสทางด้านปฐมภูมิจะกลายเป็น I_1 และเท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ระหว่าง I_0 กับ I_2'

จะได้ว่า $I_1 = I_0 + I_2$ ดังรูป



แสดงผลรวมทางเวกเตอร์ ของ I_1

4.

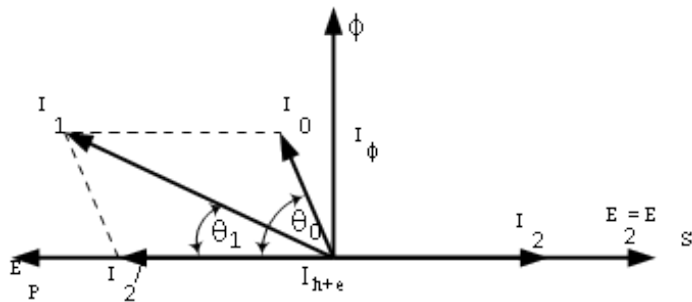
เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_{m1} และ ϕ_{m2} มีค่าเท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกัน จึงหักล้างกันหมด เหลือเพียงเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_m เพียงอย่างเดียวแต่กระแสจะเปลี่ยนจาก I_0 เป็น I_1 และทางด้านทุติยภูมิ ยังมีกระแส I_2 เหมือนเดิม

จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จะเห็นได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดขดลวดทั้งสองในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานขณะมีโหลดจะมีค่าเท่ากับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในกรณีที่ไม่มีโหลด และเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_m จะมีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม ดังนั้นจึงทำให้ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) มีค่าคงที่ด้วย

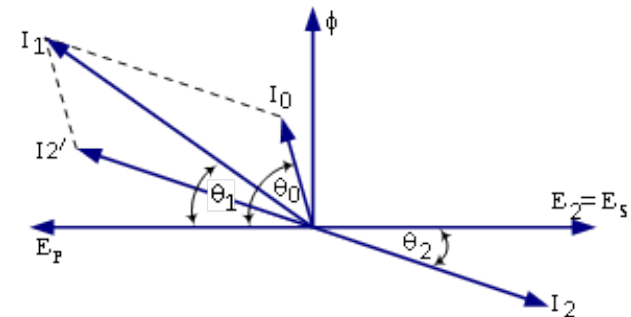
จากที่

$$\begin{aligned} \phi_{m1} &= \phi_{m2} \\ \text{จะได้ } N_1 I_2' &= N_2 I_2 \\ I_2' &= (N_2 / N_1) I_2 \\ &= (1 / a) I_2 \\ I_2' &= I_2 / a \end{aligned}$$

ฉะนั้นเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในขณะมีโหลด กระแสทางด้านปฐมภูมิจะมีสองส่วนคือ I_0 กับ I_2' และ I_2' นี้จะมีทิศทางของเฟสตรงข้ามกับ I_2 และมีขนาดเท่ากับ I_2 หากด้วย a กระแสทั้งหมดทางด้านปฐมภูมิ ก็คือผลบวกทางเวกเตอร์ ของ I_0 กับ I_2' ดังแสดงในรูป



เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้า
ขณะมีโหลด มีอัตรารอบเท่ากับ 1
และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เท่ากับ 1
(โหลดเป็นตัวความต้านทาน)



เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงไฟฟ้า
ขณะมีโหลด มีอัตรารอบเท่ากับ 1
และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ล้าหลัง
(โหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ)

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3

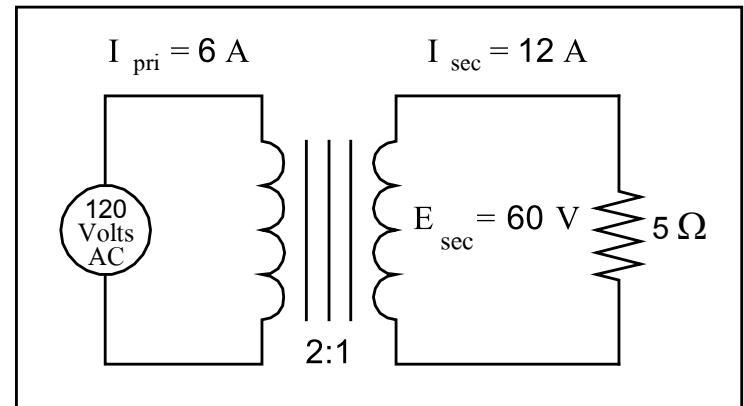
การทดสอบหาการสูญเสีย ในหม้อแปลงไฟฟ้า

วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้า



ความต้านทานเทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้า

เพื่อแสดงการจ่ายกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า จะใช้ตัวอย่างง่ายๆ จากรูปอัตราหม้อแปลง 2:1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงลงมี 120 โวลต์ที่ขดลวดปฐมภูมิ เพราะฉะนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ ที่ขดทุติยภูมิ ความต้านทานบนทุติยภูมิ 5 โอห์มจะมีกระแสเท่ากับ 12 แอมป์ เพราะฉะนั้นกระแสขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 6 แอมป์ไม่มีการคิดความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับ สามารถคำนวณกำลังหม้อแปลงโดยการคูณแรงดันกับกระแส



เมื่อเราไม่คิดค่าสูญเสีย
กำลังที่ส่งออกเท่ากับกำลังรับเข้ามา

กำลังที่ใช้โดยโหลดคือ $(60 \times 12) 720$ วัตต์ กำลังที่จ่ายโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าคือ $(120 \times 6) 720$ วัตต์

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากทุติยภูมิ เป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับในขดลวดปฐมภูมิ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับทำให้เกิดกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิเพิ่มขึ้น แหล่งจ่ายก็จะจ่ายกระแส จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าและกระแสอยู่ในเฟสการต่อต้านจากแรงดันไฟฟ้าต้านกลับดูเหมือนกับการต่อต้าน จากความต้านทาน

ในวงจรขดลวดปฐมภูมิมีกระแสไหล 6 แอมป์เมื่อแรงดันที่จ่ายให้เท่ากับ 120 โวลต์ อัตราส่วนระหว่างแรงดันและกระแสทำให้สามารถรู้ค่าความต้านทานเทียบเท่าในวงจรขดลวดปฐมภูมิได้ ในที่นี้คือ $(120/6)$ หรือ 20 โอห์ม

วงจรเทียบเท่าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า แต่จะมองเห็นหม้อแปลงไฟฟ้าคือความต้านทาน ซึ่งค่าของความต้านทานนี้คือความแตกต่างจาก ความต้านทานโหลดเปลี่ยนรูปโดยอัตราของหม้อแปลงไฟฟ้า ในบางครั้งต้องการรู้ค่าโดยการมองจากโหลดไปสู่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เรียกว่า การย้ายความต้านทาน (หรือ รีแอคแตนซ์) ไปยังด้านปฐมภูมิ

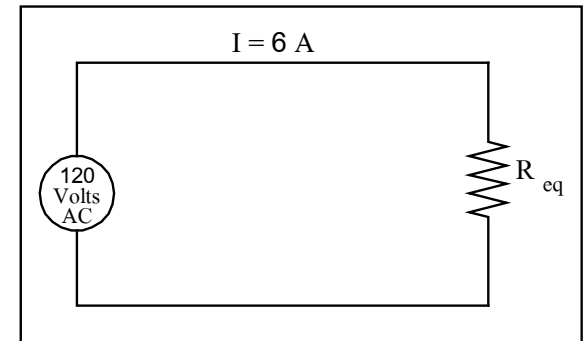
การย้ายค่าความต้านทาน, รีแอคแตนซ์หรืออิมพีแดนซ์ไปยังด้านปฐมภูมิ ทำได้โดยการคูณค่าความต้านทาน, รีแอคแตนซ์หรืออิมพีแดนซ์ กับอัตราอบยกกำลังสอง เช่น มีความต้านทานโหลด 5 โอห์ม ต่ออยู่กับขดลวดทุติยภูมิ อัตราอบ 2:1 จะมองเห็นเหมือนกับมีความต้านทาน 20 โอห์มต่ออยู่กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

$$R_{eq} = R_{load} \times a^2 = 5 \times 2^2 = 5 \times 4$$
$$R_{eq} = 20 \Omega$$

ในทำนองเดียวกัน โหลดมีความต้านทาน 15 โอห์ม เมื่อย้ายค่าไปยังด้านปฐมภูมิจะได้ค่าความต้านทานเทียบเท่า $(15 \times 4) = 60$ โอห์ม

ความต้านทานยังสามารถย้ายค่าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ โดยการนำค่าความต้านทาน (หรือรีแอคแตนซ์) ที่จะย้ายค่าไปยังด้านทุติยภูมิหารด้วยอัตราอบยกกำลังสอง

$$R_{eq(sec)} = R_{pri} / a^2$$



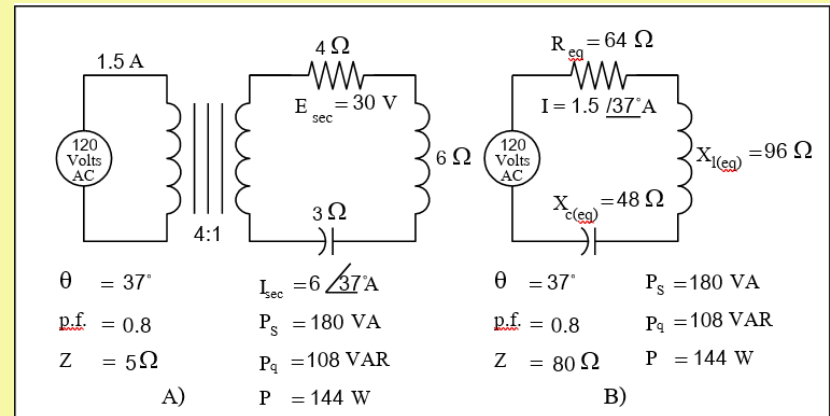
วงจรเทียบเท่าของ
หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ
กับโหลดความต้านทาน



รีแอคแตนซ์เทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้า

ถ้าโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นคาปาซิเตอร์หรือขดลวด กระแสที่ขดลวดทุติยภูมิจะต่างเฟสกับแรงดันทุติยภูมิ 180 องศา สนามแม่เหล็กของขดลวดทุติยภูมิยังคงล่าหลังแรงดันไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ มุมเฟสของขดลวดทุติยภูมิตรงกันข้ามกับขดลวดปฐมภูมิโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อใช้กับรีแอคทีฟโหลด
รูป A) วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้ารูป B)
ผลที่ได้จากการถ่ายโอนหรือการเปลี่ยนรูปใน
ความแตกต่างแรงดันไฟฟ้า กระแสและ
อิมพีแดนซ์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสหรือ
กำลัง

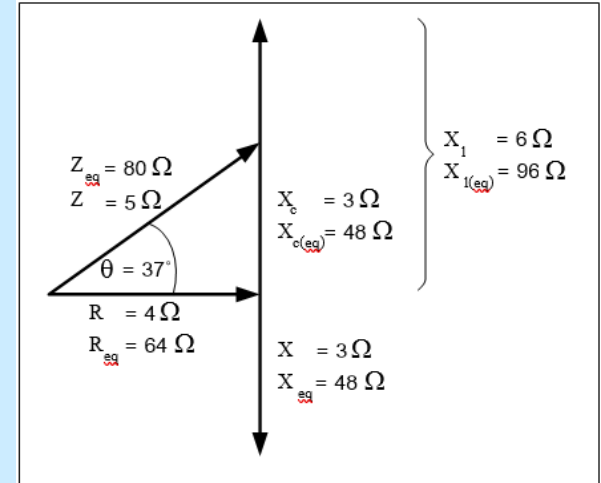


การต่อโหลดกับหม้อแปลงไฟฟ้า

A) การต่อวงจรหม้อแปลงไฟฟ้า

B) วงจรเทียบเท่าที่ย้ายค่าไปยังด้านปฐมภูมิ

วงจรขดลวดทุติยภูมิประกอบด้วยความต้านทาน 4 โอห์มต่ออนุกรมกับอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ 6 โอห์ม และคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ 3 โอห์ม แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 120 โวลต์ที่ขดลวดปฐมภูมิ หม้อแปลงนี้เป็นแบบแปลงลง มีอัตรารอบเท่ากับ 4:1



เฟสเซอร์ของอิมพีแดนซ์

ไดอะแกรมสำหรับวงจร

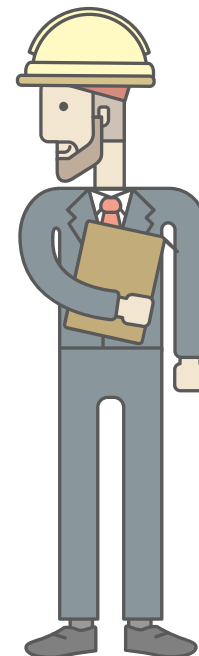


ในขั้นแรกให้ดูที่วงจรขดลวดทุติยภูมิจ่ายแรงดันไฟฟ้าคือ $(120/4) 30$ โวลต์ สามเหลี่ยมอิมพีแดนซ์ เขียนเวกเตอร์จากความต้านทาน 4 โอห์ม และรีแอคแตนซ์ 3 โอห์ม ผลลัพธ์คืออิมพีแดนซ์เท่ากับ 5 โอห์ม

เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) คือค่าโคไซน์ของมุมเฟส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8 มุมเฟสเท่ากับ 37° กระแส เท่ากับ $(30/5) 6 \angle 37^\circ$ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏเท่ากับ $(30 \times 6) = 180 \text{ VA}$ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้ $(180 \times 0.8) = 144 \text{ วัตต์}$ กำลังไฟฟ้าต้านกลับ $(108 \times 0.6) = 64.8 \text{ VAR}$

ตอนนี้ให้มองค่าต่างๆทั้งหมดนี้เกิดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ดังรูปที่ 3.3 B เนื่องมาจากค่าเทียบเท่าที่ย้ายมาทางด้านปฐมภูมิถ้านำไปคิดทางด้านทุติยภูมิต้องคูณด้วย a^2 ($4^2 = 16$)

ความต้านทาน	(4×16)	$=$	64Ω
อินดักทีฟรีแอกแตนซ์	(6×16)	$=$	96Ω
คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์	(3×16)	$=$	48Ω
รีแอกแตนซ์รวม	$(96 - 48)$	$=$	48Ω





อิมพีแดนซ์ไดอะแกรม

สามารถหามุมเฟสโดยการคำนวณจากค่าอัตราส่วนระหว่างด้านตรงข้ามมุมกับด้านประชิดมุม (tangent)

$$\tan\theta = X_L / R = 48 / 64 = 0.75$$

มุมของ tangent 0.75 คือ 37° และจะมีค่าเท่ากับมุมเฟสของทุติยภูมิ เพราะฉะนั้น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\cos 37^\circ$) 0.8

การย้ายค่าอิมพีแดนซ์ทำได้โดยการเอา a^2 คูณกับอิมพีแดนซ์ของโหลด (5×16) และยังสามารถย้ายค่าความต้านทานโดยนำค่าความต้านทานหารด้วย $\cos 37^\circ$ ($64/0.8$) จะได้ค่าเท่ากับ 80 โอห์ม แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วเท่ากับ 120 โวลต์ ความต้านทาน 80 โอห์ม กระแสที่ขดปฐมภูมิ $1.5 \angle 37^\circ$ A เช่นเดียวกัน $I_{pri} = I_{sec} / a = 6 / 4 = 1.5 \angle 37^\circ$ A

กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏเท่ากับ 180 VA (120×1.5) กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้คือ 144 W (180×0.8) กำลังไฟฟ้าต้านกลับคือ 108 VAR (180×0.6) ดังนั้นจะเห็นกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าคือตัวเดียวกันกับกำลังไฟฟ้าจ่ายโหลด แรงดันไฟฟ้าต้านกลับในปฐมภูมิจะเป็นตัวกำหนดว่าจะใช้กระแสเท่าไรจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ค่าของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าต่อรอบ และกำหนดโดยค่าของกระแสที่ทุติยภูมิ



หม้อแปลงไฟฟ้าในความเป็นจริง

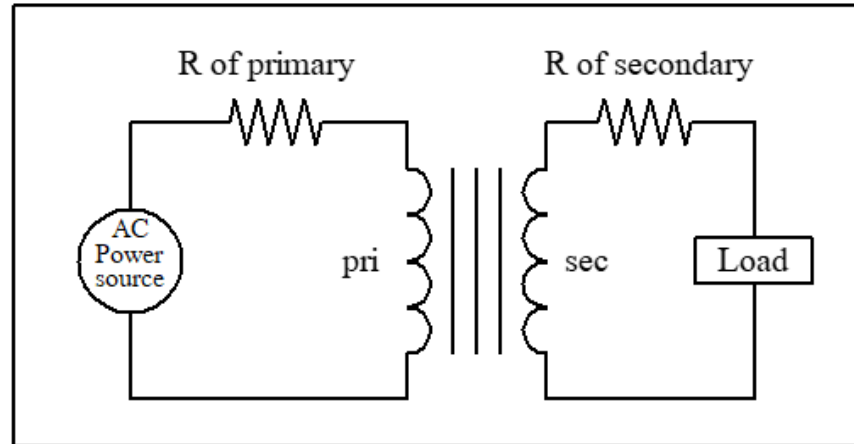
ในการหาค่าต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกต้องมากที่สุด เมื่อต้องการรู้ค่าสูญเสียที่ถูกต้องแท้จริง จากการทดสอบวงจรเปิดสามารถคำนวณค่าสูญเสียในแกน ค่าสูญเสียแกนเปรียบเสมือนโหนดของหม้อแปลงไฟฟ้า มีค่าสูญเสียอยู่สองประเภทที่เปลี่ยนแปลงตามโหนด คือความต้านทาน และความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับรั่วไหล



