

ANÁLISE, MODELAGEM E CONTROLE DE POTÊNCIA PARA SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA TIPO IV

João Frederico Souza de Paula, Adriano Aron Freitas de Moura, Ednardo Pereira da Rocha, Nathan Bezerra Gurgel, Bruno Fernandes Martins

Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil

Email: jfrederico@ieee.org, adrianoaron@ufersa.edu.br, ednardo.pereira@ufersa.edu.br, nathan_gurgel@ieee.org, bruninho.f.martins@hotmail.com

Ailson Pereira de Moura

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza, Brasil
Email: ailson@ufc.br

Resumo— No presente trabalho foram realizadas simulações no software ATPDraw de uma turbina eólica do tipo IV, cuja arquitetura consiste em um retificador trifásico não controlado, um conversor boost e um inversor trifásico controlado nos eixos direto e quadratura; e com chaveamento a PWM. Controlador PI foi utilizado para minimizar o erro e controlar a potência ativa e potência reativa de maneira independente, permitindo injeção de potência na rede. Os resultados apresentados são satisfatórios e indicam a redução do erro nos controladores PI e o efetivo controle das potências injetadas na rede elétrica.

Palavras-Chave— Eólica; Simulação; Controle; Transformada de Park;

I. INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de reduzir a dependência de fontes de energias não renováveis, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como eólica e solar, teve um crescimento exponencial durante o Século XXI. De acordo com a referência [1], em 2019 o crescimento de capacidade instalada no mundo foi de 60,4 GW, perfazendo um aumento de 19% em relação a 2018.

As turbinas Tipo IV é um dos tipos de aerogerados mais utilizados na implementação de parques eólicos [2]. Geralmente utiliza geradores síncronos de ímãs permanentes (GSIP), não há a caixa de engrenagens na nacele presente nesse aerogerador e o rotor eólico é conectado ao eixo de um gerador síncrono de forma direta, o número de polos é normalmente superior a 100, devido a variação de velocidade das pás estar entre 6 e 60 rpm, alcançando a frequência da rede elétrica [3]. Essa tecnologia faz a interface com a rede por meio de conversores de potência, o que o possibilita trabalhar em uma gama maior de velocidades e assim extrair melhor a energia dos ventos.

Apesar dos benefícios econômicos e ambientais da utilização de aerogeradores, sua fonte de energia possui um perfil estocástico, assim podendo gerar problemas de

estabilidade na rede em que está inserida [4]. Em casos de excesso de geração de potência ativa e reativa, há elevação de tensão e frequência na rede, respectivamente.

A vantagem de se utilizar turbinas eólicas tipo IV é devido ao seu desacoplamento total com a rede, assim permitindo um controle completo da geração. O sistema que retrata a geração de energia por meio de uma turbina tipo IV é apresentado na Fig. 1 e é denominado conversor completo.

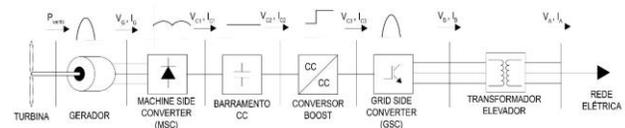


Fig. 1. Sistema de geração de energia por meio de uma turbina eólica tipo 4.

O gerador é conectado ao conversor do lado da máquina (*Machine Side Converter*, MSC) o qual retifica a forma de onda gerada, em seguida passa por um conversor *boost*, controlando a quantidade de potência gerada, e finalmente é enviado para o conversor do lado da rede (*Grid Side Converter*, GSC), gerando a tensão com a amplitude do ponto de acoplamento (*Point of Common Coupling*, PCC) e ângulo de potência requisitado pelo Sistema Elétrico de Potência (SEP).

Neste trabalho é apresentado o controle, utilizando o sistema referencial síncrono (ou Transformada de Park, ou coordenada $dq0$), do conversor completo de turbinas tipo IV para o ajuste da potência ativa e reativa entregue à rede. O sistema foi simulado utilizando o ATP *Electromagnetic Transient Program* (ATP-EMTP).

