PSI.3213 – CIRCUITOS ELÉTRICOS II

3ª Prova Semestral – 06/12/17

GABARITO

1ª Questão: **(4,0 pontos)**

Uma fábrica consome 55,2 MVA a fator de potência 0,8 indutivo de uma linha de 13,8 kV, 60 Hz.

(1,0) **a)** Determine a variação **do módulo** da corrente da linha entre os casos com correção e sem correção, isto é, $\left|I_{linha}\right|_{final} - \left|I_{linha}\right|_{inicial}$ sabendo-se que o fator de potência foi corrigido para 0,95 indutivo.

(1,5) **b)** Determine o valor do capacitor **(em μF)** que foi necessário para elevar o fator de potência a 0,95 ind.

(1,5) **c)** Ao invés do capacitor determinado no item **b)**, foi instalado um capacitor comercial de valor 330 μF, cujo terminal foi mal apertado resultando uma resistência série de 0,02 Ω. Sendo o custo aproximado de energia (industrial) R$ 0,60/ kWh, determine o prejuízo L diário causado por esta instalação inadequada, sabendo-se que a industria funciona ininterruptamente.

(valores aproximados)

a) $|P_{ap}|_{final} = P/0{,}95 = 46{,}48$ MVA

$|I_{linha}|_{final} - |I_{linha}|_{inicial} = (46{,}48 - 55{,}2)M/13{,}8k = -632$ A

b) Se cos = 0,8; sin= 0,6 (+0,6 no caso, pois a indústria tem fp indutivo)

P = 55,2*0,8 = 44,16 MW
Q = 55,2*0,6 = 33,12 MVAr

Deseja-se Q_d = P*tan(acos(0,95)) = 14,51 MVAr
O capacitor deve consumir $Q_{cap} = Q_d - Q = -18{,}61$ MVAr $= -\omega C V^2$

C = –ΔQ /(377*(13,8k)^2) = 259,14 μF

c) A impedância da associação capacitor – resistor é:

Z = 0,02+1/(j*377*330μ) = 0,0200 – 8,0379j Ω

I = 13,8k/|Z| = 1,717 kA ⇒ $P = 0{,}02 \cdot I^2 = 59$ kW

L = P*24*0,6 = R$ 850/dia

PSI.3213 – CIRCUITOS ELÉTRICOS II

3ª Prova Semestral – 06/12/17

GABARITO

Atenção: Preencher a folha ótica com seu nome, nº USP e opções escolhidas para cada teste.

Para os **testes de 1 a 4** considere uma linha monofásica com tensão eficaz $V_\ell = 100$ V, com frequência 377 rad/s ligada a duas cargas em paralelo (Figura 1).
A carga 1 é indutiva e consome potência ativa de 60 kW com corrente eficaz de 1kA e a carga 2 tem impedância $30 + j\,40$ (mΩ).

1 – A impedância da carga 1 em (mΩ) é:

a) $60 + j\,80$
b) $80 + j\,60$
c) $30 + j\,40$
d) $600 + j\,800$
e) $800 + j\,600$

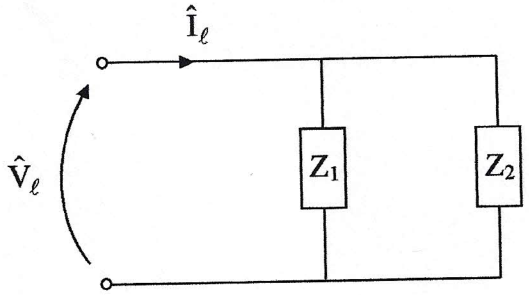


Figura 1

2 – A potência aparente em kVA da instalação é:

a) $30\angle 45^\circ$
b) $40\angle 50^\circ$
c) $50\angle 53^\circ$
d) $500\angle 45^\circ$
e) $300\angle 53^\circ$

3 – A corrente eficaz de linha, em kA, é:

a) 5
b) 3
c) 0,5
d) 0,4
e) 0,3

4 – O valor aproximado em (mF) do capacitor que, ligado em paralelo com a linha, corrige o fator de potência para 1 (puramente resistivo) é:

a) 4
b) 8
c) 16
d) 64
e) 32

T1)

$$P_{ap1} = \hat{V}_\ell \left(\frac{\hat{V}_\ell}{Z_1}\right)^*$$

$$= \frac{V_\ell^2}{Z_1^*} \longrightarrow Z_1 = \frac{V_\ell^2}{P_{ap_1}^*}$$

$$|P_{ap1}| = V_\ell I_1$$

$$= 100V \cdot 1kA \longrightarrow |P_{ap1}| = 100\ kVA$$

O fator de potência da carga 1 é

$$fp1 = \frac{P_1}{|P_{ap1}|}$$

$$= \frac{60}{100} \longrightarrow fp_1 = 0{,}6$$

$$\therefore P_{ap1} = 100\,(0{,}6 + j\,0{,}8)\ (kVA)$$

e a impedância da carga é

$$Z_1 = \frac{100^2}{100 \times 10^3 (0{,}6 - j0{,}8)}$$

$$= \frac{1}{10}(0{,}6 + j0{,}8) \longrightarrow Z_1 = 60 + j\,80\ (m\Omega)$$

T2)

