EEL 6300 - Planejamento da Operação de Sistemas de Potência

1a. Lista de Exercícios - 2a. Parte

1. Os custos de geração térmica e as capacidades de geração de três produtores independentes de energia são:

Produtor	Custo ($\$/h$)	Capacidade (Mw)
1	$C_1(P_{g1}) = 80 + 10P_{g1} + 10^{-3}P_{g1}^2$	$200 \leqslant P_{g1} \leqslant 800$
2	$C_2(P_{g2}) = 140 + 8P_{g2} + 5 \times 10^{-3}P_{g2}^2$	$100 \leqslant P_{g2} \leqslant 400$
3	$C_3(P_{g3}) = 100 + 9P_{g3} + 8 \times 10^{-3}P_{g3}^2$	$120 \leqslant P_{g3} \leqslant 400$

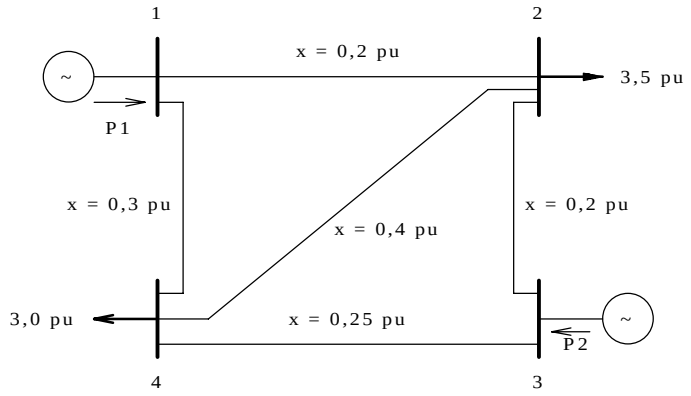
Com o intuito de participar do mercado de energia (ME) nas próximas duas horas, esses produtores submeteram ao Operador do Sistema Interligado (OSI) preços de venda por MW gerado iguais aos seus custos incrementais de geração. A obrigação do OSI é atender os consumidores à um custo mínimo. Desprezando as perdas e supondo que a demanda total a ser atendida pelos produtores independentes é de 800 MW na primeira hora e 1200 MW na segunda hora,

- calcule quantos MW 's o OSI requisitará de cada produtor a cada hora do intervalo considerado;
- De acordo com as regras do Mercado de Energia, cada produtor recebe por MW gerado um valor igual ao custo incremental do sistema. Qual será o lucro dos fornecedores a cada hora? A transação foi lucrativa para todos os fornecedores? Justifique.
- Ao final da segunda hora há uma tendência de aumento de carga e o OSI permite que novos produtores independentes ofereçam a sua geração de potência no mercado. Um produtor com custo incremental de geração igual a $13 + 10P_{g4}$ quer vender no ME. Será este novo produtor chamado a participar no ME? Justifique.

2. Seja o sistema de 4 barras da figura abaixo, cujos geradores apresentam os seguintes curvas de custo:

$$\begin{aligned} F_1(p_{1)} &= 100 + 785\ p_1 + 19,4\ p_1^2 \quad 1,0 \leq p_1 \leq 6,0\ pu \\ F_2(p_{2)} &= 50 + 648\ p_2 + 12,8\ p_2^2 \quad 1,0 \leq p_2 \leq 5,0\ pu \end{aligned}$$

As resistências dos ramos são desprezadas e a barra de referência é a barra 1. A base de potência é de $100\,MVA$.



(a) Considere inicialmente que não há limites de tranmissão atingidos. Calcule o despacho ótimo e os custos incrementais das barras (*Sugestão:* como não há limites de transmissão a serem considerados, represente o sistema em barra única e resolva o problema como um despacho econômico convencional);

(b) Suponha agora que limites de transmissão são impostos, conforme a tabela abaixo. Na mesma tabela e na tabela seguinte são indicados os resultados parciais de um FPO executado considerando os limtes de geração e transmissão, incluindo o custo incremental da barra de referência. Determine os custos incrementais para as barras 2, 3 e 4.

Ramo	$t_{i-j}\,(pu)$	$\underline{t}_{i-j}\,(pu)$	$\overline{t}_{i-j}\,(pu)$	π (\$ / MWh)
$1-2$	$1,231$	$-7,0$	$7,0$	$0,000$
$1-4$	$0,923$	$-3,0$	$3,0$	$0,000$
$2-3$	$-2,346$	$-7,0$	$7,0$	$0,000$
$2-4$	$0,077$	$-5,0$	$5,0$	$0,000$
$3-4$	$2,000$	$-2,0$	$2,0$	$2,864$

$p_1 = 2,154\ pu$	$p_2 = 4,346\ pu$	$\lambda_1 = 8,265\ \$\ /\ MWh$
Custo ótimo $= 4823\ \$/h$		
$\theta = [0\ \ -0,246\ 0,223\ \ -0,277]^T$		

(c) Compare os resultados dos itens a e b e justifique as diferenças nos custos de geração, despachos e custos incrementais nas barras.

3. Considere uma rede elétrica representada por modelo linearizado que possui transformadores defasadores (TDs) entre seus elementos. Se o elemento k, conectando as barras i e j é um trafo defasador, então o fluxo de potência neste elemento é dado por

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

onde θ_i e θ_j são os ângulos das tensões nas barras i e j, x_k é a reatância do elemento e ϕ_k é a defasagem introduzida pelo TD. Genericamente, a relação entre o vetor de fluxos nas linhas, t, θ e ϕ pode ser expressa como:

$$t = \Gamma\,(A\theta - A_\varphi\,\phi) \tag{2}$$

onde A_φ é a matriz de incidência elementos-trafos defasadores, cujos elementos são definidos como: $a_{\varphi,ij} = 1$, se o elemento i está conectado ao trafo defasador j, e $a_{\varphi,ij} = 0$ em caso contrário.

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

$$\underline{\phi}_k \leq \phi_k \leq \overline{\phi}_k \tag{3}$$

Observe também que a existência de TDs altera a relação entre as injeções de potência nas barras e os fluxos, dada por $p = (A^T\,\Gamma\,A)\,\theta = B\,\theta$ no caso em que não há TDs. No presente caso, deve ser usada a relação mais genérica $p = A^T\,t$, juntamente com a equação (2). Por conveniência de notação, defina, em adição à matriz B, a matriz:

$$B_\varphi = A^T\,\Gamma\,A_\varphi \tag{4}$$

Formule o problema genérico de FPO na presença de transformadores defasadores, supondo que a função-custo a ser minimizada é dada por:

$$c\left(p_g, \phi\right)$$

e que as restrições consistem nas equações de balanço individual de potência nas barras e nas desigualdades relativas aos limites sobre as variáveis de controle e sobre os fluxos nas linhas. Não é necessário definir a barra de referência nem introduzir variáveis de folga.