บทที่ 8 การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Analysis)

วัตถุประสงค์

1. เข้าใจนิยามและการหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส
2. เข้าใจนิยามของค่า RMS (Root mean square or effective values) และสามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง
3. เข้าใจความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่เกิดในไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสามแบบได้แก่ Apparent, Active(Real) and Reactive Power และค่าที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง คือ ค่า pf (Power Factor)
4. สามารถวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและโหลดได้
5. เข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้งานกฎอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสได้

8.1 กำลังไฟฟ้าที่ขณะเวลาใดๆ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ที่ขณะเวลาใดๆ กำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จากฟังก์ชันของเวลาเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของเวลาเช่นเดียวกัน

$$p(t) = v(t)i(t) \quad \text{Watts}$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ามีรูปทั่วไปที่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเฟสเป็น

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v)$$
$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i)$$

โดยที่ V_m และ I_m เป็นแอมปลิจูดของแรงดันและกระแสไฟฟ้า และ θ_v และ θ_i เป็นมุมเฟสของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ดังนั้นกำลังไฟฟ้าชั่วขณะจึงได้เป็น

$$p(t) = v(t)i(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_V)\cos(\omega t + \theta_i)$$

จากการประยุกต์ตรีโกณมิติ

$$p(t) = \frac{1}{2}V_m I_m\left(\cos(\omega t + \theta_V - \omega t - \theta_i) + \cos(\omega t + \theta_V + \omega t + \theta_i)\right)$$

$$p(t) = \frac{1}{2}V_m I_m\left(\cos(\theta_V - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_i)\right)$$

จะเห็นได้ว่าในสมการกำลังประกอบด้วย สองส่วน คือส่วนที่คงที่ที่ไม่ขึ้นกับเวลาและส่วนที่สองเป็นสัญญาณไซน์ที่อัตราเร็วเชิงมุมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ค่ากำลังไฟฟ้านี้เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจึงเป็นค่าที่วัดได้ยาก ดังนั้นจึงมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไปคือค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย นิยาม ด้วยค่าเฉลี่ยของค่ากำลังชั่วขณะในช่วงคาบเวลา

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)$$

จากสมการข้างต้นแทนด้วยค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_V - \theta_i)dt + \frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2}V_m I_m \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_i)dt$$

เทอมที่สองของการอินทิเกรตมีค่าเป็นศูนย์จากการอินทิเกรตฟังก์ชันไซน์ครบรอบคาบจะมีค่าเป็นศูนย์ เหลือค่ากำลังเฉลี่ยเป็นเทอมแรกเป็น

$$P = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_V - \theta_i)$$

เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับเวลาแต่จะแปรตามความต่างเฟสระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า และที่มาของกำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จากการใช้เฟสเซอร์ได้เป็น

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\overline{V}\,\overline{I^*} = \frac{1}{2}V_m\angle\theta_v I_m\angle -\theta_i = \frac{1}{2}V_m I_m\angle\theta_v - \theta_i$$

$$P = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\overline{V}\,\overline{I^*}\right] = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V_m I_m \{\cos(\theta_v - \theta_i) + j\sin(\theta_v - \theta_i)\}\right] = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i)$$

ลองพิจารณาที่โหลดเป็น ตัวต้านทานที่มุมเฟสของแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน กำลังไฟฟ้าของความต้านทานจะได้เป็น

$$P = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(0) = \frac{1}{2}V_m I_m = \frac{1}{2}\frac{V_m^2}{R} = \frac{1}{2}I_m^2 R$$

สำหรับถ้าโหลดเป็น Reactance ซึ่งมุมเฟสของกระแสจะนำหรือตามแรงดันไฟฟ้าเป็น 90 องศาสำหรับโหลดที่เป็นคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าเป็น ศูนย์

ซึ่งจะได้ว่าโหลดที่เป็นความต้านทานจะมีการดูดซับกำลังไฟฟ้าในขณะที่โหลดแบบ Reactive (L หรือ C) จะไม่ดูดซับกำลังไฟฟ้า

ตัวอย่าง จงคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เวลาใดๆ และเฉลี่ย ที่อัตราเร็วเชิงมุมเป็น 300 เรเดียนต่อวินาที

