

Sistema de Geração de Energia Eólica com Filtro Ativo Paralelo a partir do Gerador Síncrono de Ímã Permanente Conectado à Rede Elétrica

Leonardo Pires de Sousa Silva. Denisia de Vasconcelos Mota. Levy Rodrigues Cavalcante. Lucas Taylan Pontes Medeiros. Vanessa S. C. Teixeira. Adson Bezerra Moreira

Engenharia Elétrica, Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral-CE (e-mail: leonardo85pires@gmail.com, denisia.vasconcelos07@gmail.com, levyrodrigues8@gmail.com, lucastaylanp@gmail.com, vanessascct@gmail.com, adsonbmoreira@gmail.com).

Abstract: This article investigates a wind power generation system with the permanent magnet synchronous generator (PMSG) incorporated into a harmonic current compensation algorithm. The behavior of the system is investigated for variation of generated power and under variable speed. The power control is performed in machine side converter (MSC) in dq coordinates using conventional PI controller and, in the grid side converter (GSC) in $\alpha\beta$ coordinates with the P-Multiresonant controller. The GSIP is connected to an AC / DC converter and, via a DC link, is connected to the grid with a DC / AC converter. At the common coupling point (PCC), a non-linear load demands a non-sinusoidal current from the electrical grid. An active parallel filter (APF) from the CLR mitigates harmonic components and improves power quality. The results show that the technique applied in the control of the active and reactive powers, and in the active filtering by the CLR were satisfactory for the energy delivery to the grid.

Resumo: Este artigo investiga um sistema de geração de energia eólica com o gerador síncrono de ímãs permanentes (GSIP) incorporado a um algoritmo de compensação de corrente harmônica. O comportamento do sistema é analisado para variação de potência gerada e sob velocidade variável. O controle das potências é realizado no conversor do lado do gerador (CLG) em coordenadas dq utilizando o controlador PI convencional e, no conversor do lado da rede (CLR) em coordenadas $\alpha\beta$ com o controlador P-Multiresonante. O GSIP é conectado a um conversor CA/CC e, por meio de um elo CC é conectado à rede elétrica através de um conversor CC/CA. No ponto de acoplamento comum (PAC) é conectado uma carga não-linear que demanda uma corrente não-senoidal da rede elétrica. Um filtro ativo paralelo (FAP) a partir do CLR é implementado para mitigar as componentes harmônicas da rede elétrica e melhorar a qualidade de energia. Os resultados obtidos mostram que a técnica aplicada no controle das potências ativa e reativa, e na filtragem ativa pelo CLR foram satisfatórios para o fornecimento de energia na rede elétrica.

Keywords: APF; GSC; MSC; harmonic compensation; PMSG; power control.

Palavras-chaves: CLG; CLR; compensação harmônica; controle de potências; GSIP; FAP.

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica tem se destacado como uma das tecnologias de energia renovável mais limpas do mundo. No futuro usinas eólicas desempenharão um papel importante na geração de eletricidade, pois ajudarão na redução da emissão de gases poluentes associadas às tecnologias tradicionais de geração (Singh, 2016). O GSIP é um dos geradores elétricos mais eficiente em sistemas de velocidade variável devido a vantagens como: reduzido custo de manutenção, maior confiabilidade e longevidade devido a ausência de caixa multiplicadora (Beainy et al., 2016).

A qualidade da energia elétrica em uma rede de distribuição está vinculada, principalmente, à fonte geradora e aos tipos de carga (Agrawal et al., 2018). Estas, quando não-lineares, resultam em formas de ondas de tensão e corrente distorcidas no sistema elétrico, em virtude da adição de componentes harmônicos nas frequências múltiplas da componente fundamental (Souza et al., 2016). Como consequência, são

observados a diminuição do fator de potência, afundamentos e flutuações de tensão na rede elétrica (Moreira et al., 2019). Para reduzir estes problemas de qualidade de energia, são utilizados filtros de potência para mitigar as harmônicas da rede elétrica.