ความต้านทาน (Resistance)

ความต้านทานลวดเป็นค่าที่น้อยมากแต่ไม่สามารถตัดทิ้งได้เหมือนกับมีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวด

ความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิ มีผลต่อการลดค่าของแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานนี้รวมกับแรงดันไฟฟ้าต้านกลับจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมนี้เป็นสาเหตุให้มีกระแสไหลมากขึ้น ทำให้ขดลวดทุติยภูมิจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่โหนดลดลง



ความต้านทานของตัวนำของแต่ละรอบ
ทำให้เกิดการสูญเสียในขดลวดทองแดง

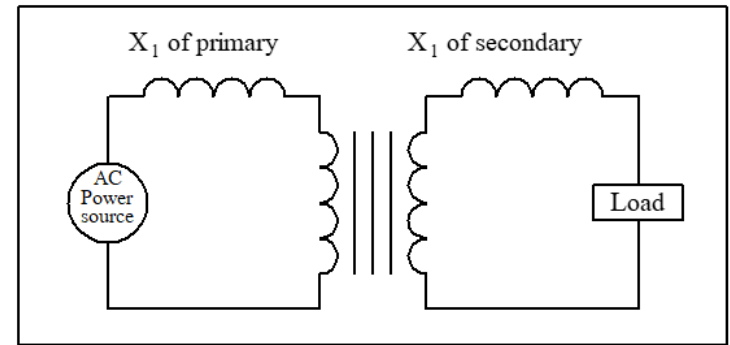
การแสดงความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเพิ่มกับโวลตนั้น กำลังสูญเสียเกิดจากความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ เรียกว่าค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper losses)



ความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับร่วไหล

สมมติว่าทั้งหมดของเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิทั้งหมดแต่ในความเป็นจริงจะมีเส้นแรงแม่เหล็กส่วนหนึ่งตกค้างในแกนและบางส่วนร่วไหลไปในอากาศ เส้นแรงแม่เหล็กส่วนนี้จะเหนี่ยวนำขดลวดปฐมภูมิแต่จะไม่เหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิ ขดลวดปฐมภูมิจะช่วยให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตัวต้านกลับและช่วยให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิเสมือนมีตัวนำอนุกรมกับขดปฐมภูมิ

ความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับร่วไหล เส้นแรงแม่เหล็กร่วไหลทำให้เหมือนกับเป็นโหลดเพิ่ม เส้นแรงแม่เหล็กร่วไหลเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับร่วไหลเพิ่มมากขึ้น นอกเหนือจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ บางส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดทุติยภูมิร่วไหลไปในอากาศจะไม่เหนี่ยวนำขดลวดปฐมภูมิดังนั้นจึงไม่มีผลต่อหม้อแปลงไฟฟ้า แต่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดเพิ่มขึ้น

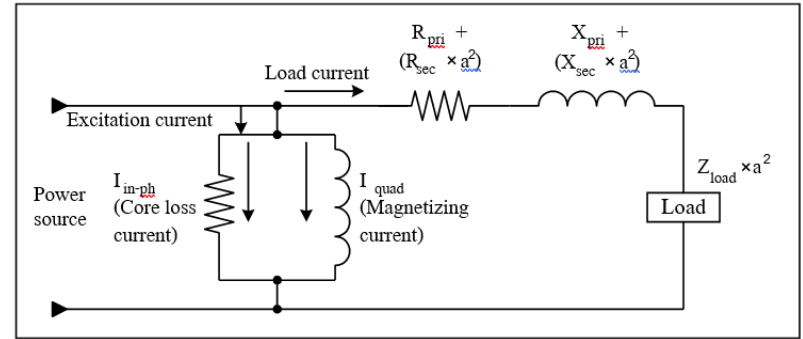


ความต้านทานของขดลวดต่อ
กระแสไฟฟ้าสลับร่วไหลเหมือนกับมี
ตัวนำอนุกรมกับขดลวด



วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงไฟฟ้าในความเป็นจริง

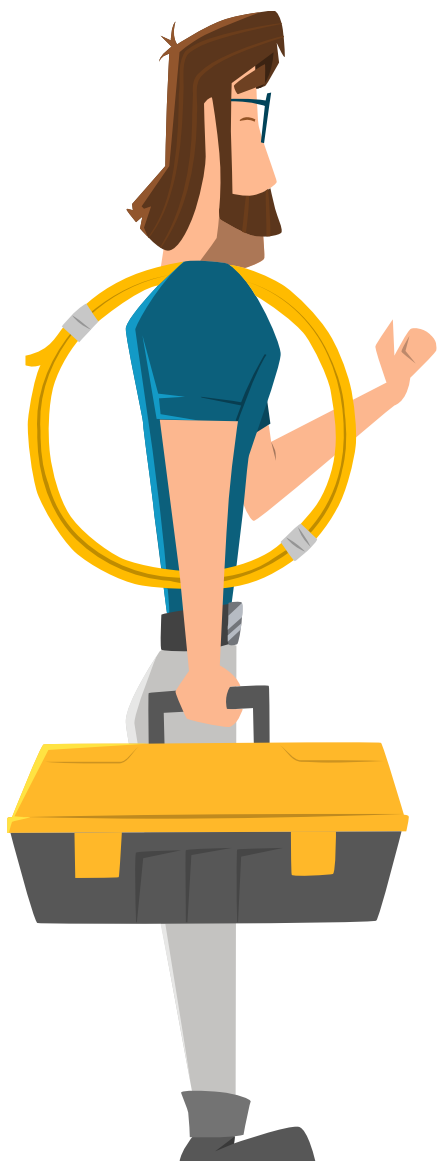
เมื่อมองจากโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า
อันดับแรกมีความต้านทาน และอินดักแตนซ์
ขนานกันอยู่ไม่มีการแยกให้เห็นแต่ละสาขา
อย่างชัดเจนในหม้อแปลงไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม
กระแสที่เกิดขึ้นคือกระแสที่ทำให้เกิดการ
สูญเสียในแกนและกระแสที่ทำให้เกิดเส้นแรง
แม่เหล็ก



วงจรเทียบเท่าที่สมบูรณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าใน
ความเป็นจริงที่รวมถึงสูญเสียในขดลวด

ความต้านทานแทนการสูญเสียในแกนคือกระแส
ที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนและทำมุม 90
องศาซึ่งเหมือนกับตัวเหนี่ยวนำ กระแสจากแหล่งจ่าย
ไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับกระแสของโหลดและกระแสการ
กระตุ้น





ต่อจากนั้นมองค่าความต้านทานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ค่าความต้านทานที่ได้ คือค่าที่แท้จริงของความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิบวกกับค่าความต้านทานเทียบเท่าของขดลวดทุติยภูมิซึ่งค่าความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิได้ย้ายค่าไปยังด้านปฐมภูมิ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะมองเห็นความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิคุณกับอัตรารอบ

ค่าอินดักแตนซ์ คือ ค่าความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับร่วไหลของขดลวดปฐมภูมิรวมกับค่าความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับร่วไหลของขดลวดทุติยภูมิที่ย้ายค่าไปทางด้านปฐมภูมิ

อย่างสุดท้าย เมื่อมีโหลดยังได้ย้ายค่าโหลดไปยังด้านปฐมภูมิ เพราะฉะนั้น แหล่งจ่ายไฟฟ้าเห็นอิมพีแดนซ์ของโหลดคุณกับอัตรารอบ



การคิดค่าแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ

เพื่อให้่ายในการคิด อันดับแรกคิดแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิในขณะไม่มีโหลด เนื่องจากมีกระแสการกระตุ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเกือบไม่มีค่าสูญเสียในขดลวดทองแดงหรือค่าความสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับ เพราะในขณะมีโหลดจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทานและยังมีค่าของความต้านทานของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับรั่วไหลมีผลต่อทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิและมุมเฟสของทุติยภูมิ แต่จะไม่มีผลถ้าอัตรารอบของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าต่ำ สามารถต่อโหลดและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ แต่ไม่สามารถใช้ในทางปฏิบัติได้ อย่างไรก็ตามหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่อาจจะต้องใช้โหลดจำนวนมากสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานเทียบเท่าและรีแอกแตนซ์เทียบเท่า ทำให้สามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิหรือแรงดันไฟฟ้าที่โหลด วิธีการหาค่าเหล่านี้ได้จากการทดสอบลัดวงจร (Short circuit test)

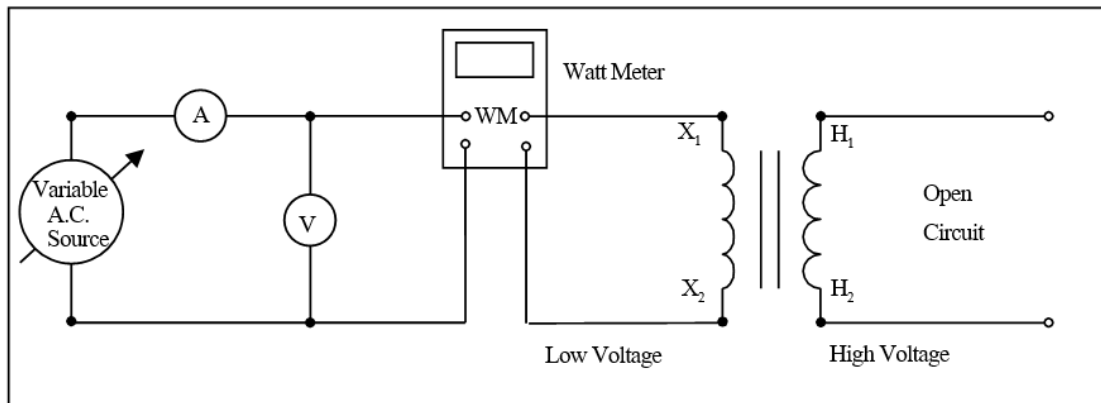


ทดสอบเปิดวงจร

ในทางปฏิบัติการสูญเสียในแกนเป็นส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า จะไม่สามารถวัดค่าการสูญเสียในแกนได้ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตามการสูญเสียในแกนสามารถหาได้โดยวิธีการหนึ่งเรียกว่า “การทดสอบเปิดวงจร”

จำนวนของการสูญเสียแกน คือการสูญเสียที่เกิดจากกระแสส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กจะเป็นตัวเหนี่ยวนำขดลวดในแต่ละรอบเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้า ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดปฐมภูมิ ส่วนทางด้านทุติยภูมิเปิดวงจร การสร้างสนามแม่เหล็กนี้ก็คือโหนดของทางด้านทุติยภูมิ เพราะฉะนั้นกระแสไหลวนและ Hysteresis ก็คือการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามกระแสที่วัดได้ คือกระแสการกระตุ้น เป็นการแสดงไดอะแกรม สำหรับทดสอบเปิดวงจร ไม่คิดกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยความต้านทานของลวด ดังนั้นกระแสและความต้านทานไม่นำมาคิดในการคำนวณ



ระหว่างทำการทดสอบเปิดวงจร แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์
ควรปลดออกเมื่อทำการวัดกำลังไฟฟ้า

ทดสอบลัดวงจร

การทดสอบลัดวงจรต้องทำอย่างระมัดระวัง อันดับแรกทำการลัดวงจรทางด้านแรงดันต่ำ จ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ให้กับด้านแรงดันสูงโดยเริ่มต้นที่ศูนย์และปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายขึ้นมาอย่างช้าๆ ไดอะแกรมของการทดสอบลัดวงจร ซึ่งมีค่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าทางแรงดันด้านสูง กระแสพิกัดจะไหลในขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

สามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏจากแรงดันไฟฟ้าและกระแส และสามารถคำนวณค่าของความต้านทานเทียบเท่าและรีแอคแตนซ์เทียบเท่า



หน่วยการเรียนรู้ที่ 4

โวลต์เตจเรกกูเลชันและประสิทธิภาพ

โวลต์เตจเรกกูเลชัน

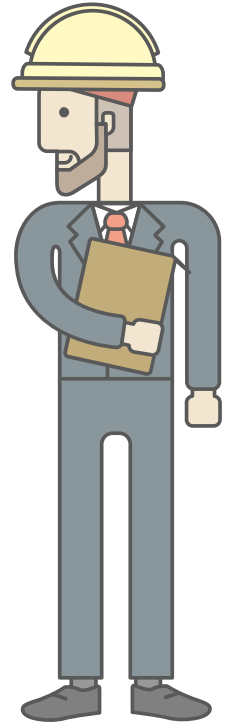
○

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีความแตกต่างกันถ้ามีโหลดที่แตกต่างกันเพราะว่ากระแสไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิ ถ้ากระแสนี้มากก็จะมีแรงดันตกคร่อมที่ความต้านทานเทียบเท่ามากด้วย คำนวนหาค่าความต้านทานเทียบเท่าของขดปฐมภูมิ อย่างไรก็ตาม แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจะมองเห็นเป็นค่าความต้านทานเทียบเท่าของขดทุติยภูมิ เพราะฉะนั้นต้องย้ายค่าความต้านทานนี้ไปยังด้านทุติยภูมิ แล้วสามารถเห็นความต้านทานนี้มีผลกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออก



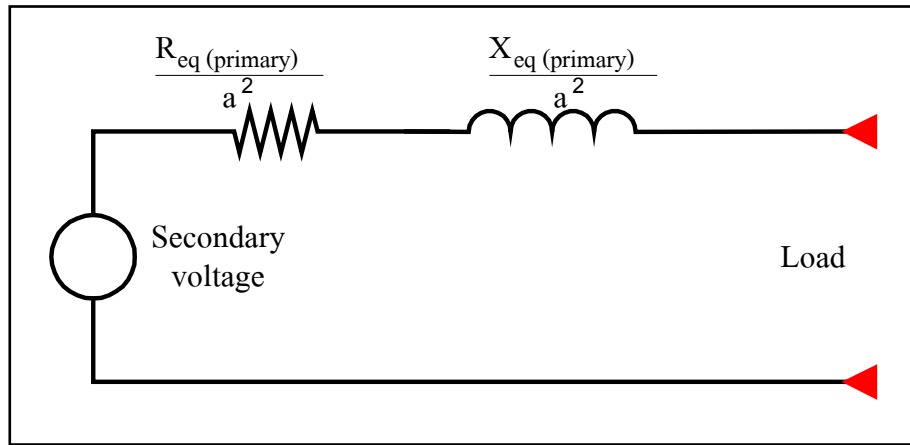
นิยามของโวลต์เตจเรกกูเลชัน

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ ไม่มีความต้านทานหรือรีแอคแตนซ์รั่วไหล แรงดันไฟฟ้าในขณะโหลดเต็มพิกัดคือค่าเดียวกันกับแรงดันไฟฟ้าในขณะไม่มีโหลด โวลต์เตจเรกกูเลชันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าโวลต์เตจเรกกูเลชันจะเป็นตัวบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของขดทุติยภูมิ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเมื่อโหลดเต็มพิกัด อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้คูณด้วย 100 เพื่อให้ได้ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์



สมการของเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกกูเลชันคือ

$$\%VR. = \frac{\text{ดันฟ้าขณะไม่มีโหลด} - \text{แรงดันไฟฟ้าขณะโหลดเต็มพิกัด}}{\text{แรงดันไฟฟ้าขณะโหลดเต็มพิกัด}} \times 100$$



วงจรเทียบเท่าของความต้านทานและรีแอ็กแตนซ์
ร่วไหลโดยมองจากโหลด

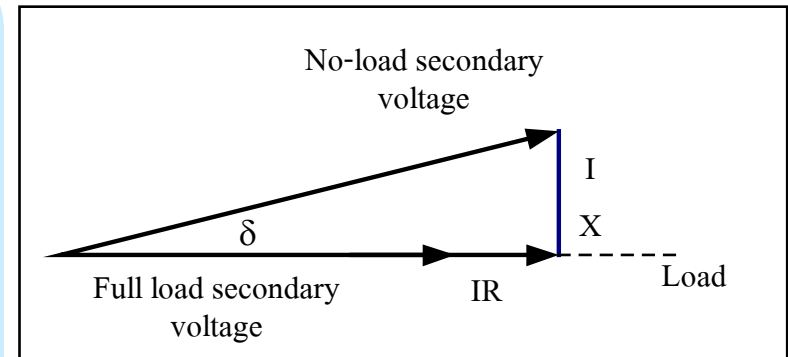
วงจรเทียบเท่าของความต้านทานและรีแอ็กแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าโวลต์เตจเรกกูเลชันจะขึ้นอยู่กับกระแสของโหลด อย่างไรก็ตาม โวลต์เตจเรกกูเลชันยังขึ้นอยู่กับเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดถ้าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 1 กระแสโหลดจะมีค่าเดียว ในทำนองเดียวกันกระแสโหลดจะล้าหลังหรือนำหน้าขึ้นอยู่กับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์





โวลต์เตจเรกกูเลชันเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน

ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีโหลดเต็มพิกัด ในการคำนวณโวลต์เตจเรกกูเลชัน สามารถใช้ การรวมทางเฟสเซอร์ คำนวณแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด กระแสอยู่ในเฟสเดียวกันกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิในขั้นแรกมีเวกเตอร์แนวนอนสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่โหลดเต็มพิกัด แล้วเพิ่มเวกเตอร์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานเทียบเท่าทางด้านทุติยภูมิ (IR) ลากเวกเตอร์ทำมุม 90° อดฉากกับเวกเตอร์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานเทียบเท่าทางด้านทุติยภูมิคือแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (IX) ที่เกิดจากรีแอกแตนซ์รั่วไหลสามารถสร้างสามเหลี่ยมมุมฉากแสดงไม่มีโหลดแรงดันไฟฟ้า

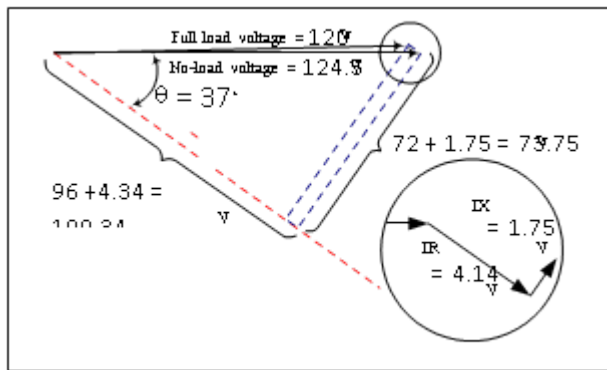


เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้า
ทุติยภูมิเมื่อต่อโหลดความต้านทาน
(ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 1)



โวลต์เตจเรกกูเลชันเมื่อโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ

เมื่อกระแสไหลคล้าหลังแรงดันไฟฟ้าของขดทุติยภูมิ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำจะมีมุมเฟสที่แตกต่างกับแรงดันไฟฟ้าของขดทุติยภูมิ เริ่มจากในแกนนอนเป็นเวกเตอร์สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว เส้นประแสดงกระแสซึ่งล้าหลังแรงดันไฟฟ้า เวกเตอร์ที่แสดงแรงดันตกคร่อมความต้านทาน (IR) ลากต่อจากเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ทิศทางของเวกเตอร์ IR จะขนานกับเส้นกระแส และเวกเตอร์ IX ลากต่อจากเวกเตอร์ IR ทำมุม 90 องศา กับเส้นกระแส เส้นที่ลากจากเวกเตอร์ IX ไปยังจุดสุดท้ายคือแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด



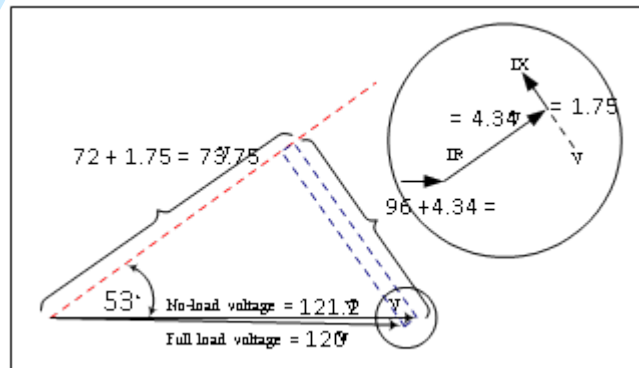
เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ
เมื่อมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ
(เพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง)

ผลรวมของเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้า IX
และแรงดันไฟฟ้าในเฟส คือแรงดันไฟฟ้าตอน
ไม่มีโหลด สามารถแสดงโดยการเขียนเวกเตอร์
ดังรูป



โวลต์เตจเรกกูเลชันเมื่อโหลดเป็นตัวเก็บประจุ

กระแสในทุติยภูมินำหน้าแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำของค่าความเหนี่ยวนำจะไม่ต่อต้านแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ แต่สามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (IR) ขึ้น โวลต์เตจเรกกูเลชันของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าดีกว่าโวลต์เตจเรกกูเลชันของโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า



เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ
เมื่อโหลดเป็นตัวเก็บประจุ มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงคืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจ่ายออกและกำลังไฟฟ้าที่รับเข้ามา ในการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลง ต้องทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่รับเข้ามาและกำลังที่จ่ายออกไป ปัญหาในการหาประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าคือการผิดพลาดในการวัดค่าอย่างเช่น มิเตอร์วัดผิดพลาดไป 3 เปอร์เซ็นต์ หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าสูญเสียเท่านั้น (ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็น 97 เปอร์เซ็นต์) จะเกิดความผิดพลาดเมื่อนำไปคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

วิธีที่ดีกว่าคือใช้ค่าสูญเสียที่คำนวณได้จากการทดสอบเปิดวงจรและทดสอบลัดวงจร วัดกำลังที่จ่ายออก แล้วรวมค่าสูญเสียกับกำลังที่จ่ายออก จะได้กำลังที่รับเข้ามา จะได้สมการดังนี้ คือ

$$\% \text{ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังที่จ่ายออก}}{\text{กำลังที่จ่ายออก} + \text{ค่าสูญเสีย}} \times 100$$

ค่าแรกคือค่าสูญเสียในแกนเหล็ก ค่าสูญเสียนี้ไม่ขึ้นกับโหลด ค่าที่สองคือค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง เป็นค่าสูญเสียเกิดจากค่าความต้านทานเทียบเท่าของขดปฐมภูมิ จะขึ้นอยู่กับกระแสในขดปฐมภูมิ ($P = I^2R$) ค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง คือ ความแตกต่างสำหรับแต่ละค่าของกระแส เพราะฉะนั้นเมื่อคำนวณประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงประเภทของโหลดพร้อมกับค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์

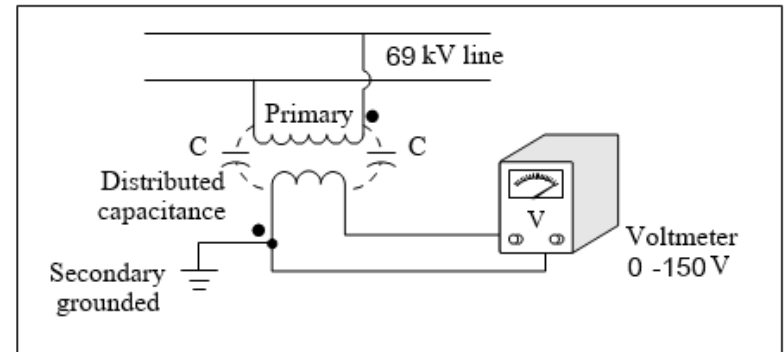


หน่วยการเรียนรู้ที่ 5

หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัดไฟฟ้า

หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage transformers, PTs) หรือที่เรียกว่า โปเทนเชียลทรานฟอร์มเมอร์ (Potential transformers) เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงและเป็นค่าคงที่ จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากโหลดของหม้อแปลงแรงดัน (Burden) นอกจากนี้แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเกือบจะอยู่ในเฟสกับแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิจะเท่ากับ 115 โวลต์ จะไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและเป็นจำนวนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องวัดไฟฟ้าและรีเลย์ ซึ่งจะนำไปต่อทางด้านทุติยภูมิหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า ใช้สำหรับวัดและแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของสายส่งแรงสูง และยังใช้ในการแยกเครื่องมือวัดกับแหล่งที่มีแรงดันสูง

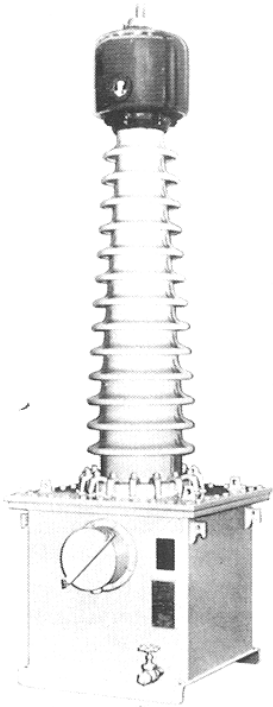


ข้อสังเกต : จะมีการกระจายของค่าประจุไฟฟ้า (Capacitance) ระหว่างขดลวดทั้งสอง



หม้อแปลงแรงดันที่ใช้กับ
แรงดันไฟฟ้าขนาด 69 kV

โครงสร้างของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบทั่วๆ ไป แต่จะมีฉนวนระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิที่มีความเป็นฉนวนต่อแรงดันสูงสุดของทางด้านแรงดันสูง



หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจะติดตั้งอยู่ใกล้กับสายไฟฟ้าแรงสูงและต่ออยู่ตลอดเวลาเพื่อใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับสายนิวตรอนจะมีปลอกฉนวน (Bushing) สำหรับแรงดันสูง 2 ตัว เพราะด้านหนึ่งของทางด้านปฐมภูมิจะต้องต่อกับดิน (Ground) ดังตัวอย่าง หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 7,000 VA 80.5 kV จะมีปลอกฉนวนกระเบื้องเคลือบขนาดใหญ่ในการแยกสายไฟฟ้าแรงสูงกับดิน ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงแรงดันขนาด 7,000 VA 80.5 kV 50/60 Hz มีค่าความเที่ยงตรง 0.3 % ขั้วของปฐมภูมิจะอยู่ด้านบนของปลอกฉนวน ต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูง และมีขดลวดทุติยภูมิ 115 โวลต์ 2 ชุด มีจุดต่อแยกที่ 66.4 โวลต์

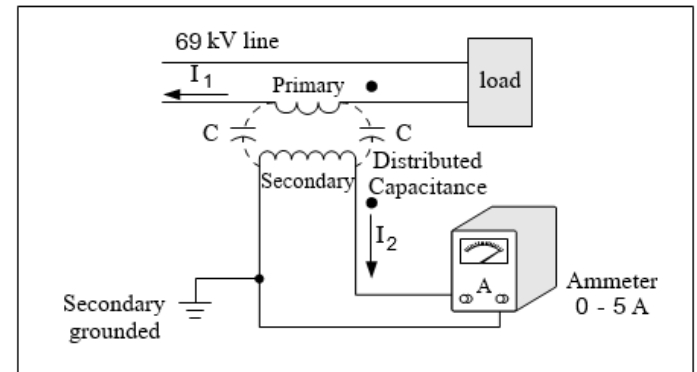
หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแส (Current Transformers, CTs) เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิกับกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิแม่นยำและเที่ยงตรงสูง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากโหลดของหม้อแปลงกระแส (Burden) มุมเฟสระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิกับกระแสทุติยภูมิจะมีค่าน้อยมาก โดยปกติจะน้อยกว่า 1 องศา จากการที่มีค่าอัตราส่วนของกระแสที่แน่นอนและมุมเฟสน้อยมาก ทำให้มีค่ากระแสการกระตุ้นน้อยด้วย

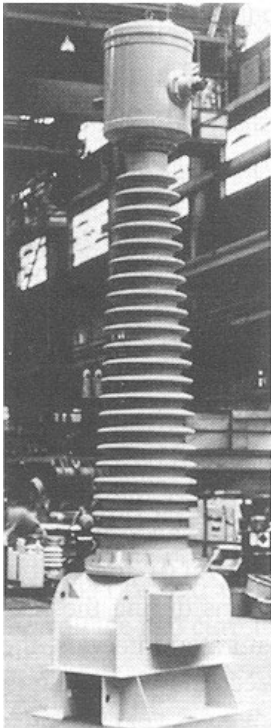
หม้อแปลงกระแส ใช้สำหรับการวัดและแสดงค่ากระแสในสายไลน์และแยกเครื่องมือวัดและอุปกรณ์รีเลย์ที่ต่อทางด้านทุติยภูมิ ทางด้านปฐมภูมิจะต่ออนุกรมกับสายไลน์ โดยทั่วๆ ไปกระแสทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ 5 แอมป์ จะไม่ขึ้นอยู่กับการกระแสของทางด้านปฐมภูมิ

เพราะว่าหม้อแปลงกระแส (CTs) ใช้กับเครื่องวัดและอุปกรณ์ป้องกันที่มีกำลังพิกัดต่ำๆ ส่วนมากจะอยู่ระหว่าง 15 VA และ 200 VA มีหลักการทำงานเหมือนหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วๆ ไป อัตราส่วนของกระแสจะเป็นสัดส่วนที่ตรงข้ามกับจำนวนรอบของขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ หม้อแปลงกระแสมีอัตราส่วนเท่ากับ 150 A / 5 A ดังนั้นจะได้เท่ากับ 30 คูณกับจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ

เพื่อความปลอดภัยเนื่องจากหม้อแปลงกระแสจะต้อง
ต่อและทำการวัดค่ากระแสในสายส่งแรงสูงตลอดเวลา ฉนวน
ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะต้องมีความเป็นฉนวน
เท่ากับแรงดันสูงสุดระหว่างสายไลน์กับสายนิวตรอนและจะ
มีขั้วหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิต่อลงดินตลอดเวลา



หม้อแปลงกระแสที่ใช้กับ 69 kV



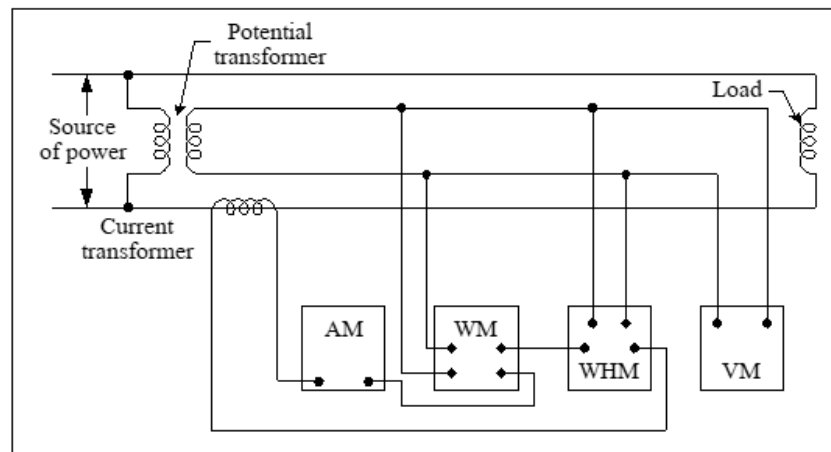
จากรูป แสดงหม้อแปลงกระแสขนาด 500 VA 100 แอมป์/5 แอมป์ ใช้สำหรับ
230 kV จะมีปลอกฉนวนขนาดใหญ่รองรับและแยกระหว่างสายไฟฟ้าแรงสูงกับดิน
(Ground) โครงสร้างของหม้อแปลงกระแสจะเป็นตัวถังเหล็กและเป็นขั้วดินด้วย จะ
อยู่ส่วนล่างสุดของปลอกฉนวนและด้านบนสุดของปลอกฉนวน จะมี 2 ขั้วใช้ต่อ
อนุกรมกับสายไฟฟ้าแรงสูงกระแสในสายจะไหลเข้าทางขั้วหนึ่งแล้วลงไปในปลอก
ฉนวนผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จากนั้นขึ้นกลับมาทางปลอกฉนวนและไหลออก
ทางอีกขั้วหนึ่ง

หม้อแปลงกระแสขนาด 500 VA 100 แอมป์ / 5 แอมป์ 60 เฮิร์ตซ์
มีฉนวนสำหรับ 230 kV และมีความเที่ยงตรง 0.6 %

การใช้หม้อแปลงกระแสต่อร่วมกับเครื่องไฟฟ้าใดๆก็ตาม จะต้องระวังไม่ให้
วงจรทางขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสเป็นวงจรเปิดเป็นอันตราย เพราะ
จะทำให้หม้อแปลงกระแสเสียหายได้ ถ้าวงจรทางด้านขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจร
เปิดในขณะที่หม้อแปลงกระแสต่อใช้งานอยู่จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ
และกระแสทั้งหมดของหม้อแปลงกระแสจะทำหน้าที่เป็นกระแสสร้างเส้นแรง
แม่เหล็ก ทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสมีความหนาแน่นของเส้นแรง
แม่เหล็กสูง จนกระทั่งแกนแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัว ทำให้เกิดกระแสไหลวนเพิ่มมาก
ขึ้นทำให้แกนแม่เหล็กเกิดความร้อนจนกระทั่งไหม้ได้ และที่ขดลวดทุติยภูมิอาจ
เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงจนเป็นอันตรายได้ถ้าความหนาแน่นของเส้นแรง
แม่เหล็กสูงมาก เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องลัดวงจรขดลวดทุติยภูมิทุกครั้งก่อนที่จะ
ปลดเครื่องวัด

