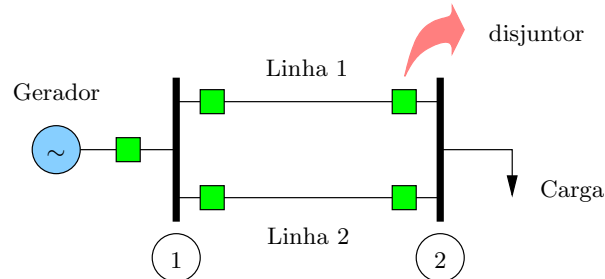

Capítulo 2

Formulação básica do problema de fluxo de carga

Exercícios

(1) A figura a seguir mostra o diagrama unifilar de um sistema elétrico de potência.

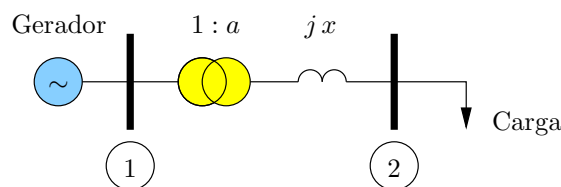


A tensão na barra 1 é mantida constante em 1,0 pu. A linha 1 é modelada como um circuito RL série com resistência igual a 0,1 pu e reatância igual a 0,3 pu. A linha 2 também é modelada como um circuito RL série com resistência igual a 0,2 pu e reatância igual a 0,6 pu. A carga da barra 2 é indutiva e variável, com fator de potência constante e igual a $1/\sqrt{2}$.

- (a) (0,5) Obter no mesmo gráfico as curvas PV ($[V_2 \times P_2]$) para as seguintes situações:
- rede em condições normais de operação, conforme mostrada na figura acima;
 - rede sob condição de contingência, em que a linha 2 está fora de operação;
 - rede sob condição de contingência, em que a linha 1 está fora de operação.

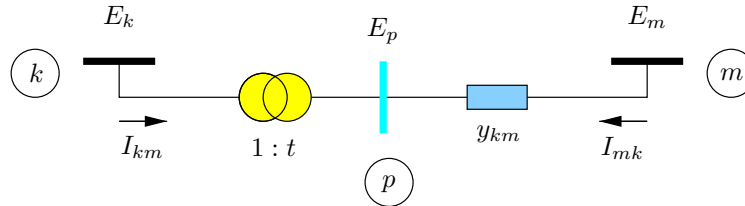
Estimar os carregamentos máximos permitidos para cada caso.

- (b) (0,5) Obter analiticamente o máximo carregamento e a correspondente tensão na barra de carga considerando as condições normais de operação. Comparar com os resultados obtidos no item (a).
- (c) (0,5) O equipamento de proteção do gerador inclui um relé de subtensão na barra de carga, ou seja, o disjuntor do gerador abre caso a tensão sobre a carga seja menor que um certo valor mínimo. O relé foi ajustado para $V_{\min} = 0,9$ pu. Considerar que em um determinado instante a potência aparente consumida pela carga seja igual a $\sqrt{2}/5$ pu. Determinar se a operação da rede é possível para este ajuste do relé, tanto em condições normais como para as condições de contingência.
- (d) (0,5) Determinar o carregamento máximo para o qual o relé de subtensão do gerador nunca atua, mesmo que a contingência mais severa ocorra.
- (2) Considerar o diagrama unifilar do sistema elétrico de potência mostrado a seguir.



A tensão na barra 1 é mantida constante em 1,0 pu. O transformador tem uma reatância igual a 0,5 pu. A carga da barra 2 é igual a $P_2 + jQ_2 = 0,5 + j0$ pu.

- (a) (0,5) Determinar a tensão (módulo e ângulo de fase) na barra de carga e as potências ativa e reativa fornecidas pelo gerador considerando que o tap do transformador esteja na posição nominal.
- (b) (0,5) Obter a posição do tap do transformador para que a tensão na barra de carga seja no mínimo igual a 1,0 pu. Considerar que a posição do tap pode variar de 0,9 a 1,1 em passos de 2%.
- (c) (0,5) Obter o modelo π do transformador para o valor do tap determinado em (b).
- (3) Considerar o transformador genérico de relação de transformação $1 : t$ (em que $t = ae^{j\varphi}$) mostrado na figura a seguir.

