

เนื้อหาสาระ

1.2 ปริมาณทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

ปริมาณค่าทางไฟฟ้ามีความจำเป็นที่นักศึกษาต้องเข้าใจเพราะว่าในระบบไฟฟ้าสิ่งที่สนใจก็จะเป็นแรงดันกระแสและกำลังไฟฟ้า โดยเฉพาะแรงดันและกระแสที่เราจะเจอบ่อย ๆ มาก จะเป็นค่าเฟสเซอร์ซึ่งแสดงจากรูปคลื่นขายนั่นเอง อาทิเช่น V และ I จะเป็นปริมาณเฟสเซอร์ โดยปกติแล้วจะเป็นค่า rms (root-mean-square) ถ้าหากเป็นตัวเล็ก v และ i จะเป็นค่าชั่วขณะ (instantaneous values)

1.2.1 ค่าชั่วขณะและเฟสเซอร์ ค่าชั่วขณะปกติใช้เป็นตัวเล็กแสดงในรูปฟังก์ชันของเวลา อาทิเช่น

$$v = 141.1 \cos(\omega t + 30^\circ) \text{ และ}$$

$$I = 7.07 \cos \omega t$$

ในที่นี้จะมี แรงดันสูงสุดเป็น $V_{\max} = 141.4 \text{ V}$ และ $I_{\max} = 7.07 \text{ A}$ ถ้าหากเป็นค่า rms ก็จะได้ค่าจากค่าสูงสุดหารด้วย $\sqrt{2}$ แสดงได้เป็น

$$|V| = 100 \text{ V} \text{ และ } |I| = 5 \text{ A}$$

ค่า rms ที่ได้นี้จะป็นค่าอ่านได้จากมิเตอร์ต่างๆ และค่า rms นี้บางครั้งเรียกว่าค่าประสิทธิภาพ ถ้าหากเขียนในรูปของเฟสเซอร์จะไม่มีขีดสองข้าง เป็น

$$V = 100 \angle 30^\circ \text{ และ } I = 5 \angle 0^\circ$$

และทั้งสองค่าหากแปลงให้อยู่ในรูป rectangular form จะได้เป็น

$$V = 100 \angle 30^\circ = 86.6 + j50 \text{ V} \text{ และ}$$

$$I = 5 \angle 0^\circ = 5 + j0 \text{ A}$$

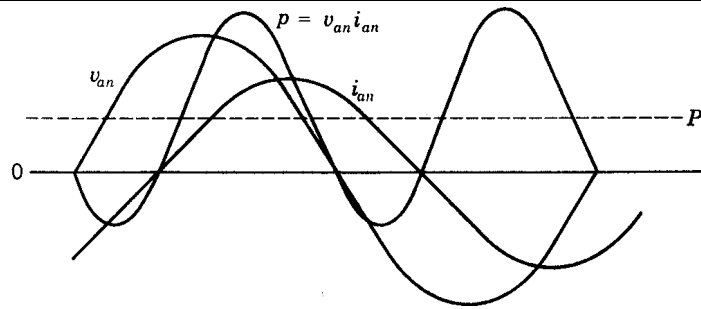
1.2.2 การหาลำดับไฟฟ้า ลำดับไฟฟ้าที่สนใจเราจะเริ่มจากกำลังไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส กำลังไฟฟ้าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานต่อเวลานั่นเอง สมมติให้ แรงดันและกระแสเป็น

$$v_{an} = V_{\max} \cos \omega t \text{ และ } i_{an} = I_{\max} \cos(\omega t - \theta)$$

จะได้กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ เป็น

$$p = v_{an} i_{an} = V_{\max} I_{\max} \cos \omega t \cos(\omega t - \theta) \quad (1-1)$$

จากสมการชั่วขณะทั้งสามค่าหากนำมาเขียนรูปคลื่นจะได้ดังรูป



รูปที่ 1.5 รูปคลื่นแรงดัน กระแส และกำลังชั่วขณะ

จากสมการที่ (1-1) ถ้าใช้ความสัมพันธ์ตรีโกณมิติจาก

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos (A - B) + \frac{1}{2} \cos (A + B)$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } p &= v_{an} i_{an} \\ &= V_{\max} I_{\max} \cos \omega t \cos (\omega t - \theta) \\ &= \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} [\cos \theta + \cos (2\omega t - \theta)] \end{aligned}$$

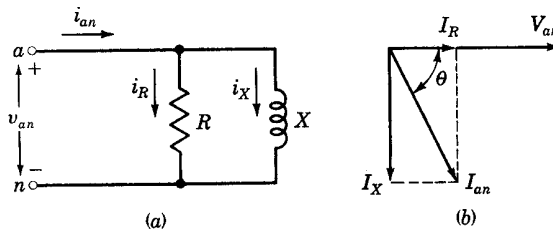
และส่วน $\cos (2\omega t - \theta) = \cos 2\omega t \cos \theta + \sin 2\omega t \sin \theta$

