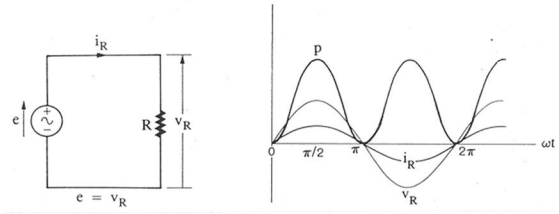
บทที่ 2
กำลังไฟฟ้า

2.1 รูปคลื่นกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ หาได้จากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง แต่ต้องคูณด้วยค่าตัวประกอบกำลังค่าหนึ่ง เรียกว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor = PF) ซึ่งค่านี้จะมีค่าไม่เกิน 1 และแปรตามชนิดของโหลด ดังจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

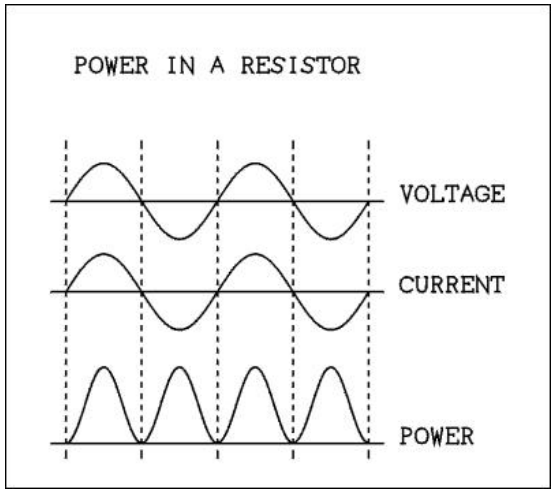
2.1.1 กำลังไฟฟ้าของวงจรในตัวความต้านทาน (Resistor)



(ก) วงจรตัวต้านทาน (ข) รูปคลื่นไฟฟ้า

รูปที่ 2.1 แสดงวงจรและรูปคลื่นไฟฟ้า

1



2

ถ้าในวงจรประกอบด้วย Resistance เพียงอย่างเดียวรูปคลื่นของกำลังไฟฟ้าจะเป็นดังรูปที่ 2.1

ถ้า $e = E_m \sin \omega t$

$i = I_m \sin \omega t$

จะได้ $p = ei = (E_m \sin \omega t)(I_m \sin \omega t)$

$\therefore p = E_m I_m \sin^2 \omega t$

$p = \frac{1}{2} E_m I_m (1 - \cos 2\omega t)$

จากรูปคลื่นดังรูป 4.1(ข) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้า (P) จะมีความถี่เป็น 2 เท่าของ e และ i และจะมีค่ามีค่าเป็นบวกเสมอ นั่นคือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายจะถูกใช้ไปใน Resistance เสมอกับกำลังงานสูงสุด

$P_m = E_m I_m$

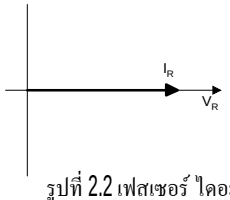
ส่วน Average power หรือ Active power = $\frac{1}{2} E_m I_m$

หรือ $P = E \times I$ (watt)

$= \frac{V_R^2}{R} = I^2 R$ (watt)

3

จากรูปที่ 2.1 (ข) เขียนสมการ เฟสเซอร์และไดอะแกรมของเฟสเซอร์ได้ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เฟสเซอร์ ไดอะแกรม

$\overline{V_R} = V_R \angle 0°$

$\overline{I_R} = I_R \angle 0°$

รูปที่ 4.2 แสดงไดอะแกรมของเฟสเซอร์ I_R และ V_R

จากไดอะแกรมหากำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$P = V_R I_R \cos\theta$

แต่ $\cos\theta = \cos 0° = 1$

$P = V_R I_R$

กำหนดให้ P คือค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

V_R คือค่าแรงดันไฟฟ้าแอฟเฟคตีฟ (V)

I_R คือค่ากระแสไฟฟ้าแอฟเฟคตีฟ (A)

4

ตัวอย่างที่ 2.1 กาต้มน้ำไฟฟ้าใช้กับไฟระบบ 220 V 50 Hz ต่อแอมมิเตอร์วัดกระแสได้ 3 แอมแปร์ จงหาค่ากำลังไฟฟ้า

