

# **CONTROLE DE POTÊNCIAS PARA GERAÇÃO EÓLICA COM GERADOR DE INDUÇÃO COM ROTOR GAIOLA DE ESQUILO (GIGE)**

**Ângelo Marcílio Marques dos Santos** (UFC) - angelomarcilio@alu.ufc.br

**Marcos Vinícius Soares de França** (UFC) - eng.mvfranca@gmail.com

**Lucas Taylan Medeiros** (UFC) - lucastaylanp@gmail.com

**Ricardo Cardoso Pacífico** (UFC) - parcellericardo86@gmail.com

**Vanessa Siqueira de Castro Teixeira** (UFC Sobral) - vanessasct@gmail.com

**Adson Bezerra Moreira** (UFC) - adsonbmoreira@gmail.com

## **Resumo:**

*A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma proposta para o desenvolvimento do controle das potências ativa e reativa de um sistema de geração de energia eólica conectado à rede elétrica, utilizando o gerador de indução trifásico com rotor gaiola de esquilo (GIGE). Os terminais do estator do GIGE são conectados à rede elétrica antes do filtro indutivo usando uma topologia de conversor eletrônico de potência CA/CC/CA, denominada back-to-back, enquanto os terminais do rotor estão curto-circuitados. O controle do conversor do lado da rede (CLR) é apresentado, sendo responsável pelo controle de potência e também por manter constante a tensão do barramento CC. O controle do conversor do lado da máquina (CLM) também é apresentado, no qual o controle vetorial é utilizado nas variáveis do rotor, para que o GIGE seja controlado através das referências de torque e corrente de magnetização. O sistema estudado foi matematicamente modelado e simulado usando o software Matlab / Simulink.*

**Palavras-chave:** *Energia Eólica, Geração de Energia, Eletrônica de Potência.*

**Área temática:** *Outras fontes renováveis de energia*

**Subárea temática:** *Simulação, análise, equipamentos e sistemas de conversão eólica para eletricidade*

# CONTROLE DE POTÊNCIAS PARA GERAÇÃO EÓLICA COM GERADOR DE INDUÇÃO COM ROTOR GAIOLA DE ESQUILO (GIGE)

Ângelo Márcilio Marques dos Santos – angelomarcilio@alu.ufc.br

Marcos Vinícius Soares de França – eng.mvfranca@gmail.com

Lucas Taylan Pontes Medeiros – lucastaylanp@gmail.com

Ricardo Parcelle Cardoso Pacífico – parcellecardoso86@gmail.com

Vanessa Siqueira de Castro Teixeira – vanessasct@gmail.com

Adson Bezerra Moreira – adsonbmoreira@gmail.com

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC)

**Resumo.** A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma proposta para o desenvolvimento do controle das potências ativa e reativa de um sistema de geração de energia eólica conectado à rede elétrica, utilizando o gerador de indução trifásico com rotor gaiola de esquilo (GIGE). Os terminais do estator do GIGE são conectados à rede elétrica antes do filtro indutivo usando uma topologia de conversor eletrônico de potência CA/CC/CA, denominada back-to-back, enquanto os terminais do rotor estão curto-circuitados. O controle do conversor do lado da rede (CLR) é apresentado, sendo responsável pelo controle de potência e também por manter constante a tensão do barramento CC. O controle do conversor do lado da máquina (CLM) também é apresentado, no qual o controle vetorial é utilizado nas variáveis do rotor, para que o GIGE seja controlado através das referências de torque e corrente de magnetização. O sistema estudado foi matematicamente modelado e simulado usando o software Matlab / Simulink.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Geração de Energia, Eletrônica de Potência.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente relevância dos aspectos ambientais na composição da matriz energética é responsável pela evolução dos sistemas de energia elétrica. Os recentes avanços nesses sistemas estão associados a aspectos ambientais impostos por tratados internacionais, como o Protocolo de Kyoto, que estabeleceram restrições na emissão de carbono, levando à redução do consumo de combustíveis fósseis. Esse cenário fomenta a produção de energia elétrica a partir de recursos renováveis, como oceanos, raios solares, ventos e marés. A geração eólica é uma fonte de energia muito atraente devido às suas características limpa e renovável (Silveira, 2018).

Existem vários tipos de geradores elétricos usados no sistema de energia eólica. Dessa forma, sua escolha depende da aplicação, potência e custo da máquina. Neste artigo, optou-se pelo gerador de indução de gaiola de esquilo (GIGE), porque são amplamente empregadas para geração de energia a partir de energia eólica, devido à construção simples e robusta do rotor, baixo custo e manutenção quase nula (Mahajan, 2017).

O desenvolvimento de turbinas eólicas de velocidade variável começou a aumentar sua participação devido ao uso de conversores eletrônicos de potência. Nesse contexto, o gerador de indução de gaiola de esquilo (GIGE) tornou-se uma opção promissora importante, já que apresenta recursos de potência ativa e reativa em quatro quadrantes, mas também a separação entre a rede e o gerador pela conversão de CA/CC/CA (Navas, Puma e Filho, 2015).

O conversor *back-to-back* é composto por dois conversores fonte de tensão conectados juntos por meio de um capacitor de barramento CC. Um conversor fica entre o GIGE e o capacitor do barramento CC, conversor do lado do gerador (CLG), e tem a função de produzir o fluxo da máquina e otimizar a captura de energia do vento. O segundo conversor fica entre o capacitor do barramento CC e a rede, conversor do lado da rede (CLR), e tem a função de regular a tensão do barramento CC (Heydari, 2012).