Em sistemas de energia, os filtros ativos de potência têm sido extensamente aplicado para melhoria da qualidade de energia. Essa solução analisa o sinal de corrente e tensão da carga e, com base em metodologias de controle, realiza a filtragem gerando correntes de compensação que são injetadas na rede elétrica de modo a cancelar as harmônicas indesejáveis (Schwanz et al., 2016). Para este cancelamento ocorrer, estratégias de controle são propostas por diversos trabalhos. Em (Balamurugan e Nithya, 2017) é proposto um algoritmo de controle do filtro baseado na teoria das potências instantâneas que gera uma corrente de referência para mitigar harmônicos, já em (Moftah et al., 2016) o filtro ativo proposto tem o controle baseado na teoria *synchronous reference frame* (SRF).

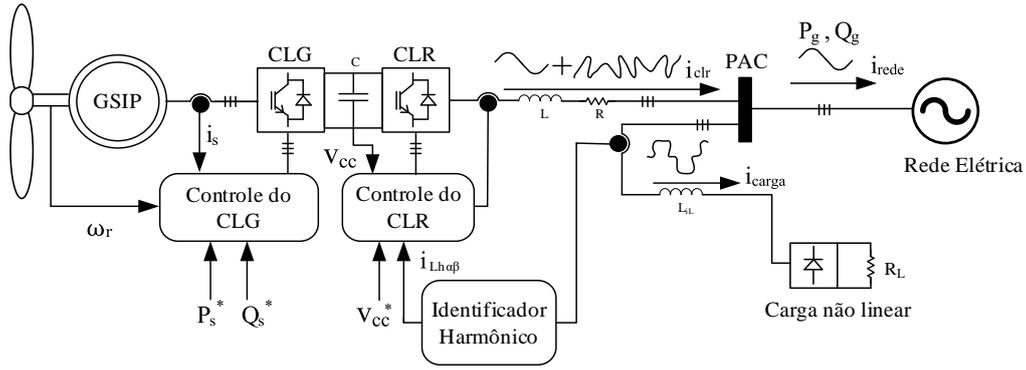


Fig. 1 Esquemático de operação do GSIP/FAP

Neste artigo é apresentado um sistema de geração de energia eólica com mitigação das componentes harmônicas utilizando filtro ativos paralelos (FAP). A melhoria da qualidade de energia é realizada através do controle do conversor do lado da rede (CLR), que realiza a compensação harmônica da corrente da rede elétrica, utilizando o controlador P-Multiressonante, no ponto de acoplamento comum (PAC) da rede elétrica na presença de uma carga não linear. Este controlador, P-Multiressonante, apresenta resposta eficiente na presença de diferentes dinâmicas de cargas como demonstrado em (Bairagi et al., 2019) e, quando comparado ao PI convencional, este controlador pode rastrear uma referência senoidal com erro zero no estado estacionário, além de garantir maior capacidade de rejeição às perturbações (Husev et al., 2020). A Fig. 1 mostra o esquema proposto nesta pesquisa e a análise é realizada em dois casos. No caso A, é realizado a análise do comportamento do sistema quando a velocidade é variada. Já no caso B, além do comportamento da geração é verificado também a função de filtragem harmônica.

2. CONTROLE DAS POTÊNCIAS DO GERADOR SÍNCRONO DE ÍMÃS PERMANENTES

O controle dos conversores do lado do gerador e do lado da rede foram feitos em coordenadas dq e $\alpha\beta$, respectivamente. Ambos foram projetados utilizando o método de resposta em frequência com margem de fase de 60° e margem de ganho acima de 10 dB (OGATA, 2010).

2.1 Controle do conversor do lado do gerador (CLG)

Para controlar de forma isolada as potências ativa e reativas do GSIP, foi utilizada a estratégia por orientação de fluxo do rotor, em que a referência síncrona foi orientada ao longo do eixo d (Arminaser Yazdani, 2010). Desta forma, tem-se o desacoplamento das potências ativa e reativa. O modelo matemático do gerador em coordenadas dq é representado por (1) e (2).