$$P_{ap} = P_{ap1} + P_{ap2}$$

$$P_{ap_2} = \frac{V_\ell^2}{Z_2^*}$$

$$= \frac{100^2}{(30 - j40) \times 10^{-3}} = \frac{10^7}{2500}(30 + j40)$$

$$= \frac{10^6}{5}(0{,}6 + j0{,}8)$$

$$P_{ap_2} = 200\,(0{,}6 + j0{,}8)\ (kVA)$$

$$\therefore P_{ap} = 300\,(0{,}6 + j0{,}8)$$

$$= 300\,\angle 53{,}13^\circ\ (kVA)$$

T3) A potência aparente da instalação é

$$P_{ap} = 300 \angle 53{,}13^\circ$$
$$= 300(0{,}6 + j0{,}8) \quad (kVA)$$

A corrente eficaz de linha é

$$I_\ell = \frac{|P_{ap}|}{V_\ell}$$
$$= \frac{300}{100}\ kA \longrightarrow I_\ell = 3\,kA$$

T4) A potência reativa do capacitor deve cancelar a potência reativa da instalação, isto é,

$$Q + Q_c = 0$$
$$300 \times 0{,}8 \times 10^3 + (-377\, C\, 100^2) = 0$$
$$C = \frac{240 \times 10^3}{377 \times 10^4}\ F$$

ou

$$C = 63{,}66\ mF$$

Para os **testes 05 e 06**, considere o circuito da Figura 2, cujo diagrama de Bode referente ao módulo de $\left|\frac{\hat{V}_C}{\hat{E}_s}\right|$ está mostrado na Figura 3.

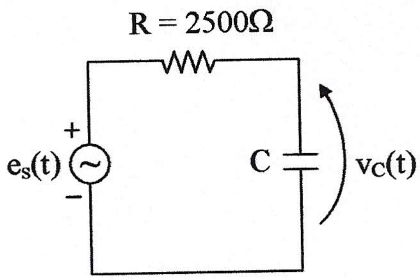


Figura 2

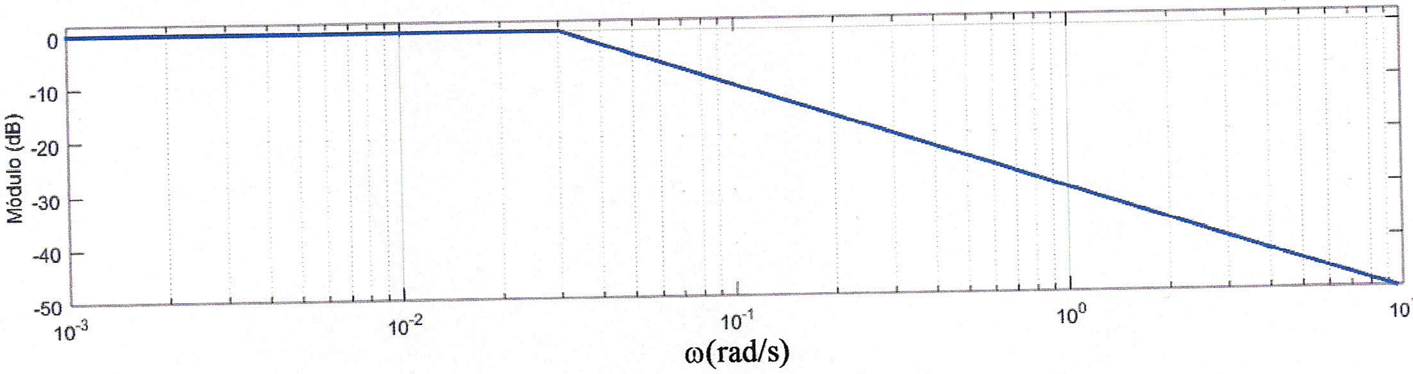


Figura 3

5 – O valor da capacitância C é:

a) 33 μF

b) 133 nF

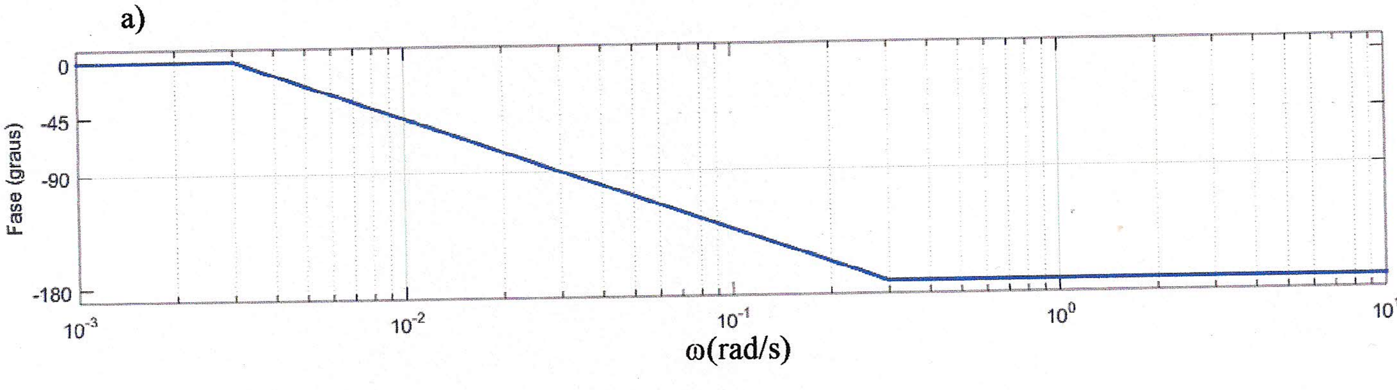
c) 13,3 mF

d) 3,3 F

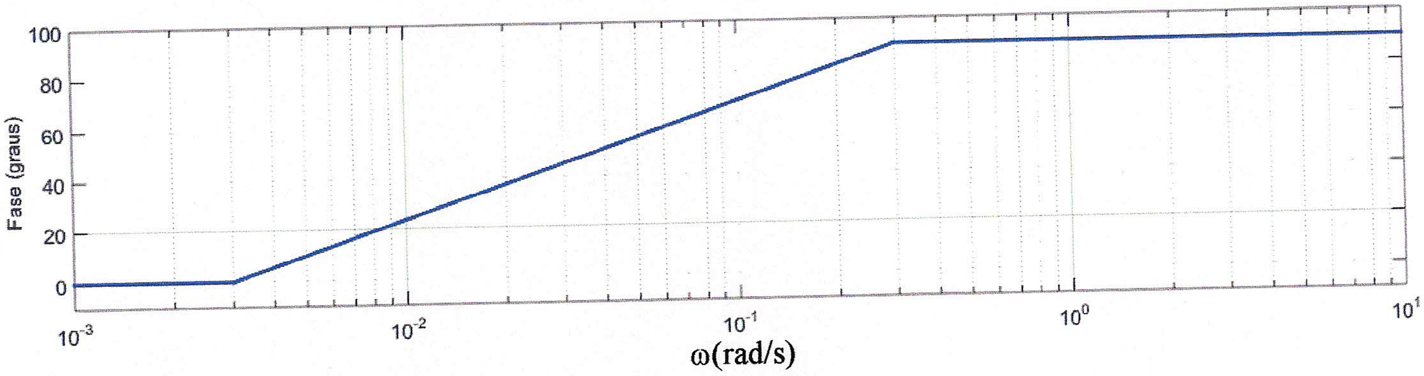
e) 20 mF

6 – Assinale a opção que contém a assíntota composta de fase que mais se aproxima a $\arg\left|\frac{\hat{V}_C}{\hat{E}_s}\right|$.

a)

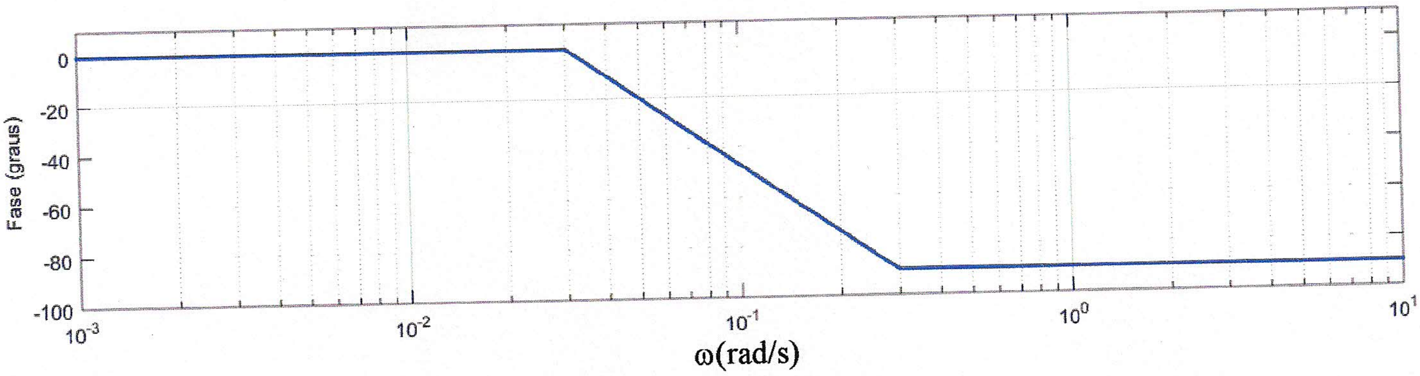


b)