ดังนั้น

$$p = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \sin \theta \sin 2\omega t \quad (1-2)$$

ส่วนของ $\frac{V_{\max} I_{\max}}{2}$ สามารถลดให้เป็นค่า rms เป็น $|V| \cdot |I|$ ได้หรือ $|V_{an}| \cdot |I_{an}|$

วิธีการพิจารณาเกี่ยวกับสมการ (1-2) อาจพิจารณาได้จากรูป



รูปที่ 1.6

ถ้าให้ $v_{an} = V_{\max} \cos \omega t$ จะได้

$$i_R = I_{\max} \cos \theta \cos \omega t \quad (1-3)$$

$$i_X = I_{\max} \sin \theta \sin \omega t \quad (1-4)$$

ดังนั้น

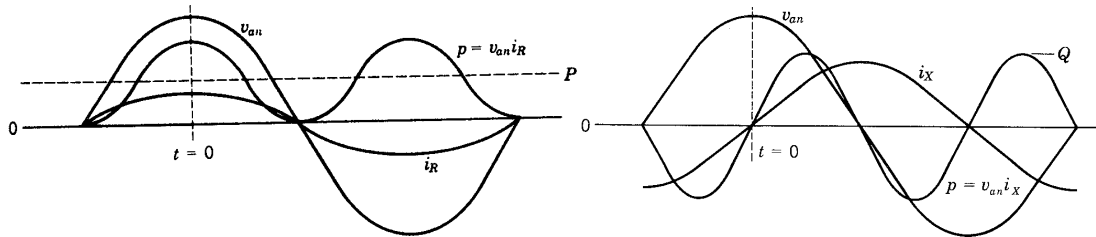
$$\begin{aligned} v_{an} i_R &= V_{\max} I_{\max} \cos \theta \cos 2\omega t \\ &= \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) \end{aligned} \quad (1-5)$$

$$V_{an} i_x = V_{max} I_{max} \sin \theta \sin \omega t \cos \omega t$$

จาก $\sin A \cos B = \frac{1}{2} \sin(A+B) + \frac{1}{2} \sin(A-B)$

ดังนั้น $V_{an} i_x = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \sin \theta \sin 2 \omega t$ (1-6)

จากสมการที่ (1-5) และ (1-6) นำมาเขียนรูปได้เป็น



รูปที่ 1.7

จะเห็นว่าสมการ (1-2) นั้นประกอบด้วยสมการที่ (1-5) และ (1-6) จากสมการที่ (1-2) ส่วนแรก หรือสมการที่ (1-5) จะมีค่าเฉลี่ยที่เป็นบวกเท่านั้น คือ

$$P = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \theta \text{ หรือ } = |V| \cdot |I| \cos \theta$$

หรือสมการข้างบนนี้อาจหาได้จาก

$$P = \frac{1}{T_0} \int p(t) dt$$

$$= \frac{1}{T_0} \int \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \theta dt + \frac{1}{T_0} \int \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos(2\omega t - \theta) dt$$

$$P = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \theta \quad (1-7)$$

ในสมการที่ (1-7) เป็นค่ากำลังเฉลี่ยนั่นเอง ส่วนในเทอมหลังของสมการที่ (1-2) จากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนค่าชั่วขณะของกำลังส่วนนี้เรียกว่า กำลังรีแอคทีฟ ชั่วขณะ (instantaneous reactive power) หรือมองเป็นกำลังที่ส่งไปโหลดและกลับจากโหลดคืนมา และค่าสูงสุดของกำลังนี้เรียกว่า กำลังรีแอคทีฟ (Q) มีหน่วยเป็น Vars หาได้จาก

$$Q = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \sin \theta = |V| \cdot |I| \sin \theta \quad (1-8)$$

จากสมการที่ (1-7) และ (1-8) ค่ามุม θ เป็นมุมระหว่างแรงดันและกระแสนั่นเอง ถ้าหากนำค่า P และ Q มารวมกันจะได้เป็นกำลังโวลต์แอมป์ เป็น

$$S = P + jQ = VI^*$$

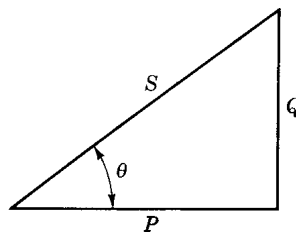
สาเหตุที่ต้อง conjugate เพราะจะทำให้ได้มุมระหว่างแรงดันและกระแสจริง และการทำลักษณะนี้จะทำให้การคำนวณกำลังนั้น้ง่ายมากขึ้น อาทิเช่น $V = |V| \angle \alpha$ และ $I = |I| \angle \beta$ ดังนี้

$$S = VI^* = |V| \angle \alpha \cdot |I| \angle -\beta$$

$$= |V| |I| \angle \alpha - \beta \quad \text{หรือ}$$

$$S = |V| |I| \cos(\alpha - \beta) + j |V| |I| \sin(\alpha - \beta) \quad \text{VA}$$

