

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

GABARITO DESENVOLVIDO
CP-CEM/2020 – ENGENHARIA ELÉTRICA

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Dados nominais do transformador:

$S = 1,5 \text{ MVA}$ - Tensões nominais: $11 \text{ kV} / 2,2 \text{ kV}$
 $I_1 = 1.500.000 / 11.000 = 136,4 \text{ A}$ - $I_2 = 1.500.000 / 2.200 = 681,8 \text{ A}$
 $p_{fe} = 5 \text{ kW}$; $p_j = 10 \text{ kW}$ - $z_{eq} = (0,02 + j.0,08) \text{ p.u.}$
 $\rightarrow Z_{B-BT} = V_2 / I_2 = 2.200 / 681,8 = 3,23 \Omega$
 $\rightarrow Z_{eq-BT} = z_{eq} \cdot Z_{B-BT} = 3,23 \times (0,02 + j.0,08) = (0,0645 + j.0,258) \Omega$

a) (2 pontos)

Porcentagem de carga para rendimento máximo:

→ No transformador, o rendimento máximo ocorre quando a perda constante se iguala à perda variável, ou seja, quando a perda joule e a perda no ferro têm igual valor: $P_{fe} = P_j$

$$p_j = R \cdot I^2 ; S = V \cdot I ; V \approx \text{cte.} \rightarrow p_j = k \cdot S^2 \rightarrow p_{jn} = k \cdot S_n^2$$

$$\rightarrow p'_j = k \cdot S'^2 = p_{fe} = \frac{1}{2} p_{jn} \rightarrow k \cdot S'^2 = \frac{1}{2} k \cdot S_n^2 \rightarrow S' = \sqrt{(1/2)} \cdot S_n = 0,707 S_n$$

→ Potência para rendimento máximo = 70,7 % da potência nominal.

b) (2 pontos)

Rendimento do transformador para carga 70,7% e $\cos\phi = 0,8$ ind.:

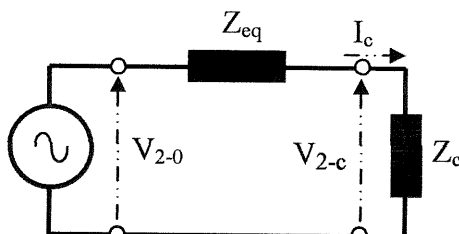
$$\eta = P_{at} / (P_{at} + p_j + p_{fe}) \rightarrow P_{at} = S' \cdot \cos\phi = 0,707 \cdot S_n \cdot \cos\phi = 0,707 \times 1,5 \times 0,8 = 0,848 \text{ MW} = 848 \text{ kW.}$$

$$\rightarrow \eta = 848 / (848 + 5 + 5) = 0,9883 = 98,83\%$$

c) (2 pontos)

Tensão na carga do lado da baixa para as condições do item B:

Impedância equivalente de carga: $|Z_c| = V^2 / S' = V^2 / (0,707 \cdot S_n) = 2.200^2 / (0,707 \times 1.500.00) = 4,56 \Omega$
Impedância complexa: $Z_c = |Z_c| \cdot \cos\phi + j \cdot |Z_c| \cdot \sin\phi = 4,56 \times 0,8 + j.4,56 \times \sqrt{(1-0,8^2)} = (3,65 + j.2,74) \Omega$



$$I_c = V_{2-0} / (Z_{eq} + Z_c) = 2.200 / (0,0645 + j.0,258 + 3,65 + j.2,74) = 2.200 / (3,715 + j.3,0)$$