วิธีทำ $p = VI\cos\theta$

$= 220\ V \times 30\ A \times \cos 0°$

$= 660\ W$ Ans

ตัวอย่างที่ 2.2 หากใช้กาต้มน้ำไฟฟ้าในตัวอย่างที่ 2-1 ต่อกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 220 V เช่นกัน จงคำนวณหากำลังไฟฟ้าหากวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ค่าเท่ากัน

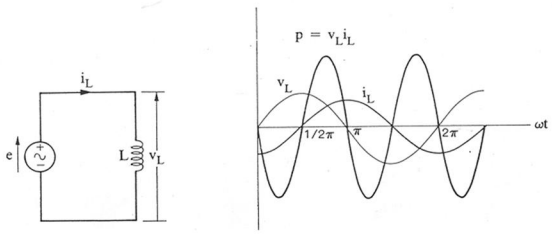
วิธีทำ $P = IE$

$= 3\ A \times 220\ V$

$= 660\ W$ Ans

5

2.1.2 กำลังไฟฟ้าของวงจรในตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)



(ก) วงจรตัวเหนี่ยวนำ (ข) รูปคลื่นไฟฟ้า

รูปที่ 2.3 แสดงวงจรตัวเหนี่ยวนำและรูปคลื่นไฟฟ้า

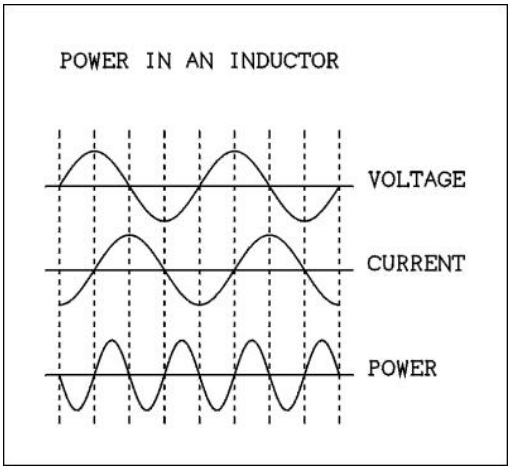
ถ้าในวงจรประกอบด้วย Inductive เพียงอย่างเดียวรูปคลื่นของกำลังไฟฟ้าจะเป็นดังรูปที่ 2.3

ถ้า $e = E_m \sin \omega t$

$i = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

จะได้ $p = ei = (E_m \sin \omega t)(I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}))$

6



7

แต่ $\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -\cos\omega t$

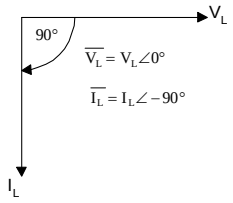
$$\therefore p = E_m I_m (\sin\omega t)(-\cos\omega t)$$

$$p = -\frac{1}{2} E_m I_m 2 \sin\omega t \cos\omega t$$

$$= -\frac{1}{2} E_m I_m \sin 2\omega t$$

จากรูปคลื่นดังรูป 2.3(ข) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้า (P) จะมีความถี่เป็น 2 เท่าของ e และ i ส่วนค่า Average power(P) = 0 จากรูปคลื่นของกำลังงาน เราจะสังเกตเห็นว่าเมื่อ e และ i เป็นบวกหรือลบพร้อมกันทั้งคู่ P จะเป็นบวกนั่นคือ ช่วงเวลาที่กำลังงานถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายไปยัง Inductance แต่ถ้า e และ i เป็นบวกหรือลบต่างกัน P จะเป็นลบ นั่นคือ ช่วงเวลาที่กำลังงานถูกส่งย้อนกลับจาก Inductance มายังแหล่งจ่าย จากรูปที่ 2.3 (ข) เขียนไดอะแกรมของเฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ได้ดังในรูปที่ 2.4

8



รูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของเฟสเซอร์ V_L และ I_L

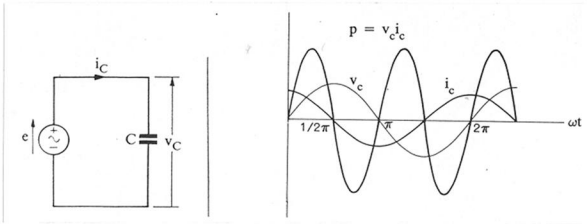
จากไดอะแกรมหากำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$P = V_L I_L \cos\theta$$
$$= V_L I_L \cos(-90°)$$
$$= 0$$
$$P = 0$$

