

AEROGERADORES RESIDENCIAIS MODULADOS POR CONVERSORES MATRICIAIS

Caique Nunes Maria Santana – caiquesantana.aluno@unipampa.edu.br

Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé

Roberson Adriel Bergmann Ledebuhr - ledebuhr@sinos.net

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE

Fabio Luis Tomm - fabiotomm@unipampa.edu.br

Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé

Resumo. *Os processos industriais que, alimentados por corrente alternada, necessitam de níveis específicos de tensão e fase para acionamento e controle, o que pode ser provido por conversores estáticos de potência CA/CA. A geração de energia elétrica também é um processo industrial, portanto há a necessidade da modulação de potência para entrega à rede. A energia eólica é uma das fontes de energia com amplo crescimento. Uma das razões para isso se deve a grandes melhorias na tecnologia de conversão, levando a custos mais baixos. O uso dos geradores síncronos têm apresentado crescimento nas turbinas eólicas desde o final do século XX, esta máquina gera tensão e corrente com frequências variáveis de acordo com a variação da velocidade do vento. Devido à intermitência dos ventos, faz-se necessário o controle da potência despachada à rede, convencionalmente, mediante ao conversor back-to-back. Esses conversores possuem um barramento CC, munido de um capacitor, pesado e volumoso que é substituído regularmente e isto implica em custos de manutenção. Pelas características modulares, quando um capacitor de barramento apresenta defeito, há a necessidade de substituição do conversor estático por completo. Em contrapartida, o conversor matricial (CM), como conversor CA/CA direto, sem a necessidade de capacitor de barramento, modulado por largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation), possui potencial para substituir a estrutura do conversor back-to-back. A ausência de um barramento CC entre a conversão CA/CA aumenta consideravelmente o tempo de vida do sistema e diminui a manutenção. Graças a este fator, apresenta-se neste trabalho uma alternativa de melhor custo-benefício, em aerogeradores residenciais. Aplicada a modulação por largura de pulso senoidal ao conversor matricial, este buscará o menor nível de tensão sobre os interruptores, visto que seu algoritmo prevê a condição de buscar o próximo pulso da entrada trifásica, acionador do driver do MOSFET para que isto se suceda. Em virtude disto, é mostrado que o conversor matricial atua de forma eficiente na modulação da potência de saída de um gerador síncrono, provendo menores perdas por chaveamento e conseqüentemente uma vida útil maior em comparação ao conversor back-to-back.*

Palavras-chave: *Energia eólica, Conversor matricial, Aerogeradores residenciais.*

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica é uma das fontes de energia que no mundo apresenta um rápido crescimento, consolidando-se como uma fonte importante de geração, com capacidade global de 743 GW em 2021. Isso se deve às grandes melhorias na tecnologia de conversão, levando a custos mais baixos (Zobba e Bansal apud. Prasad & Bansal, 2011). A história do uso da energia eólica para a geração de eletricidade remonta ao século XIX, no entanto, o baixo preço dos combustíveis fósseis deixava inviável economicamente o desenvolvimento da energia eólica.

A pesquisa sobre sistemas modernos de conversão de energia eólica (WECS - *Wind Energy Conversion System*) foi colocada em ação novamente em 1973 por causa da crise do petróleo (Zobba e Bansal apud. Barakati, 2011). A geração de energia eólica cresceu nas últimas três décadas e é considerada uma das fontes de energia renováveis mais promissoras. No entanto, sua integração ao Sistema Interligado Nacional (SIN) ou em paralelo com a rede da concessionária, em geradores residenciais, tem uma série de desafios técnicos relativos à segurança do abastecimento, confiabilidade, disponibilidade e qualidade de energia (Zobba e Bansal apud. Ferré e Bellmund, 2011). Torna-se imprescindível a utilização de conversor estático nesta adequação do gerador com a rede.

A demanda por energia elétrica segue os aspectos socioeconômicos de uma nação, assim, o padrão de consumo das unidades consumidoras aumentou com os recentes avanços econômicos, com a popularização da geração distribuída ficou interessante para o consumidor gerar sua própria energia. O crescimento da geração distribuída é uma realidade mundial e, mediante condições climáticas, ambientais e econômicas, se torna interessante o incentivo aos consumidores na produção de sua própria energia, injetando o excedente na rede elétrica. No entanto, a operação da rede elétrica se torna mais complexa para adequar as legislações em relação à qualidade de energia. Todavia, os sistemas fotovoltaicos dominam o mercado da geração distribuída no Brasil, isso se deve ao preço comparativo dos dois sistemas e técnicos pelo sistema eólico ser composto por uma máquina elétrica rotativa e uma estação de controle CC (retificador) antecedendo o inversor. Esta topologia é análoga ao conversor *back-to-back* em aerogeradores de grande porte, que possui barramento CC.

