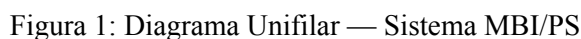


DEFASADOR. Paulo Henrique Rodrigues, Percival Bueno de Araujo. – Sistemas de Potência - Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira

O sistema em estudo é o da máquina síncrona ligada a uma barra infinita com o dispositivo FACTS PS instalado (denotado por MBI/PS), como representado no diagrama unifilar na Figura 1.



Uma das “entradas” do modelo, suscetível a controle, são as variações da defasagem angular introduzida “artificialmente” pelo PS entre as tensões de duas barras adjacentes, denominada de $\Delta\phi$.



Com esta finalidade é proposto um controlador de primeira ordem, representado por um ganho K_a e constante de tempo T_a [4], como mostrado no diagrama de blocos da Figura 3

Desta Figura, por inspeção, pode-se escrever a equação da defasagem angular $\Delta\phi$, como mostrado na equação (1).

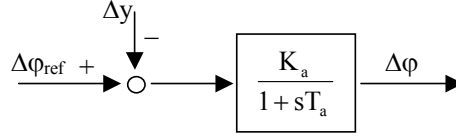


Figura 3: Diagrama de Blocos — CPS

$$\Delta \phi^{\circ} = \frac{K_a}{T_a} \Delta \phi_{\text{ref}} - \frac{1}{T_a} \Delta \phi - \frac{K_a}{T_a} \Delta y \quad (1)$$

O sinal de entrada para o CPS (Δy), preferencialmente deve ser localmente mensurável, com o intuito de evitar custos adicionais associados à sua comunicação [5]. Neste trabalho são avaliados três sinais para serem utilizados como entrada para o CPS: as variações da velocidade angular do rotor $\Delta \omega$, as variações do torque elétrico ΔT_e , e variações da magnitude da corrente elétrica Δi_t . Fazendo-se Δy as “variações da velocidade angular do rotor $\Delta \omega$ ”, a equação da defasagem angular pode ser reescrita como mostrada na equação (2).

$$\Delta \phi^{\circ} = \frac{K_a}{T_a} \Delta \phi_{\text{ref}} - \frac{1}{T_a} \Delta \phi - \frac{K_a}{T_a} \Delta \omega \quad (2)$$

Ao se optar pelo sinal de entrada “variações do torque elétrico ΔT_e ” (equação (3)), as variações da defasagem angular são dadas pela equação (4).

$$\Delta T_e = k_1 \Delta \delta + k_2 \Delta e'_q + k_8 \Delta \phi \quad (3)$$

$$\Delta \phi^{\circ} = \frac{k_a}{T_a} \Delta \phi_{\text{ref}} - \frac{k_a k_1}{T_a} \Delta \delta - \frac{k_a k_2}{T_a} \Delta e'_q - \left(\frac{k_a k_8 + 1}{T_a} \right) \Delta \phi \quad (4)$$

As “variações da corrente elétrica Δi_t ” (equação (5)), quando substituídas em (1), resulta na equação (6).

$$\Delta i_t = \beta_1 \Delta \delta + \beta_2 \Delta e'_q - \beta_1 \Delta \phi \quad (5)$$

$$\beta_1 = \frac{i_d}{i_t} \frac{v_{\infty} \sin(\delta - \phi)}{(x'_d + x_e)} + \frac{i_q}{i_t} \frac{v_{\infty} \cos(\delta - \phi)}{(x_q + x_e)} \quad (5.a)$$

$$\beta_2 = \frac{i_d}{i_t} \frac{1}{(x'_d + x_e)} \quad (5.b)$$

$$\Delta \phi^{\circ} = \frac{k_a}{T_a} \Delta \phi_{\text{ref}} - \frac{k_a \beta_1}{T_a} \Delta \delta - \frac{k_a \beta_2}{T_a} \Delta e'_q + \left(\frac{k_a \beta_1 - 1}{T_a} \right) \Delta \phi \quad (6)$$

Para se avaliar o desempenho do sistema MBI/PS foram realizadas simulações utilizando-se um sistema teste adaptado de [6]. As condições de simulação foram tensão terminal em 1.0 pu, regulador automático de tensão representado por um bloco de primeira ordem de ganho K_r fixado em 50 e constante de tempo T_r igual a 0.05 segundos. O distúrbio considerado foi uma variação em degrau de 0.05 pu no torque mecânico de entrada (ΔT_m). O carregamento considerado foi potência ativa em 0.9 pu e potência reativa em 0.3 pu.

Os resultados mostrados na Figura 4 avaliam como o ganho K_a do CPS influencia o desempenho do sistema, para uma compensação inicial de 10° e constante de tempo do CPS T_a em 0.15 segundos.

