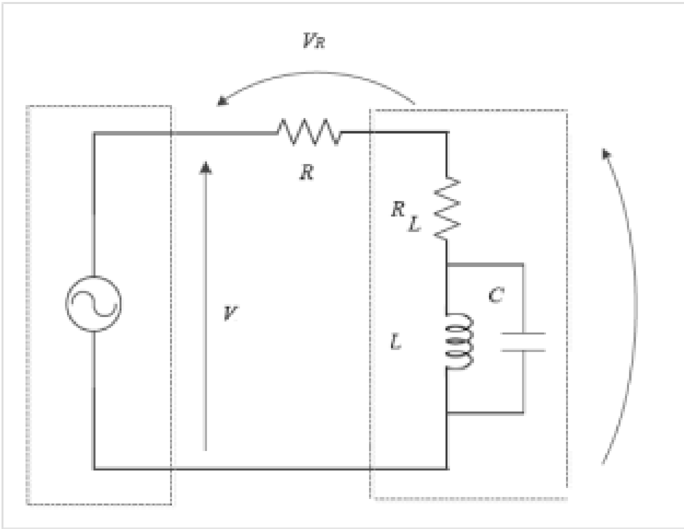
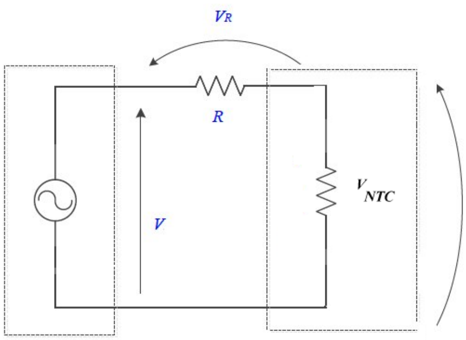
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

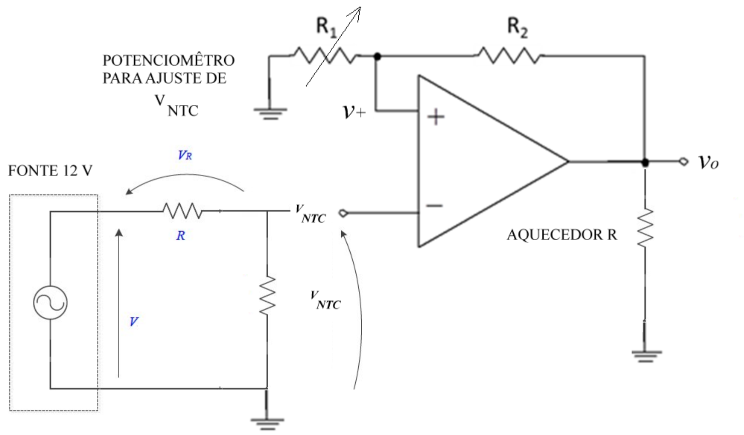
GABARITO

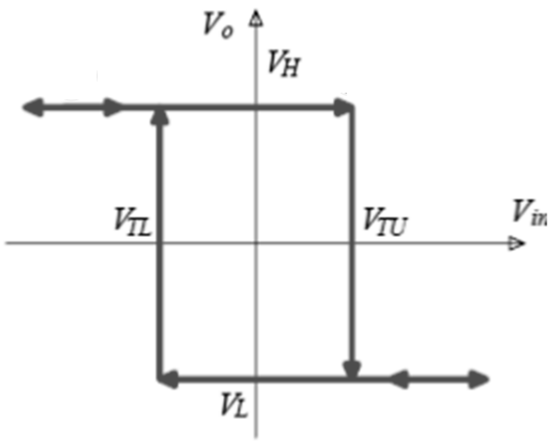
ENGENHARIA ELETRÔNICA

Questão 1	Resposta
a) (0,5 pontos)	
b) (1 pontos)	Para uma dada tensão DC temos um divisor resistivo. Logo: $VR_L = (R_L * Eg)/(R_L + R)$ $R_L = (VR_L * R) / (Eg – VR_L)$
c) (0,5 pontos)	Eg = 10V ; R = 1 KΩ; VR_L = 7,5 V Pela fórmula R_L = 3 kΩ.
d) (3 pontos)	$V_2 = V_L = R_L + jwL$ e $Tg (\phi) = wL / (R + R_L)$ Então L será : $L = (R + R_L) * tg (\phi) / w$ com w = 2piF.
e) (1 pontos)	F = 1000 Hz ; Eg = 10 V e $\phi = 45$ graus ; L = (1000 + 3000)*tg (45) / 2pi1000 =2/pi = 0,934 H

