

Estudo sobre a utilização de um motor de indução para a emulação de regimes de ventos em uma turbina eólica

Study about the usage of an induction motor to emulate wind streams in a wind turbine

Matheus Gonçalves Albuquerque

Matheus.gon_@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil

Alessandro Goedel

agoedel@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o intuito de verificar a capacidade de um motor de indução de emular regimes de ventos em uma turbina eólica que opera com ajustes de velocidade. Essa verificação se dá a partir de simulações do comportamento do MIT com um inversor de frequência para controle de velocidade do mesmo, de forma a demonstrar a possibilidade de operação dessa máquina em diferentes faixas de escorregamento. Além disso, fundamenta-se a forma de ajuste de velocidade em aerogeradores, juntamente com os parâmetros que permitem a esse a máxima conversão de energia. Compara-se as faixas de velocidade do motor com a curva comportamental de potência mecânica extraída versus velocidade do gerador para diferentes velocidades de vento, num aerogerador de 4kW. Constata-se a possibilidade de emular regimes de ventos numa turbina eólica para uma delimitada faixa de velocidades, a partir da definição dos parâmetros de controle da trajetória de máxima potência do aerogerador em questão.

PALAVRAS-CHAVE: Motor de indução. Gerador eólico. Regimes de ventos.

ABSTRACT

This study was developed in order to verify the way an induction motor can emulate wind streams in a wind turbine that operates with speed settings control. This verification occurs through simulations of the behavior of the induction motor, alongside an voltage inverter which purpose is to provide the machine a wider slip band operation. Besides that, it is explained the concepts of speed adjustment in wind turbines, along with the parameters that allow it the maximum energy conversion. The motor operational speed band is compared with a 4kW wind turbine extracted mechanical power versus generator speed curve for different wind speeds. It is verified the possibility to emulate wind streams in a wind turbine for a specified speed band by defining the control parameters for the maximum power trajectory of the generator in mind.

KEYWORDS: Induction motor. Wind generator. Wind streams.

Recebido: 31 ago. 2018.

Aprovado: 04 out. 2018.

Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica de qualidade é crescente em todo o mundo e o grande desafio é alinhar essa necessidade com a sustentabilidade. Dessa forma, torna-se indispensável a preocupação com a redução dos impactos ambientais causados. É nesse contexto que se encontra a importância do desenvolvimento da geração de energia proveniente de fontes renováveis, tal como a eólica, sendo essa altamente eficaz, limpa, segura e abundante (MILLAIS, 2015).

O Brasil demonstra grande potencial para a geração eólica, evidenciado pela estimativa de que em 0,8% de seu território há a ocorrência de ventos com velocidade média igual ou superior a 7 m/s a 50 m do solo, sendo equivalente a um potencial energético de 143,5 GW com capacidade de geração de 272,2 TWh/ano (AMARANTE *et al*, 2001).

A proposta deste trabalho de iniciação científica, é o estudo sobre o processo de conversão de energia em uma turbina eólica, bem como o estudo e simulação do Motor de Indução Trifásico (MIT) para verificação de sua capacidade em emular regimes de ventos nas pás de um aerogerador que opere com velocidade variável.

MÉTODOS

MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O trabalho proposto tem como foco de estudo o MIT de 1cv, 4 polos, 220/380V. Seus dados de placa podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1 – Dados de placa do motor utilizado.



Fonte: Autoria própria (2018).

A partir dos dados nominais do MIT, juntamente com os valores demonstrados na tabela 1 apresentada na seção resultados, referentes ao circuito equivalente do motor, é possível realizar a simulação dinâmica do mesmo e obter suas curvas comportamentais através do software Matlab/Simulink.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O funcionamento de uma turbina eólica se dá pela transformação da energia cinética dos ventos que atravessam a área de giro das hélices em energia de rotação mecânica transmitida ao eixo (VOLTOLINI, 2007).

