EEL 6300 - Planejamento da Operação de Sistemas de Potência

1a. Lista de Exercícios

1. As características entrada-saída de duas usinas térmicas podem ser expressas analiticamente como:

$$\begin{aligned} H_1(p_{1)} &= (25 + 2,3\,p_1 + 0,0062\,p_1^2) \times 10^6 \quad kcal\,/\,h \\ H_2(p_{2)} &= (35 + 1,5\,p_2 + 0,010\,p_2^2) \times 10^6 \quad kcal\,/\,h \end{aligned}$$

onde p_1 e p_2 estão expressos em megawatts. Além disso, sabe-se que:

- O poder calorífico do combustível da usina 1 é de 4000 $kcal\,/\,kg$, enquanto que para a usina 2 é de 5000 $kcal\,/\,kg$;
- O custo do combustível da usina 1 é de $0,55$ \$ $/\,ton$, enquanto que para a usina 2 é de $0,65$ \$ $/\,ton$.

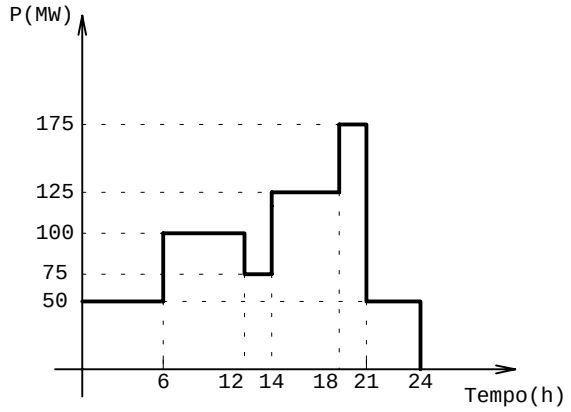
a) Calcule a taxa incremental de combustível em $kcal\,/\,MWh$ e o custo incremental de combustível em \$ $/\ MWh$ para as duas unidades;

b) Supondo que os custos de outros itens como mão-de-obra,manutenção, água, etc., correspondem a 10 % do custo incremental de combustível em cada usina, calcule o custo incremental de produção de cada unidade.

2. Um sistema de potência é alimentado por duas unidades térmicas cujos custos incrementais de produção são dados por:

$$\begin{aligned} F_1'(p_{1)} &= 27,5 + 0,165\,p_1 \quad \$\,/MW\,h \\ F_2'(p_{2)} &= 19,8 + 0,264\,p_2 \quad \$\,/MW\,h \end{aligned}$$

e os limites de geração de ambas as unidades são $\underline{p} = 10\,MW$ e $\overline{p} = 100\,MW$. A carga do sistema em um dia de semana típico varia conforme mostrado na figura abaixo:



Determine o despacho ótimo de geração para cada intervalo de carga constante. Despreze as perdas de transmissão.

3. As curvas de entrada-saída de duas usinas térmicas são expressas analiticamente como:

$$\begin{aligned} F_1(p_{1)} &= (80 + 8\,p_1 + 0,024\,p_1^2) \times 10^6 \quad kcal\,/\,h \\ F_2(p_{2)} &= (120 + 6\,p_2 + 0,040\,p_2^2) \times 10^6 \quad kcal\,/\,h \end{aligned}$$

   a) Represente graficamente as curvas de entrada-saída de cada unidade com a saída expressa em $kcal\,/\,h$ e a entrada em MW;

   b) Represente graficamente as curvas de taxa de calor de cada unidade em função das respectivas potências geradas;

   c) Considerando o custo de combustível de $0,50\,\$\,/ton$, calcule o custo incremental de produção em $\$\,/\,MWh$ para cada unidade e represente-o graficamente em função das potências geradas em MW;

   d) Considerando que as gerações máxima e mínima de ambas as unidades são respectivamente 10 MW e 120 MW, encontre o despacho ótimo de geração para as seguintes demandas:

   - 50 MW;
   - 200 MW.

   Supor que o poder calorífico dos combustíveis nas unidades 1 e 2 são respectivamente de 4000 $kcal\,/\,kg$ e de 5000 $kcal\,/\,kg$. Considere os custos de manutenção como 10 % dos custos incrementais de combustível.

4. Os custos incrementais para uma usina composta de duas unidades são dados por:

$$\begin{aligned} F_1'(p_{1)} &= 8,0 + 0,0080\ p_1 \quad \$\,/MW\,h \\ F_2'(p_{2)} &= 6,4 + 0,0096\ p_2 \quad \$\,/MW\,h \end{aligned}$$

   Supondo que ambas as unidades estão operando a todo instante, que a carga total varia de 250 a 1250 MW e que as cargas máxima e mínima par cada unidade são de 625 e 100 MW, respectivamente, ache o custo incremental e a alocação ótima de carga entre as unidades para os seguintes carregamentos: 250, 350, 533, 900, 1175 e 1250 MW.

5. Determine a economia em custo de combustível por hora para a distribuição econômica de carga entre as duas unidades do exemplo anterior para a carga de 900 MW em comparação com a distribuição igual da mesma carga entre as unidades.