II. REFERÊNCIAL TEÓRICO

A. Geradores Síncronos Trifásicos

A geração e transmissão de grandes quantidades de energia elétrica dos SEP do mundo, com algumas exceções, são trifásicos. Sendo assim, as máquinas síncronas utilizam de configurações trifásicas [5].

É preciso no mínimo três bobinas para o caso de um gerador síncrono trifásico com 2 polos, possuindo uma bobina por fase e defasada 120 graus elétricos no espaço para produção de tensões trifásicas equilibradas, mas para uma máquina com múltiplos polos, o número mínimo de conjunto de bobinas é fornecido pela metade do número de polos [5].

Uma corrente elétrica de armadura cria no entreferro um fluxo magnético que gira na velocidade síncrona, quando um gerador síncrono fornece potência elétrica a carga. Com isso, obtém-se um conjugado eletromecânico a partir da reação do fluxo magnético proporcionado pela corrente elétrica de armadura ao fluxo magnético criado pela corrente de campo, ocasionando uma oposição à rotação. O gerador síncrono converte a energia mecânica em elétrica através desse conjugado eletromecânico [5].

B. Retificador Trifásico Não Controlado

Um retificador trifásico não controlado (RTNC) é um conversor de um sinal em corrente alternada para corrente contínua (CA-CC) composto por diodos que possuem a função de chaveamento [6]. A Fig. 2 mostra a topologia do circuito retificador trifásico não controlado de onda completa, também chamado de ponte de Graetz, recebendo corrente trifásica de um gerador trifásico.

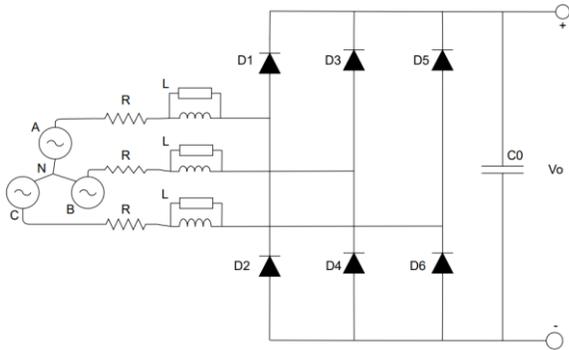


Fig. 2. Topologia do circuito retificador trifásico não controlado de onda completa com fonte CA trifásico.

O circuito RTNC apresentado na Fig. 2 é de seis pulsos, onde a saída de tensão CC possui uma ondulação com seis vezes a frequência da fonte CA. Neste circuito ocorre uma comutação entre diodos a cada 60° e a frequência da oscilação da tensão de saída do circuito é seis vezes maior que a frequência das tensões CA de alimentação [6].

C. Conversor Boost

O conversor *Boost* (CB) é um circuito da classe de conversão de corrente contínua para corrente contínua (CC-

CC) que se baseia na obtenção de uma tensão V_i , fornecendo uma tensão de saída V_o , onde $V_o \geq V_i$ [6]. A topologia do circuito pode ser encontrada na Fig. 3.

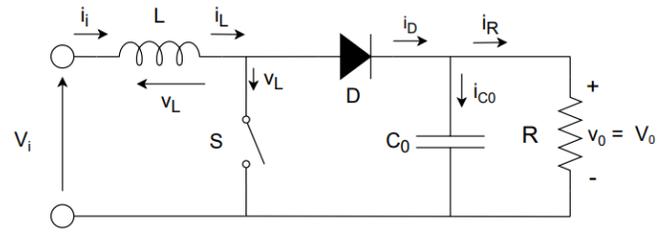


Fig. 3. Topologia do Conversor Boost.

O princípio de funcionamento do CB pode ser dividido em nos momentos de abertura e fechamento da chave S. Quando S está fechada, o diodo D fica reversamente polarizado, isolando a saída da entrada. A tensão média V_i da entrada do circuito permanece carregando o indutor L. Quando a chave S está aberta, o indutor carregado e a fonte de tensão transferem a energia para o capacitor C, elevando o nível de tensão de saída V_0 [6].

