

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SINCRONIZAÇÃO PARA GERADORES DE INDUÇÃO ISOLADOS

Andressa R. Feyh, Guilherme S. da Silva, Cassiano Rech, Robinson F. de Camargo

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijui

DeTEC – Departamento de Tecnologia, Campus Ijuí - RS

andressa.feyh@unijui.edu.br, guilherme.silva@unijui.edu.br, cassiano.rech@unijui.edu.br,

robinson.camargo@unijui.edu.br

Resumo. Este artigo apresenta uma análise de diferentes métodos de sincronização aplicados no controle de um sistema de geração de energia que usa máquinas de indução. Esse sistema é composto por um gerador de indução, excitado por meio de um banco de capacitores trifásicos, e um inversor alimentado em tensão com modulação PWM (modulação por largura de pulso – pulse width modulation). O método de sincronização deve ser usado para obter os sinais seno e co-seno que são empregados na transformação abc para dq . São feitas análises para os diferentes métodos quando o sistema opera com carga e a vazio.

Palavras-chave: método de sincronização, máquinas de indução, controle de tensão.

1. INTRODUÇÃO

Máquinas de indução com rotor tipo gaiola possuem algumas características que as tornam mais vantajosas em relação a outros tipos de máquinas elétricas. Entre essas características pode-se citar: (i) maior robustez, (ii) custo e manutenção reduzidos e (iii) alta densidade de potência (W/Kg). Embora apresente tais vantagens, esse tipo de máquina raramente é empregado como gerador, devido à sua regulação de tensão insatisfatória com a variação de carga, mesmo quando acionada sob velocidade constante no rotor [1]. A Fig. 1 apresenta o comportamento

da amplitude das tensões de saída do gerador, frente a variações de carga.

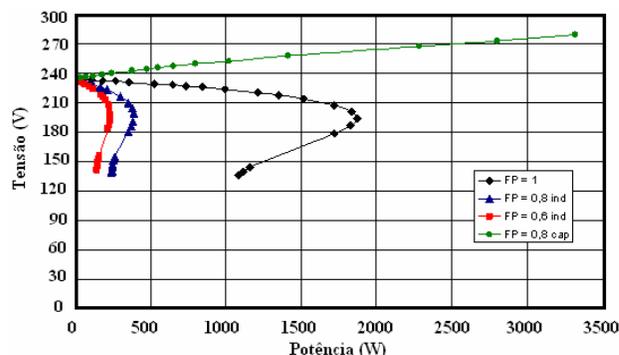


Figura 1. Amplitude da tensão de saída do gerador com variação de carga.

Inversores PWM conectados em paralelo, operando como compensadores de reativos podem ser empregados para regular a tensão de saída sob diferentes cargas. Na literatura são apresentadas diferentes técnicas de controle para estes inversores.

Sistemas digitais de controle sem sensores mecânicos são atraentes, uma vez que estes sensores têm custo elevado quando comparados às máquinas de indução de baixas e médias potências [2].

Além disso, os sistemas de controle para máquinas trifásicas são geralmente implementados em coordenadas dq . Porém, para a conversão das variáveis dos eixos abc para eixos dq , é necessário o uso de um método de sincronização.

