

Controladores Nebulosos: Estudo de Caso de Concepções Diferenciadas para Processos Não-lineares

João Alberto Passos Filho
Márcio Franco Clume
Francisco José Gomes

Faculdade de Engenharia da UFJF
Departamento de Energia Elétrica
Caixa Postal 422
Fone : (032) 229-3424
e-mail : Chico@pet.ufjf.br
Juiz de Fora - MG

Resumo

O presente trabalho procura analisar, através da implementação e verificação de desempenho, diferentes estruturas de controladores nebulosos utilizados no controle de excitação de um gerador síncrono acoplado a um sistema de grande porte. Foram analisados o controladores de máximo e de máximo-mínimo, verificando-se-se que as estruturas nebulosas apresentam respostas satisfatórias, qualitativamente muito próximas, mantendo a estabilidade do sistema. Estes resultados encorajam estudos posteriores das técnicas nebulosas, especialmente procedimentos de estabelecimentos de funções de pertinências mais adequadas e sua sintonia em conformidade com a dinâmica do processo controlado.

Abstract

This paper focuses, from a practical point of view, on the performance of three different fuzzy control strategies for dealing with the excitation of a synchronous generator coupled to a infinity bus when submitted to several load disturbances. The maximum and maximum-minimum fuzzy controlleres were analysed. One can verify that the the fuzzy strategies performed qualitatively in almost the same way, keeping the system stability. These results of the fuzzy controlleres are stimulating, encouraging the study and developmente of membership functions stablishment and their adaptivity to the process dynamics.

Palavras-chaves: Conjuntos Nebulosos, Inteligência Artificial, Aplicações ao Setor Energético.

Keywords: Fuzzy Sets, Artificial Intelligence, Energy Setor Applications.

1. Introdução :

O controle de excitação de geradores síncronos constitui uma área onde estratégias diversificadas de controle estão em contínuo desenvolvimento, resultante das características especiais deste sistema - dinâmica extremamente rápida e traços marcantes de não-linearidades.

Técnicas alternativas de controle estão sendo tentadas, dentre as quais pode-se citar os Controladores Nebulosos (Fuzzy Controllers). Desenvolvidos a partir do estabelecimento da Lógica Fuzzy, em 1965, por Lotfi A. Zadeh (Zadeh, 1965), estes controladores tem encontrado espaço crescente nos mais diversificados tipos de sistemas e processos (Kandel, 1994; Yager, 1994).

O presente trabalho efetua uma análise, sob um ponto de vista de implementação prática, do desempenho de diferentes filosofias de controle nebuloso para controle de excitação de um gerador síncrono acoplado a um sistema de grande porte. Efetuou-se,

inicialmente uma implementação segundo os procedimentos utilizados por Hsu (Hsu, 1993), comparando-os com os procedimentos utilizadas por Mamdani (Lee, 1990) e Yager (Figueiredo, 1993). A análise foi efetuada utilizando-se o ambiente computacional SIMGER (Clume, 1995).

2. Controladores Baseados na Lógica Nebulosa

2.1 - Introdução

A Lógica Nebulosa vem se tornando rapidamente uma das mais bem sucedidas tecnologias da atualidade no que se refere ao desenvolvimento de novos sistemas de controle. Com a ajuda dessa metodologia vem sendo possível a implementação de diversos sistemas com alto grau de complexidade, de uma maneira simples e com baixo custo, para situações onde a formulação de modelos analíticos se revela infactível, ou não são computacionalmente exequíveis em tempo real ou ainda onde um conhecimento heurístico se encontra disponível, sem contudo ser imediatamente transposto para uma lei de controle através da teoria clássica.

As partes principais de todo o processo são a fuzificação das variáveis de entrada, um prévio conhecimento do comportamento do sistema (Base de Conhecimento), a tomada de decisão e a defuzificação das variáveis de saída. Estas diversas etapas, principalmente os procedimentos de fuzificação e defuzificação constituem objeto de pesquisa atual da engenharia de controle, com proposição de diversas filosofias de controle diversificadas.

2.2 - Controlador de Hsu

Este controlador atua com a seguinte relação Fuzzy para fazer sua "Tomada de Decisão"

$$\phi B(y) = \max_x(\min(\phi_R(x,y), \phi_A(x)))$$

onde

.max representa o operador *OR* (união entre dois conjuntos Fuzzy)

.min representa o operador *AND* (interseção entre dois conjuntos Fuzzy)

O algoritmo utilizado para a saída do controlador é o "Algoritmo Máximo" onde o sinal de maior grau de pertinência é escolhido como resposta.

