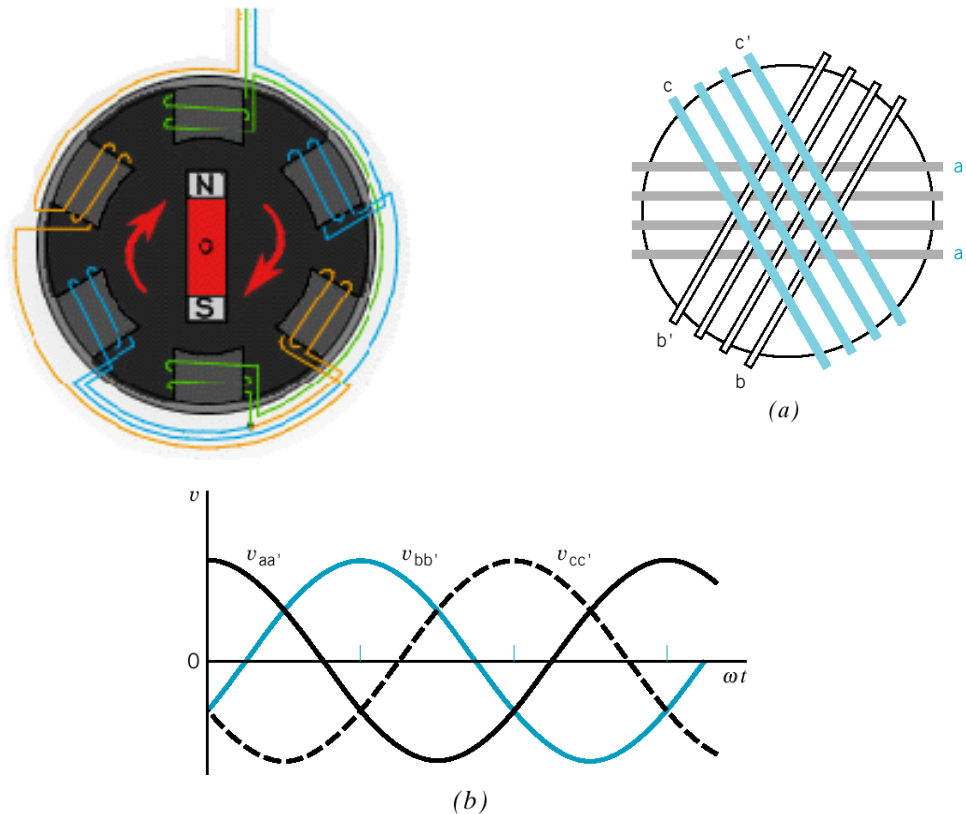


บทที่ 6

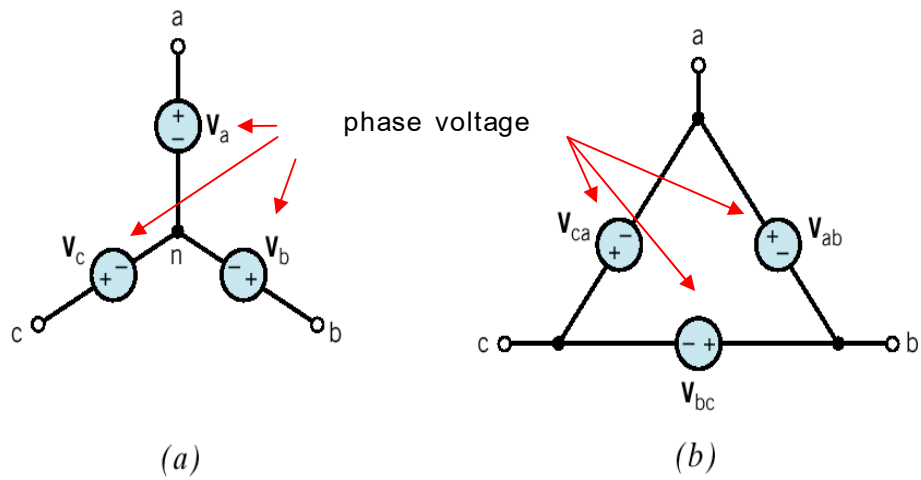
วงจรไฟฟ้าสามเฟส (Three Phase Circuits)

ระบบไฟฟ้าสามเฟสได้จากขดลวดภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสามวงจรดังรูปที่ 6.1a ซึ่งจะส่งกระแสออกที่ขดลวดในลักษณะเป็นลำดับเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน วงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายสัญญาณมาสามเฟสที่ต่างเฟสกัน ดังรูปที่ 6.1b จะสังเกตว่าจุดเริ่มต้นของสัญญาณจะเริ่มต้นต่างกัน 120 องศา การต่อแหล่งจ่ายทั้งสามชุดมีวิธีการต่อสองแบบคือ แบบวาย (Y - Connection หรือ Star Connection) และ แบบเดลต้า (Δ - Connection) ดังรูปที่ 6.2



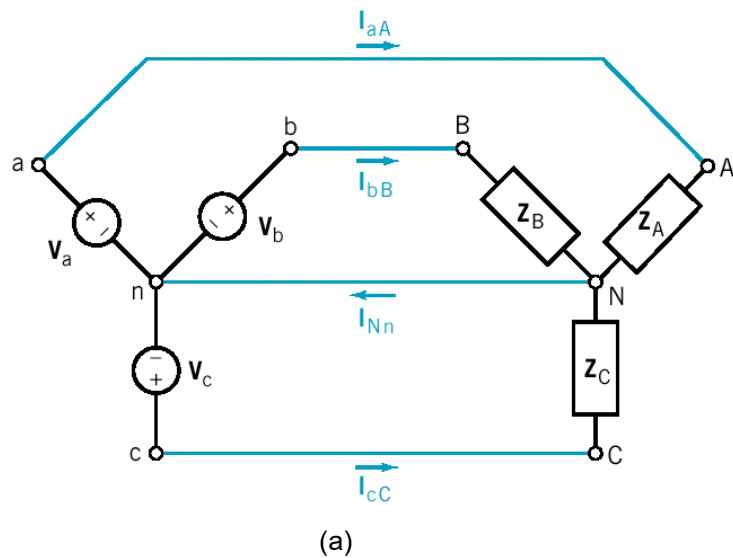
รูปที่ 6.1 a) การพันขดลวดสามขดบนแกนทรงกระบอก