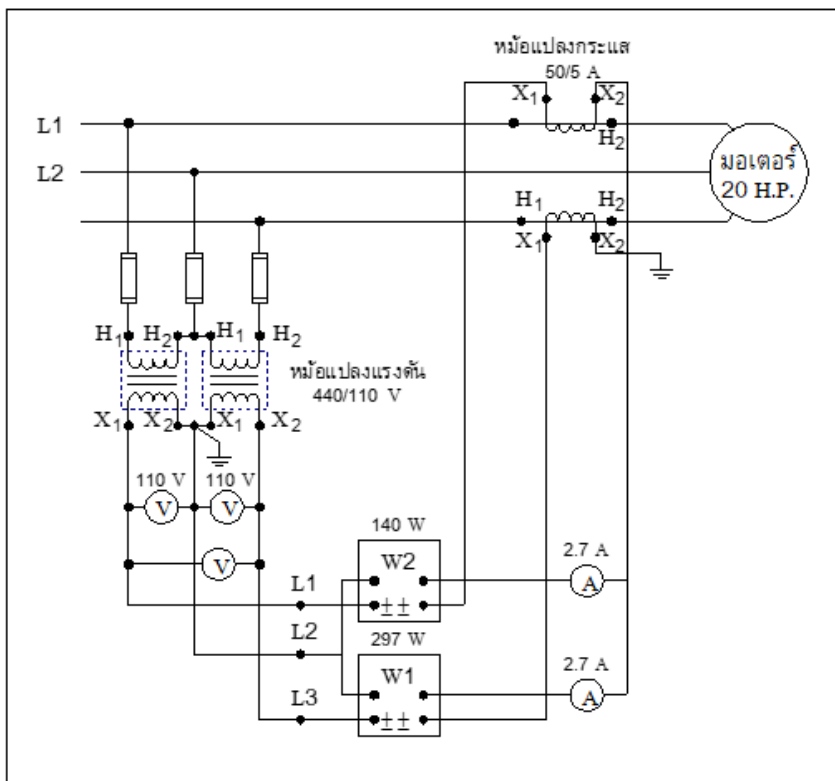
การนำหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันไปใช้งาน

แสดงการใช้หม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส ร่วมกับเครื่องวัดเพื่อใช้วัดค่าต่าง ๆ โดยที่หม้อแปลงแรงดันจะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ใช้กับเครื่องวัดได้ และหม้อแปลงกระแสจะทำหน้าที่ลดกระแสโดยการปรับระดับแรงดันให้สูงขึ้น เพราะฉะนั้นค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้องนำไปคูณกับอัตราส่วนของหม้อแปลงทั้งสองตัว แต่ในทางปฏิบัติเครื่องวัดดังกล่าวจะถูกปรับสเกลให้สามารถอ่านได้โดยตรง



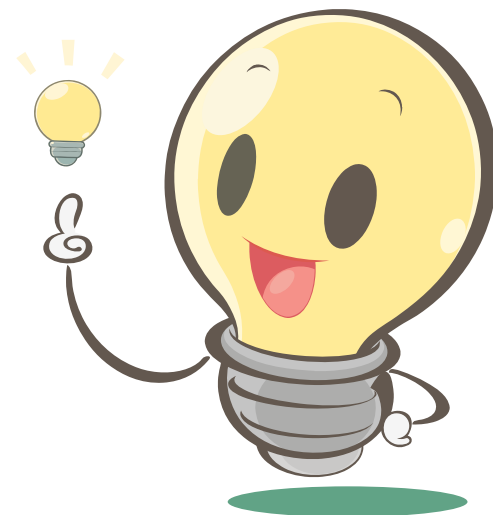
แสดงการต่อวงจรหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสร่วมกับเครื่องวัด

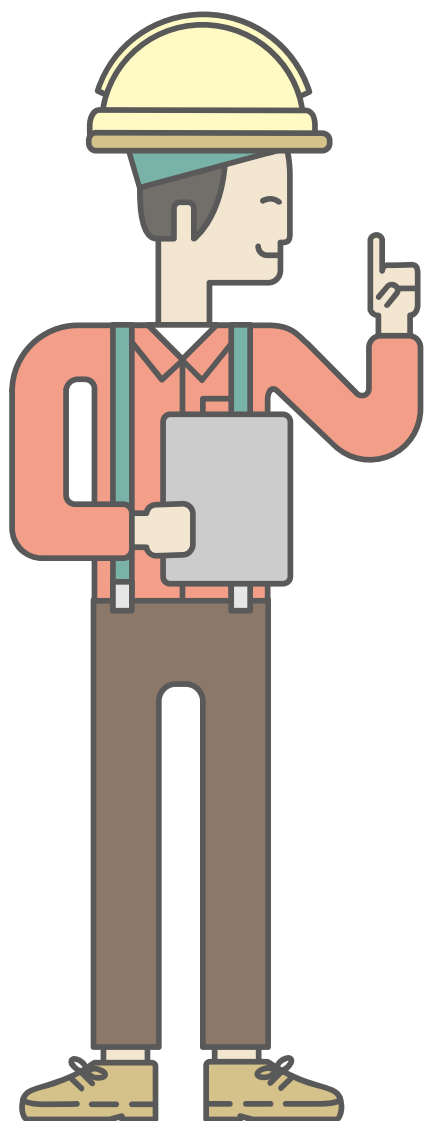




เป็นวงจรหม้อแปลงแรงดันมีขนาดพิกัด 440/110 โวลต์สองตัว ต่อแบบเดลต้าเปิด หม้อแปลงกระแสมีขนาดพิกัด 50/5 แอมป์สองตัว ทั้งหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสต่อร่วมกับวัตต์มิเตอร์สองตัว เพื่อใช้วัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 20 แรงม้า

แสดงการต่อวงจรหม้อแปลง
แรงดันและหม้อแปลงกระแส
ร่วมกับเครื่องวัด ในระบบไฟฟ้า
3 เฟส 3 สาย





ขดลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์หมายเลข 2 (W_2) ต่อกับวงจรทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส ซึ่งต่ออนุกรมอยู่ในสาย L_1 และขดลวดแรงดันต่อคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันซึ่งมีขดลวดปฐมภูมิต่ออยู่ระหว่างสาย L_1 และ L_2

ขดลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์หมายเลข 1 (W_1) ต่อกับวงจรทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส ซึ่งต่ออนุกรมอยู่ในสาย L_3 และขดลวดแรงดันต่อคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันซึ่งมีขดลวดปฐมภูมิต่ออยู่ระหว่างสาย L_2 และ L_3

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6

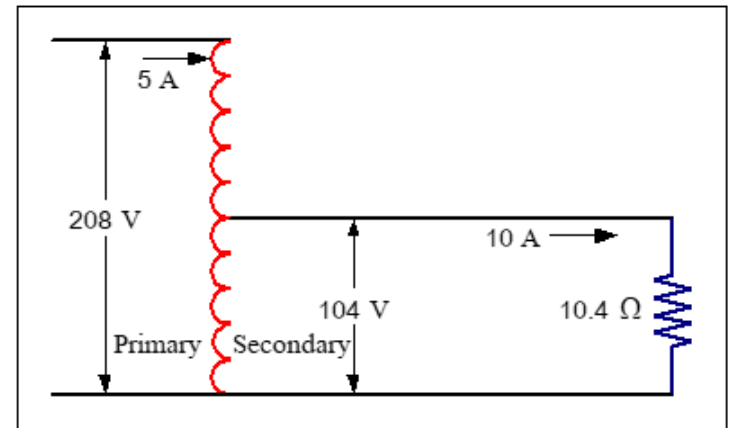
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบรวมขดลวดหม้อแปลง
ความถี่สูงและการขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ



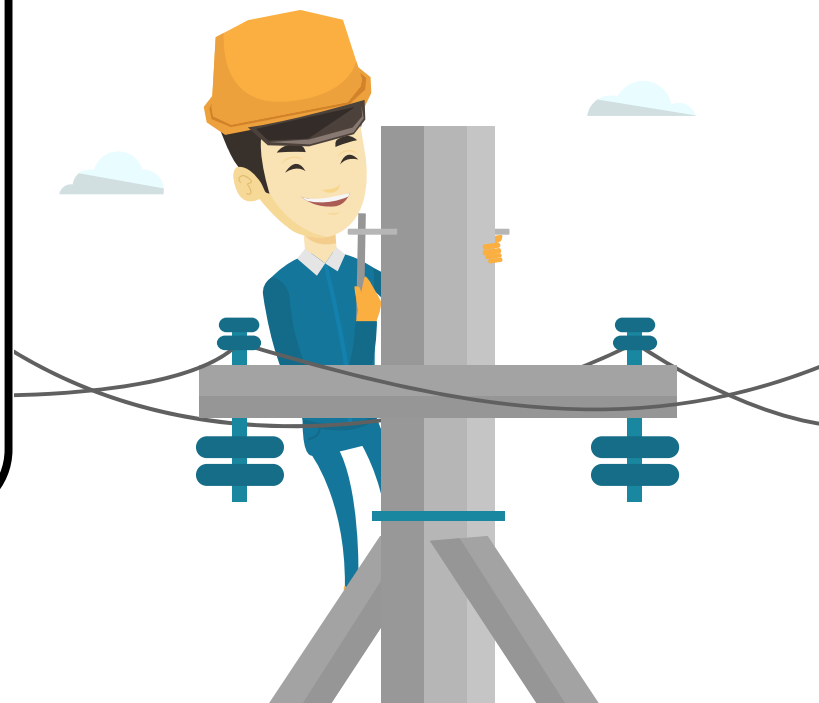
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบแปลงลง
(Step-down autotransformer)

สมมุติให้มีแรงดันไฟฟ้า 208 โวลต์จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังในรูปที่ 6.1 ขดปฐมภูมิมีจำนวนรอบทั้งหมดแต่ทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น อัตรารอบคือ 2:1 เพราะฉะนั้นแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ 104 โวลต์ ($208 / 2 = 104$) เมื่อโหลดมีความต้านทานมี 10.4 โอห์ม กระแสไหลเท่ากับ 10 แอมป์ ($104 / 10.4 = 10$)



หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบแปลงลง
(Step-down autotransformer)
ทุติยภูมิและปฐมภูมิอยู่บนขดลวดเดียวกัน
ปฐมภูมิใช้ขดลวดทั้งหมด

กระแสปฐมภูมิคือ 5 แอมป์ ($10 / 2 = 5$) ทุติยภูมิและปฐมภูมิเป็นขดลวดเดียวกัน อย่างไรก็ตามคือผลรวมของกระแสที่แยกออกมาสองส่วน คือหนึ่งกระแสปฐมภูมิซึ่งยังไหลไปในวงจรทุติยภูมิ ส่วนกระแสที่อยู่ในส่วนของขดลวดปฐมภูมิจะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้า ซึ่งคือการเหนี่ยวนำด้วยตัวเองในส่วน of ขดลวดทุติยภูมิ





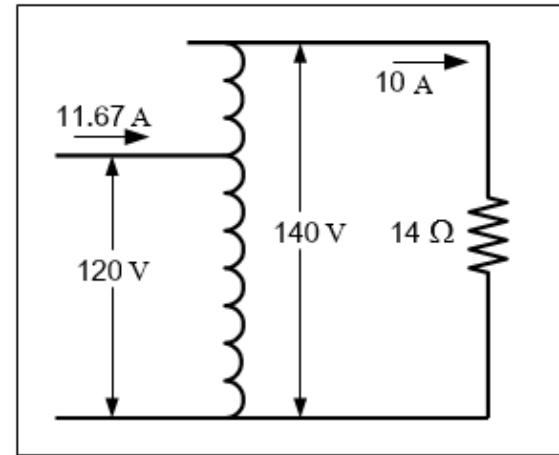
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบแปลงขึ้น (Step-up autotransformer)

สมมติว่ามีแรงดันไฟฟ้า 120 โวลต์ที่จ่ายให้กับปฐมภูมิและจ่ายแรงดันไฟฟ้า 140 โวลต์ให้กับโหลดความต้านทาน 14 โอห์ม มีกระแสทุติยภูมิ 10 แอมป์ เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจะเท่ากับ

$$P_0 = E_s \times I_2 = 140 \times 10 = 1400 \text{ วัตต์}$$

สมมติว่ากำลังไฟฟ้าที่รับเข้ามาเท่ากับ
กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไป สามารถคำนวณ
กระแสปฐมภูมิได้ดังนี้

$$P_1 = P_0 = 1,400 = 120 \times I_1$$
$$I_1 = 1,400 / 120 = 11.67 \text{ แอมป์}$$



หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบแปลงขึ้นทางด้าน
ทุติยภูมิใช้ขดลวดทั้งหมด
ของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับอัตรารอบเท่ากับ 5:1



การประยุกต์ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่พบเห็นบ่อยๆ จะใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในระบบสายส่งหรือสามารถแปลงวงจรแรงดันไฟฟ้าจาก 208 โวลต์

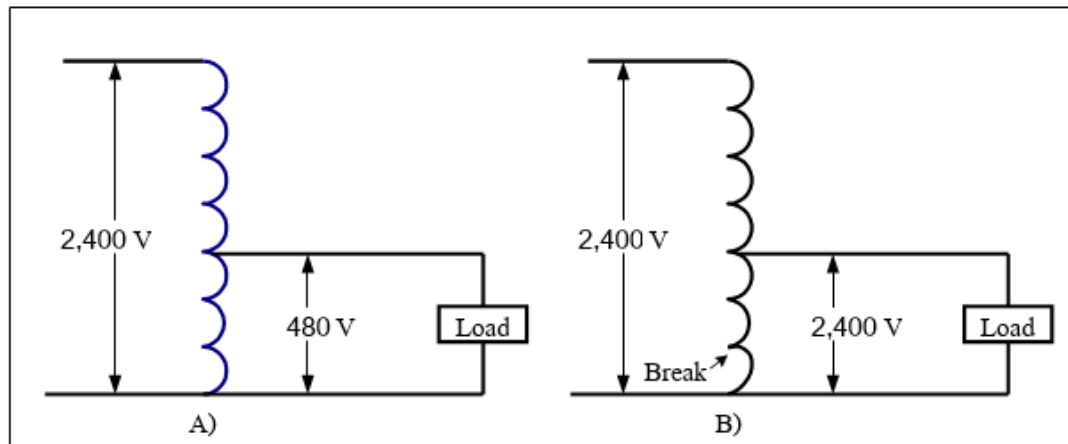
เป็น 240 โวลต์ และยังสามารถลดแรงดันไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่ทำการเริ่มเดินมอเตอร์

เมื่ออัตราการรอบน้อยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติจะใช้แกนเหล็กและลวดทองแดงน้อยกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขด

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติมีขีดจำกัดในการใช้มากเพราะว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติไม่ได้แยกโวลต์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า



การแสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ดังในรูป A) ในขณะที่ทำงานปกติ แรงดันไฟฟ้า 2,400 โวลต์ แปลงลงเป็น 480 โวลต์ สมมุติส่วนหนึ่งในรอบของ ขดลวด ทุติยภูมิขาด ดังรูป B) แรงดันไฟฟ้า 2,400 โวลต์ จะตกคร่อมโหลด ึ่งหมด



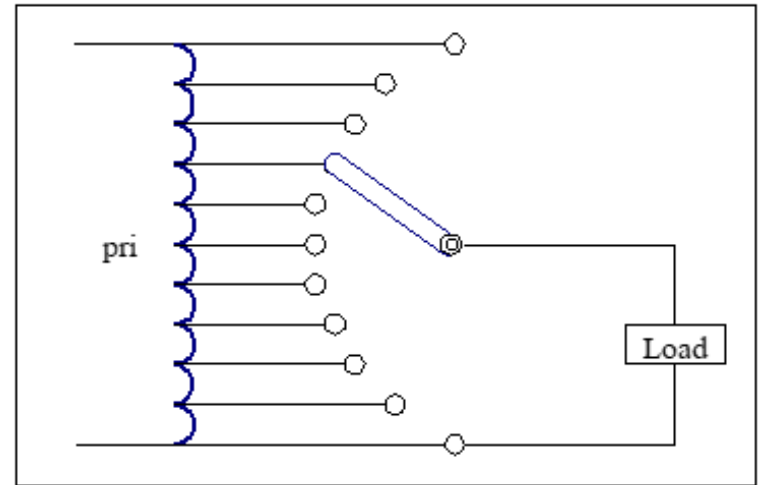
ผลที่เกิดจากการที่ขดลวดขาดในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

A) หม้อแปลงไฟฟ้า แบบอัตโนมัติในขณะทำงานปกติ

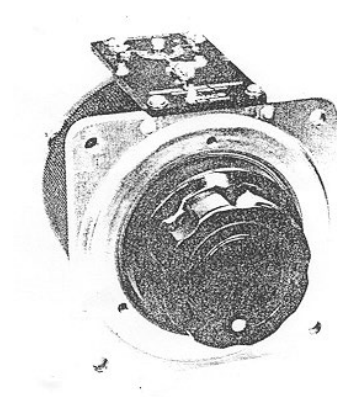
B) เมื่อขดลวดขาดในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

จะมีแรงดันไฟฟ้าจากปฐมภูมิทั้งหมดจ่ายไปยังโหลด

บางครั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติทำหน้าที่ปรับแรงดันที่จ่ายโหลด โดยใช้จำนวนของแทป ดังแสดงในรูป การเลื่อนจุดสัมผัสเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้จ่ายออกตั้งแต่ 5 % ถึง 110 % ของแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ



หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามความต้องการโดยการเคลื่อนที่หน้าสัมผัส

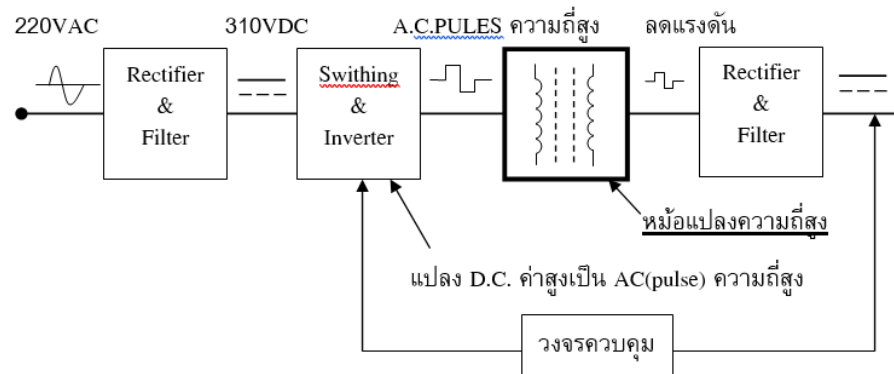


หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบปรับแรงดันไฟฟ้าได้ (Variac)

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแบบปรับแรงดันไฟฟ้าได้ ใช้มากในห้องปฏิบัติการทดลองและสำหรับการควบคุมมอเตอร์

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูงหรือหม้อแปลงสวิตชิง เป็นหม้อแปลงชนิดหนึ่งซึ่งมีความสำคัญสำหรับใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการนำกำลังไฟฟ้าและมีความถี่สูงประมาณ 20-200 KHz ไปใช้ในการทำงาน เช่น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ เครื่องเชื่อมความถี่สูง เต้าไมโครเวฟ ฯลฯ ซึ่งมีวงจรพื้นฐานดังนี้



แสดงบล็อกไดอะแกรมและรูปคลื่นที่ผ่านแต่ละส่วนของ
อุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงความถี่สูง

ในการทำงานที่ยานความถี่สูงนั้นหม้อแปลงแบบแกนหลักทั่วไปจะไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากมีข้อจำกัด จากการที่มีจุดอิ่มตัวปลั๊กแม่เหล็กต่ำ เกิดความร้อนและการสูญเสียในตัวหม้อแปลงจึงนิยมใช้หม้อแปลงความถี่สูงแทน หม้อแปลงชนิดนี้มีแกนที่ทำมาจากเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีจุดอิ่มตัวของฟลักแม่เหล็กค่อนข้างสูง และเกิดความร้อนและการสูญเสียต่ำที่ความถี่สูง มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาสามารถประกอบลงแผ่นปริ้นเซอร์กิต (Print Circuit Board) ได้เลย





ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูง

1.