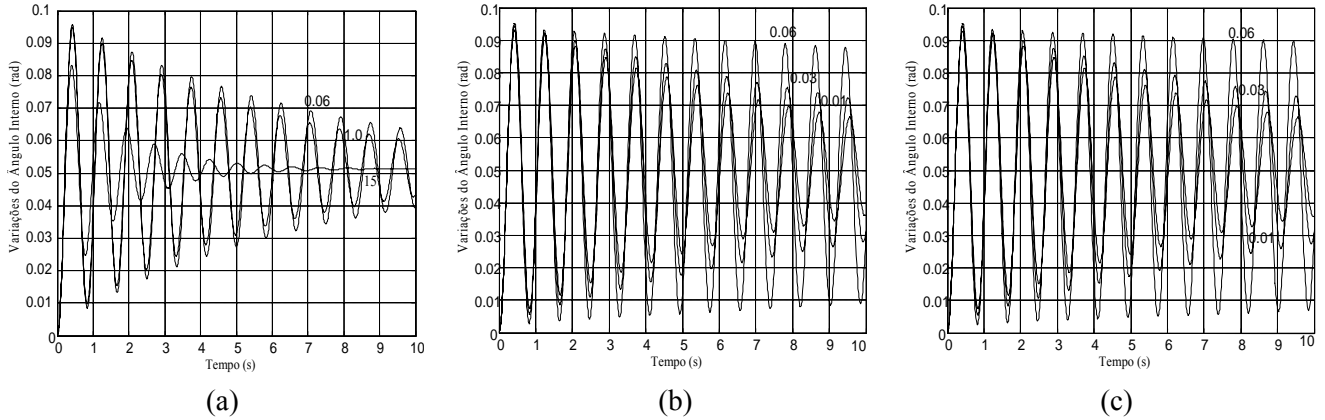


Figura 4: (a) Entrada $\Delta\omega$; (b) Entrada ΔT_e ; (c) Entrada Δi_t

Utilizando-se como sinal de entrada para o CPS as variações da velocidade angular do rotor ($\Delta\omega$), observou-se que o aumento do ganho do controlador introduz maior amortecimento ao modo oscilatório. Diferentemente, quando os sinais de entrada são as variações do torque elétrico (ΔT_e), e variações da magnitude da corrente elétrica (Δi_t), o aumento do ganho K_a introduz amortecimento negativo ao sistema MBI/PS, podendo torná-lo instável.

Para se avaliar a influência do valor da compensação inicial no comportamento do sistema MBI/PS a respeito da estabilidade a pequenas perturbações, foram mantidos constantes os parâmetros do controlador (ganho K_a igual 0.06 e constante de tempo T_a em 0.15 segundos). Para as simulações, cujos resultados são mostrados na Figura 5, a compensação inicial (ϕ) assumiu os valores de 10° , 20° e 30° .

Analisando-se os resultados obtidos observou-se que o sistema sob estudo manteve-se estável para todos os sinais avaliados, em todos os graus de compensação inicial adotados. Isto ocorre devido ao aumento de amortecimento do modo oscilatório, com o aumento do valor da compensação inicial.

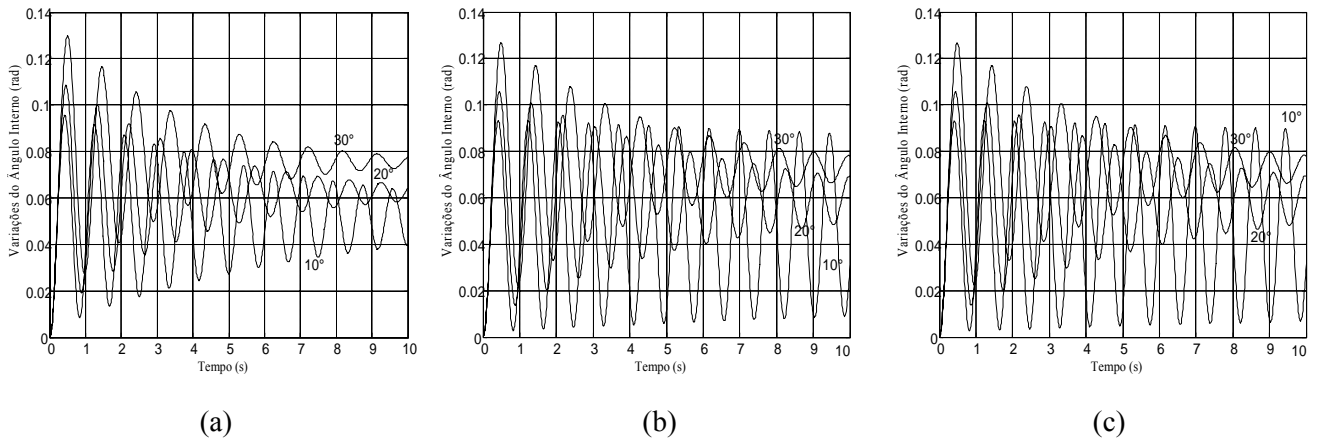


Figura 5: (a) Entrada $\Delta\omega$; (b) Entrada ΔT_e ; (c) Entrada Δi_t

Para se fazer uma análise conjunta dos três sinais de entrada propostos e determinar a influência da escolha do sinal de entrada utilizado no CPS no desempenho do sistema MBI/PS, realizaram-se novas simulações onde foram mantidos constantes o ganho do controlador ($K_a = 0.06$), e o grau de compensação inicial ($\phi = 10^\circ$). Os resultados obtidos são mostrados na Figura 6.

