



## ACIONAMENTO DE UMA ARQUITETURA DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL COM MICRO-CONTROLADOR COM FUNÇÕES DE DSP.

LIMA, Sinval Luiz; SANTOS, Euler Bueno.

Universidade Federal de Goiás  
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação  
Laboratório de Máquinas Especiais

Sinval Luiz de Lima.  
sinvalluizl@gmail.com

Prf. Dr. Euler Bueno dos Santos.  
ebs@eee.ufg.br

Palavras Chaves: Motor a Relutância Variável, DSP, Micro-Controlador.

### 1. INTRODUÇÃO

Motor a Relutância Variável (MRV) é um motor elétrico cujo o torque é produzido pela tendência do rotor de se alinhar com as linhas de fluxo produzido pelo estator. O MRV objeto deste trabalho é constituído de um estator com enrolamento de excitação e um rotor com saliências. Embora o MRV seja uma máquina síncrona, sua operação e seu controle diferem das máquinas giratórias convencionais de corrente alternada (CA), bem como das máquinas síncronas de indução ou a imã permanente. Os conceitos do MRV são conhecidos há muito tempo, porém só com os avanços da eletrônica de potência e da microeletrônica, vem despertando o interesse no seu acionamento. Para seu correto acionamento se faz necessário o estudo do comportamento da indutância, que varia de acordo com a posição do rotor em relação ao estator. O Controle do motor a relutância tem sido feito por DSP (*Digital Signal Processor*), que é um microprocessador que permite processamento de dados em tempo real, porém tem a desvantagem de ter um custo elevado se comparado com os micro-controladores.

Com o objetivo de lançar no mercado naval um motor robusto e de simples construção, o Laboratório de Máquinas Especiais da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (E.E.E.C) da Universidade Federal de Goiás (U.F.G), vem desenvolvendo pesquisas que resulte em um projeto viável economicamente, com bom desempenho elétrico e mecânica.

### 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseia-se na técnica do estudo teórico-experimental. Serão realizadas medições em laboratório com a máquina parada e em pleno funcionamento. Para execução das medições, equipamentos com tecnologia de ponta são utilizados.

Esses equipamentos coletam os sinais elétricos necessários para obtenção de grandezas com boa precisão, após um processamento através de programa computacional adequado. A Figura 1 ilustra o sistema de aquisição de dados utilizados pelo Laboratório de Máquinas Especiais.



Figura 1: Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição, conforme mostrado na Figura 1, contém uma placa de aquisição de dados PCI modelo DT304 de 16 canais da *Data Translation Inc.*, é utilizado para realização de medições de tensões, correntes bem como de velocidade.

### 3. RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO

Espera-se obter, ao final do trabalho, o acionamento do motor a relutância desenvolvido no laboratório de Máquinas Especiais da E.E.E.C. da U.F.G, utilizando um dos mais avançado micro-controladores com funções de DSP bem como um modelo matemático da máquina em estudo. Para alcançar tal propósito é realizado, levantamento de parâmetros e a construção de alguns circuitos eletrônicos, tais como:

a) Fonte de Alimentação: este circuito busca alimentar todas as partes físicas que compõe o projeto de acionamento, que vai deste o circuito do micro-controlador até a máquina propriamente dita. É estudado o comportamento das grandezas elétricas referente à máquina, bem como o comportamento das grandezas elétricas da rede elétrica e as influências que uma tem sobre a outra. Nesta etapa como a máquina ligada a vazio, mostrou bom desempenho durante os ensaios.

b) Circuito de Chaveamento: Este circuito busca fazer à conversão da tensão de entrada para uma tensão apropriada na alimentação da máquina. O circuito utilizado é apresentado na Figura 2.

