

CONTROLE “FUZZY” DO GERADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO PARA MCHs

Autores: **Felipe Nascimento Martins** e **Gilberto Costa Drumond Sousa**

Tema específico em que se enquadra o trabalho: **Geração Distribuída de Energia**

Perspectiva: **Tecnológica**

Preferência por apresentação em pôster.

Dados dos autores:

Felipe Nascimento Martins

Instituição: UCL – Faculdade do Centro Leste

Qualificação acadêmica: Graduado em Eng. Elétrica – UFES, 1998 e Mestre em Eng. Elétrica – UFES, 2003.

Endereço: Av. Lourival Nunes, 181 - Jardim Limoeiro - Serra - ES, CEP: 29164-055

Telefones: (27) 3328-2828

e-mail: felipe.martins@ucl.br

Gilberto Costa Drumond Sousa

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Dep. de Engenharia Elétrica

Qualificação acadêmica: Graduado em Eng. Elétrica – UFES, 1982, Mestre em Eng. Elétrica – UFSC, 1986 e Doutor em Eng. Elétrica – University of Tennessee, Knoxville - EUA, 1993.

Endereço: Av. Fernando Ferrari, s/n - Campus Universitário de Goiabeiras - Prédio CT-2, CEP 29060-900 - Vitória - ES

Telefones: (27) 3335-2852

e-mail: g.sousa@ele.ufes.br

CONTROLE “FUZZY” DO GERADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO PARA MCHs

1. Resumo

No Brasil o sistema elétrico está operando próximo de sua capacidade e o risco de ocorrer racionamento de energia (como em 2001) ainda existe. Uma alternativa à construção de grandes centrais geradoras e longas linhas de transmissão é a construção de diversas pequenas centrais elétricas localizadas próximas aos centros de consumo, sempre que possível. Esse tipo de sistema pode ser instalado em propriedades rurais ou pequenos povoados e pode funcionar de maneira independente do sistema interligado. Este trabalho apresenta estudo, modelagem, simulação e implementação em laboratório de um sistema de geração de energia elétrica que pretende aproveitar a energia disponibilizada por córregos e rios. A máquina de indução é utilizada como gerador, e o controle de amplitude da tensão gerada é feito através do fornecimento ou absorção de potência reativa da máquina, conforme necessário. A potência reativa é fornecida ou absorvida por um inversor trifásico controlado por um processador digital de sinais (DSP) especialmente programado para executar esta função. No programa do DSP são usados controladores PI clássicos e controladores baseados em lógica “Fuzzy”. O desempenho do sistema operando apenas com controladores PI e operando com controladores “Fuzzy” é comparado, e fica clara a superioridade dos controladores “Fuzzy” nessa aplicação.

2. Introdução

O racionamento de energia experimentado no Brasil no ano de 2001 e início de 2002 [3] motivou muitos investimentos na área de geração e transmissão de energia elétrica. O Governo Federal tem incentivado o combate ao desperdício de energia elétrica [9] e a construção de novas usinas, principalmente termelétricas, por serem de construção mais rápida. Porém, usinas termelétricas dependem de combustível e produzem gases que provocam poluição atmosférica. Além disso, as novas usinas precisam ser economicamente viáveis, o que quase sempre significa gerar grandes quantidades de energia. No caso das termelétricas, devem ter combustível

disponível no local de geração. Isso inviabiliza a construção de pequenas centrais locais, que poderiam ficar próximas dos consumidores para suprir pequena demanda de energia. A construção de várias pequenas centrais diminuiria bastante os custos com transmissão e distribuição da energia, além de reduzir as perdas relacionadas com seu transporte.

O presente artigo apresenta uma proposta de topologia de controle para um sistema de geração de energia elétrica que pode ser instalado em propriedades rurais ou pequenos povoados, e que pode funcionar de maneira independente do sistema interligado. Mostra, também, resultados de simulação e experimentais (em laboratório) da operação do sistema proposto. A energia primária a ser aproveitada é de natureza hidráulica, o que leva o sistema estudado a ser classificado como uma Micro Central Hidrelétrica (MCH).

A construção de uma MCH tem impacto ambiental bastante reduzido: não é necessário o desvio do curso de rios, o represamento de água em grande escala e nem a queima de nenhum tipo de combustível fóssil. A legislação brasileira isenta os produtores de energia com potência menor que 10MW da apresentação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto ao Meio-Ambiente (RIMA). A lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996 estabelece que o autoprodutor e o produtor independente de energia elétrica, com potência menor que 1000kW, não necessitam de autorização governamental para operarem.

Conforme dados do Programa Luz no Campo, da Eletrobrás, a Eletrificação Rural no Brasil é bastante deficiente no que se refere ao percentual de propriedades atendidas [12]. Esse cenário é consequência do elevado custo de instalação e manutenção de redes rurais de transmissão e distribuição de energia, fruto das grandes distâncias, da baixa densidade de cargas e de sua baixa demanda. Por isso, comunidades pequenas, com baixa demanda e afastadas da rede elétrica têm maior chance de não serem atendidas pelo sistema interligado. Pela legislação atual, as concessionárias de energia têm prazo até dezembro de 2015 para eletrificar todos os domicílios sem acesso à energia no Brasil [22]. Mas, o programa Luz Para Todos, do Governo Federal, pretende antecipar em sete anos a universalização da energia elétrica no país através da

instalação de três pontos de luz e duas tomadas em cada um dos domicílios rurais brasileiros ainda sem acesso à energia elétrica [22], o que significa um benefício a cerca de dez milhões de pessoas que vivem no meio rural. Em muitas regiões a extensão da rede até o consumidor não é economicamente viável. Nesses casos, o aproveitamento de fontes locais para geração de energia torna-se bastante interessante. A disponibilidade de recursos hídricos, as grandes distâncias até as linhas de transmissão e a baixa densidade de consumidores fazem com que a construção de MCHs seja atraente.

