

ESTABILIZADOR DE SISTEMAS DE POTÊNCIA ADAPTATIVO COM SUPERVISÃO FUZZY NUMA REDE DE MODELOS LOCAIS

CARLOS T. DA COSTA JR., JOSÉ A. L. BARREIROS, WALTER BARRA JR.

Laboratório de Controle e Sistemas, Depto. de Eng. Elétrica, Universidade Federal do Pará
Campus Universitário do Guamá - CEP: 66075-900 - Belém-PA, Brasil.
E-mails: tavares@ufpa.br, barreiro@ufpa.br, barra@ufpa.br

Resumo - Este trabalho apresenta um Estabilizador de Sistema de Potência (ESP) adaptativo, que opera utilizando uma estrutura de controle auto-ajustável. Os parâmetros do modelo são pré-identificados para diversos pontos de operação de um sistema máquina-barras infinita, selecionados conforme os valores das potências ativa e reativa, e o número de linhas de transmissão em funcionamento, para formar uma rede de modelos locais (RML). Esses parâmetros são armazenados, sob a forma de uma tabela, em um microcomputador, para serem usados no controle em tempo real. Em funcionamento, o supervisor identifica o ponto de operação atual e usa um conjunto de regras de lógica fuzzy para determinar um modelo da planta como uma função dos modelos pré-identificados para os pontos de operação selecionados mais próximos. Então, para este modelo, o ESP é projetado pelo método da alocação de pólos. Testes de avaliação são apresentados, comprovando o bom desempenho do ESP proposto em comparação ao de um ESP convencional.

Abstract - This work presents a digital adaptive Power System Stabilizer (PSS) which operates in a self-tuning structure. The parametric models are identified off line for several differently selected operating points in a PxQ plane (active and reactive powers) under two different topologies (with one or two transmission lines on operating) to form a Local Model Network (LMN), and saved off-line under the form of a look-up table in a microcomputer real time control. During working, a supervisor identifies the actual condition of operation and uses a set of logic fuzzy rules to determinate a plant model as a function of the pre-identified models for the nearest selected operating points. Then, using this plant model, the PSS is designed by the pole placement method. The tests presented show good performance for this PSS, when compared to a conventional (non adaptive) one.

Keywords— Power system stabilizer; adaptive control; fuzzy logic supervisor.

1. Introdução

Já é bem conhecido que a estabilidade de sistemas de potência pode ser melhorada pela aplicação de um sinal de controle suplementar à malha de controle de excitação do gerador. Este sinal de controle suplementar é convencionalmente gerado por um circuito analógico, comumente conhecido como Estabilizador de Sistema de Potência. (ESP) (de Mello et al., 1969; Larsen et al., 1981), com parâmetros fixos que são projetados para garantir um desempenho ótimo em um especificado ponto de operação. Conseqüentemente, o desempenho de um Estabilizador de Sistema de Potência Convencional (ESPC) é deteriorado quando o ponto de operação atual é diferente daquele para o qual ele foi projetado. Para superar essa desvantagem e melhorar a robustez dos ESPs, têm sido propostos na literatura estabilizadores digitais baseados em técnicas adaptativas, com identificação paramétrica permanente do modelo da planta, tal que o controlador está sempre ajustado ao ponto de operação atual (Chen et al., 1986; Barreiros et al., 1992, 1998).

Neste trabalho, em vez de usar um ESP adaptativo com estimação permanente de seus parâmetros, que implica numa elevada carga computacional, optou-se por uma abordagem alternativa que reduza a carga computacional exigida para a realização do controle do sistema em funcionamento. Para um sistema do tipo máquina ligada a uma barra infinita, esta abordagem consiste primeiro na escolha de vários pontos de operação no