Neste artigo, a metodologia empregada obtém resultados com base na modelagem matemática do sistema, mostrado na Fig. 1. Os estudos foram realizados através de simulação computacional com modelos matemáticos do sistema estudado para validação das estratégias de controle. Para as simulações, foi utilizado a ferramenta computacional *SimPowerSystems* do *Matlab/Simulink*.

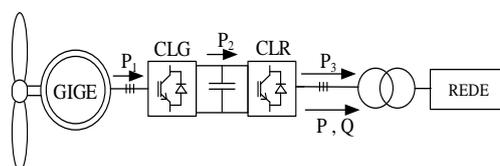


Figura 1 – Sistema eólico estudado.

## 2. CONVERSOR DO LADO DA REDE (CLR)

O conversor do lado da rede (CLR), é um conversor eletrônico trifásico CC-CA, que controla a tensão do barramento CC e a corrente injetada na rede. O controle CLR é realizado pelo diagrama de blocos da Fig. 2, no qual a malha de corrente é mostrada na Fig. 2 (a) e a de tensão na Fig. 2 (b) (Yazdani and R. Iravani, 2011).

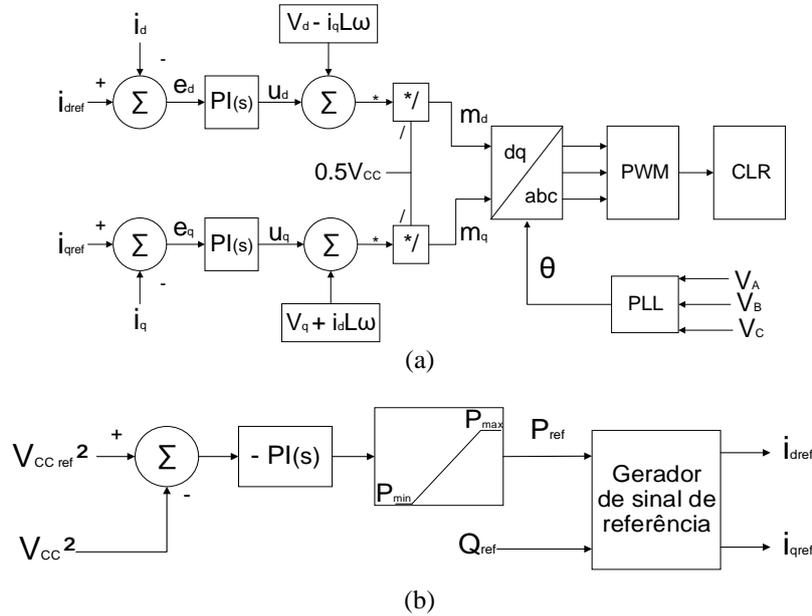


Figura 2 – Esquema de controle do CLR (malha de corrente (a) e malha de tensão (b)).

O PLL (*phase locked loop*) é responsável por manter o sincronismo entre as tensões da rede e as produzidas pelo inversor, gerando um ângulo  $\theta$  em fase com a tensão da rede, onde  $V_A$ ,  $V_B$  e  $V_C$  são tensões de linha de rede elétrica.

A malha de controle de corrente  $I_d$  (corrente de eixo direto) mostra  $I_{dref}$  (corrente de referência do eixo direto) como uma referência do controle de tensão do barramento CC. Na malha de controle de corrente  $I_q$  (corrente do eixo em quadratura), assume-se  $I_{qref}$  (corrente de referência do eixo em quadratura) = 0, fazendo o conversor operar com o fator de potência unitário. O gerador de sinal de referência produz referências de corrente ( $I_{dref}$  e  $I_{qref}$ ), de (1) e (2), em que  $V_{sd}$  e  $V_{sq}$  são as tensões de fase da rede em coordenadas dq. Como  $V_q = 0$ , (1) e (2) podem ser simplificados em (3) e (4).

$$P_{ref} = \frac{3}{2} [V_d i_{dref} + V_q i_{qref}] \quad (1)$$

$$Q_{sref} = \frac{3}{2} [-V_d i_{qref} + V_q i_{dref}] \quad (2)$$

$$i_{dref} = \frac{2}{3V_d} P_{ref} \quad (3)$$

$$i_{qref} = -\frac{2}{3V_d} Q_{ref} \quad (4)$$

### 2.1 Controle de corrente e tensão do barramento CC

O projeto dos controladores é baseado na resposta em frequência, portanto ele deve ter uma margem de ganho (MG) superior a 6 dB e uma margem de fase (MF) entre 30° e 60° (Ogata, 2011).

A representação em bloco dos controladores de corrente de eixo direto e em quadratura do CLR é mostrada na Fig. 3, na qual o bloco PI(s) é um controlador PI,  $G_p(s)$  caracteriza a dinâmica do PWM do CLR e  $G_c(s)$  é a planta CLR com filtro L.  $G_i(s)$  é o produto dos blocos  $G_p(s)$  e  $G_c(s)$  em cascata.

As funções de transferência  $G_p(s)$  e  $G_c(s)$  são dadas, respectivamente, por (5) e (6), nas quais  $T_s$  é o tempo de amostragem, L é a indutância do filtro que conecta à rede ao conversor, e R é a resistência elétrica presente no indutor (Moreira, 2016). A função de transferência do controlador PI é dada em (7).