3. A Máquina de Indução como Gerador

A máquina de indução (MI) é capaz de fornecer potência ativa se for provida excitação suficiente [2]. Se comparada à máquina de corrente contínua e à máquina síncrona, a máquina de indução (MI) gaiola de esquilo é mais robusta, mais barata, requer menos manutenção e possui maior relação potência/peso [5]. Essas características, principalmente o fato de a MI requerer menos manutenção, fazem com que o uso dessa máquina como gerador seja interessante em locais remotos, como propriedades rurais ou pequenos povoados do interior. Construção mais simples, custo mais baixo e menor necessidade de manutenção fazem do Gerador de Indução (GI) uma boa alternativa, também, para países com limitados recursos tecnológicos e financeiros. Além disso, a MI é a máquina elétrica mais empregada como motor em instalações industriais [5] e, por isso, existe grande disponibilidade no mercado. Isso se traduz em maior facilidade de substituição e menor custo de manutenção.

Apesar de todas essas características favoráveis, a MI é muito pouco utilizada como gerador devido à sua pobre regulação de tensão e variação de frequência, mesmo quando acionada à velocidade constante e alimentando carga resistiva [2][20]. O sistema proposto usa a MI operando como gerador e possui meios de controlar a amplitude e limitar a variação da frequência da tensão gerada [21].

O fornecimento da potência reativa necessária para excitar a MI deve ser feito por fonte externa, como por banco de capacitores (gerador auto-excitado) ou por inversor de frequência. Esse inversor, devidamente controlado, é capaz de fornecer potência reativa suficiente para excitar a MI e alimentar a carga, caso esta solicite. A Fig. 1 mostra o gerador de indução auto-excitado conectado a um inversor PWM trifásico, que é a topologia proposta para funcionamento em MCHs.

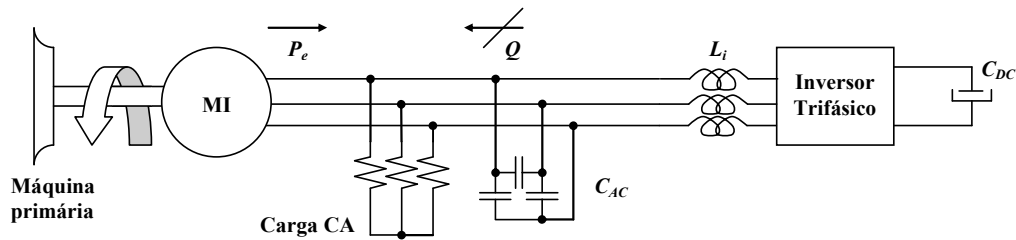


Fig. 1 *GI auto-excitado conectado a inversor PWM trifásico*

O banco de capacitores C_{AC} fica responsável, apenas, pelo fornecimento da potência reativa necessária para que a MI tenha, à vazio, tensão nominal em seus terminais. O inversor responde pela potência reativa (Q) solicitada ou fornecida pela carga (ou seja, é capaz de fornecer ou drenar potência reativa) e pelo acréscimo de potência reativa necessária para manter o fluxo da MI com a variação da potência ativa da carga. Outros autores já apresentaram estudos de sistemas similares, como pode ser verificado em [10], [11] e [7]. O sistema aqui proposto se diferencia dos citados por não exigir controlador de velocidade para a máquina primária, gerar potência ativa apenas em valor suficiente para suprir a carga, não usar sensor de velocidade e utilizar o modelo dinâmico do sistema para geração do algoritmo de controle.

4. O Sistema Proposto

O diagrama geral do sistema proposto é ilustrado na Fig. 2. Consiste de uma máquina de indução trifásica gaiola de esquilo de 5hp, 4 pólos, 220V, 60Hz, um banco de capacitores C_{AC} e o inversor trifásico para gerenciamento do fluxo de potência reativa. A figura mostra a máquina de indução (MI) conectada ao inversor trifásico (através de indutores L_i), ao banco de capacitores C_{AC} e à carga. Os resistores R_i representam a resistência intrínseca dos indutores. O capacitor do

elo CC do inversor é representado por C_{DC} . O resistor R_{AUX} , ligado em série com C_{DC} , serve para limitar a corrente de carga do capacitor durante a partida do sistema. Quando em regime, R_{AUX} é curto-circuitado pela chave S_{AUX} , de forma que o capacitor C_{DC} fique ligado diretamente ao inversor. O resistor R_P e a chave S são opcionais. Servem para dissipar potência ativa excedente e limitar a excursão da tensão de elo CC (V_{DC}). Quando usados, podem limitar a variação da frequência da tensão terminal da MI.