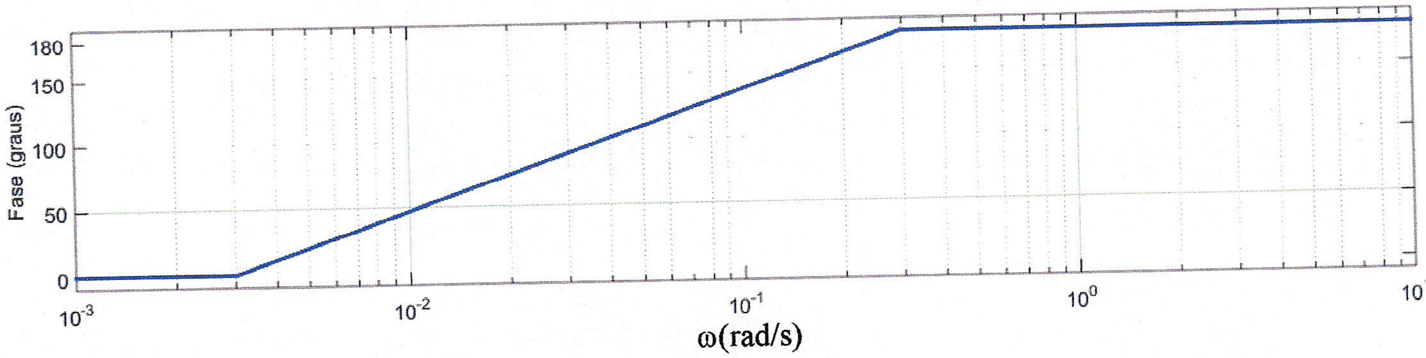
100
80
60
40
20
0
Fase (graus)
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
ω(rad/s)

c)



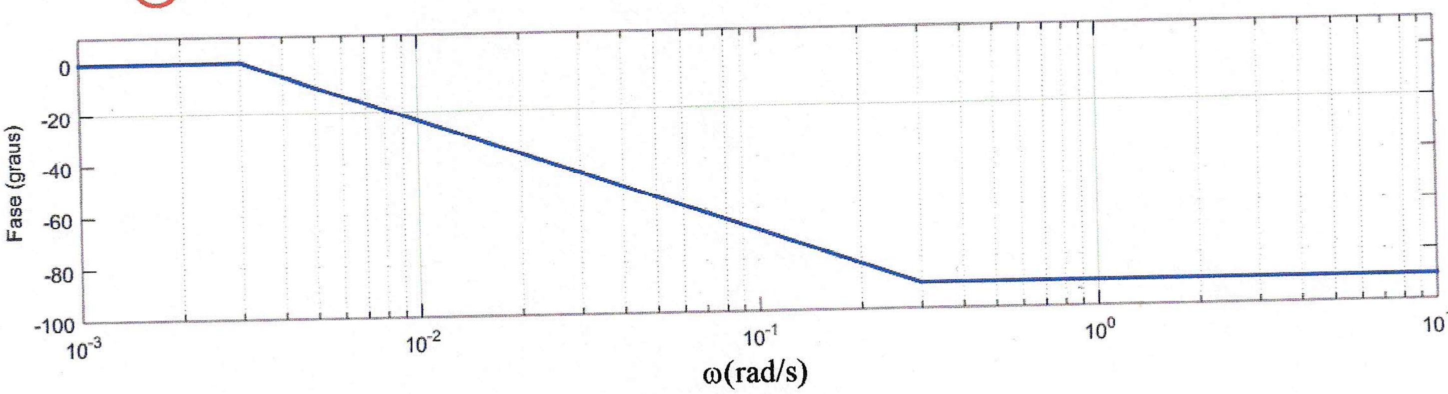
0
-20
-40
-60
-80
-100
Fase (graus)
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
ω(rad/s)

d)



180
150
100
50
0
Fase (graus)
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
ω(rad/s)

e)



0
-20
-40
-60
-80
-100
Fase (graus)
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
ω(rad/s)

7 – Considere o diagrama de Bode (módulo) mostrado na Figura 4.