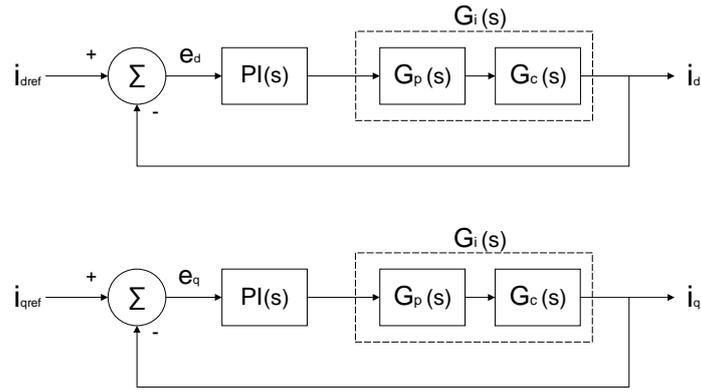


Figura 3 – Diagrama de blocos simplificado do controlador de corrente do CLR com filtro L em coordenadas dq.

$$G_p(s) = \frac{1 - s \left( \frac{T_s}{4} \right)}{1 + s \left( \frac{T_s}{4} \right)} \quad (5)$$

$$G_c(s) = \frac{1}{Ls + R} \quad (6)$$

$$PI(s) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (7)$$

Para  $s = j\omega$ , tem-se (8) e (9).

$$PI(j\omega) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i j\omega} \right) \quad (8)$$

$$\angle PI(j\omega) = -\arctan \frac{1}{T_i \omega} \quad (9)$$

A margem de fase desejada,  $MF_d$ , é calculada a partir de (10), onde  $\omega_c$  é a frequência de cruzamento de ganho.

$$PM_d = \pi + \angle G_i(j\omega_c) + \angle PI(j\omega_c) \quad (10)$$

Ao aplicar (9) em (10) e ao isolar  $T_i$ , a primeira condição do projeto do controlador é determinada (11).

$$T_i = \frac{1}{\omega_c \cdot \tan(\pi + \angle G_i(j\omega_c) - PM_d)} \quad (11)$$

De acordo com (Moreira, 2016), a magnitude da função de transferência de malha aberta de um sistema controlado é a unidade na frequência de cruzamento, obtendo-se (12). Substituindo (8) em (12) e isolando  $K_p$ , a segunda condição de projeto do controlador é dada por (13).

$$|PI(j\omega_c)| |G_i(j\omega_c)| = 1 \quad (12)$$

$$k_p = \frac{1}{|G_i(j\omega_c)| \left| 1 - \frac{j}{\omega_c T_i} \right|} \quad (13)$$

De (11) e (13), para  $\omega_c = 1000$  rad/s e  $MF = 60^\circ$ ,  $K_p = 4,9747$  e  $T_i = 0,0014$  foram obtidos para o controlador de corrente do CLR.

A dinâmica do controlador de tensão do barramento CC do CLR é representada pela Fig. 4, em que o bloco PI(s) é um controlador PI,  $G_{if}(s)$  é a malha fechada do controlador de corrente do CLR e  $G_{VCC}(s)$  caracteriza a dinâmica da tensão do barramento CC.

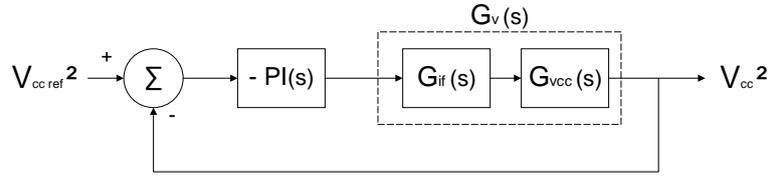


Figura 4 – Diagrama de blocos simplificado do controlador de tensão do barramento CC.

A função de transferência  $G_{VCC}(s)$  é dada por (14), onde  $C$  é a capacitância equivalente do conversor CA-CC e  $\tau$  é descrita em (15), sendo  $P_{exto}$  a potência ativa.

$$G_{vcc}(s) = -\left(\frac{2}{C}\right) \frac{\tau s + 1}{s} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{2LP_{exto}}{3V_{sd}^2} \quad (15)$$

Aplicando a metodologia do projeto dos controladores PI e adotando  $\omega_c = 202$  rad/s e  $MF = 60^\circ$ ,  $K_p = 0,3143$  e  $T_i = 0,0143$  foram obtidos para o controlador de tensão do CLR.

### 3. CONVERSOR DO LADO DO GERADOR (CLG)

Esta seção descreve a malha de controle do conversor do lado do gerador (CLG). As saídas do circuito de controle do sistema são referências de tensão usadas para comandar o PWM. O sistema controla a corrente usando as equações do GIGE representadas em dq. As correntes são controladas usando um controle vetorial indireto (Subkinorn e Neammanee, 2011).

#### 3.1 Gerador de Indução Gaiola de Esquilo (GIGE)

As equações que governam a dinâmica do gerador CA, trifásico e simétrico, são representadas em (16) a (19), onde os fatores de dispersão do estator ( $\sigma_e$ ) e do rotor ( $\sigma_r$ ) são descritos em (20) (Yazdani e R. Iravani, 2011).

