Operação de Sistemas de Potência em Ambientes Desregulamentados

A. Simões Costa

Federal University of Santa Catarina
LABSPOT – Grupo de Sistemas de Potência
Florianópolis, SC

Preço Instantâneo ("Spot Price")

Surgiu da tentativa de cumprir os seguintes objetivos:

- *Liberdade de escolha do consumidor* quanto à utilização, custo e confiabilidade de fornecimento de energia;
- *Eficiência econômica*: motivar consumidores a ajustar padrões de consumo aos custos marginais das concessionárias;
- *Eqüidade*: reduzir subsídios cruzados $\Rightarrow$ contas de consumo refletem custos das concessionárias;
- *Controle, Operação e Planejamento*: considera requisitos técnicos de Engenharia p/. controlar, operar e planejar o sistema.

Mercado de Energia

Baseado em:

- Noção de "spot price";
- Lei da oferta e da procura;
- Concessionária + consumidores agem em conjunto para obter máximo benefício para utilização da EE.

Componentes para o sucesso do ME:

- *Do lado do suprimento*: custos aumentam com demanda;
- *Do lado da demanda*: demandas variáveis, que podem se adaptar à variação de preços;
- *Mecanismos de mercado* para compra e venda de EE;
- *Comportamento não-polarizado* dos consumidores;
- *Comportamento não-monopolístico* dos supridores.

(Primeiros 4 itens ok para EE; 5º item requer regulação, para limitar as condições e incentivos ao comportamento monopolístico)

Características do ME

- Projetado para acomodar questões tipicamente de Engenharia associadas à operação e controle de sistemas de potência;
- Todas as transações concessionária-consumidor baseadas em uma única quantidade, que é o preço de energia variável hora-a-hora *(spot price);*
- O *spot price* é determinado pela demanda naquela hora e pelos custos variáveis no tempo ligados às capacidades de geração, transmissão e distribuição;
- Existência de *realimentação em malha fechada* entre concessionária e consumidores.

Etapas para adoção do ME:

Três etapas:

1. Definição de *spot prices* horários e avaliação de seu comportamento;
2. Especificação de um conjunto apropriado de transações concessionária-consumidor baseadas nos *SPs*;
3. Implementação, levando em conta as necessidades e possibilidades da concessionária e consumidores.

Definição da preço instantâneo:

- Baseada em custos marginais;
- Depende a cada hora das variações horárias de:
  - custos de produção de EE;
  - capacidade de geração;
  - perdas e limites de transmissão;
  - padrões de demanda dos consumidores.

Definição das Transações:

- Baseadas na tarifa (1 h. à frente, 24 hs. à frente, tarifa plana);
- De curto prazo: interruptíveis, a preço baixo;
- De longo prazo: preço fixo a quantidade fixa (consumidor compra "seguro" para garantir suprimento).

Implementação das Transações

- Cálculo dos *SPs* em tempo real;
- Medição-comunicação-cobrança;
- Uso do preço como um novo "sinal" nos COS's.

Definição do Preço Instantâneo Horário

O *preço instantâneo para o consumidor k na hora t*, em \$/kWh, é o custo marginal para fornecer energia elétrica ao consumidor k *durante a hora t levando em conta custos operacionais e de capital*.

Expressão Matemática do *Spot Price*

Matematicamente, se definirmos:

$$\begin{aligned} \rho_k(t): &\quad \text{preço inst. horário p/. cons. } k \text{ na hora } t \ (\$/KWh) \\ d_k(t): &\quad \text{Demanda do consumidor } k \text{ na hora } t \ (KWh) \end{aligned}$$