f) (1 ponto)	As bobinas estão enroladas lado a lado. Para altas frequências funcionam como placas separadas pelo esmalte isolante do fio acarretando na existência do capacitor parasita
g) (1 pontos)	Aumentar a frequência até a frequência de ressonância onde o valor da amplitude será máxima e a frequência dada por : F = 1 / [2pi raiz (LCp)] onde Cp é o valor do capacitor parasita nessa frequência.

Questão 2	Resposta
a) (3 pontos)	A curva exponencial deve ter a seguinte expressão: y = A exp kT . Linearizando obtem-se ln y = ln A + kT. A partir dos pontos forncidos (10k , 25) e (4k , 50) é possível ajustar uma reta : k = (25-50) / (10k - 4k) assim k = - 4,17 e-3 (1/ ° C) e A para o ponto (10k,25) ln 10k = ln A + 4,17e-3 * 25 resultando em A = 900 (ln Ω)
b) (0,5 pontos)	Para uma temperatura de 100 ° C . Tem-se : R_{100} = 900 * exp (-4,17E-3 * 100) R_{100} = 593 Ω
c) (0,5 pontos)	

d) (1 ponto)	Para 45° C o resistor NTC vale aproximadamente 5 kΩ . Tem-se um divisor resistivo com R_1 = 1 k e R_{NTC} = 5 kΩ Logo V_{NTC} = 5/6 * 12 V_{NTC} = 10 volts.
e) (3 pontos)	Usando o circuito do item c) , é necessário colocar um comparador de tensão (INVERSOR) de maneira que: - se a tensão for **abaixo** de V_{NTC} o circuito irá acionar o resistor aquecedor pois a temperatura será inferior ao desejado; - se a tensão for **acima** de V_{NTC} o circuito desligará o resistor aquecedor pois a temperatura será superior ao desejado; Exemplo de circuito: 

Questão 3	Resposta
a) (0,5 ponto)	O circuito da figura 1 é um circuito amplificador com realimentação positiva conhecida por “Schmitt trigger” invertido. Na condição de Vin ser aproximadamente +15 V (Vcc), a saída será próxima de Vss, ou seja, próximo de - 15 V. V+ = - R1 /(R1 + R2) Vcc
b) (0,5 ponto)	Na condição de Vin ser aproximadamente - 15 V (Vss), a saída será próxima de Vcc, ou seja, próximo de + 15 V. V+ = + R1 /(R1 + R2) Vcc
c) (3 pontos)	Do item a) e b) tem-se: V+ = - R1 /(R1 + R2) Vcc V+ = + R1 /(R1 + R2) Vcc
d) (3 pontos)	
e) (1 ponto)	É um circuito amplificador com realimentação positiva conhecida por “Schmitt trigger” invertido.

<table>
<tr><td>Questão 4</td><td>Resposta</td></tr>
<tr><td>4

(8 pontos)</td><td>
As equações de análise nodal fornecem:

$$\frac{E_1 - E_s}{R} + \alpha[sCE_2 - Cv_C(0\_)] + \frac{E_1 - E_2}{sL} + \frac{i_L(0\_)}{s} = 0$$

$$-\left(\frac{E_1 - E_2}{sL} + \frac{i_L(0\_)}{s}\right) + sCE_2 - Cv_C(0\_) = 0$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R} + \frac{1}{sL} & -\frac{1}{sL} + sC\alpha \\ -\frac{1}{sL} & \frac{1}{sL} + sC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_s}{R} + \alpha Cv_C(0\_) - \frac{i_L(0\_)}{s} \\ Cv_C(0\_) + \frac{i_L(0\_)}{s} \end{bmatrix}$$

Identificando as matrizes, tem-se: R=1, L=2,C=0.5,α=4 (4 pontos)

Identificando os vetores, tem-se: $i_L(0\_) = 2, v_C(0\_) = 0, E_s(s) = \frac{2}{s}$