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_{ed}}{dt} = V_{ed} - R_e i_{ed} \\ \frac{d\lambda_{eq}}{dt} = V_{eq} - R_e i_{eq} \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_{rd}}{dt} = V_{rd} - R_r i_{rd} \\ \frac{d\lambda_{rq}}{dt} = V_{rq} - R_r i_{rq} \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} \lambda_{ed} = L_m [(1 + \sigma_e) i_{ed} + e^{j\theta_r} i_{rd}] \\ \lambda_{eq} = L_m [(1 + \sigma_e) i_{eq} + e^{j\theta_r} i_{rq}] \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} \lambda_{rd} = L_m [(1 + \sigma_r) i_{rd} + e^{-j\theta_r} i_{ed}] \\ \lambda_{rq} = L_m [(1 + \sigma_r) i_{rq} + e^{-j\theta_r} i_{eq}] \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} \sigma_e = \frac{L_{le}}{L_m} - 1 \\ \sigma_r = \frac{L_{lr}}{L_m} - 1 \end{cases} \quad (20)$$

$V_{ed}$  e  $V_{eq}$  são as tensões do estator,  $V_{rd}$  e  $V_{rq}$  são as tensões no rotor,  $i_{ed}$  e  $i_{eq}$  são as correntes do estator,  $i_{rd}$  e  $i_{rq}$  são as correntes no rotor,  $\lambda_{ed}$  e  $\lambda_{eq}$  são os fluxos concatenados do estator,  $\lambda_{rd}$  e  $\lambda_{rq}$  são os fluxos concatenados no rotor, em coordenadas dq respectivamente,  $R_e$  e  $R_r$  são as resistências do estator e do rotor,  $L_m$  é a indutância de magnetização, e  $\theta_r$  é o ângulo de rotação do rotor.

No GIGE, os terminais do rotor estão em curto, então  $V_{rdq} = 0$  e  $i_{rdq}$  não é mensurável. Assim, as correntes do rotor nas coordenadas dq são dadas por (21) e (22), nas quais  $\widehat{i_{mr}}$  é a magnitude da corrente de magnetização e  $\rho$  é o ângulo do eixo de rotação das tensões e correntes do estator.

$$i_{rd} = \frac{\widehat{i_{mr}} - i_{ed}}{1 + \sigma_r} e^{-j\theta_r} \quad (21)$$

$$i_{rq} = \frac{-i_{eq}}{1 + \sigma_r} e^{-j\theta_r} \quad (22)$$

O torque elétrico e a constante de tempo do rotor ( $\tau_r$ ) são definidos em (23) e (24).

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{L_m}{1 + \sigma_r} \widehat{i_{mr}} i_{eq} \quad (23)$$

$$\tau_r = \frac{L_m(1 + \sigma_r)}{R_r} \quad (24)$$

A velocidade do campo magnético girante e a velocidade do rotor são determinadas em (25) e (26).

$$\omega_m = \frac{d\rho}{dt} \quad (25)$$

$$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} \quad (26)$$

### 3.2 Observador de fluxo

No GIGE, o observador de fluxo é necessário para obter a corrente de magnetização, o ângulo do campo magnético girante e sua velocidade.

O observador de fluxo é realizado pelo diagrama de blocos da Fig. 5 e é baseado em (27) e (28), em que  $\widehat{i_{mr}}$  é definido como um valor constante e  $\widehat{i_{mr}} = i_{ed}$ , necessário para um controle de torque linear por  $i_{eq}$ .

$$\tau_r \frac{d}{dt} [\widehat{i_{mr}}] = -\widehat{i_{mr}} + i_{ed} \quad (27)$$

$$\omega_m = \frac{i_{eq}}{\tau_r \widehat{i_{mr}}} + \omega_r \quad (28)$$

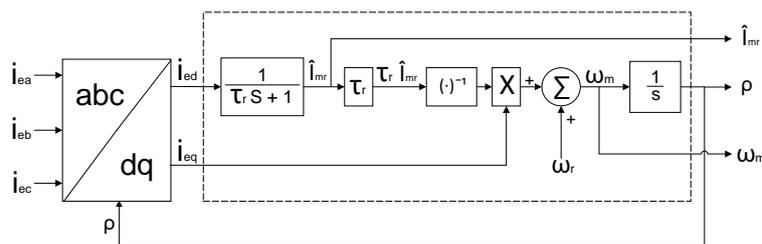


Figura 5 – Diagrama de blocos do observador de fluxo.

### 3.3 Controle vetorial do GIGE em coordenadas campo do rotor

O controle vetorial do GIGE em função das coordenadas do campo do rotor é mostrado no diagrama de blocos da Fig. 6. Este controle é implementado a partir de (23) e (27) para obter  $i_{edref}$  e  $i_{eqref}$  do gerador.

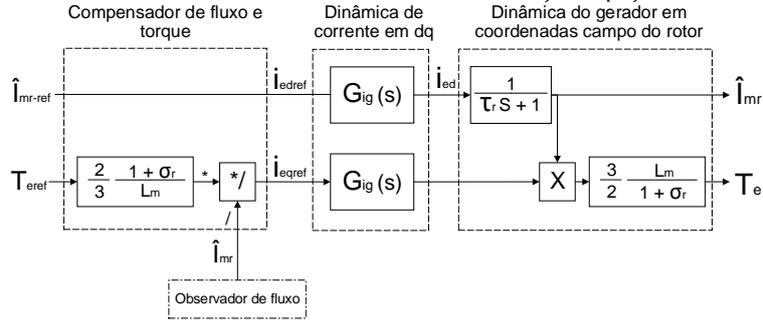


Figura 6 – Diagrama de blocos do controle vetorial do GIGE em função das coordenadas do campo do rotor.

