

# EEL 6300 - Planejamento da Operação de Sistemas de Potência

## Trabalho Computacional

03/09/2019

Escreva um programa em Matlab, Fortran ou C para resolver o problema de Fluxo de Potência Ótimo para minimização dos custos de produção, baseado em modelo linear para a rede e no método Primal-Dual de Pontos Interiores, considerando a existência de *transformadores defasadores* na rede de transmissão.

A saída de seu programa deve apresentar as potências geradas e os fluxos de potência nas linhas, as variáveis de folga associadas, os ângulos das tensões nas barras e os multiplicadores de Lagrange para as restrições de igualdade e desigualdade. Após a convergência, o programa deve apresentar os resultados da verificação das condições de otimalidade (factibilidade primal e dual) de Karush-Kuhn-Tucker.

Para modelar os transformadores defasadores (*TDs*), considere que o ramo  $k$ , que conecta as barras  $i$  e  $j$  é um trafo defasador. Então o fluxo de potência neste ramo é dado por

$$t_k = \frac{(\theta_i - \theta_j - \phi_k)}{x_k} \quad (1)$$

onde  $\theta_i$  e  $\theta_j$  são os ângulos das tensões nas barras  $i$  e  $j$ ,  $x_k$  é a reatância do elemento e  $\phi_k$  é a defasagem introduzida pelo *TD*. Genericamente, a relação entre o vetor de fluxos de potência nos ramos e os ângulos  $\theta$  e  $\phi$  passa agora a ser expressa como:

$$\mathbf{t} = \mathbf{\Gamma} (\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} - \mathbf{A}_\varphi \boldsymbol{\phi}) \quad (2)$$

onde  $A_\varphi$  é a matriz de incidência ramos-trafos defasadores, definida de forma similar à matriz de incidência barras-geradores,  $A_g$ , substituindo-se as barras pelos ramos e os geradores pelos *TDs*.

A presença dos *TDs* introduz as variáveis  $\phi$  como *novas variáveis de controle* no problema de FPO, em adição às potências geradas  $p_g$ . Os  $\phi$ 's também estão sujeitos a limites superiores e inferiores, isto é:

$$\underline{\phi}_k \leq \phi_k \leq \overline{\phi}_k \quad (3)$$

Observe que a existência de *TDs*, por afetar os fluxos de potência nos respectivos ramos, altera a expressão das injeções de potência nas barras, que passa a ser dependente também das defasagens  $\phi$ . No presente caso, deve ser usada a relação mais genérica  $\mathbf{p} = \mathbf{A}^T \mathbf{t}$ , com  $\mathbf{t}$  dado pela equação (2). Portanto:

$$\mathbf{p} = \mathbf{A}^T \mathbf{\Gamma} (\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} - \mathbf{A}_\varphi \boldsymbol{\phi})$$

ou, lembrando que  $\mathbf{B} = \mathbf{A}^T \mathbf{\Gamma} \mathbf{A}$  e definindo

$$\mathbf{B}_\varphi = \mathbf{A}^T \mathbf{\Gamma} \mathbf{A}_\varphi, \quad (4)$$

resulta que

$$\mathbf{p} = \mathbf{B}\boldsymbol{\theta} - \mathbf{B}_\varphi\boldsymbol{\phi},$$

sendo esta a expressão a ser usada na equação de balanço de potência para as barras do sistema considerando a presença dos *TDs* (restrição de igualdade do FPO com modelo linear para a rede).

Após formular o problema de FPO na presença de *TDs* e desenvolver o programa computacional para resolvê-lo, aplique o seu programa para determinar a solução que minimiza os custos de produção do sistema de 20 barras, 24 linhas, 3 geradores e 3 transformadores defasadores (*TDs*), cujos dados são fornecidos no anexo A. Observe que os *TDs* são indicados como *T1*, *T3* e *T4* na figura do Anexo A (*T2 é um transformador convencional*).

