



DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE CARGA POR CORRENTE DE FOUCAULT

Josimar R. Nolasco – josimarnolasco@yahoo.com.br

Carlos Henrique S. de Vasconcelos – vasconcelos@leopoldina.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), *Campus III* - Leopoldina, Engenharia de Controle e Automação

Rua José Peres 558 - Centro

36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

Resumo: Durante as aulas práticas da disciplina de Máquinas Elétricas, necessita-se adicionar cargas aos motores elétricos. Um equipamento muito utilizado para este fim são os simuladores de cargas por frenagem eletromagnética. Para este propósito, foi proposto o desenvolvimento de um modelo baseado no princípio da frenagem a partir da corrente de Foucault. O modelo proposto é composto por seis conjuntos de circuitos magnéticos fixados a um disco suporte e um disco de material ferromagnético acoplado ao eixo do motor. Cada circuito magnético é composto de um núcleo de aço-silício de grão orientado e uma bobina. Aplicando-se uma tensão a essas bobinas, produzirá uma força contra eletromotriz, onde esta se opõe ao sentido de rotação. A determinação da quantidade de carga a ser aplicada é realizada através do controle da tensão. Este trabalho se encontra em fase de montagem do protótipo. Onde este será de grande valia nas aulas práticas de Máquinas Elétricas e para demonstração do princípio da lei de Lenz e das correntes parasitas aos alunos da disciplina de Eletromagnetismo.

Palavras-chave: freio eletromagnético, corrente de Foucault, máquinas elétricas, ensino de eletromagnetismo.

1. INTRODUÇÃO

Os ensinos profissionalizantes, seja técnico ou superior, têm enfrentado constantemente problemas ao integrar conhecimento de disciplinas essencialmente teóricas com futuras aplicações práticas do aluno. Torna-se necessário uma constante avaliação e adequação dos métodos de ensino de forma a preparar o profissional para as exigências de um mercado cada vez mais dinâmico e complexo. (GEDRAITE *et al.*, 2000)

As disciplinas de Física em cursos de engenharia têm virado alvo de críticas por tratar muitos embasamentos teóricos que a aplicabilidade direta na prática não é tão simples de demonstrar e ser compreendida pelo aluno pelos métodos convencionais, através de quadro-negro ou projeção e figuras estáticas, induzindo ao aluno imaginar muito do que está sendo explicado, gerando dúvidas e sendo passivo de interpretações equivocadas.



Muitas têm sido as tentativas de integrar novas técnicas de ensino, sendo uma excelente alternativa a utilização de ferramentas de simulação computacional ou mesmo de realidade aumentada, devido aos avanços da computação e o barateamento dos computadores. Tais técnicas têm ajudando a moldar o pensamento do aluno, dando-lhe um melhor entendimento do conteúdo passado, tornando-o prático e acessível à experimentação pessoal do aluno. (SOUZA & KIRNER, 2011)

Nesta conjuntura, o presente trabalho propõe a elaboração de um simulador de carga por corrente de Foucault, buscando integrar as duas bases teoria e prática. O aluno perante a disciplina de Física aprende a calcular os fenômenos relacionados às correntes de Foucault, mas com a montagem do simulador ele passa a ter uma gama maior de aprendizado, podendo desenvolver o controle do simulador na disciplina de Máquinas Elétricas para realizar teste e ensaios em motores elétricos.

2. PRINCÍPIO FÍSICO

Freios de Foucault são dispositivos que funcionam a partir do princípio de indução de Faraday e de Lenz, convertendo energia do movimento em calor.