Desta forma o aproveitamento eólico em residências é subutilizado, principalmente pela relação ao investimento inicial, sendo que no comparativo entre as tecnologias a relação R\$/kWp instalado em um sistema eólico residencial é consideravelmente maior que a mesma relação em sistemas fotovoltaicos. Este fato pode ser entendido como um problema de custo e eficiência energética; sendo assim, as pesquisas e estudos acerca das formas de conversão eletromecânica e estática de energia (envolvendo conversores estáticos mais eficientes na etapa de modulação da potência) podem vir a oferecer soluções para melhorar a relação custo de investimento aplicado a cada kWp instalado.

O conversor matricial (CM), como conversor CA/CA direto modulado por largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*), possui potencial para substituir a estrutura do conversor *back-to-back* e o conjunto retificador-inversor (painel de controle CC seguido de um inversor) em aerogeradores residenciais. Em sistemas eólicos cujo conversor estático é um CM, não é necessário estágio CC, eliminando a necessidade de capacitores de barramento, que proporcionam altas tensões, necessitando assim chaves de comutação mais robustas. A ausência desse barramento CC entre a conversão CA/CA aumenta consideravelmente o tempo de vida do sistema e diminui a manutenção. Graças a este fator, apresenta-se neste trabalho uma alternativa de melhor custo-benefício, visto que a substituição deste módulo do conversor *back-to-back* com capacitores vultuosos corresponde à importante parcela dos custos.

Analisar o desempenho do conversor matricial realimentado, realizando controle da tensão de saída do sistema; propor uma metodologia para utilizar este conversor matricial como componente em aerogerador residencial. A base do estudo do conversor tem o fluxograma representado na Fig. 1.

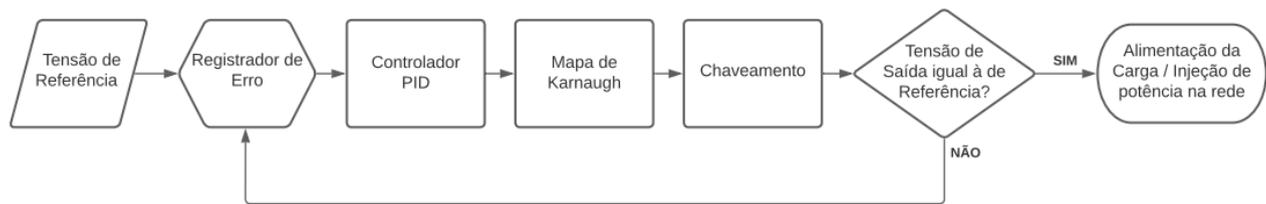


Figura 1: Fluxograma do modelo deste estudo.

2. METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DE CONVERSORES MATRICIAIS EM SISTEMAS EÓLICOS RESIDENCIAIS

2.1 Princípios de Conversão da Energia Eólica

O cerne da conversão de energia em um sistema eólico é o gerador elétrico: em um gerador síncrono, ou alternador, o campo magnético do rotor é produzido aplicando uma corrente CC ao seu enrolamento; ou utilizando um rotor de ímãs permanentes. Então, desta forma é aplicado conjugado ao eixo do gerador mediante uma máquina primária, produzindo um campo magnético rotativo dentro da máquina. Este campo magnético rotativo, mediante a Lei de Faraday-Neumann-Lenz, induz um conjunto de tensões trifásicas (considerando uma máquina trifásica) nos enrolamentos de seu estator. Como mostrado na Fig. 2, a conversão de energia em sistemas eólicos segue da seguinte maneira: a energia cinética dos ventos é captada pelas pás do rotor, esta interação produzirá conjugado ao eixo, que é transmitido à uma caixa de engrenagens (multiplicadores de velocidade). Após o processo de multiplicação, a energia é transmitida ao rotor do gerador síncrono, com maior velocidade; mediante à ação da excitatriz da máquina síncrona, será induzida tensão em seus terminais, a qual será modulada e controlada por um conversor estático de energia.

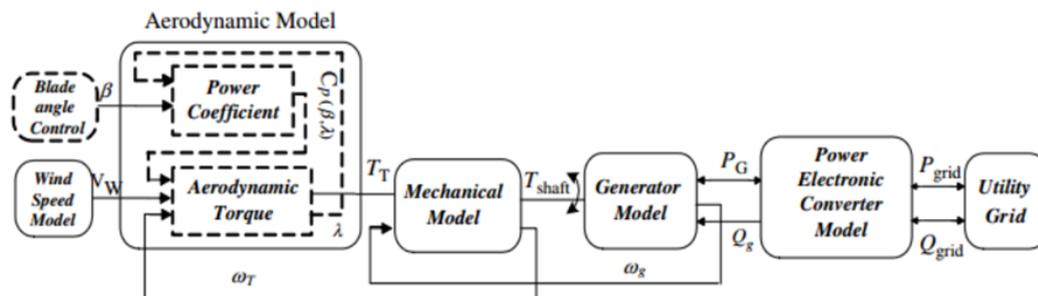


Figura 2: Conversão de energia em sistemas eólicos.