plano $P \times Q$ das potências ativa e reativa fornecidas pela máquina ao sistema de potência, para as diferentes topologias (neste trabalho, consideramos as topologias com uma e duas linhas de transmissão em funcionamento). Então, para cada um desses pontos, faz-se a identificação dos parâmetros do modelo estrutural do sistema usando um algoritmo de identificação baseado no método recursivo do erro de saída (Landau, 1993). O conjunto de todos os modelos de planta identificados é chamado de Rede de Modelos Locais (RML) (Hunt et al., 1997). Após a identificação dos parâmetros do modelo para cada ponto de operação, eles são armazenados no microcomputador sob a forma de uma tabela. Em funcionamento, a cada instante de amostragem, a partir dos valores medidos de P e Q (as potências ativa e reativa, respectivamente) na saída do gerador e da topologia atual, o supervisor identifica o ponto de operação atual do sistema e determina o modelo atual da planta usando um sistema fuzzy de Takagi e Sugeno (Wang., 1994, 1997). Este modelo serve como base para o projeto *on line* do ESP que é realizado, aqui, por um método da alocação de pólos que implique na obtenção de uma melhor atenuação para os pólos mal amortecidos, sem modificar suas freqüências de oscilação natural, e sem excitar outros modos de oscilação em altas freqüências. É mostrado que o ESP com supervisão baseada em regras de lógica fuzzy proposto aqui apresenta um desempenho bem superior ao de um ESP convencional.

2 Construção da Rede de Modelos Locais (RML)

No controle de um sistema do tipo máquina-barras infinita, para a implementação do ESP com supervisão por regras de lógica fuzzy, de acordo com o ponto de operação do sistema, 49 pontos de operação representativos foram escolhidos no plano $P \times Q$, das potências ativa e reativa na saída do gerador (que está conectado à barra infinita), para cada uma das duas topologias consideradas (com uma e duas linhas de transmissão em funcionamento). Isto é, o número total de pontos de operação selecionados é 98. Para cada topologia, estes pontos foram obtidos pela interseção de 7 valores de coordenadas para P com 7 valores de coordenadas para Q , em valores *por unidade* (pu), e eles são mostrados na Figura 1:

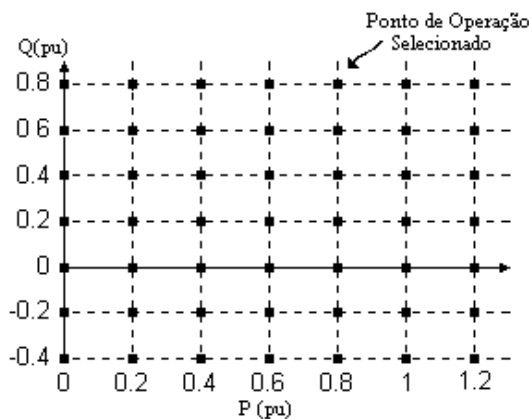


Figura 1: Pontos de Operação Selecionados onde as estimativas do modelo da planta são realizadas para cada topologia.

Em cada ponto de operação selecionado, são identificados o modelo estrutural discreto da planta, a partir de uma linearização em torno deste ponto e, para melhor representar a estrutura do modelo da planta do tipo máquina-barras infinita utilizada em nossos testes, a seguinte função de transferência discreta é encontrada:

$$\frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} = \frac{(b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}) z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3} + a_4 z^{-4}} \quad (1)$$

Os valores dos parâmetros a_i e b_i são determinados por um estimador baseado no método recursivo do erro de saída (Landau, 1993). Para alguns pontos periféricos no gráfico da Figura 1, onde não foi possível identificar um modelo para o sistema devido à instabilidade deste, usou-se como modelo a média dos coeficientes dos modelos identificados para os pontos mais próximos. Assim, após a identificação de modelos para todos os pontos selecionados, tem o que se chama de *Rede de Modelos Locais (RML)*. Esta, rede será manipulada por um supervisor baseado no sistema fuzzy de Takagi e Sugeno que determinará, *on line*, o modelo mais adequado para o ponto de operação atual (Tavares da Costa, 1999, 2000). Este modelo serve,

então, como base para o projeto do ESP e o sistema em malha fechada funciona de maneira análoga ao controle adaptativo auto-ajustável, como ilustra a Figura 2. Nesta figura, observa-se que o vetor ponto de operação serve como entrada para o supervisor fuzzy que, por sua vez, age sobre a RML para determinar os parâmetros do modelo atual da planta.

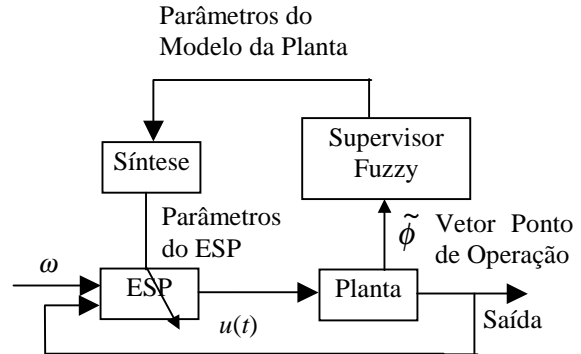


Figura 2: Esquema de controle supervisionado com determinação do modelo da planta a partir de uma RML e projeto *on line* do ESP.

