



## **Aspectos Relacionados ao Acionamento e Controle de Velocidade de um Motor Linear a Relutância Variável.**

MARIANO, Rodrigo Leandro; SANTOS, Euler Bueno.

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

Rodrigo Leandro Mariano.  
rodrigo.marimba@gmail.com

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

Palavras Chaves: Controle, Máquinas Especiais, Motor a Relutância

### **1. Introdução.**

O motor a relutância tem sido amplamente estudado e seu comportamento analisado em aplicações que envolvem, principalmente, acionamento com velocidade variável, operação em alta velocidade entre outras.

O motor a Relutância, é um tipo especial de máquina elétrica adequado para operar com pulsos retangulares unidirecionais de corrente aplicado às suas fases.

Um projeto apropriado do motor e do seu circuito de alimentação pode resultar em um conjunto cujo rendimento seja superior ao de uma máquina de indução acionada por conversor de frequência, com a vantagem de que a máquina a relutância e seu conversor são bem mais simples do ponto de construtivo.

Inicialmente a concepção do motor a relutância apresentou certas dificuldades devido ao fato do mecanismo de controle ser sofisticado e a tecnologia na época não possuir os recursos necessários. Contudo, avanços tecnológicos e de programação foram tornando a construção de seu mecanismo de acionamento e controle mais viável e difundindo o interesse na pesquisa dessas máquinas.

O Motor Linear a Relutância Variável, projetado e construído no Laboratório de Máquinas Especiais (Lab. Máq.) da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás (EEEC-UFG), possui a topologia clássica de 4/6, ou seja, 6 pólos para o estator e 4 pólos para o rotor. Além dessa característica, sua construção também possui uma particularidade uma vez que o seu estator está posicionado de maneira radial em relação ao seu rotor, diferenciando-a de outras máquinas a relutância conforme literatura estudada. Essa característica radial torna o motor à relutância semelhante a uma máquina linear a relutância, justificando o seu nome como Motor Linear a Relutância Variável.

As técnicas de controle mais comumente estudadas na atualidade para o controle de máquinas especiais fazem uso de técnicas de programação avançadas utilizando muitas vezes

lógica nebulosa ou redes neurais. Essas técnicas aplicadas convenientemente podem eliminar sensores utilizados para determinar velocidade.

Inicialmente para se construir um mecanismo de controle eficiente é necessário a determinação de parâmetros com precisão, para que os modelos matemáticos fiquem dentro da realidade da máquina ou o mais próximo possível possibilitando boas ações de controle.

Com esse intuito devem-se elaborar métodos de ensaio capazes de extrair com precisão os parâmetros das máquinas.

De posse dos parâmetros, passa-se então a uma outra etapa onde os modelos matemáticos para a máquina e para o controle são elaborados de modo a tornar o sistema viável e factível.

Após essa implementação do conjunto mencionado observa-se o comportamento do rendimento e torque máximo para uma de suas aplicações que é em embarcações aquáticas.

A simplicidade de construção, aliada às possibilidades de aplicação com eficiência quando comparadas às máquinas convencionais tornam esse estudo interessante. Nesse sentido, a pesquisa em desenvolvimento no Lab.Máq. da EEEEC-UFG referente ao Motor Linear a Relutância Variável com a topologia radial é diferenciada de outras máquinas a relutância variável, significando um avanço considerável nessa linha de pesquisa.

## **2. Parâmetros do Motor Linear a Relutância.**

O conhecimento dos parâmetros é de grande importância no desenvolvimento de sistemas de acionamento e controle de máquinas elétricas. No caso do motor linear a relutância variável isso não é diferente e os seus parâmetros podem ser obtidos através de medições físicas ou na ocasião do projeto onde esses parâmetros são definidos e a máquina e construída de modo a manter tais valores.

Os parâmetros dessas máquinas são tanto físicos como elétricos. Os parâmetros físicos podem ser medidos utilizando-se para isso equipamentos de boa precisão e com escala apropriada através de ensaios elétricos em laboratório.