b) แรงดันไซน์ซออยด์สามเฟสสมดุลย์

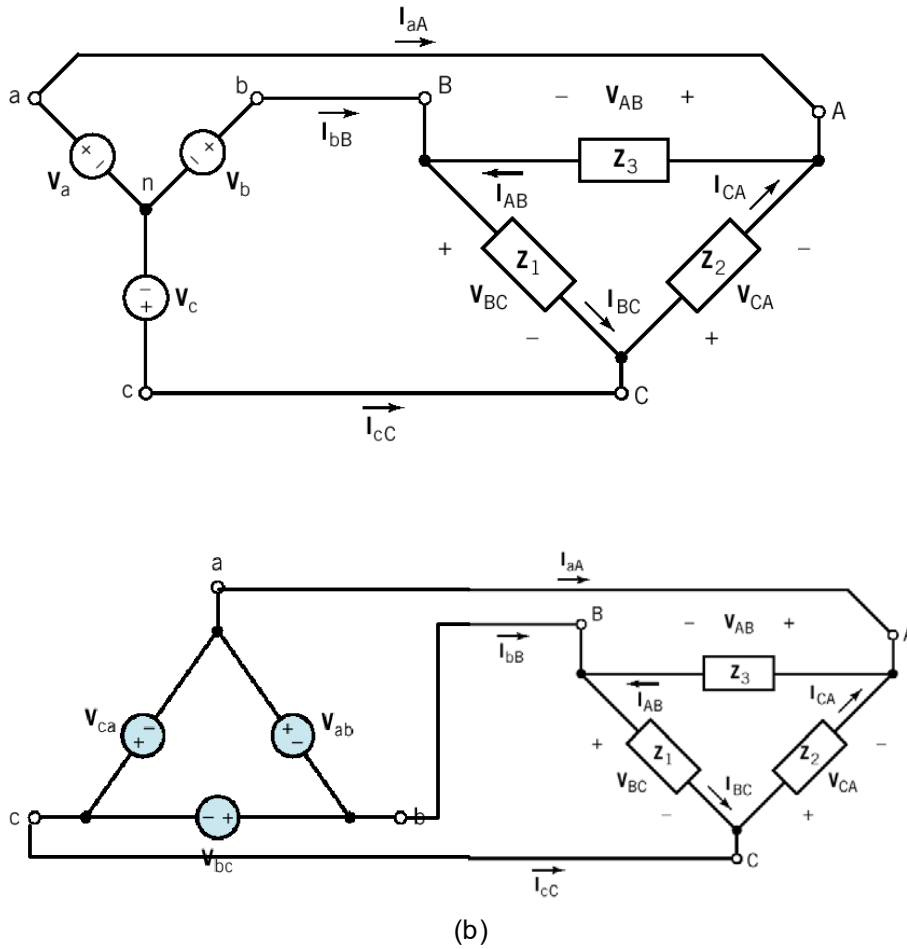


รูปที่ 6.2 การต่อแหล่งจ่ายแรงดัน a) แบบวาย b) แบบเดลต้า

โหลดที่ใช้งานมีสองแบบเช่นเดียวกับแหล่งจ่าย คือ แบบวาย (Y - Connection หรือ Star Connection) และ แบบเดลต้า (Δ - Connection) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะโหลดที่มีขนาดเท่ากันในแต่ละเฟส (Balance Three-phase Circuit) ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แหล่งจ่ายและการต่อโหลด a) แบบวาย b) แบบเดลต้า



รูปที่ 6.3 (ต่อ) แหล่งจ่ายและการต่อโหลด a) แบบวาย b) แบบเดลต้า

การพิจารณาแรงดันและกระแสในระบบไฟฟ้าสามเฟส

6.1 ในระบบ Y - Connection

ลองพิจารณารูปที่ 6.3(a) แหล่งจ่ายมีสามเฟสคือ เฟส A(V_a หรือ V_{an}) เฟส B(V_b หรือ V_{bn}) และเฟส C(V_c หรือ V_{cn}) โหลดก็มี 3 เฟสคือ Z_A Z_B และ Z_C (ขนาดเท่ากัน) ขนาดแรงดันแต่ละเฟสเท่ากันคือ V_m โวลต์แต่ตามกันมาห่างกัน 120 องศาถ้าเขียนรูปแสดงสัญญาณดังรูปที่ 6.1b)

ถ้าทำการวัดแรงดันจากจุด a ถึงจุด n จากจุด b ถึงจุด n และ จากจุด c ถึงจุด n จะได้แรงดัน V_{an} V_{bn} และ V_{cn} ตามลำดับเรียกว่า Phase Voltage ย่อว่า V_p จุด n เรียกว่า จุด Neutral สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$V_{an} = V_m \sin \omega t = V_m \angle 0^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{bn} = V_m \sin(\omega t - 120^\circ) = V_m \angle -120^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{cn} = V_m \sin(\omega t - 240^\circ) = V_m \angle -240^\circ \quad \text{Volts}$$

เมื่อ

$$V_m = \text{peak voltage}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \text{root mean square voltage}$$

ถ้าทำการวัดแรงดันจากจุด a ถึงจุด b จากจุด b ถึงจุด c และ จากจุด c ถึงจุด a จะได้แรงดัน V_{ab} V_{bc} และ V_{ca} ตามลำดับเรียกว่า Line Voltage ย่อว่า V_{line} สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$$

$$V_{ab} = V_m \angle 0^\circ - V_m \angle -120^\circ$$

$$V_{ab} = V_m (\cos 0^\circ - \cos(-120^\circ) - j \sin(-120^\circ))$$

$$V_{ab} = V_m \left(1 - \left(-\frac{1}{2}\right) + j\sqrt{\frac{3}{2}}\right)$$

$$V_{ab} = V_m \left(\frac{3}{2} + j\sqrt{\frac{3}{2}}\right) = \sqrt{3}V_m \angle 30^\circ \quad \text{Volts}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$V_{bc} = \sqrt{3}V_m \angle -90^\circ \quad \text{Volts}$$