(4 pontos)
</td></tr>
<tr><td>Questão 5</td><td>Resposta</td></tr>
<tr><td>Item a
(8 pontos)</td><td>
a) (4 pontos)

$$P_R = RI^2 = 10I^2 = 7000 - 3000 = 4000 \Rightarrow I = 20\,\mathrm{A}_{ef}$$

$$|S_Z| = |Z|I^2 = 12.5 * 400 = 5000\mathrm{VA} \Rightarrow \cos(\varphi_Z) = \frac{3000}{5000} = 0.6 \Rightarrow \sin(\varphi_Z) = 0.8$$

$$Q_Z = |S_Z|\sin(\varphi_Z) = 5000 * 0.8 = 4000\mathrm{VAr}$$

b (4 pontos)

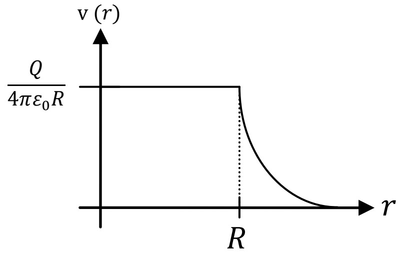
$$\cos(\varphi_T) = \frac{7000}{|S_T|} \Rightarrow |S_T| = \frac{7000}{0.8} = 8750\mathrm{VA}$$

$$Q_T = |S_T|\sin(\varphi_Z) = 8750 * 0.6 = 5250\mathrm{VAr}$$

$$S_T = 7000 + j5250\ (\mathrm{VA})$$
</td></tr>
<tr><td>Questão 6</td><td>Resposta</td></tr>
</table>

6
(8 pontos)

a) (4 pontos)
Pela lei de Gauss, (para $r \geq R$), tem-se:



$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

$$V(r) = -\int_{\infty}^{r} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{\infty}^{r}\frac{ds}{s^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 s}\Bigg|_{\infty}^{r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

O gráfico de *V(r)* será representado pela constante $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$ para *r = 0* até *r = R*.

Para $r \geq R$ será dado por $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

b) (4 pontos)

$W = \frac{1}{2}\int_S \sigma V dS$ onde σ é a densidade superficial de carga

$$W = \frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R}\int_S \sigma dS = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$$

Outro jeito (pela capacitência):

$\vec{\mathbf{E}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$ entre as cascas

$$V_{12} = -\int_{R_2}^{R_1} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{R_2}^{R_1}\frac{ds}{s^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Se a casca 2 tiver raio infinito (não contribui para a capacitância):

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 R_1$$

$$W = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_0 R_1}$$

Questão 7	Resposta
7 (8 pontos)	a) (3 pontos) Tem-se (via teorema do valor final), que $y_\infty = \lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{s\to\infty} sG_p(s)\frac{1}{s} = K$. Do gráfico tem-se que $y_\infty = 0{,}9$, portanto $\boxed{K = 0{,}9.}$ É um fato bem conhecido para um sistema de primeira ordem que quando $t = T$, o valor de sua resposta ao degrau é $y(T) = \left(1 - \frac{1}{e}\right) y_\infty \cong 0{,}63 \cdot 0{,}9 = 0{,}57$. Por inspeção do gráfico tem-se $\boxed{T = 0{,}3.}$ b) (5 pontos) A função de transferência de malha aberta é dada por $$G_p(s)G_c(s) = \frac{K}{Ts+1}\frac{K_p(T_i s+1)}{T_i s}$$ Fazendo $T_i = T = 0{,}3$ tem-se $$G_p(s)G_c(s) = \frac{KK_p}{T_i s}$$ e a função de transferência de malha fechada é dada por $$G_{mf}(s) = \frac{KK_p}{T_i s + KK_p} = \frac{1}{\frac{T_i}{KK_p}s + 1}$$ Com isso deve-se ter $$\frac{T_i}{KK_p} = 0{,}2 \Rightarrow K_p = \frac{T_i}{0{,}2K} = 1{,}667$$ e finalmente, $$G_c(s) = 1{,}667(1 + \frac{1}{0{,}3s})$$ Critério de correção <table><tr><td>(a) 3,0</td><td>Ganho: AC/RI +0,7; AC/RC +1,5; (AI 0,0) Cte. Tempo: AC/RI + 0,7; AC/RC +1,5; (AI 0,0) OBS. Item correto com dados errados conta como AC/RI</td></tr><tr><td>(b) 5,0</td><td>FTMA: AC/RI +0,5; AC/RC +1,0 (AI 0,0) Cancelamento (cálculo Ti): AC/RI +0,5; AC/RC +1,0 (AI 0,0) FTMF: AC/RI +0,5; AC/RC +1,0 (AI 0,0) Cte. Tempo (cálculo Kp): AC/RI + 1,0; AC/RC +2,0 (AI 0,0) OBS. Item correto com dados errados conta como AC/RI.</td></tr></table> A (argumentação); R (resultado); C (correto); I (incorreto).