A corrente de magnetização de referência e o torque elétrico de referência são obtidos por (29) e (30), em que  $V_{en}$  é a tensão nominal RMS de linha do estator e  $\omega_{m0}$  é a velocidade angular nominal do gerador ( $\omega_{m0} = 2\pi f_{m0}$ ) e  $P_{ref}$  é a potência de referência.

$$i_{mr-ref} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{V_{en}}{(1 + \sigma_e)L_m\omega_{m0}}} \quad (29)$$

$$T_{eref} = \frac{P_{ref}}{\omega_r} \quad (30)$$

### 3.4 Controle de corrente do CLG

A representação do diagrama de blocos dos controladores de corrente em dq do CLG é apresentada na Fig. 7, enquanto a Fig. 8 mostra o diagrama simplificado.

O bloco  $PI(s)$  é um controlador PI,  $G_p(s)$  representa a dinâmica PWM do conversor eletrônico CC-CA e  $G_g(s)$  é a planta do CLG.  $G_{ig}(s)$  é o produto dos blocos  $G_p(s)$  e  $G_g(s)$  em cascata.  $G_g(s)$  é definido em (31).

$$G_g(s) = \frac{1}{\sigma\tau_e s + 1} \quad (31)$$

Aplicando a metodologia de projeto do controlador PI e adotando  $\omega_c = 500$  rad/s e MF= 60°, foram obtidos  $k_p = 6,3986$  e  $T_i = 0,0028$  para os controladores de corrente CLG.

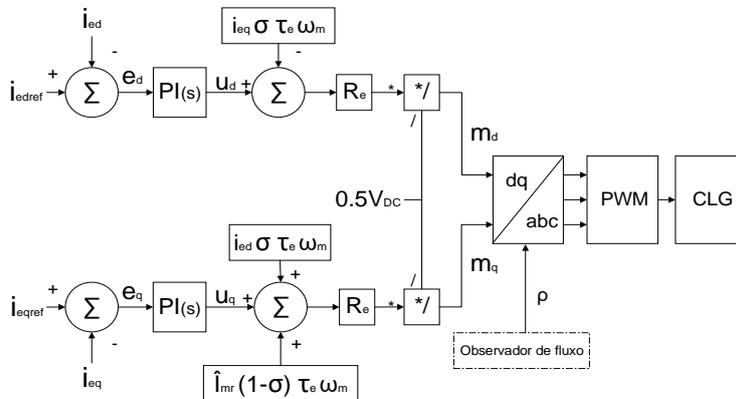


Figura 7 – Sistema de controle de corrente do CLG.

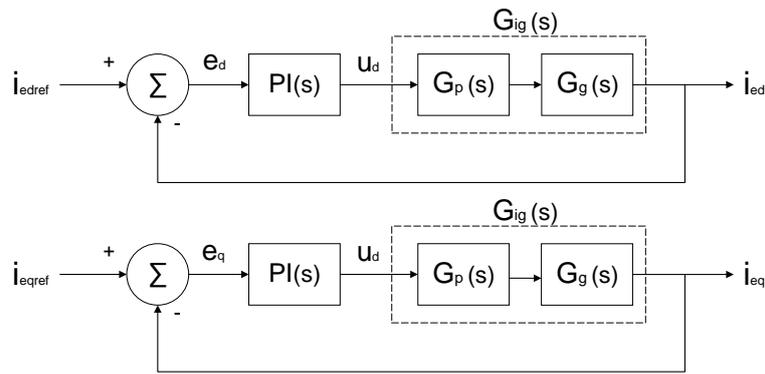


Figura 8 – Diagramas de blocos simplificados dos controladores de corrente do CLG nas coordenadas dq.

#### 4. RESULTADOS

O sistema de geração de energia eólica mostrado na Fig. 1 foi implementado no software *Matlab/Simulink*. Os parâmetros do sistema de geração usados na simulação são mostrados na Tab. 1, de forma que os parâmetros CLG foram obtidos em (Heydari, 2012). A frequência de comutação dos conversores é de 10 kHz.

A simulação do sistema de geração eólica foi realizada com velocidade variável, na qual o gerador opera com uma velocidade de 150 rad/s e 200 rad/s, de acordo com a Fig. 9.

Tabela 1 – Parâmetros de simulação.

	Parâmetros	Valores
GIGE	$P_n, V_n, F_n, P, R_e, R_r,$ $L_e=L_r, L_m, L_{le}, L_{lr}$	15kW, 460V, 60Hz, 4, 276,1m $\Omega$ , 164,5m $\Omega$ , 78,3mH, 76,14mH, 2,191mH, 2,191mH
Conversor	$C_{CC}, V_{CC}$	3500 $\mu$ F, 800V
Rede elétrica	$V_{LL}, F, C_{CC}, R_g, L_g$	380V, 60Hz, 0,8 $\Omega$ , 6mH

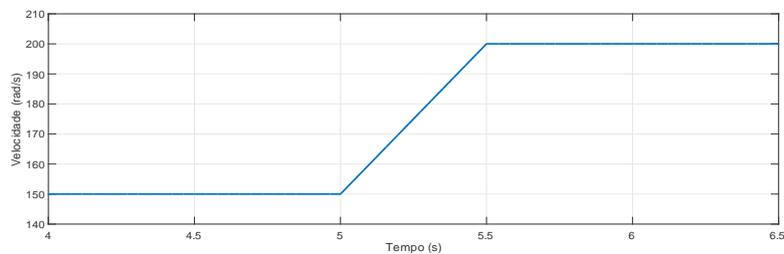


Figura 9 – Rampa de velocidade do rotor do GIGE de 150 rad/s a 200 rad/s.