Outro fator essencial para o estudo do conversor CC-CC é o conceito do Ciclo de Trabalho (D), ou *duty-cycle*, o qual refere-se à razão do tempo na qual a chave permanece fechada (T_{on}) pelo período de chaveamento (T_{all}) (1).

$$D = \frac{T_{on}}{T_{all}} \quad (1)$$

Determinado o valor do ciclo de trabalho e a tensão de entrada do conversor, é possível encontrar o valor da tensão de saída do circuito através de (2), com o sistema trabalhando no Modo de Condução Contínua (MCC) e dependendo da tensão de entrada e do D [6].

$$V_0 = \frac{1}{1-D} * V_{in} \quad (2)$$

D. Transformada de Park

Para facilitar a análise das máquinas de polos salientes, foi desenvolvida a teoria dos eixos direto e em quadratura ($dq0$), cuja função é de decompor as grandezas de armadura de uma máquina síncrona. Nessas duas decomposições, o eixo direto representa o alinhamento com o eixo de enrolamento do campo e o eixo em quadratura, localizado em quadratura com o mesmo eixo de enrolamento de campo, está adiantado 90 graus em relação ao eixo direto [5].

A utilidade dessa decomposição, também conhecida como transformada $dq0$, está em facilitar a realização dos cálculos. As fases da máquina síncrona trifásica trabalham com uma indutância variável no tempo devido às saliências do rotor. Com a conversão dessas três fases para os eixos direto e em quadratura, essas duas grandezas giram em sincronismo com o rotor e passam a trabalhar com caminhos magnéticos constantes, facilitando na realização de cálculos

e análises do comportamento do sistema. Da mesma forma, existe a utilidade da transformada também no ponto de vista da interação das ondas de fluxo e FMM do rotor e estator, independente dos efeitos causados pela existência das saliências em condições transitórias, ocasionando a existência das interações em regime permanente entre essas ondas de forma constante, distanciadas por um ângulo espacial constante [5].

A transformada dq0 pode ser representada em termos do ângulo elétrico θ_{me} , sendo a multiplicação do ângulo espacial θ_m com a divisão do número de polos (P) por dois (3). O ângulo espacial encontra-se entre o eixo direto do rotor e o eixo da fase do estator, no interior de um motor síncrono ideal de dois polos, identificando os eixos trifásicos e os eixos direto e em quadratura [5].

$$\theta_{me} = \frac{P}{2} * \theta_m \quad (3)$$

Considerando S como uma grandeza qualquer do estator a ser transformada (tensão, corrente ou fluxo), (4) mostra de forma matricial a equação de transformada das fases a, b e c para dq0 e (5) a sua transformada inversa.

$$\begin{bmatrix} S_d \\ S_q \\ S_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{me}) & \cos(\theta_{me} - 120^\circ) & \cos(\theta_{me} + 120^\circ) \\ -\text{sen}(\theta_{me}) & -\text{sen}(\theta_{me} - 120^\circ) & -\text{sen}(\theta_{me} + 120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{me}) & -\text{sen}(\theta_{me}) & 1 \\ \cos(\theta_{me} - 120^\circ) & -\text{sen}(\theta_{me} - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta_{me} + 120^\circ) & -\text{sen}(\theta_{me} + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_d \\ S_q \\ S_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A variável “S” refere-se à qualquer grandeza no rotor a ser convertida, o “d” e “q” representam as grandezas no eixo direto e em quadratura, respectivamente. Contudo, houve a aparição de uma terceira componente na forma matricial, a 0 (zero) ou *componente de sequência zero*. Esta componente possui a finalidade de obter uma transformação coerente com as grandezas trifásicas do estator e está de acordo com as componentes da corrente de armadura que geram fluxo líquido nulo de entreferro. Para o caso de condições em equilíbrio de um sistema trifásico não há componentes de sequência zero [5]. Com o intuito de facilitar na interpretação da transformação dq0, na Fig. 4 são encontrados dois gráficos que representam o comportamento dos sinais de um sistema trifásico (a, b e c) antes e depois de ser aplicado a transformada, passando para os eixos dq0, sendo possível observar no segundo gráfico que é trabalhado apenas em dois eixos, pois a sequência zero é anulada em um sistema trifásico equilibrado.