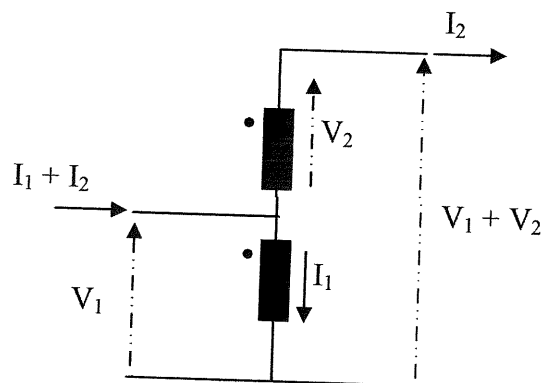
$$I_c = (358,4 + j. 289,5) \text{ A}$$

$$\rightarrow V_{2-c} = Z_c \cdot I_c = (3,65 + j.2,74) \times (358,4 + j. 289,5) = (514,9 + j. 2038,7) \text{ V} \rightarrow |V_{2-c}| = 2.102,7 \text{ V}$$

d) (2 pontos)

Potência para conexão como autotransformador elevador:

Esquema da conexão como autotransformador elevador – relação 11 / 13,2 kV



Tensão de entrada: $V_{ent} = V_1 = 11 \text{ kV}$

Tensão de saída: $V_{saída} = V_1 + V_2 = 11 + 2,2 = 13,2 \text{ kV}$

Corrente de saída: $I_{saída} = I_2 = 681,8 \text{ A}$

Corrente de entrada: $I_{ent} = I_1 + I_2 = 136,4 + 681,8 = 818,2 \text{ A}$

\rightarrow Potência do autotransformador: $S_{auto} = V_{ent} \cdot I_{ent} = V_{saída} \cdot I_{saída}$

$$\rightarrow S_{auto} = 11 \times 818,2 = 13,2 \times 681,8 = 9.000 \text{ kVA} = 9 \text{ MVA}$$

2ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (1 ponto)

Frequências geradas nos limites da faixa de rotações:

$$\rightarrow f [\text{Hz}] = p \cdot n [\text{RPS}] ; p = \text{número de pares de polos} = 32 / 2 = 16$$

$$\rightarrow n_{\min} = 120 \text{ RPM} = 120 / 60 = 2 \text{ RPS} \rightarrow f_{\min} = 16 \times 2 = 32 \text{ Hz}$$

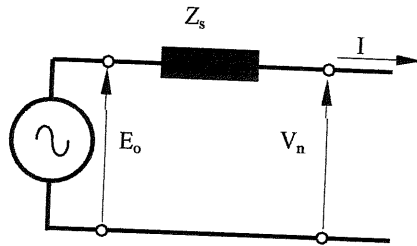
$$\rightarrow n_{\max} = 360 \text{ RPM} = 360 / 60 = 6 \text{ RPS} \rightarrow f_{\max} = 16 \times 6 = 96 \text{ Hz}$$

b) (4 pontos)

Tensão nos terminais do gerador em carga e potência de saída nos limites da faixa de velocidade:

$$Z_s = (0,2 + j.1,2) \Omega/\text{fase a } 60 \text{ Hz} - E_0 = 400 \text{ V a } 60 \text{ Hz}$$

Corrente nominal: $I = I_n = 75 \text{ e}^{-j \cdot \arccos 0,951} \text{ A} = (75 \cdot \cos 18^\circ - j \cdot 75 \cdot \sin 18^\circ) \text{ A} = (71 - j \cdot 23) \text{ A}$



→ Para rotação mínima: $f_{\min} = 32 \text{ Hz}$

$$\rightarrow E'_0 = 400 \times 32/60 = 213,3 \text{ V} \rightarrow Z'_s = [0,2 + j \cdot 1,2 \times (32/60)] = (0,2 + j \cdot 0,64) \Omega/\text{fase}$$

$$\rightarrow V'_n = E'_0 - \sqrt{3} \cdot Z'_s \cdot I = 213,3 - \sqrt{3} \cdot (0,2 + j \cdot 0,64) \times (71,24 - j \cdot 23,43) = (162,7 - j \cdot 70,87) \text{ V}$$

$$\rightarrow |V'_n| = 177,4 \text{ V} \rightarrow S' = \sqrt{3} \cdot V'_n \cdot I = \sqrt{3} \times 177,4 \times 75 = 23.045 \text{ VA} = 23,05 \text{ kVA}$$

