

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE GERADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO CONECTADO ASSINCRONAMENTE À REDE MONOFÁSICA

LIMA, Nélio Neves; CUNHA, Yghor Peterson Socorro Alves MARRA, Enes Gonçalves.

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação UFG – Grupo PEQ
nelioneves@gmail.com; ypsacunha@hotmail.com enes@eee.ufg.br

PALAVRAS CHAVE: Gerador de indução, geração de energia elétrica, conversor de frequência; inversor de corrente.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de “Desenvolvimento e Aplicação de Gerador de Indução Trifásico Conectado Assinchronamente à Rede Monofásica” é baseado na máquina de indução trifásica com rotor em gaiola operando como gerador e associado à rede monofásica.

São objetivos do sistema proposto a geração de tensões trifásicas senoidais, equilibradas e com frequência fixa, com o intuito de atender aplicações rurais e em localidades isoladas. Este sistema é capaz de fornecer energia para a concessionária através de um conversor de tensão CC-CC abaixador e um inversor monofásico de corrente, conectados à rede da concessionária através de uma linha monofásica. O conversor abaixador opera como um circuito regulador de fator de potência, mantendo a forma de onda aproximadamente senoidal e alto fator de potência para a corrente enviada à rede. (MARRA, 1999)

2. METODOLOGIA

O sistema proposto é composto por: 1) gerador de indução trifásico como rotor do tipo gaiola; 2) banco trifásico de capacitores de magnetização (C_{ca}); 3) inversor *PWM* bidirecional alimentado por tensão (inversor *PWM*); 4) conversor CC-CC abaixador de tensão (*buck*); e 5) inversor monofásico de corrente (*IMC*), conforme a figura 1.

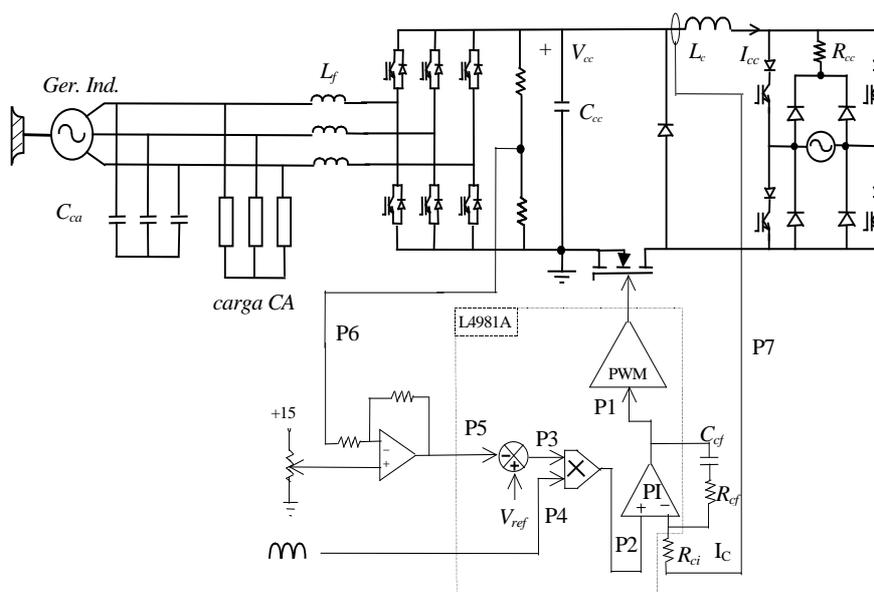


Figura 1 – Sistema de geração conectado assinchronamente à rede monofásica. Fonte: (MARRA, 1999).

Em série com os transistores no inversor monofásico tem-se diodos que protegem os transistores contra correntes no sentido reverso da condução normal para o inversor.

No sistema proposto, o inversor *PWM* opera com frequência fundamental constante em 60 Hz, criando assim, uma referência de frequência fixa e mantendo a frequência síncrona constante no gerador.

A energia acumulada em no capacitor C_{cc} , que é proveniente da diferença entre a potência gerada e a potência consumida pela carga *CA*, é enviada à rede monofásica da concessionária, através do conversor *CC-CC* abaixador e do inversor monofásico de corrente (*IMC*). (MARRA E POMILIO, 1998)

A utilização do gerador de indução trifásico operando como co-gerador possibilita o aproveitamento de fontes locais de energia, evitando a extensão radial da rede monofásica para o atendimento de cargas dispersas.

O conversor *CC-CC* abaixador é chaveado no modo *PWM* e atua como regulador do fator de potência da corrente injetada na rede monofásica. O circuito integrado (*C*) L4981A realiza o controle da tensão V_{cc} através do ajuste de amplitude da corrente I_{cc} injetada na rede monofásica a partir do capacitor C_{cc} , de modo proporcional ao aumento da tensão V_{cc} . Porém, o controle ocorre apenas para valores de V_{cc} superiores ao valor de referência da tensão, não sendo permitida a inversão da corrente I_{cc} com a finalidade de corrigir subtensões. (MARRA, 1999)

3. MODELO MATEMÁTICO

Para este projeto foi feita a determinação do modelo da máquina de indução, referida ao sistema de eixos estacionários é $\alpha\beta\gamma$. O sistema é desenvolvido a partir das seguintes considerações:

- As grandezas do rotor são referidas ao estator.
- Não há saturação magnética na máquina.
- A força magnetomotriz (*FMM*) do estator e o fluxo do entreferro não apresentam componentes harmônicas espaciais.
- A máquina é trifásica a três condutores.