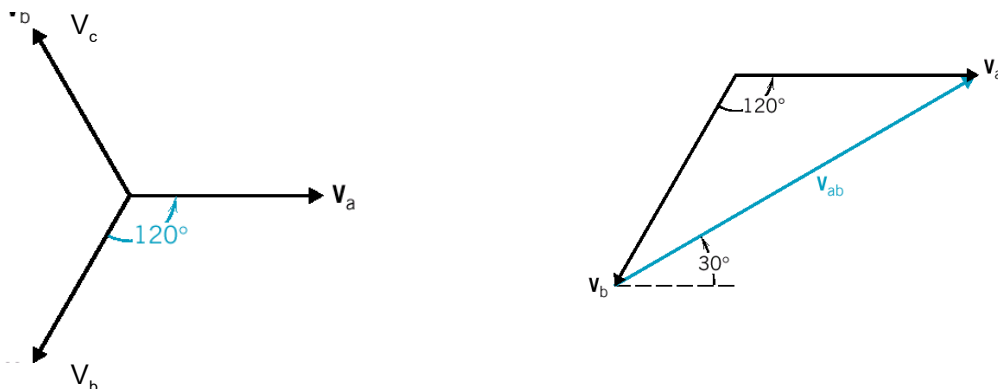
$$V_{ca} = \sqrt{3}V_m \angle -210^\circ \quad \text{Volts}$$

จะเห็นว่าขนาดแรงดันในวงจรต่อแบบวายนั้น

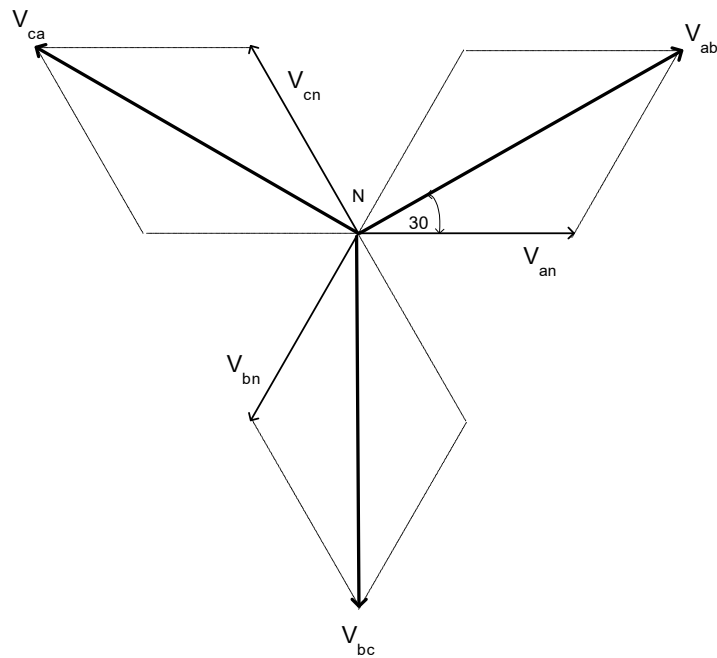
$$V_{line} = \sqrt{3}V_{phase}$$

$$I_{line} = I_{phase}$$

การแสดงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแบบวายนัดรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแบบวายน



รูปที่ 6.4 (ต่อ) แสดงการบวกเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแบบวาย

ถ้าทำการต่อแหล่งจ่ายกับโหลดแบบวายดังรูปที่ 6.3a เราสามารถคำนวณหาแรงดันและกระแสได้โดยใช้หลักเกณฑ์และกฎต่างๆรวมทั้งทฤษฎีต่างๆซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ถ้าโหลดเท่ากัน (Balance load) จุด n กับ จุด N เป็นจุดเดียวกันได้ จะได้ว่า

จากรูปที่ 6.3a กระแส line จะเท่ากับกระแสโหลดหรือกระแสเฟส

$$I_{aA} = I_{AN} \quad I_{bB} = I_{BN} \quad I_{cC} = I_{CN}$$

หรือ

$$I_{line} = I_{phase}$$

$$V_{line} = \sqrt{3}V_{phase}$$

สมมติให้

$$V_{an} = V_{AN} = V_m \angle 0^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{bn} = V_{BN} = V_m \angle -120^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{cn} = V_{CN} = V_m \angle -240^\circ \quad \text{Volts}$$

ให้กระแสตามหลัง(lag)แรงดัน θ คือ

$$I_{an} = I_{AN} = I_m \angle -\theta \quad \text{Amp}$$

$$I_{bn} = I_{BN} = I_m \angle -(\theta + 120)^\circ \quad \text{Amp}$$

$$I_{cn} = I_{CN} = I_m \angle -(\theta + 240)^\circ \quad \text{Amp}$$

$$\text{Load Power in Phase A} = S_A = V_{AN} I_{AN} \angle \theta^\circ$$

$$\text{Load Power in Phase B} = S_B = V_{BN} I_{BN} \angle \theta^\circ$$

$$\text{Load Power in Phase C} = S_C = V_{CN} I_{CN} \angle \theta^\circ$$

ถ้า $V_P = V_{AN} = V_{BN} = V_{CN}$ หน่วย V_{rms}

$$I_P = I_{AN} = I_{BN} = I_{CN} \quad \text{หน่วย } A_{\text{rms}}$$

Complex Power in Load (S)

$$S = S_A + S_B + S_C$$

$$S = 3V_P I_P \angle \theta$$

$$S = 3V_P I_P \cos \theta^\circ + j3V_P I_P \sin \theta^\circ$$

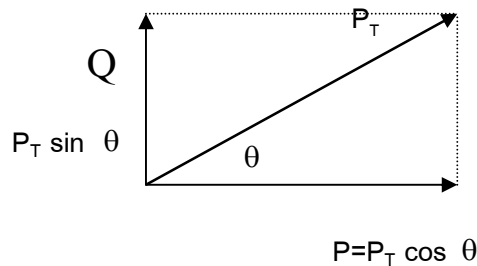
Power ประกอบด้วยสามส่วนคือ

$$\text{Complex Power} = S = 3V_P I_P \angle \theta \quad \text{มีหน่วยเป็น VA (หรือ Apparent Power)}$$

$$\text{Real Power} = P = 3V_P I_P \cos \theta^\circ \quad \text{มีหน่วยเป็น Watts}$$

$$\text{Reactive Power} = Q = 3V_P I_P \sin \theta^\circ \quad \text{มีหน่วยเป็น VAR}$$

สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ของ Power ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าสามเฟสแบบวายและเดลต้า

สำหรับการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า(Power) ในรูปของ V_{line} และ I_{line}

$$I_{\text{line}} = I_{\text{phase}} \quad \text{หน่วย Amp rms}$$

$$V_{\text{line}} = \sqrt{3}V_{\text{phase}} \quad \text{หน่วย Volt rms}$$

จะได้ว่า

$$\text{Complex Power} = P_T = \sqrt{3}V_{\text{line}} I_{\text{line}} \quad \text{มีหน่วยเป็น VA}$$

$$\text{Real Power} = P = \sqrt{3}V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos \theta^\circ \quad \text{มีหน่วยเป็น Watts}$$

$$\text{Ractive Power} = Q = \sqrt{3}V_{\text{line}} I_{\text{line}} \sin \theta^\circ \quad \text{มีหน่วยเป็น VAR}$$

$$\text{Power factor (Pf)} = \cos \theta^\circ \quad (\theta \text{ คือมุมระหว่าง } V \text{ และ } I)$$

