

Desenvolvimento de uma bancada contendo um freio eletromagnético para ensaio de motores

Development of a test stand containing an electromagnetic brake for motor testing

RESUMO

Eduardo Pianovski Francisconi
edu.pia@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Marcelo Favoretto Castoldi
marcastoldi@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Alessandro Goedtel
agoedtel@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento de uma bancada para teste de um freio eletromagnético por correntes de Foucault, tendo como base um protótipo desenvolvido anteriormente. A fim de realizar estudos mais aprofundados, surgiu a necessidade de mensurar o conjugado desenvolvido pelo freio sem a necessidade de conhecer os parâmetros do motor. Então, buscou-se uma alternativa para medir o conjugado gerado pelo mesmo. Porém, devido à resistência mecânica duvidosa da estrutura e problemas de vibração na bancada em que o equipamento estava instalado, surgiu a necessidade de projetar uma nova bancada, desta vez, realizando uma análise prévia por meio de um software de elementos finitos, a fim de evitar que esta venha sofrer problemas com ressonância, que além de gerar interferência nas medições, pode causar situações hostis de funcionamento, do ponto de vista de vibrações.

PALAVRAS-CHAVE: Máquinas Elétricas. Bancada Experimental. Freio de Foucault.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

This work describes the process of developing a test bench for an eddy current brake, based on a previously developed prototype. In order to carry out further studies, the need arose to measure the torque developed by the brake without the need to know the motor parameters. Then, an alternative was sought to measure the conjugate generated by it. However, due to the dubious mechanical strength of the structure and vibration problems on the test bench where the equipment was installed, the need arose to design a new test bench, this time performing a prior analysis using a finite element software, in order to prevent resonance problems, which in addition to interfering with measurements, can cause hostile operating situations from a vibration standpoint.

KEYWORDS: Electric Machinery. Experimental Test Bench. Eddy Current Brake.

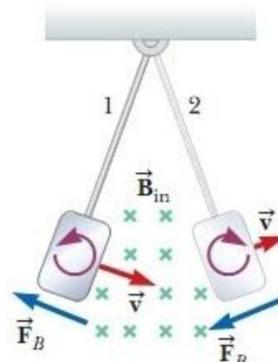
INTRODUÇÃO

O Motor Elétrico de Indução Trifásico (MIT) é de fundamental importância no cenário industrial atual, sendo responsável pela produção de grande parte da força motriz para processos industriais, desde os mais simples até os mais sofisticados. Portanto, estudos com a finalidade de aumentar o rendimento na conversão eletromecânica de energia de tais equipamentos, poderão trazer impactos positivos significativos para a economia nacional. (PEREIRA, 2006, p. 1).

Para a realização de ensaios e estudos sobre motores elétricos surge a necessidade de um equipamento que absorva a potência mecânica gerada pelo motor, impondo um torque no eixo, contrário ao sentido de rotação, e para tal, propôs-se utilizar um freio eletromagnético, que possui como principal vantagem a ausência de atrito entre partes rotativas, desta forma não há desgaste por atrito nem geração de ruído.

O funcionamento de um freio eletromagnético pode ser explicado a partir de uma placa condutiva movida através de um campo magnético \vec{B}_{in} , como mostrado na Figura 1. No momento em que a placa atravessa o campo eletromagnético com uma velocidade \vec{v} , é induzida na mesma uma forma eletromotriz (FEM), que faz com que os elétrons livres se movam, gerando assim uma corrente elétrica, que são chamadas de corrente de Foucault. De acordo com a Lei de Lenz, a direção que as correntes de Foucault geradas são tal, que criam campos magnéticos que se opõem aos que a placa está imersa, criando polos magnéticos na mesma, que dão origem a uma força que se opõe a seu movimento. (PEREIRA, 2011, p. 15)

Figura 1 – Movimento de uma placa condutiva em um campo magnético



Fonte: Adaptado de Pereira (2011).

Ao rotacionar um disco de material condutor entre os polos de um eletroímã, são criadas correntes elétricas no disco de forma semelhante, e a força gerada causa um torque contrário ao sentido de rotação do disco.

Este trabalho tem como proposta descrever o processo de desenvolvimento uma bancada para comportar um freio eletromagnético, e propor uma solução para realizar a medida do torque desenvolvido pelo equipamento sem a necessidade de conhecer os parâmetros do motor.

