

MODELAGEM DE UM MOTOR BRUSHLESS GENÉRICO

GABRIEL M. FORTE¹, EVANDRO RECH², ALEXANDRE B. CAMPO³, EDUARDO A. COSTA⁴

¹ Graduando Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus São Paulo, gabriel.mforte@gmail.com.

² Me. em Automação e Controle de Processos, Professor EBTT, IFSP, Campus Campinas, evandrorech@yahoo.com.br.

³ Dr. em Engenharia Elétrica, Professor Titular, IFSP, Campus São Paulo, brincalpe@gmail.com.

⁴ Dr. em Engenharia Elétrica, Professor Titular, IFSP, Campus São Paulo, educosta6666@gmail.com.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.04.05-8 Máquinas, Motores e Equipamentos

Apresentado no
8º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP
06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão-SP, Brasil

RESUMO: Máquinas elétricas são amplamente utilizadas na conversão de energia. A busca por energias renováveis e uso eficiente de recursos atinge principalmente essa área de estudo. No entanto, por se tratar de um assunto recente, o campo de exploração de energias renováveis ainda é muito abrangente. O presente estudo visa modelar e simular um motor *brushless* no ambiente MATLAB/SIMULINK[®] com a finalidade de analisar sua aplicabilidade em uma bateria eletromecânica. Foi feita uma revisão bibliográfica a respeito de motores *brushless* para a construção do modelo. As equações necessárias para a construção do modelo matemático serão implementadas no MATLAB[®] e gerados gráficos a respeito do seu desempenho. O motor é aplicável uma vez que possui a capacidade de atingir altas velocidades, baixas perdas por energia térmica e pouca interferência eletromagnética, devido à ausência de comutador e escovas.

PALAVRAS-CHAVE: motor sem escovas; modelagem; energia;

MODELING OF A GENERIC BRUSHLESS MOTOR

ABSTRACT: Electric machines are commonly used in energy conversion. The search for renewable energy and efficient use of resources affects this area. However, searches in sustainable energy are recent and have many subjects to explore. This paper aims to model and simulate a brushless motor on MATLAB/SIMULINK[®] environment and analyze your applicability for a flywheel project. A literature review was made on brushless motors to construct the model. The equations will be implemented on MATLAB[®] and graphics will be plotted to analyze performance. We suggest that the motor is applicable because it reaches high speeds, has low thermal losses and low electromagnetic interference, due to electronic commutation and absent of brushes

KEYWORDS: bldc; flywheel; modeling; energy

INTRODUÇÃO

As mais recentes melhorias em materiais, manuais magnéticos e eletrônica de potência fazem das baterias eletromecânicas potenciais competidoras perante outras formas de armazenamento de energia. O progresso na eletrônica de potência, com dispositivos IGBT e FET possibilita a operação

das baterias com alta potência enquanto os materiais compósitos permitem alta velocidade rotacional, desejável já que a energia armazenada é proporcional ao quadrado da velocidade, com densidade de potência maior do que as baterias químicas. Já os mancais magnéticos proporcionam baixas perdas internas devido ao baixo atrito, além de aumentar a vida útil desses equipamentos. (BOLUND *et al*, 2007).

As vantagens na utilização de motores *brushless* ao invés de motores de corrente contínua escovados são sua comutação eletrônica e a ausência de escovas, que permitem ao motor atingir velocidades mais altas, maior eficiência devido as baixas perdas por atrito, melhor relação entre o torque e a velocidade do motor e maior vida útil. (PRASAD *et al*, 2012)

Este estudo visa modelar e simular um motor *brushless* e estudar sua aplicação em uma bateria eletromecânica, o qual o protótipo está sendo construído no Laboratório de Controle Aplicado do IFSP – campus São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar o modelo do motor *brushless*, foi feita uma revisão bibliográfica a respeito. As equações exibidas a seguir serão implementadas no MATLAB/SIMULINK®

$$V_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (1)$$

Em que:

V_a é a tensão em uma das fases [V];

R é a resistência de armadura [Ω];

L é a indutância de armadura [H];

i_a é a corrente no motor [A];

e_a é a força contra-eletromotriz (FCEM) [V].

$$e_a = K_w f(\theta_e) \omega \quad (2)$$

Em que:

K_w é a constante da FCEM de cada fase [V/rad.s⁻¹];

θ_e é o ângulo elétrico do rotor [° el.];

ω é a velocidade do rotor [rad.s⁻¹].

$$\theta_e = \frac{p}{2} \theta_m \quad (3)$$

Em que:

θ_e é o ângulo elétrico do rotor [° el.];

θ_m é o ângulo do rotor [°];

p é o número de pares de polos.