<u>สรุป</u> วงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว กระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90 องศา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือกำลังไฟฟ้าใช้งานจริงมีค่าเป็น 0

9

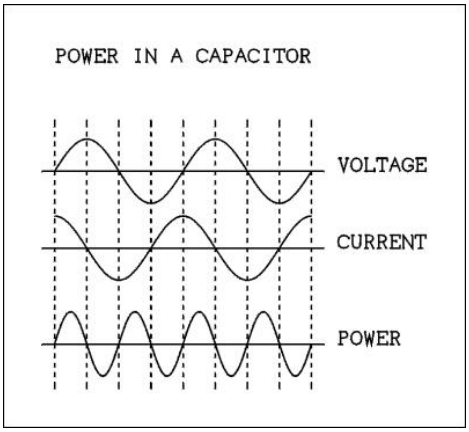
2.1.3 กำลังไฟฟ้าของวงจรในตัวเก็บประจุ (Capacitor)



(ก) วงจรตัวเก็บประจุ (ข) รูปคลื่นไฟฟ้า

รูปที่ 2.5 แสดงวงจรตัวเก็บประจุและรูปคลื่นไฟฟ้า

10



11

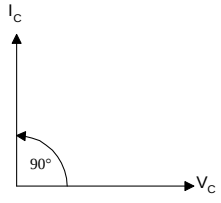
จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของ P เหมือนกับรูปคลื่นของ P ของ Inductance ทุกอย่างนั่นคือ

$$P = -\frac{1}{2} E_m I_m \sin 2\omega t$$

จากรูปที่ 2.5 (ข) เขียนไดอะแกรมของเฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ได้ดังในรูปที่ 2.6

$\overline{V_c} = V_c \angle 0°$

$\overline{I_c} = I_c \angle 90°$



รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมของเฟสเซอร์ V_c และ I_c

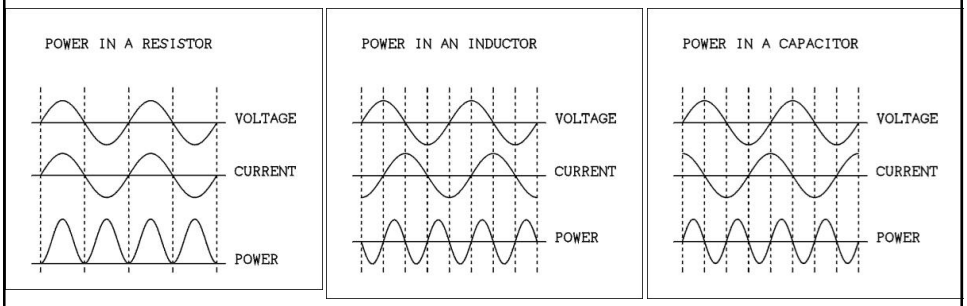
12

จากรูปที่ 2.6 หาค่ากำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$P = V_c I_c \cos\theta$$
$$= V_c I_c \cos 90^\circ$$
$$= 0$$
$$p = 0$$

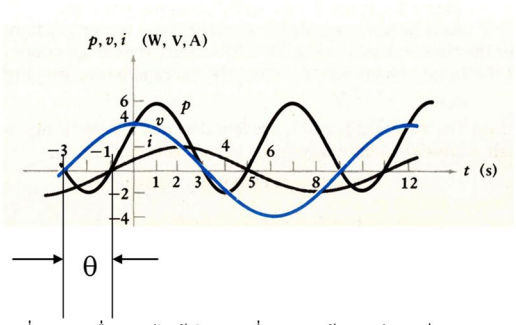
<u>สรุป</u> วงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว กระแสไฟฟ้านำหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90 องศา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือกำลังไฟฟ้าใช้งานจริงจะมีค่าเป็น 0

13



14

2.1.4กำลังไฟฟ้าของวงจรที่ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ทั่วๆไป(R,L,C)



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นกำลังไฟฟ้าในวงจรที่ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์

ถ้า $e = E_m \sin \omega t$

$i = I_m \sin(\omega t - \theta)$

โดย θ อาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ แล้วแต่ในวงจรจะเป็นอิทธิพลของ L หรือ C สำหรับในรูปเป็นอิทธิพลของ L เพราะว่า eนำหน้า i เป็นมุม θ