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - L_{sq} \omega_r i_{sq} \quad (1)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + L_{sd} \omega_r i_{sd} + \omega_r \lambda_m \quad (2)$$

em que V_{sd} e V_{sq} são as componentes da tensão no estator, R_s a resistência de armadura, i_{sd} e i_{sq} são as correntes de excitação, L_{sd} e L_{sq} representam as indutâncias do estator em dq, ω_r a velocidade do rotor e λ_m o fluxo magnético. A equação do torque eletromagnético no rotor é representada por (3).

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{p}{2}\right) [(L_d - L_q) i_q i_d - \lambda_m i_q] \quad (3)$$

em que T_e é o torque eletromagnético e p é o número de polos do GSIP. O valor de T_e depende da construção do gerador elétrico, que pode ser de polos lisos ou salientes. O gerador utilizado no projeto é de polos lisos, logo, $L_d = L_q$. As variáveis u_d e u_q foram introduzidas a partir de (1) e (2).

$$u_d = V_{sd} + \omega_r L_{sq} i_{sq} \quad (4)$$

$$u_q = V_{sq} - \omega_r L_{sd} i_{sd} - \omega_r \lambda_m \quad (5)$$

Desta forma, (1) e (2) representam o desacoplamento com sistema de primeira ordem, do inglês *single-input-single-output* (SISO), para que as componentes da corrente do estator sejam reguladas a partir de (4) e (5). Substituindo as variáveis introduzidas em (4) e (5), tem-se como resultado (6) e (7).

$$L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} + R_s i_{sd} = u_d \quad (6)$$

$$L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + R_s i_{sq} = u_q \quad (7)$$

Logo, as componentes i_{sd} e i_{sq} podem ser controladas, respectivamente, a partir de suas referências i_{sd}^* e i_{sq}^* (Fig. 2).

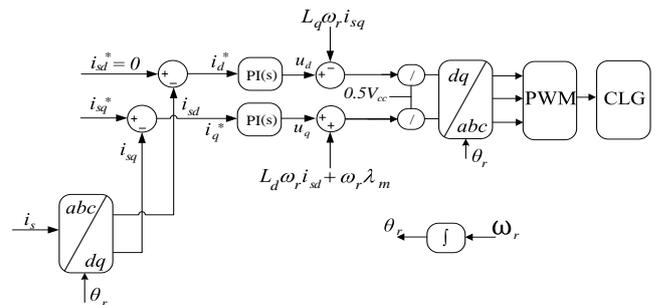


Fig. 2 Esquema de controle do conversor do lado do gerador (CLG).

As potências ativa e reativa do GSP são definidas por (8) e (9).

$$P_s = \frac{3}{2} (V_{sd} i_{sd} + V_{sq} i_{sq}) \quad (8)$$

$$Q_s = \frac{3}{2} (V_{sq} i_{sd} - V_{sd} i_{sq}) \quad (9)$$

Na malha de controle do CLG foi utilizado o controlador PI com ganho proporcional de 22,0634 e integral de 39.313 para frequência de cruzamento de ganho $w_c = 3.000$ rad/s e margem de fase de $MF_d = 60^\circ$.

2.2 Controle do conversor do lado da rede (CLR)

Na modelagem utilizada para o CLR, a geração de sinal das correntes elétricas de referência i_α^* e i_β^* em coordenadas $\alpha\beta$ é proveniente da malha do controlador de tensão do barramento CC, como mostra a Fig. 3. As entradas da malha do controlador são as tensões no PAC em coordenadas $\alpha\beta$ e as potências ativa e reativa de referência. Foi utilizado controlador PI com ganho proporcional de 0,0961 e integral de 1,4713. No projeto de controle do CLR o controlador utilizado foi o P-Multiresonante nas harmônicas 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens, em que a sua função de transferência $C(s)$ é dada por (10) conforme Nascimento Filho (2014).

$$C(s) = k_p + \frac{k_p}{T_r} \sum_{h=5,7,11,13} \frac{s}{s^2 + (h\omega)^2} \quad (10)$$

k_p e T_r são os parâmetros de projeto do controlador, sendo os valores obtidos de 149,9047 e 0,0079, respectivamente para frequência de cruzamento de ganho $w_c = 15.000$ rad/s e margem de fase de $MF_d = 60^\circ$.