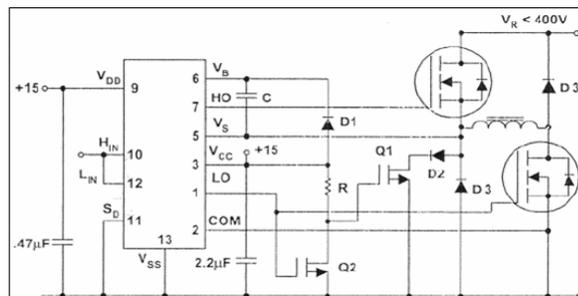


Figura 2: Circuito de Chaveamento

c) Circuito de Acionamento e Controle: Este circuito é implementado com o micro-controlador com funções de DSP, chamado de DsPic, cuja família desta linha de micro-controlador é a 30F da empresa *Microchip*. Já o software se baseia na programação deste micro-controlador. O acionamento consistirá no funcionamento do rotor nos dois sentidos de giros, variação de velocidade, monitoramento da rotação.

d) Análise Magnética: análise eletromagnética da estrutura do motor é realizada após a linearização do mesmo, assim sendo aplica-se o método de elementos finitos. A distribuição magnética para a posição de alinhamento do pólo do estator com o pólo do rotor pode ser observada na Figura 3.

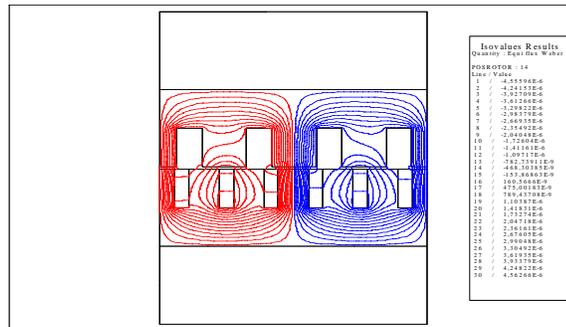


Figura 3: Distribuição magnética

Para a posição ilustrada na Figura 3, podemos analisar o comportamento da indução magnética ao longo do entreferro, conforme mostra a Figura 4,

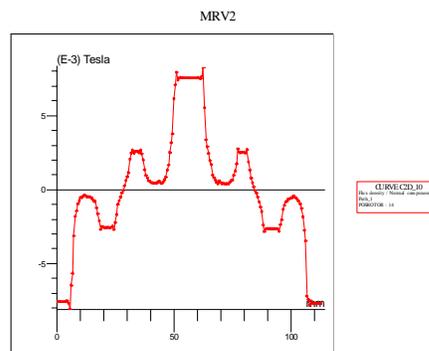


Figura 4: Indução no Entreferro

Na Figura 4 é mostrado o valor máximo de indução magnética, que ocorre na posição de alinhamento dos pólos, obtido utilizando o método dos elementos finitos.

e) Acionamento: O acionamento do motor a relutância é feito por um sistema micro-controlado cuja ligação pode ser vista na Figura 5.

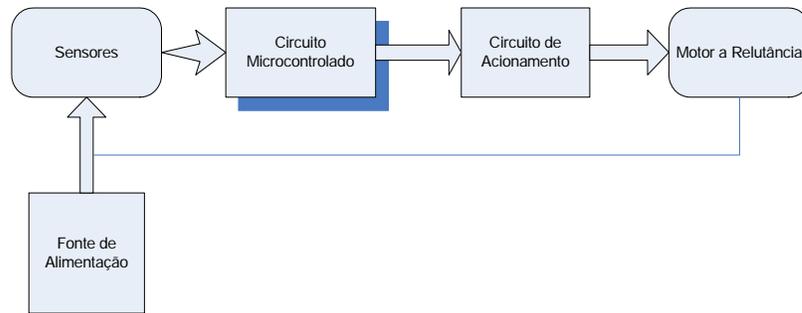


Figura 5: Diagrama de ligação dos Blocos de acionamento.

Este acionamento visa o levantamento algumas grandezas, como por exemplo: a velocidade, corrente durante o acionamento, bem como teste da freqüência de chaveamento dos IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

Ao ser alimentado o motor objeto desse estudo com freqüência de chaveamento dos IGBTs em  $10\text{K}_{\text{Hz}}$ , é estabelecida a forma de tensão na saída do circuito de acionamento de acordo com a Figura 6.