3 Projeto do ESP por Alocação de Pólos

Para um dado modelo da planta (ou constante, ou determinado *on line* a partir de algoritmos: de estimação paramétrica recursiva; ou de supervisão qualquer a partir de uma RML e em função do ponto de operação atual), o projeto do ESP é realizado, neste trabalho, pelo método da alocação dos pólos da Equação (1). Aqui, lida-se apenas com o problema de regulação, ou seja deseja-se obter como saída $y(t) = \Delta\omega(t) = 0$. O problema da regulação está esquematicamente representado na Figura 3, onde $A(z^{-1})$ e $B(z^{-1})$ são os mesmo da Equação (1), enquanto que $R(z^{-1})$ e $S(z^{-1})$ são, respectivamente, o denominador e o numerador da função de transferência discreta do ESP a ser projetado. Neste trabalho, o ESP é projetado pelo método da alocação de pólos.

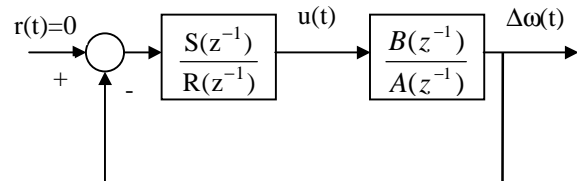


Figura 3: Diagrama de blocos do sistema compensado em malha fechada.

Para a realização do projeto do ESP, precisa-se escolher adequadamente os pólos de malha fechada. Neste projeto de ESP, o polinômio de malha fechada, $P(z^{-1})$, é constituído de dois fatores: o primeiro, $P_D(z^{-1})$, é para estabelecer o desempenho desejado em malha fechada e suas raízes serão os pólos dominantes do sistema; o segundo, $P_o(z^{-1})$, contém pólos auxiliares que servem para garantir a robustez do sistema (esse polinômio é também chamado de polinômio observador).

As raízes do polinômio $P_D(z^{-1})$ são escolhidas como os pólos do modelo da planta (raízes do polinômio $A(z^{-1})$), mas com os pólos mal-amortecidos deslocados para posições radiais mais próximas da origem (maior amortecimento mantendo a frequência de oscilação constante). Isto equivale a multiplicar os valores dos pólos mal-amortecidos por um fator α ($0 \leq \alpha \leq 1$). Os pólos instáveis, quando existirem, serão substituídos por seus recíprocos e os bem amortecidos não serão alterados. Para melhorar a robustez do sistema de malha fechada, os pólos auxiliares dados pelas raízes de $P_o(q^{-1})$ devem ser escolhidos como pólos de alta frequência. Assim, tendo-se definido o polinômio de malha fechada, o projeto do ESP consiste na resolução da equação diofantina dada abaixo:

$$\begin{aligned} A(z^{-1})R(z^{-1}) + z^{-d}B(z^{-1})S(z^{-1}) = \\ P(z^{-1}) = P_D(z^{-1})P_o(z^{-1}) \end{aligned} \quad (2)$$

onde $A(z^{-1})$, $B(z^{-1})$ e $P(z^{-1})$ são os dados da equação e a solução consiste em determinar $R(z^{-1})$ e $S(z^{-1})$ (Åström, 95). Uma vez determinados $R(z^{-1})$ e $S(z^{-1})$, tem-se a função de transferência do ESP que é dada por:

$$\frac{S(z^{-1})}{R(z^{-1})} = \frac{g_0 + g_1z^{-1} + g_2z^{-2} + g_3z^{-3}}{1 + h_1z^{-1} + h_2z^{-2} + h_3z^{-3}} \quad (3)$$

A equação diofantina, para a determinação dos parâmetros do ESP g_i e h_i , é mais facilmente solucionada pela transformação da forma dada na Eq. (2) em uma equação matricial do tipo $Ax=b$ seguido da resolução dessa simples equação (Åström, 95).

Neste trabalho, usou-se $\alpha = 0,75$ (Barreiros, 92), que permite um amortecimento grande para os pólos dominantes, sem excitar pronunciadamente os modos não-amortecidos, de frequência mais elevada. Por simplicidade, escolheu-se todos os pólos auxiliares, dados pelas raízes de $P_o(q^{-1})$, para estarem na origem do plano- z (observador do tipo *dead beat*). O período de amostragem usado foi 50 ms.