Pela Lei de Indução de Faraday, tem-se que uma força eletromotriz e uma corrente são induzidas em um condutor quando este é exposto a um campo magnético variante. A polaridade da corrente induzida deve ser tal que o campo magnético gerado por ela se oponha ao campo magnético que a gerou, sendo esta relação conhecida como Lei de Lenz. (HALLIDAY *et al.*, 2007)

As correntes induzidas são produzidas não somente nos fios condutores, mas em qualquer condutor maciço, em movimento, num campo magnético ou atravessado por um fluxo magnético variável. Dentro de um material condutor é possível encontrar vários percursos fechados para a circulação de uma corrente. Em cada percurso fechado o fluxo magnético varia com o tempo, logo, tensões induzidas em cada percurso fazem circular correntes induzidas no interior do material condutor maciço. Estas correntes induzidas são chamadas de Correntes de Foucault. (MACIEL *et al.*, 2005)

As Correntes Parasitas ou Correntes de Foucault são pequenos circuitos fechados concêntricos como ilustrado na Figura 1, que representa a ação deste princípio na frenagem dos trens. Em cada ponto no interior do núcleo a corrente resultante é nula, pois as correntes em trajetórias circulares com o mesmo sentido de fluxo fazem com que a todo instante ao se encontrarem no interior do meio maciço a resultante seja nula. No entanto, isso não acontece na parte mais externa do material. As correntes, todas com mesmo sentido, se somam e circulam pela periferia do núcleo. Isso faz com que o núcleo se aqueça por efeito Joule.



Figura 1: Ação do freio eletromagnético para trens.

O valor das correntes induzidas a circularem na massa metálica depende explicitamente da resistência elétrica do material, da magnitude do campo magnético e da frequência de oscilação deste campo.

Para muitas máquinas elétricas, como motores, geradores e transformadores, tais correntes são vistas como perdas de potência. Assim, uma forma de reduzir a existência dessas correntes é construindo o núcleo com lâminas finas, empilhadas e isoladas umas das outras. Outra forma de reduzir o aparecimento das correntes parasitas é fazer o núcleo com uma resistência elétrica mais elevada, construindo uma liga mais específica para formar o núcleo. (GONÇALVES, 2006)

Existem casos em que as correntes de Foucault deixam de ser consideradas como perdas, tornando-as parte do funcionamento do equipamento, como ocorrem em fornos de indução e nos freios de Foucault, sendo um sistema muito utilizado para a frenagem de trens. No caso dos trens, uma sapata polar é localizada na parte inferior do truque das locomotivas, e quando se deseja reduzir a velocidade da máquina, a sapata é aproximado dos trilhos. A redução na velocidade ocorre uma vez que pela lei de Lenz o sentido das correntes parasitas produz um campo que tende a opor-se ao movimento que produz a tensão induzida.

3. FUNCIONAMENTO DO SIMULADOR DE CARGA

O simulador de carga por correntes de Foucault tem o mesmo princípio de funcionamento do freio. Uma massa metálica é acoplada ao eixo do motor, e essa é exposta a um campo magnético constante. Como a massa estará se movimentando em relação ao campo, este mesmo sendo constante, irá induzir uma tensão na massa.

Tomando como exemplo a estrutura de freio ilustrada na Figura 2, composto por uma massa metálica no formato de um disco e dois conjuntos de eletroímãs. O motor ao girar o disco em um sentido faz com que o fluxo magnético interceptado por esse seja variável. Assim, a corrente induzida no disco irá produzir uma força que se opõem a esse sentido de rotação. O valor da força de oposição ao movimento irá depender da velocidade do motor e do

campo magnético gerado por cada bobina. Logo, o controle da carga a ser simulada no eixo do motor é realizado, principalmente, pela tensão aplicada ao circuito magnético.