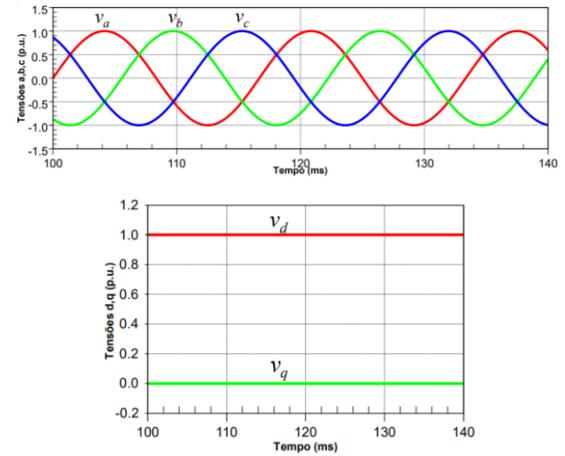


Fig. 4. Comportamento da transformada de park (a) ondas senoidais de um sistema trifásico (b) ondas constantes nos eixos d e q, após a aplicação da transformada de Park.

E. Inversor Trifásico Controlado de Seis Degraus

O inversor trifásico controlado é um conversor de energia CC-CA de três fases e controlado pelo acionamento de seis tiristores e diodos, sendo este inversor chamado também de inversor de seis degraus. A ação de chaveamento acontece em um intervalo de $T/6$, tendo intervalos no ângulo de 60 graus [6]. Na Fig. 5 é possível observar a identificação dos dispositivos de chaveamentos e, neste inversor, os pares para chavear a corrente elétrica nas fases A, B e C são S1e S2, S3 e S4 e S5 e S6, respectivamente.

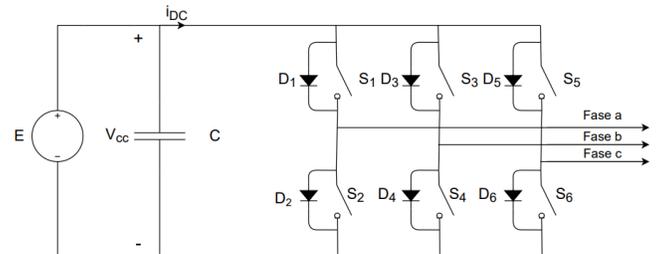


Fig. 5. Topografia do inversor trifásico controlado pelos diodos e tiristores.

O inversor trifásico exposto na Fig. 5 possui a entrada com tensão acumulada no barramento CC capacitivo, o conversor é conectado à rede e existem diversos esquemas de controle. Dentre eles, o escolhido para a formar a configuração do inversor para o presente trabalho foi Controle Orientado para Tensão (*Voltage Oriented Control – VOC*), o qual realiza a Transformada de Park. O algoritmo de controle tem como referência a tensão e o ângulo que se encontra a rede elétrica, trabalhando todas as variáveis em CC, pois facilita a elaboração do projeto e desenvolvimento do controle no inversor [7].

Para alcançar o esquema do VOC, o eixo direto deve estar sincronizado com a tensão da rede elétrica, tanto na magnitude ($v_{dg} = v_g$) quanto no seu ângulo vetorial. Para o caso do eixo em quadratura, este deve ser nulo ($v_{qg} = 0$) [7]. A Equação (6) mostra os cálculos para potência ativa e reativa do sistema.

$$\begin{cases} P_g = \frac{3}{2}(v_{dg} * i_{dg} + v_{qg} i_{qg}) = \frac{3}{2} v_{dg} i_{dg} \\ Q_g = \frac{3}{2}(v_{qg} * i_{dg} - v_{dg} i_{qg}) = -\frac{3}{2} v_{dg} i_{qg} \end{cases} \quad (6)$$

Para que a potência de saída do inversor esteja em sincronismo com a magnitude e o ângulo do vetor da rede elétrica, foi preciso incluir o *Phase-Locked-Loop* (PLL). A Fig. 6 mostra a estrutura deste dispositivo, cuja finalidade é de ajustar o ângulo estimado de forma que a tensão do eixo em quadratura seja nula [8].

