

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE EMULAÇÃO DE TURBINA EÓLICA DE VELOCIDADE VARIÁVEL PARA PESQUISA E TREINAMENTO

Germano Henz

Acadêmico do curso de Engenharia de Controle e Automação Universidade Federal de Santa Maria

germanohenz@gmail.com

Gustavo Koch

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria

gustavoguilhaermekoch@gmail.com

Claiton Moro Franchi

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia de Controle e Automação Universidade Federal de Santa Maria

claiton.franchi@gmail.com

Humberto Pinheiro

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria

humberto.ctlab.ufsm.br@gmail.com

Resumo. Este documento apresenta em detalhes o desenvolvimento de um emulador de uma turbina eólica de velocidade variável capaz de reproduzir o comportamento dinâmico da turbina e seus modos de operação em diferentes condições de vento. Essas funcionalidades possibilitam sua utilização para pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas de controle e supervisão de sistemas de geração de energia eólica. Além disso, outro importante aspecto é a possibilidade de utilizá-lo como ferramenta didática em cursos de graduação ou até mesmo por empresas que trabalham no setor.

Palavras-chave: Energia Eólica. Emulação.

1. INTRODUÇÃO

Uma das formas de energia renovável que tem se destacado nos últimos anos é a energia eólica, que vem crescendo de forma acelerada e já é parte essencial na matriz energética de alguns países. Se assumida

uma velocidade média de vento de 7m/s, o Brasil possui um grande potencial eólico estimado em 143,5GW (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001)

Entretanto, o contexto nacional da energia eólica no país requer atenção. Apesar desse alto potencial de mercado, praticamente não existe tecnologia desenvolvida no país e mão de obra qualificada suficiente para atender a demanda. O investimento pouco expressivo em pesquisa e desenvolvimento no Brasil pode ser considerado parcialmente como um reflexo da aparente maturidade tecnológica mundial em energia eólica, mas também se deve ao reduzido número de especialistas no setor. Portanto, constata-se que para uma expansão da energia eólica no Brasil faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologia na área, bem como treinamento de mão-de-obra especializada (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012).

No presente trabalho foi desenvolvido um emulador de uma turbina eólica de velocidade variável. O sistema possui uma

modelo de uma turbina eólica e gera uma série temporal dos ventos, possibilitando o teste dos diversos modos de operação da turbina em diferentes condições de vento. Um sistema de supervisão (SCADA) foi desenvolvido para criar uma interface entre o usuário e o sistema, além de incorporar recursos como históricos, representações gráficas de variáveis e definição de parâmetros pelo operador. Os componentes do sistema de conexão com a rede são idênticos aos utilizados em uma turbina eólica real. Além disso, um microcontrolador é responsável por replicar os sinais elétricos presentes em um sistema de conversão de energia eólica. Estas características possibilitam a utilização do sistema para capacitação de pessoal bem como para teste e validação de algoritmos e equipamentos antes de serem implementados em uma turbina eólica real.

2. EMULADOR DE UMA TURBINA EÓLICA

O sistema de emulação consiste numa aplicação *Simulink/MATLAB*, um sistema SCADA, um conversor de frequência, um microcontrolador e um motor de indução. O sistema de conexão com a rede consiste em um motor síncrono de ímã permanente (PMSG), um conversor *back-to-back*, um controlador lógico programável (CLP), um processador de sinais digitais (DSP) e um filtro LCL. A configuração do sistema é mostrada na Fig. 1. Cada componente do sistema será melhor explicado a seguir.