2.2 Conversor Matricial Modulado por Largura de Pulso

O conversor eletrônico de potência possui papel fundamental em sistemas eólicos modernos como:

- Atingir a máxima transferência de potência de conversão mecânica-elétrica, controlando a velocidade do rotor da turbina conforme a variação da velocidade do vento;
- Alterar a frequência variável resultante e a saída CA de magnitude variável do gerador elétrico em uma frequência e fonte de magnitude constantes que pode alimentar uma rede elétrica.

Os conversores estáticos de potência CA/CA são classificados em cicloconversores, conversores indiretos (CA/CA) e conversores matriciais. Os cicloconversores são aplicados se houver a necessidade de uma frequência de saída menor que a de entrada. Os conversores indiretos possuem um barramento CC entre dois estágios, como é o caso dos conversores *back-to-back*, que possuem um capacitor de barramento entre os estágios de retificação e inversão. E por fim, os conversores matriciais: estes é um conversor CA/CA direto, o qual pode entregar em sua saída níveis maiores ou menores de tensão e frequência em somente um estágio.

Conversores matriciais por não possuir barramento CC em sua topologia principal tem perdas consideravelmente menores que os conversores CA/CA indiretos. Estes conversores possuem amplo leque de aplicabilidade por ter uma topologia maleável: sua versão mais conhecida é gerador trifásico-carga trifásica, no entanto, para cargas monofásicas e bifásicas é somente alterado o número dos interruptores bidirecionais na etapa da modulação de potência, assim como seus drivers de acionamento.

A geração de energia elétrica é um processo industrial, portanto tem a necessidade da modulação de potência para entrega à rede. Devido à intermitência dos ventos, é necessário o controle da potência despachada à rede, sendo assim, o conversor matricial pode ser aplicado. O conversor matricial (MC) é um conversor CA/CA direto que compreende um conjunto de três interruptores bidirecionais (em sua configuração gerador trifásico para carga monofásica) que fornecem uma conexão direta entre as três fases entrada diretamente para a carga, sem utilizar qualquer *link* de corrente contínua, como mostrado na Fig. 3.

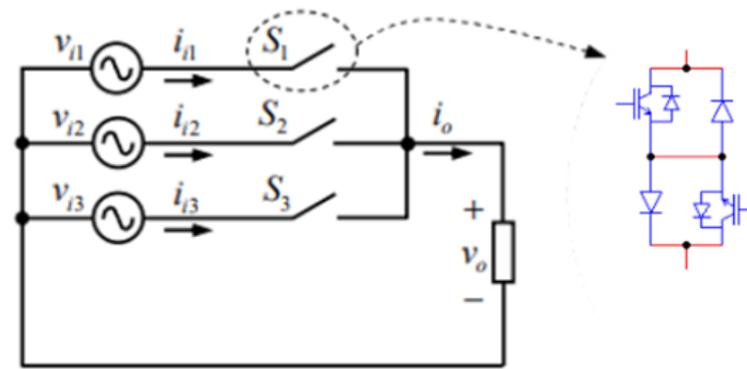


Figura 3. Diagrama esquemático do Conversor Matricial

O controle do conversor matricial em aerogeradores provê:

- Rastreamento de potência máxima para aproveitar a maior energia possível do vento;
- Menor estresse mecânico;
- Potência elétrica gerada com menor flutuação;
- Redução de ruído acústico em velocidades de vento mais baixas.

Para capturar a potência máxima do vento, a velocidade e, conseqüentemente, o conjugado do gerador, devem ser controlados, uma vez que esta grandeza é função da corrente de excitação do campo (El-Khoury et al., 2013). Para tal, como indicado na Fig. 2, a saída modulada do conversor matricial alimentará a carga do sistema nos níveis de tensão e frequência desejados. Os estudos sobre o conversor matricial têm se concentrado na implementação de interruptores bidirecionais e em técnicas de modulação. Como no caso de comparação do MC com o par retificador-inversor sob a estratégia de comutação PWM, o MC fornece formas de onda de entrada e saída senoidal de baixa distorção, fluxo de potência bidirecional e fator de potência de entrada controlável. A principal vantagem do MC está em seu design compacto, o que o torna adequado para aplicações onde o tamanho e peso são relevantes, como nas aplicações aeroespaciais (Zobaa e Bansal apud. Barakati, 2011). Como desvantagens pode-se citar a quantidade de chaves bidirecionais, o que amplifica o grau de complexidade de seu controle, e também se pode citar a menor faixa de atuação do mesmo, visto que a tensão de referência deve ser pelo menos cerca de 80% da tensão que deve ser gerada; porém não há limites para a faixa de frequência. Os elementos principais da topologia são chaves que permitem bidirecionalidade da corrente quando estão ligadas e suportam tensões diretas e reversas quando estão desligadas, ou seja, funcionam nos quatro quadrantes do gráfico $I \times V$, como ilustrado na Fig. 4.

