

MARINHA DO BRASIL  
SERVIÇO DE SELEÇÃO DO PESSOAL DA MARINHA DO BRASIL

GABARITO DESENVOLVIDO  
CP-CEM/ 2021 ENGENHARIA DE ELÉTRICA

**1ª QUESTÃO (8 pontos)**

a) (1 ponto)

Ensaio em vazio realizado pelo lado da baixa tensão: como esse ensaio é necessariamente realizado com tensão nominal, no lado BT manipula-se tensões mais baixas e mais seguras. Ensaio em curto realizado pelo lado da alta tensão: como esse ensaio é realizado com corrente próxima à nominal, no lado AT trabalha-se com correntes de menor intensidade.

b) (2 pontos)

Transformador trifásico de 18 MVA -  $V_1 = 13,8 \text{ kV}$  -  $V_2 = 2,3 \text{ kV}$  - conexão Yd11

→ Primário em conexão Estrela -  $I_1 = 18 \cdot 10^6 / \sqrt{3} \cdot 13800 = 753 \text{ A}$

→ Secundário em conexão Delta -  $I_2 = 18 \cdot 10^6 / \sqrt{3} \cdot 2300 = 4518 \text{ A}$

Ensaio em vazio:  $V_o = 2300 \text{ V}$  -  $I_o = 225 \text{ A}$  -  $W_o = 185000 \text{ W}$  - feito pelo lado Delta

$$\cos\varphi_o = W_o / \sqrt{3} \cdot V_o \cdot I_o = 185000 / \sqrt{3} \cdot 2300 \cdot 225 = 0,206 \rightarrow \sin\varphi_o = 0,979$$

Corrente de perdas no ferro:  $I_p = I_o \cdot \cos\varphi_o = 225 \cdot 0,206 = 46,35 \text{ A}$  (valor de linha)

$$\rightarrow R_p = V_o / (I_p / \sqrt{3}) = 2300 / (46,35 / \sqrt{3}) = 85,95 \Omega/\text{fase (lig.}\Delta)$$

Corrente de magnetização:  $I_m = I_o \cdot \sin\varphi_o = 225 \cdot 0,979 = 220,28 \text{ A}$  (valor de linha)

$$\rightarrow X_m = V_o / (I_m / \sqrt{3}) = 2300 / (220,28 / \sqrt{3}) = 18,08 \Omega/\text{fase (lig.}\Delta)$$

Referindo ao lado da alta tensão →  $a = V_{1\text{fase}} / V_{2\text{fase}} = (13,8 / \sqrt{3}) / 2,3 = 3,464$

$$R'_p = a^2 \cdot R_p = 3,464^2 \cdot 85,95 = \mathbf{1031 \Omega/\text{fase}} \quad - \quad X'_m = a^2 \cdot X_m = 3,464^2 \cdot 18,08 = \mathbf{217 \Omega/\text{fase}}$$

Ensaio em curto:  $V_{cc} = 825 \text{ V} - I_{cc} = 600 \text{ A} - W_{cc} = 118000 \text{ W}$  - feito pelo lado Estrela

$$z_{cc} = (V_{cc} / \sqrt{3}) / I_{cc} = 825 / \sqrt{3} / 600 = 0,794 \text{ } \Omega/\text{fase (lig. Y)}$$

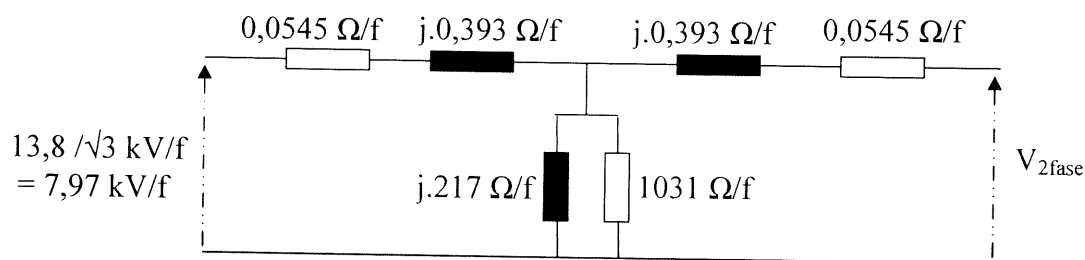
$$r_{cc} = (W_{cc} / 3) / I_{cc}^2 = (118000 / 3) / 600^2 = 0,109 \text{ } \Omega/\text{fase (lig. Y)}$$

$$\rightarrow r_1 = r_2 = r_{cc} / 2 = \mathbf{0,0545 \text{ } \Omega/\text{fase (lig. Y)}}$$

$$x_{cc} = \sqrt{(z_{cc}^2 - r_{cc}^2)} = \sqrt{(0,794^2 - 0,109^2)} = 0,786 \text{ } \Omega/\text{fase (lig. Y)}$$

$$\rightarrow x_1 = x_2 = x_{cc} / 2 = \mathbf{0,393 \text{ } \Omega/\text{fase (lig. Y)}}$$

Circuito equivalente completo por fase referido à alta tensão:



c) (2 pontos)