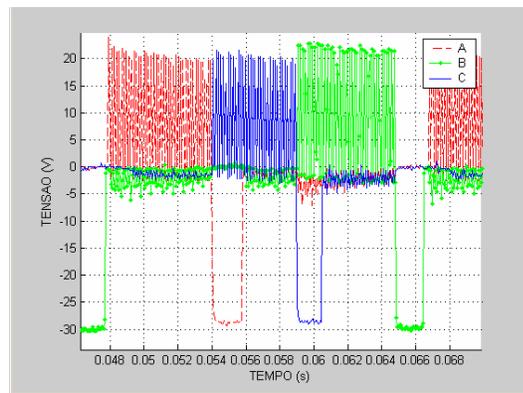


Figura 6: Forma de onda de tensão nas três bobinas.

A forma de onda da corrente nas bobinas do motor pode ser vista na Figura 7.

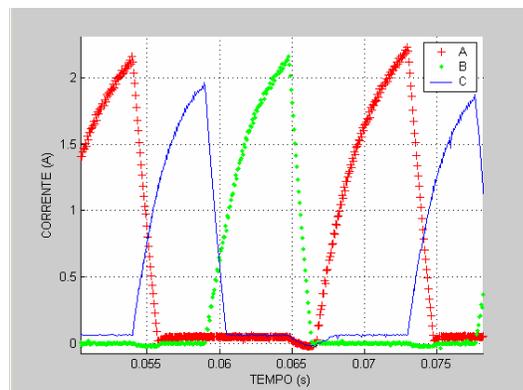


Figura 7. Forma de onda da Corrente nas três bobinas.

O comportamento da corrente e o chaveamento da tensão podem ser visto na Figura 8.

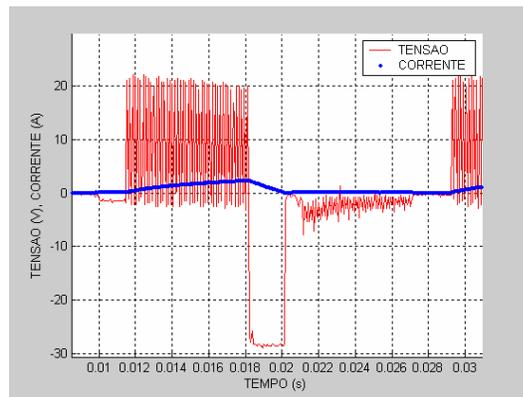


Figura 8: Tensão e corrente em uma das bobinas.

#### 4. CONCLUSÃO

A máquina objeto desse estudo é robusta e de simples construção. Sua aplicação é ampla, destacando embarcações navais. O acionamento e controle sendo feito por componente eletrônico de fácil aquisição, com preço reduzido e com aprendizado rápido e simples comparado com o DSP, faz o uso de um micro-controlador com funções de DSP viável.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

T. J. E. Miller, *Switched Reluctance Motors and their Control*. Lebanon, OH:Magna Physics/Oxford Univ. Press,1993./

S. S. Hossain, *A geometry based simplified analytical model of MRV for real-time controller implementation*, IEEE Trans. ON. Power Electronics, vol.18, NO 6 , November/2003.

K. De Brabandere, J. Driesen, and R. Belmans. The control of switched reluctance drives and their use for flywheel energy storage, IEEE Trans. ON. Energy Conversion, vol.16, NO 3 , September/2001.

K. De Brabandere, J. Driesen, and R. Belmans, *The control of switched reluctance drives and their use for flywheel energy storage*, in proc, Inst, Elect. Eng. B. Vol. 233, Nov. 2001,pp. 347-353

C. Roux and Medhat. M. Morcos, *On the use of a simplified model for switched reluctance motors*, IEEE Trans. ON. Energy Conversion, vol.17, NO 3 , September/2002