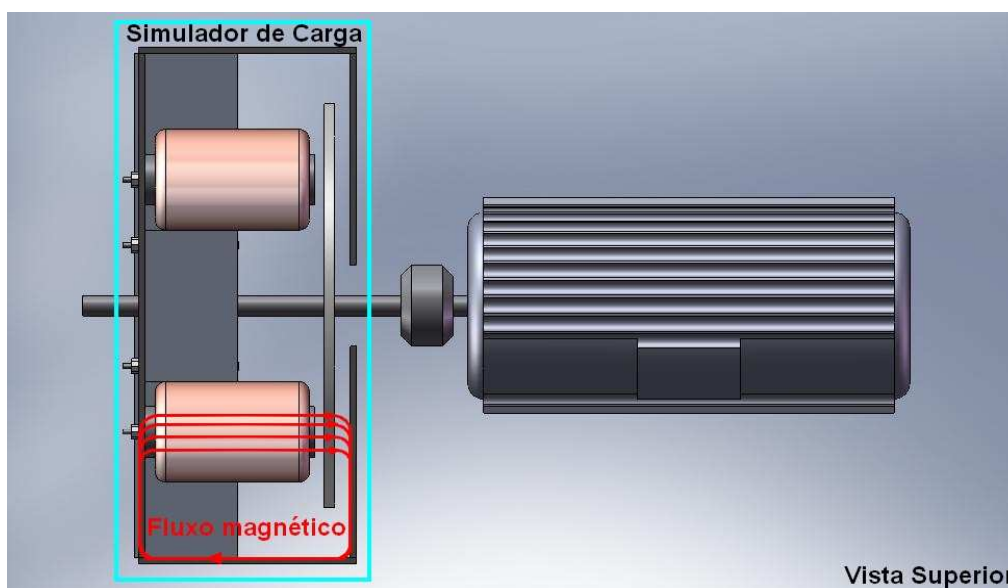


Figura 2: Simulador de carga por correntes de Foucault com dois conjuntos magnéticos.

O campo magnético gerado pelas bobinas é concentrado no *gap* entre o termino do núcleo do eletroímã e a extremidade da armação do simulador de carga, que para o modelo em análise (Figura 2), é utilizada para conduzir o fluxo magnético de forma concentrada. Desta forma tem-se um melhor aproveitamento do fluxo magnético para a interação com o disco de frenagem, evitando dispersões.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Um motor elétrico é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação. Desta forma, as cargas impostas para tais máquinas se tratam de uma resistência ao seu funcionamento, ou seja, uma oposição ao movimento de rotação.

Em um simulador de carga para motores elétricos, a simulação é realizada com a introdução de um torque contrário ao movimento do motor. Para o modelo apresentado na Figura 2, o campo magnético deve interagir com o disco em rotação de forma a criar uma força que se opõem ao movimento do disco, gerando assim um torque contrário ao da máquina, aumentando a resistência à rotação.

O torque contrário é originado pelas correntes de Foucault que circulam no disco, desta forma, para torques elevados são necessárias correntes induzidas altas, o que provoca um aquecimento do disco.

Como modelo inicial para análise, utilizou-se o modelo já apresentado na Figura 2, sendo este detalhado na Figura 3.

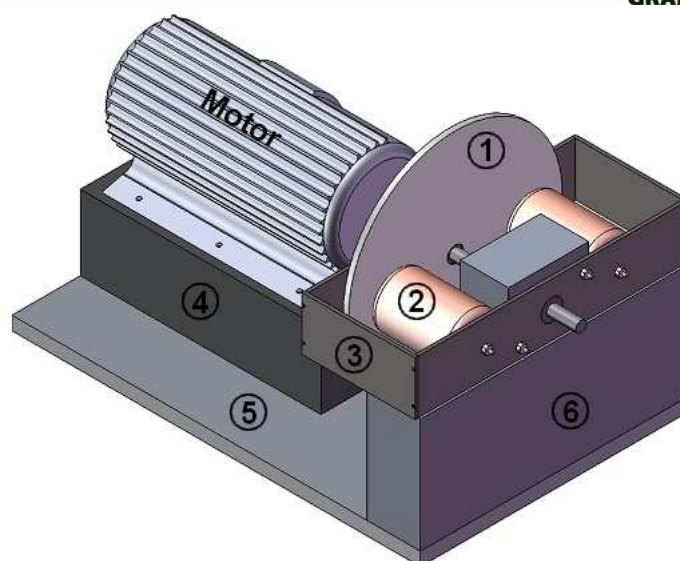


Figura 3: Detalhamento do simulador de carga por correntes de Foucault com dois conjuntos magnéticos.

