

2.1 Dois geradores síncronos estão montados no mesmo eixo e devem fornecer tensões em 60Hz e 50Hz, respectivamente. Determinar o número de pólos de cada máquina para que as mesmas sejam acionadas na maior velocidade possível.

2.2 Um turbogerador trifásico apresenta os seguintes parâmetros:

reatância síncrona	$x_s = 1,0$ pu
reatância de dispersão	$x_l = 0,1$ pu
resistência de armadura	$r_a \rightarrow$ desprezada

e opera sob as seguintes condições:

tensão terminal de fase	$E_t = 1,0 \angle 0$ pu
corrente de armadura	$I_a = 1,0 \angle (-30^\circ)$ pu

Obter a queda de tensão devido à reação de armadura, a tensão de fase em vazio e as potências ativa e reativa fornecidas pelo gerador.

2.3 Repetir o problema **2.2** para uma corrente de armadura igual a $1,0 \angle 30^\circ$ pu. Comparar os resultados.

2.4 Um gerador de pólos salientes apresenta $x_d = 100\%$ e $x_q = 60\%$. A máquina opera de forma que o módulo da tensão terminal seja igual ao módulo da sua tensão em vazio (1 pu) e o ângulo de potência é igual a 45° . Calcular a porcentagem da potência entregue pelo gerador que se deve à componente de relutância.

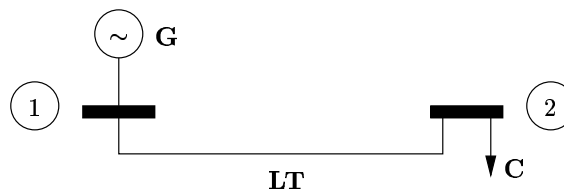
2.5 Considerar um turbogerador de pólos lisos conectado a uma rede que pode ser considerada *infinita*, ou seja, a rede é vista pelo gerador como uma barra cuja tensão permanece constante independentemente do que ocorra com o gerador. A tensão da barra infinita (tensão terminal do gerador) é igual a 1 pu.

Admitir que o gerador opere sobreexcitado, com tensão de excitação do campo igual a 1,5 pu e a potência ativa entregue é de 0,25 pu. Sua reatância síncrona é de 1 pu e a resistência pode ser desprezada. Considerar ainda que as potências ativa e reativa entregues pela máquina são:

$$P_G = \frac{V_t V_f}{X_s} \sin \delta \quad \text{e} \quad Q_G = \frac{V_t V_f}{X_s} \cos \delta - \frac{V_t^2}{X_s}$$

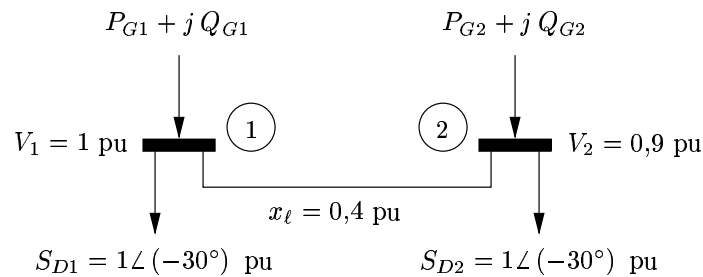
- (a) Para a condição de operação descrita, calcular o ângulo de potência e as potências reativa e aparente entregues pelo gerador.
- (b) O gerador é sujeito ao controle de conjugado. A válvula de vapor é acionada aumentando o conjugado em 100%, resultando em um aumento de 100% na potência ativa entregue (acoplamento forte entre conjugado do eixo e potência ativa). Calcular o novo ângulo de potência e as novas potências reativa e aparente. Verificar que para um aumento de 100% no conjugado a potência reativa diminui de 15% indicando um acoplamento fraco entre conjugado e potência reativa.
- (c) O gerador é sujeito ao controle de excitação de campo. Partindo do estado inicial (item (a)), a corrente de campo é aumentada de 20%. Admitindo que não haja saturação, a tensão de excitação também aumenta de 20%. Calcular o novo ângulo de potência e as novas potências reativa e aparente. Verificar que um aumento de 20% na excitação de campo resulta em um aumento de 63% na potência reativa entregue, indicando um acoplamento forte entre a tensão de excitação e a potência reativa.