Existem diversos métodos de ensaio que podem ser realizados como forma de se obter o valor da indutância, que é um dos parâmetros de importância fundamental no controle de uma máquina a relutância, pois através desse parâmetro pode-se chegar aos momentos de acionamento da máquina e quanto melhor forem essas medidas melhor será o acionamento e controle.

Dois métodos são observados para realizar o ensaio objetivando obter o valor da indutância. Esses métodos constam na literatura técnica (N.Radimov, 2005), e são denominados como método do teste de pulso único e método da tensão versus corrente.

### **2.1.Método do Teste de Pulso Único.**

Este método consiste na aplicação de um pulso de corrente gerado através de um capacitor colocado em paralelo com uma das bobinas do estator do motor a ser ensaiado. O circuito apresentado foi utilizado por N.Radimov (Abril, 2005), segue esquema da figura 1.

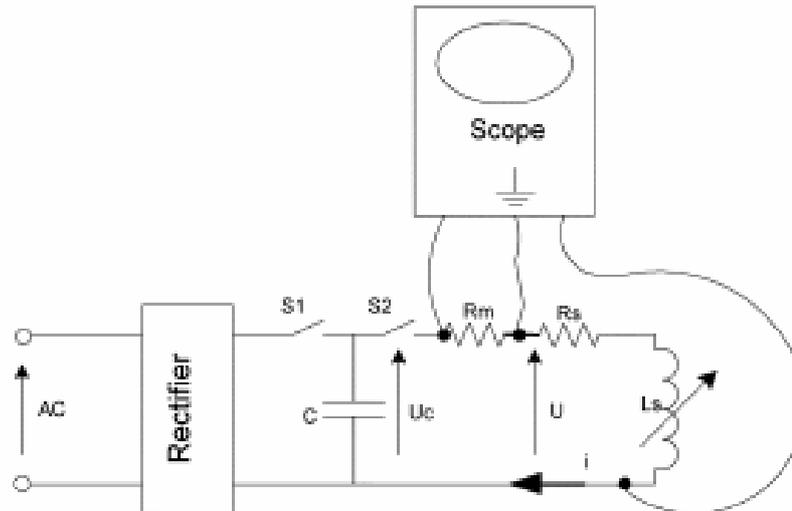


Figura1 – Circuito para medida da indutância de fase.

Em um primeiro momento a chave S1 é fechada e a chave S2 permanecerá aberta de forma a carregar o capacitor por um determinado tempo. Após a carga do capacitor, as chaves irão comutar os seus estados, ou seja, a chave S1 irá abrir e a chave S2 irá se fechar. Com isso um pulso de corrente será gerado sobre a bobina do estator. Esse período é então registrado por um osciloscópio, de onde se pode retirar o valor da corrente e através da análise dos tempos de carga e descarga do capacitor pode-se determinar o valor da indutância.

Esse ensaio é realizado em varias posições do rotor de modo a se determinar a indutância mínima e a máxima da máquina em questão. Esse ensaio deve ser repetido em todas as fases do motor e, repetidas vezes, para que se possa definir de maneira estatística o melhor comportamento da indutância.

## 2.2.Método da Tensão versus Corrente.

Tradicionalmente, a indutância de um circuito eletromagnético (L) é medida pela relação Tensão por Corrente. Neste método uma tensão AC é aplicada a um dos terminais do motor a relutância variável. O valor médio quadrático da tensão aplicada (U) e a corrente de fase estabelecida (I) são medidas. A indutância de fase pode ser então obtida através de:

$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - (R_s)^2}$$

onde :

- $f$  é a frequência da fonte aplicada;
- $R_s$  é a resistência do estator onde a tensão foi aplicada.

O valor de  $R_s$  pode ser obtido através de ensaios apropriados.

O esquema do ensaio é apresentado na figura 2.