A reação do motor diante do simulador é de tentar impor seu movimento, por isso, é necessária uma base de fixação que suporte a torção que será gerada. Assim, as partes identificadas com os números 4, 5 e 6 na Figura 3, são responsáveis pelo nivelamento do motor em relação ao simulador, travamento do motor e fixação do simulador de carga, respectivamente. As demais numerações, 1, 2 e 3, representam o disco de ação das correntes de Foucault, o conjunto magnético e a armação do simulador, sendo esta última, parte também do circuito magnético.

As linhas de fluxo geradas pelos eletroímãs possuem como caminho preferencial a própria armação do simulador, desta forma, o disco intercepta o fluxo magnético por meio de um *gap*, onde as linhas de fluxo são concentradas (Figura 4).

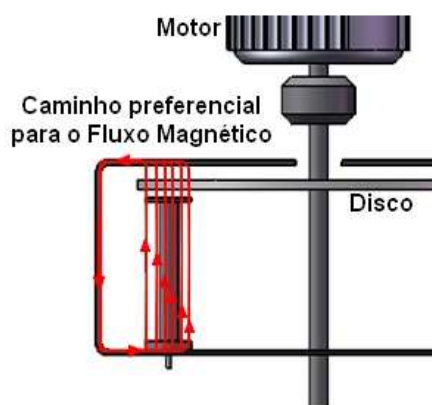


Figura 4: Caminho preferencial das linhas de fluxo no simulador de carga

As desvantagens encontradas no modelo de simulador com apenas dois conjuntos magnéticos estão relacionadas exatamente à presença de apenas dois conjuntos. Nessa configuração, o campo magnético produz apenas duas forças de oposição ao movimento simultaneamente. Assim, o valor dessas forças deve ser elevado para conseguir determinados

valores de torque, aumentando o desgaste do disco devido ao aquecimento e as chances de deformação do mesmo.

O desgaste do disco é algo inevitável para o simulador, uma vez que este irá trabalhar sobre aquecimento, porém, visando maior durabilidade, optou-se por seis conjuntos magnéticos uniformemente distribuídos sobre o disco de frenagem.

O modelo de simulador de carga desenvolvido como protótipo é composto por um conjunto de seis núcleos magnéticos fixados a um disco de suporte, um disco de frenagem e um terminal para acoplamento do motor, Figura 5.

