

**USO DE CONVERSORES ESTÁTICOS NO CONTROLE DE TENSÃO E FREQUÊNCIA DE GERADORES DE INDUÇÃO PARA APLICAÇÕES EM GERADORES EÓLICOS.** Marcelo Sandoval Bernardo, Dionízio Paschoareli Júnior, Diego Nelson Gewehr. – Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, UNESP.

A força dos ventos tem sido utilizada há séculos, seja para transporte, através dos barcos à vela, seja para gerar movimentos, como no caso de moinhos de vento ou bombeamento de água. Mais recentemente, a força dos ventos tem movimentado grandes turbinas eólicas que geram energia elétrica e vêm ocupando lugar de destaque entre as alternativas renováveis.

No Brasil, o potencial eólico, pela qualidade e distribuição dos ventos, vem estimulando iniciativas para o desenvolvimento tecnológico, industrial e de projetos de parques eólicos nas diferentes regiões do país. (Rosas)

Uma das características da geração eólica é a intermitência da fonte primária (vento), o que provoca variação na frequência da tensão de saída, que é função da velocidade do gerador. Isto exige condicionamento da energia gerada para que o gerador seja utilizado na alimentação de cargas em corrente alternada, as quais não admitem frequência variável. (Rosas) (Rüncos)

Dadas todas as características dos ventos, assim como todos os recursos hoje disponíveis, a máquina assíncrona é uma opção atraente devido também a todas as suas características de funcionamento. (Rüncos) Hoje no Brasil, temos 26,625 MW instalados referentes a centrais eólicas, entre as quais os geradores mais utilizados são os de indução, conectados diretamente à rede. (Rosas)

Assim na geração eólica, para maximizar a potência produzida na turbina é necessário que ela opere numa faixa da ordem de  $\pm 30\%$  em torno da rotação síncrona. A máquina assíncrona (gerador de indução) atende muito bem essa exigência quando apresenta no rotor um enrolamento trifásico através do qual é possível se impor uma tensão de controle por meio de um conversor de frequência. Uma grande vantagem dessa montagem é que a potencia do conversor é da ordem de 30% da potencia nominal do gerador reduzindo bastante o custo do conjunto gerador + conversor. (Rüncos)

Os inversores de tensão são conversores estáticos destinados a controlar o fluxo de energia elétrica entre uma fonte de tensão contínua e uma carga em corrente alternada monofásica ou polifásica, com controle dos níveis do valor eficaz da tensão e da frequência dependendo da aplicação. (Canesin-1999) Na figura 1 observamos a estrutura básica de um inversor monofásico, onde o fluxo de potência pela carga é controlado pela abertura e fechamento das chaves S1,2,3,4

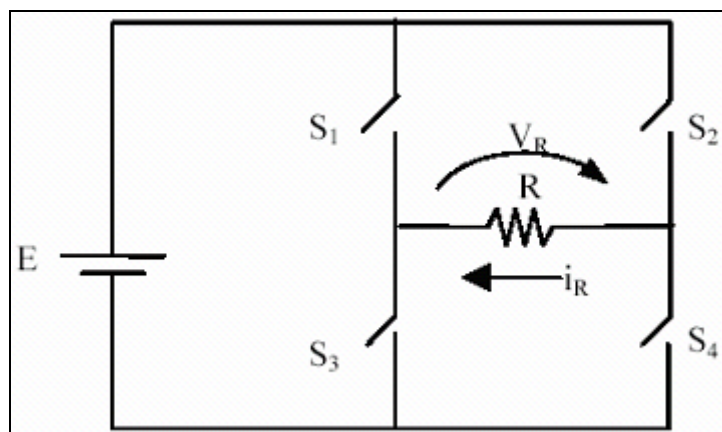


Figura 1-Estrutura básica de um inversor monofásico.

À abertura e fechamento das chaves semicondutoras S é dado o nome de comutação, onde o mais conhecido e usado é o método conhecido por modulação PWM ã senoidal, cuja forma de onda pode ser observada na figura 2.