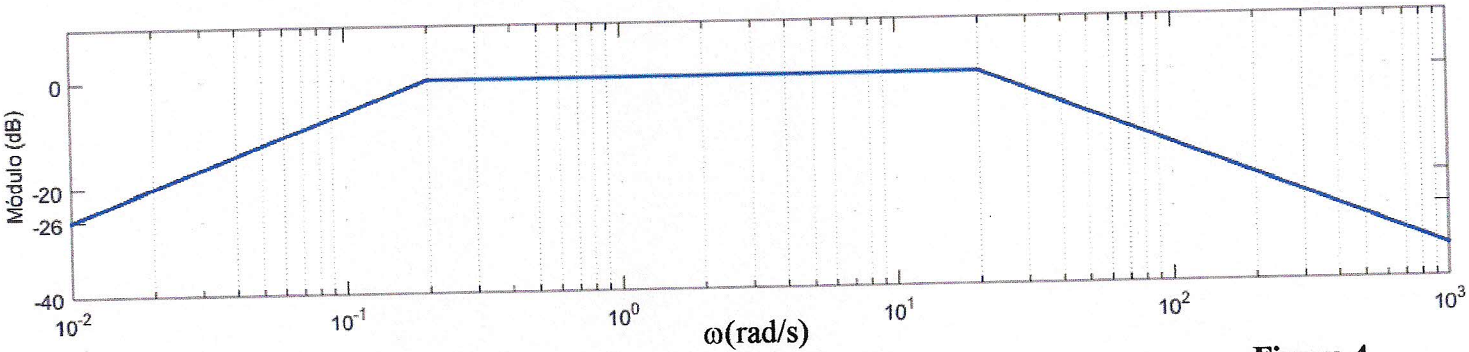


Figura 4

Assinale a opção que contém uma possível função de rede com módulo do diagrama de Bode representado por essa figura.

OBS.: Considere que a função de rede tenha polos e zeros reais e menores ou iguais a zero.

a) $20\,\dfrac{s}{(s+0{,}2)(s+20)}$

b) $-20\,\dfrac{s}{\left(\dfrac{s}{0{,}2}+1\right)\left(\dfrac{s}{20}+1\right)}$

c) $-5\,\dfrac{s}{(s+0{,}2)(s+20)}$

d) $5\,\dfrac{(s+0{,}2)(s+20)}{s}$

e) $\dfrac{5}{s}\left(\dfrac{s}{0{,}2}+1\right)\left(\dfrac{s}{20}+1\right)$

8 – Considere o diagrama de Bode (módulo) da Figura 5.

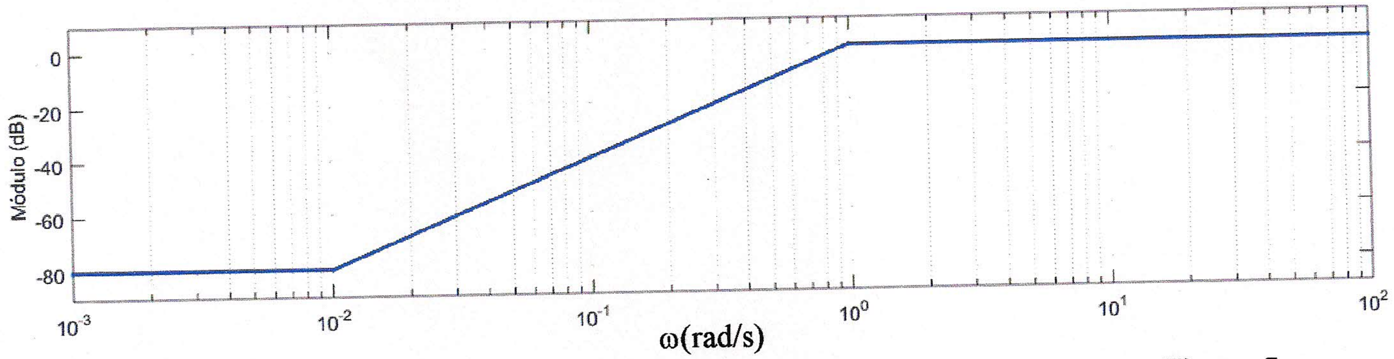


Figura 5

Assinale a opção que contém uma possível função de rede.