แกนเฟอร์ไรท์ เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ซึ่งมีส่วนผสมของแม่เหล็ก ทำให้เกิดความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำมากกว่าเหล็ก และมีค่าจุดอิ่มตัวที่ฟลักแม่เหล็กสูงประมาณ 3,000 - 4,000 เกาส์ และมีความต้านทานสูง จึงช่วยลดการสูญเสียหรือลดความร้อนจากการเกิดกระแสไหลวน

2.

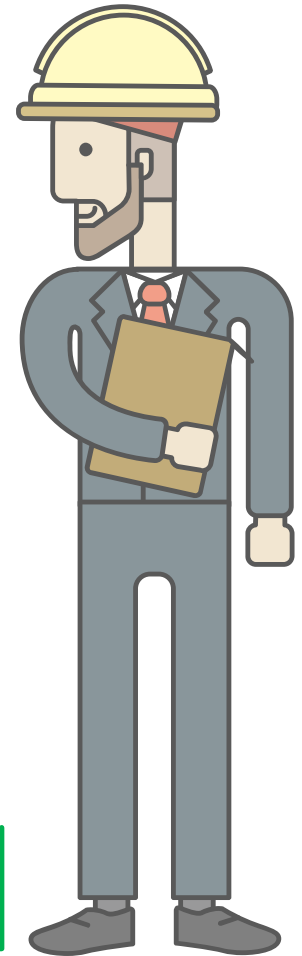
บอบบี้ ทำมาจากพลาสติกชนิดทนความร้อนสูง มีขนาดมาตรฐานตามแกนเฟอร์ไรท์ ที่ส่วนใหญ่ออกแบบให้มีขั้วต่อสายทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดบนแผ่นปริ้นเซอร์กิต (Print Circuit Board)

3.

ขดลวดทองแดง เป็นลวดทองแดงอาบน้ำมันนำมาพันบนบอบบี้มีขดลวดอยู่สองชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิเหมือนหม้อแปลงทั่วไป ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด และจำนวนรอบที่พันขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสและแรงดันที่ต้องการใช้งาน

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งาน

หม้อแปลงไฟฟ้าถูกใช้เพื่อทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า เพราะฉะนั้นที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถกำหนดเครื่องหมายบวก (+) และลบ (-) เหมือนกับขั้วของระบบไฟฟ้ากระแสตรง ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนทุกๆ ครั้งรอบการกำหนดขั้วของหม้อแปลงที่ขดลวดทุติยภูมิจะเป็นการกำหนดขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าชั่วคราวคือกำหนดโดยทิศทางของสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวดปฐมภูมิ ดังนั้นจึงเกิดความสัมพันธ์ระหว่างขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าชั่วคราวของขดลวดทุติยภูมิและขดปฐมภูมิ



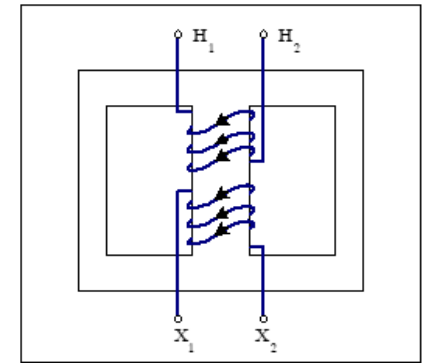


การกำหนดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า

สมมุติหม้อแปลงไฟฟ้ามีขดลวดปฐมภูมิหนึ่งชุดและขดลวดทุติยภูมิหนึ่งชุด ดังนั้นจะมีทั้งหมด 4 ขั้ว ด้านแรงดันสูง ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกทำเครื่องหมาย H_1 , H_2 ด้านแรงดันต่ำขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกทำเครื่องหมาย X_1 , X_2 และได้มีการกำหนดให้ขั้ว X_1 คือ ขั้วบวก และในขณะเดียวกันที่ขั้ว H_1 คือ ขั้วบวก

หม้อแปลงไฟฟ้าที่แสดงในรูป ซึ่งขดลวดของทั้งสองขดพันรอบแกนในทิศทางเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในแต่ละขดลวดจะมีขั้วเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในการกำหนดขั้วหม้อแปลงทั้งสองด้าน ขั้ว X_1 (ด้านแรงดันต่ำ) จะอยู่ตรงข้ามกับขั้ว H_1 (ด้านแรงดันสูง) หรืออยู่ตรงข้าม ทแยงมุมกัน

ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้ามีสองแบบ คือขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเสริมกัน (Additive polarity) หรือขั้วต่างกัน และขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหักล้างกัน (Subtractive polarity) หรือขั้วเหมือนกัน



ความสัมพันธ์ระหว่างขั้ว

หม้อแปลงไฟฟ้า

ขั้วขณะของขดทุติยภูมิ

และขดปฐมภูมิ



การทดสอบหาข้อผิดพลาดไฟฟ้า

โดยทั่วไป หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีข้อบกพร่องจะไม่มีเครื่องหมาย ใดๆก็ตาม ต้องรู้สภาพข้อผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้า จากการทดสอบดังต่อไปนี้จะบอกได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีข้อบกพร่องหักล้างกันหรือมีข้อบกพร่องเสริมกัน

1.

เชื่อมต่อระหว่างขั้วหนึ่งในด้านแรงดันสูงและกำหนดให้เป็นขั้ว H1 และ ขั้วที่อยู่ตรงกันในด้านตรงข้ามกับ H1

2.

ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดทางด้านแรงดันสูง แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะต้องไม่สูงกว่าพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.

วัดแรงดันไฟฟ้าระหว่าง H2 และ ขั้วทางด้านแรงดันต่ำ



ขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหักล้างกัน (Subtractive polarity)

ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้น้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นขั้วแบบหักล้างกัน (Subtractive polarity) ขั้วที่อยู่ตรงกับ H_1 คือ ขั้ว X_1 จงจำไว้ว่า ขั้ว X_1 สภาพมีขั้วเหมือนกับ H_1 เพราะฉะนั้นการเชื่อมต่อระหว่างขั้ว ที่เหมือนกัน (บวก ต่อ กับ บวก) แรงดันไฟฟ้าจะหักล้างกันเสมอ



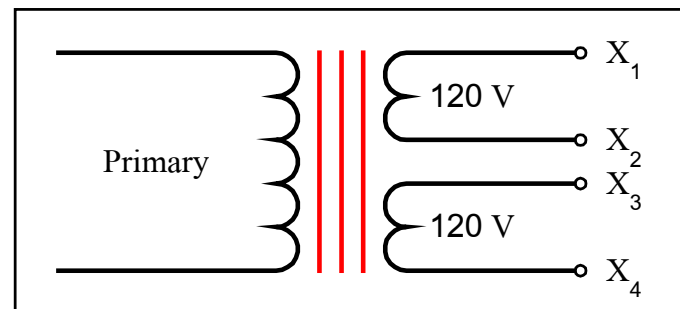
ขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเสริมกัน (Additive polarity)

ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นขั้วแบบเสริมกัน ขั้วที่อยู่ตรงกับ H_1 คือขั้ว X_2 การเชื่อมต่อขดลวดสองชุดเป็นการต่อแบบเสริมกัน (บวกต่อกับลบ) แรงดันไฟฟ้าจะรวมกัน



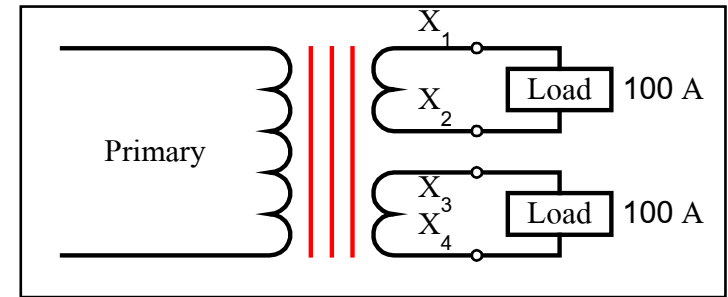
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหลายชุด

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่พบบ่อยๆ มีขดลวดทุติยภูมิสองชุดหรือมากกว่าสองชุด ต้องยอมรับว่ามีค่ากระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การแสดงหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดทุติยภูมิด้านจ่ายไฟสองชุดเหมือนกัน ที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของขดลวดชุดแรกเป็น X_1 และ X_2 ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของขดลวดชุดที่สองเป็น X_3 และ X_4 โดย X_3 จะเป็นขั้วบวก เมื่อ X_1 เป็นขั้วบวก



ขดลวดทุติยภูมิสามารถจ่ายโหลดใน
ความต้องการที่แตกต่างกันทั้งอัตรา
แรงดันไฟฟ้าและกระแส

รูปแสดงวิธีการที่หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถใช้ใน
การจ่ายโหลดแยกกัน โดยการจ่ายโหลดแต่ละชุดได้
100 แอมป์ 120 โวลต์

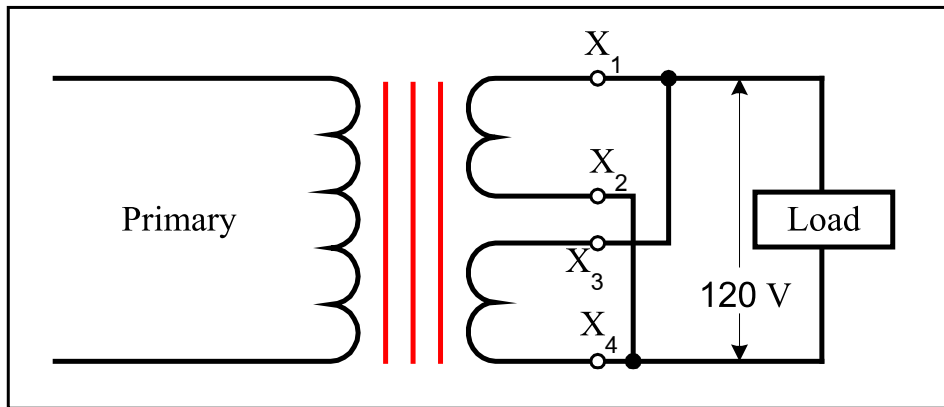


ขดลวดทุติยภูมิสามารถจ่ายโหลด
แยกกันอย่างอิสระ

การแสดงขั้ว X_2 และ X_3 ที่ต่อเข้าด้วยกันตอนนี้ สามารถใช้
แรงดันไฟฟ้า 120 โวลต์ จากขั้ว X_1 กับจุดต่อร่วม และใช้แรงดันไฟฟ้า
120 โวลต์ อีกชุดหนึ่งจากขั้ว X_4 กับจุดต่อร่วม แต่ละชุดจ่ายโหลดได้
100 แอมป์ซึ่งการจ่ายโหลดเหล่านี้ไม่อิสระ กระแสผ่านขดลวดทุติยภูมิ
ชุดหนึ่งมีผลต่อกระแสที่ผ่านอีกชุดหนึ่ง กระแสจะไหลมากในขดลวด
อีกชุดหนึ่ง ดังตัวอย่าง ทำให้กระแสในขดลวดปฐมภูมิมากขึ้นในแต่ละ
รอบทำให้มีเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพิ่มในขดลวดทุติยภูมิของขดลวดที่สอง



รูปการแสดงการต่อแบบขนาน ขดลวดทุติยภูมิแต่ละขดจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ 120 โวลต์ ในการต่อแบบนี้แรงดันได้ที่จ่ายได้จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่จ่ายได้จากขดลวดทุติยภูมิขดเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากที่ขดลวดแต่ละชุดสามารถจ่ายกระแสได้ 100 แอมป์ เหมือนกับการขนาน เซลล์แห่ง 2 เซลล์ ทำให้สามารถจ่ายโหลดได้เป็น 200 แอมป์



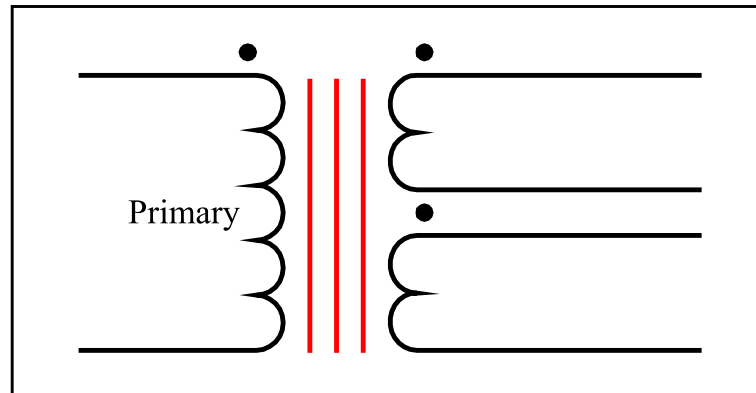
การต่อขดลวดแบบขนานกระแสที่จ่ายได้จะเท่ากับ
ผลรวมของกระแสที่จ่ายได้แต่ละชุด





การกำหนดจุดสีดำ

ในบางครั้ง การกำหนดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ใช้การเขียนแบบ และนิยมใช้กันมาก คือจุดสีดำ (Dot notation) จะถูกใช้เพื่อแสดงขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า จุดสีดำจะเป็นขั้วขั้วขณะของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นบวก (+) ส่วนขั้วที่ไม่มีจุดสีดำจะเป็นลบ (-) การใช้จุดสีดำดังแสดงในรูป



แสดงจุดสีดำ ซึ่งเหมือนกับขั้วขั้วขณะ

การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

การขนานหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้ในกรณีที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวเดิมไม่สามารถที่จะจ่ายโหลดที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มพิกัดการจ่ายโหลดให้ได้มากขึ้นโดยการนำหม้อแปลงไฟฟ้ามาต่อขนานกับหม้อแปลงไฟฟ้าตัวเดิม การขนานหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

การขนานหม้อแปลงไฟฟ้าสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมีดังนี้คือ

1.

พิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องเท่ากันทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ไม่เช่นนั้นแล้วตัวที่มีค่าต่ำกว่าจะกลายเป็นโหลด

2.

หม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องมีลำดับขั้วที่เหมือนกันนั่นคือต้องต่อขั้วที่เหมือนกันเข้าด้วยกัน ถ้าหากว่าต่อขั้วที่ไม่เหมือนกันเข้าด้วยกันจะเกิดการลัดวงจร

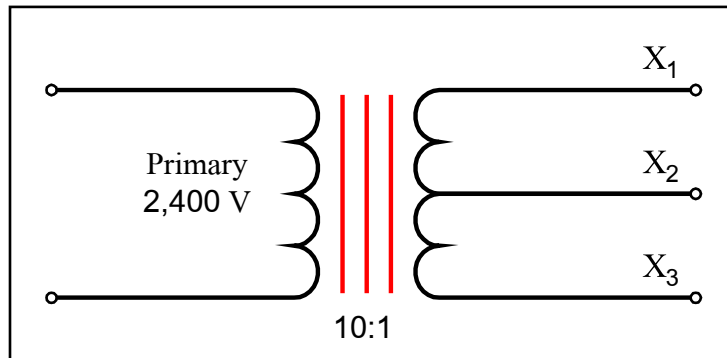
3.

เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันหม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถแบ่งโหลดให้เป็นไปตามอัตราส่วนของพิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวได้

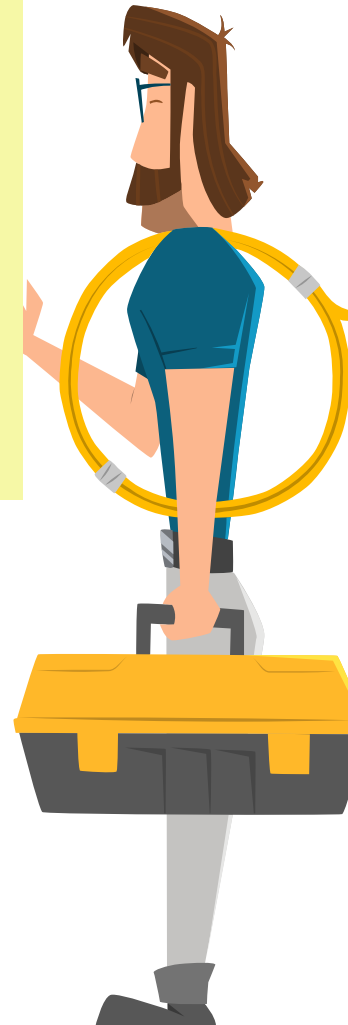


หม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแทป

การจ่ายแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ยึดหลักบนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิแรงดันไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำเข้าไปในแต่ละรอบของขดลวดสามารถพูดได้ว่าแต่ละรอบได้รับการต่ออนุกรมแบบเสริมกัน แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วของขดลวดทุติยภูมิคือผลรวมของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละรอบของขดลวด สามารถเลือกแรงดันไฟฟ้าโดยทำการเชื่อมต่อในตรงกลางของขดลวดทุติยภูมิ การเชื่อมต่อเหล่านี้เรียกว่า แทป (Tap)



หม้อแปลงไฟฟ้ามีจุดแทปกึ่งกลางของขดลวดทุติยภูมิ



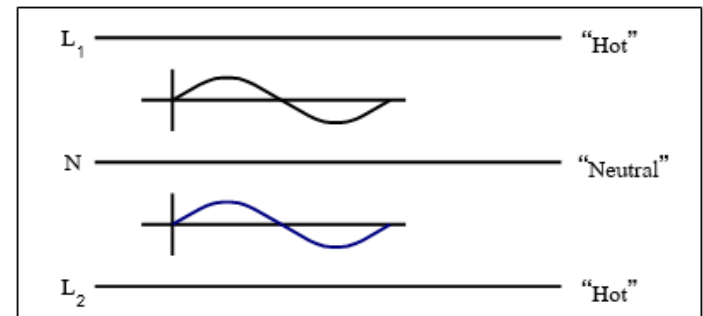
หน่วยการเรียนรู้ที่ 7

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าระบบ 3 เฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส

ระหว่างคู่สายใดๆ แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงในรูปของไซน์ ปกติจะคิดว่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเฟสเดียวคือเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าหลายเฟส (Polyphase) แรงดันไฟฟ้าระบบหลายเฟสหมายถึงระบบไฟฟ้าที่มีมากกว่าหนึ่งเฟส มีแรงดันไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนทิศทางและขนาดที่เวลาที่แตกต่างกัน

ในกลุ่มของบ้านพักอาศัยจะใช้ในระบบหนึ่งเฟสเท่านั้น โดยใช้แบบ 3 สาย มีสายไลน์ (สายมีไฟ “Hot”) 2 เส้นและสายนิวตรอน (Neutral) ดังรูปแรงดันไฟฟ้าจากสายไลน์กับสายนิวตรอน



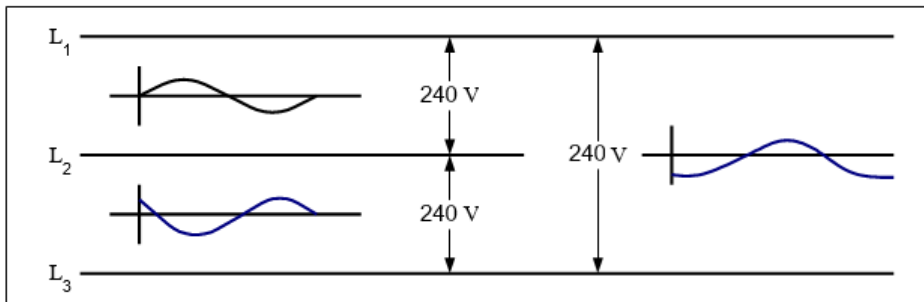
แสดงรูปคลื่นของแรงดันระบบ 2 เฟส

ปกติระบบไฟฟ้า 3 เฟสจะจ่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมและอาจจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้มีความแตกต่างระหว่างแต่ละคู่ของสาย มีแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสที่แยกออกมาซึ่งแต่ละเฟสมีความสัมพันธ์กัน

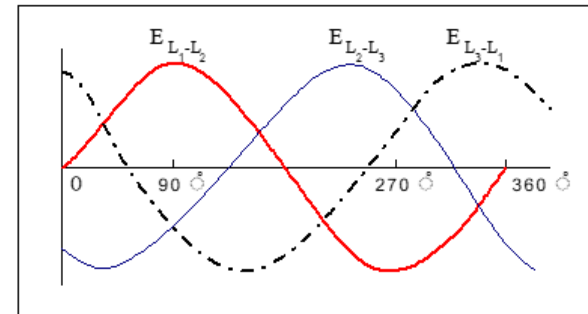


ความสัมพันธ์ของแต่ละเฟส

ในรูปสายในระบบ 3 เฟสเรียกว่า L_1 , L_2 และ L_3 มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ (RMS value) ระหว่างสายทั้งสามคู่คือ L_1 กับ L_2 และ L_2 กับ L_3 จะเท่ากับ 240 โวลต์ ซึ่งสามารถแสดงรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทั้งสาม โดยเขียนบนพื้นฐานเวลาเดียวกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าแต่ละชุดจะห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าจากชุดอื่นๆ

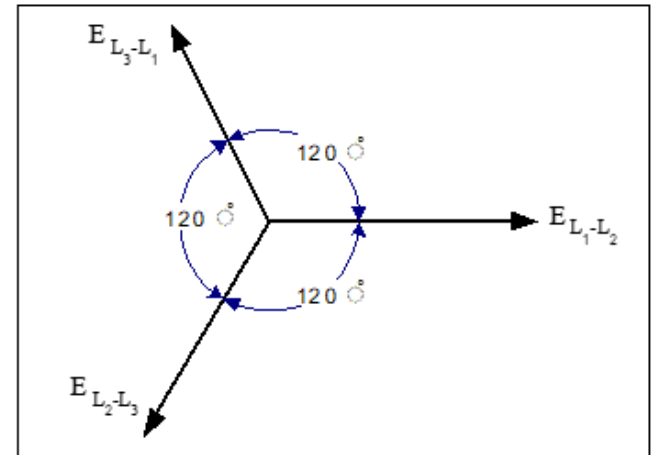


แรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟสประกอบด้วย
แรงดันไฟฟ้าที่แยกออกมาทั้งสามรูปคลื่น
และห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า



รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3
ของระบบ 3 เฟสแต่ละเฟส
ที่ห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า

ข้อของขดลวด มีที่ความแตกต่างในวงจร 3 เฟส สำหรับตัวอย่างที่เราจะกล่าวถึงเกี่ยวกับ ข้อของขดลวด 3 ชุดนี้ไม่ได้หมายถึงข้อของขดลวดทั้ง 3 ชุดจะเป็นขดที่ในเวลาเดียวกัน แต่หมายถึงข้อของขดลวดทั้งสามชุดจะเป็นขดห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า รูปที่ 7.5 แสดงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าทั้งสาม เมื่อประกอบเวกเตอร์เหล่านี้ในเฟสเซอร์ไดอะแกรม (Phasor diagrams) ต้องกำหนดข้อตามเวกเตอร์นี้



แรงดันไฟฟ้าทั้งสามตัวสามารถที่จะนำมาแสดงในรูปของเวกเตอร์ได้โดยแรงดันไฟฟ้าแต่ละตัววางห่างกัน 120 องศา

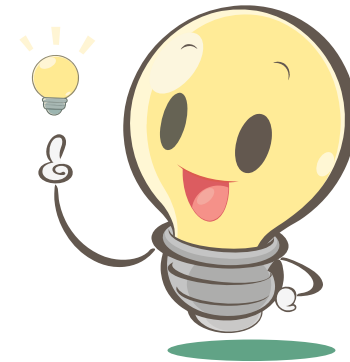


การต่อหม้อแปลงในระบบ 3 เฟส

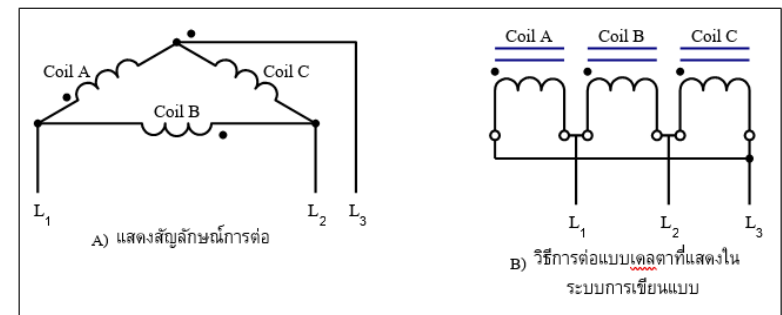
มีสองแบบที่ใช้ในการต่อขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า (ทั้งปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ) ในวงจร 3 เฟส

1. แบบเดลตา (Delta)

2. แบบวาย (Wye) หรือแบบสตาร์ (Star)

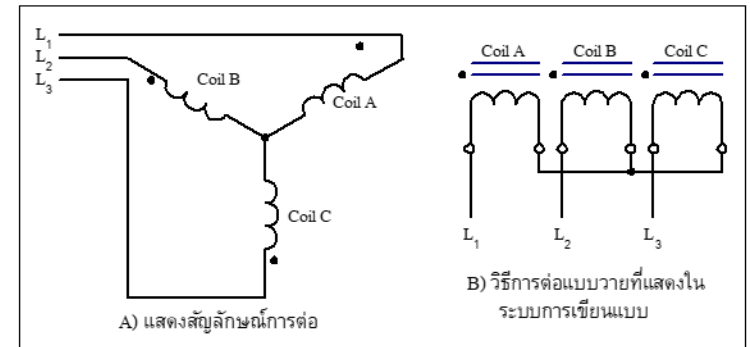


การต่อแบบเดลตา ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ในการเขียนเป็นตัวอักษรกรีก เดลตา (Δ) คือการต่อแบบอนุกรมแบบเสริมกันโดยการต่อขดลวด ขั้วลบ (-) ไปยังขั้วบวก (+)



การต่อแบบเดลตา

การต่อแบบวายจะใช้สัญลักษณ์ในการเขียนเป็นตัวอักษร Y จะเป็นการต่อที่นิยมใช้กันมาก มีจุดต่อ N (Neutral) จากขั้วลบ (-) ทั้งหมดของขดลวดสามชุด



การต่อแบบวาย

หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่ใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะเห็นได้ว่าขดลวดที่ใช้ในการพันหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นลวด ชนิดแบนเรียกการพันแบบนี้ว่าการพันแบบแพนเค้ก (Pancake) ขดลวดจะพันบนสามขาของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า ปกติหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวสามารถที่จะนำมาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสได้ ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งตัวใดเกิดเสีย หม้อแปลงไฟฟ้าตัวอื่นๆ อีกสองตัวยังนำไปใช้งานได้ แต่ถ้าขดลวดหนึ่งชุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสเกิดเสียจะไม่สามารถใช้หม้อแปลงไฟฟ้าได้ทั้งหมด

สำหรับการคำนวณหรือการเชื่อมต่อนั้นไม่มีความแตกต่าง ไม่ว่าหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส หรือแบบที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวสามตัวมาต่อเป็นแบบ 3 เฟส



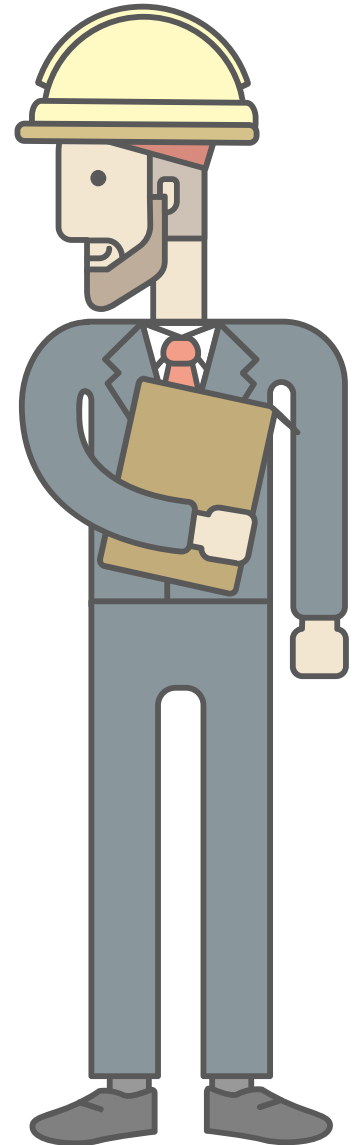
แรงดันไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในสายและแรงดันไฟฟ้าในเฟสในการต่อแบบเดลตากับแหล่งจ่าย 2,400 โวลต์ สาย L_1 ได้รับการต่อกับขั้วของขดลวด A อีกขั้วหนึ่งของขดลวด A ต่อกับสาย L_2 แรงดันไฟฟ้าระหว่าง L_1 กับ L_2 คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมขดลวด A

ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างสายอีกสองสายที่เหลือกับแรงดันเฟส สามารถกล่าวได้ดังนี้ ในต่อแบบเดลตาแรงดันไฟฟ้าในเฟสเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในสาย

เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

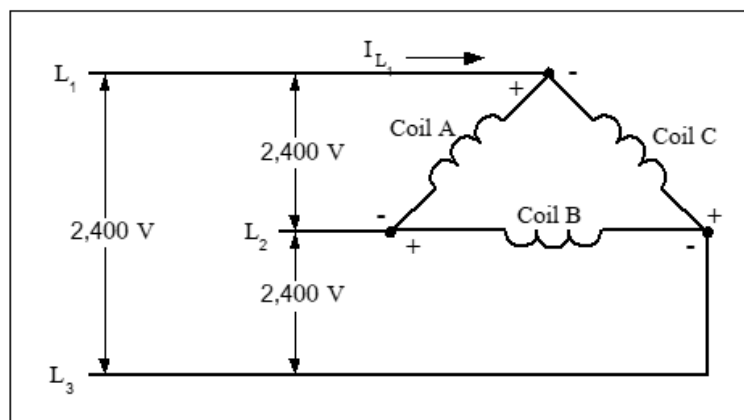
$$E_{ph} = E_{line}$$





กระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในสายและกระแสในเฟสในการต่อแบบเดลตา ต้องใช้แผนผังเฟสเซอร์ (Phasor diagram) กระแสในสาย L_1 ไหลเข้าไปในจุดเชื่อมโดยหัวของขดลวด A ที่เป็นบวกและหัวของขดลวด C ที่เป็นลบ



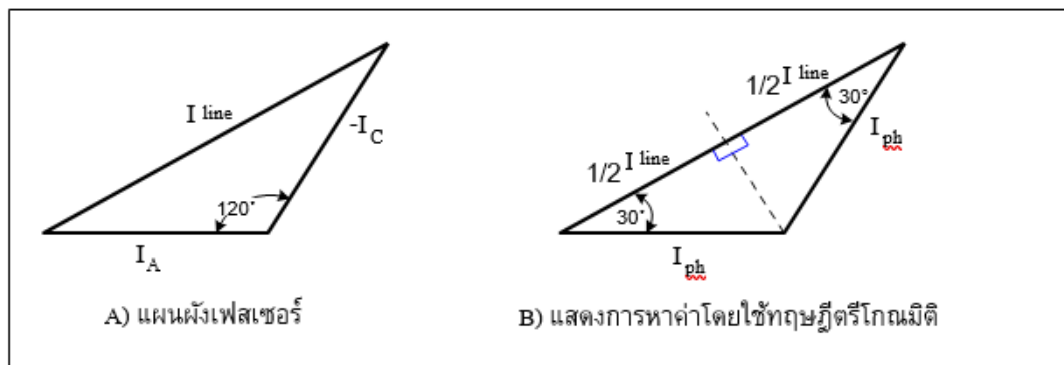
แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายของการต่อแบบเดลตา
คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมขดลวดหนึ่งขด

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ที่รู้ว่ากระแสที่ไหลเข้าสู่จุดจะมีค่าเท่ากับกระแสไหลออกจากจุดนั้น กระแสที่ $L1$ จะเท่าผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสในเฟส A และกระแสในเฟส C



ค่าตัวคูณ 1.73

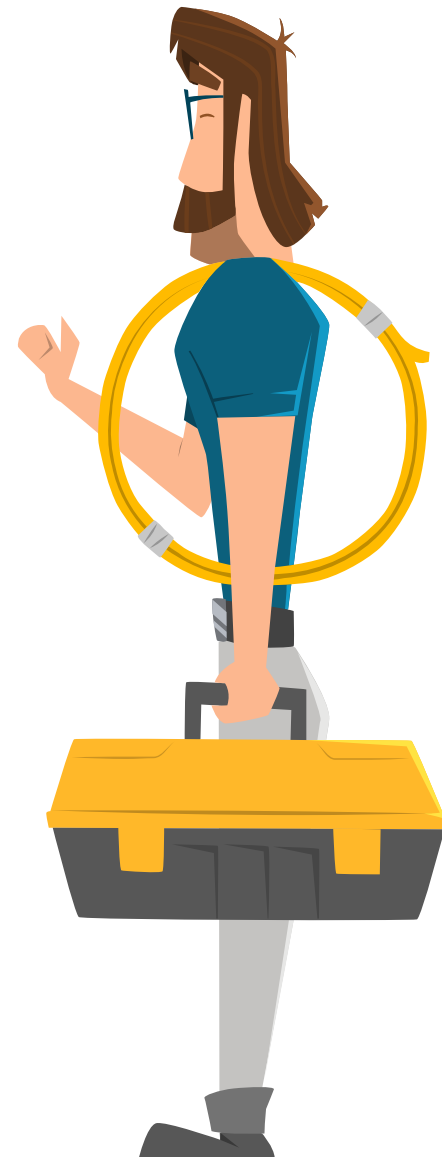
ค่าตัวคูณ 1.73 ที่ใช้ในการคำนวณมาได้อย่างไร รูปสามเหลี่ยมที่มีด้านประกอบด้วย I_A , I_C และ I_{line}



