EA513-U — Circuitos Elétricos — 2º Semestre de 2021

Exercícios – Conversas 10, 11 e 12

1. Considere o circuito representado na figura abaixo. Suponha uma fonte de tensão $e(t) = E \cdot \cos(\omega t + \theta)$.

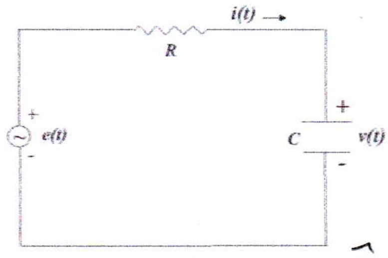
   (a) Determine a *impedância* do circuito.

   (b) Determine o quanto a corrente está *adiantada* ou *atrasada* em relação à tensão da fonte.

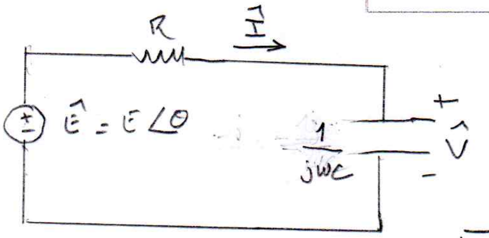
   (c) Usando a *impedância*, determine a corrente em *regime permanente* ($i_p(t)$).

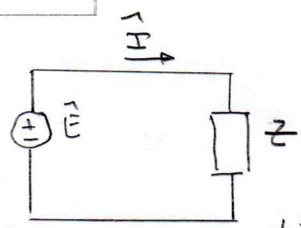
   (d) Calcule a *potência ativa* e a *potência reativa* fornecidas pela fonte ao circuito.

   (e) Indique uma estratégia possível para fazer a correção do *fator de potência* do circuito.



(a)





$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C} = \frac{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}{\omega C} \cdot \frac{\exp(j\beta)}{\exp(j\pi/2)} \qquad \beta = tg^{-1}(\omega RC)$$

(b) e (c)

$$\hat{I} = \frac{\hat{E}}{Z} = \frac{[E \cdot \exp(j\theta)][(\omega C)\exp(j\pi/2)]}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}\,\exp(j\beta)}$$

$$\hat{I} = \overbrace{\frac{\omega C \cdot E}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}}^{I} \exp[j(\theta + \underbrace{\pi/2 - \beta}_{\gamma})]$$

CORRENTE ADIANTADA DE $\gamma = (\pi/2 - \beta)$ rd. EM RELAÇÃO À TENSÃO $e(t)$

(d) $S = \hat{E}_{ef}\,\hat{I}^*_{ef} = \frac{E}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I}{\sqrt{2}} \exp(j\theta)\exp(-j(\theta+\gamma)) = \frac{EI}{2}\exp(-\gamma) = \underbrace{\left(\frac{EI}{2}\cos\gamma\right)}_{P} + j\underbrace{\left(\frac{EI}{2}\operatorname{sen}\gamma\right)}_{Q}$

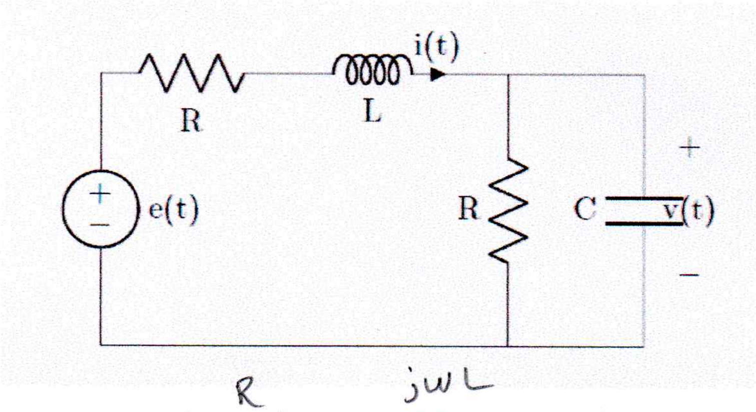
$$P = \frac{EI}{2}\cos\gamma, \quad Q = -\frac{EI}{2}\operatorname{sen}\gamma$$

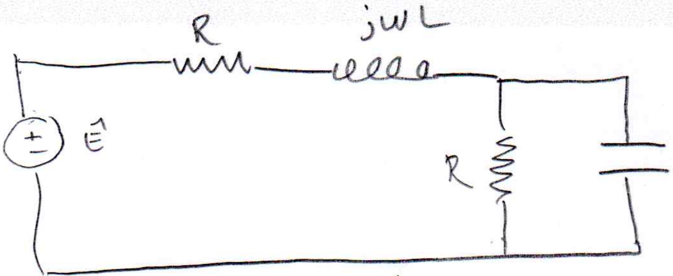
(e) INDUTOR EM PARALELO COM A FONTE OU INDUTOR EM SÉRIE t.q. $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ i.e. $\boxed{L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}}$

