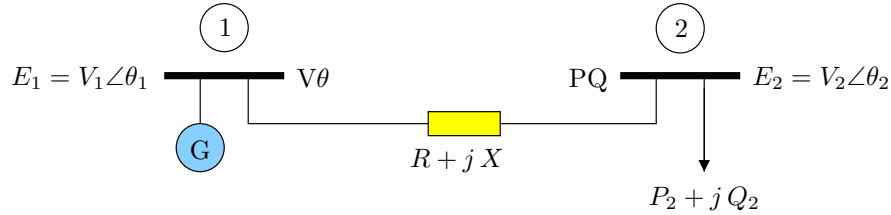


Capítulo 4

Resolução do problema de fluxo de carga pelo método de Newton

Exercícios

(1) Considerar a rede de duas barras e um ramo mostrada a seguir.



A barra *slack* tem tensão $E_1 = 1,0\angle 0^\circ$ pu e a impedância do ramo vale $(0,1 + j 1,0)$ pu. Pode-se mostrar que a tensão na barra de carga 2 pode ser obtida por:

$$V_2^4 + [2(P_2R + Q_2X) - V_1^2] V_2^2 + [(P_2^2 + Q_2^2)(R^2 + X^2)] = 0 \quad (1)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \text{sen}^{-1} \left(\frac{P_2X - Q_2R}{V_1V_2} \right) \quad (2)$$

- (a) (0,5) Considerar que potência consumida na barra de carga tenha fator de potência igual a $\sqrt{2}/2$ indutivo, ou seja, $P_2 = Q_2$. Obter a curva $[V_2 \times P_2]$ para $P_2 = 0; 0,02; 0,04; \dots; 0,18; 0,19; 0,195; 0,196; 0,197; 0,198; 0,20$. Verificar que, para cada valor de P_2 , duas das soluções da equação (1) são positivas. Elas serão chamadas de V_2^H (maior valor) e V_2^L (menor valor). Para cada valor de P_2 , V_2^H corresponde a um ponto de operação *estável*, e V_2^L corresponde a um ponto de operação *instável*. Verificar também que para $P_2 = 0,20$ pu não há solução real para (1).
- (b) (0,5) Pela forma da curva $[V_2 \times P_2]$ pode-se prever de forma intuitiva que as soluções V_2^H e V_2^L se encontram para um certo valor P_2^* , ou seja, para P_2^* tem-se $V_2^H = V_2^L = V_2^*$.
- Calcular P_2^* e V_2^* com base na equação (1).
 - Calcular θ_2^* com base na equação (2).

O ponto (V_2^*, P_2^*) é chamado de ponto crítico ou ponto de máximo carregamento e P_2^* corresponde à maior potência que pode ser entregue à barra 2 para as condições de geração e transmissão estabelecidas.

- (c) (0,5) Verificar que no ponto (V_2^*, P_2^*) a matriz Jacobiana do fluxo de carga pelo método de Newton é singular. Isso indica que a sensibilidade de V_2 em relação a P_2 no ponto crítico é infinita. Para pontos (V_2, P_2) na vizinhança de (V_2^*, P_2^*) essa sensibilidade é muito alta, significando que uma pequena alteração em P_2 resulta em uma grande variação de V_2 .
- (d) (0,5) Obter P_2^* caso a carga tivesse fator de potência unitário. Comparar com o valor obtido em (b).
- (e) (0,5) Propor uma maneira de aumentar P_2^* , ou seja, de aumentar a capacidade de transmissão da rede. Obter uma nova curva $[V_2 \times P_2]$ para essa situação, considerando fator de potência igual a $\sqrt{2}/2$.

(2) Considerar a rede de duas barras mostrada a seguir¹.



Barra	Tipo	P [pu]	Q [pu]	V [pu]	θ [°]
1	Vθ	-	-	1,0	0,0
2	PQ	-0,30	0,07	-	-

Linha	r [pu]	x [pu]	b^{sh} [pu] (*)
1-2	0,20	1,00	0,04

(*) carregamento total

- (0,5) Verificar que, para o caso convergido, as perdas de potência ativa na linha de transmissão são de aproximadamente 0,02 pu (utilizar as expressões gerais de fluxo de potência em ramos).
- (1,0) Obter o estado da rede para um aumento de 50% na carga da barra 2, mantido o fator de potência do cenário original. Mostrar a evolução do processo iterativo na forma de uma tabela com as variáveis relevantes. Verificar a variação percentual das perdas de potência na linha de transmissão em função do aumento de carga especificado.
- (0,5) Fornecer sugestões para aumentar a tensão na barra 2. Para uma das sugestões apresentadas, apresentar cálculos que comprovem sua eficácia.