แผนผัง การแสดงการหาค่าคงที่ 1.73

A) แผนผังเฟสเซอร์ (Phasor diagrams)

B) แสดงการหาค่าโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติ

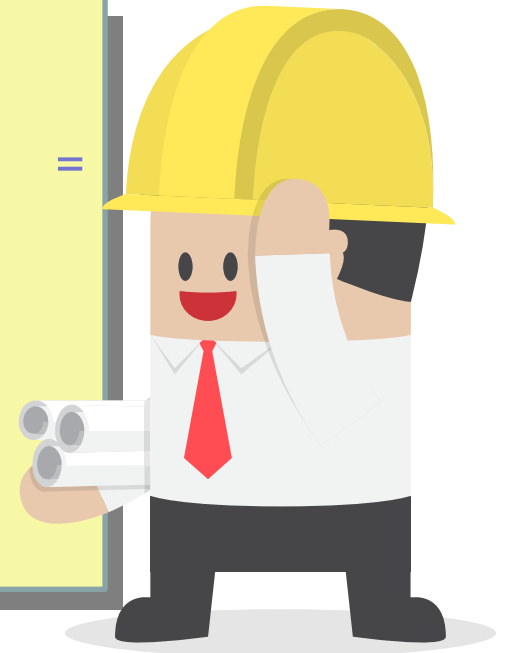


เป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว มีมุมระหว่าง I_A และ $-I_C$ คือ 120 องศา และเหลืออีกสองมุมมีค่าเท่ากันคือแต่ละมุมเท่ากับ 30 องศา ($180^\circ - 120^\circ = 60^\circ$; $60^\circ / 2 = 30^\circ$) ลากเส้นจากจุดยอด (Top) ตั้งฉากกับฐาน จะได้สามเหลี่ยมมุมฉากสองรูปแต่ละรูปมีด้านตรงข้ามมุมฉากเท่ากับกระแสในเฟสและมีด้านประชิดมุมฉากด้านหนึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของ I_{LINE}

เพราะฉะนั้น:

$$\cos 30^\circ = \frac{1}{2} I_{line} / I_{Ph} ; \cos 30^\circ = 0.866$$

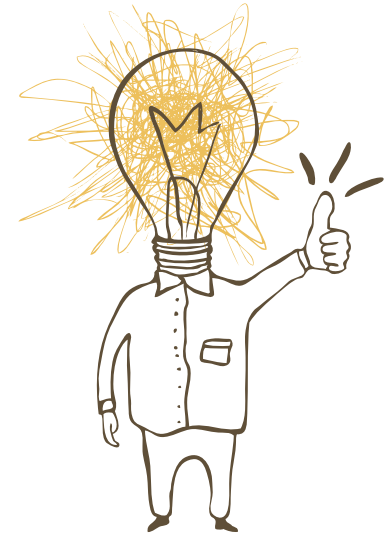
$$\begin{aligned} I_{ph} \times 0.866 &= I_{line} / 2 \\ I_{ph} &= I_{line} / 2 \times 0.866 \\ &= I_{line} / 1.73 \end{aligned}$$





การต่อขดทุติยภูมิแบบเดลตา

การต่อขดทุติยภูมิแบบเดลตาทำแบบเดียวกันกับการต่อขดปฐมภูมิ โดยมีจุดเชื่อมต่อขั้วลบไปยังขั้วบวก ถ้าไม่แน่ใจว่าขั้วของขดลวดถูกต้องหรือไม่จะต้องตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าต่อไป



กำลังไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลตา

สมมติให้โหลดความต้านทานในสถานะสมดุลได้รับการเชื่อมต่อขดลวดทุติยภูมิแบบเดลตาของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส กำลังไฟฟ้าจากขดลวดเท่ากับแรงดันในแต่ละเฟสคูณกับกระแสในแต่ละเฟส ($P = E_{ph} \times I_{ph}$) กำลังไฟฟ้ายรวมคือสามเท่าของกำลังที่แจกจ่ายโดยขดลวดหนึ่งชุด เพราะฉะนั้น

$$\text{ผลรวม } P_s = 3 \times E_{ph} \times I_{ph}$$

ซึ่ง P_s อยู่ในรูปของ volt-ampere

การวัดค่าในสายดีกว่าการวัดค่าในเฟส เพราะฉะนั้นต้องเปลี่ยนแปลงสมการเป็นแรงดันไฟฟ้าในสายและกระแสในสาย สำหรับแรงดันไฟฟ้าในเฟสสามารถแทนด้วยแรงดันไฟฟ้าในสายเนื่องจากเป็นค่าเดียวกันสำหรับการต่อแบบเดลตา กระแสในเฟสเท่ากับกระแสในสายหารด้วย 1.73

เขียนสมการ ได้เป็น

$$\text{ผลรวม } P_s = (3 \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}}) / 1.73 \quad \text{หรือ}$$

$$\text{ผลรวม } P_s = (3 / 1.73) \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}}$$

$$\text{ผลรวม } P_s = 1.73 \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}}$$

ถ้าโหลดเป็นรีแอกทีฟและเป็นโหลดสมดุลย์
กำลังไฟฟ้าจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้

$$\text{ผลรวม } P = 1.73 \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}} \times \text{p.f.}$$

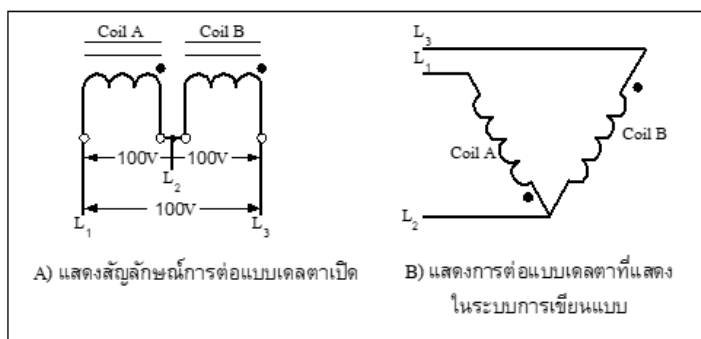
ซึ่ง P อยู่ในรูปของ watt





เดลตาเปิด

เมื่อทำการต่อแบบเดลตา เริ่มต้นโดยการเชื่อมต่อ
ขดลวด B ไปยังขดลวด A ที่จุดนี้แรงดันไฟฟ้าสามชุดเท่ากัน
การต่อแบบนี้เรียกว่าการต่อแบบเดลตาเปิด (Opendelta)
หรือแบบ วี (Vee)

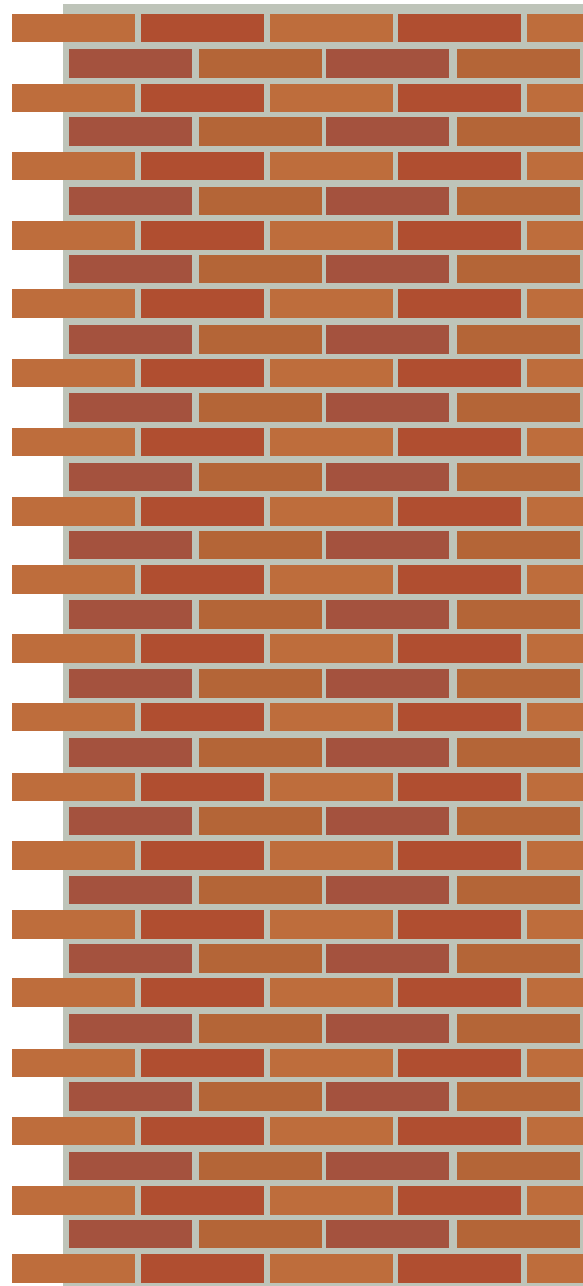


การต่อแบบเดลตาเปิด (Open delta)

บางครั้งเรียกว่าการต่อแบบ วี (Vee)

A) แสดงการสัญลักษณ์การต่อแบบเดลตาเปิด

B) วิธีการต่อแบบเดลตา ที่แสดงในระบบการเขียนแบบ



ถ้าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดคือ 100 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าของขดลวด B เท่ากับ 100 โวลต์ เช่นเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสอง คือ 100 โวลต์ ถ้าพิจารณาแต่ละคู่ของสาย แรงดันไฟฟ้าในสายเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในเฟส กระแสในสายเท่ากับกระแสในเฟส เพราะฉะนั้นกำลังที่ส่งให้โดยขดลวดคือ

$$P = E_{ph} \times I_{ph} = E_{line} \times I_{line}$$

กำลังไฟฟ้าคือผลรวมกำลังไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองขดหรือเท่ากับ 58 เปอร์เซ็นต์ของการต่อแบบเดลตา

การต่อแบบเดลตาเปิด สามารถใช้จ่ายกำลังภาวะฉุกฉินในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งต่อแบบเดลตาเกิดการขัดข้องไม่สามารถจ่ายกำลังได้และจำเป็นต้องนำไปซ่อมแซมแก้ไข แต่จะรับโหลดได้เพียง 58 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น





การต่อแบบวาย

การต่อขดทุติยภูมิแบบวายมีสี่ขั้ว สายมีไฟสามสายคือ L_1 , L_2 และ L_3 สายนิวตรอนอีกหนึ่งสาย แรงดันไฟฟ้าในสายคือแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายมีไฟแต่ละคู่ แรงดันไฟฟ้าในเฟสคือแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายมีไฟกับสายนิวตรอน ยกตัวอย่างเช่น โรงงานอาจจะใช้ระบบแรงดันไฟฟ้าในสาย 208 โวลต์ 3 เฟสสำหรับเครื่องจักร และแรงดันไฟฟ้าในเฟส 120 โวลต์สำหรับระบบแสงสว่าง

จุดต่อนิวตรอน คือจุดต่อร่วมของขดลวด

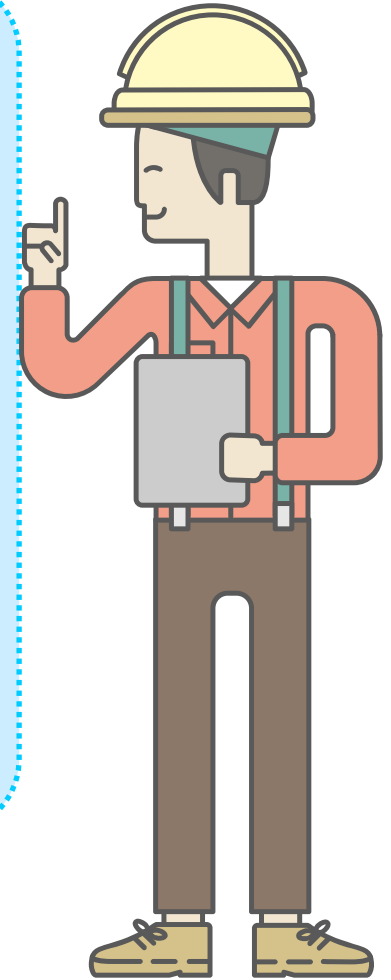




แรงดันไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย

แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวตรอนและแต่ละสายของแรงดันไฟฟ้าในเฟส แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายสองสายคือผลรวมทางเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าในเฟส เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 7.18 L_1 และ L_2 คือผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของขดลวด A และขดลวด B ขดลวด B มีขั้วตรงข้ามกับขั้วของขดลวด A เพราะฉะนั้น ต้องกลับทิศทางของเฟสเซอร์ก่อนที่จะรวมกัน แสดงการหาค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่าง L_1 กับ L_2 โดยการคูณด้วย 1.73 กับแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมขดลวดหนึ่งชุด สามารถกล่าวได้ว่าการต่อแบบวาย แรงดันไฟฟ้าในสายเท่ากับ 1.73 คูณกับแรงดันไฟฟ้าในเฟส สมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$E_{\text{line}} = 1.73 \times E_{\text{ph}} ; \text{ หรือ } E_{\text{ph}} = E_{\text{line}} / 1.73$$



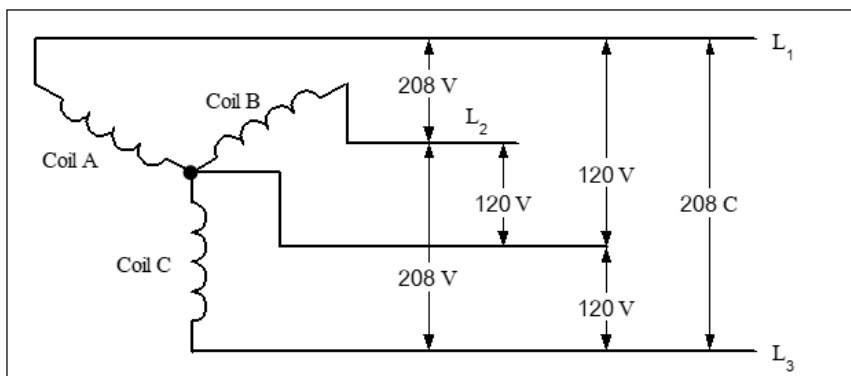
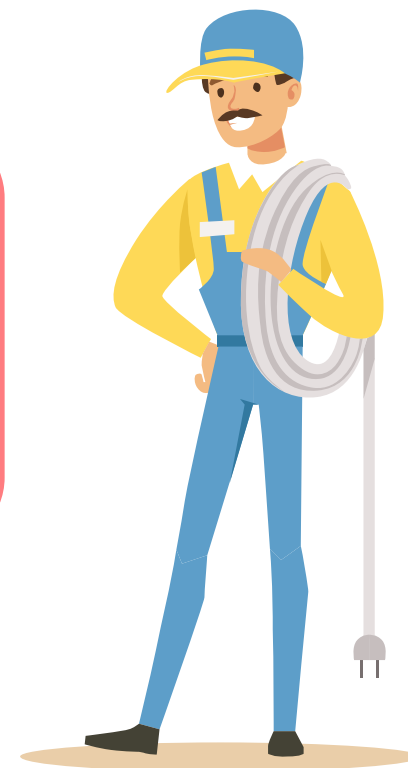


กระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย

ถ้าไม่มีจุดต่อระหว่างเส้น L_1 และขดลวด A กระแสใน L_1 ยังผ่านขดลวด A ในทำนองเดียวกันสำหรับขดลวดอื่นๆ และอีกสองสาย เราสามารถกล่าวได้ว่าการต่อแบบวายกระแสในสายเท่ากับกระแสในเฟส

สมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$I_{\text{line}} = I_{\text{ph}}$$



การต่อแบบวายค่าแรงดันไฟฟ้าในสายคือแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายมีไฟกับสายมีไฟและแรงดันไฟฟ้าในเฟสคือแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายมีไฟกับสายนิวตรอน

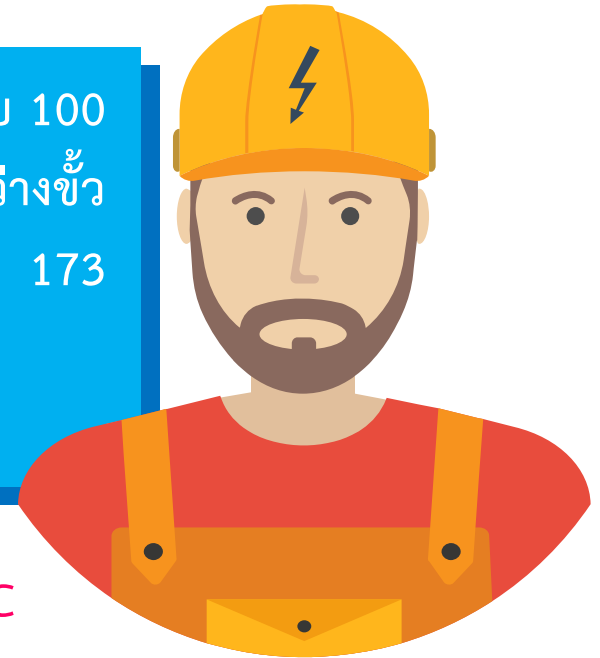


การต่อขดลวดทุติยภูมิแบบวาย

ก่อนที่จะทำการจ่ายโหลด ต้องแน่ใจว่าขดลวดทุติยภูมิได้รับการต่อที่ถูกต้อง ต้องต่อขั้วบวกเข้ากับขั้วบวก ถ้าไม่แน่ใจในขั้วของขดลวด สามารถทำการต่อแล้ววัดแรงดันไฟฟ้า