นอกจากนี้ ค่า S อาจหาได้จาก $S = V \cdot I$ ก็ได้เพียงแต่ทิศทางของ Q จะกลับกันกับ $S = VI^*$ เท่านั้นเอง ยกตัวอย่างถ้าเป็นโหลด L และหาค่า $S = VI^*$ จะได้เป็นสามเหลี่ยมกำลังดังรูป



รูปที่ 1.8 สามเหลี่ยมกำลังของโหลด L หากจาก $S = VI^*$

สำหรับทิศทางของการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งขึ้นอยู่กับสมมติ

ตารางที่ 1.1 การไหลของกำลังไฟฟ้า

Circuit diagram	Calculated from EI^*
<p>Generator action assumed</p>	If P is +, emf supplies power If P is -, emf absorbs power If Q is +, emf supplies reactive power (I lags E) If Q is -, emf absorbs reactive power (I leads E)
<p>Motor action assumed</p>	If P is +, emf absorbs power If P is -, emf supplies power If Q is +, emf absorbs reactive power (I lags E) If Q is -, emf supplies reactive power (I leads E)

ถ้าหากเป็นกำลังไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส สมดุลจะได้กำลังไฟฟ้ารวมเป็น

$$P = 3 V_p I_p \cos \theta_p \quad (1-9)$$

เมื่อ V_p และ I_p เป็นแรงดันและกระแสเป็น rms ต่อเฟส และ θ_p เป็นมุมระหว่างแรงดันและกระแสในเฟส

หรือกำลังทั้งสามเป็น

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta_p \quad (1-10)$$

1.1 ปริมาณค่าต่อหน่วย (Per unit System)

ค่าตัวเลขที่เป็นค่าต่อหน่วย หรือค่าเปอร์ยูนิตของปริมาณใด ๆ คือ อัตราส่วนของปริมาณจริง (actual quantity) ต่อปริมาณเบส (base quantity) ซึ่งมีค่าเป็นตัวเลขทศนิยม เช่น ถ้าแรงดันเบสมีค่าเท่ากับ 115 kV ระดับแรงดันที่ 105, 115 และ 120 kV จะมีค่าเปอร์ยูนิตเป็น 0.913, 1.000 และ 1.043 ตามลำดับ โดยแรงดันเบส 115 kV เปรียบเสมือนเป็นแรงดันเบสที่ 100% ดังนั้นถ้าปริมาณเบสของระบบเปอร์ยูนิตและระบบเปอร์เซ็นต์เป็นค่าเดียวกัน ค่าปริมาณเปอร์ยูนิตจะเท่ากับค่าของมันเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วย 100 ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณในระบบเปอร์ยูนิต (pu)} = \frac{\text{ปริมาณจริง}}{\text{ปริมาณเบส}} \quad (1-11)$$

$$\text{ปริมาณในระบบเปอร์เซ็นต์ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณจริง}}{\text{ปริมาณเบส}} \times 100 \quad (1-12)$$

$$\text{ปริมาณในระบบเปอร์ยูนิต (pu)} = \frac{\text{ปริมาณในระบบเปอร์เซ็นต์ (\%)}}{100} \quad (1-13)$$

อย่างไรก็ตามการคำนวณของระบบไฟฟ้ากำลัง การใช้ระบบเปอร์ยูนิตมีความสะดวกมากกว่าระบบเปอร์เซ็นต์ สำหรับวงจรไฟฟ้าการคำนวณจะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสแรงดัน กำลังไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ ดังนั้นทั้งสี่ปริมาณดังกล่าวจะต้องเลือกเอาสองปริมาณเพื่อเป็นปริมาณเบส และได้มีการค้นพบว่าการเลือกปริมาณของแรงดันและกำลังไฟฟ้า (กิโลโวลต์แอมแปร์ ; kVA) จะมีความสะดวกต่อการคำนวณมากที่สุด

ระบบหนึ่งเฟส ใน 1 เฟส เอาค่า line กับนิวตรอล

$$I_{\text{base}} = \frac{\text{kVA}_{1\phi \text{ base}}}{\text{kV}_{\text{LN base}}}$$

$$Z_{\text{base}} = \frac{\text{base Voltage}(V_{\text{LN}})}{\text{base กระแส, A}} = \frac{\text{kV}_{\text{LN base}} \times 1000}{I_{\text{base}} \text{ (A)}}$$