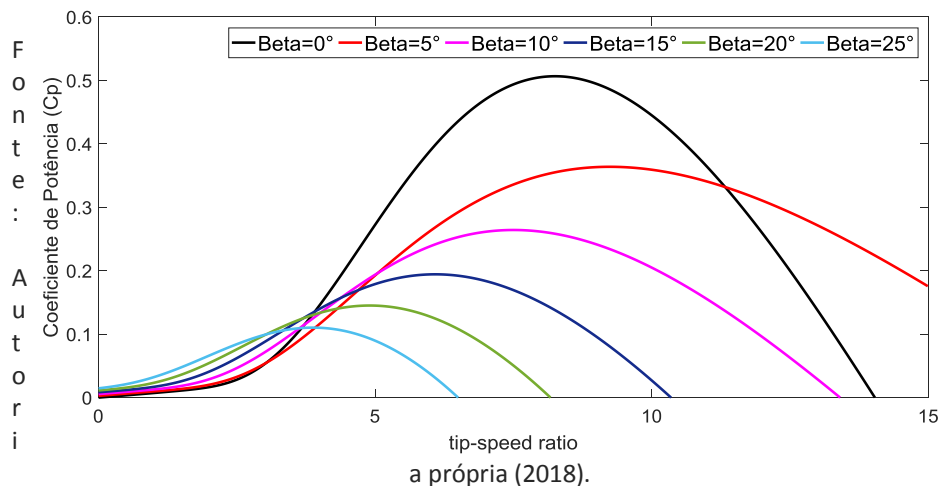
A potência extraída é limitada por um coeficiente de potência (C_p), de forma que quanto maior seu valor, maior será a potência obtida. Esse é função de duas variáveis, λ e β , onde a primeira é denominada razão de velocidade de ponta de pá, ou na literatura internacional como (*tip-speed ratio*), enquanto a segunda é o ângulo de passo de ajuste da turbina para diferentes velocidades de vento (VOLTOLINI, 2007).

A expressão de $C_p(\lambda, \beta)$ se dá por meio da Eq. (1), na qual as constantes c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 e c_6 são baseadas nas características aerodinâmicas da turbina (VOLTOLINI, 2007).

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda} - c_3\beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda}} + c_6\lambda \quad (1)$$

O comportamento de C_p em função de λ para diferentes valores de β , pode ser visto na Figura 2, obtida através de implementação da Eq. (1) no software Matlab/Simulink. De acordo com Voltolini (2007, p. 15), os valores das constantes da Eq. (1), são para uma turbina moderna: $c_1 = 0,52$; $c_2 = 116$; $c_3 = 0,4$; $c_4 = 5$; $c_5 = 21$; $c_6 = 0,007$.

Figura 2 - Coeficiente de potência em função da *tip-speed ratio* para diferentes ângulos de passo.



O ângulo beta é controlado de forma a limitar a energia convertida pela turbina para velocidades de vento superiores à nominal, normalizando assim a potência gerada em seu valor nominal. Isso é feito com o intuito de proteger a integridade da turbina, mantendo-a dentro dos seus padrões de operação (ANAYA-LARA *et al*, 2009). Com velocidades de vento muito superiores às condições regulares de trabalho, normalmente com ventos acima de 25 m/s, o sistema é desligado (VOLTOLINI, 2007). Nos demais pontos de operação, o controle do gerador se dá de forma a garantir o máximo valor de C_p , ou seja, mantendo a razão de velocidade de ponta de pá constante em seu valor nominal (VOLTOLINI, 2007).

Princípios de Funcionamento do MIT

O funcionamento de um motor de indução se dá pelo aparecimento de correntes de campo por indução magnética em seus enrolamentos de campo, sendo estes localizados em seu rotor, a partir de uma alimentação trifásica em seu enrolamento de armadura (CHAPMAN, 2013). A alimentação trifásica no estator da máquina acarreta o surgimento de um campo magnético girante, dessa forma conforme esse campo muda de posição em função do tempo, o campo induzido em seu rotor tenta se alinhar com o mesmo, produzindo assim um conjugado induzido na máquina (CHAPMAN, 2013).

Controle Escalar V/f

Para acionamentos em velocidade constante, os motores de indução conseguem desempenhar sua função com êxito, porém é comum a necessidade de operação em múltiplas velocidades para tipos específicos de cargas ou situações (UMANS, 2014).

O controle da relação V/f, isto é, da razão entre os valores nominais escalares de tensão e frequência, se dá com o intuito de manter o fluxo no núcleo constante, permitindo assim a alteração na velocidade de atuação do motor sem causar problemas relativos ao aumento da corrente de excitação (CHAPMAN, 2013).

O equipamento responsável por este controle é o inversor de tensão, ou mais comumente conhecido como inversor de frequência. Esse trabalha pela conversão de uma tensão CC em uma tensão CA, sendo possível o ajuste tanto do valor eficaz, como da frequência da alimentação através do método PWM (*Pulse Width Modulation*) (PAREKH, 2003).