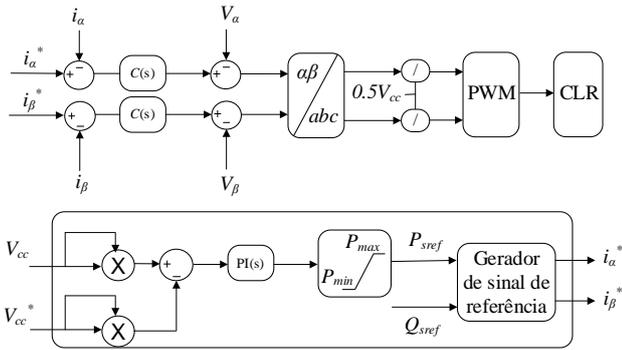


Fig. 3 Esquema de controle do conversor do lado da rede (CLR).

As potências ativa e reativa em coordenadas $\alpha\beta$ são dadas por (11) e (12).

$$P_{ref} = \frac{3}{2} [V_\alpha i_\alpha + V_\beta i_\beta] \quad (11)$$

$$Q_{ref} = \frac{3}{2} [-V_\alpha i_\beta + V_\beta i_\alpha] \quad (12)$$

onde V_α e V_β são as componentes da tensão elétrica em coordenadas $\alpha\beta$, que não são controláveis e i_α e i_β são as

componentes da corrente elétrica, que são controladas para proporcionar o controle das potências de referência P_{ref} e Q_{ref} . As referências das componentes de corrente elétrica i_α^* e i_β^* são calculadas a partir de (13) e (14)

$$i_\alpha^* = \frac{2}{3} \frac{V_\alpha}{(V_\alpha^2 + V_\beta^2)} P_{ref} + \frac{2}{3} \frac{V_\beta}{(V_\alpha^2 + V_\beta^2)} Q_{ref} \quad (13)$$

$$i_\beta^* = \frac{2}{3} \frac{V_\beta}{(V_\alpha^2 + V_\beta^2)} P_{ref} - \frac{2}{3} \frac{V_\alpha}{(V_\alpha^2 + V_\beta^2)} Q_{ref} \quad (14)$$

Assim, infere-se que, a partir de (13) e (14), P_{ref} e Q_{ref} podem controladas de forma independente.

3. FILTRO ATIVO PARALELO NO CONVERSOR DO LADO DA REDE

O CLR funciona com a função de FAP para mitigar as componentes harmônicas presentes na rede elétrica. Para a implementação do FAP, foram incluídas as correntes $i_{Lh\alpha}$ e $i_{Lh\beta}$ nas malhas de i_α e i_β , respectivamente, como mostra a Fig. 4. As correntes $i_{Lh\alpha}$ e $i_{Lh\beta}$ representam as componentes harmônicas da carga não linear defasadas em 180° . Esta mudança permite a mitigação das harmônicas de corrente na rede elétrica e mantém a tensão elétrica no elo CC.

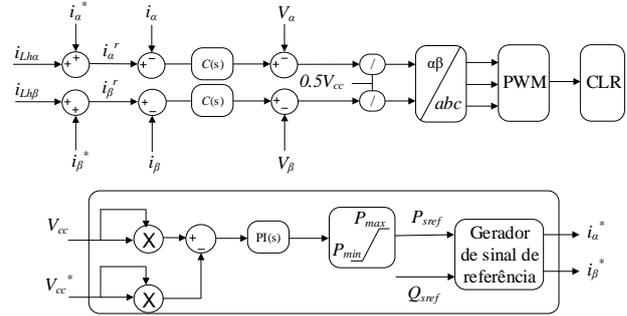


Fig. 4 Esquema do CLR com função de filtro ativo paralelo.

