

สัปดาห์ที่ 4

กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

AC Steady-State Power

(Part II)

1

จุดประสงค์การเรียนรู้

- ☐ สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน
- ☐ สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ
- ☐ สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
- ☐ สามารถหาค่าตัวคูณกำลัง
- ☐ สามารถปรับปรุงตัวคูณกำลัง

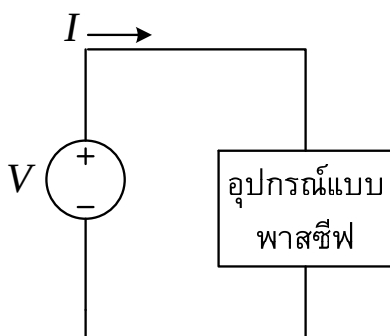
2

เนื้อหา

- ☐ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน
- ☐ กำลังไฟฟ้าปรากฏ
- ☐ ตัวคูณกำลัง
- ☐ การปรับปรุงตัวคูณกำลัง
- ☐ บทสรุป

3

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน(Complex Power)



กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของสัญญาณไซน์ขนาดเป็นอาร์เอ็มเอส

$$S = VI^*$$

ของสัญญาณไซน์ขนาดเป็นค่าสูงสุด

$$S = \frac{VI^*}{2}$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนหน่วยโวลต์-แอมป์ (VA)

4

พิสูจน์หาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนกำหนดให้แรงดันเฟสเซอร์และกระแสเฟสเซอร์อาร์เอ็มเอส



$$\begin{aligned}
 S &= V I^* \\
 &= V_{eff} e^{j\phi_v} (I_{eff} e^{j\phi_i})^* \\
 &= V_{eff} e^{j\phi_v} I_{eff} e^{-j\phi_i} \\
 &= V_{eff} I_{eff} e^{j(\phi_v - \phi_i)} \\
 S &= V_{eff} I_{eff} \cos(\phi_v - \phi_i) + j V_{eff} I_{eff} \sin(\phi_v - \phi_i)
 \end{aligned}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนกำหนดให้แรงดันเฟสเซอร์และกระแสเฟสเซอร์ค่าสูงสุด



$$S = \frac{1}{2} [V_m I_m \cos(\phi_v - \phi_i) + j V_m I_m \sin(\phi_v - \phi_i)]$$

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

เมื่อ $V_m = \sqrt{2}V_{eff}$, $I_m = \sqrt{2}I_{eff}$

5

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนประกอบด้วย

1. ส่วนจริงของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเรียกว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Re}[S] \\
 &= V_{eff} I_{eff} \cos(\phi_v - \phi_i) \\
 &= |S| \cos(\phi_v - \phi_i)
 \end{aligned}$$

2. ส่วนจินตภาพของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเรียกว่า กำลังไฟฟ้าไร้งาน (reactive power)

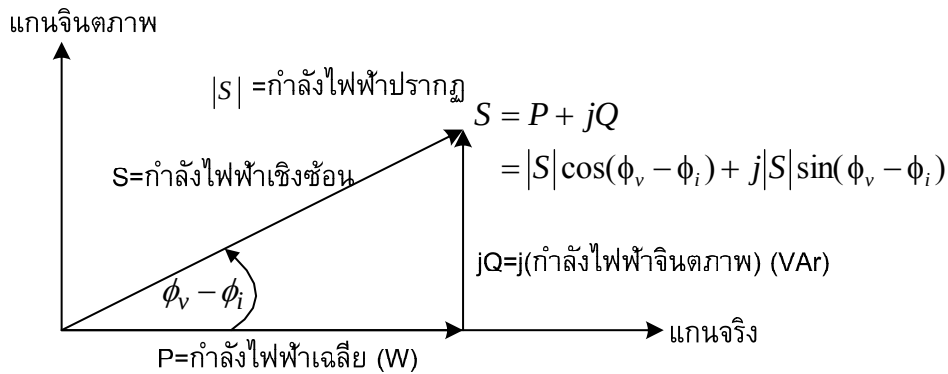
$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Im}[S] \\
 &= V_{eff} I_{eff} \sin(\phi_v - \phi_i) \\
 &= |S| \sin(\phi_v - \phi_i) \\
 S &= VI^* = P + jQ
 \end{aligned}$$

6

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (apparent power) คือขนาดของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน

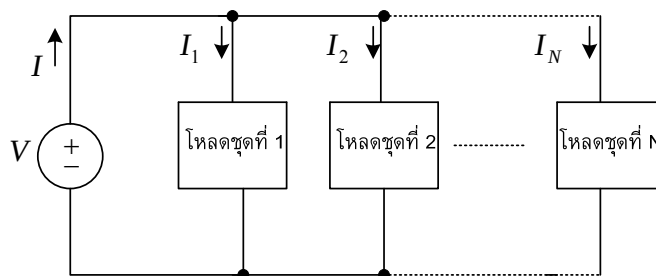
$$|S| = V_{eff} I_{eff} = \frac{V_m I_m}{2} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{VA (volt-ampere)}$$

รูปความสัมพันธ์บนระนาบเชิงซ้อน



7

วงจรที่ประกอบด้วยโหลด N ชุดที่ต่อขนานกัน



หากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่แหล่งจ่ายจ่ายไปยังโหลดมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่โหลดได้รับทั้งหมด

KCL $\Rightarrow I = I_1 + I_2 + \dots + I_N$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน $\Rightarrow V I^* = V I_1^* + V I_2^* + \dots + V I_N^*$
 $= V (I_1^* + I_2^* + \dots + I_N^*)$

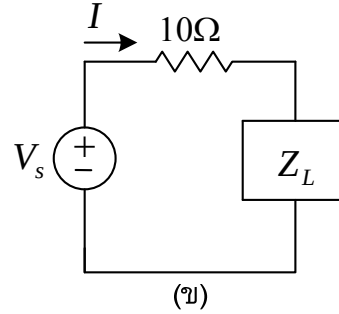
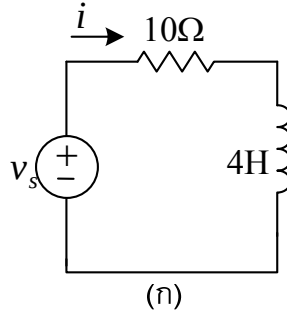
$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_N$$

8

ตัวอย่างที่ 8

- (ก) จงหากำลังเชิงซ้อน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และกำลังไฟฟ้าจินตภาพของแหล่งจ่าย
(ข) จงหากำลังเชิงซ้อนของตัวต้านทานและกำลังเชิงซ้อนของตัวเหนี่ยวนำ

กำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดัน $v_s(t) = 10\cos 2t$ V



วิธีทำ

แรงดันเฟสเซอร์ของแหล่งจ่าย $V_s = 10\angle 0^\circ$

อิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $Z_L = j \times 2 \times 4 = j8 \Omega$

อิมพีแดนซ์สมมูล $Z_{eq} = 10 + j8 \Omega$

กระแสเฟสเซอร์ที่ไหลในวงจร

$$I = \frac{V_s}{Z_{eq}} = \frac{10}{10 + j8} = \frac{10}{12.8\angle 38.66^\circ} = 0.78\angle -38.66^\circ$$

9

แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน

$$V_R = Z_R \times I = 10 \times 0.78\angle -38.66^\circ = 7.8\angle -38.66^\circ$$

แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

$$V_L = Z_L \times I = j8 \times 0.78\angle -38.66^\circ = 6.24\angle (90^\circ - 38.66^\circ) = 6.24\angle 51.34^\circ$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวต้านทานใช้ไป

$$S_R = \frac{V_R I^*}{2} = \frac{1}{2} \times 7.8\angle -38.66^\circ \times 0.78\angle 38.66^\circ = 3.042$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวเหนี่ยวนำ

$$S_L = \frac{V_L I^*}{2} = \frac{1}{2} \times 6.24\angle 51.34^\circ \times 0.78\angle 38.66^\circ = 2.43\angle 90^\circ$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่แหล่งจ่าย

$$S = \frac{V_s I^*}{2} = \frac{1}{2} \times 10 \times 0.78\angle 38.66^\circ = 3.9\angle 38.66^\circ = 3.05 + j2.44$$

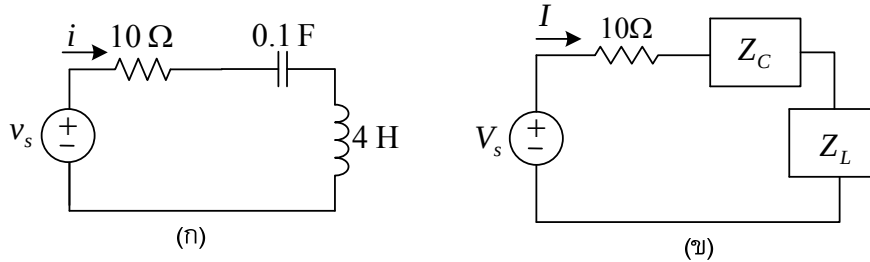
$|S|$ P Q

10

ตัวอย่างที่ 9

- (ก) จงหากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ และกำลังไฟฟ้าจินตภาพของแหล่งจ่าย
- (ข) จงหากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ
- (ค) จงแสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่จ่ายโดยแหล่งจ่ายเท่ากับ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่อุปกรณ์แต่ละตัวได้รับ

กำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดัน $v_s(t) = 12 \cos 2t$ V



วิธีทำ แรงดันเฟสเซอร์ของแหล่งจ่ายแรงดัน $V_s = \frac{12}{\sqrt{2}} = 8.48$

กระแสที่ไหลในวงจร

$$I = \frac{12/\sqrt{2}}{10 + j8 - j5} = \frac{8.48}{10.44 \angle 16.7^\circ} = 0.81 \angle -16.7^\circ$$

11

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของตัวต้านทาน

$$S_R = (Z_R I) I^* = 10 \times 0.81 \angle -16.7^\circ \times 0.81 \angle 16.7^\circ = 10(0.81)^2 = 6.6$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของตัวเหนี่ยวนำ

$$S_L = (Z_L I) I^* = j8 \times 0.81 \angle -16.7^\circ \times 0.81 \angle 16.7^\circ = j8(0.81)^2 = j5.25$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุ

$$S_C = (Z_C I) I^* = -j5 \times 0.81 \angle -16.7^\circ \times 0.81 \angle 16.7^\circ = -j5(0.81)^2 = -j3.28$$

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่แหล่งจ่าย

$$S = V_s I^* = 8.48 \times 0.81 \angle 16.7^\circ = 6.9 \angle 16.7^\circ = 6.6 + j1.98$$

$\swarrow$ $|S|$ $\swarrow$ P $\swarrow$ Q

$$\begin{aligned}
 S &= S_R + S_L + S_C \\
 &= 6.6 + j5.25 - j3.28 \\
 &= 6.9 \angle 16.7^\circ \text{ VA}
 \end{aligned}$$

12

กำลังไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายอิสระมากกว่าหนึ่งแหล่งจ่าย

□ แหล่งจ่ายมีความถี่เท่ากันทุกแหล่งจ่าย

- วิเคราะห์ด้วยโหนด
- วิเคราะห์ด้วยเมช (ลูป)
- ใช้ทฤษฎีการวางซ้อน

➢ โดยพิจารณาที่ละหนึ่งแหล่งจ่ายและให้แหล่งจ่ายที่เหลือมีค่าเป็นศูนย์

➢ นำค่าของกระแสเฟสเซอร์หรือแรงดันเฟสเซอร์ในแต่ละครั้งที่ได้รวมกัน

➢ นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการของกำลังไฟฟ้าต่างๆที่ต้องการ

□ แหล่งจ่ายแต่ละแหล่งมีความถี่ไม่เท่ากัน

- ใช้ทฤษฎีการวางซ้อน

➢ ทำการหาค่าของกระแสหรือแรงดันในวงจร

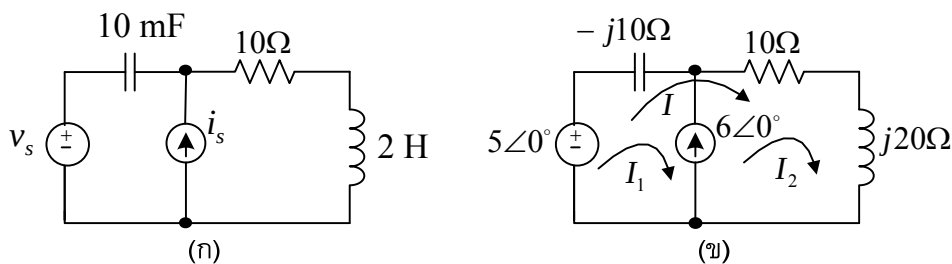
➢ ในการหาค่าของกำลังไฟฟ้าต่างๆจะนำค่าของกระแสเฟสเซอร์หรือแรงดันเฟสเซอร์

➢ ที่หาได้ในแต่ละครั้งไปหาค่าของกำลังไฟฟ้าต่างๆในแต่ละครั้ง

➢ ค่าของกำลังไฟฟ้ามหาจากนำค่าของกำลังไฟฟ้าที่หาได้ในแต่ละครั้งมารวมกัน

13

ตัวอย่างที่ 10 กำหนดให้ $v_s = 5\cos 10t$ V_{rms} และ $i_s = 6\cos 10t$ A_{rms}
จงหากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ



วิธีทำ อิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $Z_L = j\omega L = j10 \times 2 = j20 \Omega$

อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ $Z_C = -j \times \frac{1}{\omega C} = -j \times \frac{10^3}{10 \times 10} = -j10 \Omega$

วิธีที่ 1 ใช้วิธีวิเคราะห์แบบเมช (ลูป) ที่ซูเปอร์เมช (super mesh)

$$6 = I_2 - I_1 \quad \text{หรือ} \quad I_1 = I_2 - 6$$

KVL ในเมชกระแสโดยปลดแหล่งจ่ายกระแสออกชั่วคราว

$$\begin{aligned} V_{Z_C} + V_{Z_R} + V_{Z_L} &= 5\angle 0^\circ \\ -j10I_1 + 10I_2 + j20I_2 &= 5\angle 0^\circ \end{aligned}$$

14

หาคะแสมเฟสเซอร์

$$\begin{aligned} -j10(I_2 - 6) + (10 + j20)I_2 &= 5 \\ -j10I_2 + j60 + 10I_2 + j20I_2 &= 5 \\ (10 + j10)I_2 + 60\angle 90^\circ &= 5 \\ (10 + j10)I_2 &= 5 - 60j \\ I_2 &= \frac{60.20\angle -85.24^\circ}{14.14\angle 45^\circ} \\ &= 4.26\angle -130.24^\circ \end{aligned}$$

แรงดันเฟสเซอร์

$$\begin{aligned} V_a &= I_2(Z_R + Z_L) \\ &= 4.26\angle -130.24^\circ (10 + j20) \\ &= (4.26\angle -130.24^\circ)(22.36\angle 63.44^\circ) \\ &= 95.2\angle -66.8^\circ \end{aligned}$$

15

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวต้านทาน

$$\begin{aligned} S_R &= V_R I_2^* = Z_R I_2 I_2^* \\ &= 10 \times 4.26\angle 130.24^\circ \times 4.26\angle -130.24^\circ \\ &= 10 \times (4.26)^2 = 181.48 \text{ VA} \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ

$$\begin{aligned} S_L &= V_L I_2^* = Z_L I_2 I_2^* \\ &= j20 \times 4.26\angle 130.24^\circ \times 4.26\angle -130.24^\circ \\ &= j20 \times (4.26)^2 \\ &= j362.95 \text{ VA} \end{aligned}$$

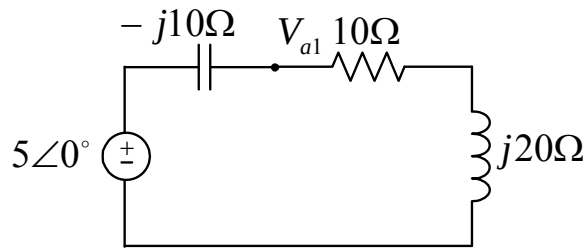
กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวเก็บประจุ

$$\begin{aligned} S_C &= V_C I_1^* = Z_C (I_2 - 6)(I_2 - 6)^* \\ &= -j10 \times (4.26\angle 130.24^\circ - 6) \times (4.26\angle 130.24^\circ - 6)^* \\ &= -j10 \times (9.33\angle 159.62^\circ) \times (9.33\angle -159.62^\circ) \\ &= -j10(9.33)^2 = -j870.5 \text{ VA} \end{aligned}$$

16

วิธีที่ 2 ใช้ทฤษฎีการวางซ้อน

ครั้งที่ 1 พิจารณาที่แหล่งจ่ายแรงดันและให้แหล่งจ่ายกระแสเปิดวงจร



แรงดันเฟสเซอร์ V_{a1} โดยใช้กฎการแบ่งแรงดัน

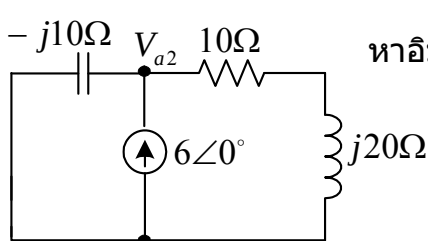
$$V_{a1} = \frac{10 + j20}{10 + j20 - j10} 5\angle 0^\circ$$

$$V_{a1} = \frac{22.36\angle 63.44^\circ}{14.14\angle 45^\circ} 5\angle 0^\circ$$

$$= 7.91\angle 18.44^\circ$$

17

ครั้งที่ 2 พิจารณาแหล่งจ่ายกระแสโดยลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน



หาอิมพีแดนซ์รวม $\Rightarrow Z_{total} = \frac{(-j10)(10 + j20)}{10 + j20 - j10}$

$$= \frac{200 - j100}{10 + j10}$$

$$= \frac{223.61\angle -26.57^\circ}{14.14\angle 45^\circ}$$

$$= 15.81\angle -71.57^\circ$$

หาค่าแรงดันเฟสเซอร์ $\Rightarrow V_{a2} = 6\angle 0^\circ (15.81\angle -71.57^\circ)$

นำค่าแรงดันเฟสเซอร์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 รวมกัน $= 94.86\angle -71.57^\circ$

แรงดันเฟสเซอร์ $\Rightarrow V_a = V_{a1} + V_{a2}$

$$= 7.91\angle 18.44^\circ + 94.86\angle -71.57^\circ$$

$$= 7.50 + j2.50 + 30 - j90$$

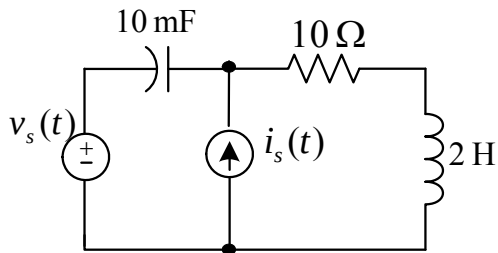
$$= 37.5 - j87.5$$

$$= 95.2\angle -66.8^\circ$$

18

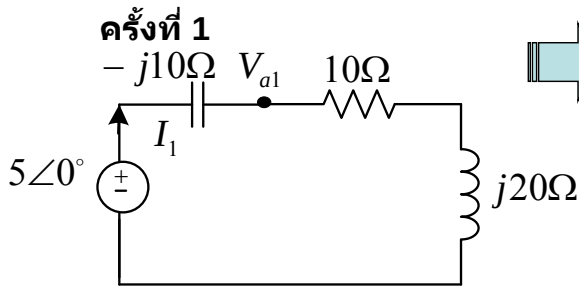
ตัวอย่างที่ 11 กำหนดให้ $v_s = 5\cos 10t$ V และ $i_s = 6\cos t$ A

จงหาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำได้รับ



วิธีทำ $\omega = 1, 10 \text{ rad/s}$

ใช้ทฤษฎีการวางซ้อน



กระแสที่ไหลในวงจร



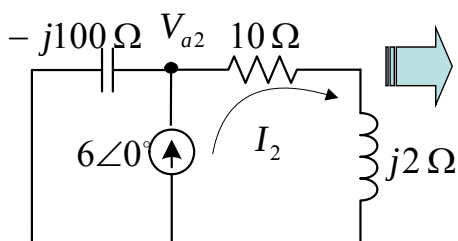
แรงดันเฟสเซอร์ V_{a1} เหมือนตัวอย่างที่ผ่านมา

$$V_{a1} = 7.91\angle 18.44^\circ$$

$$I_1 = \frac{5}{-j10 + 10 + j20} = \frac{5}{14.14\angle 45^\circ} = 0.35\angle -45^\circ$$

19

ครั้งที่ 2



ค่าแรงดัน V_{a2} ลัดวงจรที่แหล่งจ่ายแรงดัน

ใช้การแบ่งกระแส $I_2 = \frac{-j100}{-j100 + 10 + j2} \quad (6)$

$$= \frac{600\angle 90^\circ}{98.5\angle -84.17^\circ} = 6.09\angle 174.17^\circ \text{ A}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวต้านทาน

หาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ตัวเหนี่ยวนำ



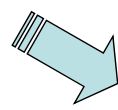
$$\begin{aligned} S_L &= V_{L1}I_1^* + V_{L2}I_2^* \\ &= Z_L(I_1I_1^* + I_2I_2^*) \\ &= j2[(0.35)^2 + (6.09)^2] \\ &= j74.42 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_R &= V_{R1}I_1^* + V_{R2}I_2^* \\ &= Z_R(I_1I_1^* + I_2I_2^*) \\ &= 10[(0.35)^2 + (6.09)^2] \\ &= 372.11 \text{ VA} \end{aligned}$$

20

ตัวคูณกำลัง (power factor) $\Rightarrow pf$

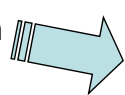
ตัวคูณกำลังคืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ



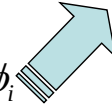
$$\begin{aligned} pf &= \frac{P_{av}}{|S|} \\ &= \frac{V_{eff} I_{eff} \cos(\phi_v - \phi_i)}{V_{eff} I_{eff}} \\ &= \cos(\phi_v - \phi_i) \end{aligned}$$

$$pf = \cos(\phi_v - \phi_i)$$

พิจารณาที่โหลด



$$Z = \frac{V_m \angle \phi_v}{I_m \angle \phi_i} = \frac{V_m}{I_m} \angle \phi_v - \phi_i$$