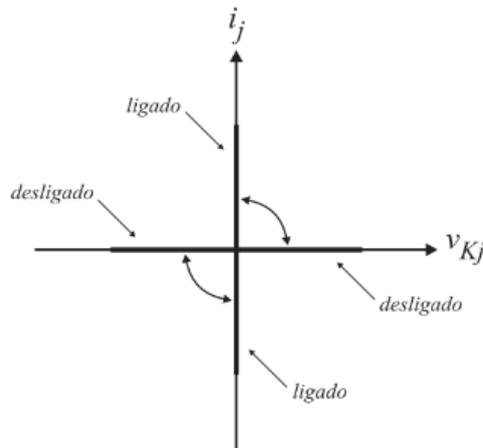


Figura 4. Conversor de quatro quadrantes.

Questões práticas envolvendo a operação de conversores transistorizados remetem a necessidade de circuitos auxiliares, como fontes lineares, condicionadores de sinais, circuitos microcontrolados e drivers. Sendo o driver (circuito de acionamento de transistores de potência) especialmente importante, por ter como principal tarefa proporcionar a energia necessária para comutar transistores de potência. Sendo assim, é mostrado o circuito driver para o acionamento dos IGBT's no conversor matricial na Fig. 5.

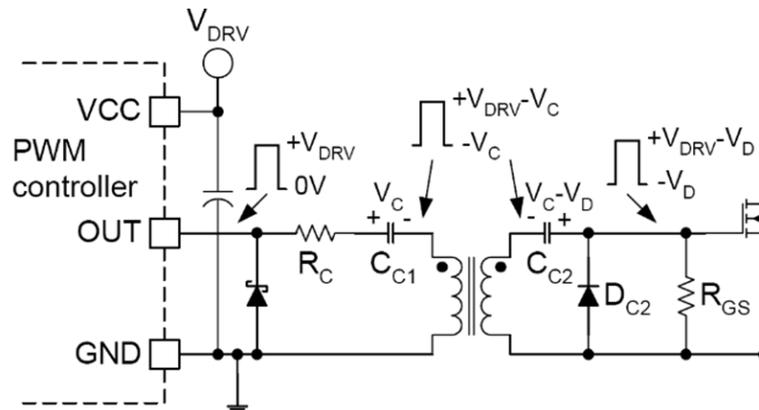


Figura 5: Driver isolado a transformador.

Os drivers proporcionam a energia necessária para que o IGBT comute. Optou-se por comutar os IGBT's mediante ao driver isolado com transformador, como indicado na Fig. 5, pelo menor custo em relação aos optoacopladores. Existem drives convencionais como o IR2110/12, no entanto, estes funcionam muito bem com conversores estáticos convencionais – buck, boost, buck-boost, half-bridge, full-bridge, cúk, forward, etc – por possuírem referência fixa. No caso de um conversor CA-CA, sendo diretamente dependente da tensão injetada pelo gerador síncrono, este dependente da velocidade da turbina, que por sua vez dependente da velocidade do vento, torna inviável a utilização desse driver, pois não seria possível a obtenção da referência fixa de forma direta. Sendo assim, é empregado o driver a transformador isolado, o qual irá acompanhar a referência (e de forma rápida sob variação) dada pelo gerador para a comutação dos IGBT's.

Em conjunto com o transformador estão presentes no circuito da Fig. 5 diodo Zener e capacitores. Em função da saturação do trafo, sua forma de onda apresentará distorção por efeitos de tensão e frequência, então para reduzir a atenuação desta, o Zener grampeia a tensão em patamares seguros e carrega o capacitor para que o pulso seja gerado corretamente e não danifique o interruptor acionado.

A tensão injetada pelo gerador síncrono, no conversor eletrônico, depende da velocidade da turbina, que é intermitente por estar relacionado à velocidade do vento. Sendo assim, para que haja a geração de energia elétrica em um sistema eólico é necessário que haja a ação de uma malha de controle entre a entrada e a saída do conversor, para que a potência seja injetada na carga, ou no caso de haver excedentes, a injetar na rede. Tanto pelo aproveitamento da energia no autoconsumo da unidade consumidora quanto pela injeção da energia excedente na rede, é preciso que esta

energia gerada esteja dentro dos padrões determinados por norma. Sendo assim, a Fig. 6 mostra o diagrama de blocos referente ao controle sobre a tensão, a qual será modulada pelo conversor matricial.