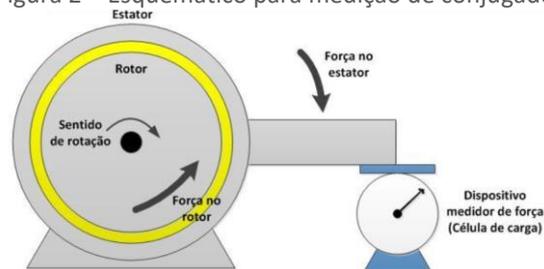
MATERIAIS E MÉTODOS

Para ensaios de motores de indução, a potência mecânica entregue no eixo é uma variável importante. Um dos meios de obtê-la é multiplicando velocidade de

rotação pelo conjugado fornecido, e, para tal, busca-se conhecer o torque que o freio eletromagnético gera, sem a necessidade do conhecimento dos parâmetros do motor. Entretanto, estimar o conjugado em um freio eletromagnético não é visto como uma solução viável, pois implica em resolução das equações de Maxwell no domínio do tempo (WIEDERICK *et al*, 1987, p. 500). Ademais, o cálculo se torna mais complexo ao passo que é considerada uma situação real, onde a distância entre as bobinas e o disco pode variar devido a imprecisões construtivas, fazendo com que o entreferro possa vir a não ser constante. Este e outros fatores foram determinantes para a decisão de buscar uma alternativa para medir o conjugado gerado pelo freio em vez de estima-lo.

Ao aplicar tensão nas bobinas do freio, é criada no rotor uma torque que se opõe ao movimento de rotação do disco, o mesmo torque, é refletido no estator, em sentido contrário, onde, é possível medir o conjugado absorvido através da medida da força em um braço de alavanca, a uma distância conhecida do centro de rotação. Tal força pode ser medida utilizando uma célula de carga, um sensor que é capaz de medir força, sendo o esquemático mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Esquemático para medição de conjugado



Fonte: Adaptado de Pereira (2011).

Pensando na redução de custos, optou-se por utilizar um protótipo de um freio eletromagnético já disponível na universidade, e apenas realizar as adaptações necessárias para a montagem da célula de carga de modo que se pudesse obter a medida de conjugado. Tal protótipo é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Protótipo do freio eletromagnético usado como base



Fonte: Autoria própria

Entretanto, ao verificar a possibilidade e viabilidade de realizar as adaptações, foi constatado que os rolamentos utilizados para a sua montagem não foram selecionados corretamente. E, além disto, identificou-se fragilidade na estrutura do protótipo, fazendo com que a bancada apresentasse vibração em toda sua faixa de rotação, o que além de interferir nas medições, poderia causar acidentes caso alguma parte da bancada sofresse falha devido a esforços mecânicos excessivos.

Portanto, surgiu a necessidade de realizar um novo projeto, visando uma maior segurança e confiabilidade do equipamento.

O primeiro protótipo foi construído para verificar o efeito do freio em máquinas com rotação nominal de até 1800 rpm. Porém, para o novo projeto considerou-se interessante projetá-lo para ensaio de máquinas de mesma rotação nominal, mas acionadas por um inversor de frequência, a fim de estudar o comportamento da mesma em rotações maiores que a nominal. Assim, constatou-se que o eixo do protótipo não suportaria os esforços gerados por velocidades acima de 1800 rpm, o que exigiu um novo projeto.

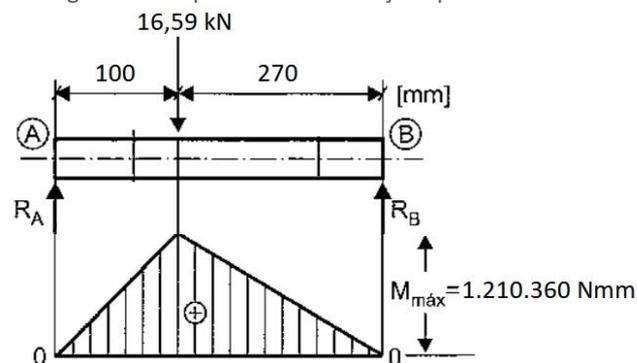
Para o projeto do novo eixo foi considerado, principalmente, os esforços gerados por um possível desbalanceamento no disco do rotor. Desta forma, considerou-se uma massa desbalanceada de 5% do total do disco. Para o cálculo do diâmetro mínimo do eixo, considerou-se o mesmo apoiado por dois mancais, e a rotação máxima projetada de 2500 rpm. Assim, foi utilizada a equação proposta por Melconian (2008, p. 253), ilustrado na Eq. (1).

$$d \geq 2,17 \sqrt[3]{\frac{b \cdot M_i}{\sigma_{\text{fad}_m}}} \quad (1)$$

Onde: $b=1$, para um eixo maciço; M_i = Momento fletor máximo; σ_{fad_m} = Tensão admissível.

O diagrama com as forças e momento fletor a qual o eixo será submetido, e os valores utilizados para o cálculo das grandezas necessárias para dimensionamento, são mostradas na Figura 4 e Quadro 1, respectivamente.