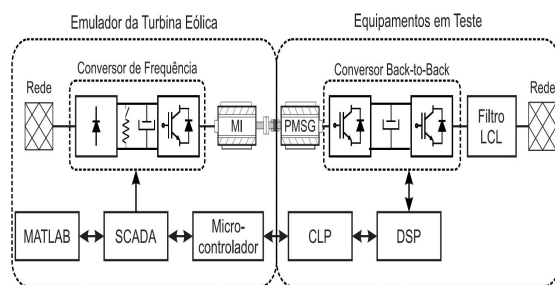


Figura 1- Diagrama geral do sistema

2.1 Simulink/MATLAB

XXV CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA – CRICTE 2013

10 a 13 de setembro de 2013 – Passo Fundo - RS

O *Simulink* é um ambiente de diagramas de blocos integrado no *software MATLAB* usado para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. No sistema proposto ele foi utilizado para gerar a série temporal do vento bem como simular a dinâmica da turbina eólica, incluindo os atuadores do freio e do ângulo de passo das pás. A série temporal dos ventos é gerada por um filtro de Von Karman excitado por um ruído gaussiano normalizado. A potência mecânica da turbina eólica é calculada pela Eq.(1), (NICHITA et al., 2002)

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot v^3 \quad (1)$$

Onde v é a velocidade do vento, R é o raio do rotor, ρ é a densidade do ar e $C_p(\lambda, \beta)$ é o coeficiente de potência da turbina sendo λ o coeficiente de velocidade, β o ângulo de passo e v a velocidade do vento. Com o valor da potência da turbina é possível obter seu torque, que é a razão entre a potência e a velocidade angular ω , como mostrado na Fig.2.

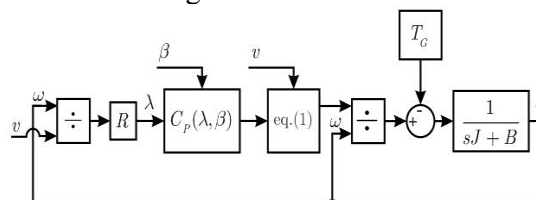


Figura 2 - Simulação da turbina eólica

Do torque da turbina é subtraído o torque do gerador que é obtido através de um torquímetro, resultando numa componente de torque que é usada no comportamento dinâmico da turbina.

2.2 Sistema de supervisão (SCADA)

O sistema de supervisão é utilizado para estabelecer canais de comunicação entre os componentes do sistema. Além disso, ele também proporciona uma interface gráfica para o usuário. A transferência de dados entre o conversor de frequência e o microcontrolador é feita através do protocolo

Modbus Remote Terminal Unit (RTU) através de um modem *wireless*. O SCADA atua como mestre da rede, transmitindo as solicitações de leitura e escrita aos outros dispositivos, que atuam como escravos. Os dados são transmitidos pelo padrão serial RS-485 a uma taxa de 9600 bps. A comunicação com o *Simulink* é estabelecida pelo padrão OPC, que dispensa a utilização de *drivers* específicos e garante robustez à rede. O SCADA também proporciona histórico dos valores das principais variáveis do emulador.

2.3 Conversor de Frequência

O conversor de frequência controla a velocidade do motor de indução utilizando uma técnica de controle vetorial a fim de reproduzir o comportamento do rotor da turbina eólica. A escolha desse motor se deu devido a sua robustez. O controle da velocidade do motor se dá conforme a referência de velocidade angular que o conversor de frequência recebe do SCADA.

2.4 Microcontrolador

O microcontrolador foi utilizado em conjunto com um circuito para condicionamento de sinais com a finalidade de criar uma interface entre o SCADA e o CLP. O microcontrolador recebe dados do supervisória via comunicação serial *Modbus* e gera sinais elétricos correspondentes para serem enviados ao CLP. Ele também interpreta sinais elétricos dos atuadores de passo e yaw enviados pelo CLP e os envia ao SCADA para serem utilizados na emulação dinâmica da turbina eólica. Por gerar estes sinais elétricos, o microcontrolador consegue simular o funcionamento de um anemômetro e de uma biruta.

3. EQUIPAMENTOS EM TESTE

É possível realizar testes de performance em equipamentos que são utilizados em sistemas de geração de energia eólica

conectando-os ao emulador. Esta é uma funcionalidade importante visto que por questões de segurança não é recomendando testar os equipamentos conectando-os diretamente a uma turbina eólica real. Além disso, o teste diretamente em campo requer um grande espaço de tempo, visto que os testes devem ser realizados em todas as condições de vento possíveis. Os elementos responsáveis pela conexão do emulador na rede elétrica são idênticos aos usados em uma turbina eólica real. Cada componente será melhor descrito a seguir.