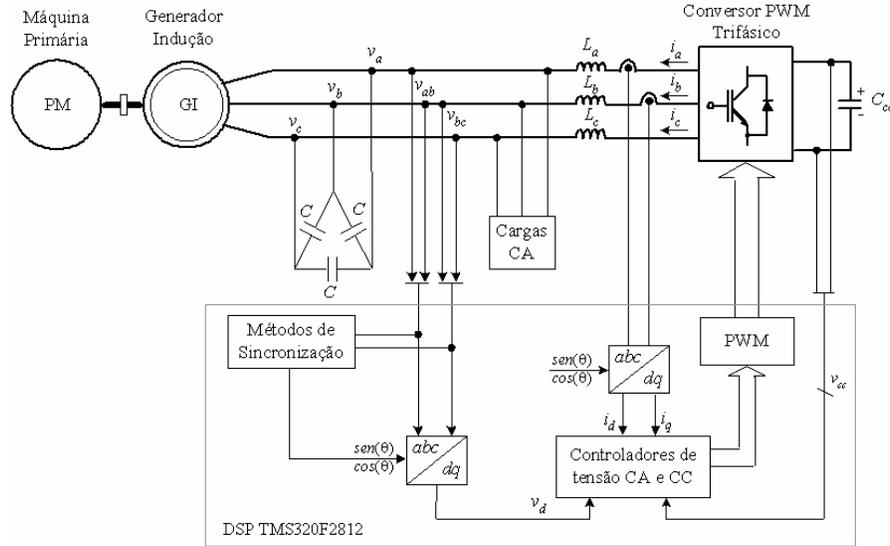


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema de geração

O impacto causado pelos métodos de sincronização nas tensões produzidas por um sistema de geração isolado, baseado em geradores de indução, não é abordado na literatura. De forma a mostrar estes impactos, este artigo faz uma análise para quatro diferentes métodos de sincronização quando o sistema opera a plena carga e a vazio, mostrando resultados experimentais obtidos com protótipo montado em laboratório.

2. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO

A Fig. 2 mostra um diagrama do sistema de geração implementado em laboratório e o diagrama de blocos do controle implementado em DSP.

O sistema apresentado é composto por um gerador de indução com rotor gaiola de esquilo, excitado por um banco de capacitores trifásico, e por um inversor PWM. O barramento CC do inversor é composto de capacitores eletrolíticos que servem como fonte de tensão contínua. O gerador é conectado em paralelo ao inversor através de indutores, os quais formam um filtro passa-baixas de segunda ordem juntamente com o banco de capacitores, visando reduzir os

harmônicos de alta frequência produzidos pelo inversor [3].

O inversor PWM pode injetar ou absorver potência reativa para regular as tensões de saída do gerador de indução, de acordo com a carga. O inversor atua como um capacitor e injeta potência reativa no sistema quando as tensões de saída do gerador de indução são menores que a tensão de referência. Por outro lado, quando as tensões do barramento CA são maiores que o valor desejado o inversor atua como uma carga indutiva e absorve potência reativa.

O sistema de controle empregado usa o eixo de referência síncrono (eixo dq) e, portanto, as variáveis de realimentação no eixo abc devem ser transformadas para o eixo dq , através da matriz de transformação abaixo:

$$T_{dq} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{6}}{3} \cos(\theta) & -\frac{\sqrt{6}}{6} \cos(\theta) + \frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\theta) & -\frac{\sqrt{6}}{6} \cos(\theta) - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\theta) \\ -\frac{\sqrt{6}}{3} \sin(\theta) & \frac{\sqrt{6}}{6} \sin(\theta) + \frac{\sqrt{2}}{2} \cos(\theta) & \frac{\sqrt{6}}{6} \sin(\theta) - \frac{\sqrt{2}}{2} \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Um método de sincronização deve ser utilizado para obter o ângulo de sincronização θ ou os sinais seno e co-seno empregados na transformação abc para dq . O desempenho do sistema de controle é diretamente afetado pela operação do método de sincronização,

resultando em tensões de saída distorcidas e/ou desequilibradas se o método de sincronização resultar em um ângulo errado ou em sinais seno e co-seno distorcidos.

2. MÉTODOS DE SINCRONIZAÇÃO

Vários métodos de sincronização, tanto em malha aberta como em malha fechada têm sido propostos na literatura. Contudo, um método de sincronização deve atender a alguns critérios básicos: (i) simplicidade estrutural; (ii) rejeição de possíveis distorções harmônicas e desequilíbrios nas tensões; (iii) adaptabilidade a possíveis variações de frequência e variações angulares. Este artigo analisa quatro diferentes métodos em malha aberta, a fim de atender os dois primeiros critérios abordados anteriormente.

2.1 Método I

O primeiro método analisado é visto na Fig. 3, onde inicialmente as tensões de linha (V_L) são transformadas em tensões de fase (V_F), a partir das quais se obtém por meio da transformada $\alpha\beta$ o seno e co-seno necessários para a transformação dq .

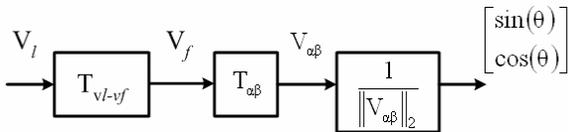


Figura 3. Diagrama de blocos do Método I de sincronização.