- 2.6** Um gerador síncrono está funcionando sobreexcitado com uma tensão de excitação de 150%. A reatância síncrona vale 120% e a máquina fornece uma potência ativa de 0,4 pu. A tensão terminal é de 1 pu. O conjugado de acionamento do eixo é então aumentado de 1%. Determinar as variações percentuais das potências ativa e reativa fornecidas pela máquina.
- 2.7** Um gerador trifásico de pólos lisos de 16kV, 200MVA, apresenta perdas ôhmicas desprezíveis e uma reatância síncrona de 1,65 pu. O gerador está conectado a um barramento infinito de 15kV. A fem interna e o ângulo de potência do gerador são iguais a 24kV (de linha) e $27,4^\circ$, respectivamente.
- Determinar a corrente de linha e as potências ativa e reativa trifásicas fornecidas pelo gerador à rede.
 - O conjugado do eixo e a corrente de campo do gerador são alterados de forma que a corrente de linha seja reduzida de 25% mantendo o mesmo fator de potência do item (a). Calcular os novos valores da fem interna e do ângulo de potência.
 - O conjugado do eixo e a corrente de campo do gerador são alterados de forma que a corrente de linha mantenha-se no mesmo valor do item (b), porém, com fator de potência unitário. Calcular os novos valores da fem interna e do ângulo de potência.
- 2.8** O gerador síncrono do problema 2.7 está conectado a um barramento infinito de 15kV e fornece 100MVA de potência com um fator de potência de 0,80 atrasado.
- Determinar a fem interna, o ângulo de potência e a corrente de linha do gerador.
 - A corrente de campo é reduzida de 10% e o conjugado de eixo é mantido constante. Determinar o novo ângulo de potência e a potência reativa entregue à rede.
 - O conjugado do eixo é ajustado de forma a atender uma variação de carga e o novo fator de potência visto pelo gerador é unitário. A excitação de campo não é alterada. Determinar o novo ângulo de potência e a potência fornecida pelo gerador.
 - Calcular a máxima potência reativa que a máquina pode fornecer à rede para a mesma condição de excitação dos itens (b) e (c).
- 2.9** Um gerador de pólos lisos com uma reatância síncrona de 0,90 pu é ligado a uma barra remota por meio de uma linha de transmissão. A tensão na barra remota é de 1,0 pu (constante) e a impedância da linha é de $j0,15$ pu por fase. A tensão interna do gerador é mantida constante em 1,35 pu. Todos os valores em por unidade foram calculados com base nos valores nominais do gerador. Considerar a condição de operação que corresponde ao limite de estabilidade do conjunto gerador/linha.
- Calcular a potência ativa fornecida pelo gerador a uma carga conectada na barra remota.
 - Determinar se a máquina está sobrecarregada com relação à corrente de armadura.
 - Calcular as potências reativas fornecida pelo gerador e consumida na barra remota.
 - Calcular a tensão terminal da máquina.
 - Calcular o ângulo de potência do gerador e seu carregamento percentual em relação ao seu limite de estabilidade.
- 2.10** Considerar a rede elétrica de duas barras mostrada a seguir.



A potência da carga \mathbf{C} , $S_c = 5 + j 4$ pu, é suprida pelo gerador \mathbf{G} e transportada pela linha de transmissão \mathbf{LT} . A linha de transmissão é representada pelo seu modelo π em que a reatância série é igual a 0,05 pu (a resistência série é desprezada) e o carregamento *shunt* total é de 2/3 pu. A reatância síncrona do gerador vale 18%. A tensão da barra 2 deve ser mantida igual a 1 pu.

- Determinar a tensão da barra 1.
 - Calcular a potência fornecida pelo gerador.
 - Calcular a tensão interna do gerador. Verificar que a máquina opera sobreexcitada.
 - Calcular o limite de estabilidade do gerador.
 - Trace o diagrama fasorial completo para a rede, incluindo a tensão interna do gerador.
 - Repetir os itens de (a) a (d) para o caso em que a carga da barra 2 seja nula (horário noturno). Verificar que o limite de estabilidade neste caso será reduzido consideravelmente e que a máquina operará subexcitada.
- 2.11** Um gerador síncrono de pólos salientes alimenta uma barra infinita cuja carga tem potência aparente de 1,2 pu, fator de potência de 90% atrasado e tensão de 1,05 pu. A tensão de excitação do campo é de 1,4 pu quando o ângulo de potência é 15° . Calcular as reatâncias síncronas de eixo direto e quadratura da máquina. Desprezar a resistência de armadura.
- 2.12** Considerar a rede elétrica mostrada a seguir.