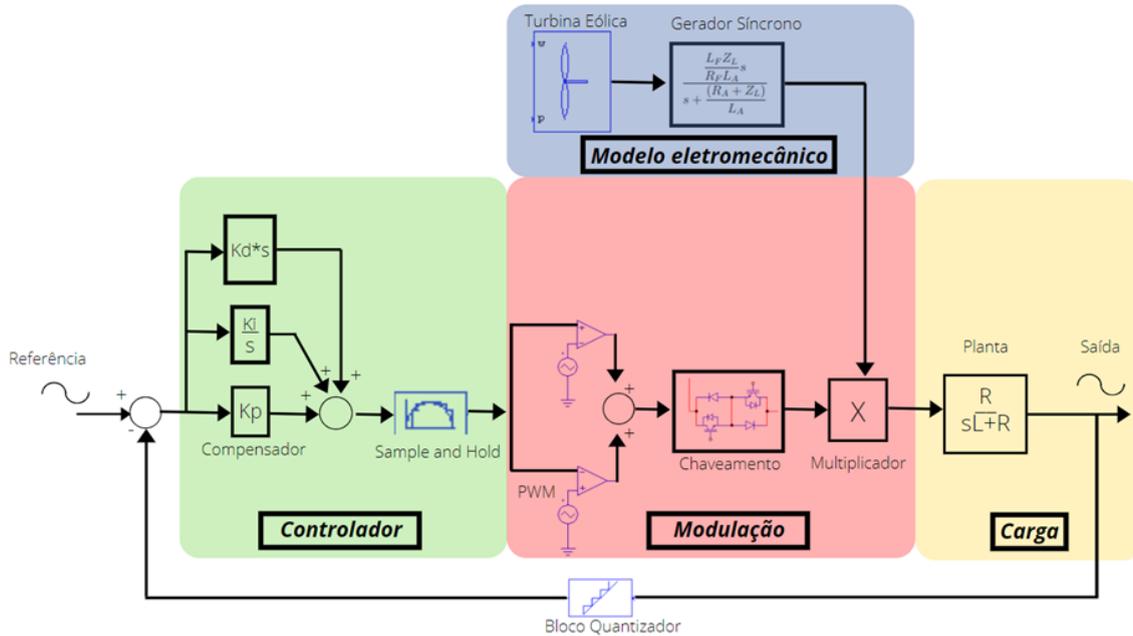


Figura 6: Diagrama de blocos referente à modulação da tensão.

O diagrama de blocos foi dividido em quatro cores. O sistema de controle é referenciado pela rede elétrica, a qual ditará os níveis de tensão para a saída do conversor. O sinal de erro medido pela saída do diagrama de blocos é compensado na região em verde, onde se encontra o controlador PID; e em seguida, por tratar-se de um controle digital, o bloco *Sample and Hold* prepara a amostragem do sinal para que este seja tratado na próxima etapa (região vermelha). Nesta região de modulação, encontram-se os blocos referentes ao PWM: ou seja, aqui haverá o rastreo dos pulsos que deverão ocorrer para a comutação dos IGBT's e será dado o índice de modulação para que a saída desejada seja sintetizada. Ou seja, aqui será descrito qual e quanto tempo cada interruptor permanece conduzindo. Relacionado a esta região, encontra-se a região em azul, que relaciona o modelo eletromecânico do sistema; nesta região estará contida a informação da velocidade do eixo da turbina eólica e, conseqüentemente, a tensão enviada ao conversor matricial. Conforme houver a variação de tensão do gerador, o controlador atuará de forma que a modulação na região vermelha despache a tensão necessária para a carga (região amarela), de tal forma que a referência seja mantida.

4.3 ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Foi empregado o rastreo dos pulsos que deverão ocorrer para a comutação dos IGBT's e o índice de modulação ditará quanto tempo cada IGBT permanecerá conduzindo. Para que a saída desejada seja sintetizada os pulsos que ativam os interruptores são gerados mediante a um código de rastreo dos menores níveis de tensão das chaves bidirecionais e implementados via o microcontrolador ESP-32 pela plataforma Arduino IDE. É desejado encontrar o nível de tensão “menor próximo” e “maior próximo” para aplicar PWM nas chaves, e assim, não haja a necessidade de serem tão robustos quanto seriam em um conversor *back-to-back*, pois há menores perdas de comutação. Estudos de simulações revelam a necessidade de menores dissipadores de calor nos interruptores, pois existe maior rendimento do conversor. Neste mesmo código foi implementado a realimentação do sistema entre o rastreo dos pulsos para a ativação de uma das seis chaves bidirecionais desta topologia do conversor matricial; foi implementado a compensação PID (Proporcional, Integrativo e Derivativo) na etapa de ajuste do nível de tensão para a saída do sistema de controle, e este manifesta-se na largura de pulso de modulação.