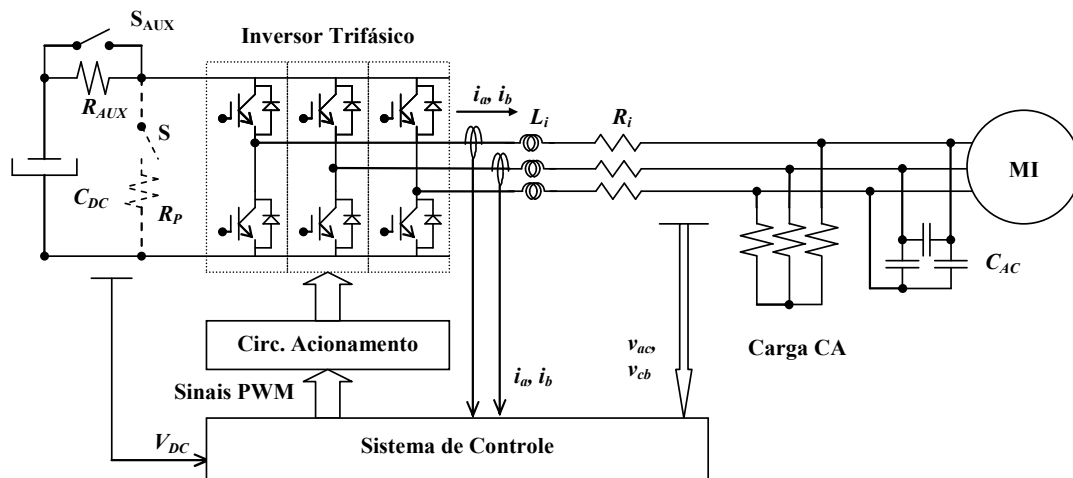


Fig. 2 Diagrama geral do sistema proposto

O sistema de controle recebe as informações de tensão no elo CC (V_{DC}), correntes na saída do inversor (i_a , i_b) e tensão nos terminais do gerador (v_{ac} e v_{cb}). Gera, então, sinais PWM para comando das chaves do inversor.

5. Estratégia de Controle

A estratégia de controle proposta é ilustrada em detalhes na Fig. 3. É baseada no princípio de fluxo de potências ativa e reativa entre dois barramentos num determinado sistema de potência. Um asterisco indica valor de referência para determinada grandeza. As malhas de controle de tensão e corrente estão no referencial d-q síncrono pois, devido ao fato desses valores aparecerem como quantidades CC nesse referencial, assegura-se erro zero em regime permanente com o uso de controladores PI.