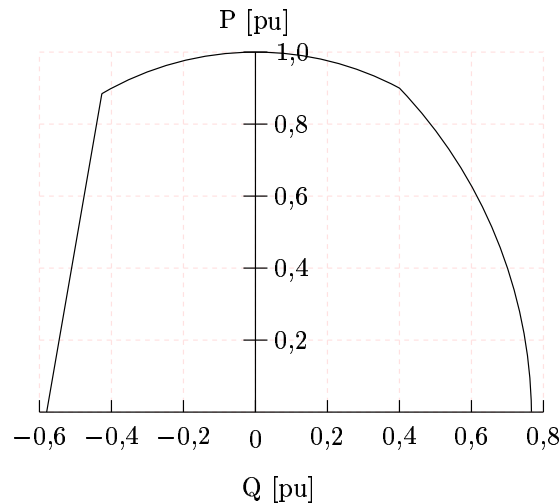
Os parâmetros (em p.u.) dos circuitos equivalentes dos geradores conectados às barras são os seguintes:

G_1	G_2
$x_d = 1,1$	$x_s = 1,0$
$x_q = 0,7$	$r = 0,1$

O gerador 2 fornece uma potência ativa de 1 pu à rede. Calcular:

- a abertura angular da linha de transmissão.
- as potências fornecidas pelos geradores.
- os fluxos de potência S_{12} e S_{21} .
- as perdas de potência na transmissão.
- as correntes de armadura dos geradores.
- as fem internas dos geradores. *Sugestão: para o cálculo da fem interna do gerador 1, ver: A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, S.D. Umans, Electric Machinery, 2nd. ed., Mc-Graw Hill, 1990, cap.5.*

- 2.13** Um gerador síncrono de pólos lisos apresenta as seguintes características: reatância síncrona de 1,67 pu, tensão de excitação máxima de 1,67 pu e tensão de excitação mínima de 0,2 pu. O gerador está conectado a uma turbina cuja potência máxima admissível é 1,0 pu. Sabe-se ainda que a potência aparente nominal da máquina é a máxima possível tal que ela não apresente problemas de estabilidade estática teórica (para $\delta = 90^\circ$).
- (a) Traçar a curva de capacidade do gerador para uma tensão terminal de 1,0 pu. Considerar uma margem prática de estabilidade estática correspondente a 10% da potência nominal.
- (b) Determinar o ângulo de potência máximo possível e as respectivas potências ativa e reativa.
- 2.14** Um gerador trifásico de pólos lisos, 60Hz, 635MVA, fator de potência 0,90, 24kV, 3600rpm, reatância síncrona igual a 172,41% possui um diagrama de capacidade mostrado a seguir.



O gerador fornece 508MW e 127MVar em 24kV a uma barra infinita. Calcular a fem interna utilizando:

- (a) o circuito equivalente do gerador.
- (b) o diagrama de capacidade do gerador.
- 2.15** Um gerador trifásico de pólos lisos está conectado a uma rede de grande porte que contém outros geradores. Ele possui as seguintes características:

Característica	Valor [pu]
tensão terminal	1,0
fem interna máxima	2,15
fem interna mínima	0,2
potência aparente nominal	1,9
reatância síncrona	0,8
potência da máquina primária	1,8

- (a) Traçar a curva de capacidade do gerador, considerando uma margem de estabilidade de 10°.
- (b) Determinar o fator de potência nominal do gerador.
- (c) O gerador fornece uma potência aparente igual a 2 pu, com fator de potência 0,8 atrasado à rede. Obter o ângulo de potência do gerador e a fem interna.
- (d) Fazer uma análise da condição de operação do gerador. Caso ele esteja operando com sobrecarga, discutir maneiras de aliviá-lo de forma a atender a demanda de potência.