→ Para rotação máxima: $f_{\max} = 96 \text{ Hz}$

$$\rightarrow E''_0 = 400 \times 96/60 = 640 \text{ V} \rightarrow Z''_s = [0,2 + j \cdot 1,2 \times (96/60)] = (0,2 + j \cdot 1,92) \Omega/\text{fase}$$

$$\rightarrow V''_n = E''_0 - \sqrt{3} \cdot Z''_s \cdot I = 640 - \sqrt{3} \cdot (0,2 + j \cdot 1,92) \times (71,24 - j \cdot 23,43) = (537,5 - j \cdot 228,8) \text{ V}$$

$$\rightarrow |V''_n| = 584,1 \text{ V} \rightarrow S'' = \sqrt{3} \cdot V''_n \cdot I = \sqrt{3} \times 584,1 \times 75 = 75.877 \text{ VA} = 75,88 \text{ kVA}$$

c) (3 pontos)

Tensão em carga para corrente 100% e 50% da nominal, potência e rendimento a 60 Hz:

→ Para: $f = 60 \text{ Hz}$ - $I = I_n = (71,24 - j \cdot 23,43) \text{ A}$

$$\rightarrow E_0 = 400 \text{ V} \rightarrow Z_s = (0,2 + j \cdot 1,2) \Omega/\text{fase}$$

$$\rightarrow V_n = E_0 - \sqrt{3} \cdot Z_s \cdot I = 400 - \sqrt{3} \cdot (0,2 + j \cdot 1,2) \times (71,24 - j \cdot 23,43) = (326,6 - j \cdot 140) \text{ V}$$

$$\rightarrow |V_n| = 355,4 \text{ V} \rightarrow S = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I = \sqrt{3} \times 355,4 \times 75 = 46.168 \text{ VA} = 46,17 \text{ kVA}$$

$$\rightarrow P_{\text{at}} = S \cdot \cos \varphi = 46,17 \times 0,95 = 43,86 \text{ kW}$$

$$\rightarrow p_{\text{joule}} = 3 \times 0,2 \times 75^2 = 3.375 \text{ W} = 3,38 \text{ kW} \rightarrow \eta = 43,86 / (43,86 + 3,38) = 0,9285 = 92,85 \%$$

→ Para: $f = 60 \text{ Hz}$ - $I = \frac{1}{2} \cdot I_n = (35,62 - j \cdot 11,72) \text{ A}$

$$\rightarrow E_0 = 400 \text{ V} \rightarrow Z_s = (0,2 + j \cdot 1,2) \Omega/\text{fase}$$

$$\rightarrow V_n = E_0 - \sqrt{3} \cdot Z_s \cdot I = 400 - \sqrt{3} \cdot (0,2 + j \cdot 1,2) \times (35,62 - j \cdot 11,72) = (363,3 - j \cdot 70) \text{ V}$$

$$\rightarrow |V_n| = 370 \text{ V} \rightarrow S = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I = \sqrt{3} \times 370 \times 75/2 = 24.032 \text{ VA} = 24,03 \text{ kVA}$$

$$\rightarrow P_{\text{at}} = S \cdot \cos \varphi = 24,03 \times 0,95 = 22,83 \text{ kW}$$

$$\rightarrow P_{\text{joule}} = 3 \times 0,2 \times (75/2)^2 = 843,8 \text{ W} = 0,84 \text{ kW} \rightarrow \eta = 22,83 / (22,83 + 0,84) = 0,9645 = 96,45 \%$$

3ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (1 ponto)

Rotação síncrona e escorregamento nominal:

N_s = rotação síncrona $\rightarrow N_s \text{ (RPS)} = f / p$ - f : frequência de alimentação - p : N° de pares de polos

$$\rightarrow p = 14 / 2 = 7 \rightarrow N_s = 60 / 7 = 8,571 \text{ RPS} = 8,571 \times 60 = 514,29 \text{ RPM}$$