โหลดเป็นตัวต้านทาน $\cos 0^\circ = 1$

โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ตัวคูณกำลังแบบตามหลัง (pf lagging) $\cos(\phi)$

โหลดเป็นตัวเก็บประจุ ตัวคูณกำลังแบบนำหน้า (pf leading) $\cos(-\phi)$

คุณสมบัติตรีโกณ $\cos(\phi) = \cos(-\phi)$

21

ตัวอย่างที่ 12 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากำหนดให้สถานีจ่ายไฟฟ้ามีแรงดัน

$V_{rms} = 200$ V ค่าความต้านทานในสายส่งเป็น $R = 5 \Omega$ กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ 1 kW

(ก) จงหากระแสในสายส่งเมื่อโหลดมีอิมพีแดนซ์เป็น $Z = |Z| \angle 60^\circ$

(ข) จงหากระแสในสายส่งเมื่อโหลดมีค่า $pf = 1$

(ค) จงหาพลังงานที่สูญเสียในสายส่งเมื่อ $pf = 0.5$

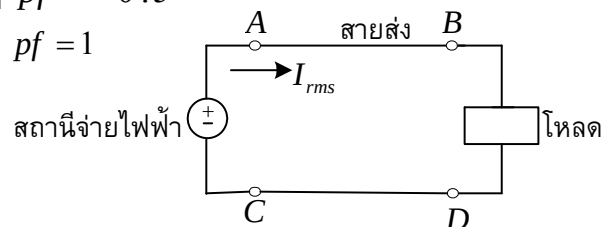
(ง) จงหาพลังงานที่สูญเสียในสายส่งเมื่อ $pf = 1$

วิธีทำ (ก) หากระแสที่ไหลในสายส่ง

$$P_{ave} = V_{rms} I_{rms} \cos(\phi_v - \phi_i)$$

$$I_{rms} = \frac{P_{ave}}{V_{rms} \cos(\phi_v - \phi_i)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1 \times 10^3}{200 \times \cos 60^\circ} \\ &= 10 \text{ A} \end{aligned}$$



(ข) กระแสที่ไหลผ่านสายส่ง

$$P_{ave} = V_{rms} I_{rms} pf$$

$$I_{rms} = \frac{P_{ave}}{V_{rms} pf}$$

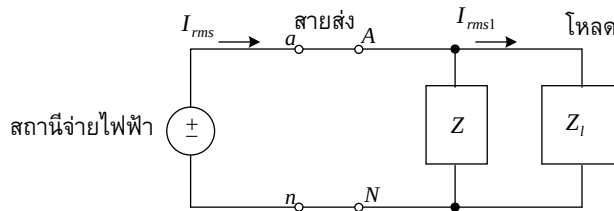
$$\begin{aligned} &= \frac{1 \times 10^3}{200 \times 1} \\ &= 5 \text{ A} \end{aligned}$$

22

(ค) ตัวคุณกำลังมีค่าเป็นหนึ่งและสายส่งมีค่าความต้านทานเป็น $R = 5 \Omega$
เกิดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย (power loss) ในสายส่ง $I_{rms}^2 R = 5^2 \times 5 = 125 \text{ W}$

(ง) ที่ $pf = 0.5$ และสายส่งมีค่าความต้านทานเป็น $R = 5 \Omega$
กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่ง $I_{rms}^2 R = 10^2 \times 5 = 500 \text{ W}$

การปรับปรุงตัวคุณกำลัง $\Rightarrow pfc$



- ต้องการให้ค่าตัวคุณกำลังมีค่าสูงขึ้น
- กำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่จ่ายโดยระบบส่งจ่าย
- ทำได้โดยการต่ออิมพีแดนซ์ขนานเข้าที่โหลด
- อุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไปจะต้องเป็นอุปกรณ์รีแอคทีฟ (reactive element) ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์

23

อิมพีแดนซ์รวมที่ขนานกัน

$$Z_p = \frac{ZZ_l}{Z + Z_l} = R_p + jX_p = |Z_p| \angle \phi_p \text{ เมื่อ } \begin{matrix} Z_l = R + jX_l \\ Z = jX \end{matrix}$$