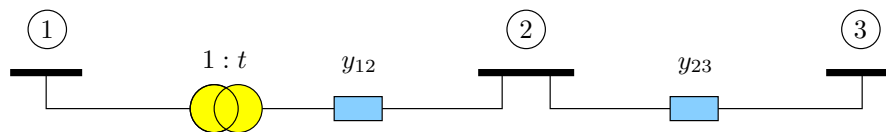


- (a) (0,5) Deduzir as expressões das correntes I_{km} e I_{mk} .
- (b) (0,5) Repetir o item (3)(a) para o caso em que a relação de transformação é modelada como $t : 1$.
- (c) (0,5) Repetir o item (3)(a) para os outros dois modelos possíveis para a representação do transformador, além dos citados anteriormente (admitância e transformador ideal em posições trocadas, com relações de transformação $1 : t$ e $t : 1$).
- (4) Considerar um sistema elétrico de potência constituído de três barras e três linhas de transmissão, cujos dados, em p.u. estão tabelados a seguir:

Linha			
de - para	r	x	$b^{sh} (*)$
1 - 2	0,10	1,00	0,10
1 - 3	0,20	2,00	0,20
2 - 3	0,10	1,00	0,10

(*) Carregamento total

- (a) (0,5) Montar a matriz admitância nodal \mathbf{Y} , tomando o nó terra como referência. Colocar a matriz \mathbf{Y} na forma $\mathbf{Y} = \mathbf{G} + j\mathbf{B}$, em que \mathbf{G} é a matriz condutância nodal e \mathbf{B} é a matriz susceptância nodal. Determinar a matriz impedância nodal \mathbf{Z} ($\mathbf{Z} = \mathbf{Y}^{-1}$).
- (b) (0,5) Considerar agora $b_{12}^{sh} = b_{13}^{sh} = b_{23}^{sh} = 0$. Calcular as matrizes \mathbf{Y} e \mathbf{Z} para o novo sistema, tomando a barra 1 como referência. Notar que não existem ligações para o nó terra. Logo, as matrizes \mathbf{Y} e \mathbf{Z} passam a ter dimensão (2×2) .
- (5) Considerar a rede de 3 barras e 2 ramos mostrada a seguir.



em que $t = a_{12}e^{j\varphi_{12}}$.

- (a) (0,5) Mostrar que a matriz admitância nodal para a rede é:

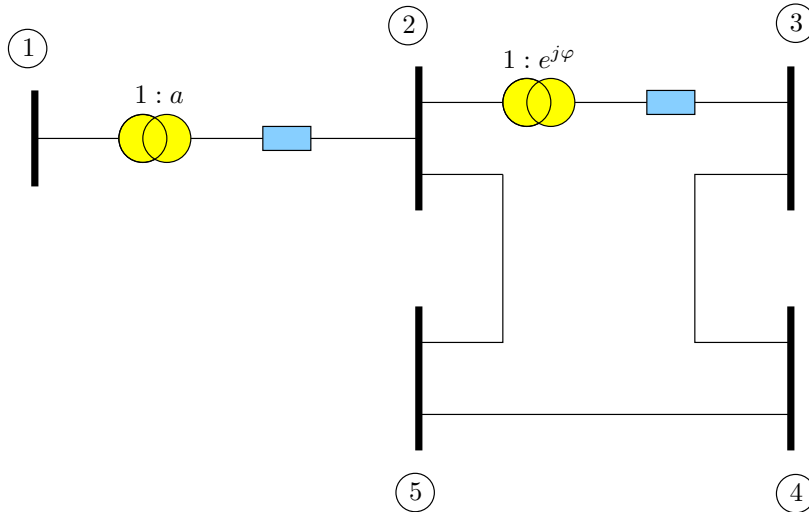
$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} |t|^2 y_{12} & -t^* y_{12} & 0 \\ -t y_{12} & (y_{12} + y_{23}) & -y_{23} \\ 0 & -y_{23} & y_{23} \end{bmatrix}$$

Sugestão: utilizar o procedimento dado em aula para a obtenção de $\mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{E}$.