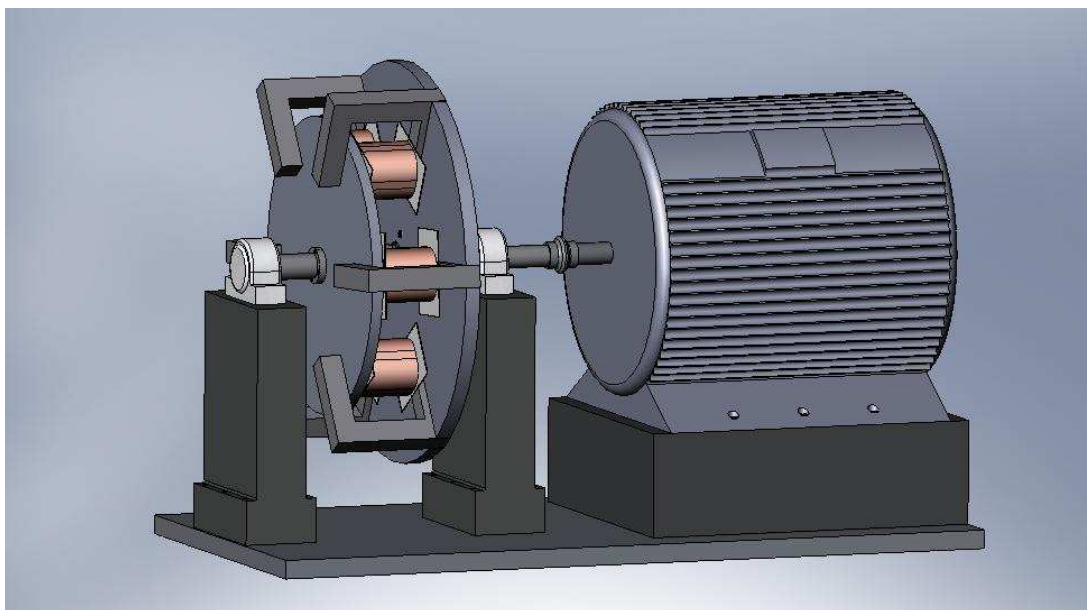
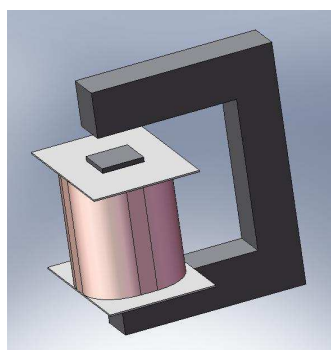
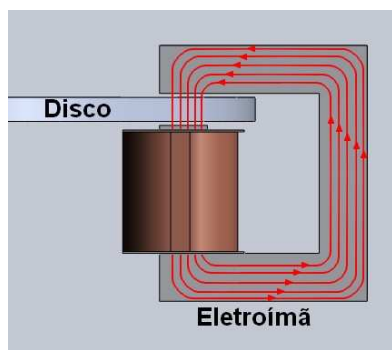


Figura 5: Protótipo do simulador de carga desenvolvido.

Para a geração do campo magnético utilizou-se núcleo de aço-silício de grão orientado e um enrolamento sobreposto a este, Figura 6.a. A extremidade do disco de frenagem encontra-se passante aos entreferros dos núcleos magnéticos, como ilustrado na Figura 6.b, não sendo mais utilizada a estrutura do simulador como parte do circuito magnético. Para a determinação da quantidade de carga a ser adicionada ao eixo do motor, realiza-se o controle da tensão aplicada nos enrolamentos dos núcleos magnéticos.



(a)



(b)

Figura 6: Eletroímã do sistema de frenagem: (a) modelo utilizado; (b) posição do disco em relação ao campo gerado pelo eletroímã.

A Figura 7.a ilustra a disposição das bobinas e o disco de suporte. A Figura 7.b mostra o dispositivo de frenagem.