O controle CLR consiste nos componentes: controle de tensão do barramento CC e controle de corrente. As figuras 10 e 11 mostram os resultados obtidos para o controle de tensão do barramento CC e controle de corrente.

A Fig. 10 mostra a tensão de referência do barramento CC e a tensão medida no barramento CC. Verificou-se que o controle de tensão do barramento CC permanece estável e regulado em 800 V mesmo com a variação de velocidade do gerador elétrico.

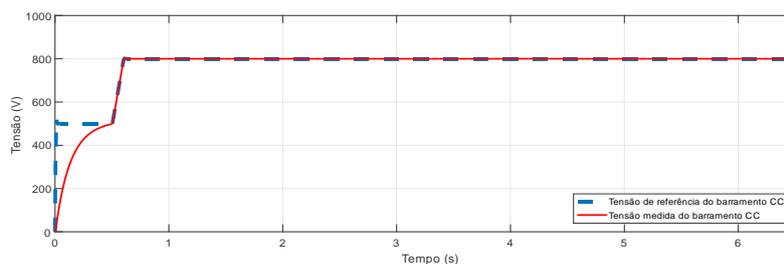


Figura 10 – Tensão de referência do barramento CC e tensão medida do barramento CC.

A Fig. 11 mostra as respostas do controle de correntes do CLR,  $i_d$  e  $i_q$ , seguindo suas referências,  $i_{dref}$  e  $i_{qref}$ , mostrando o bom funcionamento do controle.

Na Fig. 11(a), observa-se que  $i_d$  apresenta valores negativos de 0,5s a 0,6s, pois nesse intervalo de tempo a tensão do barramento CC atinge 800V e a corrente flui da rede para o conversor. Depois que a tensão do barramento CC se estabiliza em 0,6s, o  $i_d$  permanece constante em zero até 4,0s. A partir dos 4,0s, o  $i_d$  apresenta um valor positivo crescente, já que o gerador começa a fornecer energia ativa à rede, e  $i_d$  é diretamente proporcional à energia ativa fornecida à rede. A corrente  $i_q$  é mantida em 0A, mantendo a potência reativa enviada à rede em zero, sendo a potência reativa controlada por  $i_q$ .

A Fig. 12 ilustra a corrente de magnetização medida do gerador e sua referência, em (a), e o torque medido do gerador e sua referência, em (b). Como pode ser visto, a corrente de magnetização e o torque seguem suas referências, o que comprova o funcionamento adequado do controle. Observa-se também que o torque muda de acordo com a variação da velocidade do gerador.

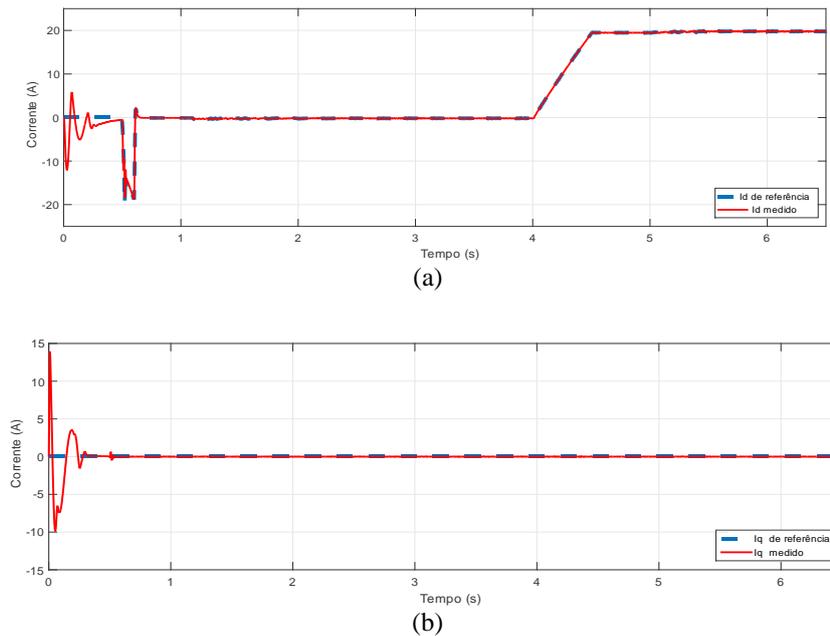


Figura 11– Correntes do CLR ( $i_{dref}$  e  $i_d$  (a) e  $i_{qref}$  e  $i_q$  (b))