ตัวอย่างเช่น สมมุติแรงดันไฟฟ้าในเฟสของขดลวดเท่ากับ 100 โวลต์ ต่อขดลวด A เข้ากับขดลวด B แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วที่เหลือ ถ้าได้รับการต่อที่ถูกต้อง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะเท่ากับ 173 โวลต์ ถ้าไม่ถูกต้องจะวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 100 โวลต์

เมื่อต่อขดลวด A และ B ถูกต้อง สามารถเพิ่มขดลวด C แรงดันไฟฟ้าระหว่าง C และ A (หรือ B) จะเป็น 173 โวลต์





กำลังไฟฟ้าเมื่อต่อแบบวาย

สมมุติโหลดความต้านทานสมดุล ได้รับการต่อที่ขดลวดทุติยภูมิแบบวายของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส กำลังไฟฟ้าจากขดลวดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในเฟสคูณกับกระแสในเฟส ($P = E_{ph} \times I_{ph}$) ผลรวมของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ สามคูณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยขดลวดหนึ่งชุด เพราะฉะนั้น ผลรวม กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ จะเท่ากับ

$$\text{ผลรวม } P_s = 3 \times E_{ph} \times I_{ph}$$

ในวงจรที่ต่อแบบวาย กระแสในสายและกระแสในเฟสเป็นตัวเลขเดียวกัน เพราะฉะนั้น I_{line} สามารถแทนได้โดยตรงด้วย I_{ph} แรงดันไฟฟ้าในเฟสเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในสายหารด้วย 1.73 ($E_{ph} = I_{line} / 1.73$)

เขียนสมการ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ผลรวม } P_s &= 3 \times E_{\text{line}} / 1.73 \times I_{\text{line}} \\ \text{ผลรวม } P_s &= 3 / 1.73 \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}} \\ \text{ผลรวม } P_s &= 1.73 \times E_{\text{line}} \times I_{\text{line}}\end{aligned}$$

จะเห็นว่าสมการที่ได้จะเหมือนกับที่ได้จากการต่อแบบ
เดลตา ดังนั้นการคำนวณกำลัง 3 เฟส ไม่ต้องคำนึงถึงการต่อ
ไม่ว่าการต่อจะเป็นแบบเดลตาหรือแบบวาย



การวัดกำลัง 3 เฟส

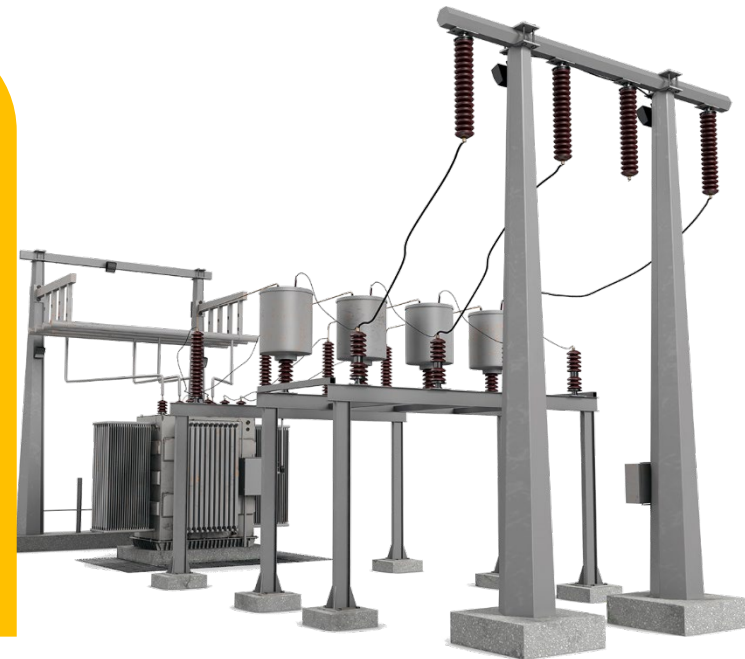
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้คือค่าที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์มีขดลวดสองชุด ขดลวดชุด
หนึ่งเรียกขดลวดแรงดัน (Potential coil) ต่อเหมือนกับโวลต์มิเตอร์ ขดลวดอีกชุดหนึ่งเรียกว่า
ขดกระแส (Current coil) ต่อเหมือนกับแอมป์มิเตอร์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้คือผลของ
แรงดันไฟฟ้าคูณกับกระแสคูณกับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์



กำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟส

การแสดงโหลดความต้านทาน 3 เฟสที่สมดุลย์ วัดต์มิเตอร์หนึ่งตัววัดกำลังไฟฟ้าในหนึ่งเฟส ค่าแสดงบนวัดต์มิเตอร์ คือ $E \times I \times \cos\theta$ มุม θ คือศูนย์องศาสำหรับโหลดความต้านทาน $\cos\theta = 1$ ถ้าแรงดันไฟฟ้าในเฟส คือ 100 โวลต์ และกระแสในเฟส คือ 5 แอมป์ วัดต์มิเตอร์จะอ่านได้เท่ากับ 500 วัตต์ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้คือผลรวมของค่าที่อ่านได้จากวัดต์มิเตอร์แต่ละตัวหรือเท่ากับ 1500 วัตต์

ปกติปัญหาในการวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส คือ มีโหลดจำนวนมากและไม่สามารถต่อกับจุดนิวตรอนได้ และไม่สามารถวัดได้กับโหลดที่ต่อแบบเดลตา ดังนั้นจึงสามารถวัดกระแสในสายและแรงดันไฟฟ้าในสายเท่านั้น อีกวิธีหนึ่งเพื่อใช้กับค่าเหล่านี้คือการวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสด้วยวัดต์มิเตอร์สองตัว





การวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสด้วยวัตต์มิเตอร์สองตัว

การแสดงการต่อวัตต์มิเตอร์สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส โดยการต่อโหลดแบบ วาย หรือต่อแบบเดลตาก็ได้ค่ากำลังที่เหมือนกัน ผลรวมกำลังไฟฟ้า 3 เฟส คือผลรวมทางพีชคณิตของค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ทั้งสองตัว

มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง 3 ข้อในการต่อวิธีนี้ : คือ

1. การต่อขั้วของขดลวดวัตต์มิเตอร์สำคัญมาก
2. วัตต์มิเตอร์จะได้ค่าเหมือนกับโหลด มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง (Unity power factor)
3. เมื่อไรที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด อยู่ต่ำกว่า 0.5 วัตต์มิเตอร์ตัวหนึ่ง จะอ่านค่าไม่ได้ ต้องกลับขั้วในการต่อเพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ ค่าที่อ่านได้ จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นต้องนำค่าที่อ่านได้ไปลบออกจากค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์อีกตัวหนึ่ง

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

ทั้งทุติยภูมิหรือปฐมภูมิอาจจะได้รับการต่อในแบบเดลตา หรืออาจจะได้รับการต่อในแบบวาย ซึ่งเราสามารถแบ่งการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสได้เป็น 4 แบบ

1. ทั้งทุติยภูมิและปฐมภูมิ ต่อแบบเดลตา เรียกว่า การต่อแบบ เดลตา-เดลตา (Delta-Delta)
2. ปฐมภูมิต่อแบบเดลตา ขณะที่ทุติยภูมิต่อแบบวาย เรียกว่า การต่อแบบ เดลตา-วาย (Delta - Wye)
3. ปฐมภูมิต่อแบบวาย ขณะที่ทุติยภูมิต่อแบบเดลตา เรียกว่า การต่อแบบ ยาย-เดลตา (Wye - Delta)
4. ทั้งทุติยภูมิและปฐมภูมิต่อแบบวาย เรียกว่าการต่อแบบ ยาย-วาย (Wye - Wye) เพื่อแสดงผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการต่อที่แตกต่างกันเหล่านี้ จะศึกษาผ่านตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างต่อไปนี้ จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเหมือนกันทั้ง 3 ตัว มีอัตรารอบ 10:1 ปฐมภูมิ มี 2,400 โวลต์ 3 เฟส และมีโหลดประกอบด้วยความต้านทาน 100 โอห์ม 3 ชุด ต่อแบบวาย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้ คือ

1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) หมายถึง การบำรุงรักษาที่ทำตามแผนและระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้อาจเป็นรายวัน รายเดือน ราย 3 หรือ 6 เดือน หรือรายปีเป็นต้น

2 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Collective maintenance) หมายถึง การบำรุงรักษาหลังจากชำรุดเสียหายของหม้อแปลงแล้ว เป็นการบำรุงแบบดั้งเดิมที่อาจส่งผลการกระทบต่อการประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม และกิจการงานต่างๆ ได้ เนื่องจากหม้อแปลงอาจชำรุดเสียหายมากจนไม่สามารถใช้งานได้อีก ซึ่งอาจลุกลามเป็นความเสียหายที่มีมูลค่าสูง

ประโยชน์ของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

เมื่อพิจารณาถึงการบำรุงรักษาหม้อแปลงทั้ง 2 วิธีดังกล่าวแล้วจะเห็นได้ว่าวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีประโยชน์ดีกว่าการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข จึงสรุปได้ว่าประโยชน์ของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีดังนี้ คือทำให้

- 1 หม้อแปลงไฟฟ้าพร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา
- 2 ลดความเสี่ยงในสภาวะระบบไฟฟ้าขัดข้อง และสามารถวางแผนการดับไฟฟ้า
- 3 ยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 4 หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ความปลอดภัยในการเข้าตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

1.

การตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในขณะที่จ่ายไฟไม่ควรตรวจสอบในขณะที่มีความชื้นสูงในอากาศหรือหลังฝนตก เพราะความชื้นในอากาศทำให้ความเป็นฉนวนลดลง ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ และในขณะที่ตรวจสอบห้ามเข้าใกล้ส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าเกินกว่าระยะที่จะเป็นอันตรายได้

2.

การตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะดับไฟ ในการดับไฟจะต้องดับไฟทางด้านแรงดันต่ำก่อน แล้วจึงดับไฟด้านแรงดันสูงตาม เมื่อดับไฟแล้วควรตรวจสอบว่ามีไฟฟ้าหรือไม่ เมื่อมั่นใจว่าไม่มีแล้วจึงทำการคายประจุ (discharge) ที่อาจตกค้างในตัวหม้อแปลงให้หมดก่อนทุกครั้ง รวมทั้งการต่อกราวด์ที่ตัวผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลาในขณะที่ปฏิบัติงาน

3.

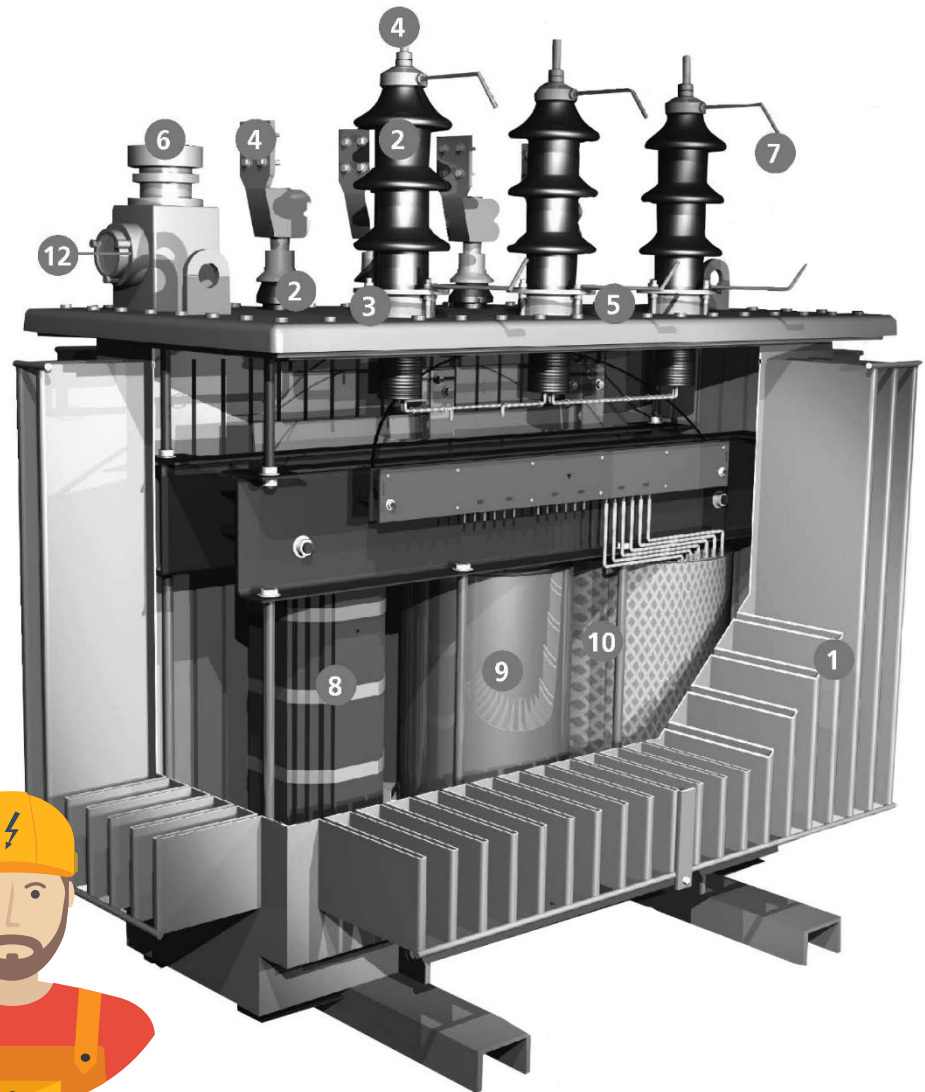
ควรสวมใส่อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยต่างๆ ให้ครบถ้วน เช่น ถุงมือฉนวนที่เหมาะสมกับระดับแรงดันไฟฟ้า หมวกนิรภัย รองเท้าฉนวน ซึ่งจะช่วยลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้

4.

ผู้ทำการตรวจสอบจำเป็นต้องมีความรู้เรื่องอันตรายและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า มีดังนี้

1. Tank and Fin
2. HV and LV Bushing
3. Transformer Gasket
4. HV and LV Terminal
5. Tap Changer
6. Pressure-Relief Device
7. Arcing Horn
8. Transformer Core
9. HV Winding
10. LV Winding
11. Oil Level Indicator
12. Dial Type Thermometer

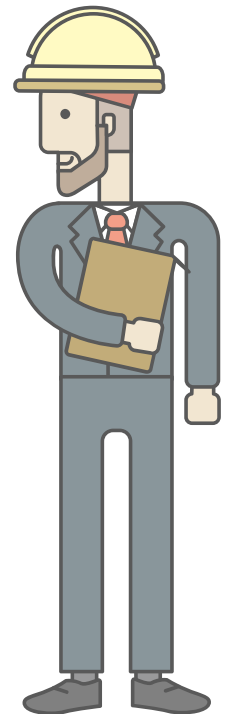


การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1 ด้วยวิธี Visual Check หรือ Inspection Check
เป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกที่ทำได้ด้วยตัวเอง โดยมีหัวข้อตรวจสอบดังนี้

ISC1	ถังและครีระบายความร้อน (Tank and Fin)
ISC2	บุชชิงแรงสูง (High Voltage Bushing)
ISC3	บุชชิงแรงต่ำ (Low Voltage Bushing)
ISC4	ปะเก็นลูกถ้วยแรงสูง (HV Bushing Gasket)
ISC5	ปะเก็นลูกถ้วยแรงต่ำ (LV Bushing Gasket)
ISC6	ปะเก็นฝาถัง (Cover Gasket)
ISC7	ปะเก็นแท็ปปรับแรงดัน (Tap changer Gasket)
ISC8	ขั้วต่อสายแรงสูง (HV. Terminal)



ISC9	ขั้วต่อสายแรงต่ำ (LV. Terminal)
ISC10	อุปกรณ์ระบายความดัน (Pressure – Relief Device)
ISC11	อุปกรณ์วัดระดับน้ำมัน (Oil Level Indicator)
ISC12	กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น (Dehydrating Breather with Silica Gel)
ISC13	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermometer)
ISC14	บุชโฮล์ชรีเลย์ (Buchholz Relay)
ISC15	สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง

2 ด้วยวิธีวัดหรือทดสอบ (Measurement or Testing) เป็นการวัดและทดสอบอย่างละเอียดเพิ่มเติมจาก Inspection Test

MET1	การวัดค่าความต้านทาน (Measurement of Insulation Resistance)
MET2	การทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน (Oil Dielectric Strength Test)
MET3	การวัดปริมาณน้ำในน้ำมัน (Water Content Measurement)
MET4	การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในน้ำมัน (Dissolved Gas Analysis)