Impedância equivalente:  $r_{cc} + j \cdot x_{cc} = 0,109 + j \cdot 0,786 \rightarrow 0,794 \cdot \underline{/82,1^\circ} \text{ } \Omega/\text{f (ref. alta tensão)}$

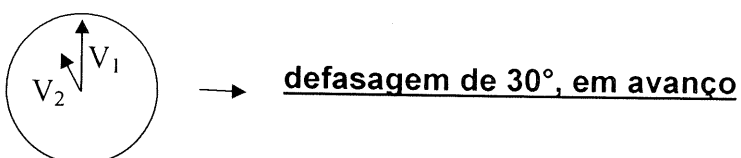
Impedância de base:  $Z_b = V_1^2 / S_n = 13800^2 / 18.106 = 10,58 \text{ } \Omega/\text{f (ref. alta tensão)}$

$$\rightarrow z_{cc} \text{ pu} = z_{cc} / Z_b = 0,794 \cdot \underline{/82,1^\circ} \text{ } \Omega/\text{f} / 10,58 \text{ } \Omega/\text{f} = 0,075 \cdot \underline{/82,1^\circ} \text{ p.u.} = \mathbf{7,5 \%}$$

d) (1 ponto)

Defasagem entre tensões de linha primária e secundária: Grupo de ligação: Yd11

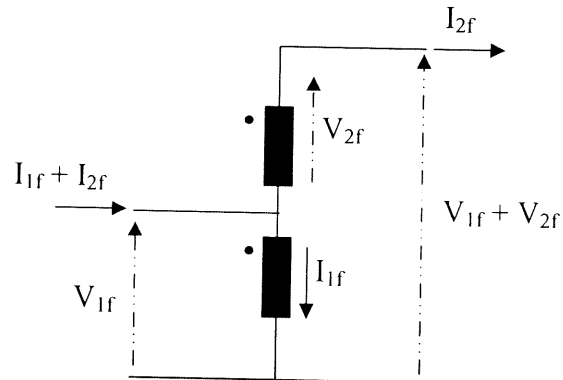
Y: primário em ligação estrela - d: secundário em ligação delta - 11: posição de "11 horas"



e) (2 pontos)

Montagem de autotransformador elevador de tensão:

Esquema por fase: grupo Yy0 → defasagem nula



Tensão de entrada (valor de linha):  $V_e = 13,8 \text{ kV} = \sqrt{3} \cdot V_{1f} \rightarrow V_{1f} = 13,8 / \sqrt{3} = 7,97 \text{ kV}$

Tensão de saída (valor de linha):  $V_s = \sqrt{3} \cdot (V_{1f} + V_{2f}) = \sqrt{3} \cdot (7,97 + 2,3) = 17,8 \text{ kV}$

Potência disponível:  $S_2 = 3 \cdot (V_{1f} + V_{2f}) \cdot I_{2f} = 3 \cdot (7,97 + 2,3) \cdot 4518 / \sqrt{3} = 80,36 \text{ MVA}$

## 2ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (1 ponto)

Condições para sincronização do gerador no barramento infinito:

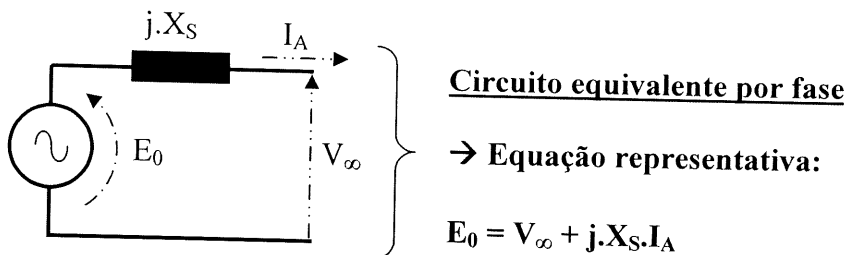
Ajuste da corrente de excitação até que a tensão gerada pela máquina iguale a tensão do barramento

Ajuste da rotação até que a frequência gerada pela máquina seja igual à frequência da linha

Ajuste incremental da rotação até que a diferença de fase entre as tensões da máquina e do barramento seja nula

b) (2 pontos)

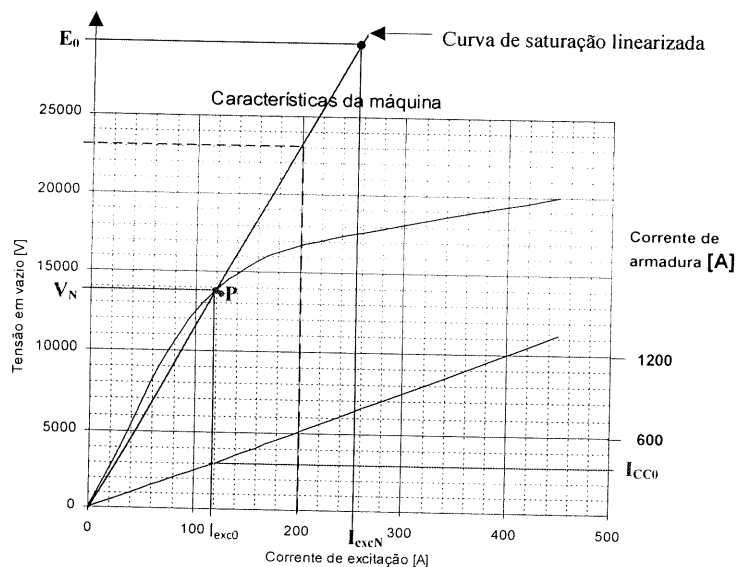
Reatância síncrona e circuito equivalente:



Determinação da reatância síncrona  $X_S$  com o uso das características de saturação e curto circuito:

Para tensão em vazio =  $V_N = 13,8 \text{ kV}$  → Determina-se  $I_{exc0}$  na curva de saturação em vazio.