N_n = rotação nominal em carga = 507 RPM

$$\rightarrow \text{Escorregamento: } s = (N_s - N_n) / N_s \rightarrow s = (514,29 - 507) / 514,29 = 0,0142 = 1,42 \%$$

b) (3 pontos)

Valor ôhmico do reostato rotórico para torque nominal na partida e potência dissipada:

\rightarrow Torque nominal no motor de anéis \rightarrow corrente rotórica nominal ; $I_r = 460 \text{ A}$

Na partida: $s = 1 \rightarrow V_r = V_{r\text{-nominal}} = 620 \text{ V} \rightarrow$ Reostato deve limitar a corrente ao valor nominal

$$\rightarrow R_r = V_r / (\sqrt{3} \cdot I_r) = 620 / (\sqrt{3} \times 460) = 0,778 \text{ } \Omega/\text{fase}$$

$$\rightarrow P_{\text{dissip}} = 3 \cdot R_r \cdot I_r^2 = 3 \times 0,778 \times 460^2 = 493.980 \text{ W} = 494 \text{ kW}$$

c) (4 pontos)

Rotação, potência mecânica e tensão rotórica para $R'_r = 0,25 R_r$:

$$R'_r = 0,25 \cdot R_r = 0,25 \times 0,778 = 0,195 \text{ } \Omega/\text{fase}$$

Torque nominal \rightarrow Corrente rotórica nominal = 460 A

$$\rightarrow \text{Tensão rotórica: } V'_r = \sqrt{3} \cdot R'_r \cdot I_r = \sqrt{3} \times 0,195 \times 460 = 155 \text{ V}$$

Escorregamento nessa condição: $s' = V'_r / V_r = 155 / 620 = 0,25 \text{ p.u.}$

$$\rightarrow \text{Rotação nessa condição: } N'_r = (1 - s') \cdot N_s = (1 - 0,25) \times 514,29 = 385,7 \text{ RPM}$$

Potência mecânica no eixo, com torque nominal: $P_{\text{mec}} = (N'_r / N_n) \cdot P_n$

$$\rightarrow P_{\text{mec}} = (385,7 / 507) \times 470 = 357,6 \text{ kW}$$

$$\text{Potência dissipada no reostato: } P'_{\text{dissip}} = 3 \cdot R'_r \cdot I_r^2 = 3 \times 0,195 \times 460^2 = 123.790 \text{ W} = 123,8 \text{ kW}$$

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Núcleo toroidal: $D_{ext} = 250 \text{ mm}$; $D_{int} = 200 \text{ mm}$; altura: $h = 25 \text{ mm}$; Bobina com $N = 300$ espiras

→ Comprimento médio do circuito magnético: $l_{med} = \pi \cdot (D_{ext} + D_{int})/2 = \pi \cdot (0,25 + 0,20)/2 = 0,707 \text{ m}$

→ Secção reta do núcleo: $S_n = h \cdot (D_{ext} - D_{int})/2 = 0,025 \times (0,25 - 0,20)/2 = 0,000625 \text{ m}^2$

→ Massa do núcleo: $G_n = \rho \cdot l_{med} \cdot S_n = 7.800 \times 0,707 \times 0,000625 = 3,45 \text{ kg}$

Permeabilidade relativa: $\mu_r = 2.500$

→ Permeabilidade absoluta: $\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = 2.500 \times 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 0,00314 \text{ H/m}$

a) (2 pontos)

Densidade de fluxo no núcleo toroidal para corrente contínua de 1,2 A:

Relutância magnética do núcleo toroidal:

→ $R = l_{med} / (\mu \cdot S_n) = 0,707 / (0,00314 \times 0,000625) = 360.255 \text{ H}^{-1}$

→ Força magnetomotriz de excitação: $F_{mm_{cc}} = N \cdot I_{cc} = R \cdot \Phi_{cc}$

Fluxo estabelecido no núcleo: $\Phi_{cc} = N \cdot I_{cc} / R = 300 \times 1,2 / 360.255 = 0,0010 \text{ Wb}$

