

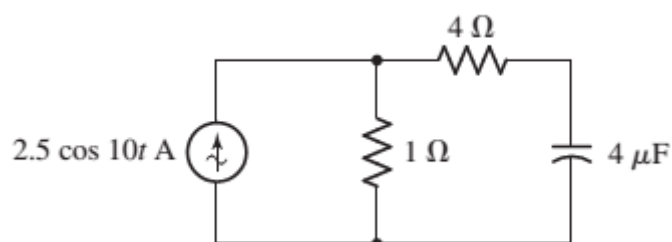
LISTA DE EXERCÍCIOS 1

TE158 – OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

ENGENHARIA ELÉTRICA – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Tópicos: Revisão de potência e análise nodal, cálculo de fluxo em linhas de transmissão, montagem da matriz de admitância, cálculo de fluxo linearizado

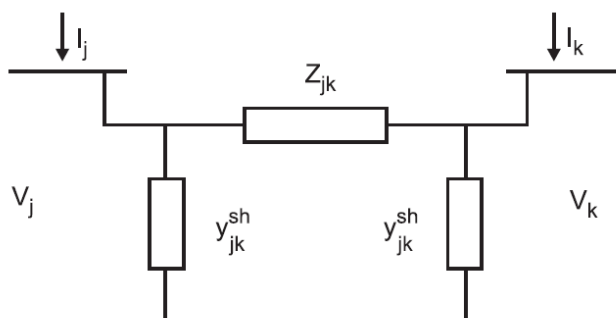
- 1) Assumindo que não há transitórios presentes, calcule a potência absorvida por cada elemento mostrado no circuito abaixo, em $t=0$, 10 e 20ms. (Exercício de revisão)



- 2) Com base nas quatro equações estáticas do fluxo de carga, em um sistema elétrico em alta tensão e em corrente alternada senoidal, considere as seguintes afirmativas (COPEL SEP, 2005):
- A potência ativa flui no sentido da tensão em atraso para a tensão em avanço.
 - A potência reativa flui no sentido da tensão com módulo maior para a tensão com módulo menor.
 - A impedância é a responsável pelo defasamento angular entre as tensões adjacentes.

Assinale as alternativas corretas:

- Somente a afirmativa I é verdadeira.
 - Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
 - Somente a afirmativa II é verdadeira.
 - Somente a afirmativa III é verdadeira.
 - Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- 3) Considere o sistema apresentado abaixo (ELETROBRAS, 2010):



Onde: I_j, I_k - Corrente injetada na barra j e k, respectivamente (A);

V_j, V_k - Tensão nodal da barra j e k, respectivamente (V);

Z_{jk} - Impedância entre a barra j e a barra k (ohm);

y_{jk}^{sh} - Admitância shunt (S).

A relação entre a corrente injetada e a tensão nas barras desse sistema pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$\begin{bmatrix} I_j \\ I_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_j \\ V_k \end{bmatrix}$$

Os valores de A, B, C e D são, respectivamente:

a) $\left(Z_{jk} + \frac{1}{y_{jk}^{sh}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(Z_{jk} + \frac{1}{y_{jk}^{sh}} \right)$

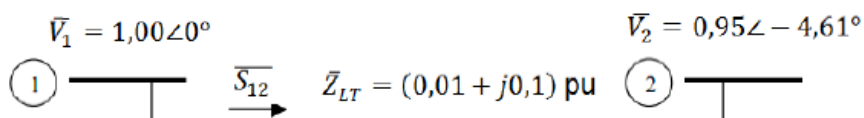
b) $\left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right)$

c) $\left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right)$

d) $\left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} - y_{jk}^{sh} \right)$

e) $\left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(-\frac{1}{Z_{jk}} \right), \left(\frac{1}{Z_{jk}} + y_{jk}^{sh} \right)$