As novas correntes de referência i_α^r e i_β^r são definidas em (15) e (16), respectivamente.

$$i_\alpha^r = i_{Lh\alpha} + i_\alpha^* \quad (15)$$

$$i_\beta^r = i_{Lh\beta} + i_\beta^* \quad (16)$$

As correntes i_{Ld} e i_{Lq} são as componentes de corrente da carga não linear em coordenadas dq, que passam por filtros passa baixas cuja saída são as componentes fundamentais da corrente da carga não linear em coordenadas dq, i_{Lfd} e i_{Lfq} , e as componentes harmônicas da corrente da carga i_{Lhd} e i_{Lhq} , são representadas por (17) e (18).

$$i_{Lhd} = i_{Ld} - i_{Lfd} \quad (17)$$

$$i_{Lhq} = i_{Lq} - i_{Lfq} \quad (18)$$

As componentes harmônicas da corrente da carga i_{Lhd} e i_{Lhq} foram filtradas em dq a partir de um identificador harmônico

devido a facilidade de filtragem nessas coordenadas, conforme Fig. 5 e, em seguida, foram transformadas para as coordenadas $\alpha\beta$.

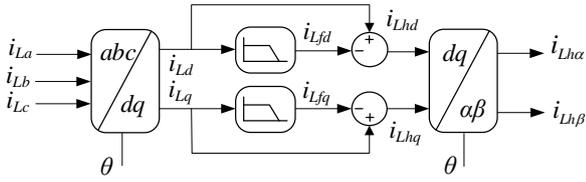


Fig. 5 Identificador harmônico de corrente elétrica em coordenadas $\alpha\beta$.

A verificação do conteúdo harmônico da rede elétrica é feita a partir do cálculo da distorção harmônica total (DHT) por (19):

$$DHT(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \quad (19)$$

em que I_h é a h-ésima componente harmônica da corrente da rede elétrica e I_1 é a componente fundamental. As componentes inter-harmônicas são desconsideradas no cálculo da DHT.

4. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A técnica de controle para o sistema geração de energia eólica através do GSIP/FAP é verificada com o software de simulação computacional Matlab/Simulink®. A Fig. 1 ilustra o sistema proposto apresentando uma turbina eólica acoplada ao GSIP, dois conversores eletrônicos, conhecido como *back-to-back*, a rede elétrica e um retificador trifásico alimentando a carga não linear. A análise será realizada por meio da variação da corrente de armadura do GSIP, para verificar a potência que será suprida ao PAC e a DHT da corrente na rede elétrica, em dois estudos de caso. Nos conversores é utilizada a modulação em largura de pulsos por sinais senoidais (SPWM) e uma frequência de chaveamento de 15 kHz.

Tabela 1. Parâmetros utilizados na simulação

	Parâmetros	Valores
CLR	R, L, C	5Ω, 10mH, 9000μF
CLG	$R_s, L_s, \lambda_m, P_{nom}, V_{LL}, f, p$	2,895Ω, 8,5mH, 0,175Wb, 12kW, 380V, 60Hz, 8 polos
Carga	R_{L1}, L_{iL}	40Ω, 500μH
Rede	V_{LL}, f	380V, 60Hz

4.1 Caso A

Neste caso, o sistema de geração de energia eólica com o GSIP fornece potência nominal e apresenta variação de potência gerada. É incorporado a variação de velocidade para exemplificar o sistema mais próximo do real.

A resposta das potências ativa e reativa entregues ao PAC é mostrada na Fig. 6. A potência ativa é regulada no valor nominal de 12 kW e reajustada para 8kW. A potência reativa é controlada em zero sem compensação de reativo na rede elétrica, mantendo o fator de potência unitário.

A Fig. 7 mostra a resposta da tensão do elo CC (V_{cc}) estabelecida pelo controle vetorial do CLR seguindo a referência (V_{cc}^*). A tensão do elo CC é carregada até a tensão de pico de linha da rede elétrica e depois regulada em 800 V. A velocidade do GSIP (Fig. 8) apresenta variações para simular o sistema operando com velocidade variável.

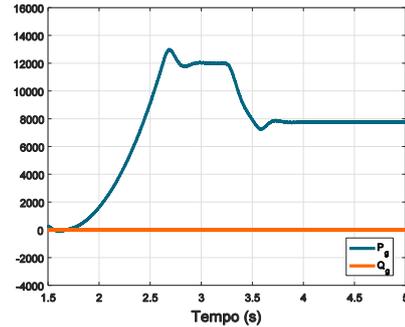


Fig. 6 Potências ativa e reativa entregues ao PAC.