ตัวคุณกำลังที่ปรับปรุงแล้ว

$$pfc = \cos \phi_p = \cos \left(\tan^{-1} \frac{X_p}{R_p} \right)$$

ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ Z_p แทนค่า $Z = jX$

$$\begin{aligned} Z_p &= \frac{ZZ_l}{Z + Z_l} \\ &= \frac{(R + jX_l)jX}{R + jX_l + jX} \\ &= \frac{RX^2 + j[R^2X + (X + X_l)XX_l]}{R^2 + (X + X_l)^2} \\ &= R_p + jX_p \end{aligned}$$

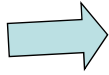
24

$$\frac{R_p}{X_p} = \frac{RX^2}{R^2X + (X + X_l)XX_l}$$

$$= \frac{RX}{R^2 + (X + X_l)X_l}$$

$$\frac{X_p}{R_p} = \frac{R^2 + (X + X_l)X_l}{RX}$$

ค่าตัวคูณกำลังที่ปรับปรุงใหม่



$$pfc = \cos \phi_p = \cos \left(\tan^{-1} \frac{X_p}{R_p} \right)$$

$$\tan^{-1} \left(\frac{X_p}{R_p} \right) = \cos^{-1}(pfc)$$

$$\left(\frac{X_p}{R_p} \right) = \tan[\cos^{-1}(pfc)]$$

$$\frac{R^2 + (X + X_l)X_l}{RX} = \tan[\cos^{-1}(pfc)]$$

ค่า X



$$X = \frac{R^2 + X_l^2}{R \tan(\cos^{-1} pfc) - X_l}$$

25

รีแอกแตนซ์ค่าเป็นลบจะเป็นค่าของตัวเก็บประจุขนานเข้ากับโหลด

$$|X| = |X_c| = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega |X_c|} \quad \text{F}$$

รีแอกแตนซ์ค่าเป็นบวกจะเป็นค่าของตัวเหนี่ยวนำขนานเข้ากับโหลด

$$X = X_L = j\omega L$$

$$L = \frac{X_c}{\omega} \quad \text{H}$$

โดยทั่วไปโหลดตามบ้านพักอาศัยและในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นตัวเหนี่ยวนำ จึงควรนำโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุมาต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพ มีค่าน้อยลงได้ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าตัวคูณกำลังของระบบมีค่าเข้าใกล้หนึ่งตามที่ต้องการ

26

ตัวอย่างที่ 13

วงจรไฟฟ้าหนึ่งต่ออยู่กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีความถี่เชิงมุมเป็น 377 rad/s
วงจรสมมูลของมอเตอร์ประกอบด้วยตัวต้านทาน 100Ω ที่ต่ออนุกรมอยู่กับ
ตัวเหนี่ยวนำ 5 H จงหาค่าตัวคูณกำลังของมอเตอร์

วิธีทำ

อิมพีแดนซ์ของมอเตอร์

$$\begin{aligned} Z_m &= 100 + j(377)(5) \\ &= 100 + j1885 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าตัวคูณกำลัง

$$\begin{aligned} &= 1887.65 \angle 86.96^\circ \\ pf &= \cos(86.96^\circ) = 0.053 \end{aligned}$$

27

ตัวอย่างที่ 14 กำหนดให้ความถี่เชิงมุมเป็น $\omega = 377 \text{ rad/s}$

โหลดมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น $P = 4 \text{ kW}$

และตัวคูณกำลังเป็น 0.82 lagging จงหาค่าของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานเข้าไป
ที่โหลดเพื่อให้ตัวคูณกำลังมีค่าเป็น 0.95 lagging

วิธีทำ

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi$$

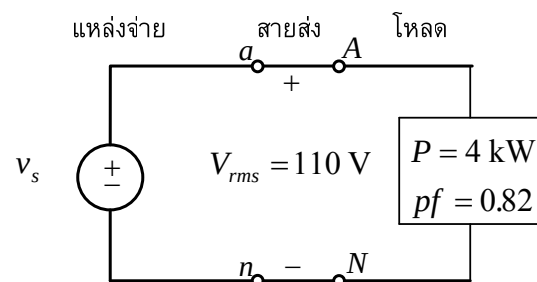
$$\text{เมื่อ } \phi = \phi_v - \phi_i$$

$$I_{rms} = \frac{P}{V_{rms} \cos \phi} = \frac{4,000}{110 \times 0.82} = 44.3 \text{ A}$$

$$\cos \phi = \cos(\phi_v - \phi_i) = 0.82 \quad \phi = \cos^{-1}(0.82) = 34.9^\circ$$

อิมพีแดนซ์ของโหลด

$$\begin{aligned} Z &= \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \angle \phi_v - \phi_i = \frac{110}{44.3} \angle 34.9^\circ = 2.48 \angle 34.9^\circ \\ &= 2.03 + j1.42 = R + jX \end{aligned}$$



