

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE SENSIBILIDADE DE POTÊNCIA PARA O SISTEMA “MÁQUINA SÍNCRONA LIGADA A UMA BARRA INFINITA”. Jean Carlo Ribeiro de Freitas, Percival Bueno de Araujo. – Sistemas de Potência - Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira

O principal objetivo dos sistemas elétricos de potência é atender a demanda de energia requerida pelos seus consumidores, garantindo a confiabilidade de padrões especificados de tensão e frequência, a não interrupção do fornecimento e a estabilidade, dentre outros fatores.

Para o estudo destes quesitos são necessários modelos do sistema elétrico, que variam de complexidade de acordo com sua finalidade. Em se tratando de estudos da estabilidade a pequenas perturbações, uma primeira análise pode ser feita com sistemas MBI equivalentes, modelados de forma linear. Neste contexto, técnicas de análise do controle clássico podem ser utilizadas para se estudar o comportamento dinâmico dos sistemas elétricos [1,2].

Este artigo se propõe a mostrar o estudo e a implementação computacional do Modelo de Sensibilidade de Potência (MSP) [3], modelo linear baseado no balanço de potências ativas e reativas para a utilização na análise da estabilidade a pequenas perturbações do sistema elétrico de potência.

O MSP permite com facilidade expansão para sistemas multimáquinas além de viabilizar a inclusão de dispositivos de carga dinâmica no sistema. Através de simulações realizadas em um sistema teste, resultados e conclusões são apresentados.

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

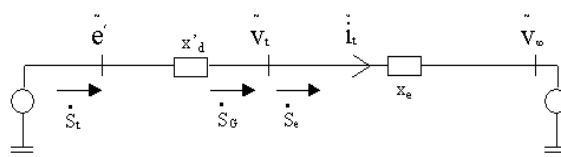


Figura 1: Diagrama Unifilar – Sistema MBI

A aplicação da transformada de Laplace sobre as equações algébricas e diferenciais que regem este sistema permite a representação do mesmo no domínio da frequência através de diagramas de blocos, como mostrado na Figura 2.

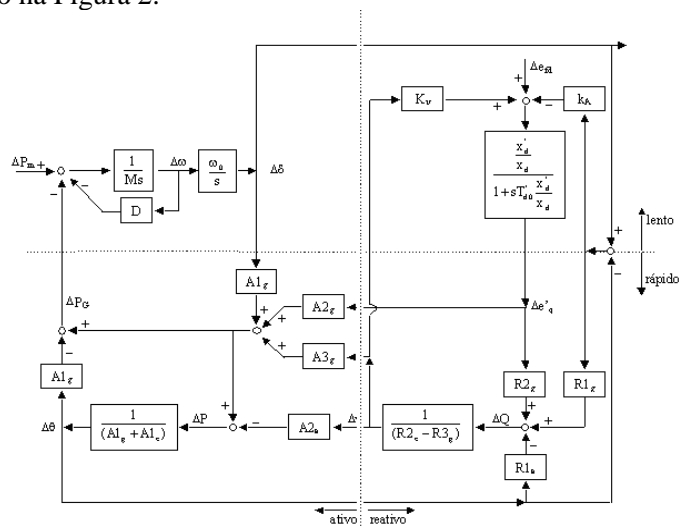


Figura 2: Representação do MSP – Diagrama de Blocos

Da análise do diagrama de blocos do MSP pode-se observar a presença de duas decomposições inerentes ao sistema. A linha tracejada vertical representa a decomposição entre os

subsistemas ativo e reativo, onde o modelo ativo fornece os desvios angulares ($\Delta\delta$, $\Delta\theta$), a partir das solicitações da potência ativa, e o modelo reativo responde corrigindo o valor absoluto das tensões ($\Delta e'_q$, Δv), resultantes do balanço de potência reativa. A linha horizontal tracejada mostra a decomposição na escala do tempo, pois dinâmicas de velocidades diferentes ocorrem no sistema elétrico. As variáveis da rede ($\Delta\theta$, Δv) são atualizadas rapidamente pelo sistema algébrico, enquanto as variáveis da máquina síncrona ($\Delta\delta$, $\Delta e'_q$) são lentamente atualizadas pelo sistema diferencial.

O comportamento dos coeficientes da rede e gerador síncrono do (MSP) é avaliado quando da variação do carregamento do sistema. As condições de simulação consideradas são tensão terminal em 1.0 pu, potência elétrica entre 0.1 e 1.0 pu, fatores de potência ($\cos\phi$) indutivos (0.8, 0.9) e 1.0.