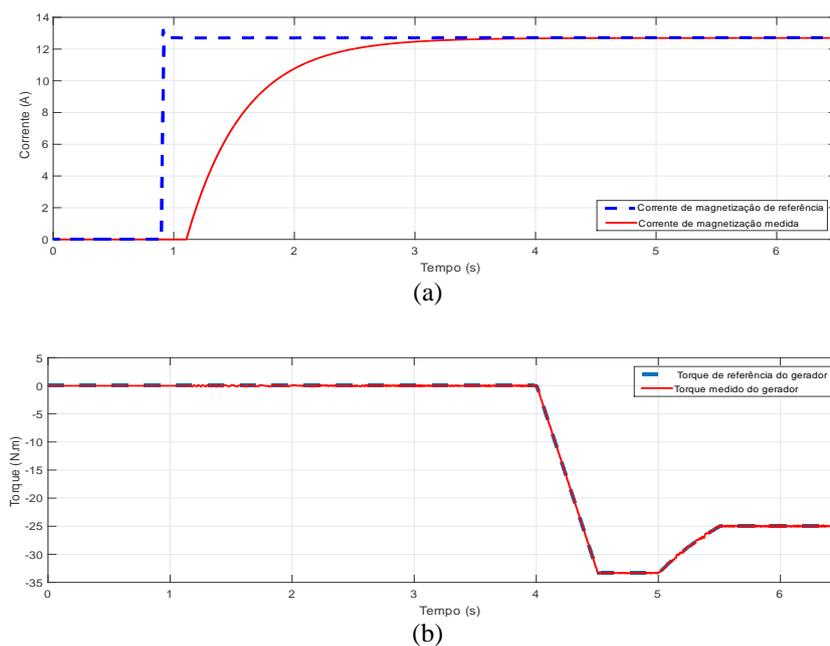


Figura 12 – Corrente de magnetização medida e sua referência (a) e torque medido e sua referência (b).

A Fig. 13 mostra as respostas dos circuitos de controle de corrente do CLG, com  $i_{ed}$  e  $i_{eq}$  seguindo suas referências,  $i_{edref}$  e  $i_{eqref}$ .

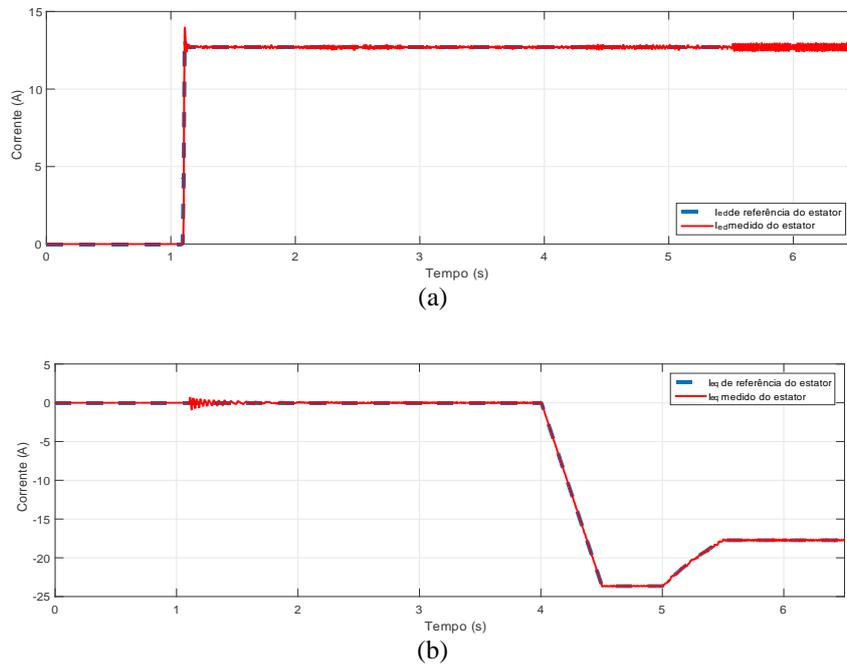


Figura 13– Correntes do estator do gerador ( $i_{edref}$  e  $i_{ed}$  (a) e  $i_{eqref}$  e  $i_{eq}$  (b))

Verifica-se que  $i_{eq}$  é controlado por torque. Quando o torque varia,  $i_{eq}$  muda. Observa-se também que  $i_{ed}$  segue sua referência no controle de corrente do CLG.

As Figuras 17, 18 e 19 ilustram um comparativo das potências do sistema durante a variação de velocidade do gerador mostrada na Fig. 9, em que P1 é a energia fornecida pelo gerador ao CLG, P2 é a energia recebida pelo CLR e P3 é a energia fornecida à rede elétrica.

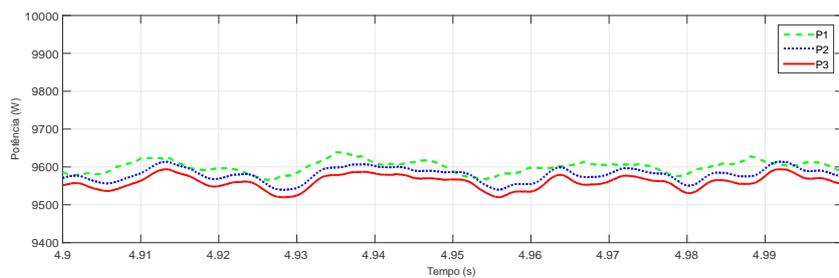


Figura 17 – Comparação de potências medidas em todo o sistema entre 4.90s e 5.0s.