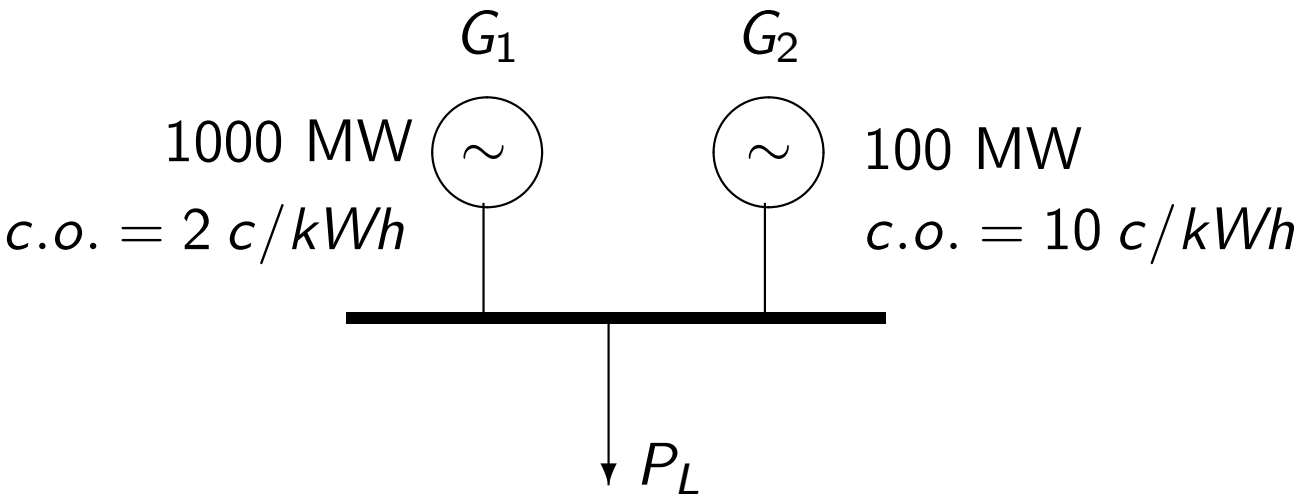
então

$$\rho_k(t) = \frac{\partial\,(\text{Custo total de suprir EE a todos os cons.})}{\partial d_k(t)}$$

sendo o cálculo desta derivada sujeito às seguintes restrições:

- Balanço de potência: *geração* $=$ *carga* $+$ *perdas;*
- Limites de geração;
- Leis de Kirchhoff;
- Limites de transmissão.

Exemplo A:



Supondo que os geradores são despachados economicamente, temos:

P_L (MW)	Custo da Concessionária $(\$/h)$	Custo Operacional Médio (c/kWh)	ρ $(c/kWh$
1000	$1 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-2} = 20000$	$\dfrac{20000 \times 10^2}{1 \times 10^6} = 2$	2
1100	$20000 + 10000 = 30000$	$\dfrac{30000 \times 10^2}{1,1 \times 10^6} = 2,72$	10

Exemplo A*(cont.)*

- Benefício do consumidor = 5 c/kWh;
- Consumidores agem de acordo com seus melhores interesses.

Benefício social $\triangleq$ (Benef. consumidor)-(Custo oper. concessionária);

Se consumidores pagam:	Carga (MW)	B ($)	C ($)	BS ($)
Spot price: a demanda será cortada em 1000 MW	1000	50000	20000	30000
Custos operacionais médios: demanda irá a 1100 MW	1100	55000	30000	25000

Conclusão:

O benefício social é maior se os consumidores utilizam *spot price*.

Exemplo B:

Re-examinar o problema se o benefício do consumidor passa a ser de 15 c/kWh.

Solução: Neste caso, teremos:

Carga (MW)	B ($)	C ($)	BS ($)
1100	$0,15 \times 1100 \times 10^3 = 165000$	30000	135000

O faturamento da concessionária será:

Se os consumidores pagam:	Faturamento	Lucro
Spot price:	$110000^{(1)}$	$\mathbf{80000}^{(2)}$
Custos médios de operação:	$30000^{(3)}$	$\mathbf{0}^{(4)}$

(1) $\rho \times d = 10\ c/kWh \times 1100\ MW = 110000$;
(2) $110000 - 30000 = 80000$;
(3) $c.o. \times d = 2,72\ c/kWh \times 1100\ MW = 30000$;
(4) $30000\ -\ (custo\ oper.\ concess.) = 0$

Componentes do Preço *Spot*

$\lambda(t)$: Traduz custos de produção e manutenção;

$\gamma_{QS}(t)$: Qualidade de suprimento de geração;

$\eta_{L,k}(t)$: Traduz efeitos de $d_k(t)$ sobre as perdas de transmissão;

$\eta_{QS,k}(t)$: Qualidade de suprimento da rede (efeito de $d_k(t)$ sobre congestionamentos de transmissão).

$$\rho_k(t) = \underbrace{\lambda(t) + \eta_{L,k}(t)}_{\textit{Custo Operacional}} + \underbrace{\gamma_{QS}(t) + \eta_{QS,k}(t)}_{\textit{Qualidade de Suprimento}}$$

Outros possíveis componentes do Preço *Spot*

$\gamma_R(t)$: Retorno de investimento na geração;

$\eta_R(t)$: Retorno de investimento na transmissão.

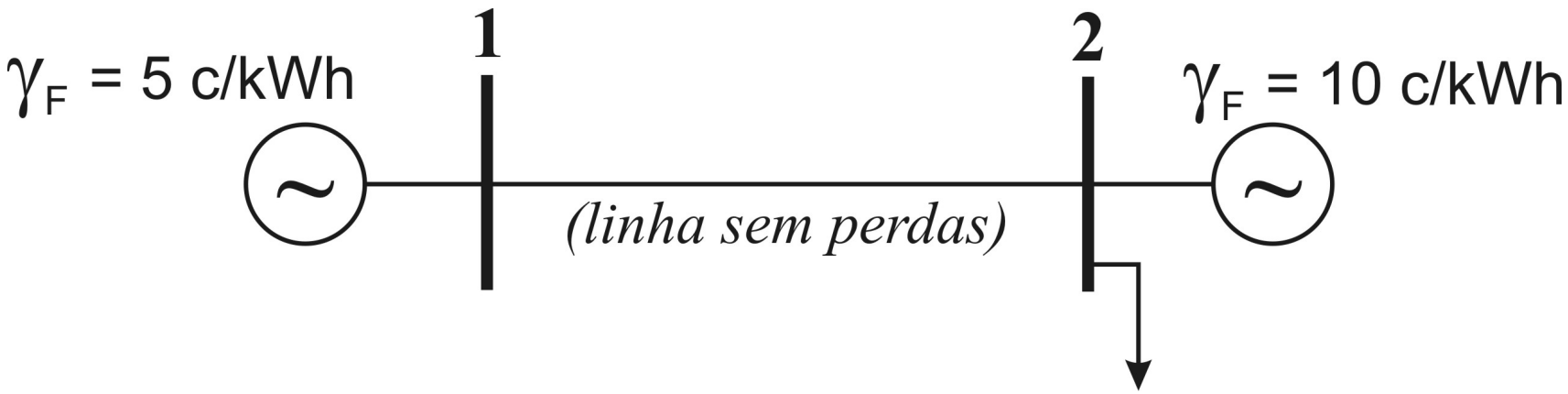
- Visam modificar o preço pago pelos consumidores para remunerar os investimentos feitos pela concessionária em geração e transmissão;
- Devem ser adicionados aos demais componentes do preço instantâneo.