(3) Considerar o sistema de três barras e três linhas cujos dados são mostrados a seguir.

Barra	Tipo	P [pu]	Q [pu]	V [pu]	θ [°]
1	Vθ	-	-	1,0	0,0
2	PQ	-0,05	-0,02	-	-
3	PV	-0,15	-	0,98	-

Linha	r [pu]	x [pu]	b^{sh} [pu] (*)
1-2	0,10	1,00	0,02
1-3	0,20	2,00	0,04
2-3	0,10	1,00	0,02

(*) carregamento total

- (0,5) Montar as seguintes matrizes:
 - matriz admitância $\mathbf{Y} = \mathbf{G} + j\mathbf{B}$, tomando como referência o nó terra.
 - matriz Jacobiana para *flat start* ($V = 1$ pu para barras PQ e $\theta = 0$ para barras PQ e PV).
 - matrizes \mathbf{B}' e \mathbf{B}'' de acordo com a seguinte definição²:

$$\begin{aligned} B'_{kk} &= -B_{kk} & B''_{kk} &= -B_{kk} \\ B'_{km} &= -B_{km} & B''_{km} &= -B_{km} \end{aligned}$$

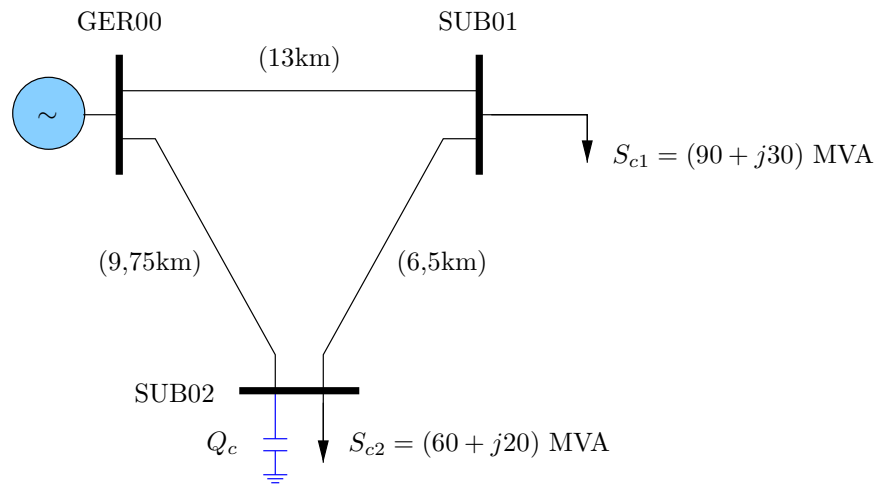
em que: (i) os elementos *shunt* são desprezados na matriz \mathbf{B}' ; (ii) as resistências dos ramos são desprezadas na matriz \mathbf{B}'' ; (iii) os elementos *shunt* são multiplicados por 2 na na matriz \mathbf{B}'' .

- (0,5) Montar o subsistema 1.
- (1,0) Obter as tensões das barras pelo método de Newton.
- (0,5) Obter os fluxos de potência ativa e reativa pelos ramos e a potência fornecida pela barra *slack*.
- (1,0) Obter as tensões das barras pelo método desacoplado rápido.
- (0,5) Comparar as matrizes obtidas nos itens (a) e (e).

¹Referência: A. Monticelli, Fluxo de carga em redes de energia elétrica, E. Blücher, 1983, p.89.

²Esta nova definição foi proposta como a chamada versão BX (a versão de Stott e Alsac foi chamada de XB) em: R.A.M. van Amerongen, "A general-purpose version of the fast decoupled loadflow", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.4, no.2, May 1989, pp.760-770.

(4) Considerar a rede elétrica de 130 kV cujo diagrama unifilar é mostrado a seguir.



Esta rede já foi utilizada na lista de exercícios referente ao capítulo 2. A impedância série de cada linha é igual a $(0,26 + j0,52) \Omega/\text{km}$ e o efeito capacitivo é desprezado.

- (1,0) Obter o estado da rede (tensões e potências em todas as barras e fluxos de potência por todos os ramos) sem o capacitor Q_c . As impedâncias das linhas em por unidade devem ser calculadas adotando 100 MVA como base de potência e a tensão de linha como base de tensão.
- (0,5) Obter o estado da rede (tensões e potências em todas as barras e fluxos de potência por todos os ramos) com o capacitor $Q_c = 102$ MVar. Comparar o estado obtido com o fornecido no enunciado do problema da lista de exercícios referente ao capítulo 2. Comparar os fluxos de potência pelos ramos com aqueles obtidos no item (a).