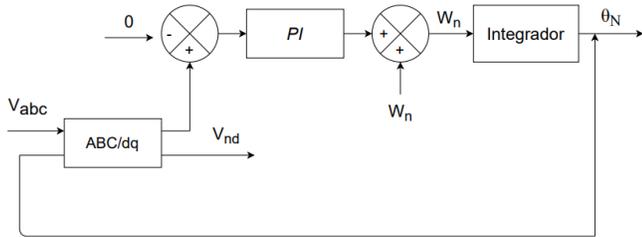


Fig. 6. Diagrama de blocos do PLL [8].

O ângulo da rede elétrica (θ_N) é a resultante da integração da soma entre a referência de frequência angular da rede (W_N^*) e o valor de saída do controlador. Além disso, o ângulo resultante é utilizado na transformada de Park. A tensão do eixo em quadratura resultante passa por um processo de comparação com a referência nula, gerando um erro o qual o controlador PI regula a frequência angular e, conseqüentemente, o ângulo resultante do sistema fique em fase com o ângulo real da rede elétrica [8].

III. METODOLOGIA

O circuito foi desenvolvido no ATP-EMTP. O sistema de controle do inversor utilizou um controlador PI baseado no sistema de coordenadas $dq0$ [7,9].

Uma potência trifásica S_{abc} é gerada pela turbina tipo IV com uma tensão $V_a = V_b = V_c$. Essa potência é transmitida para o RTNC, retificando a tensão, em seguida a tensão é mantida constante no barramento CC e elevada no CB. Após a conversão CC-CC, é feita a conversão CC-CA por meio do inversor. Os disparos dos tiristores do inversor são controlados por meio do controlador PI baseado nos eixos $dq0$, nas equações da potência ativa e reativa do sistema (8) onde é encontrado o ponto de máxima potência. Além disso, os tiristores mantêm a sincronia com a rede, garantindo frequência e fase do PCC.

A. Sistema de Controle

Na Fig. 7 é encontrado o fluxograma de referência do sistema de controle do inversor trifásico, onde a tensão V_{dc} é a tensão do barramento CC que deve ser mantida constante para que o processo de inversão efetuado pelo inversor possa ser feito de modo a injetar potência ativa na rede elétrica. A potência reativa de referência normalmente é mantida em 0 MVar, tornando assim o fator de potência de saída unitário.

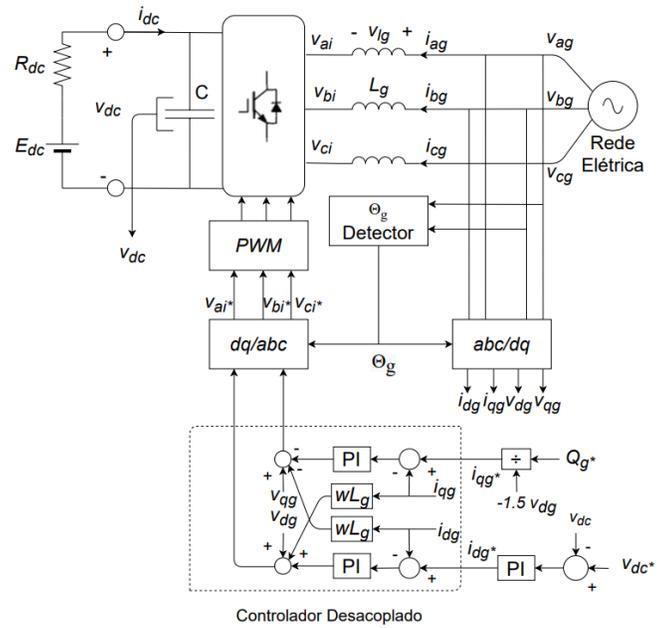


Fig. 7. Sistema de controle do inversor trifásico controlado [7].

