

Estudo e simulação de conversores eletrônicos de potência para processamento da energia elétrica proveniente do par turbina eólica e gerador elétrico

David Maia da Silva (Bolsista PIBIC/CNPq), Alfeu J. Sguarezi Filho (Co-orientador) e Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho (Orientador), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - FEEC, UNICAMP
Geração eólica - Conversores eletrônicos - Controle

Introdução

A energia eólica surge, no Brasil, como alternativa para a diversificação da matriz energética, respondendo ao – cada vez mais exigente – critério da sustentabilidade ambiental. Entretanto, o desenvolvimento desse setor depende da redução dos custos dos equipamentos envolvidos neste processo, cuja dependência do mercado externo é grande. Neste trabalho, procurou-se contribuir com a pesquisa nacional estudando os conversores eletrônicos de potência, responsáveis pelo processamento de energia elétrica proveniente dos geradores de indução com rotor em gaiola acoplados às turbinas eólicas.

Metodologia

Os conversores utilizados são do tipo corrente alternada - corrente contínua - corrente alternada (CA-CC-CA). Estes conversores possibilitam o envio da energia alternada gerada em frequência variável para rede elétrica convencional, que opera na frequência fixa de 60Hz, pois convertem a tensão desses geradores, condicionando-a de forma que a energia possa ser injetada em fase com a rede. A topologia de conversores em cascata (back-to-back) à IGBT's foi a escolhida. Neste caso há um conversor conectado à rede, que controla a tensão do elo de corrente contínua através de controladores de corrente por banda de histerese, regidos pela expressão [1], e um outro conectado ao gerador, que é controlado pela modulação PWM 180°, ambos compartilhando o mesmo elo (CC), mantendo o fluxo constante na máquina, conforme expressão [2]. Essa topologia foi simulada no software Matlab/Simulink/SimPowerSystem.

$$\hat{I} = G_c e = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) (V_{ref} - V_{dc}) \quad [1]$$

$$\Phi_p \propto \frac{V}{f} \quad [2]$$

Resultados

O sistema apresentado na figura 1 foi modelado num software de simulação. Utilizou-se uma fonte trifásica de tensão de linha 370V, 60Hz para simular uma rede de distribuição de energia elétrica. Considerou-se que a impedância de cada fase da rede era de 0,8 mH. Utilizou-se transistores IGBT's tanto para o retificador quanto para o inversor. Empiricamente, ajustou-se o valor do capacitor do link DC em 6mF. A máquina assíncrona – rotor gaiola – utilizada foi de 5HP, 460V, 60Hz e 1750 rpm (2 pares de pólos). Sua curva de torque por velocidade está apresentada na figura 7.

O perfil da velocidade aplicada ao rotor da máquina de indução está exposto na figura 2. Foram simuladas velocidades acima e abaixo da velocidade nominal do motor (1750 rpm). A tensão gerada pelo link dc foi próxima à tensão de referência em todo o instante após o transitório como está apresentado na figura 3. A corrente medida na fase a da rede oscilou dentro da faixa de um ampère regulada pela histerese. Essa frequência de oscilação dentro dessa faixa foi tão alta que cobriu a corrente de referência alternada da fase a, como visto na figura 4 e pode ser vista com mais detalhes na figura 5 onde se pode observar que a referência de corrente também é atendida. O fator de potência permaneceu unitário em todo o instante. Apresentou-se uma amostragem de tempo menor para que fosse possível a averiguação, servindo como amostragem, figura 6. Para que a corrente pudesse ser observada, multiplicou-se o seu valor por 30, portanto, a escala da esquerda deve ser dividida por 30 para se observar o valor da corrente – figura 6.