a) $10^4 \dfrac{10^4 s^2 + 160s + 1}{s^2 + 16s + 1}$

b) $\dfrac{0{,}01^2\left(\dfrac{s}{0{,}01} + 1\right)^2}{s^2 + 1{,}6s + 1}$

c) $-80 \dfrac{s^2 + 0{,}0160s + 1}{s^2 + 16s + 1}$

d) $40 \dfrac{(s + 0{,}01)^2}{s^2 + 1{,}6s + 10}$

e) $0{,}01 \dfrac{(s + 0{,}01)^2}{s^2 + 1{,}6s + 1}$

gabarito - testes 5 a 8

5) $$\left.\frac{V_c(s)}{E_s(s)}\right|_{c.i.n.} = \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{sRC + 1}$$

$$= \frac{1}{\frac{s}{(1/RC)} + 1}$$

A frequência de quebra é $\omega = \frac{1}{RC} = 3 \times 10^{-2}$

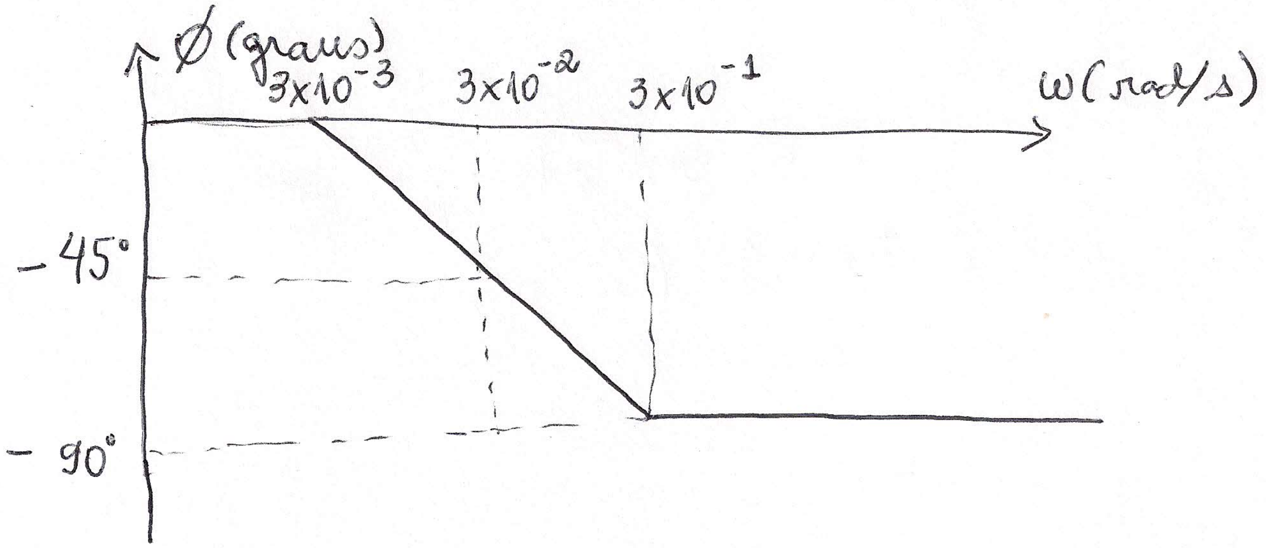
$$C = \frac{1}{R \times 3 \times 10^{-2}} = \frac{1}{2\,500 \times 3 \times 10^{-2}} = 13{,}3 \text{ mF}$$

6) Como há apenas um polo em $-\frac{1}{RC} = -3 \times 10^{-2}$,

$\phi(3 \times 10^{-2}) = -45°$

$\phi(\omega << 3 \times 10^{-2}) \approx 0°$

$\phi(\omega >> 3 \times 10^{-2}) = -90°$



7) Pelo gráfico vemos que há uma assíntota que cresce com taxa de 20 dB/década a partir de $\omega = 10^{-2}$ rad/s, o que caracteriza um zero na origem.

Se o ganho da função de rede fosse igual a um,

$Módulo(10^{-2}) = -40\,dB$, mas pelo gráfico

$Módulo(10^{-2}) = -26\,dB$.

Assim

$$-26 - (-40) = 14\,dB$$

$$20 \log |K| = 14 \Rightarrow |K| = 10^{14/20} \approx 5$$

Do gráfico, ainda constatamos que há um polo em $-\omega_1 = -2 \times 10^{-1} = 0{,}2$ e outro em $-\omega_2 = -2 \times 10^{1} = -20$.

Assim

$$G(s) = 5 \frac{s}{\left(\frac{s}{0{,}2}+1\right)\left(\frac{s}{20}+1\right)} = 20 \frac{s}{(s+0{,}2)(s+20)}$$

8) Em $\omega_1 = 10^{-2}$ rad/s, a assíntota cresce com taxa de 40 dB/década. Neste caso, poderíamos ter zeros complexos ou zeros duplos.