Considerando-se que na máquina de indução com rotor em gaiola $[v'_{abcr}]$ é nulo, o modelo $\alpha\beta\gamma$ da máquina de indução trifásica com rotor em gaiola é descrito pelas equações 1 a 5.

$$[v_{abcs}] = r_s [i_{abcs}] + \frac{d[\lambda_{abcs}]}{dt} \quad (1)$$

$$0 = r'_r [i'_{\alpha\beta\gamma}] + \frac{d[\lambda'_{\alpha\beta\gamma}]}{dt} + \frac{\omega_r}{\sqrt{3}} [\lambda_{\alpha\gamma}] \quad (2)$$

$$[\lambda_{abcs}] = (L_{ls} + M) [i_{abcs}] + M [i'_{\alpha\beta\gamma}] \quad (3)$$

$$[\lambda'_{\alpha\beta\gamma}] = (L'_{lr} + M) [i'_{\alpha\beta\gamma}] + M [i_{abcs}] \quad (4)$$

$[v_{abcs}]$, $[i_{abcs}]$ e $[\lambda_{abcs}]$ são os respectivos vetores de tensão, corrente e fluxo concatenado nos enrolamentos do estator, na referência $\alpha\beta\gamma$.

$[i'_{\alpha\beta\gamma}]$ e $[\lambda'_{\alpha\beta\gamma}]$ são os respectivos vetores de corrente e fluxo concatenado nos enrolamentos do rotor, referidos ao estator, na referência $\alpha\beta\gamma$.

$[\lambda_{\alpha\alpha}]$ é o vetor de diferenças de fluxos, resultante da transformação.

O comportamento dinâmico do sistema eletromecânico é determinado por (5). Sendo que J é a constante de inércia do rotor em $kg.m^2$, B_m é a constante de atrito rotacional em $kg.m^2/s$; e T_L é o conjugado da carga mecânica em $N.m$.

$$T_{mec} = \left(\frac{2}{P}\right)J \frac{d\omega_r}{dt} + \left(\frac{2}{P}\right)B_m \omega_r + T_L \quad (5)$$

Este modelo dinâmico da máquina de indução descrito por (1) a (5) é apresentado por Szczesny e Ronkowski (Szczesny et al., 1991) como neste texto com algumas alterações na notação e no formato das equações.

Para a representação circuital deste sistema, o conjugado mecânico da máquina (T_{mec}) é determinado por (5) e o valor de T_{mec} é representado por uma fonte de corrente. O circuito elétrico é descrito pela equação (6) que tem a mesma forma de (5).

$$T_{mec} = C_j \frac{d\omega_{mr}}{dt} + \frac{1}{R_B} \omega_{mr} + T_L \quad (6)$$

Comparando-se (6) e (5), tem-se as seguintes analogias:

$$J = C_j \quad (7)$$

$$B_m = \frac{1}{R_B} \quad (8)$$

ω_{mr} é a tensão no capacitor C_j .

T_{mec} é o conjugado desenvolvido pela máquina.

T_L é conjugado da carga mecânica, e é constante e invariável com ω_{mr} , no entanto várias outras representações são possíveis para T_L .

Sendo assim, a representação circuital do sistema é mostrada na figura 2.