Como supracitado, é necessário saber qual IGBT irá comutar e durante quanto tempo permanecerá conduzindo, e isto será provido pela ação do microcontrolador mediante à comparação entre os níveis “maior próximo” para o semi-ciclo negativo e “menor próximo” para o semi-ciclo positivo. Desta forma, é possível aplicar o Mapa de Karnaugh para o rastreo destes pulsos. O Mapa de Karnaugh (Mapa-K) reduz funções lógicas rápida e facilmente, possui suas raízes na Álgebra Booleana. O Mapa-K reduz o número de variáveis de trabalho eliminando as redundâncias e, desta forma, reduzindo os custos computacionais por atingir uma base canônica relacionada ao número de variáveis de entrada de algum sistema. O circuito lógico da Fig. 7 indica que são comparados os níveis de referência e da tensão de

saída do gerador para que haja a geração do pulso, onde são rastreados os comandos para os IGBT's com nível de tensão “menor próximo” e “maior próximo”.

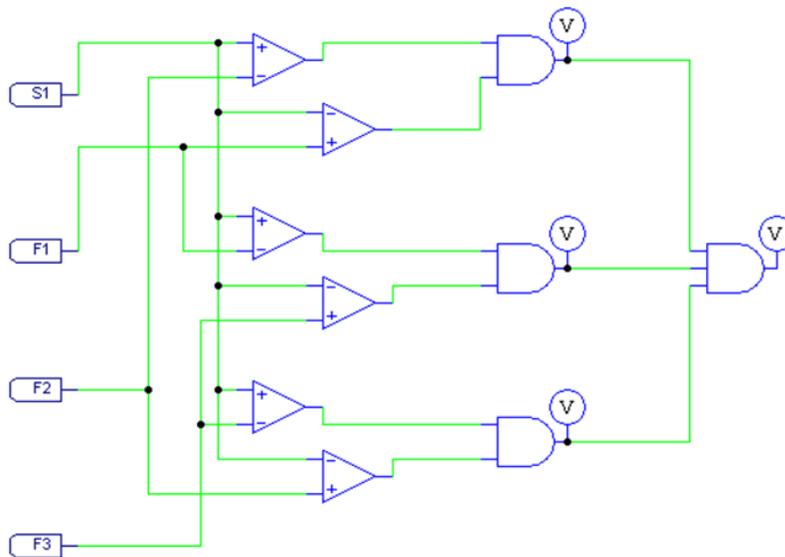


Figura 7: Circuito lógico do rastreamento dos pulsos

3. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo serão mostrados alguns resultados referentes às simulações realizadas no Psim. Na Fig. 8 está representado o sinal modulante do PWM.

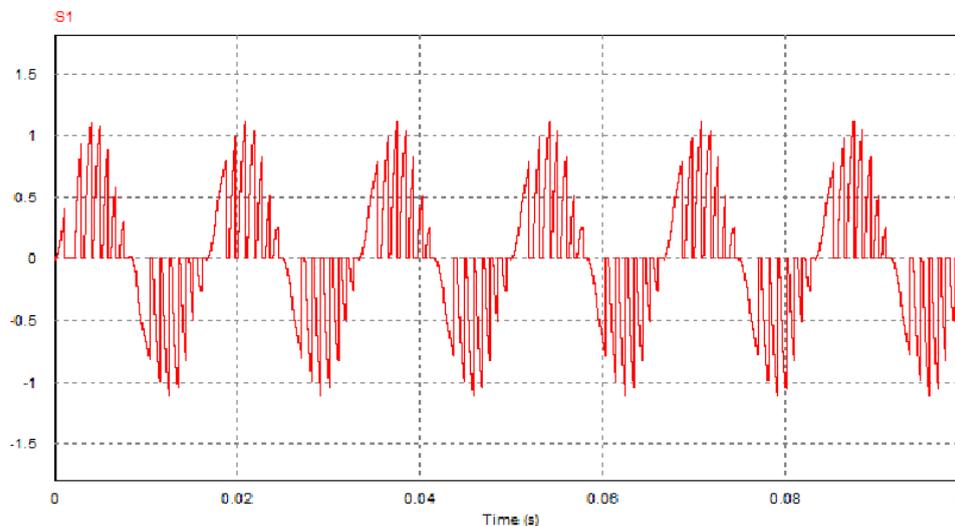


Figura 8: Sinal modulante.

O leitor pode averiguar que a Fig. 9 mostra que na intersecção entre as fases 2 e 3 (que não são a referência nesse caso) ocorre o pico da onda que deverá ser sintetizada. E isso é o que deve ocorrer quando os pulsos gerados (mostrados na Fig. 10) acionarem os IGBT's, e estes, ordenados mediante aos pulsos ditados, sintetizam a forma de onda da cor preta na Fig. 11. A saída monofásica, a qual é representada pelo sinal de cor preta, é formada pela entrada trifásica, de cores vermelho, azul e verde. Quando a relação entre esses sinais de entrada possui o menor nível de tensão, que é justamente o nível “menor próximo” buscado pelo algoritmo, o sinal de saída é gerado.