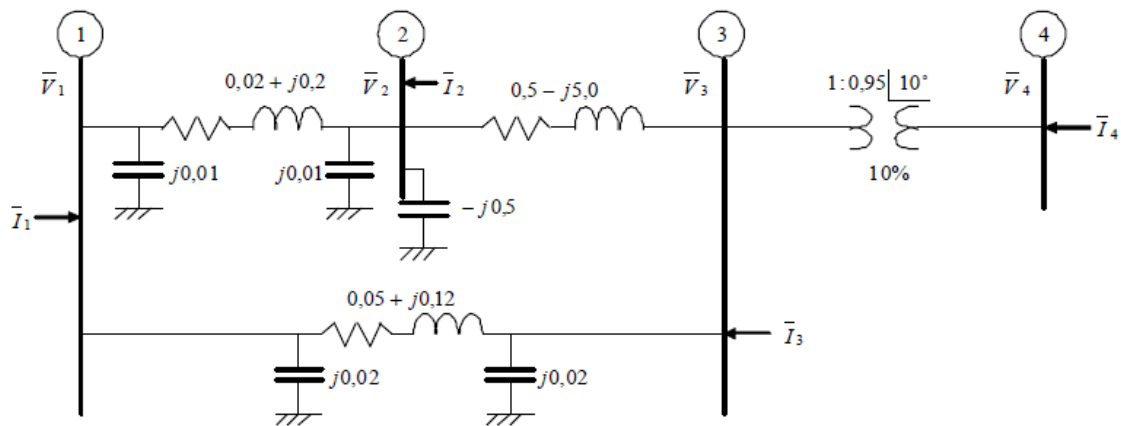
- 4) Dados os valores dos fasores de tensão nas barras 1 e 2 e a impedância das linhas de transmissão na figura abaixo, determine o fluxo de potência ativa e reativa que flui nos dois sentidos da linha e as perdas ativas da mesma.



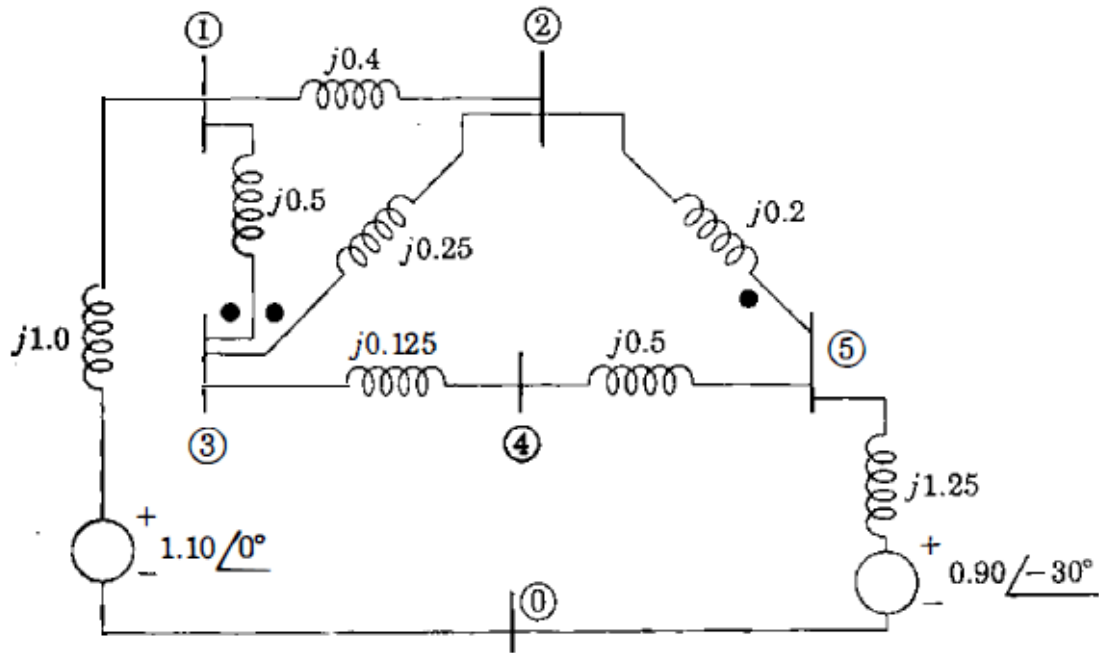
- 5) Considere um sistema constituído de três barras e três linhas de transmissão, cujos dados, em p.u. estão tabelados a seguir:

Linha	r	x	b ^{sh}
1 – 2	0,10	1,00	0,05
1 – 3	0,20	2,00	0,10
2 – 3	0,10	1,00	0,05

- a) Montar a matriz admitância de barras Y, tomando o nó terra como referência;
 b) Colocar a matriz Y na forma $Y = G + j B$, em que G é a matriz condutância nodal e B é a matriz susceptância nodal.
 c) Alteração provocada na matriz Ybarra com a inserção de um banco de capacitor com susceptância de 0,2pu
 6) Sabendo que os dados do circuito de 4 barras e 4 ramos (3 linhas e 1 transformador defasador com relação não nominal) da figura XX estão em grandezas normalizadas (pu), determine o solicitado:



- a) As expressões das injeções de corrente obtidas com a aplicação da Primeira Lei de Kirchhoff;
 b) A matriz admitância;
 c) Sabendo que os fasores tensões das barras são $\bar{V}_1 = 1 \angle 0^\circ$, $\bar{V}_2 = 0,95 \angle -5^\circ$, $\bar{V}_3 = 0,97 \angle -5^\circ$ e $\bar{V}_4 = 1,0 \angle 5^\circ$, determinar as injeções de corrente nas barras;
 d) Para as mesmas tensões do item anterior, determinas as injeções de potência nas barras e as perdas na rede de transmissão.
 7) Determine a matriz de admitância (Y) para o circuito abaixo. Considere que não há acoplamento mútuo entre nenhum dos ramos. Os valores apresentados são tensões e impedância em grandezas normalizadas (pu).



- 8) Considere uma linha de transmissão $k - m$ cujos parâmetros do modelo equivalente π são: $r_{km}=0,1$ pu, $x_{km}=1,0$ pu e $b_{km}^{sh}=0,05$ pu. As magnitudes das tensões das barras terminais são $V_k=1,0$ pu e $V_m=0,98$ pu; a abertura angular na linha é $\theta_{km}=15^\circ$. Calcule o fluxo de potência ativa P_{km} através do modelo linearizado (CC).

- 9) Considere o sistema de 4 barras, cujos dados encontra-se na figura e nas tabelas que seguem. Utilizando o modelo linearizado, determinar o estado da rede e a distribuição de fluxos no sistema. Indique os fluxos no diagrama unifilar e confira o balanço de potência em cada barra.

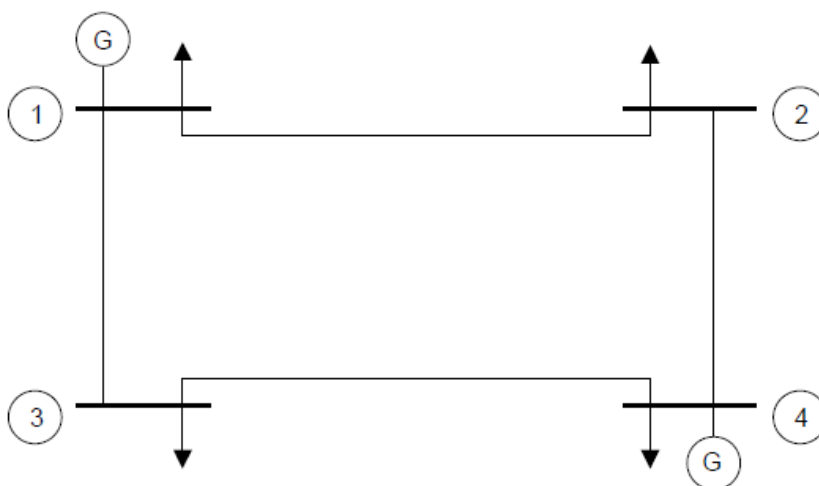


Tabela V.1 – Dados das linhas.

Linha	Impedância série	
	r [pu]	x [pu]
1-2	0,01008	0,05040
1-3	0,00744	0,03720
2-4	0,00744	0,03720
3-4	0,01272	0,06360

Tabela V.2 – Dados das barras.

Barra	V [pu]	θ [graus]	Geração		Carga	
			P [MW]	Q [Mvar]	P [MW]	Q [Mvar]
1	1,00	0	–	–	50	30,99
2	–	–	0	0	170	105,35
3	–	–	0	0	200	123,94
4	1,02	–	318	–	80	49,58

- 10) Considere a rede da na figura que segue, na qual o ângulo de referência é $\theta_1=0$. Calcule o fluxo de potência nas linhas através do método linearizado.