28

ทำการปรับปรุงตัวคูณกำลังเป็น 0.95
รีแอดแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไป

$$X_C = \frac{R^2 + X^2}{R \tan(\cos^{-1} pfc) - X}$$

$$= \frac{(2.03)^2 + (1.42)^2}{(2.03) \tan(18.19^\circ) - 1.42}$$

$$= -8.16 \, \Omega$$

หาค่าตัวเก็บประจุ

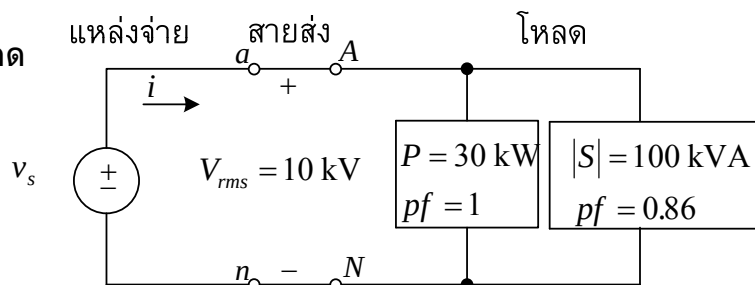
$$|X_C| = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega |X_C|} = \frac{1}{377 \times 8.16} = 325 \, \mu\text{F}$$

29

ตัวอย่างที่ 15 โหลดชุดแรกเป็นตัวทำความร้อนหรือฮีตเตอร์ขนาด 30 kW
ส่วนโหลดที่สองเป็นมอเตอร์ที่มีค่าตัวคูณกำลังเป็น 0.86 แบบล่าหลัง (0.86 lagging)
ใช้กำลังไฟฟ้าปรากฏ 100 kVA
แรงดันที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าส่งผ่านสายส่งมายังโรงงานมีค่าเป็น 10 kVrms

- (ก) จงหากระแสที่ไหลในสายส่ง
(ข) จงหาตัวคูณกำลังรวมของโหลด

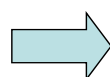


วิธีทำ

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่โหลด

$$S = S_1 + S_2$$

โหลดชุดแรกเป็นตัวทำความร้อน
ตัวคูณกำลังเป็นหนึ่ง $pf_1 = 1$



$$S_1 = P_1 = 30 \, \text{kW}$$

30

ส่วนโหลดชุดที่เป็นมอเตอร์ค่าตัวคูณกำลังเป็นแบบล่าหลัง $\phi_2 > 0$

$$pf_2 = \cos \phi_2 = 0.86$$

มุมเฟส $\Rightarrow \phi_2 = \cos^{-1}(0.86) = 30.7^\circ$

กำลังเชิงซ้อนที่มอเตอร์ $\Rightarrow S_2 = |S_2| \angle \phi_2 = 100 \angle 30.7^\circ \text{ kVA}$
 $S_2 = 86 + j51 \text{ kVA} = P_{ave} + jQ$

กำลังเชิงซ้อนรวม $\Rightarrow S = S_1 + S_2$
 $= 30 + 86 + j51 \text{ kVA}$
 $= 116 + j51 \text{ kVA}$
 $= 126.72 \angle 23.73^\circ \text{ kVA}$

ตัวคูณกำลังของระบบทั้งหมด $\Rightarrow pf_T = \cos(23.73^\circ) = 0.92$

กระแสเฟสเซอร์ที่ไหลในสายส่ง

$$I_{rms} = \frac{|S|}{V_{rms}} = \frac{126.72 \text{ k}}{10 \text{ k}} = 12.67 \text{ A}$$

31

บทสรุปสัปดาห์ที่ 4

กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวของไฟฟ้ากระแสสลับ

- กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ประกอบด้วยส่วนจริงเรียกว่ากำลังไฟฟ้าจริง และส่วนจินตภาพเรียกว่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหรือกำลังไฟฟ้าไร้งาน หรือกำลังไฟฟ้าจินตภาพ
- กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ประกอบด้วยขนาดและมุมเฟส ซึ่งขนาดของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน เรียกว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ
- การวิเคราะห์หาค่าตัวคูณกำลังและการปรับปรุงค่าตัวคูณกำลัง
 - ในระบบจำหน่ายต้องการให้กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนและกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน
 - เพื่อที่จะให้ค่าตัวคูณกำลังมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง
 - ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพต้องมีค่าน้อยที่สุด
 - โหลดส่วนใหญ่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำจึงต้องนำตัวเก็บประจุมาต่อขนานเข้าไป

32