4 Supervisor Baseado em Regras de Lógica Fuzzy

O desenvolvimento da abordagem da lógica fuzzy aqui adotada é limitada apenas a estrutura do supervisor. Discussões mais detalhadas sobre lógica fuzzy podem ser encontrados em (Wang., 1994, 1997). Para o supervisor proposto aqui, a tabela contendo os coeficientes do ESP é manipulada sob uma configuração do sistema fuzzy de Takagi e Sugeno, com os valores das potências ativa e reativa (P e Q), e o número de linhas de transmissão em funcionamento, N , como entradas para as tabelas

(Tavares da Costa, 1999, 2000). Isto é, de acordo com o atual ponto de operação no plano $P \times Q$, o supervisor fuzzy determina os coeficientes do ESP em uma maneira análoga a do controlador adaptativo auto-ajustável (ver Figura 2). Ou seja, primeiramente é determinado o modelo atual da planta e, a partir deste modelo, os parâmetros do ESP são projetados em seguida. Entretanto, como o supervisor fuzzy manipula um conjunto de modelos da planta previamente identificados durante a construção da RML, seu esforço computacional é muito inferior ao do controle adaptativo auto-ajustável, que requer uma permanente estimação recursiva dos coeficientes do modelo da planta. As regras baseadas em lógica fuzzy permitem que a mudança de coeficientes, quando alguma falta ocorre no sistema, seja feita de uma maneira contínua e suave. Deste modo, os coeficientes do modelo da planta (o sistema de potência, em nosso caso) não são necessariamente aqueles que foram calculados para os pontos escolhidos, mas sim a média ponderada dos coeficientes dos pontos escolhidos mais próximos, onde a distância em relação a esses pontos é o peso.

Os sinais de potência ativa e reativa e o número de linhas de transmissão em funcionamento nos instantes t de amostragem, $P(t)$, $Q(t)$ e $N(t)$, respectivamente, são representados por variáveis linguísticas fuzzy. Para a variável P , são considerados intervalos de 0.2 pu a partir de $P=0$ até $P=1.2$ pu, e, para esses intervalos, são designados conjuntos fuzzy. Assim, existem sete conjuntos fuzzy para P (P_1, P_2, \dots, P_7). Similarmente, a mesma partição é feita para a variável Q , mas agora, os valores são tomados de $Q=-0.4$ pu a $Q=0.8$ pu, e existem também sete conjuntos fuzzy para Q (Q_1, Q_2, \dots, Q_7). Por simplicidade de representação e pela facilidade nos cálculos, foram escolhidas funções de pertinência triangulares para os conjuntos fuzzy das variáveis $P(t)$ e $Q(t)$, exceto para os conjuntos fuzzy das extremidades que são representadas por funções trapezoidais, conforme mostra a Figura 4. A terceira variável fuzzy é representada na forma mostrada apenas para seguir o rigor matemático seguido pelas duas primeiras, pois sabe-se que, na prática, não pode haver um número não inteiro de linhas de transmissão em funcionamento.

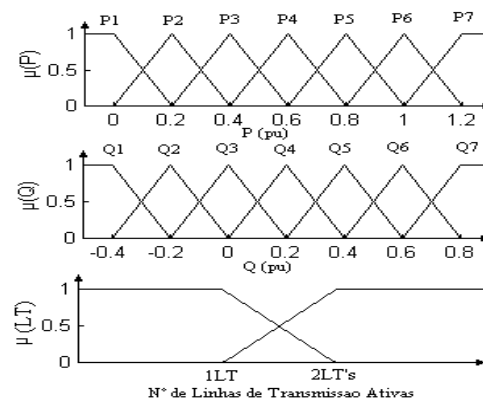


Figura 4: Funções de Pertinência para P , Q e N .