2.2 Método II

Se a tensão produzida pelo gerador for distorcida, os sinais seno e co-seno podem também ser distorcidos e consequentemente distorcer a tensão gerada pelo sistema. Visando obter os sinais de sincronização sem distorção, esse método propõe a filtragem da componente fundamental das tensões de fase por um conjunto de filtros passa banda (BPF – *band pass filter*) de segunda ordem.

O vetor das tensões de fase filtradas segue as mesmas transformações do método anterior, ou seja, $\alpha\beta$ até obterem-se os sinais de sincronismo.

Como o vetor das tensões de fase foi filtrado, os sinais de sincronismo normalizados possuem somente a frequência fundamental. O diagrama de blocos deste método é apresentado na Fig. 4.

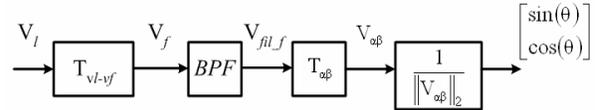


Figura 4. Diagrama de blocos do Método II de sincronização.

2.3 Método III

Em caso de desbalanceamento de cargas, as tensões nos terminais do gerador podem ser afetadas, tornando-se também desbalanceadas. Dependendo do método de sincronização utilizado os sinais de seno e co-seno podem ser distorcidos, o que afetará o desempenho do sistema.

Esse terceiro método alinha o vetor de normalização com a tensão de sequência positiva na tentativa de, mesmo com desbalanço nas tensões de fases, obterem-se sinais de seno e co-seno sem distorção. Isto é feito por intermédio de um conjunto de filtros passa-tudo (APF – *all pass filter*), conforme mostrado na Fig. 5.

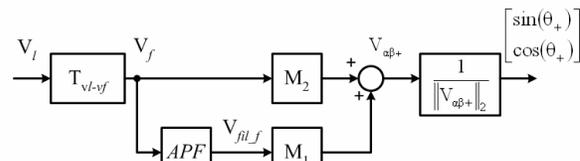


Figura 5. Diagrama de blocos do Método III de sincronização.

2.4 Método IV

Este método preocupa-se, além do desbalanço de cargas, com casos onde as cargas supridas pelo sistema autônomo são não-lineares, as quais geram harmônicos nas tensões do sistema.

O método IV faz o uso de dois conjuntos de filtros passa-baixas (LPF – *low pass filter*) para que os sinais seno e co-seno não sejam afetados por tais distúrbios, conforme a Fig. 6.

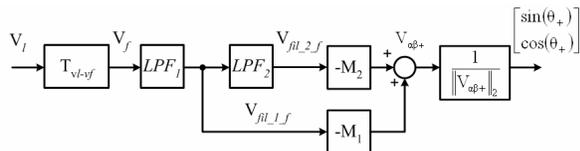


Figura 6. Diagrama de blocos do Método IV de sincronização.

Os sinais de sincronismo são obtidos a partir das tensões de seqüência positiva filtradas, logo as tensões de seqüência negativa causadas pelo desbalanço das cargas e os componentes harmônicos gerados pelas cargas não-lineares não irão afetar os sinais de seno e co-seno.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Fig. 7 e a Fig. 8 mostram as formas de onda das tensões geradas pelo protótipo operando com carga resistiva trifásica, para os métodos de sincronização I e IV respectivamente.

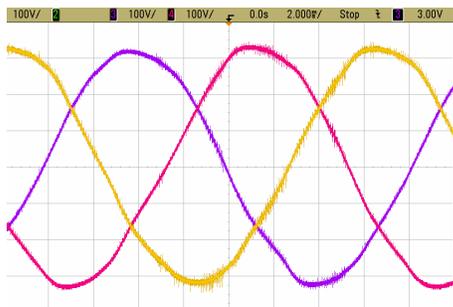


Figura 7. Resultado método I com carga.

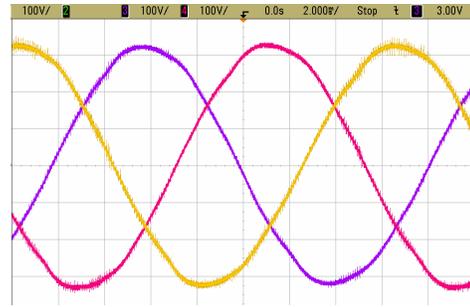


Figura 8. Resultado método IV com carga.