As Figuras 3.(a) e 3.(b) mostram o comportamento das constantes $A1_g$ e $A2_g$, que de maneira geral, seus valores aumentam com os aumentos da potência elétrica e/ou fator de potência.

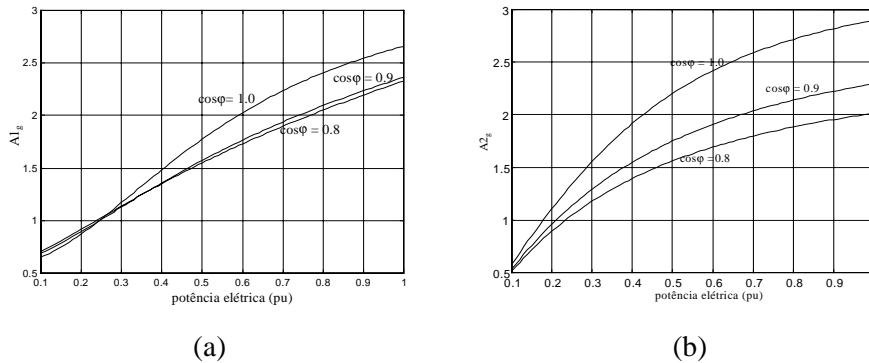


Figura 3: (a) Coeficiente $A1_g$; (b) Coeficiente $A2_g$.

Nas Figuras 4.(a) e 4.(b) são apresentados os coeficientes $A3_g$ e $R1_g$, que dependem do carregamento do sistema e fator de potência. No caso do sistema simulado, $A3_g$ se mostrou sempre negativo, com o seu valor mínimo ocorrendo em torno de 0.4 pu de potência ativa, sendo mais negativo quanto maior é o fator de potência. Com relação ao parâmetro $R1_g$, observa-se que seu comportamento é o oposto do apresentado por $A3_g$. Esta afirmação só é verdadeira quando a magnitude da tensão terminal é mantida em 1.0 pu (caso das simulações apresentadas).

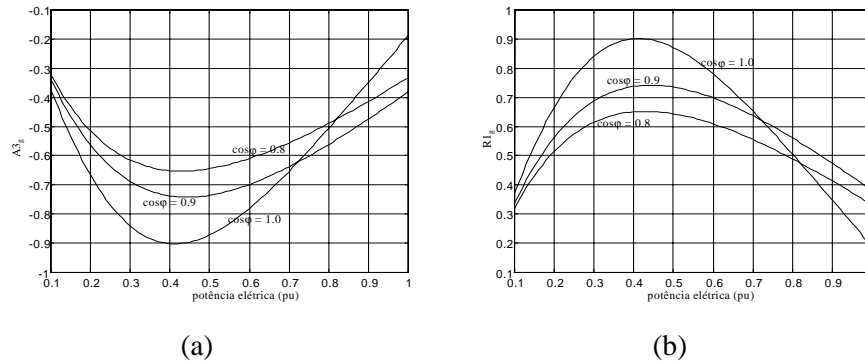


Figura 4: (a) Coeficiente $A3_g$; (b) Coeficiente $R1_g$.

A Figura 5.(a) mostra o coeficiente $R2_g$ e se conclui que seu valor diminui com os aumentos da potência elétrica e/ou $\cos\phi$. Diferentemente, o coeficiente $R3_g$ (Figura 5.(b)), aumenta com os aumentos da potência elétrica e/ou $\cos\phi$, em se tratando de carregamentos médios e/ou elevados.

O coeficiente $A1_e$ (Figura 5.(c)) diminui seu valor à medida que se aumenta a potência elétrica e diminui-se o fator de potência (observe as curvas com $\cos\phi = 0.8$ e $\cos\phi = 0.9$). No caso particular de fator de potência unitário, seu valor é constante para qualquer valor de potência elétrica.

Pode-se observar da Figura 5.(d) que $R2_e$ é um valor constante e igual a $A1_e$ para $\cos\phi = 1.0$ (esta característica ocorre apenas para tensão terminal fixada em 1.0 pu). Para valores de $\cos\phi \neq 1$, é diretamente proporcional à potência elétrica e inversamente proporcional ao fator de potência.