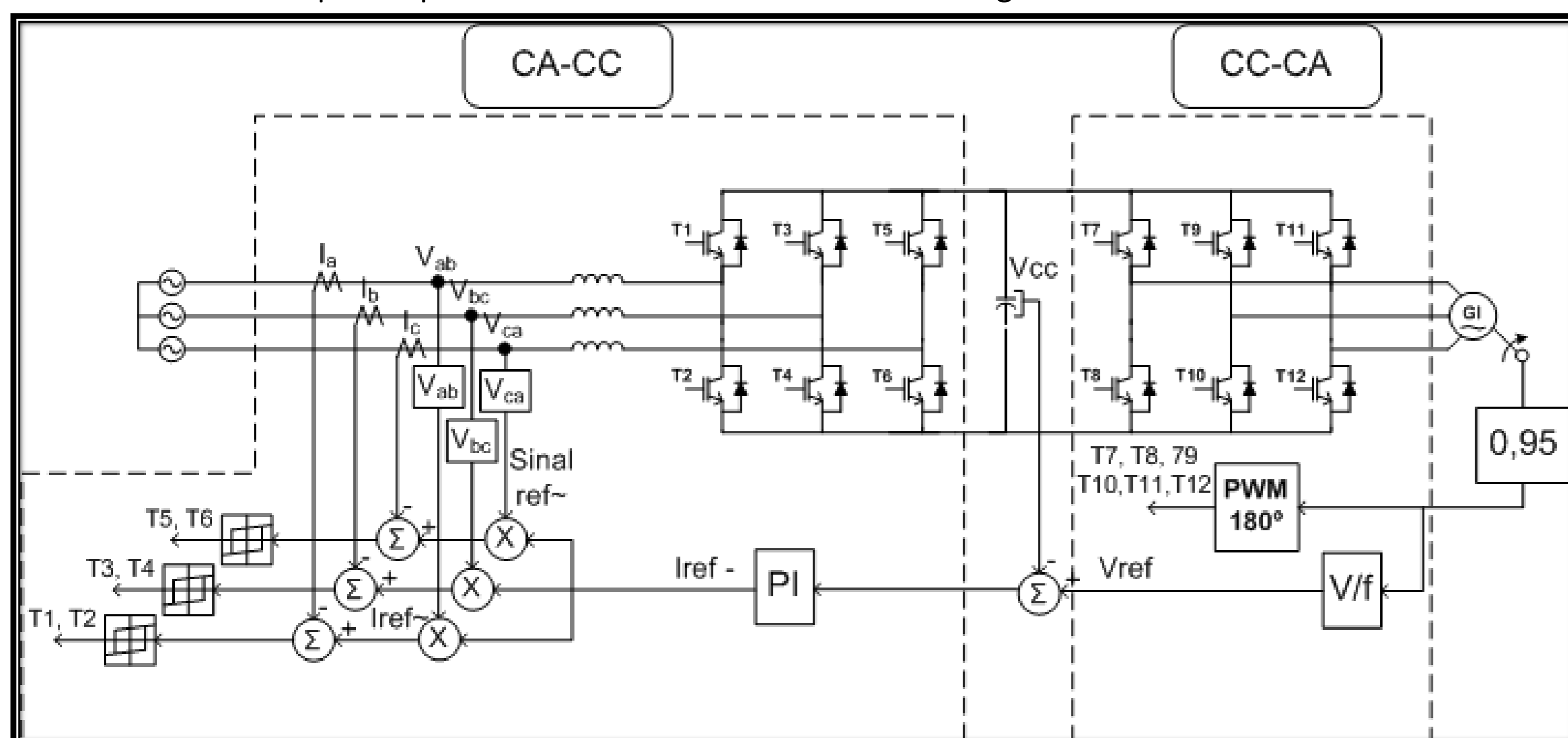


Figura 1: Modelo de controle de máquina de indução para operação como gerador.