6.2 ในระบบ Δ - Connection

พิจารณารูปที่ 6.3(b) แหล่งจ่ายมีสามเฟสคือ เฟส A(V_a หรือ V_{ab}) เฟส B(V_b หรือ V_{bc}) และ เฟส C(V_c หรือ V_{ca}) โหลดก็มี 3 เฟสคือ Z_1 Z_2 และ Z_3 (ขนาดเท่ากัน) ขนาดแรงดันแต่ละเฟส เท่ากันคือ V_m โวลต์แต่ตามกันมาห่างกัน 120 องศาเขียนรูปแสดงสัญญาณดังรูปที่ 6.1b)

ต่อโหลดแบบเดลต้าจะไม่มีจุด Neutral

ถ้าทำการวัดแรงดันจากจุด a ถึงจุด b จากจุด b ถึงจุด c และ จากจุด c ถึงจุด a จะได้ แรงดัน V_{ab} V_{bc} และ V_{ca} ตามลำดับเรียกว่า Phase Voltage ย่อว่า V_p สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$V_{ab} = V_m \sin \omega t = V_m \angle 0^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{bc} = V_m \sin(\omega t - 120^\circ) = V_m \angle -120^\circ \quad \text{Volts}$$

$$V_{ca} = V_m \sin(\omega t - 240^\circ) = V_m \angle -240^\circ \quad \text{Volts}$$

เมื่อ

$$V_m = \text{peak voltage}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \text{root mean square voltage}$$

ถ้าทำการต่อแหล่งจ่ายกับโหลดแบบวายดังรูปที่ 3b เราสามารถคำนวณหาแรงดันและ กระแสได้โดยใช้หลักเกณท์และกฎต่างๆรวมทั้งทฤษฎีต่างๆซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ถ้าโหลดเท่ากัน (Balance load) จะได้ว่า

แรงดัน line เท่ากับ แรงดันเฟส

$$V_{line} = V_{phase}$$

กระแส line จะไม่เท่ากับกระแสโหลดหรือกระแสเฟส (สามารถพิสูจน์ได้)

$$I_{aA} = \sqrt{3} I_{AB} \quad I_{bB} = \sqrt{3} I_{BC} \quad I_{cC} = \sqrt{3} I_{CA}$$

หรือ
$$I_{line} = \sqrt{3} I_{phase}$$

$$I_{AB} = I_m \angle -\theta^\circ \quad \text{Amp}$$

$$I_{BC} = I_m \angle -(\theta + 120)^\circ \quad \text{Amp}$$

$$I_{CA} = I_m \angle -(\theta + 240)^\circ \quad \text{Amp}$$

$$\text{Load Power in Phase A} = P_A = V_{AB} I_{AB} \angle \theta^\circ$$

$$\text{Load Power in Phase B} = P_B = V_{BC} I_{BC} \angle \theta^\circ$$

$$\text{Load Power in Phase C} = P_C = V_{CA} I_{CA} \angle \theta^\circ$$

ถ้า $V_P = V_{AB} = V_{BC} = V_{CA}$ หน่วย V_{rms}

$I_P = I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$ หน่วย A_{rms}

Complex Power in Load (P_T)(เหมือนการต่อแบบวาย)

$P_T = P_A + P_B + P_C$

$P_T = 3V_P I_P \cos \theta$

$P_T = 3V_P I_P \cos \theta^\circ + j3V_P I_P \sin \theta^\circ$

Power ประกอบด้วยสามส่วนคือ(เหมือนการต่อแบบวาย)

Complex Power = $P_T = 3V_P I_P$ มีหน่วยเป็น VA

Real Power = $P = 3V_P I_P \cos \theta^\circ$ มีหน่วยเป็น Watts

Ractive Power = $Q = 3V_P I_P \sin \theta^\circ$ มีหน่วยเป็น VAR

สำหรับการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า(Power) ในรูปของ V_{line} และ I_{line}

$I_{line} = \sqrt{3}I_{phase}$ หน่วย Amp rms

$V_{line} = V_{phase}$ หน่วย Volt rms

จะได้ว่า(เหมือนการต่อแบบวาย)

Complex Power = $P_T = \sqrt{3}V_{line} I_{line}$ มีหน่วยเป็น VA

Real Power = $P = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$ มีหน่วยเป็น Watts

Ractive Power = $Q = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \sin \theta^\circ$ มีหน่วยเป็น VAR

Power factor (Pf) = $\cos \theta^\circ$ (θ คือมุมระหว่าง V และ I)

6.3 ตัวอย่างการคำนวณระบบไฟฟ้าสามเฟส

ทบทวนความรู้พื้นฐานของอิมพีแดนซ์

อุปกรณ์ที่มีการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับ คือ R L และ C อุปกรณ์เหล่านี้จะมีอิมพีแดนซ์ที่เป็นคอมเพลกซ์เมื่อนำมาต่อรวมกัน