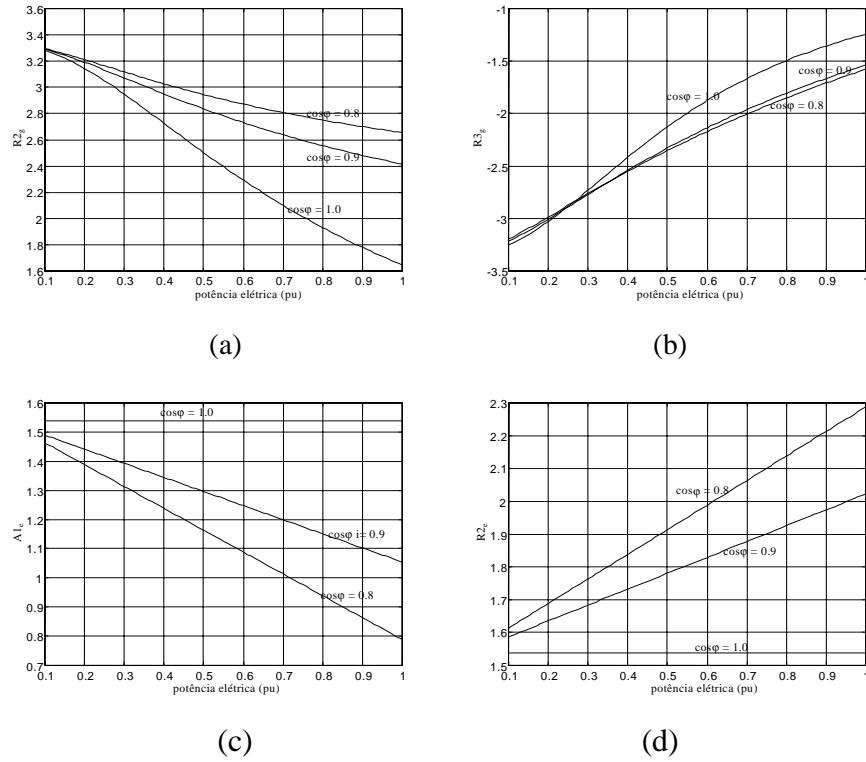


Figura 5: (a) Coeficiente $R2_g$; (b) Coeficiente $R3_g$; (c) Coeficiente $A1_e$; (d) Coeficiente $R2_e$.

As constantes $A2_e$ e $R1_e$ (Figura 6.(a)) são iguais sempre que a tensão terminal v_t é igual a 1.0 pu. Seus valores aumentam com o aumento da potência elétrica e independem do fator de potência.

Os coeficientes K_V e K_A que representam a reação da armadura do gerador síncrono são mostrados respectivamente nas Figuras 6.(b) e 6.(c). A constante K_V diminui com o aumento da potência elétrica e/ou $\cos\phi$. O coeficiente K_A aumenta com os aumentos da potência elétrica e $\cos\phi$.

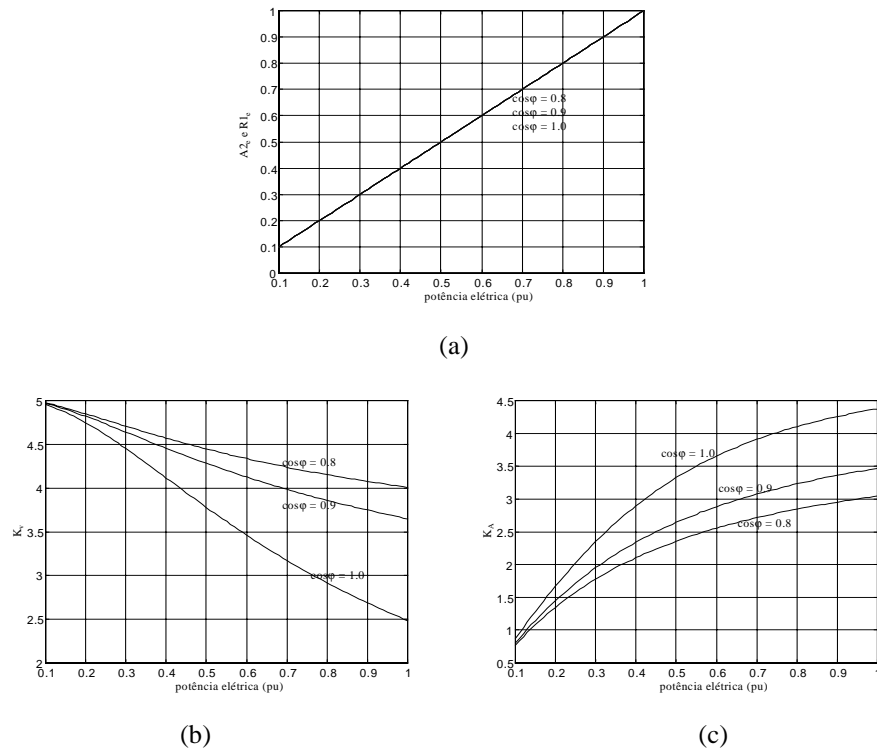


Figura 6: (a) Coeficientes $A2_e$ e $R1_e$; (b) Coeficiente K_V ; (c) Coeficiente K_A .