→ Densidade de fluxo no núcleo: $B_n = \Phi / S_n = 0,0010 / 0,000625 = 1,6 \text{ Wb/m}^2$

b) (2 pontos)

Indutância da bobina:

Indutância:

→ $L = N^2 / R = 300^2 / 360.255 = 0,25 \text{ H} = \mathbf{250 \text{ mH}}$

c) (2 pontos)

Tensão alternada em 400 Hz para mesma densidade de fluxo anterior:

$E = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{max} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{max}$ → Mesma densidade de fluxo: $B_{max} = B_n = 1,6 \text{ Wb/m}^2$

→ $\Phi_{max} = B_{max} \cdot S_n = \Phi_{cc} = 0,0010 \text{ Wb}$

→ $E = 4,44 \times 400 \times 300 \times 0,0010 = 532,8 \text{ V}$

Reatância indutiva em 400 Hz: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \times 400 \times 0,25 = 628,32 \Omega$

→ Corrente eficaz absorvida: $I_{ef} = E / X_L = 532,8 / 628,32 = 0,848 \text{ A}$

d) (2 pontos)

Potência de perdas no núcleo:

Perda específica no núcleo, a $1,0 \text{ Wb/m}^2$ e 50 Hz: $p_r = 0,23 \text{ W/kg}$

Perda específica para a condição de utilização do núcleo: 1,6 Wb/m² e 400 Hz:

$p'_f = p_f \cdot (B_n/B_{ref})^2 \cdot (f/f_{ref})^2 \rightarrow$ para a parcela de perda foucault (predominante)

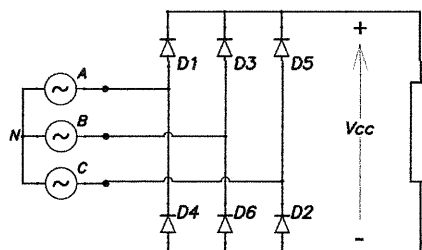
$\rightarrow p'_f = 0,23 \times (1,6 / 1,0)^2 \times (400 / 50)^2 = 37,68 \text{ W/kg}$

\rightarrow perda no núcleo toroidal: $P_f = p'_f \cdot G_n = 37,68 \times 3,45 = 130 \text{ W}$

5ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (1 ponto)

Esboço da configuração da ponte de Graetz:

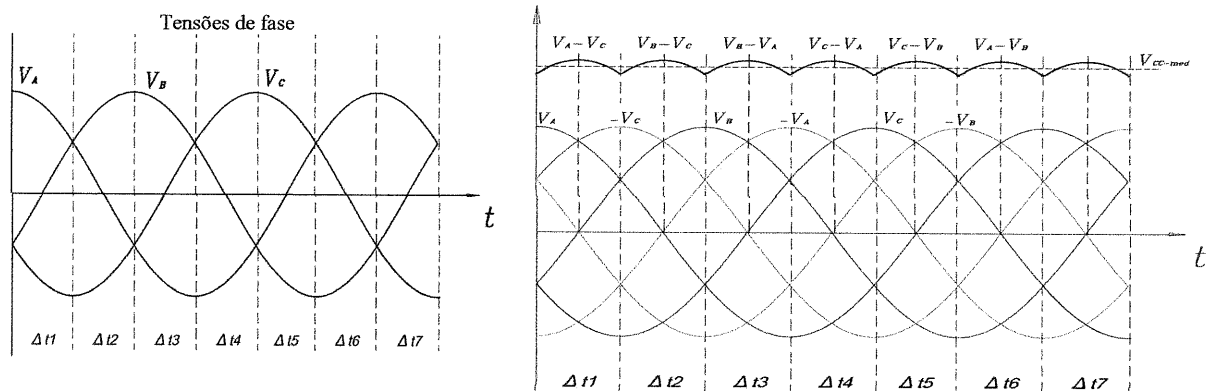


Diodos conduzem aos pares, D1-D2; D2-D3; D3-D4; D4-D5; D5-D6; D6-D1; D1-D2

b) (4 pontos)

Forma de onda da tensão retificada e períodos de condução:

\rightarrow Os diodos que conduzem são os que têm, em cada intervalo, o anodo com potencial mais positivo ao mesmo tempo em que o circuito se fecha pelo diodo com catodo submetido ao potencial mais negativo.