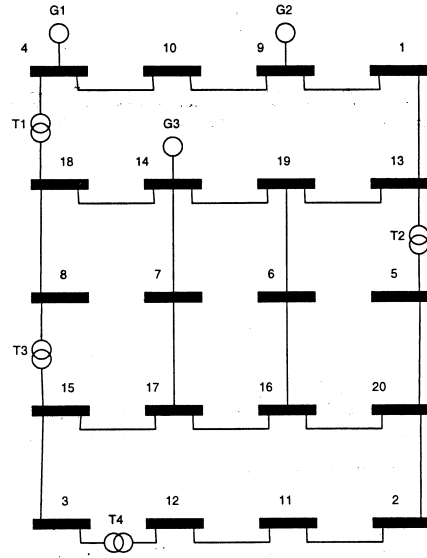
### Estudos de caso:

- Execute inicialmente seu programa ignorando a existência de trafos defasadores (isto é, supondo que todos os trafos são convencionais) e que os limites de transmissão estão abertos ( $= \pm 5,0 \text{ pu}$ , por exemplo). Em seguida, considere os efeitos dos três trafos defasadores;
- Compare os valores da função-custo, dos custos marginais de barra, potências geradas e, quando aplicável, ação dos *TDs*, para os casos seguintes:
  - Sem defasador e com limites de transmissão abertos;
  - Sem defasador e com limites de transmissão enfatizados em alguns ramos da rede, após ter selecionado tais ramos e enfatizado limites de transmissão que se tornarão ativos na ausência de *TDs*;
  - Considerando a ação de um, e posteriormente de dois e três defasadores atuantes na rede, na presença de limites de transmissão ativos;
  - Varie os limites sobre a defasagem  $\phi$  introduzida pelos defasadores e investigue os efeitos produzidos nos resultados (valor da função objetivo, custos marginais de barra, multiplicadores de Lagrange das restrições de desigualdade, etc).

## ANEXO A

### Sistema-teste

- Diagrama unifilar:



- Custos de produção e limites para os geradores (potências expressas em  $pu$ ):

$$F_1(p_1) = 561,0 + 792,0 P_1 + 15,65 P_1^2 \quad \underline{p}_1 = 0,50 \, pu \quad \bar{p}_1 = 2,00 \, pu$$

$$F_2(p_2) = 310,0 + 785,0 P_2 + 19,40 P_2^2 \quad \underline{p}_2 = 1,00 \, pu \quad \bar{p}_2 = 2,50 \, pu$$

$$F_3(p_3) = 78,0 + 797,0 P_3 + 48,20 P_3^2 \quad \underline{p}_3 = 1,00 \, pu \quad \bar{p}_3 = 3,00 \, pu$$

- Limites para os transformadores defasadores:

$TD$	$\phi_{\max}$ (rad.)	$\phi_{\min}$ (rad.)
$T_1$	0,20	-0,20
$T_3$	0,25	-0,25
$T_4$	0,25	-0,25

- Dados do Sistema:

Dados de Linhas e Trafos					Cargas	
Ramos	Da barra:	P/. barra:	$x(l)$	Limite	Bus	$p_L(i)$
1	1	9	0,10	5,0	1	0,5
2	1	13	0,05	5,0	2	0,0
3	2	11	0,20	5,0	3	0,5
4	2	20	0,08	5,0	4	0,0
5	3	12	0,12	5,0	5	0,0
6	3	15	0,10	5,0	6	0,5
7	4	10	0,07	5,0	7	0,0
8	4	18	0,09	5,0	8	0,5
9	5	13	0,15	5,0	9	0,0
10	5	20	0,10	5,0	10	0,0
11	6	16	0,05	5,0	11	0,0
12	6	19	0,12	5,0	12	0,5
13	7	14	0,20	5,0	13	0,2
14	7	17	0,12	5,0	14	0,0
15	8	15	0,08	5,0	15	0,7
16	8	18	0,15	5,0	16	0,3
17	9	10	0,05	5,0	17	0,0
18	11	12	0,07	5,0	18	0,8
19	13	19	0,10	5,0	19	0,0
20	14	18	0,12	5,0	20	0,0
21	14	19	0,08	5,0		
22	15	17	0,20	5,0		
23	16	17	0,12	5,0		
24	16	20	0,15	5,0		