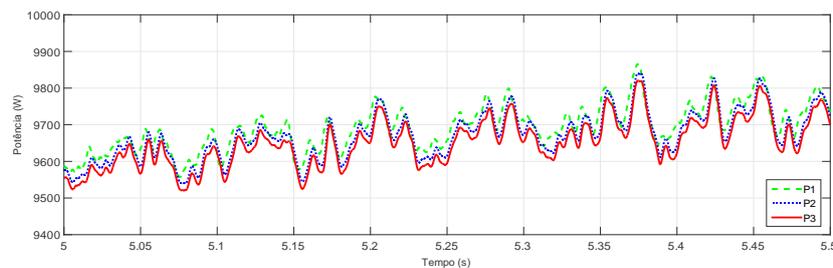


Figura 18 – Comparação de potências medidas em todo o sistema entre 5,0s e 5,50s.

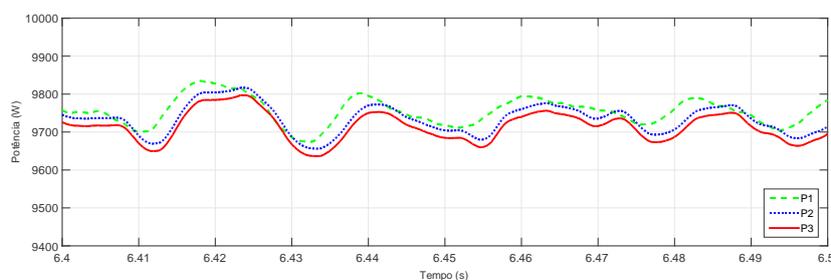


Figura 19 – Comparação de potências medidas em todo o sistema entre 6.40s e 6.50s.

Nas figuras 17, 18 e 19 é possível observar a diferença dos valores de potência durante a operação do sistema. Os valores de potência estão diminuindo durante o curso do sistema, devido às perdas de comutação dos conversores.

Além disso, nota-se que as potências aumentam com o aumento da velocidade, e as Figuras 17, 18 e 19 mostram que quanto maior a velocidade de operação do gerador, maior a potência fornecida à rede.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho investigou o comportamento de um sistema de energia eólica com o GIGE. Os controladores do sistema eólico foram calculados pela metodologia apresentada e verificou-se um comportamento adequado do controle, o que foi observado com os resultados obtidos no controle de tensão do barramento CC, controle de corrente do CLR e controle de corrente do CLG. A partir dos resultados, também foi observada a potência ativa entregue à rede, observando que o aumento da velocidade do gerador causou o aumento da energia gerada e entregue à rede.

## REFERÊNCIAS

- Heydari, M., Varjani, A. Y., Mohamadian, M., 2012. A Novel Variable-Speed Wind Energy System Using Induction Generator and Six-Switch AC/AC Converter, 3rd Power Electronics and Drive Systems Technology (PEDSTC).
- Moreira, A. B., Barros, T. A. S., Teixeira, V. S. C., Filho, P. S. N., Filho, E. R., 2016. Controle de Potências para Geração Eólica e Filtragem de Corrente Harmônica com Gerador de Indução Duplamente Alimentado, An. do VI Simpósio Bras. Sist. Elétricos.
- Mahajan, S., Subramaniam, S. K., Natarajan, K., Nanjappa Gounder, A. G., Borru, D. V., 2017. Analysis and control of induction generator supplying stand-alone AC loads employing a Matrix Converter, Eng. Sci. Technol. an Int. J.
- Navas, M. A. H., Puma, J. L. A., Filho, A. J. S., 2015. Direct torque control for squirrel cage induction generator based on wind energy conversion system with battery energy storage system, 2015 IEEE Work. Power Electron. Power Qual. Appl. PEPQA 2015.
- Ogata, K., 2011. Engenharia de Controle Moderno, 5a ed., [S.l.]: Pearson.
- Silveira, J. P. C., Neto, P. J. D. S., De Paula, M. V., De Souza, R. R., Barros, T. A. D. S., Filho, E. R., 2018. Evaluation of bidirectional DC-DC converter topologies for voltage regulation in hybrid microgrids with photovoltaic and battery Technologies, 13th IEEE Int. Conf. Ind. Appl. INDUSCON 2018.
- Suebkinorn, W., Neammanee, B., 2011. An implementation of field oriented controlled SCIG for variable speed wind turbine, Proc. 2011 6th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA, pp. 39–44.
- Yazdani, A., Iravani, R., 2010. Voltage-sourced converters in power systems: modeling, control, and applications, [S.l.]: John Wiley Sons.

## POWER CONTROL FOR WIND GENERATION WITH SQUIRREL CAGE INDUCTION GENERATOR (SCIG)

**Abstract.** The main contribution of this research is to present a proposal for the development of the active and reactive power control of a grid connected wind power generation system, using the three-phase squirrel cage rotor induction generator (SCIG). The SCIG stator terminals are connected to the mains before the inductive filter using an electronic AC/DC/AC power converter topology, called back-to-back, while the rotor terminals are shorted. The control of the grid side converter (GSC) is presented, being responsible for the power control and also for keeping the DC bus voltage constant. The control of induction generator side converter (IGSC) is also presented, in which vector control is used on rotor variables, so that the SCIG is controlled through the torque references and magnetizing current. The studied system was mathematically modeled and simulated using Matlab / Simulink software.

**Key words:** Wind Energy, Power Generation, Power Electronics