$\rightarrow \Delta t1$: Conduzem D1 e D2 $\rightarrow \Delta t2$: Conduzem D2 e D3 $\rightarrow \Delta t3$: Conduzem D3 e D4

$\rightarrow \Delta t4$: Conduzem D4 e D5 $\rightarrow \Delta t5$: Conduzem D5 e D6 $\rightarrow \Delta t6$: Conduzem D6 e D1

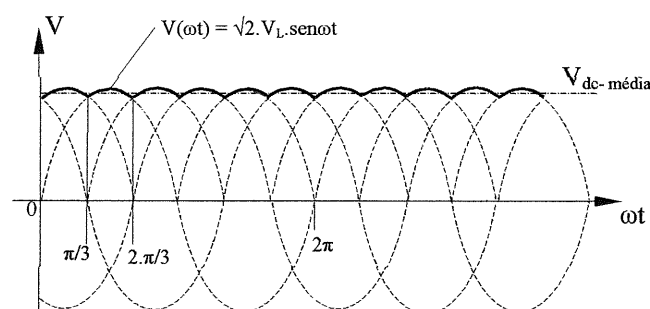
$\rightarrow \Delta t7$: Conduzem D1 e D2 repetindo o intervalo $\Delta t1$.

→ Em cada intervalo, a tensão sobre a carga é a diferença entre as tensões de fase que conduzem naquele intervalo.

- No intervalo Δt_1 : $V_{cc}(t) = V_a(t) - V_c(t)$ → No intervalo Δt_2 : $V_{cc}(t) = V_b(t) - V_c(t)$
 → No intervalo Δt_3 : $V_{cc}(t) = V_b(t) - V_a(t)$ → No intervalo Δt_4 : $V_{cc}(t) = V_c(t) - V_a(t)$
 → No intervalo Δt_5 : $V_{cc}(t) = V_c(t) - V_b(t)$ → No intervalo Δt_6 : $V_{cc}(t) = V_a(t) - V_b(t)$

c) (3 pontos)

Valor médio da tensão retificada:



Tensão média retificada:
$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \cdot \left[\int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} \cdot V_L \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t) \right]$$

→ $V_{dc} = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot V_L = 1,35 V_L = 1,35 \times 440 = 594 \text{ V}$

Corrente alternada eficaz na fonte:
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} [I(\omega t)]^2 \cdot d(\omega t)}$$

$I(\omega t) = \text{constante no intervalo de condução devido à indutância elevada da carga} \rightarrow I(\omega t) = I_{dc}$

→ $I_{ef} = (\sqrt{2}/\sqrt{3}) \cdot I_{dc} = 0,817 \cdot I_{dc} = 0,817 \times 250 = 204 \text{ A}$

→ Frequência de ondulação da tensão retificada: $f_{ond} = 6 \cdot f_n \rightarrow f_{ond} = 6 \times 60 = 360 \text{ Hz}$

6ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (4 pontos)

Os módulos das correntes serão :

$I_{\text{motor 1}} = 10000 / (1,73 \times 440 \times 0,8) = 16,42 \text{ A}$

$I_{\text{motor 2}} = 15000 / (1,73 \times 440) = 19,70 \text{ A}$

Os fasores das correntes serão :

$I_{\text{motor 1}} = 16,42 / \underline{\arccos(0,8)} = 16,42 / \underline{-37^\circ} \text{ A}$

$I_{\text{motor 2}} = 19,70 / \underline{\arccos(0,85)} = 19,70 / \underline{-32^\circ} \text{ A}$

Portanto :

$$I_{\text{total}} = 16,42 / \underline{-37^\circ} + 19,70 / \underline{-32^\circ} = 36,07 / \underline{-34,3^\circ} \text{ A}$$

b) (2 pontos)