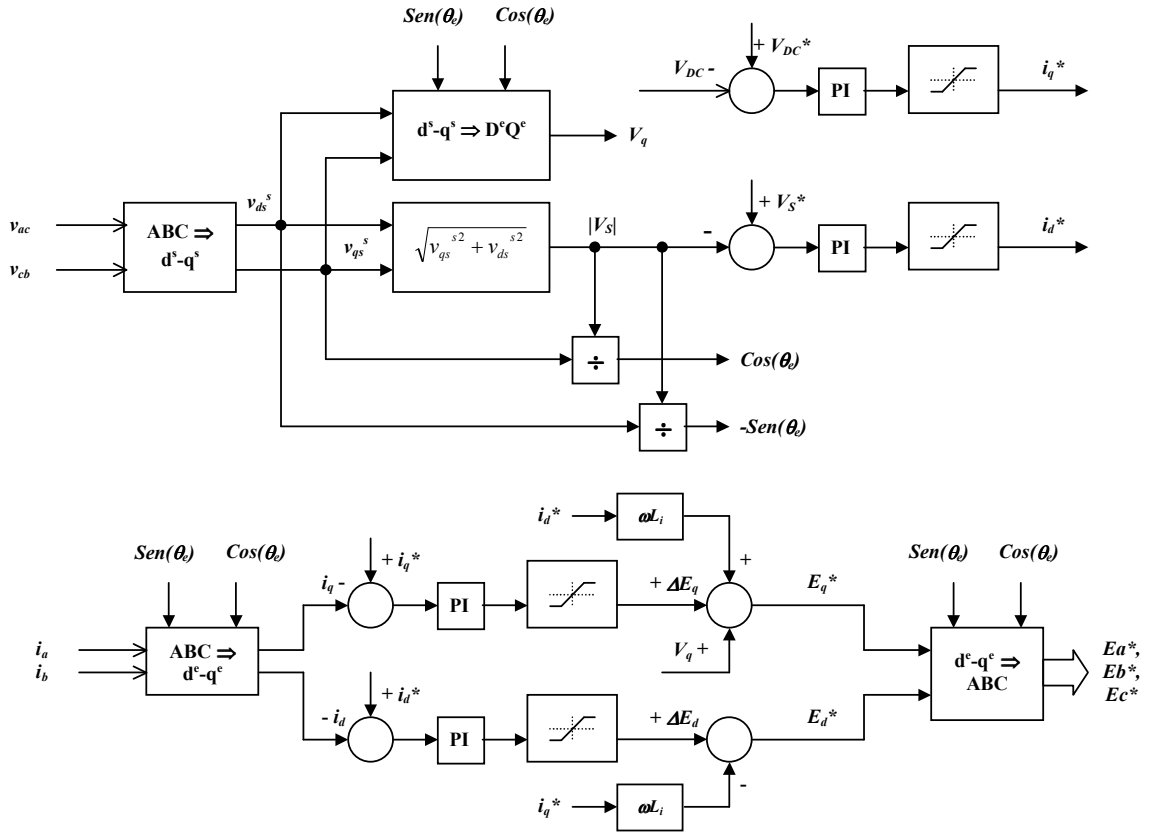


Fig. 3 Diagrama de blocos do sistema de controle

O objetivo principal do sistema de controle é manter constante o valor da tensão gerada pela MI, tanto em regime permanente quanto durante transitórios. Para isso é necessário que a excitação da MI seja controlada, o que é feito com ajuste da corrente i_d do inversor, que determina a quantidade de potência reativa que será absorvida ou fornecida por esse conversor [21]. A amplitude da tensão terminal é informada ao sistema de controle através da medição de v_{ac} e v_{cb} . Esses valores são convertidos para o referencial d^s-q^s (d-q estacionário) e o valor de pico da tensão ($|V_S|$) é calculado. Esse valor de pico é comparado com o valor de referência (V_S^*), sendo que o erro dessa comparação gera o valor de referência da corrente i_d (i_d^*). A tensão do elo CC (V_{DC}) é usada como parâmetro para controle de fluxo de potência ativa entre o inversor e o restante do sistema, determinada pela corrente i_q . É desejável que a tensão V_{DC} permaneça em seu valor nominal para que o inversor seja capaz de fornecer a potência reativa necessária para uma boa regulação da tensão terminal do GI. O desvio entre os valores medidos e

de referência de corrente geram, através de controladores PI, as tensões ΔE_d e ΔE_q , que são responsáveis pela compensação de eventuais variações de parâmetros e pela manutenção do valor de tensão quando da variação de carga. Esses termos também buscam atenuar os efeitos de acoplamento entre os eixos. Com isso, tem-se um controle de corrente mais eficiente e com valores relativamente pequenos de ganhos dos controladores [16][21]. Os valores de referência de tensão são transformados em sinais PWM que são enviados ao circuito de acionamento das chaves do inversor (“Gate Driver”). Dessa forma, o inversor funciona como um compensador de reativos capaz de manter constante o valor da amplitude da tensão gerada.

6. Resultados de Simulação

Foi elaborado um modelo dinâmico do sistema proposto [21], usando apenas controladores PI, que foi simulado no software SimNon. O comportamento do sistema durante variações de carga de diferentes características foi analisado para que se comprovasse o funcionamento da topologia proposta. Alguns dos resultados obtidos são mostrados a seguir.

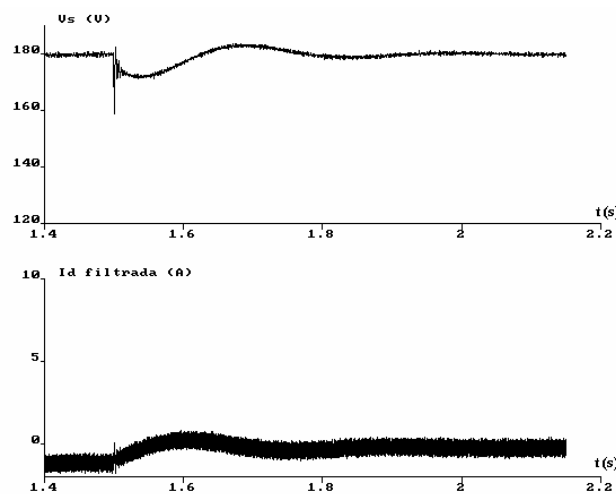


Fig. 4 V_S e I_d durante entrada de carga resistiva de 0,25pu

A Fig. 4 mostra a variação do valor de pico da tensão gerada (V_S) e o valor filtrado da corrente i_d quando ocorre acionamento repentino de uma carga de 0,25pu. Pode-se observar que a tensão gerada diminui assim que a carga é acionada ($t=1,5s$), mas a ação dos controladores

provoca rápido aumento da corrente i_d , o que faz com que a tensão V_S retorne ao seu valor de referência. A Fig. 5 ilustra a variação da tensão gerada para uma fase (v_A), a corrente nessa mesma fase (i_A) e a velocidade mecânica da MI para o caso de acionamento de uma carga indutiva de 0,5pu com fator de potência de 0,7 indutivo. Nesse caso, o sistema precisa aumentar o fornecimento de potência reativa para a MI e fornecer a potência reativa demandada pela carga indutiva. Pode-se observar na figura que o comportamento é bastante satisfatório. Com o acionamento da carga (em $t=1,5s$), a amplitude da tensão gerada cai, mas retorna ao seu valor de referência após alguns ciclos, assim permanecendo mesmo com a redução da velocidade mecânica (N) da MI.

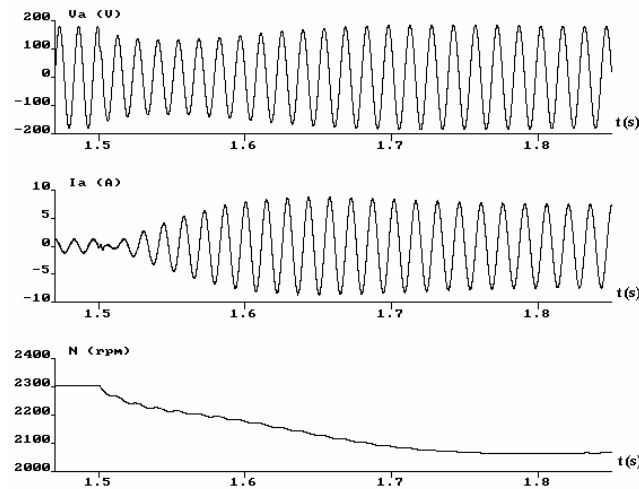


Fig. 5 v_A , i_A e velocidade da MI durante entrada da carga ind. de 0,50pu e $fp=0,7$

Vale ressaltar que em todos os casos simulados a variação da tensão no barramento CC do inversor (V_{DC}) foi mínima. Os resultados de simulação, portanto, comprovam a eficácia da topologia de controle adotada.