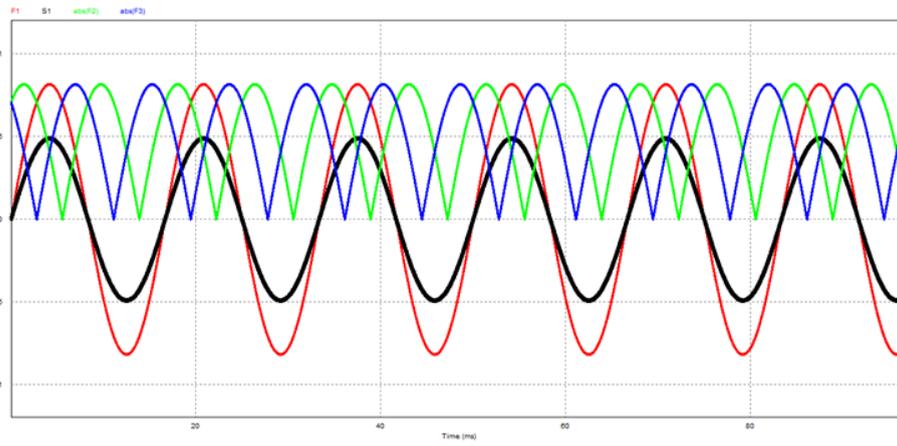


Figura 9: Rastreamento dos pulsos.

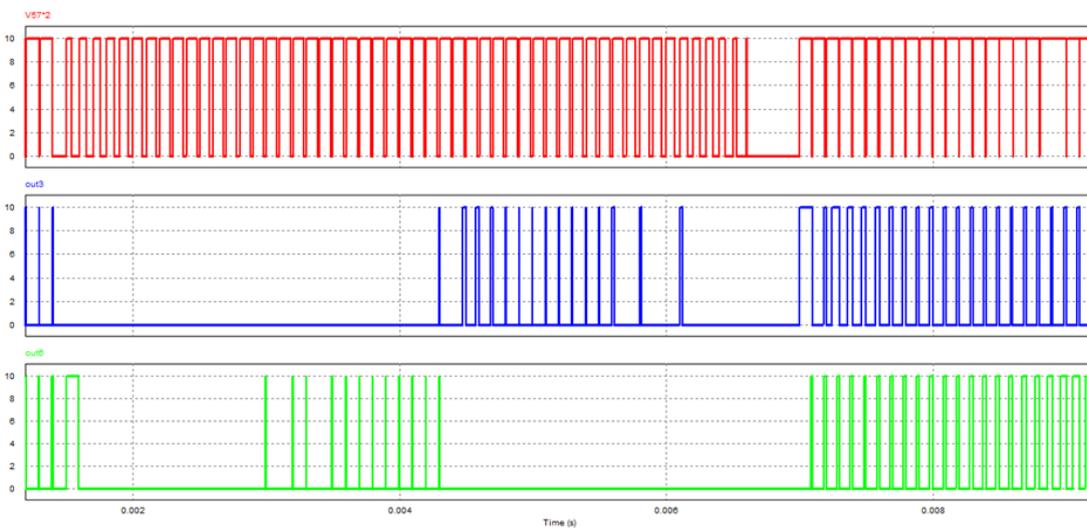


Figura 10: Os Pulsos utilizados para acionar os IGBT's.

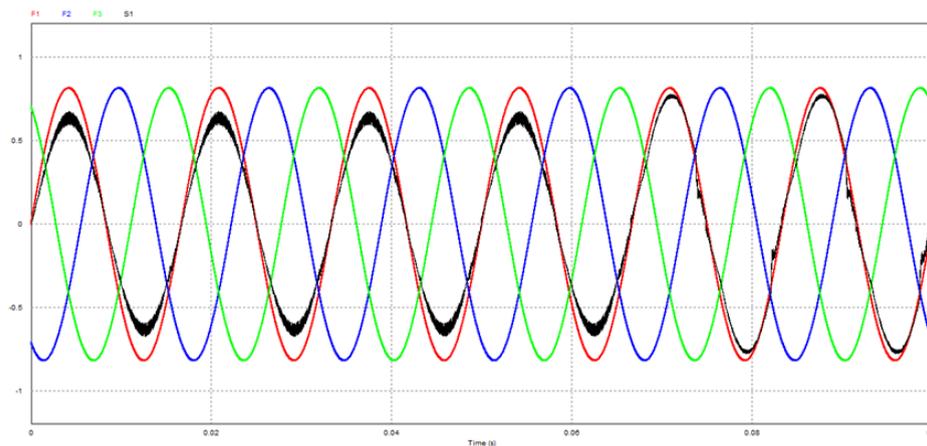


Figura 11: Tensão sintetizada na saída do Conversor Matricial

4. CONCLUSÃO

O Conversor Matricial, sendo um conversor de quatro quadrantes, mostra grande potencial para a substituição das topologias convencionais em sistemas de geração distribuída mediante a fonte eólica. Existe amplo leque de métodos de controle de potência de saída que pode ser empregado aos aerogeradores, os quais podem ser eletricamente para maior aproveitamento eólico e, conseqüentemente, maior eficiência energética global. Os conversores matriciais aplicados a estes sistemas trouxeram consigo uma boa perspectiva para seu uso como alternativa ao conversor tradicionalmente utilizado; as vantagens dos conversores matriciais sobre os conversores usuais, além de cumprirem com o papel de