Figura 4 – Esquemático das forças aplicadas ao eixo



Fonte: Adaptado de Melconian (2008)

Quadro 1 – Grandezas para o dimensionamento do eixo

Raio do disco	210 mm
Força radial	16,59 kN
Momento fletor máximo	1.210.360 Nmm
Limite de escoamento aço SAE 1020	350 MPa
Tensão admissível	39 MPa
Diâmetro mínimo calculado para o eixo	68,3 mm

Fonte: Autoria própria

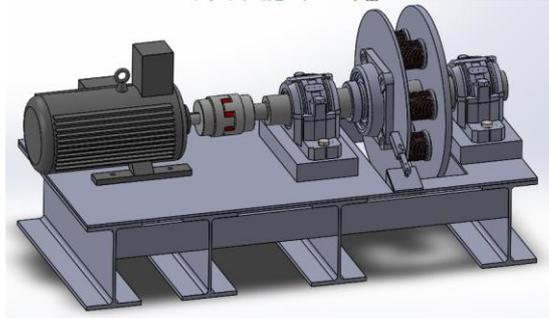
Desta forma, constatou-se a necessidade de utilizar um eixo de 70mm de diâmetro, produzido com aço SAE 1020, e para tal foram selecionados um par de

rolamentos autocompensadores de rolos modelo 22214E, os quais podem suportar pequenos desalinhamentos angulares, que podem ser causados por deflexão no eixo quando o equipamento está em operação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a segura operação de máquinas, é desejável evitar que a frequência de excitação seja igual à sua frequência natural, pois, nesse caso, o sistema passa a trabalhar em ressonância (VOLTOLINI 2018, p. 14). Portanto, para este projeto, é de fundamental importância manter as frequências naturais acima da frequência de excitação do motor, visto que com um inversor de frequência, poderão ser realizados ensaios tanto em velocidades de rotação abaixo da nominal, como acima. Foi escolhido para projeto uma velocidade máxima de 2500 rpm, resultando em uma frequência de excitação de 41,67 Hz na estrutura. Tendo todos os pré-requisitos em mente, projetou-se um modelo de bancada por meio do software CAD SOLIDWORKS, mostrado na Figura 5.

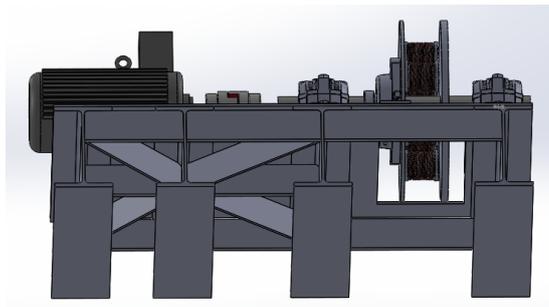
Figura 5 – Projeto da bancada contendo o freio eletromagnético



Fonte: Autoria própria

Partindo deste modelo, realizou-se análise modal da base da bancada utilizando o software ANSYS Workbench 19.0, a fim de prever as frequências de ressonância do sistema, e garantir que elas não coincidam com as de excitação. Na primeira versão da bancada, a primeira frequência de ressonância encontrada foi de 48,6 Hz que, embora não esteja abaixo do estipulado, está bem próxima. Portanto, identificou-se a necessidade de alteração no projeto. Assim, foi proposto um reforço em cruz na parte inferior da bancada, como mostrado na Figura 6, sendo feita uma nova análise modal em seguida. Os valores das três primeiras frequências, para cada caso analisado, estão organizados no Quadro 2.

Figura 6 – Vista inferior da bancada com as travas em cruz



Fonte: Autoria Própria

Quadro 2 – Frequências de ressonância da estrutura antes e após alteração

Frequência	Sem travas em cruz	Com travas em cruz
1ª	48,6 Hz	79,2 Hz
2ª	76,1 Hz	88,9 Hz
3ª	88,8 Hz	90,5 Hz

Fonte: Autoria própria

Após realizar a adição das travas em cruz na parte inferior da bancada, obteve-se uma melhora significativa no projeto, foi eliminada a frequência de ressonância problemática e, desta forma, garantindo que a bancada projetada não sofra problemas de vibração devido a ressonância para qualquer rotação compreendida entre zero e 2500 rpm.

CONCLUSÕES

Desta forma, o projeto da bancada atendeu os pré-requisitos estipulados, tanto para os esforços que o eixo será submetido, como para que as frequências de excitação não coincidam com as frequências naturais do sistema. Portanto, nesta nova bancada, espera-se que o conjunto motor e freio eletromagnético opere com maior segurança e estabilidade, sem apresentar vibrações excessivas causadas por ressonância na estrutura.

REFERÊNCIAS

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de máquinas**. 9. ed. São Paulo, SP: Érica, 2008.

PEREIRA, A.H. **Freio eletromagnético para ensaios de motores elétricos de indução**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006

PEREIRA, Rui Miguel Ferreira. **Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição e Controle de Binário e Velocidade para um Freio Eletromagnético**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, 2011.

VOLTOLINI, DANIELLE RAPHAELA. **Controle de vibrações flexionais em máquinas girantes usando neutralizadores viscoelásticos angulares**. Dissertação de mestrado, Universidade Federa do Paraná, Curitiba, 2018.

WIEDERICK, H. D.; et. al. **Magnetic Braking: Simple Theory and Experiment**. American Journal of Physics. vol. 55, 1987.