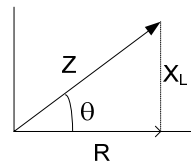
การต่อแบบอนุกรม R+L

$Z = R + j\omega L$ หรือ $Z = R + jX_L$

$R = Z \cos \theta$

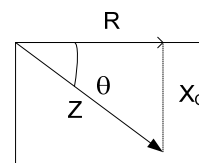
$X_L = Z \sin \theta$

$\tan \theta = \frac{X_L}{R}$



การต่อแบบอนุกรม R+C

$Z = R + 1/j\omega C$ หรือ $Z = R - jX_C$



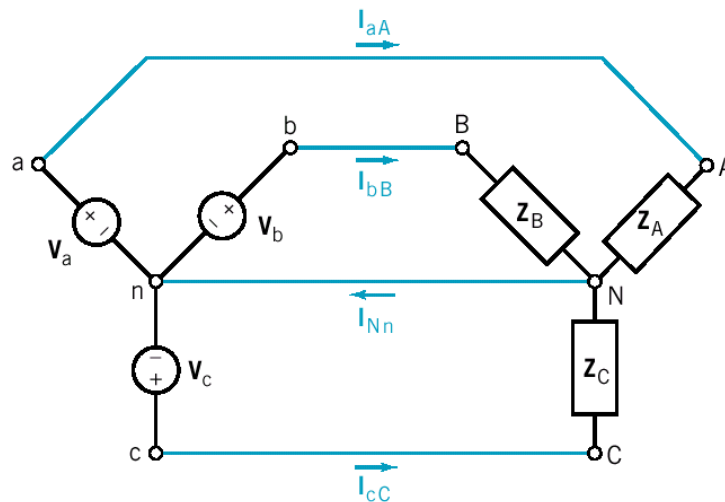
$$R = Z \cos \theta$$

$$X_C = Z \sin \theta$$

$$\tan \theta = \frac{X_C}{R}$$

ดังนั้นค่าของอิมพีแดนซ์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับอาจจะมีทั้งขนาดและมุมด้วย เรานิยมเขียนด้วยสัญกรณ์ $Z \angle \theta$ เช่น $Z = 10 \angle 30$ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 1 วงจรไฟฟ้าสามเฟสต่อแบบวายแรงดันเฟส $220 \text{ V}_{\text{rms}}$ โหลดแต่ละชุดมีค่าเท่ากันเท่ากับ $Z = 5 + j5$ จงคำนวณหาค่า I_{line} , I_{phase} , V_{line} , V_{phase} , power factor, complex power, real power และ reactive power



วิธีทำ

$$Z = 5 + j5 = \sqrt{5^2 + 5^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{5}{5}\right) \text{ Ohms}$$

$$= \sqrt{50} \angle 45^\circ = 7.07 \angle 45^\circ \text{ Ohms}$$

Power factor

$$Pf = \cos \theta = \cos 45^\circ = 0.707$$

$$\text{Reactive factor} = \sin 45^\circ = 0.707$$

Voltage และ Current

$$V_{\text{phase}} = 220 \text{ V}_{\text{rms}}$$

$$I_{\text{phase}} = \frac{V_{\text{phase}}}{Z} = \frac{220}{7.07 \angle 45^\circ} = 31.12 \angle -45^\circ \text{ Amp}_{\text{rms}}$$

$$V_{line} = \sqrt{3} \cdot V_{phase}$$

$$V_{line} = \sqrt{3} \times 220V_{rms} = 381V_{rms}$$

$$I_{line} = I_{phase} = 31.12 \angle -45^\circ$$

Power

$$\text{Complex Power} = P_T = \sqrt{3} V_{line} I_{line}$$

$$P_T = \sqrt{3} \times 381 \times 31.12 = 20539 \text{ VA} = 20.539 \text{ KVA}$$

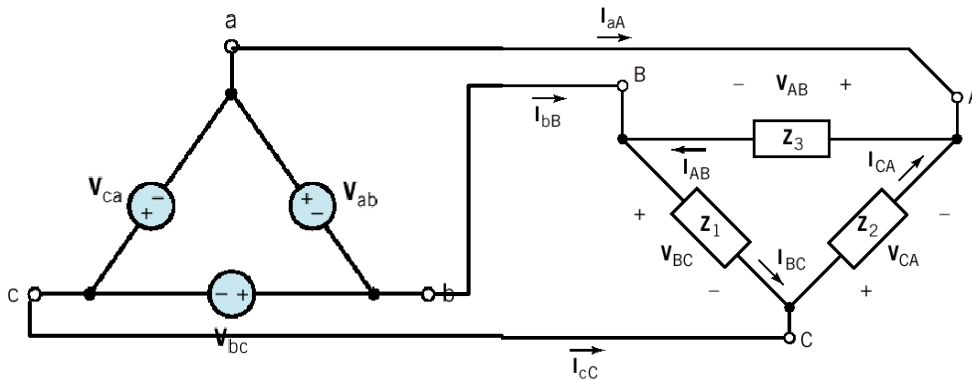
$$\text{Real Power} = P = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \times 381 \times 31.12 \cos 45^\circ = 14523.4 \text{ Watts} = 14.52 \text{ KWatts}$$

$$\text{Reactive Power} = Q = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \sin \theta^\circ$$

$$Q = \sqrt{3} \times 381 \times 31.12 \sin 45^\circ = 14523.4 \text{ Var} = 14.52 \text{ KVAR}$$

ตัวอย่างที่ 2 วงจรไฟฟ้าสามเฟสต่อแบบเดลต้านแรงดันเฟส 100 V_{rms} โหลดแต่ละชุดมีค่าเท่ากันเท่ากับ $Z = 10\Omega$ จงคำนวณหาค่า I_{line} , I_{phase} , V_{line} , V_{phase} , power factor, complex power, real power และ reactive power



วิธีทำ

$$Z = 10 \angle 0^\circ \text{ Ohms}$$

Power factor

$$Pf = \cos \theta = \cos 0^\circ = 1$$

$$\text{Reactive factor} = \sin 0^\circ = 0$$

Voltage และ Current

$$V_{phase} = 100 V_{rms}$$

$$I_{phase} = \frac{V_{phase}}{Z} = \frac{100}{10\angle 0^\circ} = 10\angle 0^\circ \text{ Amp}_{rms}$$

$$V_{line} = V_{phase}$$

$$V_{line} = 100V_{rms}$$

$$I_{line} = \sqrt{3}I_{phase} = \sqrt{3} \times 10\angle 0^\circ = 17.32\angle 0^\circ \text{ Amp}$$

Power

$$\text{Complex Power} = P_T = \sqrt{3}V_{line}I_{line}$$

$$P_T = \sqrt{3} \times 100 \times 10\sqrt{3} = 3000 \text{ VA} = 3 \text{ KVA}$$

