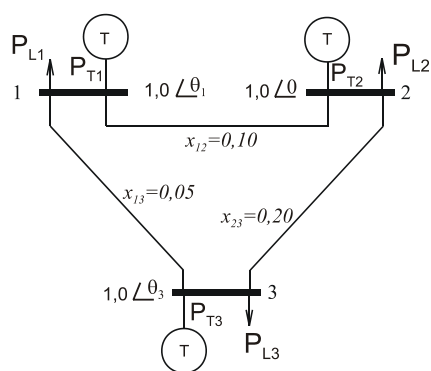


EEL 510299 - Planejamento da Operação de Sistemas de Potência

Exercício sobre Participação da Demanda e Serviços Ancilares

1. No sistema de potência da figura, os três geradores são térmicos e as cargas podem variar em função do preço da energia. Considera-se um ambiente de mercado *spot*, em que o preço da energia varia em base horária. As cargas nas barras 1 a 3, $p_{d1}(t)$, $p_{d2}(t)$ e $p_{d3}(t)$, variam em função do preço *spot*. Supondo-se conhecidas as características das cargas, deseja-se investigar a operação do sistema levando em conta a participação da demanda e procurando minimizar o *Custo Social*. Sabendo-se que:



- a) As funções *custo de produção* dos geradores e funções de *benefício dos consumidores* são dadas na tabela abaixo;
- b) A rede é representada por modelo linear, tendo o ângulo da barra 2 como referência angular;
- c) Os geradores estão sujeitos a limites máximo e mínimo de geração, $\underline{p}_{gi}$ e $\bar{p}_{gi}$, $i = 1, 2, 3$, o mesmo acontecendo com as demandas variáveis com preço, cujos limites são $\underline{p}_{dj}$ e $\bar{p}_{dj}$, $j = 1, 3$;
- d) Os consumidores nas barras 1 e 2 estão sujeitos a restrições *estritas* de consumo de energia durante todo o horizonte, sendo D_1 e D_2 os correspondentes, em *pu.h*;
- e) O consumidor na barra 3 é mais flexível, porém seu consumo de energia ao longo do horizonte de tempo não deve ultrapassar o valor de D_3 *pu.h*;
- f) Os limites de transmissão não necessitam ser representados,

formule um FPO dinâmico para um horizonte de 24 horas, com discretização horária, indicando a função-objetivo a ser otimizada, as restrições a serem satisfeitas em cada hora e as restrições intertemporais a serem cumpridas no horizonte considerado.

Funções Custo de Geração	Funções Benef. Cons.
$C(p_{g1}) = c_{1,1} p_{g1} + c_{1,2} p_{g1}^2$	$B(p_{d1}) = b_{1,1} p_{d1} - b_{1,2} p_{d1}^2$
$C(p_{g2}) = c_{2,1} p_{g2} + c_{2,2} p_{g2}^2$	$B(p_{d2}) = b_{2,1} p_{d2} - b_{2,2} p_{d2}^2$
$C(p_{g3}) = c_{3,1} p_{g3} + c_{3,2} p_{g3}^2$	$B(p_{d3}) = b_{3,1} p_{d3} - b_{3,2} p_{d3}^2$

1. Quatro geradores fazem ofertas (“*bids*”) para mercados competitivos de (a) energia, (b) serviços ancilares de reserva para CAG, $R1$, e (c) serviços ancilares de reserva girante para confiabilidade da operação, $R2$, conforme a tabela abaixo. Por simplicidade, considera-se uma única faixa de ofertas para cada um dos mercados, e limites mínimos de geração todos iguais a zero.

Ger.	Oferta de energia (\$/MWh)	Oferta de reserva $R1$ (\$/MWh)	Oferta de reserva $R2$ (\$/MWh)	Capac. ger. $\bar{P}$ (MW)	Máx. ofer. $\bar{R1}$ (MW)	Máx. ofer. $\bar{R2}$
1	2	0	4	250	-	110
2	17	0	0	230	-	-
3	20	8	7	240	50	90
4	28	10	5	250	60	100

Partindo da hipótese de que os mercados operam de forma centralizada, sendo administrados por um único operador (OM), e que a política adoptada pelo OM é a *otimização conjunta* dos mercados de energia e reserva, formule o problema de otimização correspondente supondo uma demanda de energia de 600 MW e um requisitos mínimos de reserva de 50 MW para CAG e 200 MW para reserva de confiabilidade. Denote por P_i a potência e por R_i^1 e R_i^2 as capacidades das reservas $R1$ e $R2$ supridas pelo gerador i , respectivamente. Sua formulação deve incluir:

- Função-objetivo, que considera tanto a remuneração dos provedores do mercado de energia quanto dos mercados de serviços de reserva;
- Atendimento da demanda;
- Atendimento do requisito de reserva;
- Limites de capacidades de geração ofertada;
- Limites de capacidades de reserva ofertadas;
- Limites de capacidade *física* das unidades geradoras para gerar P , $R1$ e $R2$.

Sugestão: Considerando que as ofertas de energia e de reserva são feitas sob a forma de preços incrementais modelados como funções constantes por partes, observe que a função-objetivo deve ser a integral das ofertas, e portanto representada por funções lineares por partes, para ambos os mercados, isto é:

$$F(\mathbf{P}, \mathbf{R}^1, \mathbf{R}^2) = \sum_{i=1}^N \alpha_i P_i + \sum_{j=1}^N \beta_j^1 R_j^1 + \sum_{k=1}^N \beta_k^2 R_k^2$$

onde P_i , R_j^1 e R_k^2 são as potências ofertadas e α_i , β_j^1 e β_k^2 são as respectivas ofertas de preço dos agentes de geração para os mercados de energia, reserva $R1$ e reserva $R2$, respectivamente. Observe também que restrições devem ser impostas para garantir o suprimento da demanda, os requisitos das reservas e os limites de capacidade e das potências ofertadas.