หรือ

$$Z_{\text{base}} = \frac{\text{kV}_{\text{LN base}}^2 \times 1000}{\text{kVA}_{1\phi \text{ base}}} = \frac{\text{kV}_{\text{LN base}}^2}{\text{MVA}_{1\phi \text{ base}}}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad Z_{\text{base}} &= \frac{V_{\text{LN}}^2}{\text{VA}_{1\phi}} \\ P_{\text{base}} &= \text{base kVA}_{1\phi} \\ Z_{\text{pu.}} &= \frac{\text{ค่า } Z \text{ จริง, } \Omega}{\text{ค่า } Z_{\text{base}}, \Omega} \end{aligned}$$

ระบบ 3 เฟส จะพิจารณาเป็นสามเฟสสมดุล จะคิดเหมือนกับของระบบ 1 เฟส เช่น

$$\text{Base kVA}_{3\phi} = 30,000 \quad \text{kVA}$$

$$\text{และ Base kV}_{\text{LL}} = 120 \quad \text{kV}$$

ถ้าพิจารณาต่อเฟสจะได้

$$\text{Base kVA}_{1\phi} = \frac{30,000}{3} = 10,000 \quad \text{kVA}^*$$

$$\text{และ Base kV}_{\text{LN}} = \frac{120}{\sqrt{3}} = 69.2 \quad \text{kV}$$

สำหรับแรงดันจริง $\text{kV}_{\text{LL}} = 108 \quad \text{kV}$ จะได้

$$\text{V.pu} = \frac{108}{120} = \frac{108/\sqrt{3}}{120/\sqrt{3}} = 0.90$$

ถ้า Power จริง $P_{3\phi} = 18,000 \quad \text{kW}$, $P_{1\phi} = 6,000$

$$\text{P.pu} = \frac{18,000}{30,000} = \frac{6,000}{10,000} = 0.6$$

ดังนั้นในระบบ 3 เฟส ได้

$$I_{\text{base}} = \frac{\text{base kVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \times \text{base kV}_{\text{LL}}}$$

$$Z_{\text{base}} = \frac{(\text{base kV}_{\text{LL}})^2 \times 1000}{\text{base kVA}_{3\phi}}$$

$$\text{หรือ} \quad Z_{\text{base}} = \frac{(\text{base kV}_{\text{LL}}/\sqrt{3})^2 \times 1000}{\text{base kVA}_{3\phi}/3}$$

$$\text{หรือ} \quad Z_{\text{base}} = \frac{(\text{base kV}_{\text{LL}})^2}{\text{base MVA}_{3\phi}}$$

ตัวอย่าง โหลดต่อแบบ Y $V_{\text{LL}} = 4.4 \text{ kV}$ โหลดแต่ละเฟสเป็น $Z = 20 \angle 30^\circ$ แต่ละสายเข้า
โหลดมีค่าอิมพีแดนซ์ $Z_L = 1.4 \angle 75^\circ \Omega$ อนุกรม ถ้าให้ค่าฐานเป็น $4.4 \text{ kV}_{\text{LL}}$ และ 127 A จง
หาค่าแรงดันเป็นค่าต่อหน่วยที่ด้านต้นสาย

$$\text{วิธีทำ} \quad V_{\text{an}} = \frac{4400}{\sqrt{3}} = 2540 \angle 0^\circ \quad (\text{ที่โหลด})$$

$$I_{\text{an}} = \frac{2540 \angle 0^\circ}{20 \angle 30^\circ} = 127.0 \angle -30^\circ \text{ A}$$

แรงดัน line – neutral ที่ substation เป็น

$$V_{\text{an}} + I_{\text{an}} Z_L = 2540 \angle 0^\circ + 127 \angle -30^\circ \times 1.4 \angle 75^\circ$$

$$= 2540 \angle 0^\circ + 177.8 \angle 45^\circ$$

$$= 2670 \angle 2.70^\circ \text{ V}$$

$$\text{หรือ} \quad V_{\text{LL}} = \sqrt{3} \times 2.67 = 4.62 \text{ kV}$$

$$V_{\text{pu.}} = \frac{4.62}{4.4} = 1.05 \text{ pu} \text{ ตอบ}$$

* ให้ฝึกหาค่าเป็น pu. ทุกค่า ในตัวอย่างข้อนี้*

วิธีสอนและ กิจกรรม	บรรยาย ชักถาม ประกอบการหาค่าต่อหน่วยอื่นๆ	
สื่อการสอน	หนังสืออ้างอิง เอกสารประกอบ วัสดุโสตทัศน	
งานที่ มอบหมาย	ฝึกหาค่าต่อหน่วย และปริมาณเฟสเซอร์ต่างๆ	
การวัดผล		
บันทึกการสอน		

