ATIVIDADE

Disciplina: Sistemas Elétricos de Potência I	
Aula: 7	

Título: Sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC)

QUESTÃO 01

Uma máquina síncrona trifásica, de 250 MVA, 24 kV, 60 Hz está operando a tensão nominal, frequência nominal e potência aparente nominal com um fator de potência 0,8 indutivo. A resistência de armadura (estator) é desprezível. A tensão gerada interna é $E_f = 20\ \mathrm{kV}$:

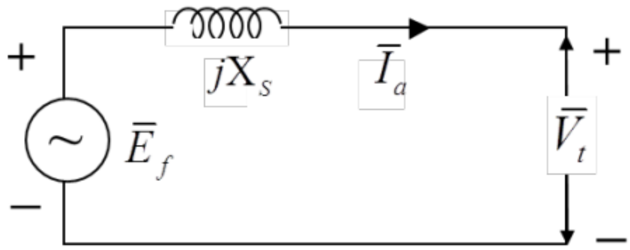
a) Desenhe o circuito equivalente por fase;

b) Determine o ângulo de potência δ com $\delta = \cos^{-1}\left(\frac{V_t \cos(\phi)}{E_f}\right) - \phi$, sendo ϕ a fase de $\bar{I}_a$;

c) O valor da reatância síncrona X_S.

Resolução da Questão 01

a) O circuito equivalente por fase



b) Use a tensão terminal (linha-neutro) $\bar{V}_t$ como referência. A corrente de armadura é

$$\bar{I}_a = \frac{S}{\sqrt{3}V_L}\angle -\cos^{-1}(PF) = \frac{250\times 10^6}{\sqrt{3}(24{,}000)}\angle -\cos^{-1}(0.8) = 6014.2\angle -36.87°\ \mathrm{A}$$

Dado que a potência elétrica convertida precisa ser igual à potência de saída:

$$3E_f I_a \cos(\varphi + \delta) = 3V_t I_a \cos\varphi$$

Aonde ϕ é a fase de $\bar{I}_a$ e o ângulo de potência é:

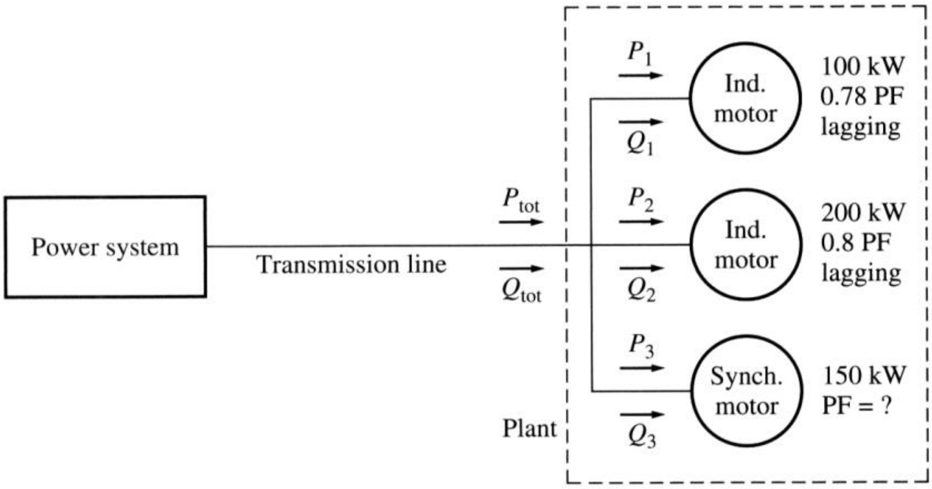
$$\delta = \cos^{-1}\left[\frac{V_t \cos\varphi}{E_f}\right] - \varphi$$

$$\delta = \cos^{-1}\left[\frac{\frac{24{,}000}{\sqrt{3}}(0.8)}{20{,}000}\right] - \cos^{-1}(0.8) = 19.47°$$

c) Sabendo que $\overline{E}_f = \overline{V}_t + j\overline{I}_a X_S$

$$X_s = \frac{\overline{E}_f - \overline{V}_t}{j\overline{I}_a} = \frac{20{,}000\angle 19.47° - \frac{24{,}000}{\sqrt{3}}\angle 0°}{(1\angle 90°)(6014.2\angle -36.87°)} = 1.38\ \Omega$$

QUESTÃO 02



*o termo *lagging* é equivalente ao fator de potência indutivo.

A figura é um sistema de potência com três cargas operando a 480 V. Carga 1 é um motor de indução consumindo 100 kW a FP = 0,78 indutivo. Carga 2 é um motor de indução consumindo 200 kW a FP = 0,8 indutivo e a carga 3 é um motor síncrono com consumo de potência ativa de 150 kW.

a) Se o motor síncrono é ajustado a FP = 0,85 indutivo, qual é a corrente de linha?
b) Se o motor síncrono é ajustado a FP = 0,85 capacitivo, qual é a corrente de linha?

c) Assumindo que as perdas na linha são $P_{LL} = 3I_L^2 R_L$, como essas perdas são caracterizadas em cada um dos dois casos anteriores?