6. Um sistema é constituido por duas usinas conectadas por uma linha de transmissão. A única carga está conectada à barra da usina 2. Quando 200 MW são transmitidos da usina 1 para a usina 2 a perda na linha é de 16 MW. Ache a geração de cada usina e a potência recebida pela carga quando o λ do sistema é de 12.50 $\$\,/\,MWh$. Supor que os custos incrementais das unidades podem ser aproximados como:

$$\begin{aligned} F_1'(p_{1)} &= 8,5 + 0,010\ p_1 \quad \$\,/MW\,h \\ F_2'(p_{2)} &= 9,5 + 0,015\ p_2 \quad \$\,/MW\,h \end{aligned}$$

7. No exemplo anterior, determine a economia em $\$\,/\,h$ obtida através da coordenação das perdas, em comparação com a aproximação de desprezá-las, para uma potência entregue à carga de $384\,MW$.

8. Os custos incrementais de produção de duas usinas são:

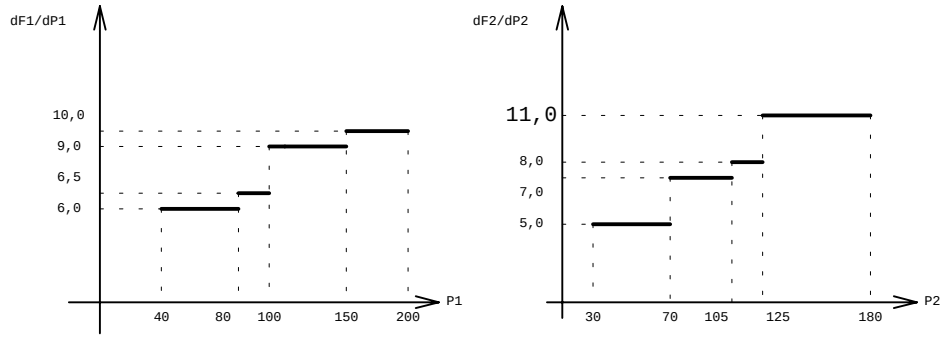
$$\begin{aligned} F_1'(p_{1)} &= 16 + 0,08\ p_1 \quad \$\,/MW\,h \\ F_2'(p_{2)} &= 12 + 0,08\ p_2 \quad \$\,/MW\,h \end{aligned}$$

e os coeficientes da matriz B de perdas são:

$$\begin{aligned} B_{11} &= 0,001 \\ B_{12} &= B_{21} \quad = \quad -0,0005 \\ B_{22} &= 0,0024 \end{aligned}$$

Para um custo incremental de 20 $\$\,/\,MWh$, determine o despacho econômico para as duas usinas.

9. As curvas abaixo representam os custos incrementais de duas usinas que compõem um sistema de potência. Construa uma tabela para determinar o despacho econômico das duas unidades desde a capacidade de geração mínima (70 MW) até a máxima (380 MW). Utilize-a então para determinar a alocação de geração de cada unidade e o custo incremental do sistema para os seguintes carregamentos: 120, 200, 250, 300 e 360 MW.



10. As curvas de custo de produção de 5 unidades térmicas que constituem um sistema de potência são dadas abaixo:

$$\begin{aligned} F_1(p_{1)} &= 10,0 + 5,0\ p_1 + 0,018\,p_1^2 && 30 \le p_1 \le 100\ MW \\ F_2(p_{2)} &= 8,0 + 5,8\ p_2 + 0,005\,p_2^2 && 20 \le p_2 \le 50\ MW \\ F_3(p_{3)} &= 15,0 + 6,0\ p_3 && 40 \le p_3 \le 80\ MW \\ F_4(p_{4)} &= 12,0 + 8,0\ p_4 && 10 \le p_4 \le 40\ MW \\ F_5(p_{5)} &= 10,0 + 5,0\ p_5 && 30 \le p_5 \le 100\ MW \end{aligned}$$

a) Determinar o custo incremental λ do sistema e o despacho econômico das unidades para os seguintes carregamentos do sistema: 150, 220, 250 e 320 MW;

b) Representar as curvas de custos incrementais das unidades no mesmo par de eixos e interpretar graficamente cada um dos resultados do item anterior;

c) Levantar a curva $\lambda \times P_L$, sendo P_L a carga total do sistema, desde a capacidade de geração mínima até a capacidade de geração máxima.

11. Considere um sistema de potência formado por n barras, n_l ramos e n_g geradores. Para simplificar o problema, suponha que as magnitudes de tensão das barras são todas iguais a $1,0\ pu$, e assim apenas as equações referentes às variáveis de potência ativa tornam-se de interesse. Formule o problema de fluxo de potência ativa ótimo para minimização dos custos de produção, com o auxílio das matrizes de incidência elementos-barras e barras-geradores. Utilize então o método primal-dual de pontos interiores, escreva a função Lagrangeana e deduza as condições de KKT para o problema. Finalmente, deduza as equações do método de Newton para o problema, apresentando as matrizes Hessianas e vetores-gradiente relativos ao problema. Conclua apresentando o sistema linear do método de Newton a ser resolvido a cada iteração, sem reduções de variáveis.