Para  $I_{exc0} = 118 \text{ A}$  → determina-se  $I_{cc0} = 360 \text{ A}$  na curva de curto circuito.



1) Reatância Síncrona:  $X_S = (V_N / \sqrt{3}) / I_{CC0} \rightarrow X_S = (13.800 / \sqrt{3}) / 360 = 22,13 \Omega/\text{fase}$

Impedância de base:  $Z_b = V^2/S = 13800^2/12 \times 10^6 = 15,87 \Omega/\text{fase}$

Reatância síncrona (pu):  $x_s = 22,13 / 15,87 = 1,39 \text{ pu}$

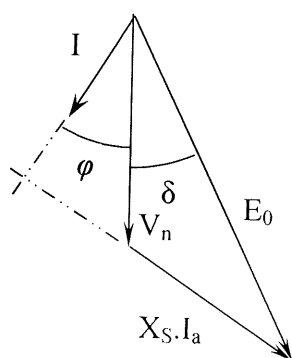
c) (2 pontos)

Diagrama fasorial da máquina na condição nominal (todos valores de linha):

$$I_A = (12 \times 10^6 / \sqrt{3}) / 13,8 \times 10^3 = 502 \text{ A}$$

$$\text{Do circuito equivalente, } E_0 = V + j \cdot X_S \cdot I_A = 13.800 + \sqrt{3} \times 22,13 e^{j90^\circ} \times 502 e^{j-36,87^\circ}$$

$$\rightarrow E_0 = 13.800 + 19.241,8 e^{j53,1^\circ} = 29.563 e^{j31,27^\circ} \rightarrow |E_0| = 29.563 \text{ V}$$



$$\cos \phi = 0,80 \text{ ind} \rightarrow \phi = -36,87^\circ$$

$$I_A = 502 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

$$V_N = 13.800 \angle 0^\circ \text{ V (linha)}$$

$$X_S \cdot I_A = 19.241,8 \angle 53,1^\circ \text{ V (linha)}$$

$$E_0 = 29.563 \angle 31,27^\circ \text{ V (linha)}$$

$$\delta = +31,27^\circ \text{ (modo gerador)}$$

d) (3 pontos)

Determinação da corrente de excitação em carga:

$V_N$  define sobre a curva de saturação em vazio o ponto **P**, caracterizando o estado de saturação aproximado da máquina  $\rightarrow$  A partir de **P**, fica estabelecida a reta que é a **característica de saturação linearizada**.

Com  $E_0 = 29.563$  na curva de saturação linearizada, resulta  $I_{excN}$ , excitação requerida em carga.

$$\text{Por semelhança de triângulos } \rightarrow I_{excN} = (29.563 / 23.000) \times 200 = 257,85 \text{ A}$$

### 3ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (1 ponto)

Motor de indução com  $n_r = 505$  RPM ( $505/60 = 8,417$  rps), e frequência de 60 Hz

→ Rotação síncrona relacionada com N° de pares de polos:  $f = p \cdot n_s$

No motor de indução,  $n_r \approx n_s \rightarrow p \approx 60 / 8,417 = 7,129 \rightarrow p = 7 \rightarrow 2p = 14$  polos

Rotação síncrona:  $n_s = 60 / 7 = 8,57$  rps  $= 8,57 \times 60 = 514,3$  RPM

Escorregamento:  $s = (n_s - n_r) / n_s \rightarrow s = (514,3 - 505) / 514,3 = 0,0181 \rightarrow s = 1,81\%$

b) (1 ponto)

Elevação com carga nominal, a 220 RPM:

Carga nominal = torque nominal  $n_r < n_s \rightarrow$  operação no modo torque constante  $\rightarrow V/f =$  cte.

→  $n_s - n_r = \Delta n =$  cte.  $\rightarrow \Delta n = 514,3 - 505 = 9,3$  RPM

→  $n'_s = 220 + 9,3 = 229,3$  RPM  $\rightarrow f' = (229,3 / 514,3) \times 60 = 26,75$  Hz

→  $V' = (26,75 / 60) \times 480 = 214$  V

→  $T =$  cte.  $\rightarrow P'_{mec} = (220 / 505) \times 250 = 108,9$  kW

c) (3 pontos)

Partida do motor com o dobro carga:

Dobro da carga = dobro do torque nominal  $\rightarrow$  operação no modo torque constante  $\rightarrow V/f =$  cte.