2.3 - Controlador Yager

Sejam duas entradas, X e Y , que, "fuzificadas", definem seus

respectivos graus de pertinência. Para a i_{th} regra R_i definimos τ_i como:

$$\tau_i = \min(\mu_{A_i}(X_0), \mu_{B_i}(Y_0))$$

A função $C_i^*(\tau_i)$ é definida como

$$C_i^*(\tau_i) = \frac{Z_1 + Z_2}{2} = m_i$$

onde Z_1 e Z_2 são correspondentes de τ_i e definidos como C_i e C_{τ_i} (Figura 1):

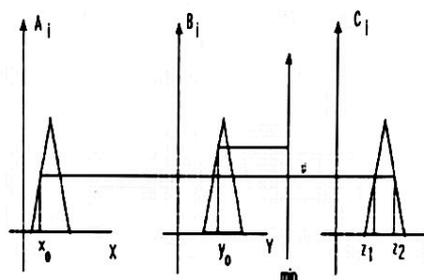


Figura 1: Procedimento utilizado no Controlador de Yager

com

$$C_{\tau_i} = \{ z / \tau_i \leq \mu_{C_i}(z) \}$$

Determinando-se os valores de

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2} = m_i \text{ para cada } i_{th} \text{ regra a}$$

defuzzificação é calculada por:

$$Z_0 = \frac{\sum m_i \tau_i}{\sum \tau_i}$$

O algoritmo é:

- 1) Calcular: $\tau_i = \mu_{A_i}(X_0) \vee \mu_{B_i}(Y_0)$;
- 2) Calcular: $C_{\tau_i} = \{ z / \tau_i \leq C_i(x) \} = [Z_1, Z_2]$;
- 3) Calcular os m_i : $\frac{Z_1 + Z_2}{2} = m_i$;

4) - Calcular a saída:
$$Z_0 = \frac{\sum m_i \tau_i}{\sum \tau_i};$$

2.4 - Controlador Mamdani

O controlador de Mamdani tem sido um dos mais utilizados na implementação de estratégias nebulosas. Sua implementação segue o conjunto de regras R_i como mostrado abaixo,

$$R_i = \text{if } X \text{ is } A_i \text{ e } Y \text{ is } B_i \text{ then } Z \text{ is } C_i, \\ i = 1, 2, \dots, N.$$

Pelo "sup min compositional rule", acha-se a seguinte relação Fuzzy,

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C_i' = \bigcup_{i=1}^n [(A', B') \circ R_i]$$

onde C' é a união da inferência feita por cada regra. Após a fuzificação obtém-se duas notações correspondentes às duas entradas

$$X = X_0, \text{ suporá } (X_0) = \{x_0\}$$

$$Y = Y_0, \text{ suporá } (Y_0) = \{y_0\}$$

então

$$\mu_{C_i}' = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}$$

Onde \wedge é o operador min.

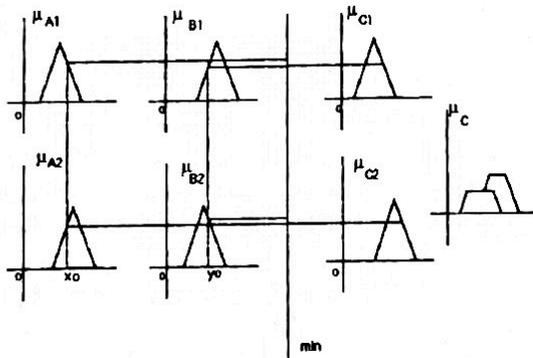


Figura 2 - Procedimento utilizado por Mandani

A defuzzificação foi pelo método do centroíde:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N z_i \cdot \mu_c(z_i) \cdot \Delta z}{\sum_{i=1}^N \mu_c(z_i) \cdot \Delta z}$$

3 - Simulações e Resultados

Os testes consistiram em mudança brusca dos parâmetros da linha de transmissão; mostraremos aqui alguns resultados.

3.1 - Estratégia de Hsu

A figura 3 mostra a resposta do sistema quando a malha foi fechada com o controlador de Hsu. Embora o sistema não tenha perdido a estabilidade, nota-se que a ação do controle não é suave, apresentando descontinuidades. Nota-se ainda a presença de um "off-set" no sistema, enquanto na perturbação mostrada à esquerda pode-se observar um desvio em relação ao valor nominal. Pode-se dizer que o controlador não permite que a máquina perca o sincronismo, embora sua sintonia possa certamente ser melhorada.

3.2 - Estratégia de Yager

A resposta do sistema para este controlador é mostrada na figura 4. A melhor performance desta estratégia é

bastante visível, sob um aspecto qualitativo. O sistema não só não apresenta mais o “off-set”, como também a lei de controle possui dinâmica mais suave, fato que se reflete na variável controlada. É importante assinalar ainda o fato da maior facilidade de implementação computacional desta estratégia.