Questão 8	Resposta
8 (8 pontos)	see below

a) (2 pontos)

O sistema NÃO é assintoticamente estável.
Pode-se verificar esse fato obtendo-se os polos do sistema, que são as raízes do polinômio característico $p(s) = \det\left(s\begin{bmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}-3 & 1\\-2 & 1{,}5\end{bmatrix}\right) = \begin{vmatrix}s+3 & -1\\2 & s-1{,}5\end{vmatrix} =$ $(s+3)(s-1{,}5)+2 = s^2 + 1{,}5s - 2{,}5$
As raízes do polinômio são (-2,5; 1,0). Como uma delas se situa no semi-plano direito do plano complexo, o sistema não é estável.

OBS: Alternativamente pode-se aplicar o critério de Routh-Hurwitz ou observar que nem todos os coeficientes do polinômio são positivos.

b) (3 pontos)

O sistema NÃO é controlável.
Pode-se verificar esse fato montando-se a matriz do controlabilidade $\mathcal{C}$ do sistema:

$$\mathcal{C} = \left[\begin{bmatrix}1\\4\end{bmatrix} \;\vdots\; \begin{bmatrix}-3 & 1\\-2 & 1{,}5\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1\\4\end{bmatrix}\right] = \begin{bmatrix}1 & 1\\4 & 4\end{bmatrix}$$

Verifica-se facilmente que $\det(\mathcal{C}) = 0$ (as duas colunas da matriz são linearmente dependentes) e que, portanto, o sistema não é controlável.

c) (3 pontos)

O sistema É observável.
Pode-se verificar esse fato montando-se a matriz de observabilidade $\mathcal{O}$ do sistema:

$$\mathcal{O} = \begin{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 1\end{bmatrix}\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \begin{bmatrix}1 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}-3 & 1\\-2 & 1{,}5\end{bmatrix}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1\\-5 & 2{,}5\end{bmatrix}$$

Verifica-se facilmente que $\det(\mathcal{O}) = 5 + 2{,}5 = 7{,}5$. Como a matriz $\mathcal{O}$ é não singular, pode-se concluir que o sistema é observável.

Critério de correção

(a) 2,0	Associar corretamente os polos à estabilidade: +0,5 Polinômio característico: AC/RI +0,5; AC/RC +1,0; (AI 0,0) Cálculo dos polos (ou análise via critérios de estabilidade: AC/RI +0,7; AC/RC +1,5; (AI 0,0)
(b) 3,0	Matriz de controlabilidade: AC/RI +0,7 (inclui erros na montagem da matriz); AC/RC +1,5; (AI 0,0) Interpretação da matriz: AC/RI +0,7 (inclui interpretação correta de matriz incorreta); AC/RC +1,5; (AI 0,0)
(c) 3,0	Matriz de observabilidade: AC/RI +0,7 (inclui erros na montagem da matriz); AC/RC +1,5; (AI 0,0) Interpretação da matriz: AC/RI +0,7 (inclui interpretação correta de matriz incorreta); AC/RC +1,5; (AI 0,0)

A (argumentação); R (resultado); C (correto); I (incorreto).