2. Considere o circuito representado na figura abaixo. A tensão da fonte é $e(t) = E \cdot \cos(\omega t)$.

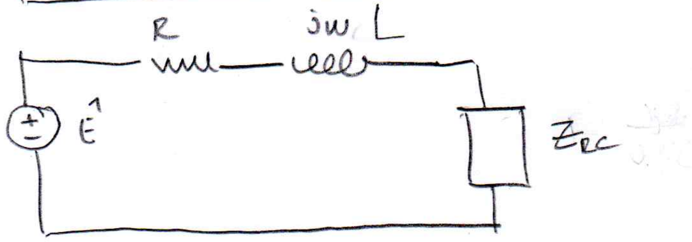
   (a) Determine a *impedância equivalente* do circuito "visto pela fonte" $e(t)$.

   (b) Usando a *impedância equivalente* do circuito, determine a corrente em *regime permanente* ($i_p(t)$).





$$\frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$$



$$Z_{RC} = R // -j/\omega C = \frac{-jR/\omega C}{R - j/\omega C} = \frac{-jR/\cancel{\omega C}}{\frac{\omega RC - j}{\cancel{\omega C}}} = \frac{-jR}{\omega RC - j}$$

$$Z_{RC} = \frac{-jR(\omega RC + j)}{(\omega RC - j)(\omega RC + j)} = \frac{R - j\omega C R^2}{1 + (\omega RC)^2}$$

$$Z_{RC} = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2} - j\,\frac{\omega R^2 C}{1 + (\omega RC)^2}$$

$$Z = \left[R + \frac{R}{1 + (\omega RC)^2}\right] + j\left[\omega L - \frac{\omega R^2 C}{1 + (\omega RC)^2}\right] = |Z| \exp(j\gamma)$$

$$\hat{I} = \frac{\hat{E}}{Z} = \frac{E}{|Z|} \exp(-j\gamma)$$

$$\boxed{i(t) = \frac{E}{|Z|} \cdot \cos(\omega t - \gamma)}$$

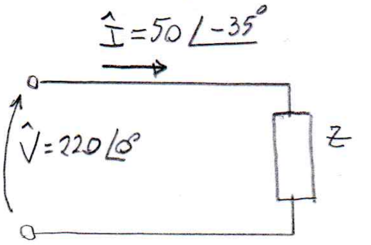
3. Considere que uma instalação elétrica alimentada por uma tensão com valor eficaz de 220 V entre fase e neutro, frequência de 60 Hz e uma corrente defasada de 35^o em relação a tensão, com valor eficaz de 50 A.

   (a) Determine a *impedância* da instalação.

   (b) Calcule a *potência ativa* e a *potência reativa* fornecidas pela fonte de tensão à instalação.

   (c) Especifique a os valores das capacitâncias de capacitores a serem instalados em paralelo com a carga, capazes de elevar o *fator de potência* para 0,92 e 1,0, respectivamente.

   (d) Caso a frequência da fonte de tensão fosse modificada para 50 Hz, quais seriam os novos de capacitâncias de capacitores a serem instalados em paralelo com a carga, capazes de elevar o *fator de potência* para 0,92 e 1,0, respectivamente.



(a) $\hat{V} = Z\hat{I} \Rightarrow Z = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = \frac{V_{ef}\cdot\sqrt{2}}{I_{ef}\sqrt{2}} \frac{\exp(j0°)}{\exp(-j35°)}$

$Z = \frac{V_{ef}}{I_{ef}} \angle 35° = \frac{220}{50} \angle 35°$

$\boxed{Z = 4{,}4 \angle 35° \ \Omega}$

(b) $S = \hat{V}_{ef}\cdot\hat{I}_{ef}^{*} = 220\cdot 50 \exp(j0°)\cdot\exp(j35°) = 11.000\,(\underbrace{\cos 35°}_{0{,}82} + j\underbrace{\operatorname{sen} 35°}_{0{,}57})$

$S = \underbrace{9020}_{P} + j\underbrace{6.270}_{Q}$

$P = 9020$ W

$Q = 6270$ VAr

(c) $\cos\theta' = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-Q_c)^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-\omega C V_{ef}^2)^2}}$