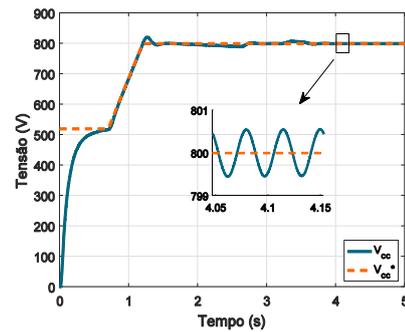


Fig. 7 Controle de tensão do elo CC.

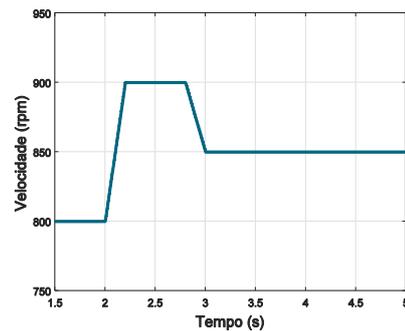


Fig. 8 Velocidade do GSIP.

As formas de ondas das correntes no estator do GSIP em coordenadas dq e na fase A são ilustradas na Fig. 9. A componente i_{sd} é nula e rastreia a referência i_{sd}^* , assim como a corrente de eixo q, i_{sq} , segue a referência i_{sq}^* . A corrente na fase A (i_{sa}) aumenta sua magnitude na mesma proporção em que é variada a corrente i_{sq} . As formas de ondas das correntes da rede, da carga, do CLR, e da tensão da rede quando o GSIP

opera abaixo da potência nominal são verificadas na Fig. 10. O sistema alimenta parcialmente uma carga não-linear de 11,8 kW para uma velocidade de 850 rpm.

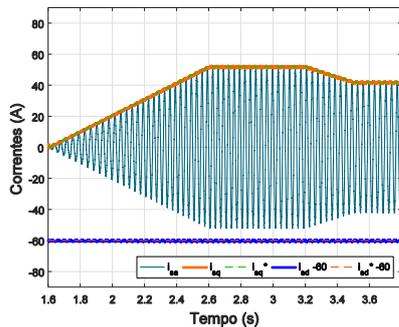


Fig. 9 Formas de ondas das correntes do CLG nas coordenadas dq e na fase A.

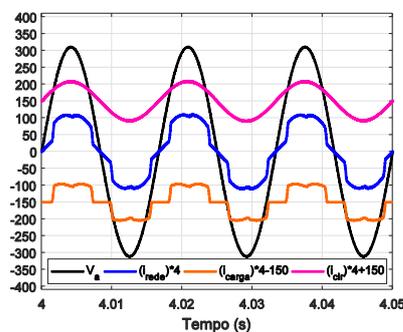


Fig. 10 Formas de ondas da tensão e da corrente da rede elétrica, da corrente da carga e do CLR quando o sistema fornece uma potência de 8 kW sem filtragem ativa.

O espectro harmônico da corrente da carga não-linear é mostrado na Fig. 11. A distorção harmônica total da corrente (DHT_i) da carga é 28,51 %. As harmônicas de ordem ímpar (5, 7, 11 e 13) são as principais componentes harmônicas responsáveis por esta distorção.

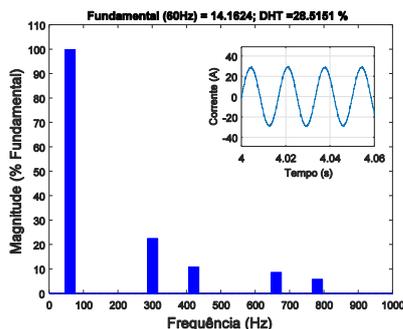


Fig. 11 Espectro harmônico da corrente da carga.

A forma de onda da corrente da rede elétrica é distorcida devido a carga não linear conectada ao PAC. A Fig. 12 mostra o espectro harmônico da corrente da rede quando o sistema entrega potência de 8 kW. A DHT_i da corrente da rede para 8 kW é 14,08 %.