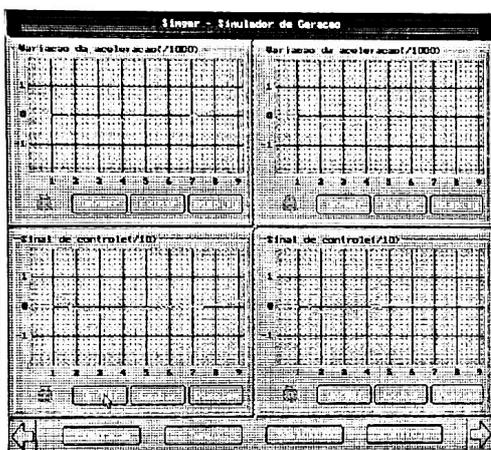


Figura 3 - Dinâmica do Sistema para as perturbações utilizando a estratégia de Hsu.

controlador proposto por Mamdani. Neste caso o comportamento do sistema ficou bastante próximo ao caso anterior dificultando, inclusive, uma avaliação sob o ponto de vista meramente qualitativo, da performance destas duas estratégias. Nota-se contudo, maior tempo de resposta para estabilização da aceleração.

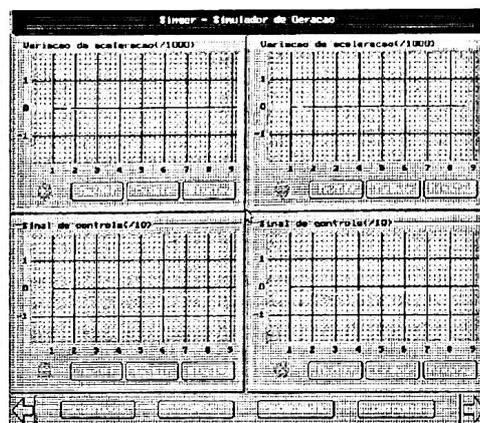


Figura 5-Dinâmica do Sistema, para as perturbações para a estratégia de Mamdani

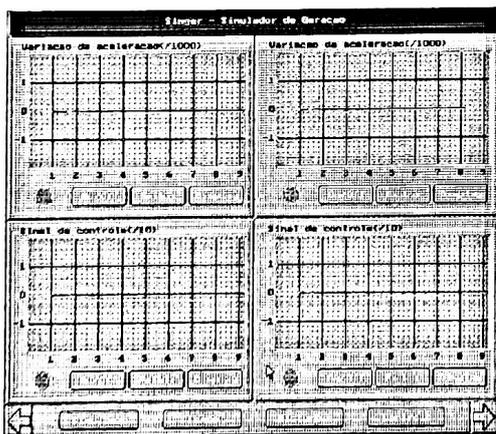


Figura 4- Dinâmica do Sistema para as perturbações utilizando a estratégia de Yager

3.3 - Estratégia de Mamdani

A figura 5 mostra o comportamento do sistema utilizando o

4. Conclusões

O presente trabalho analisou a performance de diferentes estratégias de controle nebuloso aplicadas ao controle de excitação de um gerador síncrono acoplado a uma barra infinita. Foram analisados as estratégias utilizadas por Hsu, Yager e Mamdani. Os seguintes resultados foram observados:

a) O desempenho dos controladores nebulosos foi, de maneira geral,

satisfatório, estabilizando o sistema em curto prazo, com uma dinâmica suave;

b)Dentre as estratégias nebulosas verificou-se que as propostas por Yager e Mandani apresentam resposta mais suave e contínua que a de Hsu;

c)No aspecto computacional o controlador de Yager se revela como o mais simples, apresentando ainda performance superior aos demais;

d)A sintonia dos controladores nebulosos não é trivial, recomendando estudos posteriores no seu estabelecimento e, especialmente, adaptatividade em tempo real.

5. Bibliografia

1)Clume, M. F, “**SIMGER - Ambiente Computacional para Análise de Sistemas de Potência**”, Relatório Técnico, Faculdade de Engenharia, UFJF, Março de 1995.

2)Figueiredo, M; F. Gomide; A. Rocha and R. Yager, “Comparison of Yager’s Level Set Method for Fuzzy Logic Control with Mamdani’s and Larsen’s Methods”, **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 1, n. 2, p 156-159, May, 1993.

3)Hsu, Y. and Cheng, C., “Fuzzy Controller for Generator Excitation Control”, **IEEE Transactions on**

Systems, Man and Cybernetics, v. 23, n.2, March/April 1993.

4) Kandel, A. and G. Langholz, “**Fuzzy Control Systems**”, CRC Press, 624 p., Boca Raton, USA, 1994.

5) Lee, C. C., “Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller”(parts I and II) , **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 20, n.2, March/April 1990.

6)Yager, R. R. and D. P. Filev, “**Essentials of Fuzzy Modeling and Control**”, John Wiley & Sons, Inc., 388 p., New York, USA, 1994.

7) Zadeh, L. A., “Fuzzy Sets”, **Informat. Control**, vol. 8, pp 338-353, 1965.

Os autores agradecem ao programa PET/Capes, ao CNPq e à Fapemig através dos convênios 300961/89-8 e TEC1527/93, respectivamente