7. Controlador “Fuzzy” para o Gerador de Indução

Os sistemas que utilizam a lógica “fuzzy” (ou lógica nebulosa) modelam aproximadamente a maneira humana de lidar com informações imprecisas ou incertas. São sistemas que operam de forma independente de um modelo analítico, com capacidade de controlar processos não-lineares complexos, em ambientes com imprecisão, incerteza ou ruído

[4]. Por permitir o tratamento e a aplicação de regras que contêm imprecisão e incerteza implícitas, a lógica “fuzzy” tem aplicações nas mais diversas áreas, como economia, ecologia, meteorologia, biologia, medicina, engenharia e muitas outras [6]. Na área de engenharia, uma vasta aplicação da lógica “fuzzy” é na automação e controle de processos. Essa aplicação da lógica “fuzzy” é chamada de controle “fuzzy”. Uma das primeiras aplicações do controle “fuzzy” na área de acionamento elétrico e eletrônica de potência foi apresentada por Sousa em [18]. Outras aplicações são mostradas em [1], [13], [14] e [15]. As diversas aplicações do controle “fuzzy” na área de acionamento elétrico mostram que esse tipo de controle é bastante eficiente quando aplicado a sistemas que apresentam variação de parâmetros e não-linearidades, caso da máquina de indução. Controladores “fuzzy” foram utilizados no presente trabalho em substituição aos controladores PI das malhas de V_S e V_{DC} , que geram os valores de referência das correntes i_d e i_q .

Um controlador “fuzzy” é projetado para trabalhar apenas com variáveis “fuzzy”. Por isso é necessária a “fuzzyficação” das variáveis de entrada e “defuzzyficação” da variável de saída, como mostra a Fig. 6.

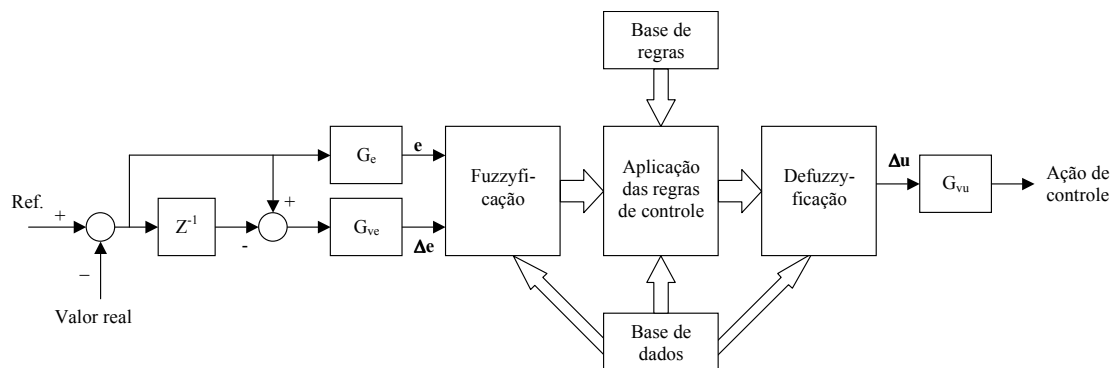


Fig. 6 Estrutura do controlador “Fuzzy” implementado

O controlador cuja estrutura está apresentada na Fig. 6 é do tipo “Fuzzy-PI”, e é apresentado por Tang e Mulholland em [19] e por Moon em [8]. Este tipo de controlador tem como entradas os valores de *erro* (e) e de *variação do erro* (Δe) e, como saída, apresenta a *variação da ação de controle* (Δu). É necessário, portanto, promover a integração da saída do

controlador para se obter o valor absoluto da ação de controle desejada. A base de regras para este controlador é apresentada no quadro 1, e é norteada por três regras fundamentais [19]:

1. Se e e Δe forem nulos, não deve haver mudança no sinal de controle ($\Delta u = 0$);
2. Se e for não nulo e Δe for tal que o sistema tende para o valor de referência a uma velocidade aceitável, então Δu deve ser nulo;
3. Se e for não nulo e Δe for tal que o sistema não tende para o valor de referência, ou tende para o valor de referência a uma velocidade indesejada, então Δu deve ser não nulo.

Quadro 1 – Base de Regras do controlador “Fuzzy” implementado

		e						
		NG	NM	NP	ZE	PP	PM	PG
Δe	NG	NG	NG	NM	NM	NP	NP	ZE
	NM	NG	NM	NM	NP	NP	ZE	PP
	NP	NM	NM	NP	NP	ZE	PP	PP
	ZE	NM	NP	NP	ZE	PP	PP	PM
	PP	NP	NP	ZE	PP	PP	PM	PM
	PM	NP	ZE	PP	PP	PM	PM	PG
	PG	ZE	PP	PP	PM	PM	PG	PG

O universo de discurso das entradas e da saída foi particionado em sete conjuntos “fuzzy”, quais sejam: Negativo Grande (NG), Negativo Médio (NM), Negativo Pequeno (NP), Zero (ZE), Positivo Pequeno (PP), Positivo Médio (PM) e Positivo Grande (PG). As funções de pertinência dos conjuntos “fuzzy”, com valores normalizados, são apresentadas na Fig. 7.