→  $n_s - n_r = \Delta n =$  cte.  $\rightarrow \Delta n = 514,3 - 505 = 9,3$  RPM (em carga nominal)

→ Para dobro da carga:  $\Delta'n = 2 \cdot \Delta n = 2 \times 9,3 = 18,6$  RPM

→  $n'_s = 0 + 18,6 = 18,6$  RPM  $\rightarrow f' = (18,6 / 514,3) \times 60 = 2,17$  Hz

→  $V' = (2,17 / 60) \times 480 = 17,36$  V

Com frequência muito baixa, é necessário corrigir a queda de tensão na resistência do estator:

Dobro do torque  $\rightarrow$  dobro da corrente  $\rightarrow I_{partida} = 2$  pu

Queda de tensão no estator na partida:

$\Delta V = R_{est}(pu) \times I_{part}(pu) = 0,022 \times 2 = 0,044pu = 0,044 \times 480 = 21,12V$

Tensão de alimentação compensando a queda na resistência:  $V'' = V' + \Delta V$

→  $V'' = 17,36 + 21,12 = 38,48$  V

d) (3 pontos)

Operação como gerador, na descida com carga nominal:

Carga nominal = torque nominal

→ Gerador:  $n_r > n_s$  → operação no modo torque constante →  $V / f = \text{cte.}$

→  $n_r - n_s = \Delta n = \text{cte.}$  →  $\Delta n = 505 - 514,3 = -9,3 \text{ RPM}$

→  $n'_s = 220 - 9,3 = 210,7 \text{ RPM}$  →  $f' = (210,7 / 514,3) \times 60 = \mathbf{24,58 \text{ Hz}}$

→  $V' = (24,58 / 60) \times 480 = \mathbf{196,6 \text{ V}}$

→  $T = \text{cte.}$  →  $P'_{\text{mec}} = (220 / 505) \times 250 = 108,9 \text{ kW}$  (potência de entrada no eixo)

Potência elétrica regenerada =  $P'_{\text{mec}} - \text{Perdas}_{\text{totais}}$

$\text{Perdas}_{\text{totais}} = P_{\text{joule-est}} + P_{\text{joule-rot}} + P_{\text{perdas rotacionais}} = 0,022 \cdot P_n + [|s| / (1-|s|)] \cdot P'_{\text{mec}} + P_0$

→  $|s| = |(210,7 - 220)| / 210,7 = 0,044$

$\text{Perdas}_{\text{totais}} = 0,022 \times 250 + 0,044 / (1-0,044) \times 108,9 + 4,5 = 5,5 + 5,01 + 4,5 = 15,01 \text{ kW}$

→  $P_{\text{el-regen}} = 108,9 - 15,01 = \mathbf{93,89 \text{ kW}}$

4ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 pontos)

Densidade de fluxo magnético máximo nos entreferros:

→ Alimentação em tensão alternada:  $V \approx E = 4,44.f.N.\phi$

→ Fluxo magnético máximo:  $\phi = V / 4,44.f.N = 110 / (4,44.60.300) = 0,00138 \text{ Wb}$

→ Densidade de fluxo máximo nos entreferros, sem espraiamento e dispersão:

→  $B_g = \phi/S_g = \phi/(a.b) = 0,00138 / (0,03.0,05) = \mathbf{0,918 \text{ T}}$

b) (2 pontos)

Determinação da corrente de magnetização:

→ Força magnetomotriz máxima requerida para impor o fluxo nos dois entreferros:

→  $F_{mm} = (B_g/\mu_0).2.x = (0,918 / 4\pi.10^{-7}) . 2 . 0,003 = 4383,13 \text{ Ae.}$

→ Corrente de magnetização eficaz:  $I_{mag} = (F_{mm}/N)/\sqrt{2} = (4383,13/300)/\sqrt{2} = \mathbf{10,33A}$

c) (3 pontos)

Força mecânica média atuante sobre o núcleo móvel:

→ Força mecânica máxima em cada entreferro:  $F_{max} = (B_g^2/2\mu_0).S_g$

→ Como são dois entreferros:  $F_{mec-max} = 2.F_{max} = 2.(0,918^2/2.4\pi.10^{-7}).0,03.0,05 = 1005,9 \text{ N}$

→ Sendo  $B(t) = B_g.\text{sen}\omega t \rightarrow F_{mec}(t) = 2.(B_g^2.\text{sen}^2\omega t/2\mu_0).S_g = F_{mec-max}.\text{sen}^2\omega t$

→  $\text{sen}^2\omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \rightarrow F_{mec}(t) = F_{mec-max} . \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) = \frac{1}{2} . F_{mec-max} - \frac{1}{2}F_{mec-max}.\cos 2\omega t$

→ Valor médio da força mecânica:  $F_{mec-med} = \frac{1}{2} . F_{mec-max} = \frac{1}{2} . 1005,9 = \mathbf{502,95 \text{ N}}$

d) (1 ponto)

Frequência de oscilação da componente variável da força mecânica:

→ Componente variável da força mecânica:  $\frac{1}{2}F_{mec-max}.\cos 2\omega t \rightarrow \omega = 2.\pi.f$