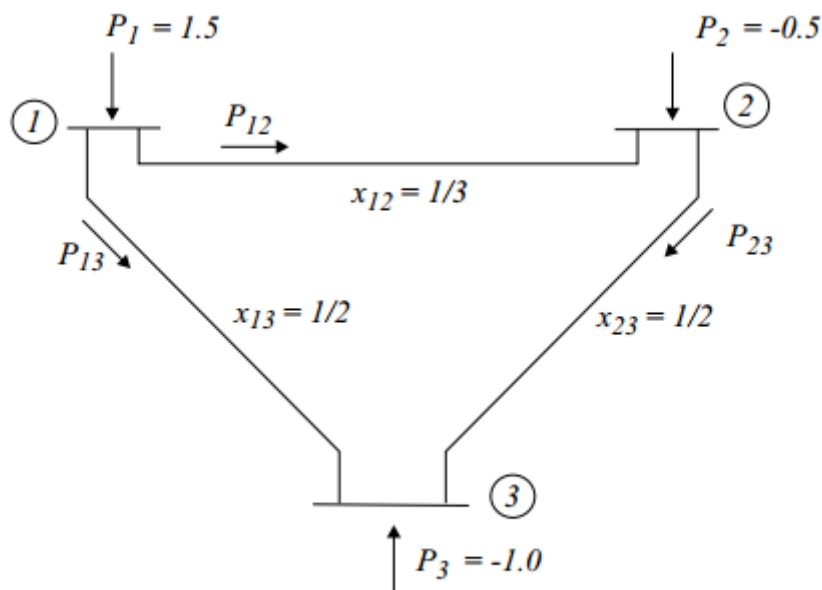


Figure 6.7. 3-bus network. (Active power in p.u.; branch reactances in p.u.)

- 11) Determine as expressões de fluxo de potência em transformadores reguladores “em fase” e defasadores a partir das expressões de correntes deduzidas em sala de aula.

RESPOSTAS

1)

$$\begin{aligned}
 p_{1\Omega}(0) &= 6.25 \text{ W}, p_{1\Omega}(10 \text{ ms}) = 6.19 \text{ W}, p_{1\Omega}(20 \text{ ms}) = 6 \text{ W} \\
 p_{4\Omega}(t) &\approx 0 \text{ for all time} \\
 p_{4\mu F}(t) &\approx 0 \text{ for all time} \\
 p_s(0) &= -6.25 \text{ W}, p_s(10 \text{ ms}) = -6.19 \text{ W}, p_s(20 \text{ ms}) = -6 \text{ W}
 \end{aligned}$$

2)

$$p_L(0) = 0 \text{ W}$$

$$p_L(1) = 12.54 \text{ W}$$

3)

Resposta: b)

4)

Resposta: e)

8)

$$\text{Resposta: } Y = \begin{bmatrix} -j5.5 & j2.5 & j2 & j0 & j0 \\ j2.5 & -j11.5 & j4 & j0 & j5 \\ j2 & j4 & -j14 & j8 & j0 \\ j0 & j0 & j8 & -j10 & j2 \\ j0 & j5 & j0 & j2 & -j7.8 \end{bmatrix}$$

10)

$$\begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0185 \text{ rad} \\ -0,0355 \text{ rad} \\ 0,0311 \text{ rad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1,0590^\circ \\ -2,0320^\circ \\ 1,7830^\circ \end{bmatrix}$$

Resposta:

11)

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= x_{12}^{-1} \theta_{12} = 3 \cdot 0.25 = 0.75 \text{ p.u.} \\
 P_{13} &= x_{13}^{-1} \theta_{13} = 2 \cdot 0.375 = 0.75 \text{ p.u.} \\
 P_{23} &= x_{23}^{-1} \theta_{23} = 2 \cdot 0.125 = 0.25 \text{ p.u.}
 \end{aligned}$$

Resposta:

Exercícios extraídos e adaptados das seguintes referências:

GRAINGER, John J.; STEVENSON, William D. Power system analysis. New York: McGraw-Hill, 1994.

HAYT Jr , W.H., KEMMERLY, J.E., DURBIN, S.M. Análise de Circuitos em Engenharia. Ed. Mc Graw Hill, 7ª. Ed., 2008.

Concurso ELETROBRAS, Engenheiro Eletricista, 2010.

Concurso COPEL, Engenheiro Eletricista Pleno – Sistemas Elétricos de Potência, 2005.

HAFFNER, Sergio. Análise de Sistemas de Potência. Material disponível em: < http://slhaffner.phpnet.us/analise_see_1/analise1.html >.