Para simplificação do algoritmo, os conjuntos das variáveis “fuzzy” são do tipo triangular com sobreposição (“overlap”) de 50%, conforme sugerido por Sousa, Simões e Bose em [17]. Os conjuntos triangulares não são simétricos e foram distribuídos de forma a aumentar a precisão do controlador quando as variáveis de entrada estão mais próximas de zero. O estilo de inferência do controlador “fuzzy” implementado é o “Mandani”, ou SUP-MIN. O método de “defuzzyficação” utilizado é o “método das alturas”, que produz resultado muito próximo do método do “centro de gravidade”, mas é menos complexo de ser implementado

computacionalmente. A implementação dos controladores “Fuzzy” em linguagem assembly do DSP foi baseada na metodologia apresentada por Sousa, Simões e Bose em [17].

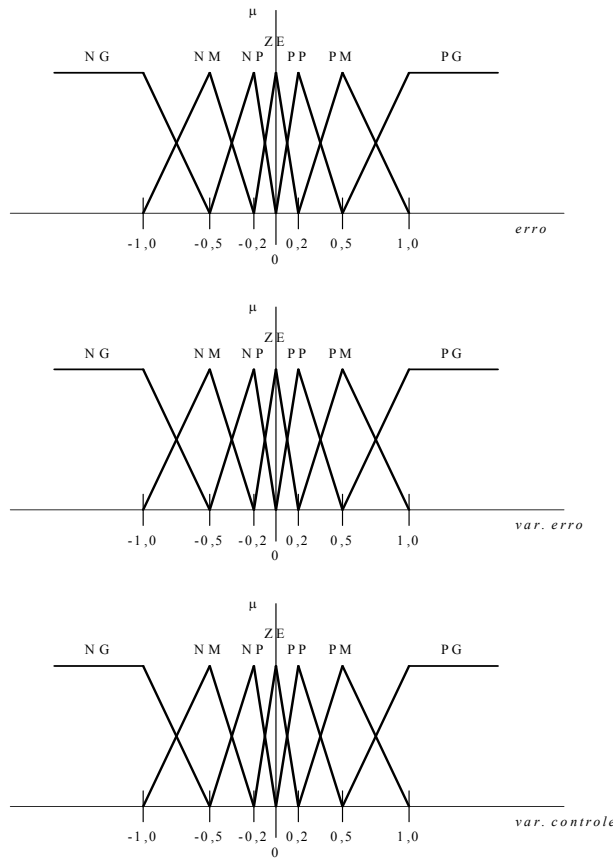


Fig. 7 Funções de pertinência dos controladores “Fuzzy” implementados

8. Resultados Experimentais

O programa de controle e o sistema como um todo foram implementados em laboratório com os mesmos parâmetros do sistema simulado. Inicialmente foram usados controladores PI em todas as malhas e, em seguida, controladores “fuzzy” foram usados nas malhas de V_S e V_{DC} , mantendo controladores PI nas malhas de i_a e i_q . A programação dos algoritmos de controle foi feita num DSP TMS320C240, da Texas Instruments. As próximas figuras mostram v_{ab} e i_a obtidas através de ponteiros de tensão e corrente. As escalas reais em todas as formas de onda são de 100V/divisão para tensão (canal 2) e de 2A/divisão para corrente (canal 1).

A Fig. 8 mostra uma comparação dos resultados obtidos com o sistema operando apenas com controladores PI (a) e com controladores “fuzzy” (b) quando da aplicação de um degrau de carga de 0,25pu. Por causa dos parâmetros dos controladores PI (para garantir a estabilidade do sistema), o sistema operando apenas com esses controladores tem uma resposta muito mais lenta. Quando operando com controladores “fuzzy” sua resposta tem uma melhora substancial, e a variação na amplitude da tensão gerada é praticamente imperceptível.