15

$$\therefore p = ei = E_m \sin \omega t \times I_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$= E_m I_m \sin \omega t(\sin \omega t \cos \theta + \cos \omega t \sin \theta)$$

$$= E_m I_m (\sin^2 \omega t \cos \theta + \sin \omega t \cos \omega t \sin \theta)$$

$$= E_m I_m \left[\cos \theta \times \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) + \sin \theta \times \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right]$$

จะได้

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)dt$$

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[E_m I_m \left\{ \cos \theta \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) + \sin \theta \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right\} \right] dt$$

$$P_{av} = E_m I_m \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\cos \theta \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) + \sin \theta \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right] dt$$

16

ค่าเฉลี่ยของ $\sin 2\omega t$ และ $\cos 2\omega t$ เป็นศูนย์

$$\therefore P_{av} = E_m I_m \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{1}{2}\cos\theta dt$$

$$= E_m I_m \frac{1}{4\pi}\cos\theta\int_0^{2\pi} dt$$

$$= E_m I_m \frac{1}{4\pi}\cos\theta[t]_0^{2\pi}$$

$$= \frac{E_m I_m}{4\pi}\cos\theta[2\pi]$$

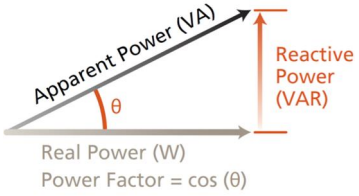
$$= \frac{E_m I_m}{2}\cos\theta$$

$$= EI\cos\theta$$

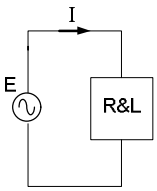
$$\therefore P = EI\cos\theta \quad \text{(watt)}$$

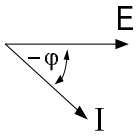
17

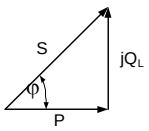
2.2 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)



2.2.1 วงจร R & L







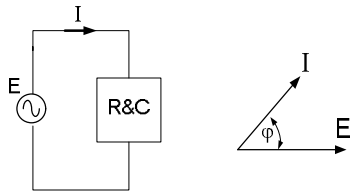
$$\bar{S} = S\angle\varphi^\circ = P + jQ_L \quad VA$$

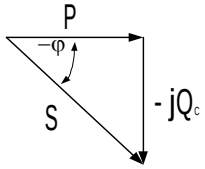
$$\bar{S} = E\angle 0^\circ \times I^*\angle\varphi^\circ$$

$$\bar{S} = S\angle\varphi^\circ = P + jQ_L \quad VA$$

18

2.2.2 วงจร R & C





$$\bar{S} = S\angle -\varphi^\circ = P - jQ_C \ \text{VA}$$

$$\bar{S} = E\angle 0^\circ \times I^*\angle -\varphi^\circ$$

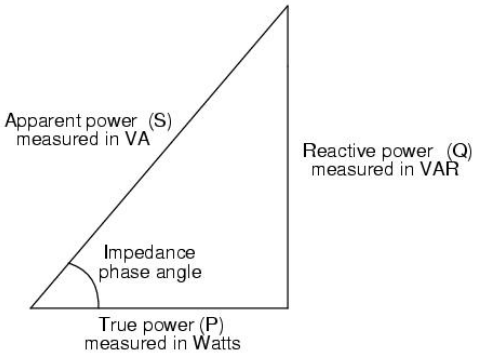
$$\bar{S} = S\angle -\varphi^\circ = P - jQ_C \ \text{VA}$$

19

จากสมการ S เราจะพบกำลังไฟฟ้ามี 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. EI หรือ I^2Z หรือ $\frac{E^2}{Z}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้า ปรากฏ หรือ Apparent Power (S) มีหน่วยเป็น VA
2. $E.I.\cos\theta$ หรือ I^2R หรือ $\frac{V_R^2}{R}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย หรือ Active Power (P) มีหน่วยเป็น W
3. $E.I.\sin\theta$ หรือ I^2X_L หรือ $\frac{V_X^2}{X}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าต้านกลับ หรือ Reactive Power (Q)
   มีหน่วยเป็น VAR

The "Power Triangle"



