

## ESTUDO DA VARIAÇÃO DA INDUTÂNCIA DO PMSM VIA MATLAB-FEMM

José de Oliveira<sup>1</sup>, Beatriz Barros<sup>2</sup>, Christian Joezer Meirinho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica, CCT – jose.oliveira@udesc.br

<sup>2</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica, CCT – Participante Voluntário PIVIC

<sup>3</sup> Mestrando Participante do Curso de Engenharia Elétrica, CCT

Palavras-chave: Indutância. PMSM. FEMM.

O Motor Síncrono de Ímãs Permanentes (PMSM) tem sido muito utilizado devido as suas características. Pode-se citar algumas como a ausência do enrolamento de campo, fato ligado a adição de ímãs permanentes que dispensa o uso de escovas, dessa forma, são reduzidos os custos de manutenção e os riscos de faiscamento. Também possui uma alta relação eficiência por volume, tornando-se popular em eletrodomésticos da linha branca, visto a necessidade do uso racional de energia. Além de servir como substituto de motores DC de baixa potência de saída. O modelo matemático comumente utilizado é insuficiente para representar a máquina em condições de alta corrente, como em falta de fase ou saturação, sendo necessário utilizar um modelo mais completo. Por isso, tem-se como objetivo desse trabalho apresentar uma proposta para obtenção dos valores da indutância em função da corrente para o modelo do PMSM.

Inicialmente obteve-se o modelo matemático trifásico do motor. O modelo e a dedução utilizada para alcançar o resultado final podem ser encontrados na Dissertação de Mestrado de Marcelo Campos Silva, *Estudo e Implementação de Observador via Modos Deslizantes Aplicados a Motores Síncronos a Ímãs Permanentes*. Analisando o modelo nota-se que a indutância depende da posição do rotor. Com o intuito de retirar essa dependência, utiliza-se as Transformadas de Clark e Park. Primeiro aplica-se a Transformada de Clark, que apesar de ainda não remover as dependências, reduz o número de equações, pois transforma o sistema trifásico equilibrado num sistema bifásico  $\alpha\beta$ . A partir deste ponto, utiliza-se a Transformada de Park, que relaciona um sistema bifásico no referencial estacionário com um sistema bifásico no referencial  $dq$  do rotor. Após todas as manipulações necessárias, encontradas na dissertação citada acima, obtém-se o modelo matemático  $dq$ , no qual há duas indutâncias,  $L_q$  e  $L_d$ , que não variam com a posição do rotor, ou seja,  $L_d$  e  $L_q$  são constantes.

Com o intuito de buscar máxima precisão nos dados, utiliza-se dois *softwares* em conjunto, MATLAB e FEMM (*Finite Element Method Magnetics*). O FEMM busca solucionar problemas 2D ou axissimétricos dos tipos magnéticos, eletrostáticos, de fluxo de calor ou fluxo de corrente. Para obter a conexão entre os dois softwares é preciso acionar o toolbox disponibilizado pelo FEMM 4.2, tais passos iniciais são apresentados em uma apostila redigida pelos desenvolvedores do FEMM, *Finite Element Method Magnetics: OctaveFEMM Version 1.2*. O FEMM recebe códigos na linguagem LUA, dessa forma, na apostila citada são encontrados comandos que são necessários para utilização das ferramentas no FEMM. Inicialmente o código é inserido no MATLAB o qual se comunica com o FEMM que soluciona o problema e retorna o resultado para o MATLAB, que apresenta tais resultados na forma de gráfico ou na forma de texto.

A partir do método apresentado, são obtidas as indutâncias do modelo matemático trifásico, ou seja, será desenvolvido um código para calcular as indutâncias em função da

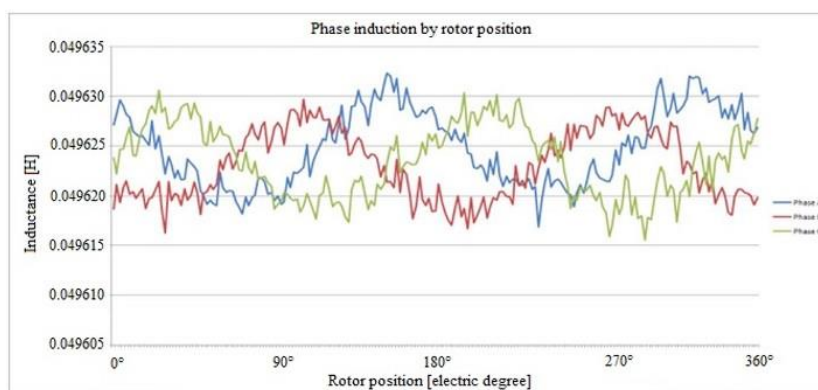
posição. O passo seguinte se baseia em desenvolver um código para obter as indutâncias do modelo  $dq$ , ou seja,  $L_d$  e  $L_q$ . Para ambos os casos, serão feitos testes em níveis altos e baixos de corrente, para obter melhor precisão e resultados de operação da máquina.

Para dar início as atividades, estudou-se a teoria através da Dissertação de Mestrado base desse trabalho, citado no tópico anterior, além do estudo dos softwares e suas ferramentas. Também foi necessário familiarizar-se com uma nova linguagem de programação, a linguagem LUA. Após esses passos, realizou-se a comunicação entre os *softwares*. O teste se deu através dos programas disponibilizados por David Meeker, idealizador da comunicação entre FEMM e MATLAB.

O projeto está na fase de desenvolvimento do código para obtenção das indutâncias no modelo matemático trifásico. No modelo trifásico, espera-se obter um resultado semelhante ao apresentado na **Fig.1**, na qual o eixo das ordenadas representa a indutância em  $H$  e o eixo das abscissas a posição do rotor em *grau elétrico*. Nota-se que o valor da indutância permanece praticamente com amplitude constante ao longo de uma revolução elétrica, no valor aproximado de 49,5mH.

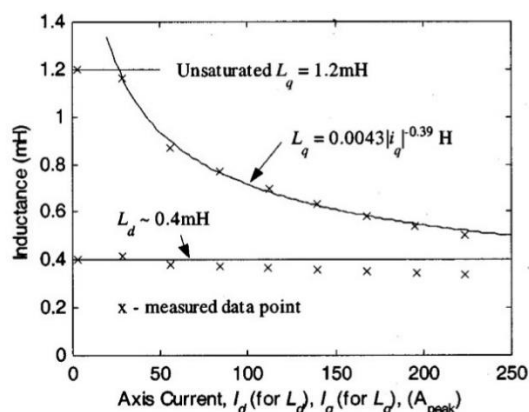
No modelo  $dq$ , os valores de indutância  $L_d$  e  $L_q$  são consideradas constantes independente das condições de operação da máquina. No entanto, esses parâmetros sofrem variações para o caso de altas correntes. Portanto, espera-se obter o resultado da **Fig.2**, na qual observa-se que os valores de indutância permanecem constantes até um determinado nível de corrente, após ultrapassar esse valor, o motor sofre com o efeito da saturação magnética, que por consequência, altera os parâmetros indutivos da máquina, principalmente a indutância  $L_q$ .

**Fig.1** Indutância medida em cada posição elétrica ao rotacionar o rotor por 360°



**Fonte:** *Estudo e Implementação de Observador via Modos Deslizantes Aplicados a Motores Síncronos a Ímãs Permanentes*

**Fig.2** Medidas das indutâncias  $dq$  na máquina de teste



**Fonte:** *IPM Synchronous Machine Drive Response to a Single-Phase Open Circuit Fault*