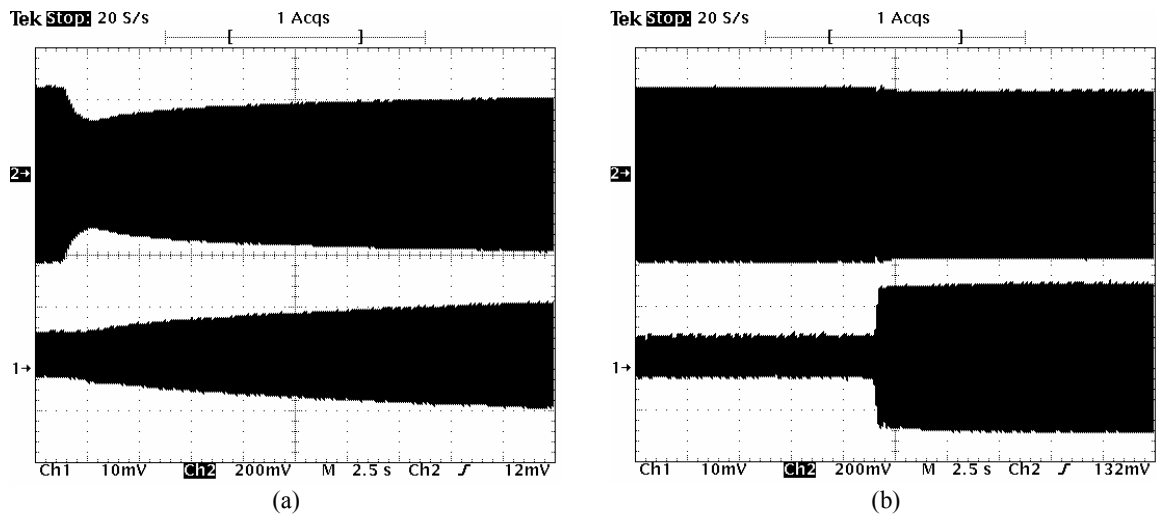


Fig. 8 v_{ab} e i_a durante acionamento de carga de 0,25pu – (a): sistema apenas com controladores PI; (b): sistema com controladores “fuzzy”

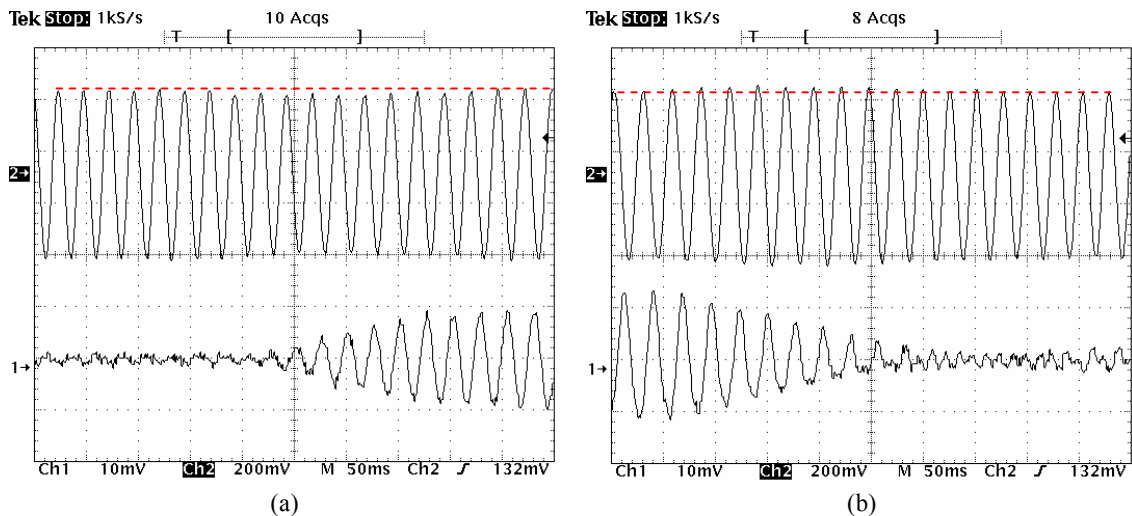


Fig. 9 v_{ab} e i_a durante acionamento (a) e desligamento (b) de carga resistiva de 0,25pu – sistema com controladores “Fuzzy”

O efeito da aplicação e retirada de uma carga de 0,25pu sobre a tensão gerada e a correspondente corrente de fase fornecida pelo inversor pode ser visto na Fig. 9, para o caso em que os controladores “fuzzy” estão sendo utilizados. Nota-se que a reação do sistema é bastante rápida (apenas alguns ciclos), e a variação na amplitude da tensão gerada é mínima.

Dados obtidos com uma placa de aquisição de dados permitiram a obtenção da variação da tensão gerada (V_s) e a correspondente variação da corrente i_d para a mesma situação anterior. A Fig. 10 mostra que a corrente tem seu valor elevado rapidamente tão logo é detectada uma pequena variação na amplitude da tensão gerada. O sistema responde de forma igualmente rápida ao desligamento da carga.

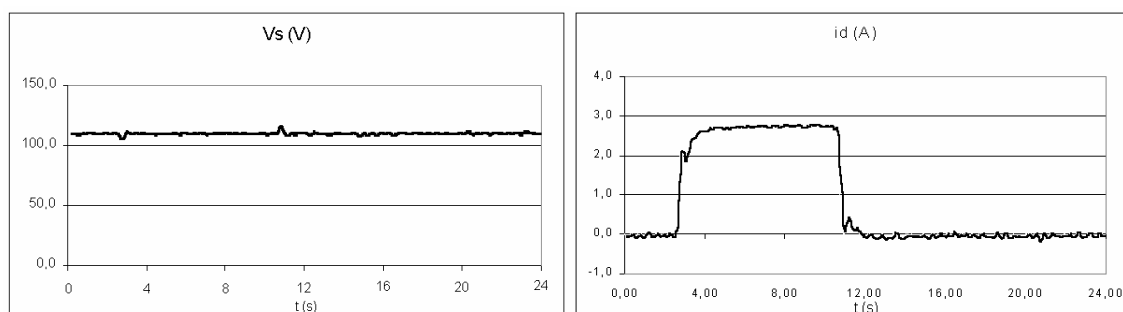


Fig. 10 Comportamento do sistema com controladores “fuzzy” durante acionamento e desligamento de carga resistiva de 0,25pu