→ Frequência de oscilação da componente:  $2.\omega \rightarrow f' = 2.f = 2.60 = \mathbf{120 \text{ Hz}}$



## 5ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 pontos)

Rotação em vazio do motor CC:

Chave "k" aberta: → Retificador monofásico de onda completa

→ Tensão média retificada:  $V_{dc} = (2 \cdot \sqrt{2}/\pi) \cdot V_{ac} = 0,9 \cdot V_{ac} = 0,9 \times 220 = 198 \text{ V}$  (diodos ideais)

→ Considerando a queda nos dois diodos:  $V_{dc} = 198 - 2 \times 0,7 = 196,6 \text{ V}$

→ Em vazio:  $V \approx E = K\phi \cdot \omega \rightarrow K\phi = 0,72 \text{ V/rd/s}$

→  $\omega = 196,6 / 0,72 = 273,06 \text{ rd/s} \rightarrow N_0 = (273,06/2\pi) \times 60 = \mathbf{2607,5 \text{ RPM}}$

Chave "k" fechada: → Retificador trifásico de onda completa

→ Tensão média retificada:  $V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{2}/\pi) \cdot V_{ac} = 1,35 \cdot V_{ac} = 1,35 \times 220 = 297 \text{ V}$  (diodos ideais)

→ Considerando a queda nos dois diodos:  $V_{dc} = 297 - 2 \times 0,7 = 295,6 \text{ V}$

→ Em vazio:  $V \approx E = K\phi \cdot \omega \rightarrow K\phi = 0,72 \text{ V/rd/s}$

→  $\omega = 295,6 / 0,72 = 410,56 \text{ rd/s} \rightarrow N_0 = (410,56/2\pi) \times 60 = \mathbf{3920,5 \text{ RPM}}$

b) (3 pontos)

Rotação em carga do motor CC; potência mecânica e corrente na linha de alimentação:

Chave "k" aberta: → Retificador monofásico de onda completa

→ Tensão média retificada:  $V_{dc} = (2 \cdot \sqrt{2}/\pi) \cdot V_{ac} = 0,9 \cdot V_{ac} = 0,9 \times 220 = 198 \text{ V}$  (diodos ideais)

→ Considerando a queda nos dois diodos:  $V_{dc} = 198 - 2 \times 0,7 = 196,6 \text{ V}$

→ Em carga:  $V = E + R \cdot I \rightarrow I = 35 \text{ A} ; R = 0,3\Omega \rightarrow E = 196,6 - 0,3 \times 35 = 186,1 \text{ V}$

→  $\omega = E/K\phi = 186,1 / 0,72 = 258,47 \text{ rd/s} \rightarrow N_{carga} = (258,47/2\pi) \times 60 = \mathbf{2468,2 \text{ RPM}}$

→ Torque no eixo:  $C = K\phi \cdot I \rightarrow K\phi = 0,72 \text{ N.m/A} \rightarrow C = 0,72 \times 35 = 25,2 \text{ N.m}$

→  $P_{mec} = C \cdot \omega = 25,2 \times 258,47 = 6513,4 \text{ W} = \mathbf{6,51 \text{ kW}}$

→ Corrente na linha de alimentação:  $I_{ac} = (\pi/2 \cdot \sqrt{2}) \cdot I_{dc} = 1,11 \cdot I_{dc} = 1,11 \times 35 = \mathbf{38,85 \text{ A}}$

Chave "k" fechada: → Retificador trifásico de onda completa

→ Tensão média retificada:  $V_{dc} = (3 \cdot \sqrt{2}/\pi) \cdot V_{ac} = 1,35 \cdot V_{ac} = 1,35 \times 220 = 297 \text{ V}$  (diodos ideais)

→ Considerando a queda nos dois diodos:  $V_{dc} = 297 - 2 \times 0,7 = 295,6 \text{ V}$

→ Em carga:  $V = E + R \cdot I \rightarrow I = 35 \text{ A} ; R = 0,3\Omega \rightarrow E = 295,6 - 0,3 \times 35 = 285,1 \text{ V}$

→  $\omega = E/K\phi = 285,1 / 0,72 = 395,97 \text{ rd/s} \rightarrow N_{carga} = (395,97/2\pi) \times 60 = \mathbf{3781,3 \text{ RPM}}$

→ Torque no eixo:  $C = K\phi \cdot I \rightarrow K\phi = 0,72 \text{ N.m/A} \rightarrow C = 0,72 \times 35 = 25,2 \text{ N.m}$

→  $P_{mec} = C \cdot \omega = 25,2 \times 395,97 = 9978,4 \text{ W} = \mathbf{9,98 \text{ kW}}$

→ Corrente na linha de alimentação:  $I_{ac} = (\sqrt{2}/\sqrt{3}) \cdot I_{dc} = 0,817 \cdot I_{dc} = 0,817 \times 35 = \mathbf{28,60 \text{ A}}$

c) (3 pontos)

Máxima rotação com o eixo acionado sem ultrapassar a corrente nominal:

→ Com rotação no sentido positivo: Ponte retificadora bloqueia a tensão gerada pela máquina CC