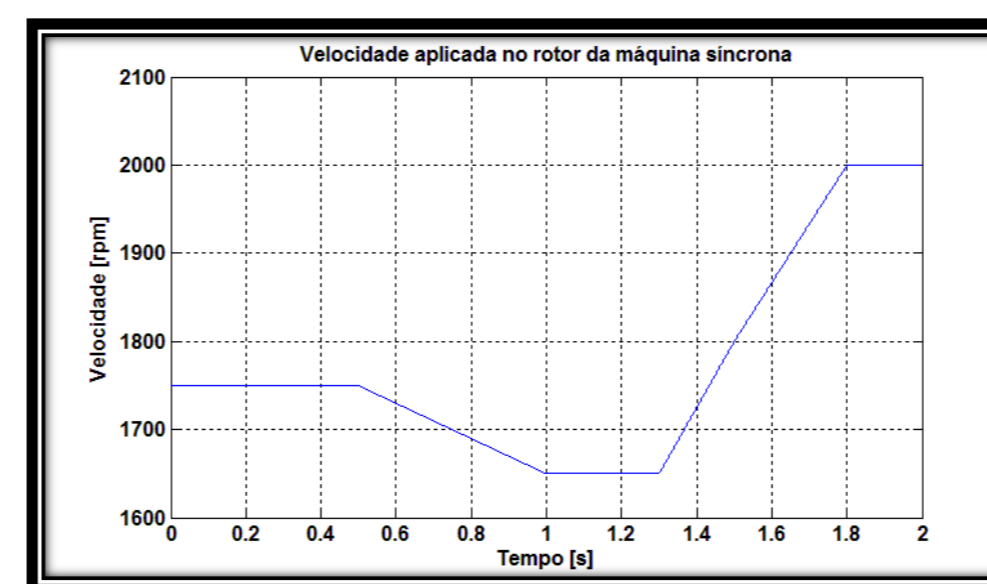


Figura 2: Perfil da velocidade aplicada no rotor da máquina de indução assíncrona.

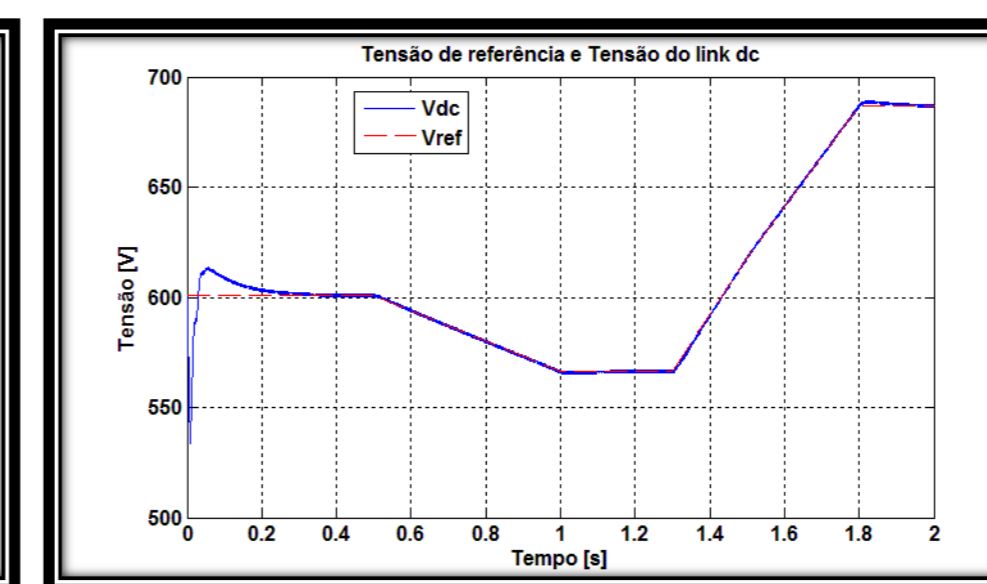


Figura 3: Tensão de referência proveniente da relação V/f e tensão média do elo cc.

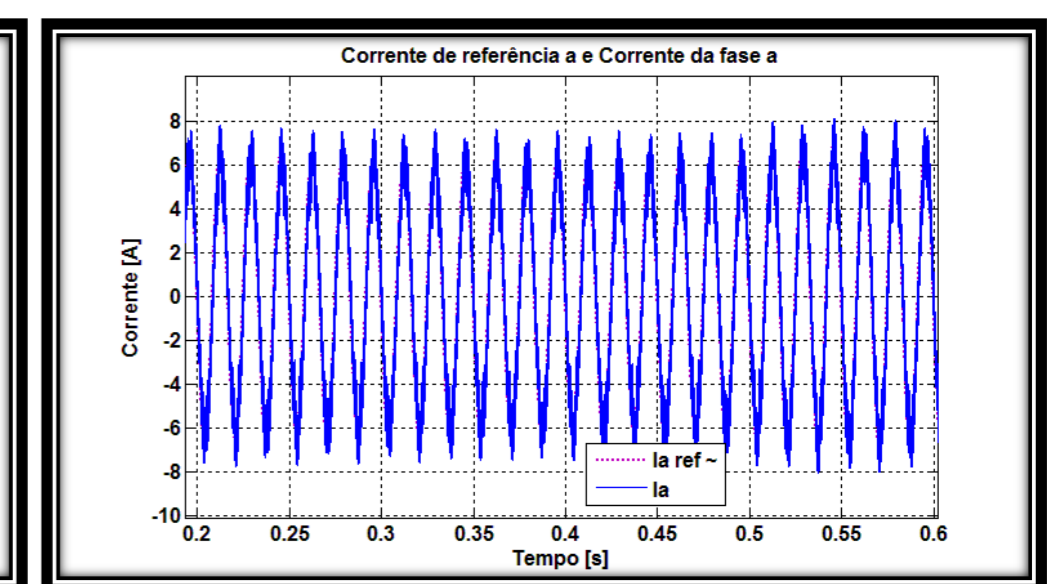


Figura 4: Corrente senoidal de referência da fase a e corrente da fase a da rede.

