Estabilidade de Sistemas Elétricos de Potência

Antonio Simões Costa

UFSC – Depto. de Engenharia Elétrica
Grupo de Sistemas de Potência

Estabilidade de Sistemas de Potência

- Dois tipos de estudos serão abordados:
  - Análise de Estabilidade Transitória, e
  - Análise de Estabilidade em Regime Permanente (ou Estabilidade a Pequenas Perturbações).

2

Estabilidade Transitória - I

- Definição:

  "Um sistema de potência é *estável* do ponto de vista de estabilidade transitória para uma dada condição de operação e uma dada perturbação se, após a ocorrência da perturbação, o sistema atinge uma condição de operação aceitável".

- Relativa a fenômenos decorrentes de grandes e súbitas perturbações (curto-circuito, abertura súbita de linha, etc.).

3

Estabilidade Transitória - II

- Necessidade do uso de modelos não-lineares para máquinas, etc.;
- Caso máquina-Barra infinita: Critério das Áreas Iguais;
- Caso multimáquinas: simulações no domínio do tempo.

4

Estabilidade a Pequenas Perturbações

- Definição:

  "Um sistema de potência é *estável em regime permanente* para uma dada condição de operação se, após uma pequena perturbação, atinge-se uma condição de operação idêntica ou próxima à condição inicial".

- Utilizam-se modelos lineares;
- Métodos de análise: ferramentas no domínio do tempo ou no domínio da freqüência.

5

Conceito de Barra Infinita

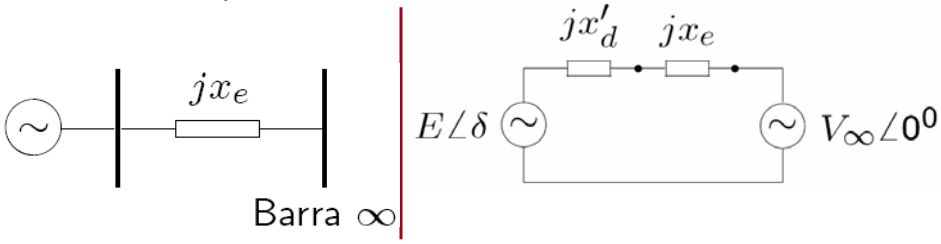
- Aplica-se ao estudo do comportamento de um gerador síncrono conectado a grande sistema através sistema de transmissão;
- "Grande sistema" freqüentemente representado por Barra Infinita *(B-∞);*
- Características da *B-∞* :
  - Freqüência constante e
  - Tensão constante,

  independentemente do nível de potência fornecida/absorvida e da perturbação considerada.

6

Modelo Máquina-Barra Infinita

- Barra infinita representada como *fonte ideal* (reatância interna nula) e *inércia infinita;*



- Potência entregue à barra infinita:

$$(\quad x_{eq} \triangleq x'_d + x_e \ )$$

$$\boxed{P_e = \frac{E\,V_\infty}{x_{eq}} \text{ sen } \delta}$$

7

Critério das Áreas Iguais

- Método baseado na interpretação gráfica das curvas Potência-Ângulo;
- Aplicável a sistemas máquina-barra infinita, podendo ser estendido para 2 máquinas equivalentes;
- Hipóteses:
  - *Potência mecânica* suposta constante;
  - Máquinas representadas por tensão constante atrás de reatância transitória;
  - Amortecimentos e resistências de ramos desprezados.

8

Critério das Áreas Iguais para Sistema Máquina- Barra Infinita (1)

- Equação de oscilação:

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a$$

onde

$$P_a = P_m - \frac{E' \times V_\infty}{x_{eq}}\, sen\delta$$

- Mostra-se que

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2}{M}\int_{\delta_0}^{\delta} P_a\, d\delta}$$

9

Critério das Áreas Iguais para Sistema Máquina- Barra Infinita (2)

- Portanto:

$$\frac{d\delta}{dt} = 0 \Rightarrow \boxed{\int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - \underbrace{\frac{E' \times V_\infty}{x_{eq}}\, sen\delta}_{P_e})\, d\delta = 0}$$

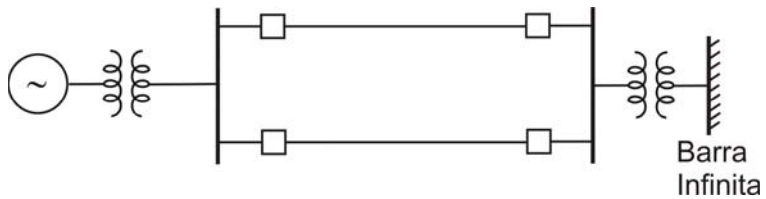
- Interpretação:

Para que o ângulo δ atinja seu máximo valor e possa começar a decrescer, a área líquida entre as curvas $P_m \times \delta$ e $P_e \times \delta$ *deve ser igual a zero.*

10

Exemplo Ilustrativo (1)

- Sistema formado por máquina ligada a barra infinita via circuito duplo de transmissão:

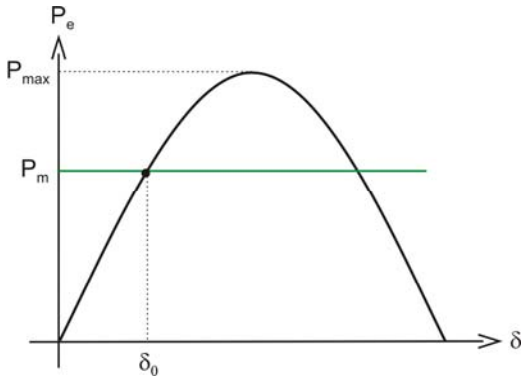


$$P_{e,af} = \frac{E' \times V_\infty}{x_{eq,af}} \, sen\delta$$

11

Exemplo Ilustrativo (2)

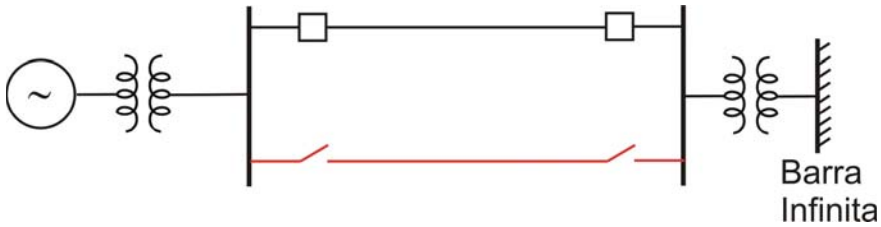
- Curva potência-ângulo antes do defeito:



12

Exemplo Ilustrativo (3)

- Defeito: abertura de um dos circuitos de transmissão:

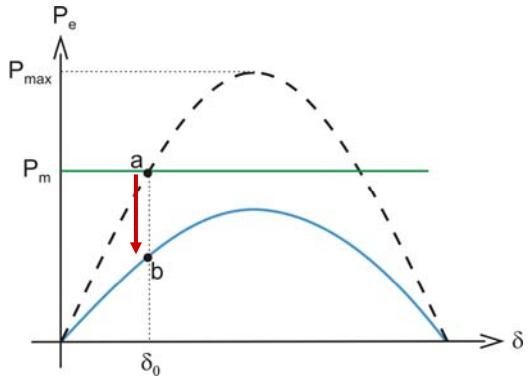


$$P_{e,df} = \frac{E' \times V_\infty}{x_{eq,df}} \, sen\delta \ , \qquad \boxed{x_{eq,df} > x_{eq,af}}$$

13

Exemplo Ilustrativo (4)

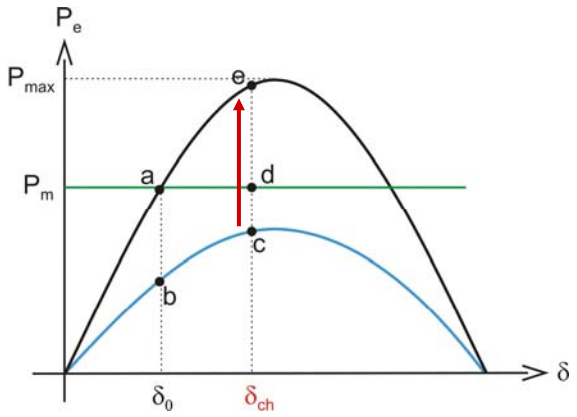
- Curva potência ângulo durante o defeito:



14

Exemplo Ilustrativo (5)

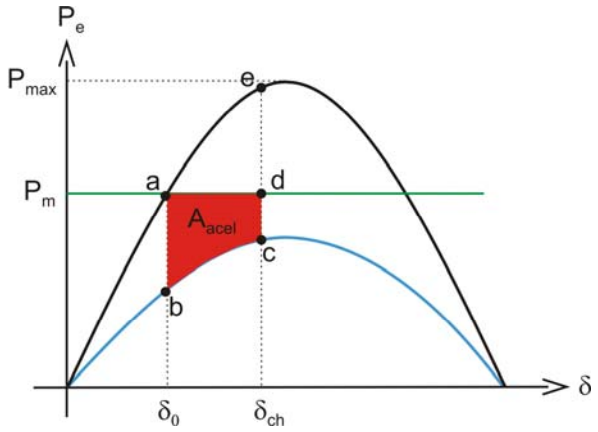
- Supondo que a linha volta a operar quando $\delta = \delta_{ch}$:



15

Exemplo Ilustrativo (6)

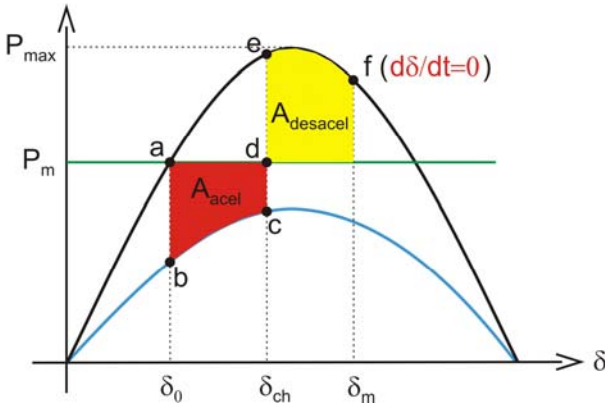
- Critério das áreas iguais – Área de Aceleração:



16

Exemplo Ilustrativo (7)

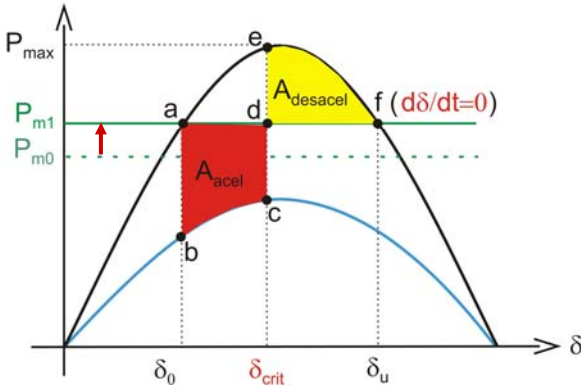
- Igualdade de áreas $\Rightarrow$ sistema estável e condição não-crítica:



17

Exemplo Ilustrativo (8)

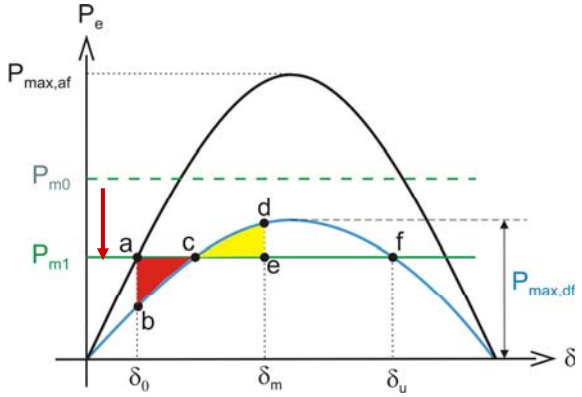
- Aumento de $P_m \Rightarrow$ redução da margem para compensar áreas;
- Se $\delta_{ch} = \delta_{crit}$ (ângulo crítico de chaveamento), então $\delta_m = \delta_u$;



18

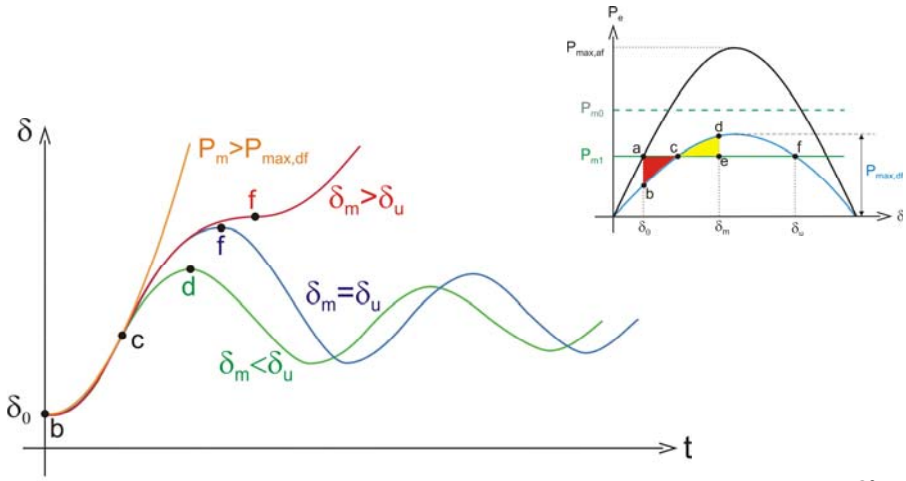
Exemplo Ilustrativo (9)

- Se P_m é baixo (carga leve), sistema pode ser estável sem religamento da linha;



19

Curvas de Oscilação para Exemplo



20