Esta malha de controle controla a potência de saída do gerador através de uma comparação de corrente e quanto menor é o valor de potência de saída do gerador, maior é a dificuldade de controlar a tensão no capacitor do inversor.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações dos conversores de energia do circuito do aerogerador do Tipo IV e do funcionamento do controlador PI do sistema estão apresentados nas subseções, adotando nos ensaios uma velocidade nominal de 11 m/s do aerogerador.

A. Análise das Tensões de Entrada e Saída do Conversor Boost e Tensão de Referência do Inversor Trifásico Controlado

O conversor *boost* localiza-se no circuito do projeto após o retificador trifásico controlado. Portanto, a sua tensão de entrada é igual a tensão de saída do retificador, aproximadamente 3,1 kV. A partir da passagem da tensão convertida de CA para CC pelo conversor *boost*, a tensão foi elevada para 3,9 kV, no tempo de 0,4 segundos, e se estabilizou, conforme o gráfico da Fig. 8.

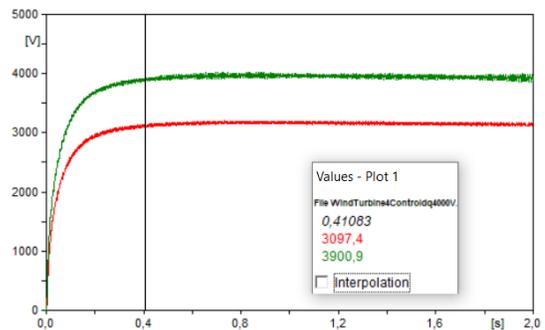


Fig. 8. Tensão de entrada e de saída do conversor Boost.

A elevação de tensão de 3,1 kV para 3,9 kV foi possível devido a escolha da largura de pulso (T_{on}) de $5 \cdot 10^{-5}$ e período de chaveamento (T_s) de $25 \cdot 10^{-5}$, ambos em segundos. Através da Equação (1), o valor do ciclo de trabalho, teórico, do conversor boost do projeto é de 0,2. Com isso, desenvolvendo a Equação (2), pode ser encontrado o D, utilizando os valores de tensão de entrada (V_{in}) e saída (V_0) do conversor e adquirindo o valor de 0.205. O ciclo de trabalho encontrado pelos valores da simulação é bastante próximo ao valor teórico, contendo uma margem de erro de, aproximadamente, 2,5%.

Em seguida, a Fig. 9 mostra o teste realizado para a verificação da tensão de referência da saída do inversor trifásico controlado. Essa simulação tem como a finalidade de acompanhar o desempenho da tensão de referência e verificar que o sistema trifásico está equilibrado.

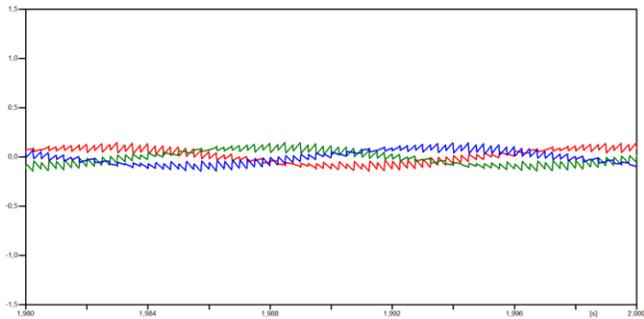


Fig. 9. Tensão trifásica de referência de saída do inversor trifásico controlado no regime permanente.

B. Potência Ativa e Reativa nos Sistemas de Controle

Foram realizadas simulações para a verificação da potência ativa e potência reativa, sendo que a primeira se localiza no eixo direto (d) e a segunda no eixo em quadratura (q). Após a identificação do comportamento das potências, também foi simulado o comportamento do controlador PI, para a análise do seu controle em ambas as potências. A turbina eólica tipo IV estudado trabalha na potência de 1,67 MVA, com a velocidade nominal de 11 m/s e as constantes K_p e K_i que integraram o controlador possuem os valores de 0,05 e 0,815, respectivamente.