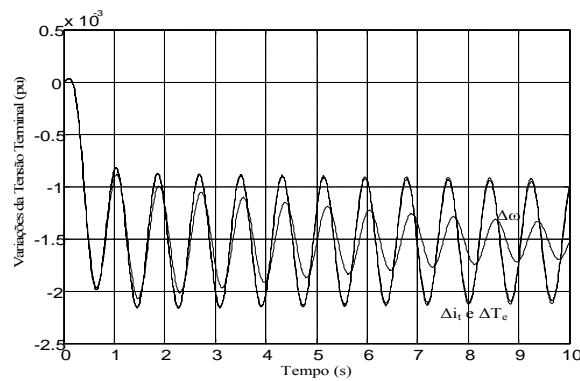


Figura 6: Análise Conjunta dos Sinais $\Delta\omega$, ΔT_e e Δi_t

Concluiu-se que a utilização do sinal de entrada “variações da velocidade angular do rotor – $\Delta\omega$ ”, proporciona ao sistema MBI/PS os maiores valores de amortecimento, quando comparados com as outras duas entradas (no sistema sob estudo, as análises mostraram que com a entrada $\Delta\omega$, a introdução de amortecimento no sistema era da ordem de 9 a 14 vezes maior do que os obtidos com as entradas ΔT_e e Δi_t).

Notou-se também que a utilização dos sinais ΔT_e e Δi_t como entradas para o CPS, produzem resultados quantitativa e qualitativamente semelhantes. A explicação para tal fato vem de que nas equações que definem estes dois sinais ((3) e (5)), existe uma proximidade numérica entre as constantes que os definem, no ponto de operação considerado ($k_1 \approx \beta_1$, $k_2 \approx \beta_2$, $k_8 = -k_1 \approx -\beta_1$).

Desta maneira, deve-se optar pela utilização do sinal de entrada “variações da velocidade angular do rotor – $\Delta\omega$ ”, quando se desejar introduzir maior amortecimento do sistema e quando existe a possibilidade de se instalar o dispositivo FACTS PS próximo aos pontos de geração, já que este sinal é, de maneira geral, facilmente disponível apenas nos pontos de geração.

Quando a prioridade não é amortecimento, mas simplesmente a compensação da linha de transmissão, é indicado utilizar de maneira indiferente o dispositivo FACTS PS controlado pelos sinais de entrada “variações do torque elétrico – ΔT_e ”, ou as “variações da magnitude da corrente elétrica – Δi_t ”, visto que estes sinais podem ser obtidos em qualquer ponto de um sistema elétrico de potência, garantindo a característica esperada de um dispositivo FACTS, a flexibilidade.

De maneira geral, pode-se afirmar que a inclusão do dispositivo FACTS PS, aliado a um sistema controle para defasagem (CPS), pode trazer efeitos benéficos para a estabilidade do sistema elétrico de potência quando este é submetido a pequenas perturbações.

- [1] Reed, G.; Paserba, J.; Salavantis, P. (2003). The FACTS on Resolving Transmission Gridlock. **IEEE Transactions Power and Energy Magazine**, v. 1, n. 5, pp. 41-46.
- [2] Hingorani, N. G. (1988). Power Electronics in Electric Utilities: Role of Power Electronics in Future Power Systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 76, n. 4, pp. 481-482.
- [3] Pereira, A. L. S.; Silva, M. S.; Araujo, P. B. (2004). Modelo Linear de Heffron & Phillips com a Inclusão do Defasador (“Phase Shifter” (PS)). **Anais do III Congresso Temático de Dinâmica e Controle da SBMAC (DINCON 2004)**, Ilha Solteira-SP, pp. 1097-1103.
- [4] Xing, K.; Kusic, G. (1988). Application of Thyristor-Controlled Phase Shifter to Minimize Real Power Losses and Augment Stability of Power Systems, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, v. 3, n. 4, pp. 792-798.
- [5] Del Rosso, A. D.; Canizares, C. A.; Dona, V. M. (2003). A Study of TCSC Controller Design for Power System Stability Improvement. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 18, n. 4, pp. 1487-1496.
- [6] Anderson, P.; Fouad, A. A. (2003). Power System Control and Stability, 2th edition, **A John Wiley & Sons, INC., Publications**, 658p.