→ **A corrente de armadura será nula em qualquer rotação – operação como gerador em vazio**

→ Com rotação no sentido negativo: Ponte retificadora curto circuita a armadura

→ **Operação como gerador em curto** através de dois diodos em série diretamente polarizados

→  $V = E - RI \rightarrow V = 2 \times 0,7 \text{ V} = 1,4 \text{ V}$  : queda de tensão nos dois diodos

→  $E = K\phi.\omega = V + RI = 1,4 + 0,3 \times 35 = 11,9 \text{ V}$

→ Rotação máxima:  $\omega = 11,9 / 0,72 = 16,53 \text{ rd/s} \rightarrow N_{\max} = (16,53/2\pi) \times 60 = \mathbf{157,8 \text{ RPM}}$

### 6ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 pontos)

Adotando  $I_2 = 5/0 \text{ A}$  e com  $L_1 = 1/377 \text{ H}$

$$V_{BC} = Z_{\text{indutor}} * I_2 = j 2\pi f * L_1 * I_2 = j 2\pi 60 L I_2 = j 1 * 5 = 5j \text{ V}$$

b) (2 pontos)

Com  $V_{BC} = j 5 \text{ V}$  e  $C_1 = 0,5/377 \text{ F}$

$$V_{BC} = I_{A1} * Z_{\text{capacitor}} = I_{A1} * ( 1/(j 2\pi f * C_1) ) = j 5 \text{ V}$$

$$j 5 = I_{A1} * (-j 2)$$

$$I_{A1} = - 2,5 \text{ A}$$

c) (2 pontos)

$$I_{A3} = I_{A1} + I_{A2} = 5 - 2,5 = 2,5 \text{ A}$$

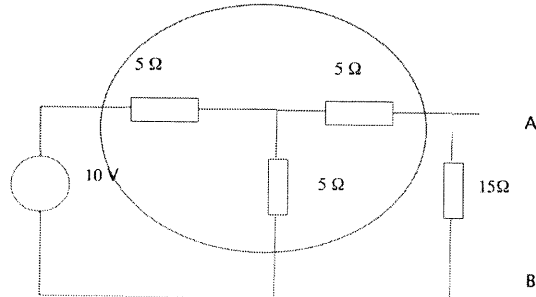
d) (2 pontos)

$$V_{AC} = V_{R1} + V_{BC} = 10 \times 2,5 + j5 = 25 + j5 \text{ V}$$

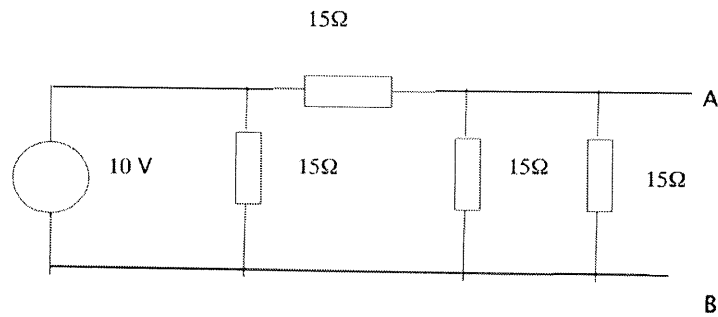
7ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (6 pontos)

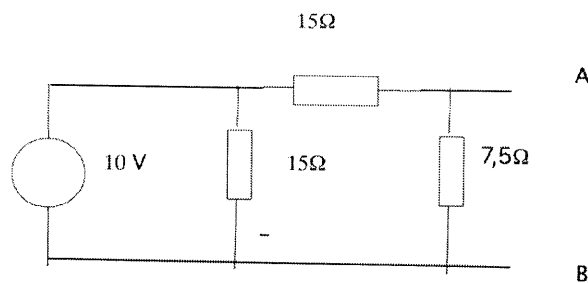
Transformando a estrela identificada no circuito em um triângulo



A tensão do equivalente Thevenin entre os pontos A e B e' dada por

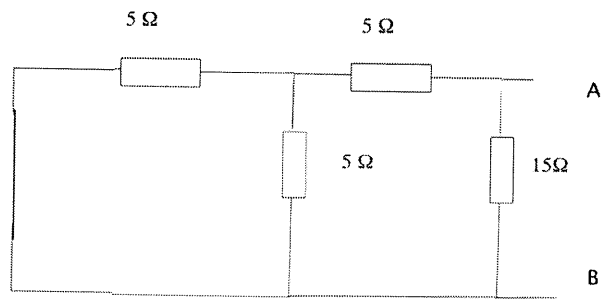


Ou ainda



$$V_{\text{Thevenin AB}} = (10/22,5) * 7,5 = 3,33 \text{ V}$$

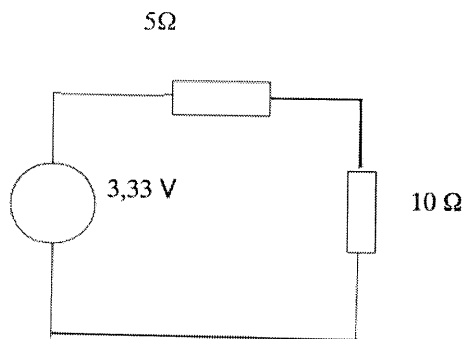
Para determinar o Z Thevenin AB devemos curto-circuitar a fonte



$$Z_{\text{thevenin AB}} = (5 // 5 + 5) // 15 = 7,5 // 15 = (15 * 7,5) / (22,5) = 5 \Omega$$

b) (2 pontos)