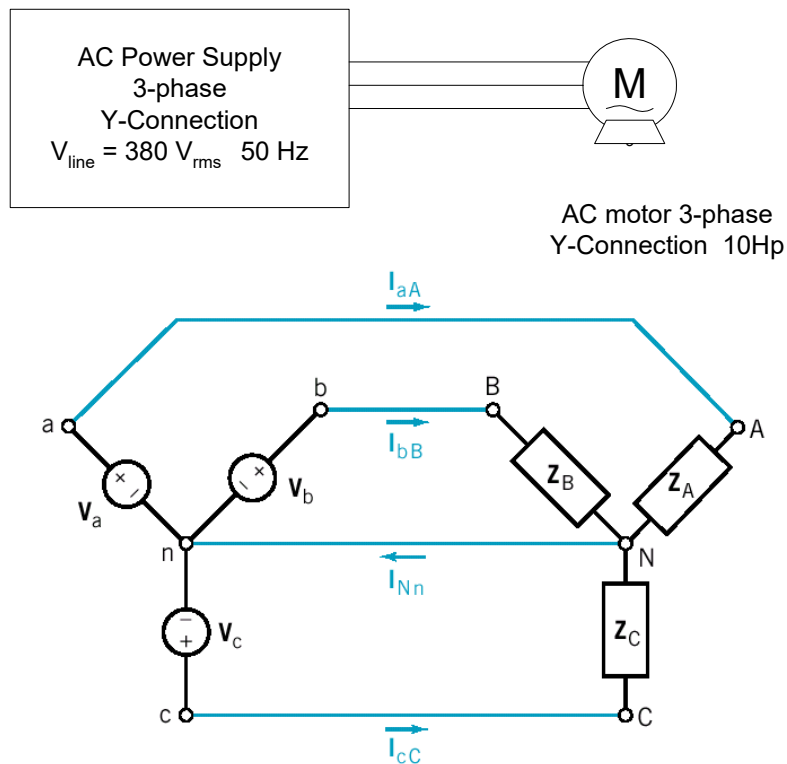
$$\text{Real Power} = P = \sqrt{3}V_{line}I_{line} \cos \theta^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \times 100 \times 10\sqrt{3} \cos 0^\circ = 30000 \text{ Watts} = 3 \text{ KWatts}$$

$$\text{Reactive Power} = Q = \sqrt{3}V_{line}I_{line} \sin \theta^\circ$$

$$Q = \sqrt{3} \times 100 \times 10\sqrt{3} \sin 0^\circ = 0 \text{ VAR}$$

ตัวอย่างที่ 3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสแบบวายมีแรงดัน line 380 V_{rms} โหลดเป็นมอเตอร์ขนาดสามเฟสต่อแบบวาย มอเตอร์นี้มีขนาด 10 แรงม้า ประสิทธิภาพ 90% มี power factor 0.9 lagging จงคำนวณหาค่า I_{line} , I_{phase} , V_{line} , V_{phase} , complex power , real power และ Z



วิธีทำ ประสิทธิภาพมอเตอร์ (Efficiency)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ประสิทธิภาพ 90%

$$P_{out} = 10 \text{ Hp} = 10 \times 746 \text{ W}$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\% = \frac{7460}{90} \times 100 = 8288.88 \text{ Watts}$$

P_{in} = Real Power ที่ Supply จะต้องจ่ายให้แก่มอเตอร์

หาค่ากระแส

$$P = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$$

$$8288.88 = \sqrt{3} \times 380 \times I_{line} \times 0.9$$

$$I_{line} = 14 \text{ A}$$

$$I_{phase} = I_{line} = 14 \text{ A}$$

หาค่าแรงดัน

$$V_{phase} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.39 \text{ V}_{rms}$$

หาค่า Impedance Z

$$Z = \frac{V_{phase}}{I_{phase}} = \frac{219.39}{14} = 15.67$$

แต่ $Pf = \cos \theta = 0.9$

$$\theta = \cos^{-1}(0.9) = 25.84^\circ$$

$$\text{Reactive factor} = \sin 25.84^\circ = 0.435$$

ดังนั้น $Z = 15.67 \angle 25.84^\circ \text{ ohms}$

$$Z = 15.67 \cos 25.84^\circ + j15.67 \sin 25.84^\circ$$

$$Z = 14.25 + j6.82$$

Impedance ของมอเตอร์

$$Z = R + j\omega L$$

ดังนั้นมอเตอร์จะประกอบด้วย

$$R = 14.25 \Omega$$

$$L = \frac{6.82}{2\pi 50 \text{ Hz}} = 21.7 \text{ mH}$$

Power

$$\text{Complex Power} = P_T = \sqrt{3}V_{line} I_{line}$$

$$P_T = \sqrt{3} \times 380 \times 14 = 9214.24 \text{ VA} = 9.2 \text{ KVA}$$

$$\text{Real Power} = P = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$$

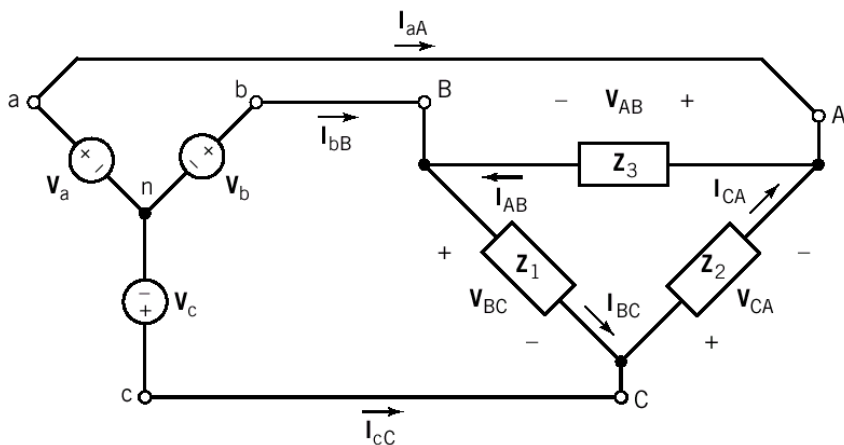
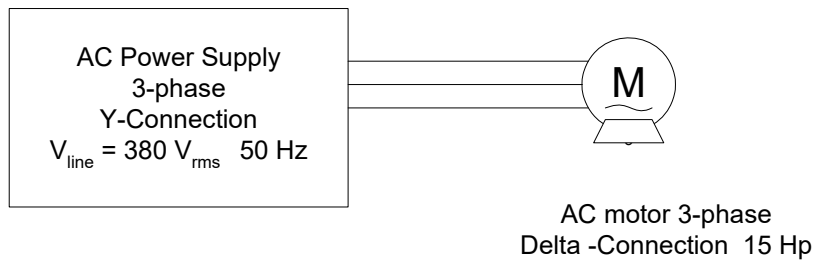
$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 14 \cos 25.84^\circ = 8288.88 \text{ Watts} = 8.2 \text{ KWatts}$$

$$\text{Reactive Power} = Q = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \sin \theta^\circ$$

$$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 14 \sin 25.84^\circ = 4016.11 \text{ VAR} = 4.01 \text{ KVAR}$$

สรุปแหล่งจ่ายไฟจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ทั้งหมด 9.2 KVA และกระแส 14A