Após representar P , Q e N como variáveis fuzzy, o próximo passo é definir regras de lógica fuzzy em uma configuração de Takagi e Sugeno usando essas variáveis P e Q . Cada regra de supervisão $R^{(l)}$ que define um coeficiente c_m do modelo da planta é da forma:

$$R^{(l)}: \begin{array}{ll} \text{SE} & P \text{ é } P_i^l \\ & E \quad Q \text{ é } Q_j^l \\ & E \quad N \text{ é } N_k^l \\ \text{ENTÃO} & c_m \text{ é } c^l \end{array} \quad (3)$$

onde P_i^l , Q_j^l e N_k^l são conjuntos fuzzy e c^l é um real representando um coeficiente de $A(z^{-1})$ ou de $B(z^{-1})$ para a regra l em questão. Um sinal específico (P ou Q ou N) pode ter uma pertinência não nula em um ou dois conjuntos fuzzy. Para uma entrada como a tripla (P , Q , N) real, o valor do coeficiente considerado $c=f(P, Q, N)$ é obtido pela aplicação do sistema fuzzy de Takagi e Sugeno (Wang., 1997). Esse sistema fuzzy resulta em uma média ponderada de c^l :

$$c(P, Q, N) = \frac{\sum_{l=1}^L w^l c^l}{\sum_{l=1}^L w^l} \quad (4)$$

onde $L = 98$ é o número total de regras (49 para cada topologia) - número de pontos (P, Q, N) onde os modelos do sistema de potência foram estimados *off-line* para formar uma RML - e o peso, que implica o valor global da premissa de $R^{(l)}$ em relação a entrada considerada, é calculado pela utilização da máquina de inferência produto, ou seja,

$$w^l = \mu_{P_i^l}(P) \cdot \mu_{Q_j^l}(Q) \cdot \mu_{N_k^l}(N) \quad (5)$$

A partir desta definição de w^l e considerando as funções de pertinência adotada para P , Q , e N é facilmente notado que, para qualquer par de entrada (P , Q , N)

$$\sum_{l=1}^L w^l = 1 \quad (6)$$

Então, a fórmula para calcular o coeficiente considerado pode ser reescrita como:

$$c(P, Q, N) = \sum_{l=1}^L w^l c^l \quad (7)$$

Assim, para determinar o modelo da planta atual, a fórmula acima deve ser aplicada para cada coeficiente de seu numerador e de seu denominador.

Na próxima seção, serão apresentados resultados de testes realizados no sistema máquina-barra infinita, usando o ESP aqui descrito.

5 Resultados

Para avaliar o desempenho do estabilizador proposto neste trabalho, usou-se o sistema máquina-barra infinita, descrito na Figura 4. Especificamente, a planta é baseada no modelo de um gerador incorporando a variação do fluxo de campo, as variações de fluxo devido aos circuitos amortecedores nos eixos d e q , e o sistema de excitação simples mostrado na Figura 5. As equações deste sistema são descritas pelo modelo 4 descrito em (Arrilaga, 1983).

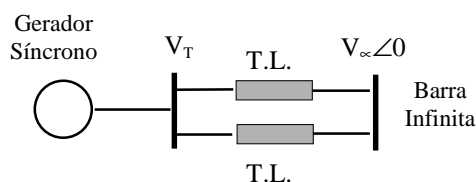


Figura 5: Sistema Máquina-Barra Infinita.
Dados da linha: $R_e=0.02$; $X_E=0.415$; $B=0$ (em pu, para cada linha)

Os parâmetros da máquina síncrona são dados na Tabela 1. A função de transferência contínua $H_{ex}(s)$ do sistema de excitação, incluindo um Regulador Automático de Tensão (com alto ganho), RAT, é dada por:

$$H_{Ex}(s) = \frac{K_a}{T_a s + 1}$$

onde $K_a = 200$ e $T_a = 30$ ms. Além disso, na saída do sistema de excitação existe um limitador, de modo que a tensão de campo fique restrita ao intervalo entre $+6V$ e $-6V$.

Para efeito de comparação, foi projetado também pelo método da alocação de pólos com $\alpha=0.75$, um ESPC digital a parâmetros fixos, com a mesma estrutura da Eq. (3). Este ESPC foi projetado para o ponto de operação $P_o = 0.75$ e $Q_o = 0.1$.

Tabela 4.1: Dados do Gerador Síncrono: resistências e reatâncias em pu (base de 100MVA), e constantes de tempo em seg.