Para se avaliar a estabilidade a pequenas perturbações do sistema MBI foram realizadas simulações com potência elétrica $P_e = 0.5$ pu, tensão terminal v_t em 1.0 pu e fator de potência unitário. O distúrbio considerado foi uma variação em degrau de 0.05 pu na potência mecânica (ΔP_m) de entrada. O regulador de tensão foi representado por um bloco de primeira ordem, com ganho K_r e constante de tempo $T_r = 0.01$ segundos. O sistema teste utilizado é apresentado na referência [4].

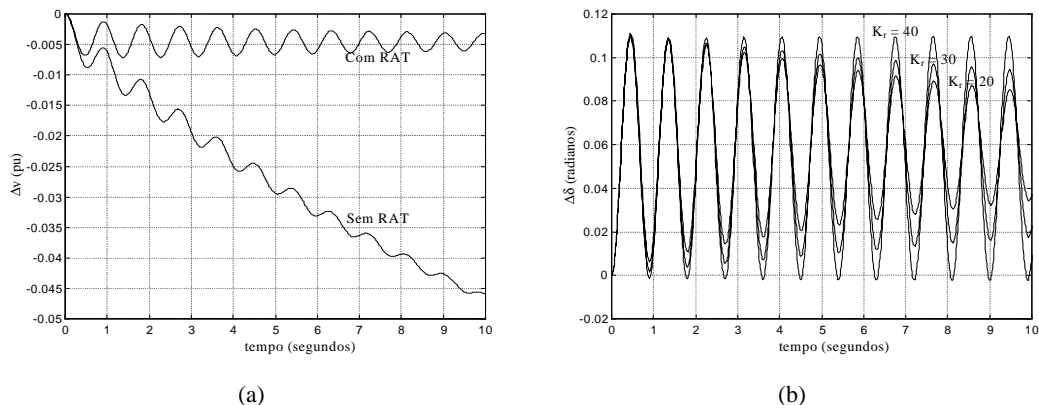


Figura 7: (a) Desvios da Tensão Terminal; (b) Desvios do ângulo interno.

Na Figura 7.(a) pode-se observar a ação da regulação automática de tensão, onde o ganho K_r utilizado foi de 20. Note que os desvios da tensão terminal são bem menores quando se tem regulação automática, comparada com a regulação manual.

A Figura 7.(b) mostra como o valor do ganho do regulador de tensão pode interferir na estabilidade do sistema. Note que um sistema estável para ganhos K_r de 20 e 30, pode-se tornar instável com o aumento deste ganho (no caso do sistema simulado, para $K_r = 40$ o sistema se torna instável, com oscilações de amplitude crescente).

Neste artigo foi apresentado o estudo do “Modelo de Sensibilidade de Potência (MSP)” para o sistema MBI e foram realizadas representações nos domínios do tempo e da frequência.

As deduções e representações efetuadas permitiram a análise do comportamento dos coeficientes que definem o MSP quanto às variações no carregamento e $\cos\phi$.

Como uma aplicação do modelo, foram realizados estudos iniciais da estabilidade do sistema MBI frente a pequenas perturbações, comparando-se as regulações manual e automática de tensão.

Referências Bibliográficas

- [1] Bretas, N. G., Alberto, L. F. C. (2000) **Estabilidade Transitória em Sistemas Eletromagnéticos**, EESC – USP, São Carlos-SP, 155p.
- [2] Ogata, K. (2000) **Engenharia do Controle Moderno**, 3ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 813p.
- [3] Deckmann, S. M. e Costa, V. F. (1994). A Power Sensitivity Model for Electromechanical Oscillation Studies. **IEEE Trans. on PS**, v. 9, n. 2, pp. 965-971.
- [4] Kundur, P. (1994) **Power System Stability and Control**, Electrical Power Research Institute, MacGraw-Hill, EUA, 1167p.

Bolsa: FAPESP