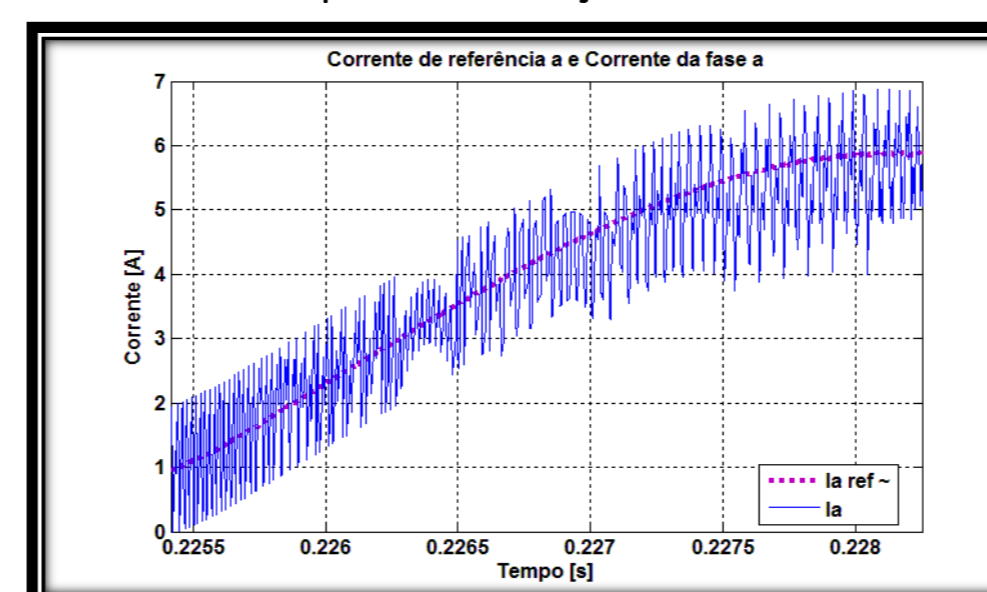


Figura 5: Ampliação da figura 4.

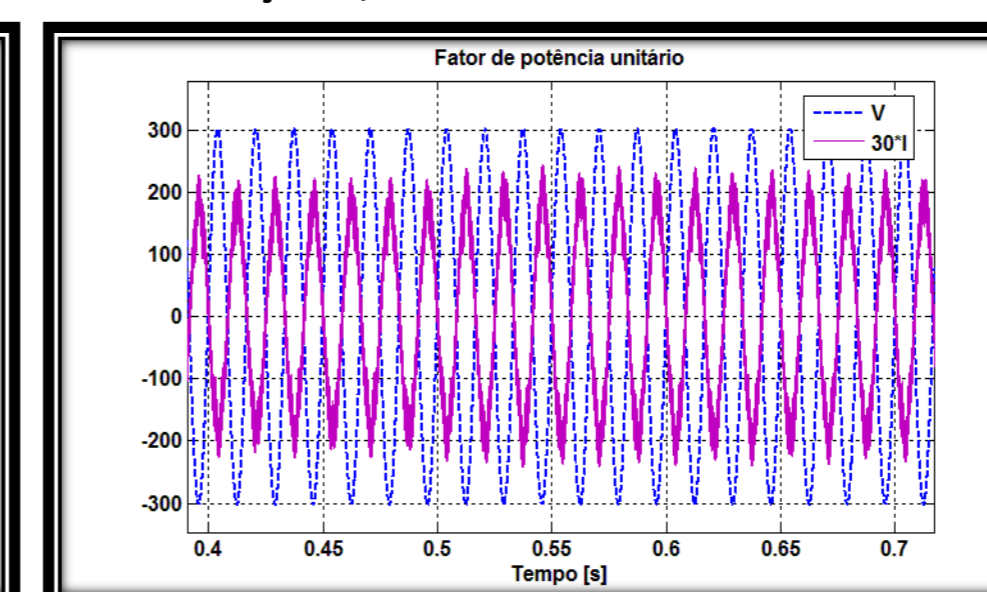


Figura 6: Corrente de fase (x30) e tensão de fase da rede de distribuição elétrica.