H	4.27	X'_d	0.316	R_a	0.001	T'_{do}	5.26
X_d	1.445	X''_d	0.179	D	0.000	T''_{do}	0.028
X_q	0.959	X''_q	0.162			T''_{qo}	0.157

Como primeiro teste, com o sistema operando neste ponto (P_o, Q_o), aplicou-se um curto-circuito com duração de 100 ms, em $t=5s$, sendo o sistema restaurado com a perda de uma das linhas de transmissão. Após essa falta, o sistema passa a operar

em uma condição um pouco mais crítica, com $P_o = 0.75$ e $Q_o = 0.22$ (o ângulo do rotor que estava em torno de 52 graus e passa a ser maior que 70 graus). Após isso, em $t = 25s$, foi aplicado um segundo curto-circuito de apenas 50 ms de duração. A Figura 6 mostra os resultados das curvas dos ângulos dos rotores deste teste, para os casos: a) sistema sem ESP; b) sistema com ESPC digital a parâmetros fixos; e c) sistema compensado pelo ESP com supervisão fuzzy para a determinação do modelo a partir da RML.

A curva do sistema sem ESP (curva a da figura) mostra o ângulo do rotor muito oscilatório após os curtos-circuitos. Este tipo de comportamento é indesejável para um sistema de potência. Nota-se nas curvas b e c que ambos os estabilizadores fornecem um bom amortecimento dinâmico para o sistema, sem grandes diferenças, no que diz respeito ao amortecimento das oscilações pós-falta. Isto ocorre devido ao ponto de operação inicial ser o mesmo onde o ESPC digital a parâmetros fixos foi projetado e devido ao ponto de operação não ser substancialmente alterado (no plano $P \times Q$) após a primeira falta.

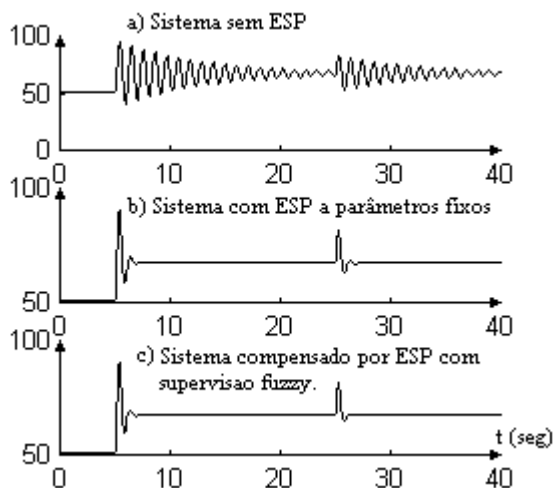


Figura 6: Ângulo do rotor (graus) para o teste 1.

As vantagens do estabilizador adaptativo proposto neste trabalho, com respeito a estabilidade dinâmica, se tornam mais claras se o sistema opera em pontos afastados do ponto de operação onde foi projetado o ESPC. Pontos com pequenos valores de P seriam pontos bem afastados do ponto de projeto do ESPC. Porém, nessas condições de pouca potência ativa sendo transmitida, o amortecimento natural do sistema de potência já é suficientemente bom, sem a necessidade de estabilizadores. Assim, foi escolhido como segundo teste, variações que afastem o ponto de operação para a região negativa de Q , mas ainda com um valor considerável para P . Nessas situações, um ESP fornece um nítido amortecimento adicional ao sistema que, nesses casos, necessita realmente de estabilizadores para uma boa operação.

Portanto, o segundo teste consistiu de uma redução, em 2s, de 20% na tensão de referência, a partir do ponto de operação inicial (P_o, Q_o). Após esta falta, o ponto de operação passa a ser $P = 0,75$ e $Q = -0,264$. Em seguida, em $t=15s$, aplicou-se um curto-circuito, sem perda da linha, com duração de 50 ms. A Figura 7 mostra as curvas dos ângulos dos rotores para o sistema: a) sistema com ESPC digital a parâmetros fixos; e b) sistema compensado pelo ESP com supervisão fuzzy. A curva do sistema não-compensado não é mostrada porque, neste caso, este sistema perde o sincronismo logo após a primeira falta. Nesta figura, fica bem nítida a vantagem do ESP aqui proposto em relação ao ESPC digital a parâmetros fixos.

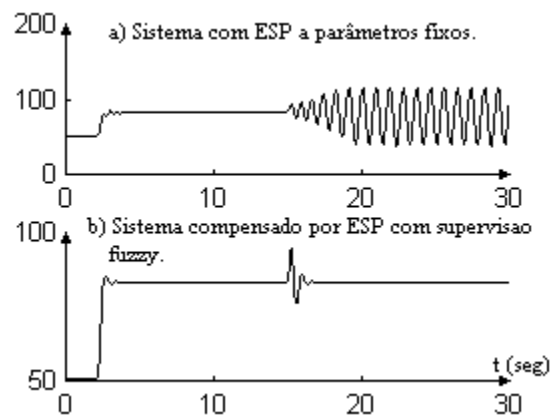


Figura 7: Ângulo do rotor (graus) para o teste 2.