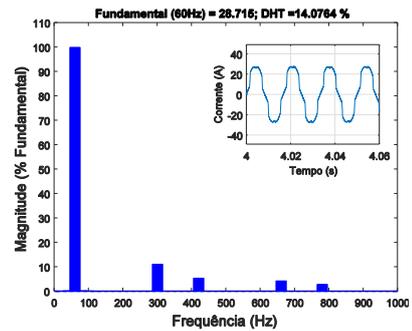


Fig. 12 Espectro harmônico da corrente da rede elétrica quando o sistema fornece 8 kW.

4.2 Caso B

Neste caso, é aplicado ao sistema de geração eólica a função de filtro ativo para mitigar as componentes harmônicas da corrente na rede elétrica. A variação da potência gerada e da velocidade do GSIP são realizadas. As Figuras 6 a 9 são as mesmas para ambos os casos, uma vez que o controle vetorial do CLG é o mesmo e a resposta à tensão do elo CC apresenta o mesmo comportamento. A Fig 13 mostra as formas de ondas da tensão e da corrente da rede, do CLR e da carga não-linear quando o sistema opera com mitigação de corrente harmônica para 8 kW. O conteúdo harmônico da corrente da rede para 8 kW com a compensação harmônica de corrente, na Fig 14, apresenta uma DHT_i de 2,62 %.

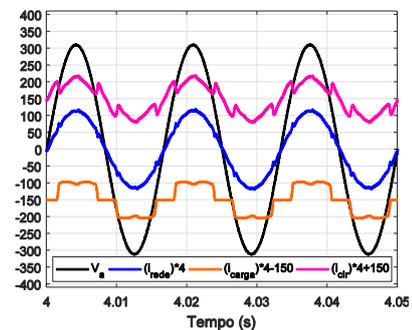


Fig. 13 Formas de ondas da tensão e da corrente da rede elétrica, da corrente da carga e do CLR quando o sistema fornece uma potência de 8kW com filtragem ativa.

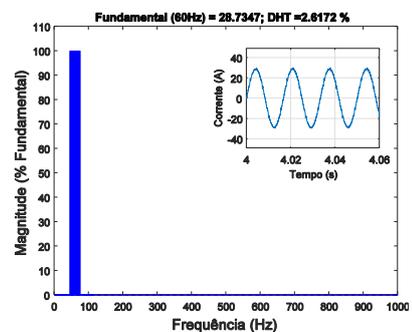


Fig. 14 Espectro harmônico da corrente da rede elétrica quando o sistema fornece 8kW com mitigação de corrente harmônica.

Na tabela 2 são mostrados os valores de DHT_i quando o sistema fornece 8 kW e potência nominal de 12 kW sem compensação harmônica e com FAP. Para a potência nominal houve redução da DHT_i de 10,66 % para 1,92 % com a utilização do filtro e, para 8 kW a DHT_i de 14,08 % foi para 2,62 %. Os diferentes valores de DHT_i se justificam pela componente fundamental da corrente ser maior para potências maiores, uma vez que a tensão da rede é fixa. Ao comparar os dois casos estudados verifica-se a redução da DHT_i da corrente da rede elétrica devido a redução das componentes harmônicas ímpares, conforme a tabela 3. Com o FAP no sistema, é possível inferir que estes valores de distorções estão de acordo com os padrões internacionais (IEE, 2014).

Tabela 2. Valores de DHT_i

P_s	Caso A (Sem FAP)	Caso B (Com FAP)
8 kW	14,0764 %	2,6172 %
12 kW	10,6610 %	1,9218 %

Tabela 3. Porcentagem das harmônicas em relação a componente fundamental.