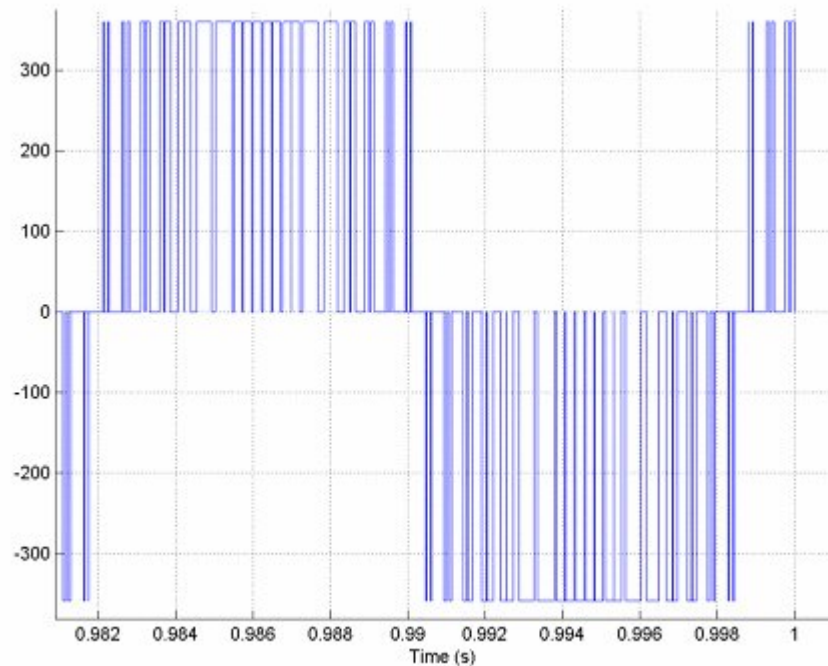


Figura 2-Forma de onda de um sinal modulado PWM.

O uso de técnicas de controle (escalar e vetorial) possibilita nos modernos conversores o controle da tensão e frequência de saída do inversor. Se possuímos uma fonte de tensão com essas características alimentando o rotor de uma máquina assíncrona de rotor bobinado podemos controlar todos os parâmetros (tensão, frequência e fator de potência) de saída dessa máquina trabalhando como gerador ou como motor.

Utilizando uma máquina de rotor bobinado, acoplada a uma máquina motriz (motor CC), excitamos seu rotor com uma fonte de frequência variável (inversor FUJI) realizando o controle de tensão através de três reostatos em série com as bobinas do rotor da máquina, conforme mostra a figura 3. Conforme mostra o esquema, fizemos a variação de carga através de uma carga resistiva.

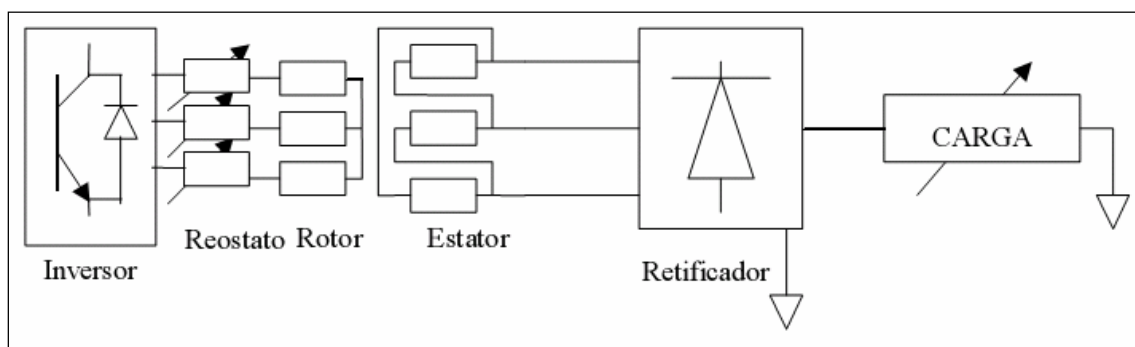


Figura 3-Esquema simplificado da montagem utilizada, sem mostrar a conexão de volímetros e amperímetros.