9. Conclusão

O presente trabalho estudou um sistema de geração de energia elétrica que pode ser instalado em propriedades rurais ou pequenos povoados, e que pode funcionar de maneira independente do sistema interligado. O sistema estudado é capaz de alimentar cargas que não exijam tensão com frequência constante, como as que possuem retificador de entrada, cargas de iluminação, bombas de irrigação, etc. A energia primária a ser aproveitada é de natureza hidráulica. A construção de pequenas centrais elétricas em áreas rurais afastadas pode significar economia na construção de longas linhas de transmissão. Estudos de simulação mostram que o tipo de controle proposto é viável e funciona a contento. Resultados experimentais provam que a técnica de controle proposta realmente funciona e é rápida o suficiente de forma que a variação na amplitude da tensão gerada é pequena, mesmo com variação da velocidade da máquina

primária ou com variação súbita de carga. Foi realizada uma comparação entre o desempenho do sistema operando apenas com controladores PI e operando com controladores PI e “fuzzy” em conjunto. Quando os controladores “fuzzy” foram utilizados, o desempenho do sistema melhorou de forma bastante significativa e a variação na amplitude da tensão gerada foi muito menor, assim como o tempo de restauração do valor real de tensão ao seu valor de referência. Ou seja, a utilização de controladores “fuzzy” para controle do nível de tensão do GI se mostrou viável e extremamente atraente para aplicação em MCHs.

10. Referências

- [1] ARAÚJO, José Mário. **Controle de Posição de um Motor de Indução Trifásico através de Lógica “Fuzzy”**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFES, 2003.
- [2] BASSET, D. E.; POTTER, M. F. **Capacitive Excitation for Induction Generators**. AIEE Transactions, v. 54, p. 540-543, 1935.
- [3] BLECAUTE, **Veja**, ed. Abril, p. 38-45, 16 maio 2001.
- [4] FERREIRA, Edson de Paula. **Lógica Nebulosa – Fundamentos e Aplicações ao Controle de Processos**. Apostila do curso de Controle Fuzzy oferecido aos alunos do PPGEE, UFES, 2000.
- [5] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR, C.; KUSKO, A. **Máquinas Elétricas: Conversão Eletromecânica de Energia, Processos, Dispositivos e Sistemas**. McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- [6] KLIR, G. J.; FOLGER, T. A. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. Prentice-Hall International, 1988.
- [7] LEIDHOLD, R.; GARCIA, G. **Variable Speed Field-Oriented Controlled Induction Generator**. IEEE – 33^a IAS Annual Meeting, EUA, 1998.
- [8] MOON, B. S. **Equivalence between fuzzy logic controllers and PI controllers for single input systems**. Elsevier Science - Fuzzy Sets and Systems, 69, p. 105-113, 1995.
- [9] PAÍS Destinará Mais Recursos para Conservação. **A Gazeta**, Vitória, ES, 22 jan. 2001.
- [10] POMILIO, J. A.; MARRA, E. G. **Induction Generator Based System Providing Regulated Voltage with Constant Frequency**. Anais do 5^o Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência - COBEP'99, v. 1, p. 94-99, 1999.

- [11] POMILIO, J. A.; MARRA, E. G. **Self-Excited Induction Generator Controlled by a VS-PWM Bi-Directional Converter for Rural Applications**. APEC'98, p. 116-122, Anaheim, EUA, 1998.
- [12] PROGRAMA Luz no Campo. **Eletrobrás**. Disponível em: <http://www.eletronbras.gov.br>. Acesso em: 9 set. 2000.
- [13] SIMÕES, M. G. **Fuzzy Logic and Neural Network Based Advanced Control and Estimation Techniques in Power Electronics and AC Drives**. Tese de Doutorado, University of Tennessee, Knoxville, EUA, 1995.
- [14] SOUSA, G. C. D.; BOSE, B. K. **A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase-Controlled Converter DC Machine Drive**. IEEE Trans. on Industry Applications, v. 30, nº1, 1994.
- [15] SOUSA, G. C. D.; BOSE, B. K.; CLELAND, J. G. **Fuzzy Logic Based On-line Efficiency Optimization Control of an Indirect Vector Controlled Induction Motor Drive**. IECON-93, Hawaii, EUA, 1993.
- [16] SOUSA, G. C. D.; MARTINS, F. N.; REY, J. P.; BRUINSMA, J. A. **An Autonomous Induction Generator System with Voltage Regulation**. IEEE 2001 International Conference on Power Electronics and Power Systems – PEDS'01, Indonesia, 2001.
- [17] SOUSA, G.C.D.; SIMÕES, M. G.; BOSE, B. K. **A Simulation-Implementation Methodology of a Fuzzy Logic Based Control System**. Eletrônica de Potência - SOBRAEP, v.2, nº 1, p. 61-68, 1997.
- [18] SOUSA, Gilberto C. Drumond. **Application of Fuzzy Logic for Performance Enhancement of Drives**. Tese de Doutorado. University of Tennessee, Knoxville, EUA, 1993.
- [19] TANG, K. L.; MULHOLLAND, R. J. **Comparing Fuzzy Logic with Classical Controller Designs**. IEEE Trans. On Systems Man and Cybernetics, v. SMC 17, nº 6, p. 1085-1087, 1987.
- [20] WAGNER, C. F. **Self-Excitation of Induction Motors**. AIEE Transactions, v. 58, p. 47-51, 1939.
- [21] MARTINS, Felipe Nascimento. **Controle do Gerador de Indução Trifásico Baseado em Lógica “Fuzzy”**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFES, 2003.
- [22] PROGRAMA Luz Para Todos. **Eletrobrás**. Disponível em: <http://www.eletronbras.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2006.