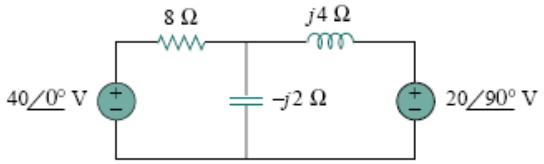
$V = 120\angle 45^\circ$ โวลท์ และ $I = 6\angle -20^\circ$ แอมแปร์

$$p(t) = 120\cos(300t + 45) \times 6\cos(300t - 20)$$
$$= 360[\cos(45 - (-20)) + \cos(600t + 45 - 20)]$$
$$p(t) = 152.14 + 360\cos(600t + 25)$$

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือค่ากำลังไฟฟ้าจริง

$$P = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{1}{2}120 \times 6\cos(65) = 152.14 \text{ วัตต์}$$

ตัวอย่าง จงหาคากำลังไฟฟ้าที่ absorbed โดยทุกอุปกรณ์ในวงจรด้านขวามือนี้



วิเคราะห์โดยลูป

ลูปที่1

$$(8 - 2j)I_1 + 2jI_2 = 40\angle 0 \qquad (1)$$

ลูปที่ 2

$$2jI_2 + 2jI_1 = -20\angle 90 \qquad (2)$$

(1) – (2)

$$(8 - 4j)I_1 = 40 + 20j$$
$$I_1 = 5\angle 53.13^\circ = 3 + 4j$$
$$I_2 = \frac{-20j - 6j + 8}{2j} = -13 - 4j = 13.6\angle -162.9^\circ$$

ที่ แหล่งจ่ายตัวที่ 1 $P_{S1} = \frac{1}{2}(-V_m)I_m \cos(\theta_v - \theta_i) = -\frac{1}{2}40 \times 5\cos(0 - 53.13) = -60W$ (ถ้าเป็นคำถามที่ต้องการกำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดซับให้ใช้ทิศทางของกระแสกับขั้วของอุปกรณ์ จึงได้เป็นค่าลบ หมายความว่าปล่อยกำลังไฟฟ้าไม่ใช่ดูดซับกำลังไฟฟ้าไว้) *Reactive power = 80 VAR เป็นการดูดซับ*

ที่ความต้านทาน $P_R = \frac{1}{2}I_1^2 R = 100W$

ที่คาปาซิเตอร์

$$I_C = I_1 - I_2 = 3 + 4j + 13 + 4j = 16 + 8j = 17.89\angle 26.57^\circ$$
$$V_C = I_C(X_C) = (16 + 8j) \times (-j2) = 16 - 32j = 35.78\angle -63.43$$

$$P_C = \frac{1}{2}35.78 \times 17.89\cos(-63.43 - 26.57) = 0W$$

Reactive power = -320 เป็นการจ่าย

ที่ตัวเหนี่ยวนำ $V_L = (-13 - 4j) \times 4j = 16 - 52j = 54.41\angle -72.90$

$$P_L = \frac{1}{2}54.41 \times 13.6\cos(-72.9 - (-162.9)) = 0W$$

Reactive power = 370 VAR เป็นการดูดซับ

ที่แหล่งจ่ายที่ขวามือ $P_{S2} = \frac{1}{2}20 \times 13.6\cos(90 - (-162.9)) = -40W$ (จ่ายกำลังไฟฟ้า)

Reactive power = $Q_{S2} = \frac{1}{2}20 \times 13.6\sin(90 - (-162.9)) = -130VAR$ *เป็นการจ่าย*

8.2 ค่ากำลังไฟฟ้าส่งสูงที่สุด (Maximum Power Transfer)

จากที่วิเคราะห์ผ่านมาแล้วในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีข้อสรุปว่ากำลังไฟฟ้าส่งสูงสุดเมื่อค่าความต้านทานที่ต่อเข้ามากับวงจรมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานเทวินิน

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแทนด้วยวงจรสมมูลเทวินินที่มีโหลดเทียบเคียงเป็น

$$Z_{TH} = R_{TH} + jX_{TH}$$

และต่อโหลดเข้าที่ปลาย

$$Z_L = R_L + jX_L$$

กระแสที่ไหลในโหลดคือ

$$I = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + jX_{TH} + R_L + jX_L}$$