RESULTADOS

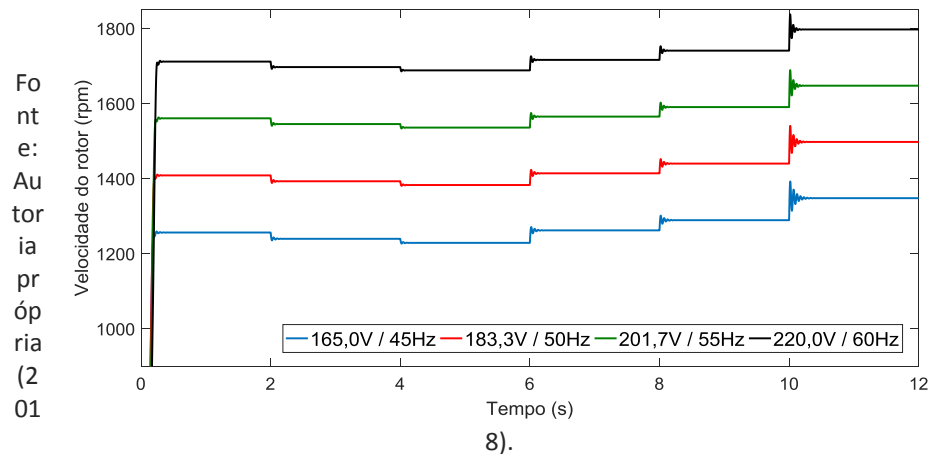
Para a simulação do motor em diferentes velocidades, foram variadas as tensões e frequências de alimentação de acordo com o método V/f. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de circuito equivalente utilizados e a Figura 3 apresenta o comportamento obtido da velocidade em função do tempo para cargas variadas e para diferentes valores de tensão e frequência.

Tabela 1 - Parâmetros de circuito equivalente utilizado.

Parâmetros	Valores
Resistência de estator em regime	12,40 (Ω)
Resistência de rotor em regime	6,95 (Ω)
Indutância de estator em regime	$2,05 \times 10^{-2}$ (H)
Indutância de rotor em regime	$4,84 \times 10^{-2}$ (H)
Indutância de magnetização em regime	0,546 (H)
Momento de inércia do rotor	$2,71 \times 10^{-3}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

Fonte: Alessandro Goedel, *et al* (2007).

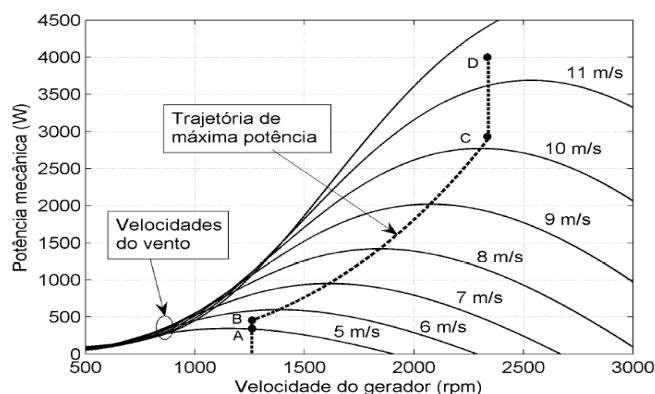
Figura 3 - Comportamento da velocidade do motor para valores diversos de tensão e frequência.



DISCUSSÃO

Para comparação com a faixa de atuação do MIT, foi utilizado a curva de potência para uma turbina de 4kW em função da velocidade do eixo de seu gerador.

Figura 4 - Potência mecânica em função da velocidade do gerador para diversos regimes de vento em uma turbina de 4kW.



Fonte: Helio Voltolini (2007).

Observa-se que é possível emular os efeitos de regimes de ventos numa turbina, operando em diferentes velocidades. Um exemplo disso, é que para as características de funcionamento de uma turbina de 4kW, para seu λ nominal e consequente máximo valor de C_p , um regime de ventos com velocidade de 7 m/s poderia ser emulado pelo MIT fazendo a velocidade do rotor atingir aproximadamente 1600 rpm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Com o intuito de emular regimes de ventos e observar seus efeitos em uma turbina eólica que opera com velocidade variável, verificou-se possível a utilização de um motor de indução com um inversor de frequência acoplado, permitindo assim a operação deste em grande faixa de velocidades.

REFERÊNCIAS

MILLAIS, C. Relatório Wind Force 12: segurança global a partir do vento. Revista de Ecologia do Século 21. Rio de Janeiro, Julho de 2005.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.

VOLTOLINI, Helio. **Modelagem e controle de geradores de indução duplamente alimentado com aplicação em Sistema eólicos**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PAREKH, Rakesh. AC Induction Motor Fundamentals. Microchip, 2003. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/cn/AppNotes/cn_00887a.pdf>. Acesso em 19 de agosto de 2018.

GOEDEL, Alessandro; DA SILVA, Ivan Nunes; SERNI, Paulo Jose Amaral. Load torque identification in induction motor using neural networks technique. Electric Power Systems Research, v. 77, n. 1, p. 35-45, 2007.

ANAYA-LARA O, JENKINS N, EKANAYAKE J, CARTWRIGHT P, HUGHES FM. Wind Energy Generation: Modelling and Control. West Sussex, UK, 2009.

CHAPMAN, S. J. Fundamentos de máquinas elétricas . 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

UMANS, S. D. Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.