$\omega = 2\pi f = 2\cdot\pi\cdot 60 \cong 377$

$0{,}92 = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-Q_c)^2}} \Rightarrow \underbrace{0{,}85}_{(0{,}92)^2}\cdot P^2 + 0{,}85(Q-Q_c)^2 = P^2$

$(Q-Q_c)^2 = \frac{0{,}15\cdot P^2}{0{,}85} = 0{,}18\,(81.360.400) = 14.644.872$

$Q-Q_c \cong 3827 \Rightarrow Q_c = 6270 - 3827 = 2443$ VAr

$Q_c = 2443 = \omega C (V_{ef})^2 \Rightarrow C = \frac{2443}{(377)(220)^2} = \frac{2443}{(377)(48.400)} = \frac{6{,}48}{48.400}$

$\boxed{C = 133{,}9\,\mu F}$

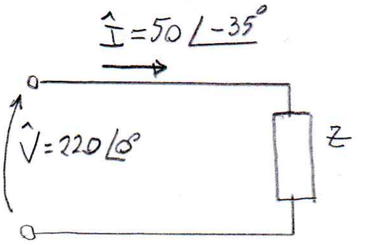
3. Considere que uma instalação elétrica alimentada por uma tensão com valor eficaz de 220 V entre fase e neutro, frequência de 60 Hz e uma corrente defasada de 35^o em relação a tensão, com valor eficaz de 50 A.

   (a) Determine a *impedância* da instalação.

   (b) Calcule a *potência ativa* e a *potência reativa* fornecidas pela fonte de tensão à instalação.

   (c) Especifique a os valores das capacitâncias de capacitores a serem instalados em paralelo com a carga, capazes de elevar o *fator de potência* para 0,92 e 1,0, respectivamente.

   (d) Caso a frequência da fonte de tensão fosse modificada para 50 Hz, quais seriam os novos de capacitâncias de capacitores a serem instalados em paralelo com a carga, capazes de elevar o *fator de potência* para 0,92 e 1,0, respectivamente.



(a) $\hat{V} = Z\hat{I} \Rightarrow Z = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = \frac{V_{ef}\cdot\sqrt{2}}{I_{ef}\sqrt{2}}\,\frac{\exp(j0°)}{\exp(-j35°)}$

$Z = \frac{V_{ef}}{I_{ef}}\angle 35° = \frac{220}{50}\angle 35°$

$\boxed{Z = 4,4\angle 35° \ \Omega}$

(b) $S = \hat{V}_{ef}\cdot\hat{I}_{ef}^{*} = 220\cdot 50\,\exp(j0°)\cdot\exp(j35°) = 11.000\,(\underbrace{\cos 35°}_{0,82} + j\underbrace{\sin 35°}_{0,57})$

$S = \underbrace{9020}_{P} + j\,\underbrace{6.270}_{Q}$

$P = 9020$ W

$Q = 6270$ VAr

(c) $\cos\theta' = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-Q_c)^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-\omega C V_{ef}^2)^2}}$

$\omega = 2\pi f = 2\cdot\pi\cdot 60 \cong 377$

$0,92 = \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q-Q_c)^2}} \Rightarrow \underbrace{0,85}_{(0,92)^2}\cdot P^2 + 0,85(Q-Q_c)^2 = P^2$

$(Q-Q_c)^2 = \frac{0,15\cdot P^2}{0,85} = 0,18\,(81.360.400) = 14.644.872$

$Q - Q_c \cong 3827 \Rightarrow Q_c = 6270 - 3827 = 2443$ VAr

$Q_c = 2443 = \omega C (V_{ef})^2 \Rightarrow C = \frac{2443}{(377)(220)^2} = \frac{2443}{(377)(48.400)} = \frac{6,48}{48.400}$

$\boxed{C = 133,9\,\mu F}$

Para $\cos\theta' = 1,0$, temos $Q_C = Q$. Logo,

$$Q_C = 6270 = \omega C (V_{ef})^2$$

$$C = \frac{6270}{(377)(220)^2} = \frac{16,63}{48400} = 343,6\,\mu F$$

$$\boxed{C = 343,6\,\mu F}$$

(d) Segue o mesmo raciocínio e sequência de cálculo do item anterior, com $\omega = 2\pi \cdot 50 \cong 314,16$ rd/seg

Logo, os capacitores para alcançar os fatores de potência de 0,92 e 1,0 terão capacitâncias maiores.

4. Usando amplificadores operacionais com tensões de polarização de $+100\ V$ e $-100\ V$, apresente o circuito de um *amplificador* capaz de amplificar uma *tensão de entrada* $v_E = 5\ V$ para uma *tensão de saída* $v_S = 50\ V$.