20

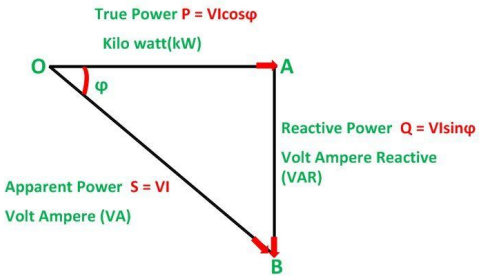
ในการใช้ค่าคอนจูเกท(Conjugate) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าเพื่อหากำลังไฟฟ้านั้นถ้าอยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อน เราหากำลังไฟฟ้าได้โดยการใช้ค่าคอนจูเกทของแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่งแทนค่าลงในสมการ เช่น ถ้า $V = 50+j30$ โวลท์ และ $I = 3-j4$ แอมแปร์ หาค่า S

$$S = VI^* = (50+j30)(3+j4)$$

จะเห็นได้ว่าค่า $3+j4$ เป็นคอนจูเกทของกระแสไฟฟ้า $(I) = 3-j4$

ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่ในรูปของโพลาร์ฟอร์ม จะคอนจูเกทโดยการเปลี่ยนทิศทางมุมให้เป็นมุมตรงข้าม เช่น $6\angle -20^\circ$ เมื่อคอนจูเกทแล้วเป็น $6\angle 20^\circ$

หรือ $10\angle 30^\circ$ เมื่อคอนจูเกทแล้วเป็น $10\angle -30^\circ$



ตัวอย่างที่ 2.3 กำหนดให้วงจรมีค่าอิมพีแดนซ์ $3+j6$ โอห์ม และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมวงจร $50\angle 30^\circ$ โวลท์ จงหาค่ากำลังไฟฟ้าทั้งสามชนิด

วิธีทำ $Z = 3+j6 \ \Omega$

$= 6.71\angle 63.45^\circ \ \Omega$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{50\angle 30^\circ \text{ V}}{6.71\angle 63.45^\circ \ \Omega}$$

$= 7.45\angle -33.45^\circ$ A

วิธีที่1 $Z = 3+j6$, $R = 3\,\Omega$, $X = 6\,\Omega$

$P = I^2R = (7.45)^2 \times 3 = 166.5$ W

$Q = I^2X = (7.45)^2 \times 6 = 333.01$ VAR

$S = I^2Z = (7.45)^2 \times 6.708 = 372.5$ VA

เพาเวอร์แฟคเตอร์ $= \cos\theta = \frac{P}{S} = \frac{166.5}{372.5} = 0.45$

$\theta = 63.45^\circ$ Ans

22

วิธีที่2 $P = VI\cos\theta = 50 \times 7.45 \times 0.447 = 166.5$ W

$Q = VI\sin\theta = 50 \times 7.45 \times \sin 63.45°$

$= 50 \times 7.45 \times 0.89$

$= 333.01$ VAR

$S = VI = 50 \times 7.45 = 372.5$ VA Ans

วิธีที่3 $S = VI^*$

$V = 50\angle 30°$

$I = 7.45\angle -33.45°$ A

เมื่อคอนจูเกต $I^* = 7.45\angle 33.45°$

$S = (50\angle 30°)(7.45\angle 33.45°)$

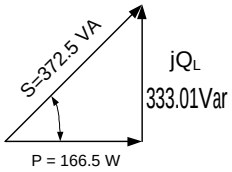
$= 372.5\angle 63.45°$ VA

$S = 166.5 + j333.01$ VA

นั่นคือ $S = 372.5$ VA

$P = 166.5$ W

$Q = 333.01$ VAR



23

วิธีที่4 $V_R = IR = 7.45 \times 3$

$= 22.35$ V

$V_X = IX = 7.45 \times 6$

$= 44.7$ V

$$P = \frac{V_R^2}{R} = \frac{(22.35)^2}{3} = \frac{499.52}{3} = 166.5 \text{ W}$$

$$Q = \frac{V_x^2}{X} = \frac{(44.7)^2}{6} = \frac{1998.09}{6} = 333.01 \text{ VAR}$$

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{(50)^2}{6.708} = \frac{2500}{6.708} = 372.5 \text{ VA}$$ Ans

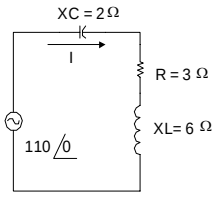
24

ตัวอย่างที่ 2.4 วงจร อนุกรม R-L-C ดังรูปต่อกับแหล่งจ่ายค่า $110\angle 0°$ V จงหาค่าของ