ตัวอย่างที่ 4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสแบบวายมีแรงดัน line 380 V_{rms} โหลดเป็นมอเตอร์ขนาดสามเฟสต่อแบบเดลต้า มอเตอร์นี้มีขนาด 15 แรงม้า ประสิทธิภาพ 85% มี power factor 0.85 lagging จงคำนวณหาค่า I_{line} , I_{phase} , V_{line} , V_{phase} , Complex power , real power และ Z



วิธีทำ ประสิทธิภาพมอเตอร์ (Efficiency)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

มอเตอร์ขนาด 15 แรงม้า ประสิทธิภาพ 85%

$$P_{out} = 15\text{Hp} = 15 \times 746 \text{ W} = 11190 \text{ Watts}$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\% = \frac{11190}{85} \times 100 = 13164.70 \text{ Watts}$$

P_{in} = Real Power ที่ Supply จะต้องจ่ายให้แก่มอเตอร์
หาค่ากระแส

$$P = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$$

$$13164.70 = \sqrt{3} \times 380 \times I_{line} \times 0.85$$

$$I_{line} = 23.53 \text{ A}$$

$$I_{phase} = \frac{I_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{23.53}{\sqrt{3}} = 13.58 \text{ A}$$

หาค่าแรงดันที่ load

$$V_{phase} = V_{line} = 380 \text{ V}_{rms}$$

หาค่า Impedance Z

$$Z = \frac{V_{phase}}{I_{phase}} = \frac{380}{13.58} = 27.98$$

แต่ $Pf = \cos \theta = 0.85$

$$\theta = \cos^{-1}(0.85) = 31.78^\circ$$

$$\text{Reactive factor} = \sin 31.78^\circ = 0.526$$

ดังนั้น $Z = 27.98 \angle 31.78^\circ \text{ ohms}$

$$Z = 27.98 \cos 31.78^\circ + j 27.98 \sin 31.58^\circ$$

$$Z = 23.78 + j 14.65$$

Impedance ของมอเตอร์

$$Z = R + j\omega L$$

ดังนั้นมอเตอร์จะประกอบด้วย

$$R = 23.78 \Omega$$

$$L = \frac{14.65}{2\pi 50 \text{ Hz}} = 46.63 \text{ mH}$$

Power

$$\text{Complex Power} = P_T = \sqrt{3} V_{line} I_{line}$$

$$P_T = \sqrt{3} \times 380 \times 23.53 = 15486.95 \text{ VA} = 15.49 \text{ KVA}$$

$$\text{Real Power} = P = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \cos \theta^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 13.58 \cos 31.78^\circ = 13164.70 \text{ Watts} = 13.16 \text{ KWatts}$$

$$\text{Reactive Power} = Q = \sqrt{3}V_{line} I_{line} \sin \theta^\circ$$

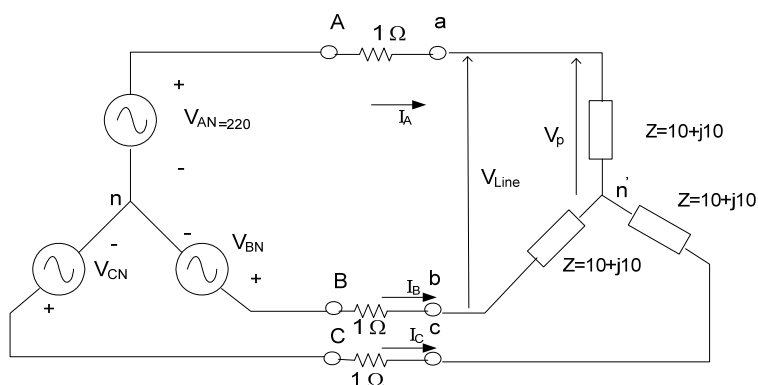
$$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 13.58 \sin 31.78^\circ = 4707.31 \text{ VAR} = 4.71 \text{ KVAR}$$

สรุปแหล่งจ่ายไฟจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ทั้งหมด 15.49 KVA และกระแส 23.53 A

ในการใช้งานจริงจะมีอิมพีแดนซ์ของสายป้อนอยู่ด้วยทำให้การคำนวณกระแสเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 5

โหลดสมดุลต่อแบบ Y ผ่านสายป้อนที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม กับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันเฟสเป็น 220V ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลดเป็น $Z = 10 + j10$ โอห์ม จงคำนวณหากระแสที่ไหลในแต่ละเฟส แรงดันเฟสที่โหลด แรงดันระหว่างสายที่โหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน(feeder) และกำลังไฟฟ้าที่โหลด



วิธีทำ

พิจารณาแรงดันเฟส A $V_{AN} = 220 \angle 0$

อิมพีแดนซ์ทั้งหมดของเฟสจะเป็น

$$Z_A = 1 + Z$$

$$= 1 + (10 + j10)$$

$$= 11 + j10$$

$$= 14.866 \angle 42.27$$

$$\therefore I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A} = \frac{220 \angle 0}{14.866 \angle 42.27} = 14.798 \angle -42.27 \text{ A}$$

แรงดันเฟสที่โหลดคือ

$$V_p = I_A x (10 + j10) = 14.798 \angle -42.27 \times 14.414 \angle 45$$

$$= 213.298 \angle 2.73$$

แรงดันระหว่างสายที่โหลดคือ

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_p = \sqrt{3} \times 213.298 = 369.44V$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียบนสายคือ

$$P_{loss} = 3 \cdot I_{line}^2 \cdot R_{line} = 3 \times 14.798^2 = 656.94W$$

กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะเป็น

$$P_{3-\phi} = \sqrt{3} \times 369.44 \times 14.798 \cos 45$$

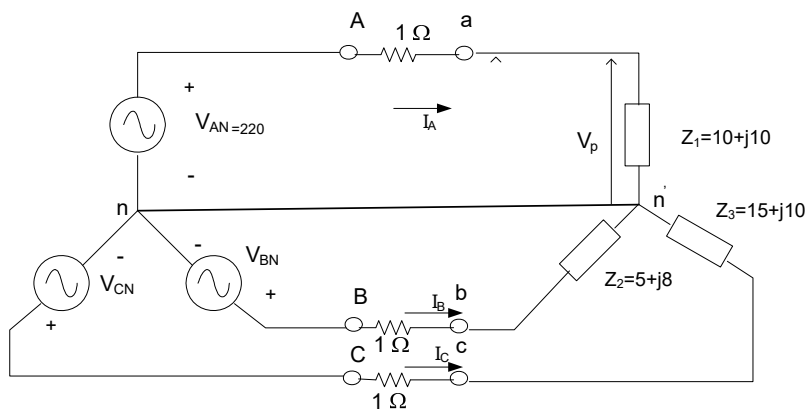
$$= 6695.65W$$

จะเห็นได้ว่าความต้านทานของสายป้อนในตัวอย่างนี้จะก่อให้เกิดความสูญเสียประมาณ 10% ดังนั้นจึงควรใช้สายที่มีขนาดใหญ่เพื่อลดความต้านทานและความสูญเสียลงให้น้อยกว่านี้ โดยเฉพาะในกรณีที่สายป้อนมีความยาวมาก