Com a carga de  $10 \Omega$



$$I = 3,33 / 15 = 0,22 \text{ A e } V_{AB} = 2,2 \text{ V}$$

**8ª QUESTÃO (8 pontos)**

a) (2 pontos)

$$S_{\text{nominal}} = 10000 / (0,85 \times 0,9) = 13071 \text{ kVA}$$

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S_{\text{nominal}}}{\sqrt{3} V_{\text{linha}}} = 17,15 \text{ A}$$

$$I_{\text{partida}} = 5 \times I_{\text{nominal}} = 85,7 \text{ A}$$

b) (6 pontos)

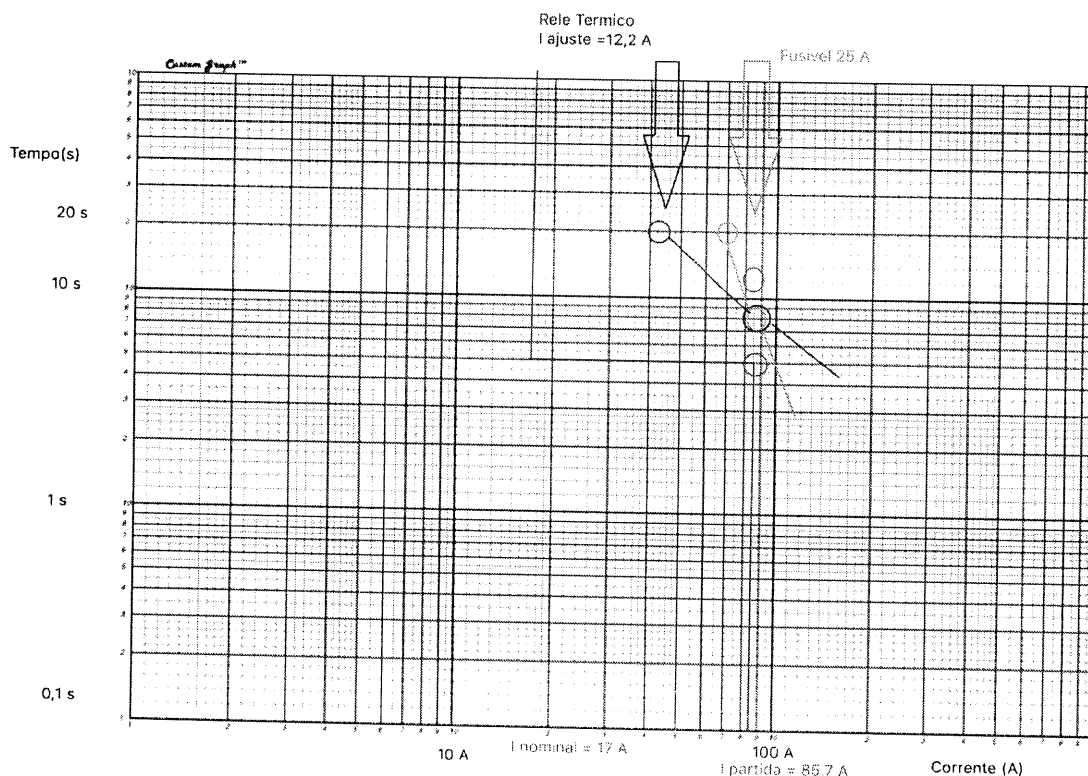
Consultando os valores das curvas tempo versus corrente dos fusíveis e do rele térmico para carga tripolar determinamos os seguintes pontos para o fusível de 35 A.

Para 85 A o tempo do fusível de 25 A é 8 s que é maior que o 5 s da partida e menor que o tempo de rotor bloqueado. Um outro ponto do fusível de 35 A é o de 70 A com 20 s de atuação.

Já a curva do rele térmico tripolar para o ponto de 85 e 7s da uma corrente de 5 x I ajuste o que já um valor de 17 A.

Os valores nominais do fusível e o ajuste do rele térmico que protegem o motor serão:

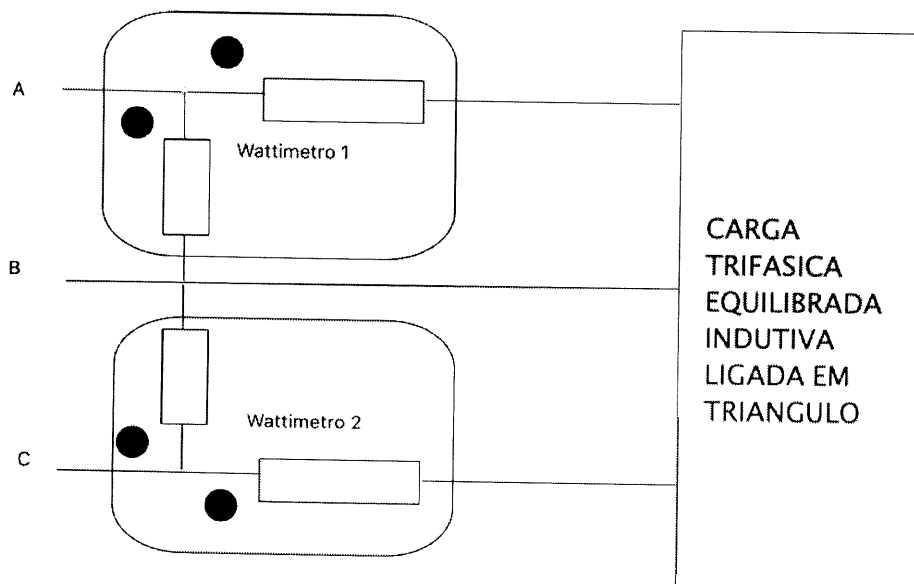
$$I_{\text{nominal fusível}} = 35 \text{ A e } I_{\text{ajuste rele térmico}} = 17 \text{ A}$$



### 9ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (6 pontos)

Para determinar o valor da impedância a partir da medição dos 2 wattímetros devemos construir o diagrama de fasores



Considerando  $V_{AB} = 220/0^\circ \text{ V}$  e  $I_{AB} = I_{\text{fase}} \angle -\Phi$  (carga indutiva) então  $I_A = \sqrt{3} I_{AB} \angle +30^\circ$  ou ainda  $I_A = \sqrt{3} I_{\text{fase}} \angle -\Phi + 30^\circ$

$$W1 = \text{Parte Real} ( V_{AB} \times I_A^* ) = |V_{\text{linha}}| \times |I_{\text{linha}}| \times \cos(\text{entre } V_{AB} \text{ e } I_A )$$

$$W1 = V_{\text{linha}} \times \sqrt{3} I_{\text{fase}} \times \cos(0^\circ - (-\Phi + 30^\circ))$$

$$W1 = V_{\text{linha}} \times \sqrt{3} I_{\text{fase}} \times \cos(\Phi - 30^\circ)$$

$$W2 = \text{Parte Real} ( V_{CB} \times I_C^* ) = |V_{\text{linha}}| \times |I_{\text{linha}}| \times \cos(\text{entre } V_{CB} \text{ e } I_C )$$

$$W2 = V_{\text{linha}} \times \sqrt{3} I_{\text{fase}} \times \cos(60^\circ - (120^\circ - \Phi - 30^\circ))$$

$$W2 = V_{\text{linha}} \times \sqrt{3} I_{\text{fase}} \times \cos(\Phi + 30^\circ)$$

Como  $\cos(A + B) = \cos A \times \cos B - \sin A \times \sin B$ , então:

$$\tan(\phi) = -\frac{\sqrt{3}(W1 - W2)}{W1 + W2} = 0,2474 \rightarrow \phi = \arctan(0,2474) = 15,44^\circ$$

$$I_{\text{linha}} = \frac{800}{220 \cos(15,44 - 30)} = 3,734 \text{ A} \quad \text{e} \quad I_{\text{fase}} = \frac{I_{\text{linha}}}{\sqrt{3}} = 2,155 \text{ A}$$

$$|Z| = \frac{220}{2,155} \rightarrow Z = 102,09 \angle 15,4^\circ \Omega$$

b) (2 pontos)

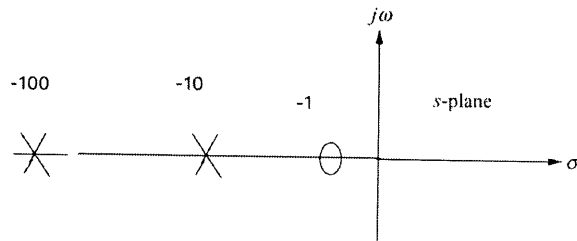
$$I_A = 3,73 \angle -15,4^\circ + 30^\circ = 3,73 \angle -14,6^\circ \text{ A}, \quad I_B = 3,73 \angle -134,6^\circ \text{ A} \quad \text{e} \quad I_C = 3,73 \angle 105,4^\circ \text{ A}$$

### 10ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 pontos)

Temos 1 zero e 2 polos e os valores são:

Zero1 = -1 , Polo 1= -10 e Polo2 = -100



b) (6 pontos)

Diagrama de Bode do Modulo

$$G(S) = 1000(s+1) / (s+10)(s+100) = 1000 / (10 \times 100) (s+1) / (s/10+1)(s/100+1)$$

$$G(s) = (s+1) / (0,1s+1)(0,01s+1)$$

$$\log(G(s)) = 20 \log 1 + 20 \log(s+1) - 20 \log(0,1s+1) - 20 \log(0,01s+1) =$$

Com  $s = j\omega$

$$\log(G(j\omega)) = 20 \log(j\omega+1) - 20 \log(0,1j\omega+1) - 20 \log(0,01j\omega+1)$$

Representando no diagrama teremos