กำลังไฟฟ้าที่ดูดซับโดยโหลดเป็น

$$P = \frac{1}{2}|I|^2 R_L = \frac{1}{2}\frac{V_{TH}^2 R_L}{(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH} + X_L)^2}$$

จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรอยู่สองตัวแปร คือ R_L และ X_L ดังนั้น กำหนดให้หนึ่งตัวแปรเป็นค่าคงที่แล้วทำการหาอนุพันธ์เทียบกับอีกค่าเพื่อหาจุดที่ค่ากำลังจะสูงสุด

$$\frac{dP}{dX_L} = 0 = -\frac{V_{TH}^2 R_L (X_{TH} + X_L)}{\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH} + X_L)^2\right]^2}$$

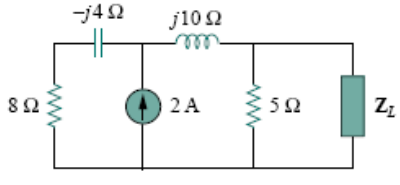
ซึ่งจะได้ว่า $X_L = -X_{TH}$ จะให้ค่ากำลังที่สูงที่สุดที่โหลด และหาค่าความต้านทานของโหลดที่ให้ค่ากำลังสูงสุด

$$\frac{dP}{dR_L} = 0 = \frac{\frac{1}{2}V_{TH}^2\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH} + X_L)^2\right] - V_{TH}^2 R_L (R_{TH} + R_L)}{\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH} + X_L)^2\right]^2}$$

จะได้ค่าเป็นศูนย์เมื่อ $R_L = \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_L)^2}$

ดังนั้น ค่ากำลังสูงสุดที่โหลดจะได้รับเมื่อโหลดมีค่าเท่ากับ $Z_L = R_{TH} - jX_{TH}$ ซึ่งก็คือค่า conjugate ของ Thevenin impedance

$$Z_L = R_L + jX_L = R_{TH} - jX_{TH} = Z_{TH}^*$$



ตัวอย่าง จากวงจรซ้ายมือจงหาค่าโหลดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุดและมีค่าเท่าไร

$$Z_{TH} = (8 - 4j + 10j)//(5) = 3.414 + 0.732j$$
$$= 3.492\angle 12.09$$

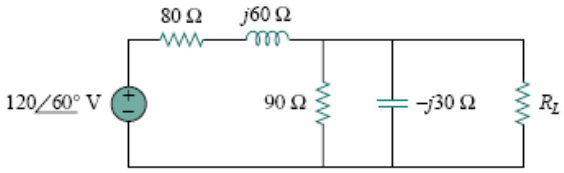
ที่ค่ากำลังสูงสุดจะได้ที่ $Z_L = Z_{TH}^* = 3.414 - 0.732j = 3.492\angle -12.09$
กำลังไฟฟ้าที่โหลดสูงที่สุดเป็น

$$P_{\max} = \frac{|V_{TH}|^2}{8R_{TH}} \text{ ซึ่งต้องการค่า } V_{TH}$$

$$V_{TH} = \frac{2(8-4j)}{8-4j+j10+5}5 = 3.902 - 4.878j = 6.247\angle -51.34$$

$$P_{\max} = \frac{|6.247|^2}{8\times 3.414} = 1.429 \text{ Watts}$$

ตัวอย่าง จากวงจรด้านล่างจงหาว่าโหลดที่จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดมีค่าเท่าไรและกำลังสูงสุดมีค่าเท่าไร



$$Z_{TH} = (80 + j60)//90//(-j30)$$
$$= 17.18 - j24.57 = 30\angle -55.04$$ ซึ่งจาก

การพิสูจน์ที่ผ่านมาว่ากำลังที่โหลดจะสูงสุดเมื่อโหลดเป็นค่า Conjugate ของ เทวินินอิมพีแดนซ์ แต่กรณีนี้นั้นค่า X_L มีค่าเป็นศูนย์ดังนั้น

$$R_L = \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_L)^2} = \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH})^2} = 30 \text{ โอห์ม}$$

หาค่า แรงดันที่จุดต่อคตัวต้านทานได้เป็น

$$V_{TH} = \frac{120\angle 60}{80 + j60 + 90//(-30j)}90//(-30j) = \frac{120\angle 60}{89 + j33}(9 - 27j) = 30.543 - 19.019j$$
$$= 35.98\angle -31.91$$

หาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดได้เป็น

$$I = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + R_L} = \frac{36\angle -31.91}{47.18 - 24.57j} = 0.674 - 0.0522j = 0.676\angle -4.42^\circ$$

$$P_L = \frac{1}{2}|I|^2 \times R_L = \frac{1}{2}0.676^2 \times 30 = 6.85 \text{ Watts}$$

8.3 ค่า RMS หรือ Effective value

คำนิยามของค่า RMS คือค่ากระแสของสัญญาณที่เป็นคาบซึ่งจะให้ค่ากำลังเฉลี่ยเท่ากันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้กระแสจากไฟฟ้ากระแสตรงกับความต้านทาน ค่าทั้งสองจะเท่ากันแต่มาจากไฟฟ้ากระแสตรงและอีกค่าเป็นค่าที่ได้จากไฟฟ้ากระแสสลับ วิเคราะห์จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในคาบเวลา

$$P = I_{eff}^2 R = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 R dt \text{ จะได้ว่า}$$

$$I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt}$$

จาก $i(t) = I_m \cos t(\omega t + \theta_i)$ จะได้

$$I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2 \cos^2(\omega t + \theta_i)dt}$$

$$I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{\frac{I_m^2}{T}\int_0^T \frac{1+\cos(2\omega t + 2\theta_i)}{2}\,dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

ในทำนองเดียวกันแรงดันไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

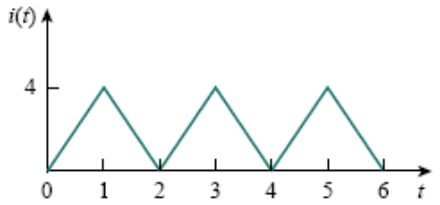
ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสามารถหาได้จาก

$$P = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\frac{I_m}{\sqrt{2}}\cos(\theta_v - \theta_i)$$
$$= V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i)$$

ในกรณีที่เป็นโหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเดียวจะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น

$$P = V_{rms} I_{rms} = \frac{1}{2}V_m I_m$$

ตัวอย่าง จงหาค่า i_{rms} และกำลังไฟฟ้าที่ ความต้านทาน 9 โอห์ม



2.309 A, 48 W.

พิจารณาจากในหนึ่งคาบ

$$i(t) = \begin{cases} 4t & 0 < t < 1 \\ -4t + 8 & 1 < t < 2 \end{cases}$$

$$i_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\int_0^1 16t^2 dt + \int_1^2 (-4t_8)^2 dt\right)}$$

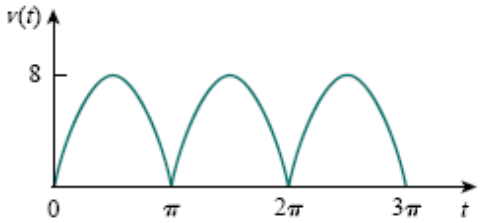
$$= \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{16t^3}{3}\Big|_0^1 + \frac{(-4t+8)^3}{-4\times 3}\Big|_1^2\right)}$$

$$= 2.309$$

$$P = i_{rms}^2 R = 2.309^2 \times 9 = 48 \text{ Watts}$$

ตัวอย่าง จงหาค่า i_{rms} และกำลังไฟฟ้าที่ ความต้านทาน 6 โอห์ม

5.657 V, 5.334 W.



8.4 Apparent Power and Power Factor

ต่อไปนี้ถ้ากล่าวถึงกำลังไฟฟ้าจะหมายถึงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย จาก

$$P = \frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_V - \theta_i)$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_V - \theta_i) = S\cos(\theta_V - \theta_i)$$

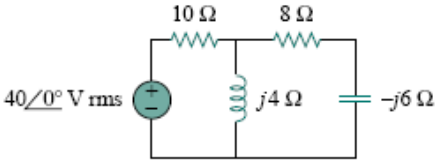
จะได้นิยามใหม่ของค่ากำลังไฟฟ้าคือ S : Apparent Power และค่าองค์ประกอบกำลังอีกค่า คือ $\cos(\theta_V - \theta_i)$: Power Factor (pf)

$$S = V_{rms} I_{rms} \quad \text{และ} \quad pf = \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{S}{P}$$