As potências ativa, aparente e reativa do conjunto serão:

$$P_{\text{motor 1}} = 10 \text{ kW}$$

$$P_{\text{motor 2}} = 15 \times 0,85 = 12,75 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 22,75 \text{ kW}$$

$$S_{\text{motor 1}} = 10/0,8 = 12,5 \text{ kVA}$$

$$S_{\text{motor 2}} = 15 \text{ kVA}$$

$$Q_{\text{motor 1}} = 12,5 \times (\sin(\arccos(0,8))) = 7,5 \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{motor 2}} = 15 \times (\sin(\arccos(0,85))) = 7,9 \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{total}} = 15,4 \text{ kVAr}$$

$$S_{\text{total}} = \text{raiz} (P_{\text{total}}^2 + Q_{\text{total}}^2) = 27,47 \text{ kVA}$$

$$\cos \phi = P/S = 22,75/27,47 = 0,828$$

c) (2 pontos)

O banco de capacitores para corrigir o fator de potência para 0,92 do conjunto será :

$$F_i \text{ antes} = \arccos(P_{\text{total}}/S_{\text{total}}) = 34^\circ$$

$$F_i \text{ depois} = \arccos(0,92) = 23,07^\circ$$

$$Q_{\text{banco}} = P_{\text{total}} \times (\tan(F_i \text{ antes}) - \tan(F_i \text{ depois})) = 22,75 \times (\tan(34^\circ) - \tan(23,07^\circ)) = 5,65 \text{ kVAr}$$

O capacitor será dado por:

$$Q_{\text{banco de capacitores}} = 3 \times \omega \times C \times V_{\text{fase}}^2$$

Onde:

$$V_{\text{fase}} = 440/1,73 = 254,33 \text{ V}$$

$$\omega = 377 \text{ rad/s}$$

$$C = 77 \text{ } \mu\text{F}$$

7ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

As correntes de fase e de linha serão:

$$I_{AB} = 220/(10/\underline{-90^\circ}) = 22/\underline{90^\circ} \text{ A}$$

$$I_{BC} = 220/\underline{-120^\circ} / 10 = 22/\underline{-120^\circ} \text{ A}$$

$$I_{CA} = 220/\underline{120^\circ} / 10/\underline{90^\circ} = 22/\underline{30^\circ} \text{ A}$$

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = 22/\underline{150^\circ} \text{ A}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} = 42,5/\underline{-105^\circ} \text{ A}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} = 42,5/\underline{45^\circ} \text{ A}$$

b) (3 pontos)

Os dois watímetros medem :

$$W1 = V_{AB} \times I_A \times \cos(\text{ângulo entre } I_A \text{ e } V_{AB}) = 220 \times 22 \times \cos(210^\circ) = -4192 \text{ W}$$

$$W_2 = V_{CB} \times I_C \times \cos(\text{ângulo entre } I_C \text{ e } V_{CB}) = 220 \times 42,5 \times \cos(15^\circ) = 9031 \text{ W}$$

$$W_{\text{TOTAL}} = W_1 + W_2 = 4839 \text{ W}$$

c) (2 pontos)

O consumo de energia será dado por :

$$E = P \times \text{tempo} = 4839 \times 8 \times 365 = 14,13 \text{ MWh}$$

8ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (4 pontos)

A corrente de sequência zero será dada por

$$I_0 = 1/3(I_a + I_b + I_c) = 1/3(100 \angle 0^\circ + 120 \angle -90^\circ + 20 \angle 90^\circ) = 1/3(100 \angle 0^\circ + 100 \angle -90^\circ) =$$

$$I_0 = 142 \angle -45^\circ / 3 = 47,3 \text{ A} > 0,1 \times 100 = 10 \text{ A}$$

Logo, o relé irá atuar para essa corrente.

b) (4 pontos)