Através das formas de onda é possível analisar que há um melhor desempenho do sistema quando operando com o método de sincronização denominado de IV, pois se percebe um menor desequilíbrio entre as fases além de menores distorções.

O método IV reduz significativamente a distorção harmônica total (THD) dos sinais de sincronização, bem como das tensões geradas, se comparados aos sinais obtidos a partir do método I. A tensão gerada com o método I apresenta uma THD de 7,11% enquanto que para o método IV a THD do mesmo sinal apresentou o valor de 6,05%.

Para operação a vazio do protótipo, as formas de onda são visualizadas nas figuras abaixo.

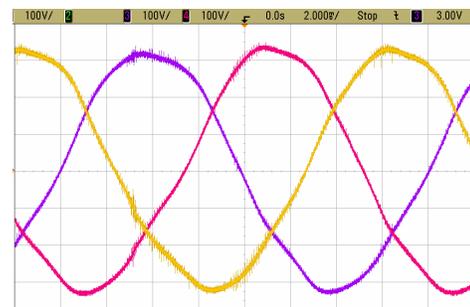


Figura 9. Resultado método I a vazio.

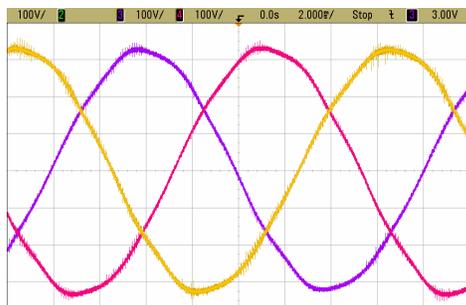


Figura 10. Resultado método IV a vazio.

Contudo, observa-se que as formas de onda da tensão gerada para o sistema operando com carga são melhores que para o sistema a vazio, para qualquer dos métodos de sincronismo. E também para operação a vazio do sistema, há um melhor desempenho do método IV, que leva em consideração os harmônicos presentes no sistema e o desbalanço de cargas.

Os resultados de desempenho do sistema para os métodos de sincronização II e III e os gráficos das THD, não são apresentados por motivo de espaço.

Agradecimentos

Agradecimentos ao DEMEI – Departamento Municipal de Energia de Ijuí/RS, pelo apoio e patrocínio neste projeto.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta a avaliação de diferentes métodos de sincronização para serem aplicados em sistemas de geração com o uso de uma máquina de indução com rotor em gaiola de esquilo. Estes métodos foram escolhidos devido à redução de custo em relação a métodos que utilizam sensores de velocidade e/ou posição.

Estes métodos de sincronização diferem-se basicamente em complexidade e desempenho. Devido à simplicidade do método I, há a necessidade de um tempo de processamento menor, quando comparado aos

outros métodos avaliados, porém os sinais de sincronização são distorcidos por cargas desbalanceadas e/ou não-lineares. Por outro lado, o método IV, devido a sua maior complexidade, necessita de maior processamento, embora os sinais de sincronização não sofram a influência do desequilíbrio das cargas e/ou na conexão de cargas não-lineares.

REFERÊNCIAS

- [1] E. G. Marra, J. S. Pomilio. “Sistemas de geração baseados em gerador de indução operando com tensão regulada e frequência constante”, SBA Controle & Automação Vol. 11 no. 01 / Jan., Fev., Mar, Abril de 2000;
- [2] C. Rech, R. F. de Camargo, M. de Campos, F. Salvadori, G. V. Leandro, J. C. O. Bolacell, “Impact of Synchronization Methods on the Performance of Self-Excited Induction Generators”, 9º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência – COBEP – 2007;
- [3] C. Rech, “Estratégia de Controle para Geradores de Indução – etapa ii”. Relatório parcial de pesquisas desenvolvidas no período 2003/2004, apresentado ao DEMEI;
- [4] R. F. de Camargo, “Método de Sincronização em Malha Aberta e suas Aplicações a Retificadores PWM e Filtros Ativos de Potência Trifásicos alimentados em tensão”. Tese de Doutorado Apresentada a Universidade Federal de Santa Maria, 2006;