modulação de potência despachada para aproveitamento e/ou injeção na rede de distribuição, são mais compactos e demandam menos manutenção, visto que estes, por serem conversores CA/CA diretos, não possuem barramento CC, o que impacta diretamente no custo do dispositivo; por este motivo, não há a necessidade de chaves mais robustas. Os processos de controle e modulação empregados aos sistemas de aerogeração tem crescido constantemente, tendo em vista a melhoria da eficiência dos processos de conversão, desta forma promovendo um melhor aproveitamento energético da potência dos ventos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pampa e à Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio na escrita do artigo, ao Grupo de Estudos Avançados em Engenharia de Energia (GrEEn), do curso de Engenharia de Energia na UNIPAMPA - Campus Bagé pelo incentivo e suporte para na divulgação da Engenharia de Energia. Aos Professores do GrEEn, Professor Dr. Jocemar Biasi Parizzi, Professor Dr. Enoque Dutra Garcia e especialmente ao Professor Carlos Sonier Cardoso do Nascimento, tutor da Célula da Energia Eólica do GrEEn. Aos integrantes da Célula de Eólica, a vice-líder Carolina Muniz de Oliveira e ao discente Vinicius Amaro Ferreira da Silva. Ao Professor Dr Gustavo Marchesan, Orientador de Mestrado no PGEE-UFSM.

REFERÊNCIAS

- Babaei, E., 2009. Three-Phase to Single-Phase Matrix Converters: New Topology Based on New Control Method. Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran..
- Balogh, L., 2017. Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits, Texas Instruments.
- Bradaschia, F., 2008. Estratégia de Modulação Escalar Generalizada para Conversores Matriciais.
- El-Khoury, N., Kanaan, H. Y. Mougharbel, I., 2013 A review of modulation and control strategies for matrix converters applied to PMSG based wind energy conversion systems.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D., 2014. Electric machinery, McGraw Hill.
- Ju Cha, H., 2004. Analysis and design of matrix converters for adjustable speed drives and distributed power sources. Texas A&M University.
- Lara, G. P., Boscardin, G., Mizuma, M. M., 2014. Estudo do processamento da energia proveniente de um gerador eólico de pequeno porte. 2014. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Nise, N. S., 2019. Engenharia de sistemas de controle, LTC.
- Rashid, M. H., 1999. Eletrônica de Potência: circuitos, dispositivos e aplicações, Makron Books.
- Rocha, A. C. A., 2017. Controle de um aerogerador síncrono de ímãs permanentes para extração de máxima potência da turbina.
- Taib, N., Metidji, B., Rekioua, T., 2016. Matrix Converters in Wind Energy Systems.
- Tawfiq, K., Abdou, A., El-Kholy, E., 2016. Application of Matrix Converter in Wind Energy System.
- Zobaa, A. F., Bansal, R., 2011. Handbook of Renewable Energy Technology.

RESIDENTIAL WIND TURBINES MODULATED BY MATRIX CONVERTERS

Abstract. *Industrial processes that, powered by alternating current, need specific voltage and phase levels for activation and control, which can be provided by static AC/AC power converters. Electric power generation is also an industrial process, so there is a necessity for power modulation to the delivery to the grid. Wind energy is one of the fastest growing energy sources. One of the reasons for this is because of major improvements in conversion technology, leading to lower costs. The application of synchronous generators has shown growth in wind turbines since the end of the 20th century, this machine generates voltage and current with variable frequencies according to the variation of wind speed. Due to the intermittence of the winds, it is necessary to control the power sent to the grid, conventionally, through the back-to-back converter. These converters have a DC link, equipped with a capacitor, heavy and bulky that is replaced regularly and it implies to maintenance costs. Due to the modular characteristics, when a bus capacitor is defective, there is a need to replace the static converter completely. On the other hand, the matrix converter (MC), as a direct AC/AC converter, without the need for a bus capacitor, pulse width modulated (PWM - Pulse Width Modulation), has the potential to replace the structure of the back-to-back converter. The absence of a DC link between the AC/AC conversion considerably increases the lifetime of the system and reduces maintenance. Thanks to this factor, this paper presents a better relation between cost and gains in residential wind turbines. When sinusoidal pulse width modulation is applied to the matrix converter, it will look for the lowest voltage level on the switches, since its algorithm predicts the condition to search for the next pulse of the three-phase input, triggering the MOSFET driver for this to happen. As*

a result, it is shown that the matrix converter acts efficiently modulating the output power of a synchronous generator, providing lower switching losses and consequently a longer useful life compared to the back-to-back converter.

Key words: *Wind energy, matrix converter, residential wind turbines.*