$h \backslash P_s$	Caso A (Sem FAP)		Caso B (Com FAP)	
	8 kW	12 kW	8 kW	12 kW
5 ^a	11,1254 %	8,4332 %	0,0131 %	0,0413 %
7 ^a	5,4056 %	4,0963 %	0,0074 %	0,0215 %
11 ^a	4,2898 %	3,2505 %	0,0036 %	0,0089 %
13 ^a	2,8942 %	2,1928 %	0,0025 %	0,0094 %

5. CONCLUSÕES

Este artigo investiga o comportamento do GSIPE em um sistema de geração de energia eólica sob velocidade variável. Na presença de uma carga não linear conectada ao PAC, é analisada a potência entregue à rede elétrica quando a corrente de excitação do gerador é modificada e, a distorção harmônica da corrente da rede. No caso A é verificado o sistema de geração sem FAP e, no caso B além da geração de energia elétrica é observada a melhoria da qualidade de energia pela utilização de um filtro ativo paralelo no CLR. Comparando os valores de DHT_i da corrente da rede obtidos no caso 1 e no caso 2, para a potência nominal de 12 kW a DHT_i de 10,66 % foi para 1,92 % e com 8 kW apresenta DHT_i de 14,08 % para 2,62 %. Desse modo, é possível inferir que as técnicas de controle empregadas juntamente com a mitigação das componentes harmônicas através da filtragem ativa mostraram-se eficazes na geração de energia eólica e na melhoria da qualidade de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNCAP pelo apoio financeiro (processo BP3-0139-00022.01.00/18).

REFERÊNCIAS

A. Beainy, C. Maatouk, N. Moubayed and F. Kaddah.(2016). Comparison of different types of generator for wind

- energy conversion system topologies, 2016 3rd REDEC, Zouk Mosbeh, pp. 1-6.
- A. B. Moreira, T. A. D. S. Barros, V. S. D. C. Teixeira, R. R. D. Souza, M. V. D. Paula and E. R. Filho.(2019). Control of Powers for Wind Power Generation and Grid Current Harmonics Filtering From Doubly Fed Induction Generator: Comparison of Two Strategies, in IEEE Access, vol. 7, pp. 32703-32713.
- Amirnaser Yazdani, R.I., (2010). Voltage-Source Converters in Power Systems - Modeling, Control, and Applications. WILEY IEEE.
- Bairagi, A.K., Sheikh, M.R.I., Habib, M.A. et al. (2019). High-Performance P+Resonant Controller Design for Single-phase Islanded Microgrid. J Control Autom Electr Syst.
- D. Schwanz, A. Bagheri, M. Bollen and A. Larsson. (2016) "Active harmonic filters: Control techniques review," 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Belo Horizonte, pp. 36-41, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems - Redline, (2014), IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992 vol., no., pp.1-213.
- M. A. M. A. Moftah, G. E. A. Taha and E. A. Ibrahim, (2016). Active power filter for variable-speed wind turbine PMSG interfaced to grid and non-linear load via three phase matrix converter, Eighteenth International Middle East Power Systems Conference, Cairo, no. 3, pp. 1013-1019.
- OGATA, K (2010). Engenharia de Controle Moderno – 5^a Edição. Prentice-Hall.
- O. Husev, C. Roncero-Clemente, E. Makovenko, S. P. Pimentel, D. Vinnikov and J. Martins. (2020) Optimization and Implementation of the Proportional-Resonant Controller for Grid-Connected Inverter With Significant Computation Delay, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 2, pp. 1201-1211
- P. S. Nascimento Filho, T. A. dos S. Barros, M. G. Villalva and Ernesto Ruppert Filho. (2014). Design methodology of P-res controllers with harmonic compensation for three-phase DC-ac grid-tie inverters with LCL output filter. 2nd IEEE International Conference on Power Electronics.
- R. Balamurugan and R. Nithya. (2017). Solar PV Based Shunt Active Filter with p-q Theory Control for Improvement of Power Quality. Journal of Circuits, Systems and Computers.
- S. Agrawal, V. K. Gupta, D. K. Palwalia and R. K. Somani. (2018). Power Quality Improvement of Standalone Wind Energy Generation System for Non Linear Load. 2nd ICPEICES, Delhi, India, pp. 374-379.
- Souza, R. R.; Moreira, Adson B.; Barros, T. A. S.; Nascimento Filho, P. S.; Ruppert, E. (2016). Aplicação de controladores PI+Ressonante no controle de potências ativa e reativa em geração eólica utilizando GIRB conectado à rede elétrica com tensão distorcida. V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, (SBSE), Natal, RN.
- S. Singh.(2016). Wind power: Future lies within. V 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE), Patiala, pp. 1-5.