O resultado simulação realizada para a análise do comportamento da potência ativa com a aplicação do controlador PI foi positivo, pois entregou à rede elétrica a potência fornecida pela turbina eólica. No caso do controlador, o seu resultado também se mostrou satisfatório por conseguir realizar o controle da potência com uma margem de erro sendo diminuída para, aproximadamente, 0% com o sistema sendo controlado. As Fig. 10 e 11 mostram os gráficos da potência ativa e do Controlador PI, respectivamente.

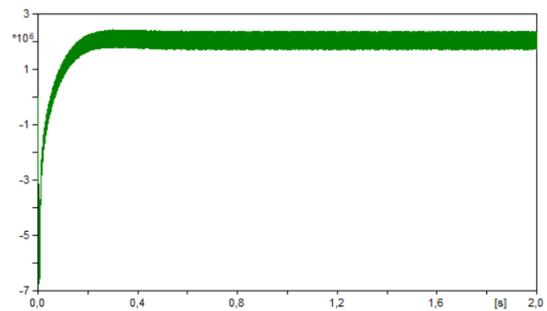


Fig. 10. Potência ativa de saída do sistema de controle, em W.

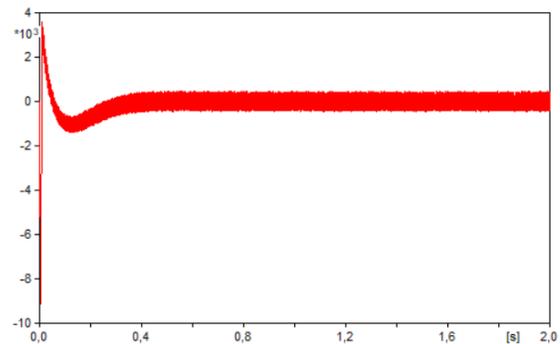


Fig. 11. Correção do erro pelo controlador PI na potência ativa.

Para o caso da potência reativa, o propósito é de minimizar a sua interferência por se tratar de uma potência pouco utilizável na rede elétrica. Na Fig. 12 mostra o gráfico da potência reativa possuindo uma potência de 0 MVar e a Fig. 13 mostra o controlador PI diminuindo a margem de erro e tendendo a 0% e o sistema sendo controlado.

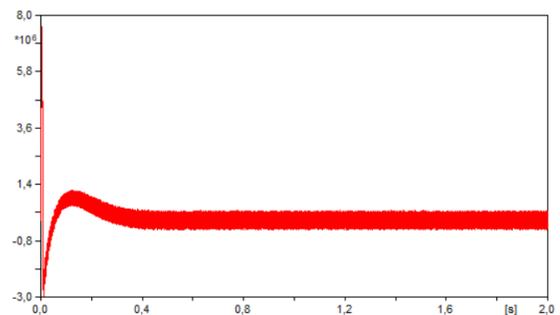


Fig. 12. Potência reativa de saída do sistema de controle, em VAr.

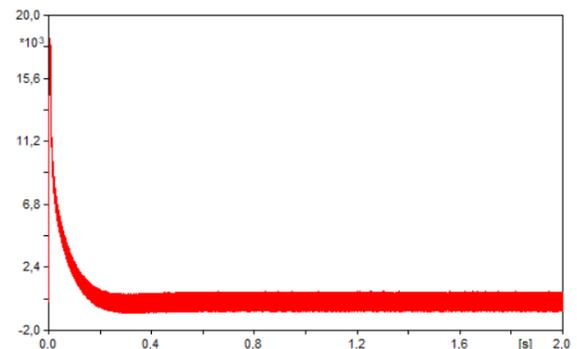


Fig. 13. Correção do erro pelo controlador PI na potência reativa.

V. CONCLUSÕES

APÊNDICE

Neste trabalho foi desenvolvido uma simulação de geração de potência de 1,67 MVA a partir de uma turbina eólica tipo IV com velocidade nominal de 11 m/s. A identificação do ponto de potência máxima foi feita a partir de um controlador PI baseado no sistema referencial dq0, e utilizando o sistema PLL para sincronismo com rede.