ในกรณีที่เป็นโหลดแบบไม่สมดุลและเป็นระบบ 4 สาย การคำนวณจำเป็นต้องคิดแยกเฟส กระแส แรงดันเฟสและกำลังไฟฟ้าของแต่ละเฟสจะไม่เท่ากันดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 6

โหลดแบบไม่สมดุลต่อแบบ Y ผ่านสายป้อนที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม กับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันเฟสเป็น 220V ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลดเป็น $Z_1 = 10 + j10$ $Z_2 = 5 + j8$ $Z_3 = 15 + j10$ โอห์ม จงคำนวณหากระแสที่ไหลในแต่ละเฟส แรงดันเฟสที่โหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน (feeder) และกำลังไฟฟ้าที่โหลด



วิธีทำ

พิจารณาเฟส A $V_{AN} = 220 \angle 0$

อิมพีแดนซ์ทั้งหมดของเฟส A จะเป็น

$$\begin{aligned}
Z_A &= 1+Z_1 \\
&= 1+(10+j10) \\
&= 11+j10 \\
&= 14.866\angle 42.27 \\
\therefore I_A &= \frac{V_{AN}}{Z_A} = \frac{220\angle 0}{14.866\angle 42.27} = 14.798\angle -42.27 \text{ A}
\end{aligned}$$

แรงดันเฟส A ที่โหลดคือ

$$\begin{aligned}
V_{an} &= I_A \times (10 + j10) = 14.798\angle -42.27 \times 14.414\angle 45 \\
&= 213.298\angle 2.73
\end{aligned}$$

พิจารณาเฟส B $V_{BN} = 220\angle -120$

อิมพีแดนซ์ทั้งหมดของเฟส B จะเป็น

$$\begin{aligned}
Z_B &= 1+Z_2 \\
&= 1+(5+j8) \\
&= 6+j8 \\
&= 10\angle 53.13 \\
\therefore I_B &= \frac{V_{BN}}{Z_B} = \frac{220\angle -120}{10\angle 53.13} = 22\angle -173.13 \text{ A}
\end{aligned}$$

แรงดันเฟสที่ B โหลดคือ

$$\begin{aligned}
V_{bn} &= I_B \times (5 + j8) = 22\angle -173.13 \times 9.434\angle 57.99 \\
&= 207.55\angle -115.135
\end{aligned}$$

พิจารณาเฟส C $V_{CN} = 220\angle 120$

อิมพีแดนซ์ทั้งหมดของเฟส C จะเป็น

$$\begin{aligned}
Z_C &= 1+Z_3 \\
&= 1+(15+j10) \\
&= 16+j10 \\
&= 18.867\angle 32.0 \\
\therefore I_C &= \frac{V_{CN}}{Z_C} = \frac{220\angle 120}{18.867\angle 32.0} = 11.66\angle 88 \text{ A}
\end{aligned}$$

แรงดันเฟส C ที่โหลดคือ

$$\begin{aligned}
V_{cn} &= I_C \times (15 + j10) = 11.66\angle 88 \times 18.027\angle 33.69 \\
&= 210.195\angle 121.69
\end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียบนสายคือ

$$P_{loss} = I_A^2 \cdot R_{line} + I_B^2 \cdot R_{line} + I_C^2 \cdot R_{line} = 14.798^2 + 22^2 + 11.66^2 = 838.946 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะเป็น

$$\begin{aligned} P_{3-\phi} &= V_{an} I_A \cos \theta_A + V_{bn} I_B \cos \theta_B + V_{cn} I_C \cos \theta_C \\ &= 213.298 \times 14.798 \cos 45 + 207.55 \times 22 \cos 57.99 + 210.195 \times 11.66 \cos 33.69 \\ &= 6691.49 \quad \mathbf{W} \end{aligned}$$

แบบฝึกหัด 6

1. ขดลวดเหมือนกันสามขดมีขนาดรีซีซิสแตนซ์ 10 โอห์ม และขดรีแอคแตนซ์ 10 โอห์ม ก) ต่อแบบวาย ข) ต่อแบบเดลต้า ทั้งข้อ ก และ ข ต่อคร่อมซัพพลาย 3 เฟส ขนาดแรงดันสายถึงสาย 400 โวลท์ จงคำนวณหาในแต่ละกรณี กระแสในสายและกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ (ตอบ ก. 16.33 A , 8 Kwatts ข. 48.97 A , 24 Kwatts)
2. ขดลวดสามขดเหมือนกัน มีความต้านทาน 10 โอห์ม และค่าเหนี่ยวนำ 0.02 H ก) ต่อแบบวาย ข) ต่อแบบเดลต้า ทั้งข้อ ก และ ข ต่อคร่อมซัพพลาย 3 เฟส ขนาดแรงดันสายถึงสาย 500 โวลท์ 50 Hz จงคำนวณหาในแต่ละกรณี กระแสในสายและกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ (ตอบ ก. 24.44 A , 17.93 Kwatts ข. 73.32 A , 53.89 Kwatts)
3. มอเตอร์เอช 3 เฟส 2 ตัวเหมือนกันขนาดเท่ากัน 10 แรงม้า ต่อแบบวาย ใช้กับไฟขนาดแรงดันสายถึงสาย 380 โวลท์ 50 Hz มีประสิทธิภาพ 85 % และ Power factor 0.8 จงคำนวณหากระแสในสายที่ Supply จ่ายให้แก่มอเตอร์ทั้งสอง และขนาด KVA ของ Supply และ Impedance ในแต่ละเฟสของมอเตอร์แต่ละตัว

Website :

1. <http://www.k-wz.de/physik/threephasegenerator.html>
2. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motorac.html>

ผศ.วิชัย ประเสริฐเจริญสุข

1 มิถุนายน 2552