(b) (0,5) Reescrever a matriz admitância nodal para:

- caso em que o transformador do ramo 1-2 é em fase ($t = a_{12}$). Verificar que para o elemento Y_{11} a admitância y_{12} aparece multiplicada por a_{12}^2 , enquanto que o mesmo não ocorre para o elemento Y_{22} . Verificar também que a matriz é numericamente simétrica.
- o caso em que o transformador do ramo 1-2 é defasador puro ($t = e^{j\varphi_{12}}$). Verificar que o ângulo φ_{12} não aparece nos elementos da diagonal. Verificar também que a matriz é numericamente assimétrica.

(6) Considerar a rede mostrada a seguir.

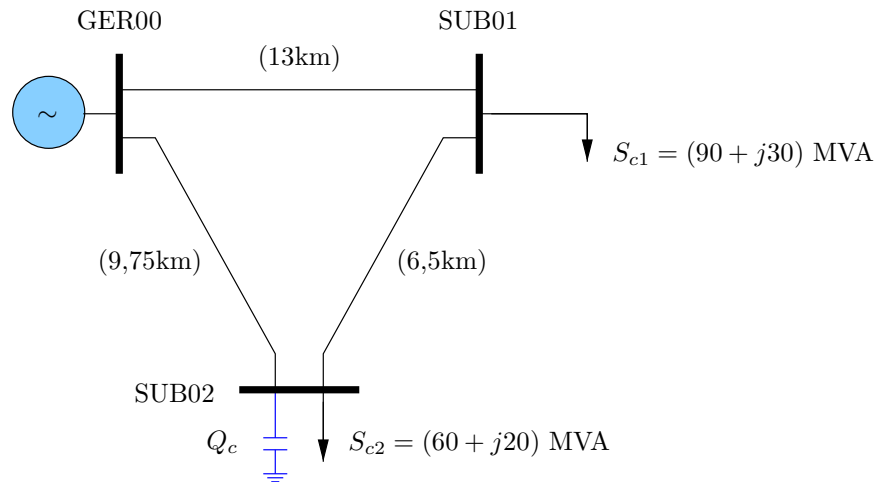


Os dados dos ramos são os seguintes:

Ramo	Tipo	r (pu)	x (pu)	b^{sh} (pu)	a	φ (radianos)
1-2	Trafo em fase	0,00	0,10	0,00	0,98	–
2-3	Trafo defasador	0,00	0,10	0,00	–	0,20
2-5	Linha	0,10	1,00	0,00	–	–
3-4	Linha	0,10	1,00	0,00	–	–
4-5	Linha	0,10	1,00	0,00	–	–

(*) Modelo do transformador: $1 : a$ conectado à barra inicial

- (a) (0,5) Calcular a matriz admitância nodal e escrever as equações das potências nodais para a rede.
- (b) (0,5) Repetir o item (a) utilizando a técnica apresentada em aula para tornar a matriz admitância numericamente simétrica;
- (c) (0,5) Calcular as potências ativa e reativa de cada barra da rede supondo uma condição de *flat start* para a rede (todas as tensões com módulo igual a 1 pu e ângulo de fase igual a 0) tanto para as equações obtidas em (a) como em (b). Comparar os resultados.
- (7) (Exame Nacional de Cursos 1998) A Companhia de Eletricidade do Vale Dourado dispõe de duas subestações de 130 kV alimentadas por um sistema de transmissão cujo diagrama unifilar é mostrado a seguir.



A impedância série de cada linha é igual a $(0,26 + j0,52) \Omega/\text{km}$ e o efeito capacitivo é desprezado. A Divisão de Operação da companhia executou o estudo de fluxo de carga desse sistema para três condições de carga e, baseado no período de carga máxima, decidiu que deveria ser instalado um banco de capacitores na SUB02, de forma a obter, nesse ponto, uma tensão de 1,0 pu. A tabela a seguir apresenta alguns resultados da execução de fluxo de carga do sistema, onde GER00 foi considerada como barra de balanço (*slack*).

Barra	Módulo da tensão (pu)	Fase da tensão (rad)
GER00	1,000	0,00000
SUB01	0,990	-0,03037
SUB02	1,000	-0,03039

- (a) (0,5) Determinar a impedância das linhas em pu, adotando 100 MVA como base de potência e a tensão de linha como base de tensão.
- (b) (0,5) Obter a potência do banco de capacitores instalado em SUB02 em MVar.