O sistema adquiriu elevação de tensão esperada pelo conversor *boost*, indo de 3,1kV para 3,9kV, alcançando um ciclo de trabalho de 0,205, resultando em uma margem de erro de 2,5% ao valor teórico e conseguiu entregar máxima potência em 0,4s a partir do acionamento da turbina, entregando 1,67MW e com neutralização da potência reativa à rede elétrica de forma que o fator de potência foi unitário.

O controlador PI conseguiu alcançar o ponto de equilíbrio no sistema, diminuindo a sua margem de erro e podendo controlar a variação das potências até a sua estabilização no estado de regime permanente. As constantes Kp e Ki determinadas pelo controlador foram 0,05 e 0,815, respectivamente.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/UFERSA pelo apoio financeiro por meio da bolsa PIBIC de iniciação científica de código 146373/2020-0 e pela bolsa do programa voluntário de iniciação a pesquisa da UFERSA que ajudaram na realização desse trabalho. Os autores também agradecem a concessão e liberação da licença do programa de simulação ATP-EMTP, pois foi essencial para a execução do projeto do artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Global Wind Energy Council. Annual Wind Report 2019. August 2020. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/08/Annual-Wind-Report_2019_digital_final_2r.pdf>
- [2] M. El-Sharkawi. Wind Energy – An Introduction. New York: CRC Press, 2016.
- [3] A. P. Moura, A. A. F. Moura, E. P. Rocha, “Engenharia de Sistemas de Potência: Geração Hidroelétrica e Elioelétrica”, 1ª ed., vol. 1. Edições UFC, 2019.
- [4] T. Kerdphol, M. Watanabe, K. Hongesombut and Y. Mitani, "Self-Adaptive Virtual Inertia Control-Based Fuzzy Logic to Improve Frequency Stability of Microgrid With High Renewable Penetration," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 76071-76083, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920886.
- [5] S. D. Umans, “Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley”, 7th ed., vol. 1. AMGH Editora Ltda., 2014.
- [6] M. A. Vitorino, “Eletrônica de Potência: Fundamentos, Conceitos e Aplicações”, 1st ed, vol. 1. Appris Editora, 2019.
- [7] B. Wu, Y. Lang, N. Zargari, S. Kouro, “Power Conversion and Control of Wind Energy Systems”, IEEE press, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [8] V. F. Mendes, “Avaliação do Comportamento de um Sistema de Conversão de Energia Eólica Utilizando Gerador de Indução Duplamente Excitado Durante Afundamentos de Tensão Equilibrados e Desequilibrados”, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2009.
- [9] A. Yazdani, R. Iravani, “Voltage-Sourced Converters in Power Systems”, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., 2010.

TABLE I. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO GERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

Características Elétricas	Valores	Características Elétricas	Valores
Tensão	4 kV	Xd''	0,17 pu
Frequência	60 Hz	Xq''	0,243 pu
Ângulo	0°	Tdo'	4,49 s
Pólos	2	Tqo'	0,06 s
SMOVTP	1	Tdo''	0,0681 s
SMOVTQ	1	Tqo''	0,0513 s
RMVA	11 MVA	Xo	0,15 pu
RkV	2 kV	RN	0 pu
AGLINE	500 A	XN	0 pu
RA	0,006 pu	XCAN	0,1635
XL	0,14 pu	HICO	48,8
Xd	1,31 pu	DSR	0
Xq	0,8 pu	DSD	0
Xd'	0,36 pu	FM	3
Xq'	0,4 pu	MECHUN	1

TABLE II. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE CADA FASE DO CIRCUITO

Características Elétricas	Valores
Resistência (R)	0,5 Ohm
Indutância (L)	0,01 mH
Kp	5 Damp

TABLE III. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO RETIFICADOR TRIFÁSICO NÃO CONTROLADO

Características Elétricas	Valores
Resistência (R)	200 Ohm
Indutância (L)	0 H
Capacitância (C) paralelo ao diodo	1 μF
Capacitância (C) em U(0)	40000 μF

TABLE IV. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO CONVERSOR BOOST

Características Elétricas	Valores
Amplitude	1
Período de Chaveamento (T _s)	0,00025 s
Largura de Pulso (T _{on})	5.10 ⁻⁵ s
Indutância	0,5 mH
Capacitância	40000 μF