Questão 9	Resposta
9 (8 pontos)	a) (4 pontos) Analisando-se o circuito magnético, nota-se que $$NI = (\Re_{nm} + \Re_{ef})\emptyset$$ onde $\Re_{nm}$ é a relutância do núcleo magnético e $\Re_{ef}$ é a relutância do entreferro. Tem-se $$\Re_{nm} = \frac{\ell_{nm}}{\mu\, S_{nm}} = \frac{1}{2000 \cdot 4\pi.10^{-7}} \cdot \frac{[2(0{,}5 + 15 + 0{,}5) + 2(0{,}5 + 8 + 0{,}5)] \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-4}} = 19{,}9 \cdot 10^{4}\ Aesp/Wb$$ e $$\Re_{ef} = \frac{\ell_{ef}}{\mu_0\, S_{ef}} = \frac{1}{4\pi.10^{-7}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4}} = 795{,}8 \cdot 10^{4}\ Aesp/Wb$$ (assume-se que a seção do entreferro é a mesma do núcleo). Com isso $$I = \frac{(\Re_{nm} + \Re_{ef})\emptyset}{N} = \frac{(19{,}9 + 795{,}8) \cdot 10^{4} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{500} = 8{,}16\ A$$ b) (2 pontos) Nota-se que $$\Re = (NI - \Re_{nm}\emptyset)/\emptyset$$ Para $\emptyset = 5 \cdot 10^{-4}$ e $I = 3$, tem-se $$\Re = \frac{(500 \cdot 3 - 19{,}9 \cdot 10^{4} \cdot 5 \cdot 10^{-4})}{5 \cdot 10^{-4}} = 280{,}1 \cdot 10^{4}\ Aesp/Wb$$ Como $\ell = \Re\mu_0\, S_{ef}$, então $\ell = 280{,}1 \cdot 10^{4} \cdot 4\pi.10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0{,}352$ mm c) (2 pontos) Nota-se que $$NI = \Re_{nm}\emptyset \Rightarrow \emptyset = \frac{NI}{\Re_{nm}} = \frac{500 \cdot 3}{19{,}9 \cdot 10^{4}} = 75 \cdot 10^{-4}\ Wb$$

Critério de correção

(a) 4,0	Cálculo das relutâncias: AC/RI +1,0; AC/RC +2,0; (AI 0,0) Cálculo da corrente: AC/RI +1,0 (inclui cálculo correto com dados errados); AC/RC +2,0; (AI 0)
(b) 2,0	AC/RI = 1,0; AC/RC = 2,0; (AI = 0,0)
(c) 2,0	AC/RI = 1,0; AC/RC = 2,0; (AI = 0,0)

A (argumentação); R (resultado); C (correto); I (incorreto).

Questão 10	Resposta
10 (8 pontos)	a) (5 pontos) A perda (tanto para subida como descida) é dada por $$L_{up} = L_{down} = 92{,}4 + 20\log_{10} 6 + 20\log_{10}(4 \cdot 10^4) \cong 200\ dB$$ Como as potências, ganhos e perdas estão em dB, basta adicionar os ganhos e subtrair as perdas: $$\mathcal{P}_{out} = \mathcal{P}_{in} + \mathcal{g}_{tx1} - L_{up} + \mathcal{g}_{rx2} + \mathcal{g}_{amp} + \mathcal{g}_{tx2} - L_{down} + \mathcal{g}_{rx3}$$ $$= 50 + 60 - 200 + 20 + 80 + 20 - 200 + 50 = -120\ dBm$$ A conversão dBm para W é dada por $$\mathcal{P}_W = 10^{\left(\frac{\mathcal{P}_{dBm}-30}{10}\right)}$$ Como $\mathcal{P}_{dBm} = -120$, então $\mathcal{P}_W = 1 \cdot 10^{-15}$ W. b) (3 pontos) Quando a distância dobra, o termo $20\log_{10} \ell$ passa a ser $$20\log_{10} 2\ell = 20(\log_{10} \ell + \log_{10} 2) = 20\log_{10} \ell + 20\log_{10} 2$$ Da tabela, $20\log_{10} 2 = 20 \cdot 0{,}3010 = 6{,}02$ dB. Como a perda ocorre tanto na subida como na descida, conclui-se que cada vez que a distância do solo ao satélite dobra, a perda aumenta de 12,04 dB. Critério de correção (a) 5,0: Cálculo das perdas: AC/RI +0,7; AC/RC +1,5; (AI 0,0) Cálculo da potência: AC/RI +1,0; AC/RC +2,0; (AI 0,0) Conversão da potência em W: AC/RI +0,7; AC/RC +1,5; (AI 0,0) (b) 3,0: AC/RI = 1,5; AC/RC = 3,0; (AI = 0,0) A (argumentação); R (resultado); C (correto); I (incorreto).