ผลต่างค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสสามารถหาเป็นค่ามุมที่เรียกว่า Power factor angle ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์สามารถหาได้จาก power factor angle ในความสัมพันธ์

$$Z = \frac{\overline{V}}{\overline{I}} = \frac{V_m \angle \theta_v}{I_m \angle \theta_i} = \frac{V_m}{I_m} \angle \theta_v - \theta_i = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \angle \theta_v - \theta_i$$

ตัวอย่าง จงหาค่า pf ของทั้งวงจรและค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยโหลด



0.936 lagging, 118 W.

กระแสที่จ่ายจากแหล่งจ่ายสามารถหาได้แรงดันหารด้วยโหลดรวม

$$\overline{I} = \frac{40\angle 0}{10 + 4j \,//\, (8 - 6j)} = 2.95 - 1.11j$$

$$= 3.15\angle -20.62^\circ$$

กระแสจะตามแรงดันอยู่ จึงมี pf = 0.936 lagging และค่ากำลังเฉลี่ย Real Power

$$P = 40 \times 3.15 \cos(0 - (-20.62)) = 118 \text{ Watts}$$

8.5 กำลังไฟฟ้าในจำนวนเชิงซ้อน

กำลังไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของเฟสเซอร์คือ Apparent Power ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\overline{S} = \frac{1}{2} \overline{V}\,\overline{I^*} = \frac{1}{2} V_m I_m \angle \theta_v - \theta_i$$

$$\overline{S} = V_{rms} I_{rms} \angle \theta_v - \theta_i$$

$$\overline{S} = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) + jV_{rms} I_{rms} \sin(\theta_v - \theta_i)$$

ซึ่งค่า Impedance สามารถแสดงกำลังไฟฟ้าในรูปจำนวนเชิงซ้อนได้จาก $V_{rms} = ZI_{rms}$ โดยที่ $Z = R + jX$

$$\overline{S} = I_{rms}^2 Z = \frac{V_{rms}^2}{Z^*} = I_{rms}^2 (R + jX) = P + jQ$$

โดยที่ในกำลังไฟฟ้าจะมีกำลังไฟฟ้าเป็น Apparent Power(S) = Active Power(P) + j Reactive Power(Q) มีหน่วยเป็น VA, Watt และ VAR ตามลำดับ

$$P = \text{Re}\{\overline{S}\} = I_{rms}^2 R \text{ Watt}$$

$$Q = \text{Im}\{\overline{S}\} = I_{rms}^2 X \text{ VAR}$$

ซึ่งสังเกตจากลักษณะของโหลด จะได้ว่า

1. Q เป็นศูนย์ ถ้าเป็นความต้านทานอย่างเดียว (unity pf)
2. Q<0 โหลดเป็นคาปาซิเตอร์อย่างเดียว (leading pf)
3. Q>0 โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว (lagging pf)

การพิจารณานำและตามของ pf ให้พิจารณระหว่างมุมเฟสของกระแสกับของแรงดันไฟฟ้า

For a load, $\mathbf{V}_{rms} = 110\angle 85^\circ$ V, $\mathbf{I}_{rms} = 0.4\angle 15^\circ$ A. Determine: (a) the complex and apparent powers, (b) the real and reactive powers, and (c) the power factor and the load impedance.

Answer: (a) $44\angle 70^\circ$ VA, 44 VA, (b) 15.05 W, 41.35 VAR, (c) 0.342 lagging, $94.06 + j258.4\ \Omega$.

A load **Z** draws 12 kVA at a power factor of 0.856 lagging from a 120-V rms sinusoidal source. Calculate: (a) the average and reactive powers delivered to the load, (b) the peak current, and (c) the load impedance.