3.1 Gerador síncrono de ímã permanente (PMSG)

O gerador síncrono de ímã permanente é acoplado ao motor de indução e reproduz o gerador existente dentro das turbinas eólicas. A escolha desse tipo de gerador se deu devido sua alta eficiência, boa relação entre potência e peso, alta robustez e não ter a necessidade de uma fonte externa para a excitação do campo magnético.

3.2 Controlador Lógico Programável (CLP)

O CLP é responsável por acionar as contadoras para conexão com a rede, o freio e os atuadores de yaw e ângulo de passo das pás. A utilização do CLP no sistema permite a validação de seu algoritmo em todos os modos de operação da turbina antes de utilizá-lo numa turbina eólica real, aumentando a segurança do sistema.

3.3 Processador de sinais digitais (DSP)

O DSP controla o conversor *back-to-back* que regula a amplitude e frequência da tensão de saída do sistema para poder ser feita a conexão com a rede elétrica. Ele também é responsável por definir a técnica de controle a ser utilizada dependendo da velocidade do vento. Quando ela está abaixo

da velocidade nominal, o DSP emprega um controle que busca a máxima eficiência aerodinâmica da turbina para buscar a máxima extração de potência do vento. Para velocidades de vento superiores o DSP limita a potência do gerador em seu valor nominal. Em velocidades de vento muito elevadas o controlador faz a turbina entrar em modo de desligamento para evitar danos à turbina.

4 RESULTADOS OBTIDOS

O sistema proposto é capaz de validar algoritmos do DSP e CLP, técnicas de controle do PMSG e testar o conversor *back-to-back* que estabelece a conexão do sistema com a rede elétrica. A utilização do sistema permite ao usuário um melhor entendimento do funcionamento de um sistema de conversão de energia eólica. O sistema também pode ser usado para fins didáticos em cursos de engenharia a fim dar ao estudando uma visão mais aprofundada no funcionamento de uma turbina eólica. O sistema desenvolvido é mostrado na Fig. 3.

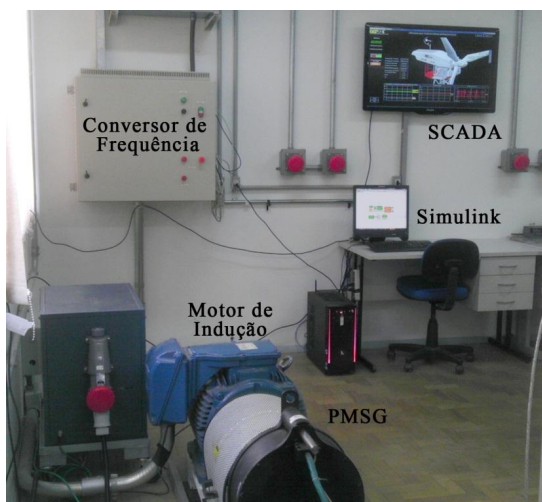


Figura 3 - Emulador de turbina eólica

Na Figura 4 é mostrada a interface gráfica desenvolvida no sistema de supervisão. Parâmetros como torque, potência da turbina e potência do gerador são calculados no emulador e enviados ao

SCADA. Entretanto, outros parâmetros como turbulência e velocidade do vento são definidos pelo operador na interface a fim de se gerar a série temporal do vento desejada. O supervisor também proporciona representações gráficas em tempo real dos valores de variáveis importantes do sistema.



Figura 4 - Interface gráfica do SCADA

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento.

5 REFERÊNCIAS

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, **Análise e Percepções para o Desenvolvimento de uma Política de CT&I no Fomento da Energia Eólica no Brasil**. Brasília, 2012.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001.

NICHITA, C.; LUCA, D.; DAKYO, B.; CEANGA, E., "Large band simulation of the wind speed for real time wind turbine simulators," **Energy Conversion, IEEE Transactions on**, vol.17, no.4, pp.523,529, Dec 2002.