A corrente de sequência negativa, considerando que $\alpha = 1 \angle 120^\circ$, será dada por

$$I_- = 1/3(I_a + I_b \alpha + I_c \alpha^2) = 1/3(100 \angle 0^\circ + 120 \angle -90^\circ \times 1 \angle 120^\circ + 20 \angle 90^\circ \times 1 \angle -120^\circ) =$$

$$I_- = 1/3(100 \angle 0^\circ + 120 \angle 30^\circ + 20 \angle -30^\circ) = 1/3(221,5 \angle -2,6^\circ) = 73,83 \angle -2,6^\circ \text{ A} > 0,2 \times 100 = 20 \text{ A}$$

Logo, o relé irá atuar para essa corrente.

9ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (4 pontos)

$$I_1 = 1110 / 110 = 10 \text{ A e } I_2 = 2200 / 110 = 20 \text{ A}$$

$$I_{\text{corrigida } 1} = I_1 / (FCT \times FCA) = 10 / (1 \times 0,8) = 12,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{corrigida } 2} = I_2 / (FCT \times FCA) = 20 / (1 \times 0,8) = 25 \text{ A}$$

Para o circuito 1, consultando a tabela I, o cabo (Modo B, 2 condutores) será o 1,5 mm², pois sua corrente limite é de 17,5 A, maior que 12,5 A da corrente corrigida.

Para o circuito 2, consultando a tabela I, o cabo (Modo B, 2 condutores) será o 4 mm², pois sua corrente limite é de 32 A, maior que 25 A da corrente corrigida.

b) (4 pontos)

$$K_1 = e(\%) \text{ V} / (I_p \times L) = 0,02 \times 110 / (10 \times 0,010) = 22 \text{ V/Ax km}$$

$$K_2 = e(\%) \text{ V} / (I_p \times L) = 0,02 \times 110 / (20 \times 0,010) = 11 \text{ V/Ax km}$$

Para o circuito 1, consultando a tabela II, o cabo será o de 2,5 mm²(Modo B, 2 condutores), pois o K vale 16,9, que é menor que 22. Portanto, o critério de queda de tensão indica cabo de 2,5 mm².

Para o circuito 2, consultando a tabela II, o cabo será o de 1,5 mm²(Modo B, 2 condutores), pois o K vale 10,6, que é menor que 11. Portanto, o critério de queda de tensão indica cabo de 4 mm².

10ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (6 pontos)

Adotando

$$I = I1 + I2$$

Aplicando transformada de Laplace, obtém-se:

$$e0 = \left(\frac{1}{sC1} \right) I1 = \left((R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right) I2$$

Correntes das malhas:

$$I1 = \frac{(R2 + sL1) + \frac{1}{sC2}}{\left(\frac{1}{sC1} + (R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right)} * I$$

$$I2 = \frac{\frac{1}{sC1}}{\left(\frac{1}{sC1} + (R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right)} * I$$

Tensão na entrada:

$$e0 = \left(\frac{1}{sC2} \right) \left[\frac{\frac{1}{sC1}}{\frac{1}{sC1} + (R2 + sL1) + \frac{1}{sC2}} \right] * I$$

Tensão na saída:

$$ei = \left[\frac{R1 \left(\frac{1}{sC1} + (R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right) + \left(\frac{1}{sC2} \right) \left((R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right)}{\left(\frac{1}{sC1} + (R2 + sL1) + \frac{1}{sC2} \right)} \right] * I$$

Função de transferência:

$$\frac{e0}{ei} = \left[\frac{1}{s \left[s^2 (R1L1C1C2 + L1C1C2) + s(R1R2C1C2 + R2C1C2) + (R1C1 + R1C2 + C1) \right]} \right]$$

$$\frac{e_0}{e_i} = \left[\frac{1}{s \left[s^2 \left[(L_1 C_1 C_2 (R_1 + 1)) \right] + s \left[(R_2 C_1 C_2) (R_1 + 1) \right] + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + C_1) \right]} \right]$$

b) (2 pontos)

O número de polos e zeros do sistema:

Numero de polos = 3.

Número de zeros = 0.