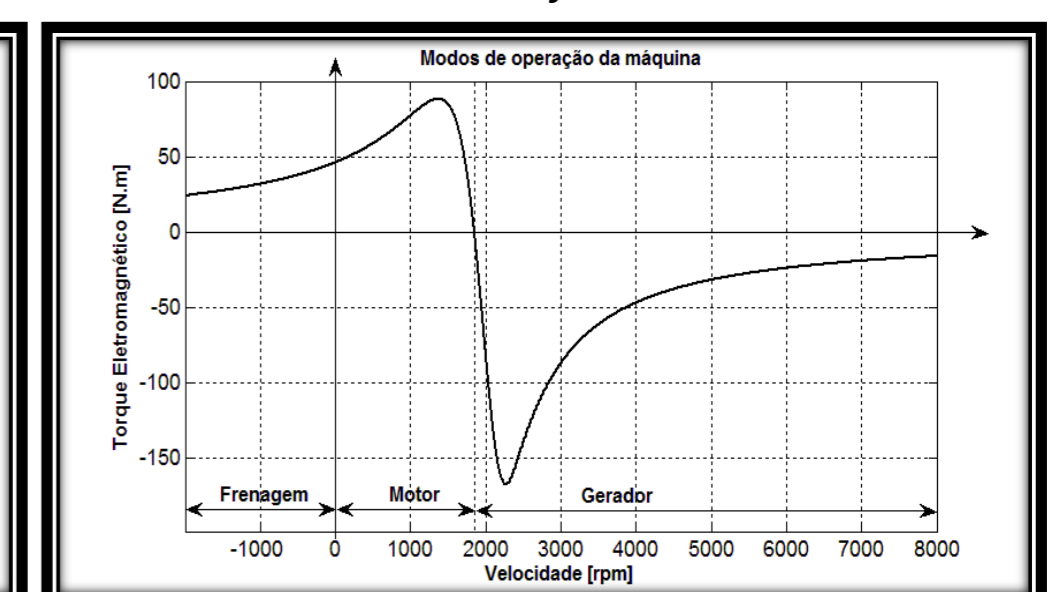


Figura 7: Modos de operação de uma máquina de indução.

Conclusões

Estudou-se, em primeiro instante, tipos de geradores e conversores: o gerador síncrono de ímã permanente e o gerador de indução.

Comparando o gerador de indução com o gerador síncrono de ímã permanente, escolheu-se o primeiro por apresentar baixo custo de construção, ter máquinas robustas e simplicidade construtiva e, também, devido ao fato que o gerador síncrono de ímã permanente apresenta elevado custo de produção em função do material magnético.

Para efetuar o controle do gerador de indução, escolheu-se o conversor back-to-back. O conversor possibilitou que o gerador operasse em velocidade variável. A retificação da tensão da rede foi regida por um controlador PI, que utilizou o princípio de histerese para chaveamento dos IGBT's. Como a frequência da histerese é variável, vide figura 4, ele injeta harmônicos indesejáveis na rede em frequência variável. Esses harmônicos dificultam o projeto de filtros passivos.

O conversor conectado ao gerador utilizou o conceito de fluxo constante que garante a relação V/f e PWM 180° para controlar os IGBT's. A tecnologia utilizada para o acionamento dos IGBT's é a Modulação por Largura de Pulso 180°. Esta técnica de modulação não permite a manipulação do nível de tensão. O controle da tensão do elo CC é realizado pelo conversor conectado à rede (retificador). O modulador também produz harmônicas indesejadas que aquecem o motor, diminuindo a eficiência e podendo até danificar a máquina.

Bibliografia

- BAROULDI, J., DINAHAHI, V., & KNIGHT, A. M. (30 de 11 de 2005). A Review of Power Converter Topologies for Wind Generators. *Electric Machines and Drives, 2005 IEEE International Conference on.*, pp. 2369-2385.
- RASHID, M. H., & FAVATO, C. A. (1999). *Eletrônica de Potência: Circuitos, Dispositivos e Aplicações*. São Paulo: Makron Books do Brasil.
- RODRÍGUEZ, J., DIXON, J., ESPINOZA, J. R., PONTT, J., & LEZANA, P. (02 de 2005). PWM Regenerative Rectifier: State of the Art. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 52. NO 1*, pp. 5-22.
- SEN, P. C. (1997). *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. New Aster: John Wiley & Sons.