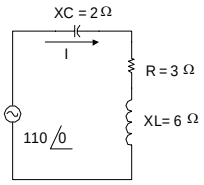
ก. ตัวประกอบกำลัง (PF)

ข. กระแสของวงจร (I)

ค. ค่ากำลังไฟฟ้า (P ,Q ,S) และเขียนรูปสามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า



25



วิธีทำ

(ก) จาก $Z = R + j(X_L - X_C)$

$= 3 + j(6 - 2)$

$= 3 + j4 = 5\angle 53.1° \Omega$

จาก $PF = \cos\theta = \cos 53.1° = 0.6$

∴ ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.6 Ans

(ข) จาก $\bar{I} = \frac{\bar{V}}{Z}$

$= \frac{110\angle 0°}{5\angle 53.1°} = 22\angle -53.1°$ A

∴ ค่ากระแสของวงจร $= 22\angle -53.1°$ A Ans

26

(ค) จาก $\bar{S} = \bar{V}\bar{I}^*$

$= (110\angle 0°)\,(22\angle 53.1°)$

$= 2420\angle 53.1°$ VA

$\bar{S} = 1452\,W + j1936$ VA

เปรียบเทียบ $\bar{S} = P + jQ$

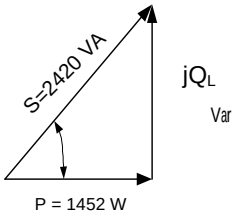
จะได้ $P = I^2R$

$= (22)^2.(3) = 1452$ W

และ $Q = I^2(X_L - X_C)$

$= (22)^2(6-2) = 1936$ VAR

จะได้สามเหลี่ยมของกำลังตามรูป



27

ตัวอย่างที่ 2.5 วงจรขนาน Z1และ Z2 ต่อกับแหล่งจ่ายค่า $110\angle 0°$ V ตามรูป จงหาค่า

ก. กระแสไฟฟ้าของวงจร(It)

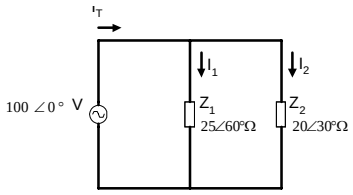
ข. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (St)

ค. กำลังไฟฟ้าจริงของวงจร (Pt)

ง. กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟของวงจร (Qt)

จ. ตัวประกอบกำลังของวงจร (Cos θt)

วิธีทำ



28

ก. $\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}}{Z_1} = \frac{100\angle 0°}{25\angle 60°} = 4\angle -60°$ A

$\bar{I}_2 = \frac{\bar{V}}{Z_2} = \frac{100\angle 0°}{20\angle 30°} = 5\angle -30°$ A

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

$\bar{I}_t = 4\angle -60° + 5\angle -30° = 8.7\angle -43.29°$ A

ข. $\bar{S}_1 = \bar{V}I_1^* = (100\angle 0°)(4\angle 60°) = 400\angle 60°$ VA

$\bar{S}_2 = \bar{V}I_2^* = (100\angle 0°)(5\angle 30°) = 500\angle 30°$ VA

$\bar{S}_t = \bar{S}_1 + \bar{S}_2$

$\bar{S}_t = 400\angle 60° + 500\angle 30° = 869.72\angle 43.29°$ VA

$\bar{S}_t = \bar{E} \cdot \bar{I}_t^*$

$\bar{S}_t = 100\angle 0° \cdot 8.7\angle 43.29° = 870\angle 43.29°$ VA

$\bar{S}_t = 633.27 + j596.55$ VA

29

$\bar{S}_t = \bar{E} \cdot \bar{I}_t^*$

หรือหาจาก $\bar{S}_t = 100\angle 0° \cdot 8.7\angle 43.29° = 870\angle 43.29°$ VA

$\bar{S}_t = 633.27 + j596.55$ VA

ค. กำลังจริงของวงจร (Pt) = 633.27 W

ง. กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (Qt) = 596.55 VAR

จ. Cos (θt) = Cos (-43.29°) = 0.73 lagging

หรือหาจาก $\cos\theta t = \frac{Pt}{St} = \frac{633.06}{869.72}$ 0.73 lagging

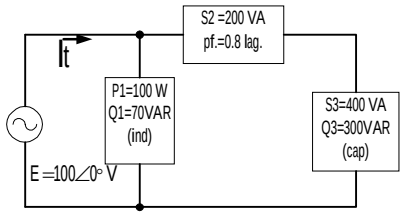
30

ตัวอย่างที่ 2.6 จากวงจรดังรูป

จงคำนวณหาค่า ก. กำลังไฟฟ้าปรากฏรวมของวงจร (S_t)