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega}$$

Em que:

T_e é o torque produzido pelo motor [Nm].

Descontando o torque de carga:

$$T_e - T_l = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (4)$$

Em que:

T_l é o torque de carga [Nm];

J é a inércia do motor [kgm²];

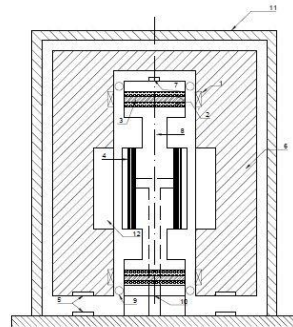
B é uma constante de atrito [Nms.rad⁻¹].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a revisão bibliográfica feita, os modelos de equação serão implementados no MATLAB para construção do modelo. Outros segmentos da pesquisa têm progredido a respeito do desenvolvimento da bateria eletromecânica. Em abril deste ano, através do edital n° 750 do Núcleo de

Inovação Tecnológica foi feito o pedido de patente da bateria ao INPI, a qual foi depositada com o número BR 10 2017 011470 8.

Além do depósito da patente, um protótipo da bateria está sendo construído no Laboratório de Controle Aplicado do IFSP, para que o modelo proposto neste trabalho seja validado. A figura 01 apresenta um esquema da bateria eletromecânica descrita na patente.



- Legenda:
- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 - Cobre | 8 - Eixo do Estator |
| 2 - Ímã em anel | 9 - Rolamento (colar de esferas) |
| 3 - Material Ferromagnético | 10 - Canal de passagem |
| 4 - Enrolamento brushless | 11 - Câmara de vácuo |
| 5 - Ímãs permanentes | 12 - Ímãs |
| 6 - Rotor externo | |
| 7 - Sensor de posição angular | |

FIGURA 1 – Modelo da bateria eletromecânica.

CONCLUSÕES

A escolha de um motor *brushless* para o projeto da bateria eletromecânica foi feita dado que esse tipo de motor permite atingir altas velocidades e possui baixa interferência eletromagnética. Isso permite atingir altas velocidades, aumentando a energia cinética do volante de inércia, que é proporcional ao quadrado da velocidade, aumentando a potência da bateria. Além disso, a redução de interferências eletromagnéticas proporciona ao projeto maior robustez, pois a redução de ruídos no sistema permite maior estabilidade do rotor, suspenso por ímãs permanentes, o que reduz pontos de atrito que promovem a perda de energia interna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores e ao professor Dr. Paulo Dainez no auxílio da construção do modelo e ao CNPq pela oportunidade de desenvolver a pesquisa para desenvolvimento tecnológico da instituição e do país.

REFERÊNCIAS

- BITTERLY, Jack G. Flywheel technology: past, present, and 21st century projections. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 13, n. 8, p. 13-16, 1998.
- BOLUND, Björn; BERNHOFF, Hans; LEIJON, Mats. Flywheel energy and power storage systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 2, p. 235-258, 2007.
- IFSP. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (São Paulo, SP). Eduardo Alves da Costa, Alexandre Brincalpe Campo, Evandro Rech, Egon Soares, Lígia Tersitano Ferreira, Gabriel Moura Forte. **Bateria Eletromecânica com Mancal Magnético Eletrodinâmico**. BR 10 2017 011470 8, 31 mai. 2017.
- KRISHNAN, Ramu. **Permanent magnet synchronous and brushless DC motor drives**. CRC press, 2009.
- PRASAD, G. et al. Modelling and Simulation Analysis of the Brushless DC Motor by using MATLAB. **Proceedings of IJITEE**, v. 1, n. 5, p. 2278-3075, 2012.
- TIBOR, Balogh; FEDAK, Viliam; DUROVSKÝ, František. Modeling and simulation of the BLDC motor in MATLAB GUI. In: **Industrial Electronics (ISIE), 2011 IEEE International Symposium on**. IEEE, 2011. p. 1403-1407.