(a) 10.272 kW, 6.204 kVAR (b)141.4 A (c)$1.2\angle 31.13$

8.6 กฎการอนุรักษ์กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการต่อกันของโหลดแบบขนานกันของโหลดสองตัว โดย KCL ในเฟสเซอร์

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$$

ค่ากำลังไฟฟ้าจำนวนเชิงซ้อนเป็นเฟสเซอร์

$$\bar{S} = \frac{1}{2}\bar{V}\bar{I}^* = \frac{1}{2}\bar{V}\left(\bar{I}_1^* + \bar{I}_2^*\right) = \frac{1}{2}\bar{V}\bar{I}_1^* + \frac{1}{2}\bar{V}\bar{I}_2^* = \bar{S}_1 + \bar{S}_2$$

และจากการต่อโหลดแบบอนุกรมของโหลดสองตัว

$$\bar{V} = \bar{V}_1 + \bar{V}_2$$

$$\bar{S} = \frac{1}{2}\bar{V}\bar{I}^* = \frac{1}{2}\left(\bar{V}_1 + \bar{V}_2\right)\bar{I}^* = \frac{1}{2}\bar{V}_1\bar{I}^* + \frac{1}{2}\bar{V}_2\bar{I}^* = \bar{S}_1 + \bar{S}_2$$

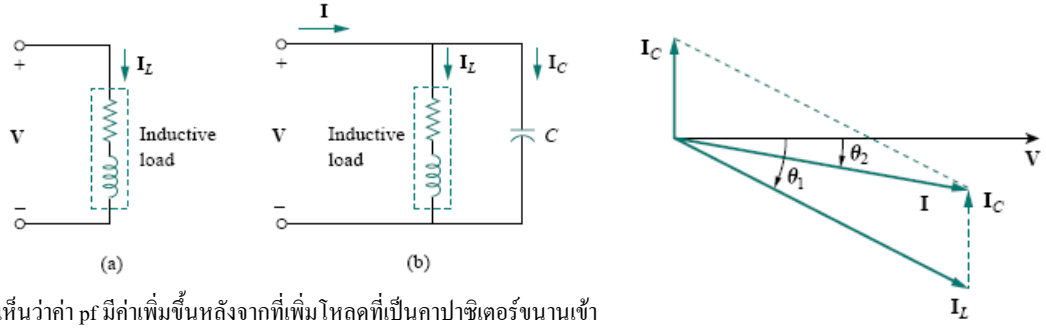
ซึ่งถ้าเป็นการต่อโหลด N ตัวไม่ว่าจะเป็นการอนุกรมหรือขนานหรือต่อรวมทั้งสองแบบ กฎการอนุรักษ์กำลังไฟฟ้าจะเขียนในรูปเฟสเซอร์ทั่วไปคือ

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3 + \ldots\ldots + \bar{S}_N$$

8.7 การปรับปรุงค่า pf (Power factor correction)

ค่า pf เป็นค่าที่เป็นผลมาจากลักษณะของโหลด ซึ่งจะเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนที่สำคัญหรือส่วนที่ต้องการมากที่สุดคือ กำลังไฟฟ้าจริงที่มีหน่วยเป็นวัตต์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าโหลดเป็นมอเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่จะแปรรูปไปเป็นพลังงานกลคือกำลังไฟฟ้าจริง และด้วยที่โหลดเป็นมอเตอร์นี้ (เทียบได้กับความต้านทานกับขดลวดเหนี่ยวนำ) จึงทำให้เกิดกำลังในส่วนจินตภาพที่ไม่ต้องการซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่ให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะระบบไฟฟ้าที่ใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามทางการไฟฟ้าได้กำหนดให้ค่า pf จะต้องมีค่ามากกว่า 0.75 ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่านี้จะต้องจ่ายค่าปรับให้กับการไฟฟ้า ดังนั้น จะต้องมีขบวณการที่จะใช้ในการเพิ่มค่า pf หรือลดพลังงาน Reactive

กระบวณการในการเพิ่มค่า pf หรือ ลด Reactive Power โดยไม่ได้มีการเปลี่ยนค่าของโหลดเริ่มต้น นี้เรียกว่า การปรับปรุงค่า pf หรือ Power factor correction ดังตัวอย่างข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นการต่อวงจรด้วยตัวเก็บประจุขนานเข้าไปที่โหลดเริ่มต้นพร้อมกับ Phasor diagram ประกอบ



จะเห็นว่าค่า pf มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่เพิ่มโหลดที่เป็นคาปาซิเตอร์ขนานเข้าไป จะทำให้มุมเฟสรวมลดลงจากกระแสที่ Lead แรงดันจะไปหักล้างกับกระแสที่ lagging เนื่องจากโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ จึงทำ