Resolução da Questão 02

a) A potência real para a carga 1 é 100 kW, e sua potência reativa é

$$Q_1 = P_1 \tan\theta_1 = 100\tan\left(\cos^{-1} 0.78\right) = 80.2\ kVAR$$

A potência real para a carga 2 é 200 kW, e sua potência reativa é

$$Q_2 = P_2 \tan\theta_2 = 200\tan\left(\cos^{-1} 0.8\right) = 150\ kVAR$$

A potência real para a carga 3 é 150 kW, e sua potência reativa é

$$Q_3 = P_3 \tan\theta_3 = 150\tan\left(\cos^{-1} 0.85\right) = 93\ kVAR$$

A carga real total é

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 = 100 + 200 + 150 = 450\ kW$$

A carga reativa total é

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 80.2 + 150 + 93 = 323.2\ kVAR$$

O fator de potência do sistema é

$$PF = \cos\theta = \cos\left(\tan^{-1}\frac{Q_{tot}}{P_{tot}}\right) = \cos\left(\tan^{-1}\frac{323.2}{450}\right) = 0.812\ \ lagging$$

A corrente de linha é

$$I_L = \frac{P_{tot}}{\sqrt{3}V_L\cos\theta} = \frac{450\,000}{\sqrt{3}\cdot 480\cdot 0.812} = 667\ A$$

b) As potências ativas e reativas para as cargas 1 e 2 são as mesmas. Porém, a potência reativa da carga 3 agora é

$$Q_3 = P_3 \tan\theta_3 = 150\tan\left(-\cos^{-1} 0.85\right) = -93\ kVAR$$

A carga real total é

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 = 100 + 200 + 150 = 450\ kW$$

A carga reativa total é

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 80.2 + 150 - 93 = 137.2\ kVAR$$

O fator de potência do sistema é

$$PF = \cos\theta = \cos\left(\tan^{-1}\frac{Q_{tot}}{P_{tot}}\right) = \cos\left(\tan^{-1}\frac{137.2}{450}\right) = 0.957 \ \ lagging$$

A corrente de linha é

$$I_L = \frac{P_{tot}}{\sqrt{3}V_L \cos\theta} = \frac{450\,000}{\sqrt{3}\cdot 480\cdot 0.957} = 566\ A$$

c) A perda na linha de transmissão para o primeiro caso é

$$P_{LL} = 3I_L^2 R_L = 1334667\ R_L$$

A perda na linha de transmissão para o segundo caso é

$$P_{LL} = 3I_L^2 R_L = 961\,068\ R_L$$

Observe que as perdas na linha de transmissão são 28% menores no segundo caso, enquanto a potência real suprida para as cargas se mantém igual.

QUESTÃO 03

Um gerador síncrono (SG) com reatância síncrona X_S=0,32 pu é conectado a uma barra infinita (*grid* de potência) através de uma linha de transmissão com reatância X_L=0,2 pu. A tensão na barra é $V_t = 1\angle 0$ pu e o SG provê potência real P=1 pu a um fator de potência FP=0,95 indutivo.

a) Desenhe o circuito equivalente por fase;

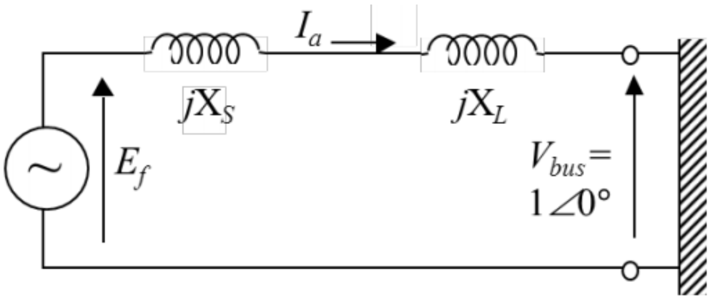
Determina

b) A corrente I_a que sai do SG para a barra infinita;

c) A tensão interna E_f do SG.

Resolução da Questão 03

a) O circuito equivalente por fase é



b) Pelo diagrama do circuito, a corrente I_a do SG para a barra infinita é

$$I_a = \frac{P\angle -\cos^{-1}(PF)}{V_t(PF)} = \frac{1\angle -\cos^{-1} 0.95}{1\times 0.95} = 1.05263\angle -18.195^\circ \text{ A per unit}$$

c) A tensão interna no SG é

$$\begin{aligned} E_f &= V_t + j(X_S + X_L)I_a \\ &= 1\angle 0^\circ + j0.52(1.05263\angle -18.195^\circ) \\ &= 1\angle 0^\circ + 0.54737\angle 71.805^\circ \\ &= 1.1709 + j0.5200 \\ &= 1.2812\angle 23.946^\circ \text{ V per unit} \end{aligned}$$

Bons Estudos!

Prof. Lucas Claudino