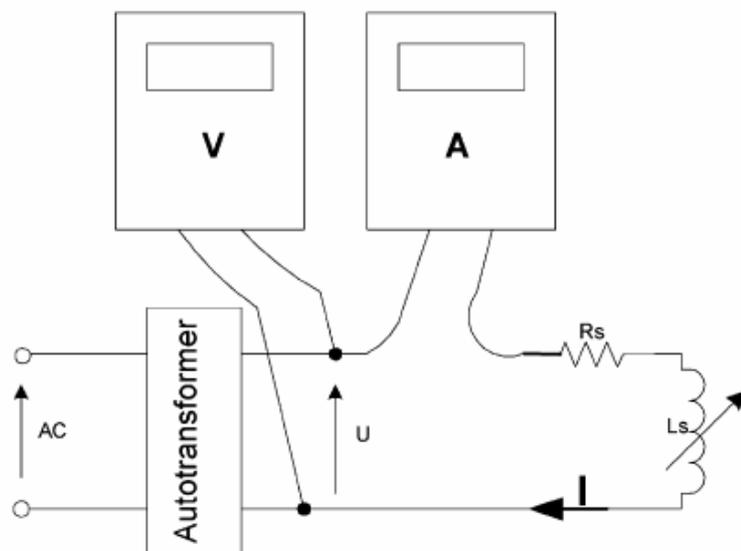


Figura 2 – Circuito utilizado para medir a indutância por fase

### 3. Mecanismos de Acionamento e Controle.

Os mecanismos de acionamento e controle das máquinas a relutância necessitam de montagem simples, entretanto de uma programação mais elaborada. Vários métodos já foram idealizados e alguns implementados.

A máquina construída no Lab.Máq. da EEEEC-UFG por se tratar de uma máquina especial de características diferentes das encontradas na literatura, necessita de um estudo adequado de técnicas de controle. Em princípio, pretende-se construir um mecanismo de controle *sensorless* utilizando computação evolutiva. Dentro destas técnicas podem ser citadas as redes neurais e a lógica nebulosa. A utilização de lógica nebulosa associada a um mecanismo de otimização utilizando algoritmos genéticos certamente proporcionam bons resultados.

Esse tipo de controle otimizado pode representar um avanço significativo no controle não só de máquinas especiais, mas como no controle de máquinas de modo geral.

Nessa etapa o que se deseja é a construção de um dispositivo eletrônico que associado a um DSP possa controlar máquinas a relutância, eliminando o uso de sensores.

A eliminação do sensor pode ser obtida através da estimação das grandezas como velocidade e torque que associados ao algoritmo nebuloso e à programação evolutiva podem atingir um controle otimizado da máquina.

### 4. Resultados Esperados.

Com esse trabalho, pretende-se desenvolver técnicas de acionamento e controle de máquinas especiais utilizando algoritmos evolutivos.

Espera-se, portanto, no desenvolvimento do trabalho, contribuir para o desenvolvimento das técnicas de controle de velocidade de máquinas especiais, com divulgação de material científico para as áreas de interesse comum.

# *Bibliografia.*

**A.J.O.Cruz**, *Lógica Nebulosa*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,RJ. Junho 2004.

**G.Wei**, *A New Corrent Control Mode for Switched Reluctance Motor Drive with DSP Controller*, Wohan China, ano chinês 430074.

**I.Husian**, *Modeling, Simulation, and Control of Switched Reluctance Motor Drives*. IEEE TRANSACTION ON INDUSTRIAL ELETRONICS, VOL. 52, Nº 6 , December 2005.

**N.Radimov**, *Inductance Measurements in Switched Reluctance Machines*. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL 41, Nº 4, Abril 2005.

**S. S. Ramamurthy**, *Intelligent and Adaptive On-line Direct Electromagnetic Torque Estimator for Switched Reluctance Motors Based on Artificial Neural Networks*, Department of Electrical Engineering University of Arkansas.

**T.J. Miller**, *Switched Reluctance Motors and Their Control*. Oxford, U.K.:Clarendon, 1993.

**U.Fitzgerald**, *Máquinas elétricas*, BOOKMAN 6ª Edição, ISBN-8560031049, Julho 2006.

P.Materu e R.Krishnan, *Analitical Prediction of SRM Inductance Profile and Steady-State Average Torque*. Department of Electrical Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, ano 1990.

Pesquisa em desenvolvimento com o apoio do *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil*.