Utilizando as equações abaixo, para a máquina girando com uma velocidade de rotor conforme mostra a tabela 1 ajustamos a excitação no rotor como mostra a mesma tabela, a qual também apresenta os resultados obtidos.

$$n_2 \mid \frac{120 * f_r}{p}$$

$$n_{\phi} = n + n_2$$

Esse procedimento foi repetido sucessivas vezes, para cada velocidade de rotor, de forma a manter a frequência da tensão na saída da máquina (estator) sempre em 60Hz e no seu valor nominal, ou próximos a esse valor.

A segunda etapa do trabalho inclui uma análise qualitativa do gerador operando com carga, utilizando um procedimento semelhante ao descrito acima, porém utilizando uma carga resistiva. Foram realizadas variações de carga e de velocidade de rotor, observando-se o carregamento do gerador e simulando a atuação do controlador no ajuste de tensão e frequência, de modo que na carga esses parâmetros permanecessem constantes.

Procurou-se manter uma tensão constante na carga, medindo-se a potência de entrada (rotor) e a potência de saída (estator).

POLOS	4			
Nr	fr_teórico	fr_prático	fs_prático	e%(fr)
1275	17,50	17,4	60	1%
1347	15,10	15	60	1%
1410	13,00	13	60	0%
1486	10,47	10,2	59,5	3%
1556	8,13	8,8	60	8%
1578	7,40	7,1	60	4%
1648	5,07	4,9	60	3%
1711	2,97	2,9	60	2%
1760	1,33	1,3	60	2%

Tabela 1-Avaliação do controle da frequência através de conversores de frequência alimentando o rotor da máquina

T	Nm	fr	Ps	Pr
1	1323	12,3	44,7	8,5
2	1440	10,8	50,2	9,5
3	1331	15,6	97,0	19,1
4	1468	11,1	42,7	7,4
5	1507	10	43,0	4,0
6	1587	7,1	22,4	2,1

Tabela 2-Valores obtidos nos ensaios com carga.

Abaixo temos algumas fotos do experimento montado:



Um dos problemas observados foi a incapacidade de controle de nível de tensão no conversor, o qual poderia fornecer uma tensão maior que a permitida no rotor da máquina. A maneira encontrada de contornar o problema foi a adição dos reostatos em série com os bobinamentos, mostrada na figura 3, diminuindo a tensão nos terminais do rotor.

Na análise com carga, utilizando-se dos procedimentos descritos, observamos que com o aumento da velocidade do rotor o esquema torna-se mais viável, pois a potência fornecida à carga é superior à drenada pelo rotor do gerador.

Conforme observado, pode-se ter um gerador com velocidade de rotor variável, porém mantendo tensão com frequência constante e valor nominal fixo, utilizando para sua excitação uma fonte controlada nesses dois parâmetros.

Bolsa: PIBIC-Reitoria

### **Referências Bibliográficas.**

Rosas, P.A.C., *Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas*, Centro Brasileiro de Energia Eólica – EÓLICA( [www.eolica.com.br](http://www.eolica.com.br));

Rüncos, F., *Gerador eólico*, texto disponível no sítio da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br));

Canesin, A.C., *Teoria básica dos Inversores, capítulo 9, Curso de Eletrônica Industrial – Apostila do Professor*, Unesp, Ilha Solteira, 1999;

Marra, E. G., Pomílio, J. A.; “Sistema de Geração Baseados em Gerador de Indução Operando com Tensão Regulada e Frequência Constante”, SBA Controle e Automação, vol. 11, no. 1/ Jan., Fev., Mar., Abril de 2000, pags. 29-36.