ให้กระแส Reactive ลดลงและเป็นผลต่อคือค่ากำลังไฟฟ้า Reactive ก็ลดลงด้วย มุมเฟสลดลง ค่า pf เพิ่มขึ้น ซึ่งก็เป็นวิธีที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันซึ่งมีศัพท์เทคนิคที่ใช้เรียกตัวคาปาซิเตอร์เหล่านี้ว่า C-Bank or Shunt capacitor

วิเคราะห์จากกำลังไฟฟ้าจริง

$$P = S_1 \cos\theta_1 \quad Q_1 = S_1 \sin_1 \theta_1 = P\tan\theta_1$$

$$Q_2 = P\tan\theta_2$$

ผลต่างของ Reactive power คือเป็นค่ากำลังที่ใช้โดยคาปาซิเตอร์คือ

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

จาก $Q_C = \omega C V_{rms}^2$ ค่าคาปาซิเตอร์หาได้จาก

$$C = \frac{Q_C}{\omega V_{rms}^2} = \frac{P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)}{\omega V_{rms}^2} \qquad \text{F}$$

แม้ในทางปฏิบัติจะมีแต่การเพิ่มค่า pf ด้วยคาปาซิเตอร์แต่ในการวิเคราะห์วงจรกรณีที่จะมีการปรับปรุงค่า pf or Power factor correction กรณีที่โหลดเป็นแบบ RC การนำเอาขดลวดหรือตัวเหนี่ยวนำเข้ามาต่อเพื่อทำการปรับปรุง pf ก็อาศัยทำนองเดียวกัน

$$Q_L = \frac{V_{rms}^2}{\omega L} = \omega L I_{rms}^2 \qquad L = \frac{V_{rms}^2}{\omega Q_L}$$

โดยที่ $Q_L = Q_1 - Q_2 = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

Find the value of parallel capacitance needed to correct a load of 140 kVAR at 0.85 lagging pf to unity pf. Assume that the load is supplied by a 110-V (rms), 60-Hz line.

Answer: 30.69 mF.

ลองพิจารณาการดูดซับกำลังไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าทั้งสามแบบโดยเฉพาะ Real(active) Power และ Reactive Power ของโหลดแต่ละประเภท และยังรวมถึงแหล่งจ่ายด้วย โดยที่เครื่องหมายเป็นลบจะสื่อว่าเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร เครื่องหมายบวกจะเป็นการดูดซับกำลังไฟฟ้าจากวงจร สรุปแยกเป็นสองประเภทคือ

แหล่งจ่าย การคิดกำลังไฟฟ้าทิศทางของกระแสและเครื่องหมายที่แสดงขั้วของแรงดัน (ใช้คำนี้แต่ต้องเข้าใจว่าไฟฟ้ากระแสสลับไม่มีขั้วมีขั้วบวกและลบอย่างที่แสดง แต่ในเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์วงจร และใช้แสดงเป็น Line กับ Neutral) จะต้องใช้ประกอบในการหาค่ากำลังไฟฟ้า เพราะไม่ใช่จะเป็นแหล่งจ่ายแล้วจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างเดียวในขณะเดียวกันสามารถที่จะเป็นโหลดได้ในการวิเคราะห์ในวงจร

Passive โหลดได้แก่ R L C ซึ่งทิศทางของกระแสโดยทั่วไปจะเข้าสู่โหลดด้านที่เป็นขั้วบวก (ถ้าไม่มีการกำหนดโดยโจทย์ ซึ่งธรรมดาแล้วจะไม่มี) ดังนั้นจึงไม่ต้องพิจารณาเครื่องหมายของแรงดันและกระแสในการคูณหาค่ากำลังไฟฟ้า แต่เครื่องหมาย บวก ลบ ของกำลังไฟฟ้าที่จะบอกสถานะของการจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือดูดซับจะมาจากผลต่างของมุมของแรงดันกับของกระแส ซึ่งน่าจะมีการสรุปได้ว่าโดยธรรมชาติ R จะดูดซับ Real Power L จะดูดซับ Reactive Power C จะจ่าย Reactive เข้าไปในวงจร