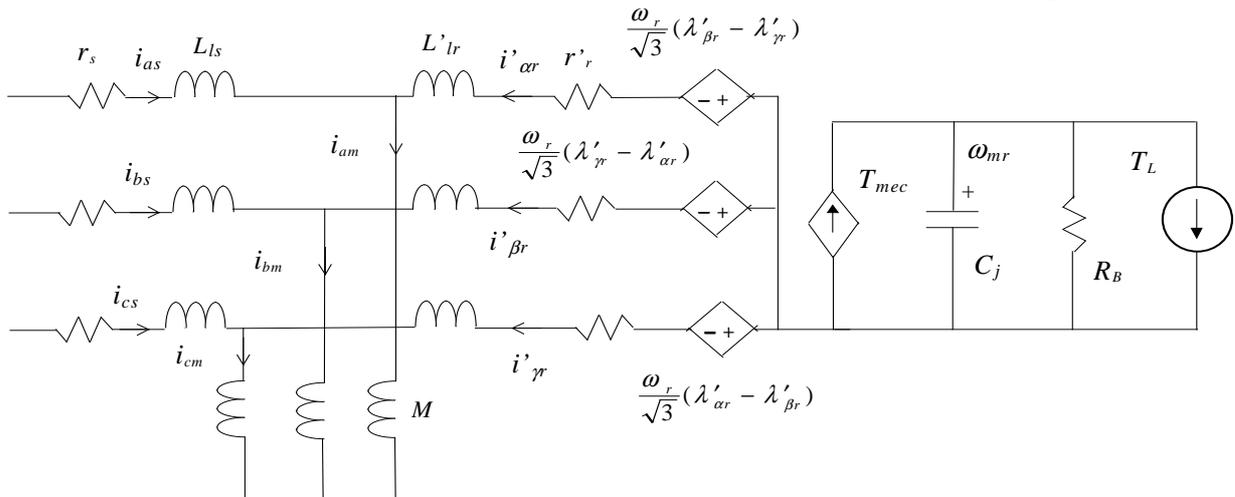


Figura 2 – Circuito representativo do modelo $\alpha\beta\gamma$ da máquina de indução com rotor em gaiola. Fonte: (MARRA, 1999).

4. RESULTADOS

O sistema descrito na figura 1 foi simulado com base no modelo $\alpha\beta\gamma$ linear da máquina de indução descrito anteriormente, com o auxílio do software Psim. Os parâmetros utilizados para a máquina de indução estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros

V_{nom}	220V/380V
Potência nominal	1,0 cv
r_s	9,96 Ω
r'_r	5,05 Ω
r_m	1,17 Ω
M	345,9mH
L_{ls}	16,26mH
L'_{lr}	16,26mH
J (Inércia)	6.10 ⁻⁴ kg.m ²
P (n° de pólos)	4
Freqüência nominal	60 Hz
n_f (n° de fases)	3
n_r	1730 rpm

A tensão de referência V_{cc} é ajustada em 356V, e os valores dos demais componentes utilizados na simulação do sistema são: $C_{ca} = 0,01\text{mF}$, $C_{cc} = 2,2\text{ mF}$ e $L_f = 5\text{mH}$.

Para o conversor *PWM*, foi utilizada a freqüência de 4200Hz para a portadora triangular e a freqüência de 60 Hz para os sinais modulantes. Para o índice de modulação foi atribuído o valor constante em 1.

A figura 3 apresenta os resultados da simulação do sistema da figura 1 com carga resistiva ligada em delta de valor 300 Ω .

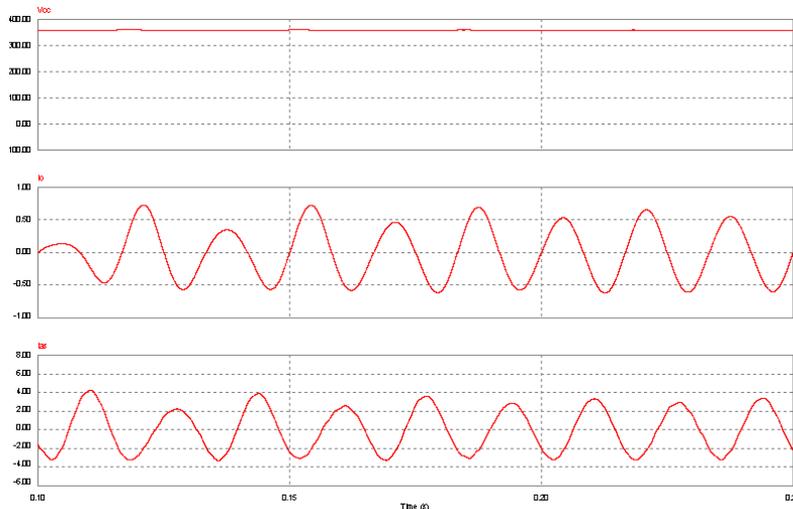


Figura 3 – (1) V_{cc} , (2) Corrente enviada à rede monofásica, (3) Corrente de fase do estator.

O intervalo entre 0s a 100ms foi suficiente para a partida e estabilização do sistema.

A corrente enviada à rede monofásica estabiliza-se em 0.624A de pico e a tensão V_{cc} em 359.23 V.

5. CONCLUSÃO

Considerando-se a simulação feita, pode-se concluir que é possível a implementação prática do sistema de geração proposto.

Também está sendo realizada uma obra de reestruturação da Micro Central Hidrelétrica da Escola de Engenharia Elétrica da UFG (EEEC-UFG), onde será implementado um protótipo baseado nesta proposta.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNAPE, SECTEC e a Companhia Hidroelétrica de São Patrício (CHESP).

7. BIBLIOGRAFIA

MARRA, E. G. **Gerador de Indução Associado a Inversor PWM Operando com Frequência Constante**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1999.

MARRA, E. G., POMILIO, J. A. Aplicação de um Gerador de Indução Trifásico Auto-excitado Fornecendo Corrente com Alto Fator de Potência para Rede Monofásica. **XII Congresso Brasileiro de Automática (CBA'98)**, Uberlândia, Brasil, 1998.

SZCZESNY, R. e RONKOWSKI, M. A New Equivalent Circuit Approach to Simulation of Converter – Induction Machine Associations. **European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'91)**, pp. 4/356-4/361, Firenze, Italy, 1991.