Em $\omega_2 = 1$ rad/s, a assíntota fica constante, de modo que poderíamos ter polos com multiplicidade dois ou polos complexos conjugados

Observando as opções dadas apenas

$$\frac{0{,}01^2 \left(\frac{s}{0{,}01} + 1\right)^2}{s^2 + 1{,}6s + 1} \quad e \quad \frac{0{,}01\,(s + 0{,}01)^2}{s^2 + 1{,}6s + 1}$$

têm frequências de quebra que satisfazem o diagrama. Observando o ganho a opção correta é

$$G(s) = \frac{0{,}01^2 \left(\frac{s}{0{,}01} + 1\right)^2}{s^2 + 1{,}6s + 1} \quad \text{pois} \quad 20 \log_{10} 0{,}01^2 = -80\,dB$$

Notar que os polos de $G(s)$ são

$$p_{1,2} = -0{,}8 \pm j0{,}6$$

$$\omega_n = \sqrt{0{,}8^2 + 0{,}6^2} = \omega_2 = 1 \text{ rad/s}$$

9 – Considere o quadripolo da Figura 6. Os valores dos parâmetros z_{11} e z_{12} são respectivamente (em Ω):

a) 14, 3,428

b) 8, 6

c) 14, 6

d) 8, 14

e) 6, 8

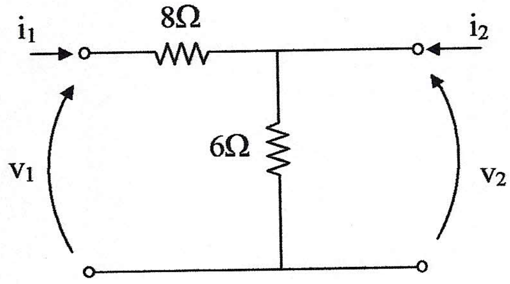


Figura 6

10 – O quadripolo Q mostrado na Figura 7 tem matriz de impedâncias $Z = \begin{bmatrix} 40 & j20 \\ j30 & 50 \end{bmatrix} \Omega$

Nessas condições o valor de $\hat{I}_2$ é:

a) $2\angle 90^\circ$

b) $2\angle 0^\circ$

c) $1\angle -30^\circ$

d) $1\angle -90^\circ$

e) $2\angle 45^\circ$

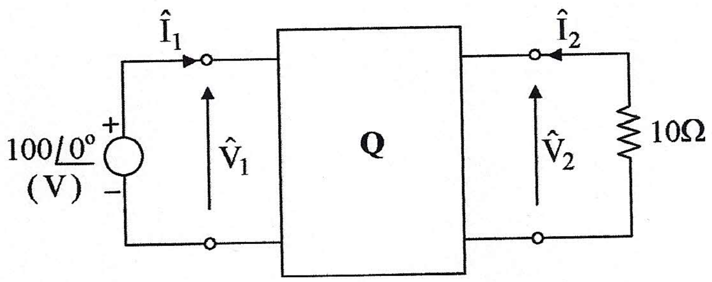


Figura 7

11 – O parâmetro y_{11} do quadripolo mostrado na Figura 8 vale (em S):

a) – 0,25

b) 0,05

c) – 0,75

d) 0,55

e) 0,15

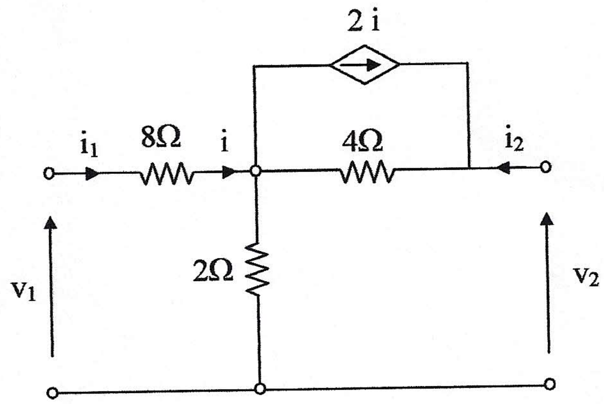


Figura 8

12 – O quadripolo da Figura 9 possui matriz de transmissão $T = \begin{bmatrix} 4 & 20 \\ 0{,}1 & 2 \end{bmatrix}$ **(unidades S.I)**

O valor R_L que permite a máxima transferência de potência entre a fonte e a carga R_L é (em Ω):

a) 8
b) 10
c) 5,65
d) 4
e) 50

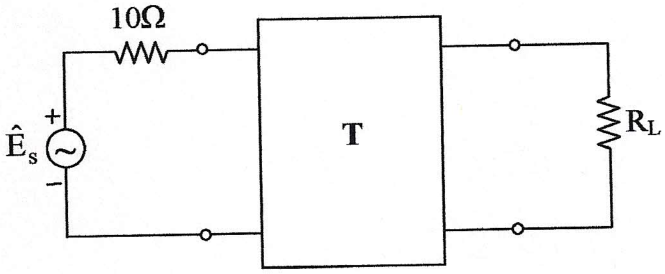


Figura 9

Teste 9

$z_{11} = \dfrac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0}$ $\quad v_1 = (8+6)\,i_1 \Rightarrow z_{11} = 14\Omega$