6 Conclusão

O ESP adaptativo aqui proposto realiza um controle análogo ao auto-ajustável no sentido que ele determina o modelo da planta e calcula os coeficientes do compensador *on line*. A diferença é que aqui a determinação dos coeficientes do compensador é feita por um supervisor baseado em regras de lógica fuzzy a partir de uma rede de modelos locais (RML). Foi mostrado que o ESP proposto melhora bastante a estabilidade dinâmica do sistema, em relação a um ESPC digital a parâmetros fixos, quando o ponto de operação do sistema é afastado consideravelmente do ponto onde o ESPC foi projetado, como mostrado no segundo teste (embora ele represente uma situação não muito comum). Quando os pontos de operação pré-falta e pós-falta são próximos ao ponto onde os ESPC foi projetado, o ESP proposto e o ESPC apresentam desempenho parecidos.

Deve ser enfatizado que o estabilizador proposto aqui é facilmente projetado, com o uso de microcomputador, o qual já vem sendo utilizado nos modernos reguladores automáticos de tensão de geradores síncronos. A carga computacional de síntese desses ESPs é baixa, em comparação a de ESPs adaptativos que envolvem a estimação permanente dos parâmetros do sistema, podendo o

mesmo microcomputador usar o tempo economizado para a realização de outras tarefas, como monitoração, diagnóstico, alarme e outros controles do sistema.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores gostariam de agradecer ao Professor J.L. Kueny, do grupo Turbo-Máquinas da Escola Nacional Superior de Hidráulica e Mecânica de Grenoble - Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (ENSHMG-INPG), na França, pela infraestrutura disponibilizada durante a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Arrilaga, J., Arnold, C.P., e Harker, B.J. (1983). Computer Modelling of Electrical Power Systems, *John Wiley & Sons Ltd.*
- Aström, K. J. e Wittenmark, B. (1995). Adaptive Control, *Addison Wesley*, Reading Massachusetts, Second Edition.
- Barreiros, J. L. B., Silva, A. S. e Simões Costa, A. J. (1992). A Self-Tuning Power System Stabilizer Based on a Implicit Pole-Placement Method, *Proceedings of the IX Automatic Brazilian Congress*, pp 263-267.
- Barreiros, J. L. B., Silva, A. S. e Simões Costa, A. J. (1998). A Self-Tuning Generalized Predictive Power System Stabilizer, *Electric Power & Energy Systems*, Vol.20, N°3, pp.213-219.
- Cheng, S., Chow, Y. S., Malik, O P. e Hope, G. S. (1986). An Adaptive Synchronous Machine Stabilizer, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.1, No. 3, pp 101-109.
- de Mello, F. P. e Concordia, C.(1969). Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control, *IEEE Trans. on Power Apparatus e Systems*, Vol.88, No. 4, pp 316-327.
- Hunt, K. J. e T. A. Johansen, T. A. (1997). Design and Analysis of Gain-Scheduled Control Using Local Controller Networks. *International Journal of Control*, Vol. 66, N° 5,, pp. 619-651.
- Landau, I. D. (1993). Identification et commande de Systemes. *Traité des Nouvelles Technologies, Serie Automatique*. Ed. Hermes, Deuxième Edition.
- Larsen E. V e Swann, D. A (1981). Applying Power System Stabilizers - Parts1-3, *IEEE Trans. on Power Apparatus e Systems*, Vol.100, pp 3017-3046.
- Tavares da Costa Jr., C. (1999). Adaptive Control Methods by Supervision for the Regulation of a Generator Entrained by Hydraulic Turbine, *PhD Thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, France* (in French).
- Tavares da Costa Jr., C. (2000). Tuning of a Adaptive Power System Stabilizer by a Fuzzy Logic Based Supervisor from a Local Model Network, *IFAC Workshop on Digital Control - Past, Present and Future of PID Control (PID' 00)*, Terrassa, Spain, pp. 507-512.
- Wang, L. X. (1994). Adaptive Fuzzy Systems e Control: Design e Stability Analysis, *PTR Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Wang, L.X. (1997). A Course in Fuzzy Systems and Control, *Prentice-Hall International, Inc.*