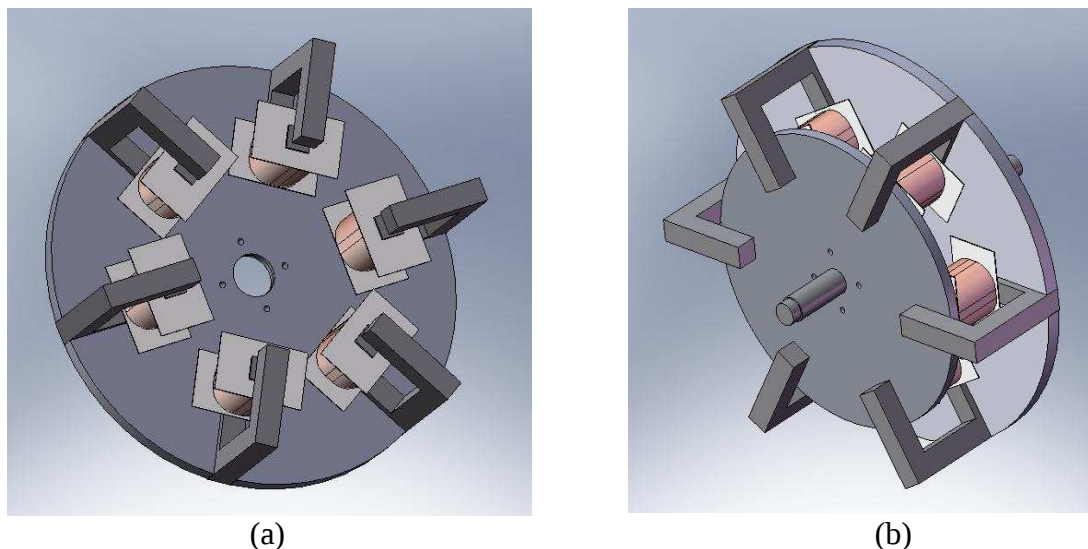


Figura 7: Sistema de frenagem: (a) disco de suporte e núcleos magnéticos; (b) disco de frenagem em conjunto com o circuito magnético.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou a proposta do desenvolvimento de um equipamento para ser utilizado no ensino de Eletromagnetismo e em ensaios de motores elétricos na disciplina de Máquinas Elétricas, de forma a integrar o conhecimento teórico e o prático na resolução de um problema próximo de algo real. A utilização do simulador de carga por Correntes de Foucault possibilita ao profissional tornar o eletromagnetismo teórico em algo palpável, integrando-o com outras disciplinas e trazendo uma gama maior de possibilidades. Tal equipamento pode ainda ser utilizado para praticar técnicas de controle automático.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-MG e a Fundação CEFET MINAS pelo o apoio ao desenvolvimento deste trabalho e à FAPEMIG, por viabilizar tal projeto através do programa de bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, A. L. S.; ALVES, A. S. C.; MARTINS, C. H. N.; MUNIZ, C. A.; FARIA, P. V. A.; CÉSAR, T. C.; GOMES, F. J.. O problema da defasagem entre a teoria e a prática: proposta de uma solução de compromisso para um problema clássico de controle. **Anais: XXXIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Passo Fundo – RS, 2006.

GEDRAITE, R.; COSTA, R. C.; GOMES, A. M.F.; LEONHARDT, G. F.. Como a utilização de bancada experimental simples de baixo custo torna mais significativo o processo de ensino



e aprendizagem nos cursos de engenharia. **Anais:** XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia, Ouro Preto - MG, 2000.

GONÇALVES, Charlie Salvador. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Departamento de Física Teórica e Experimental. Montagem e Construção de um Magnetômetro a Efeito Kerr Magneto-Óptico, 2006. 11p, il. Tese (Mestrado).

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.. Fundamentos de Física. 7ª. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. Vol. 3. 4 vols. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.

MACIEL, D. M. A., MARTINI, M. M. J., VENTURA, P. C. S.. Protótipo para estudo de correntes parasitas em meios maciços. **Anais:** XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro de 2005.

SOUZA, R. C.; KIRNER, C.. Ensino e Aprendizagem de Eletromagnetismo usando Recursos de Realidade. Revista Novas Tecnologias na Educação, Rio Grande do Sul, Julho de 2011. V. 9 Nº 1.

DEVELOPMENT OF A SIMULATOR FOR LOAD CURRENT FOUCAULT

Abstract: *During the practical sessions of the course Electrical Machines, need to add loads to electric motors. Devices commonly used for this purpose are simulators loads electromagnetic brake. For this purpose, we propose the development of a model based on the principle of braking from the eddy current. The proposed model consists of six sets of magnetic circuits secured to a support disc and a disc of ferromagnetic material coupled to the motor shaft. Each magnetic circuit is composed of a core of steel grain oriented silicon and a coil. Applying a voltage to these coils produce a counter electromotive force, this is opposed to the direction of rotation. The determination of the amount of load to be applied is performed by controlling the voltage. This work is in the process of assembling the prototype. Where this will be of great value in practical classes Electrical Machines and demonstration of the principle of Lenz's law and eddy currents to students of Electromagnetism.*

Key-words: *electromagnetic brake, eddy current machines, teaching electromagnetism.*