ข. กระแสรวมของวงจร (I_t)

ค. เพาเวอร์แฟคเตอร์รวมของวงจร



31

วิธีทำ ก. โหลดที่1 , $P_1 = 100\ W$, $Q_{L1} = 70\ VAR$

$$S_1 = 100 + j70 = 122.07\angle 34.99^\circ\ VA$$

โหลดที่2 , $S_2 = 200\ VA$, $\cos\theta_2 = 0.8$ lagging

$$\theta_2 = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^0$$

$$S_2 = 200\angle 36.87^\circ$$

โหลดที่3 ,$S_3 = 400\ VA$, $-jQ_{C3} = -j300\ VAR$ (leading)

$$\theta 3 = \text{Sin}^{-1}\left[\frac{300}{400}\right] = 48.59^\circ$$

$$S_3 = 400\angle -48.59^\circ \text{ (leading)}$$

$$\overline{S_t} = \overline{S_1} + \overline{S_2} + \overline{S_3}$$

$$\overline{S_t} = 122.07\angle 34.99^\circ + 200\angle 36.87^\circ + 400\angle -48.59^\circ$$

$$\overline{S_t} = 535.99\angle -11.84^\circ\ VA$$

32

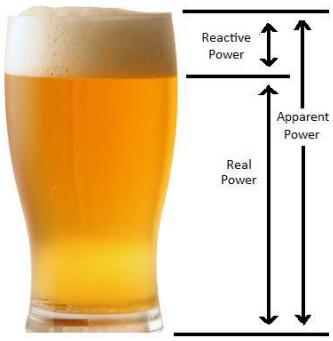
ข. $S_t = E \cdot I_t^*$

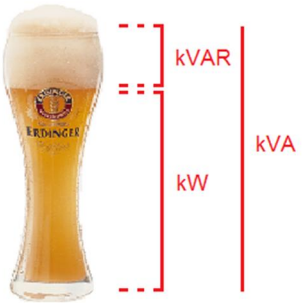
$$I_t^* = \frac{S_t}{E} = \frac{535.99 \angle -11.84^\circ \text{ VA}}{100 \angle 0^\circ \text{ V}} = 5.36 \angle -11.84^\circ \text{ A}$$

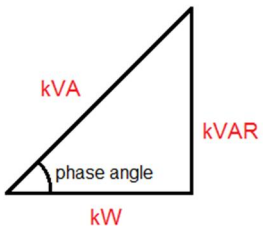
$$I_t = 5.36 \angle 11.84^\circ \text{ A}$$

ค. เพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจร $(\theta t) = \text{Cos}(11.84^\circ) = 098$ leading

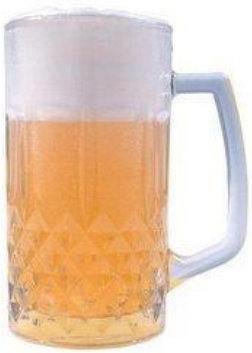
33



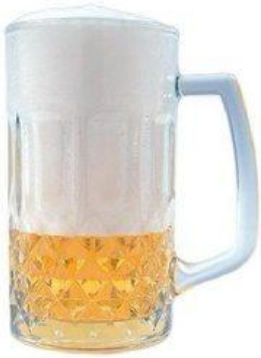




34



is better than



35

แบบทดสอบ สัปดาห์ที่ 3

36

แบบทดสอบ

บทที่ 2 : R-L-C ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง แผนกวิชาไฟฟ้า

ประจำภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2553

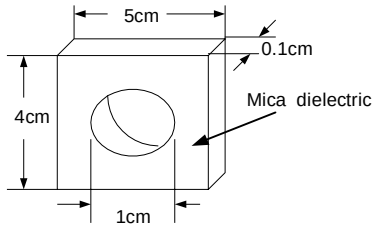
ชื่อ…… เลขที่……ชั้น .....