$z_{12} = \dfrac{v_1}{i_2}\Big|_{i_1=0}$ $\quad v_1 = 6\,i_2 \Rightarrow z_{12} = 6\Omega$

Teste 10

Usando as equações que definem a matriz Z tem-se:

$\hat{V}_1 = 40\hat{I}_1 + j20\hat{I}_2$ $\qquad \hat{V}_1 = 100\angle 0^\circ$

$\hat{V}_2 = j30\hat{I}_1 + 50\hat{I}_2$ $\qquad \hat{V}_2 = -10\hat{I}_2$

Substituindo $\hat{V}_1$ e $\hat{V}_2$ nas equações acima chega-se ao sistema

$$\begin{cases} 100 = 40\hat{I}_1 + j20\hat{I}_2 \\ 0 = j30\hat{I}_1 + 60\hat{I}_2 \end{cases}$$

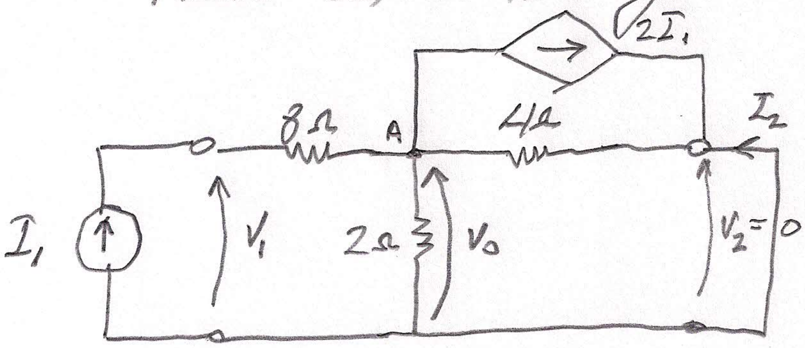
Resolvendo em relação a $\hat{I}_2$ vem

$$\hat{I}_2 = \frac{\begin{vmatrix} 40 & 100 \\ j30 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 40 & j20 \\ j30 & 60 \end{vmatrix}} = \frac{-j3000}{2400+600} = -j$$

Logo $\hat{I}_2 = 1\angle -90^\circ$

Teste 11

Para determinar y_{11} usamos o circuito abaixo



Aplicando Análise Nodal ao nó A vem

$$\frac{V_1 - V_0}{8} = 2I_1 + \frac{V_0}{2} + \frac{V_0 - 0}{4}$$

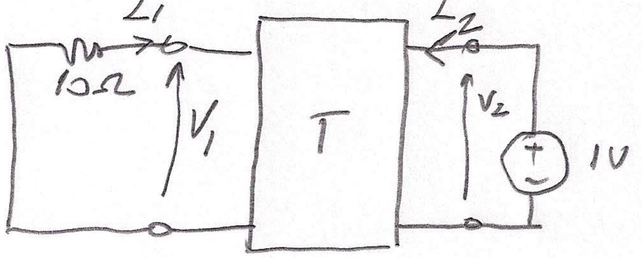
com $I_1 = \dfrac{V_1 - V_0}{8}$ vem

$$0 = \frac{V_1 - V_0}{8} + \frac{3V_0}{4} \Rightarrow \quad V_1 - V_0 + 6V_0 = 0 \Rightarrow V_1 = -5V_0$$

Então $I_1 = \dfrac{-5V_0 - V_0}{8} = -\dfrac{6V_0}{8} = -\dfrac{3V_0}{4}$

$$y_{11} = \left.\frac{I_1}{V_1}\right|_{V_2=0} = -\frac{3V_0}{4} \cdot \frac{1}{-5V_0} = \frac{3}{20} = \underline{0{,}15S}$$

Teste 12 Devemos determinar a impedância equivalente de Thevenin vista pelo resistor R_L, isso pode ser feito usando o circuito abaixo



$$Z_{TH} = \frac{V_2}{I_2}$$

$$V_1 = 4V_2 - 20 I_2$$
$$I_1 = 0{,}1 V_2 - 2 I_2$$

Como $V_1 = -10 I_1$ e $V_2 = 1$ vem

$$-10 I_1 = 4 - 20 I_2 \quad (1)$$
$$I_1 = 0{,}1 - 2I_2 \quad (2)$$

De (1) vem $I_1 = -0{,}4 + 2I_2$

Substituindo em (2):

$$-0{,}4 + 2I_2 = 0{,}1 - 2I_2$$
$$-0{,}5 = -4I_2$$
$$I_2 = 1/8$$

Logo $Z_{TH} = 8\Omega$ e a máxima transferência de potência é obtida com

$$\underline{R_L = 8\Omega}$$