

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Modelagem Matemática do Motor *Brushless DC* para Veículos Elétricos

Fernanda Zambonin Boaretto¹

Thiago Lazzari²

Adilson Luis Stankiewicz³

Cícero José Matuella Moreira⁴

Cassio Luciano Baratieri⁵

Departamento de Engenharia e Ciência da Computação, URI, Erechim, RS

1 Introdução

Com o grande avanço tecnológico nas áreas de eletrônica de potência, processamento digital de sinais e armazenamento de energia, a inserção dos veículos elétricos (VE) na sociedade moderna está se tornando cada vez mais comum.

Um dos componentes de suma importância do VE é o sistema de propulsão elétrica, que compreende o motor elétrico, conversor de potência e controlador eletrônico [1]. Um dos desafios deste sistema é projetar e implementar uma máquina elétrica que melhor se adapta e proporciona um melhor desempenho operacional no VE.

Entre as principais máquinas elétricas adotadas em VE, destaca-se o motor *Brushless DC* (BLDC), pois possui uma maior eficiência, maior densidade de potência e conjugado e não necessita de manutenção quando comparado com máquinas CC e de indução [2].

Para poder aplicar o motor BLDC ao veículo elétrico, é necessário fazer a modelagem deste, para posteriormente aplicar as técnicas de acionamento e controle. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo mostrar a modelagem matemática do motor BLDC, bem como a técnica de controle utilizada para propiciar a inserção do motor em um VE.

2 Modelagem, Acionamento e Controle do Motor BLDC

A modelagem matemática do motor BLDC foi fundamentada em [3]. Para isso, adotou-se um motor com três fases a, b e c equilibradas e iguais, defasadas em 120 graus. A

¹fe-zb1@hotmail.com

²thiago.lazzari@hotmail.com

³adilsonluis@uricer.edu.br

⁴cicero.matematica@gmail.com

⁵cassiobaratieri@uricer.edu.br

equação dinâmica do motor BLDC pode ser expressa por:

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_a & M & M \\ M & L_a & M \\ M & M & L_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_a & 0 \\ 0 & 0 & R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que v_a , v_b e v_c são as tensões do estator, L_a é a indutância própria do estator, M é a indutância mútua, R_a é a resistência do estator, i_a , i_b e i_c são as correntes do estator e e_a , e_b e e_c são as tensões induzidas.

Por outro lado, a equação que governa o comportamento dinâmico do sistema mecânico do motor BLDC pode ser representada por:

$$\frac{Jdw_m}{dt} = \frac{1}{w_r}(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) - T_c - Bw_m \quad (2)$$

em que J é o coeficiente de inércia, B é o coeficiente de atrito, T_c é o torque de carga e w_m é a velocidade angular.

A validação do modelo do motor foi realizada por intermédio do *software* PSIM, utilizando o motor ideal apresentado pelo *software* para comparação. Verificando os resultados dos dois motores observou-se que ambos apresentavam o mesmo comportamento dinâmico.

Para o acionamento do motor foi usado um inversor trifásico, operando no modo seis pulsos 120°. O sistema de controle escalar baseia-se na abordagem clássica multimalhas, ou seja, uma malha interna de corrente e uma malha externa de velocidade, ambas com controladores proporcionais integrais e com bandas passantes distintas. Os dois controladores foram projetados no *software* MATLAB/Sisotool com base nas funções de transferência do sistema. Em seguida, as malhas de controle foram validadas no *software* PSIM.

3 Conclusões

Este trabalho apresentou a determinação do modelo dinâmico do motor BLDC aplicado ao controle do sistema de propulsão elétrica em VE. Nesse sentido, a validação computacional comparativa no *software* PSIM apresentou um baixo erro relativo médio (0,006%) entre o modelo desenvolvido e o modelo ideal, evidenciando um excelente desempenho operacional do sistema de controle escalar multimalhas. Portanto, o estudo permite uma avaliação quantitativa e qualitativa da possível implementação do motor BLDC em VE.

Referências

- [1] C. C. Chan and Y. S. Wong. Electric Vehicles Change Forward. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 2, n. 6, p. 24-33, 2004.
- [2] K. T. Chau. *Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application*. v. 1. Wiley Press, 2015.
- [3] R. Krisnan. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drive*. United States of America: CRC Press, 2009.