คำชี้แจง 1. ข้อสอบมีทั้งหมด 2ข้อ รวม 10 คะแนน

2. ให้แสดงวิธีทำลงในกระดาษสอบ

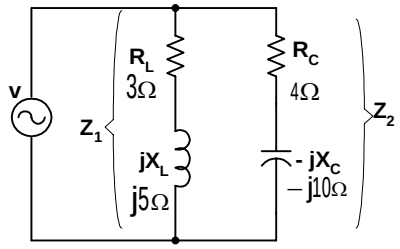
3. อนุญาตให้เปิดตำราได้แต่ห้ามยืมกันในระหว่างสอบ

1.คาปาซิเตอร์ตัวหนึ่งมีแผ่นเพลทขนาด4 ซม.x5 ซม.นำมาประกบแผ่นไดอีเล็กตริคที่ทำด้วยฉนวนไมก้าเจาะรู(ดังรูป) จงคำนวณหาค่าความจุ(Capacitance) มีค่ากี่พิโกฟารัด(pF) ? (5คะแนน)



37

2. วงจรขนานดังรูป มีค่าตามที่กำหนด จงคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์รวม(Zt) ของวงจร(5คะแนน)



38

เฉลยทดสอบ สัปดาห์ที่ 3

39

แบบทดสอบ

บทที่ 2 : R-L-C ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง 1 — แผนกวิชาไฟฟ้า ประจำภาคเรียนที่ ประจำปีการศึกษา 2559

ชื่อ…… เลขที่……ชั้น .....

คำชี้แจง 1. ข้อสอบมีทั้งหมด2ข้อ รวม 20 คะแนน

2. ให้แสดงวิธีทำลงในกระดาษสอบ

3. อนุญาตให้เปิดตำราได้แต่ห้ามยืมกันในระหว่างสอบ

1.คาปาซิเตอร์ตัวหนึ่งมีแผ่นเพลทขนาด4ซม.x5ซม.นำมาประกบแผ่นไดอีเล็กตริคที่ทำด้วยฉนวนไมก้า(ดังรูป) จงคำนวณหาค่าความจุ(Capacitance) มีค่ากี่พิโกฟารัด(pF) ? (10คะแนน)

40

วิธีทำ

$$A_{air} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1)^2 \times 10^{-4}}{4} = 0.785 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$A_{mica} = ((4 \times 5) \times 10^{-4})m^2 - (0.785 \times 10^{-4})m^2 = 19.215 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$Ct = C_{air} + C_{mica}$$

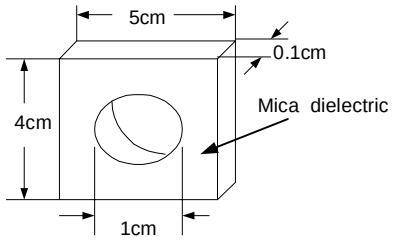
$$Ct = \varepsilon_0 x \varepsilon_{air} x \frac{A_{air}}{d} + \varepsilon_0 x \varepsilon_i x \frac{A_{air}}{d}$$

$$Ct = 8.85x10^{-12}\left[(1x\frac{0.785x10^{-4}}{1x10^{-3}}) + (5x\frac{19.215x10^{-4}}{1x10^{-3}}) \right]$$

$$Ct = 8.85x10^{-12}\left[(7.85x10^{-1}) + (960x10^{-1}) \right]$$

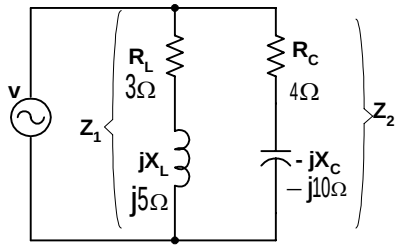
$$Ct = 857.2x10^{-13}\ F$$

$$Ct = 85.72\ pF$$



41

2. วงจรขนาน 2 วงจรคือ R-L และ R-C มีค่ากำหนดดังรูปจงแสดงการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์รวม(Zt) ของวงจร (10คะแนน)



42

วิธีทำ

$$Z_1 = 3 + j5 = 5.83\angle 59.04^\circ\ \Omega,\ Z_2 = 4 - j10 = 10.77\angle -68.2^\circ\ \Omega$$

$$Z_t = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{5.83\angle 59.04^\circ \text{x} 10.77\angle -68.2^\circ}{5.83\angle 59.04^\circ + 10.77\angle -68.2^\circ}$$

$$Z_t = \frac{62.79\angle -9.16^\circ}{8.60\angle -35.54^\circ}$$

$$Z_t = 7.30\angle 26.38^\circ = (6.54 + j3.24)\quad \Omega$$

43