Exemplo C:

Considere o sistema de potência apresentado abaixo. Determine os preços "spot" nas barras e seus componentes de custos de produção e qualidade de suprimento da rede nos seguintes casos:

a) Supondo que a capacidade da linha é suficiente para transportar toda a carga;

b) Se a capacidade da linha é menor do que a carga.



Solução:

1. Se a capacidade da linha é suficiente, então

$$\lambda = 5\ c/kWh \quad \text{e} \quad \eta_{QS,1} = \eta_{QS,2} = 0$$
$$\rho = 5\ c/kWh \text{ para ambas as barras.}$$

2. Se a capacidade da linha for menor que a demanda, teremos:

$$\begin{array}{lll} \textbf{Barra 1:} & \rho_1 = 5\ c/kWh & \\ \textbf{Barra 2:} & \rho_2 = 10\ c/kWh & = \underbrace{5c/kWh}_{\lambda} + \underbrace{5c/kWh}_{\eta_{QS,2}} \end{array}$$

e portanto

$$\eta_{QS,1} = 0\ c/kWh \quad \text{e} \quad \eta_{QS,2} = 5\ c/kWh$$

Isto é, os componentes de custo marginal de qualidade de suprimento da rede são iguais às diferenças entre os valores de custos marginais de cada uma das barras nas situações com e sem congestionamento.

Modelos de Mercado de Energia em Ambiente Desregulamentado

Consideram-se três tipos de modelos:

- Modelo *Pool;*
- Modelo Bilateral;
- Modelo Misto.

Modelo *Pool*

- Modelo fortemente centralizado;
- Todas as transações de compra e venda de energia elétrica/serviços realizam-se através de um ente centralizador;
- Vendedores e compradores fazem ofertas/lances em termos de preços e quantidades de energia ao operador do *Pool*;
- O operador determina quais os ofertas são aceitáveis, de modo a assegurar:
  - o balanço de potência e
  - a segurança do sistema.

Características do Modelo *Pool*

- *Principal vantagem:* não há necessidade de definir a transmissão, os usuários nunca "transmitem" potência sobre a rede, simplesmente vendem-na em alguns nós e compram-na em outras.
- Desvantagens:
  - Possível relutância quanto à aceitação por parte usuários: se
    - problemas de congestionamentos de transmissão tornam-se freqüentes, ou
    - se há incerteza quanto aos preços,

    agentes podem preferir transações diretas entre geradores e consumidores, com transmissão bem definida.
  - Há necessidade de mecanismo de proteção contra variações inesperadas de preços.

Modelo de Transações Bilaterais

- Transações são feitas diretamente entre os vendedores e compradores, de modo a permitir que os participantes negociem os melhores contratos para cada um deles;
- Papel do operador independente do sistema fica limitado a:
  - sinalizar os modos inaceitáveis de operação da rede e
  - coordenar o despacho para minimizar desvios em relação às transações contratadas.

Modelo Misto

- Operador do mercado centraliza a compra e venda de energia e serviços, porém seu impacto sobre as negociações é menor do que no modelo exclusivamente "Pool";
- Transações bilaterais são permitidas e encorajadas como contratos de longo prazo.

Papel do Operador do Sistema

Dependendo da estrutura de mercado, pode ser de dois tipos:

- *Minimalista,* cuja intervenção nas atividades de planejamento e programação da operação ocorre somente nos casos em que o despacho pode acarretar congestionamentos na transmissão ou afetar a segurança do sistema (Exs: Espanha e Califórnia);
- *Maximalista:* neste caso, o operador é responsável pela programação da geração, incluindo as decisões sobre:
  - alocação das unidades geradoras (*unit commitment*);
  - programação dos serviços ancilares;
  - despacho de geração para suprir energia de regulação e reservas de potência ativa e reativa.
- Quando sua função é maximalista, o operador independente do sistema pode ainda:
  - operar diretamente no ambiente competitivo, definindo despachos pelos critérios do mercado, ou
  - trabalhar coordenadamente com o agente do mercado.

FIM