IMPLEMENTAÇÃO NO SOFTWARE MATLAB/SIMULINK DE TÉCNICAS DE ACIONAMENTO E CONTROLE DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

Fernando Friedrich Pinto, Ademir Nied

INTRODUÇÃO

As técnicas de controle são fundamentais no acionamento de máquinas elétricas, permitindo regular seu comportamento de forma estável e precisa. Entre as estratégias empregadas, destacam-se os controladores Proporcional-Integral (PI) e o controle vetorial (FOC), aplicados ao controle de corrente, velocidade e torque. Nesse contexto, os motores BLDC apresentam características como elevada eficiência, boa densidade de potência e reduzida necessidade de manutenção. Entretanto, o desenvolvimento e a validação de estratégias de controle podem envolver elevado tempo de ensaio, custos de equipamentos e riscos ao sistema. Assim, a simulação constitui uma alternativa segura e versátil para a análise de diferentes condições de operação. Este trabalho tem como objetivo implementar, no MATLAB/Simulink, uma plataforma de simulação para o acionamento e controle de máquinas elétricas, com ênfase na modelagem e aplicação do controle vetorial em motores BLDC.

DESENVOLVIMENTO

O trabalho iniciou-se com o estudo dos motores BLDC, sua modelagem matemática e estratégias de acionamento. A partir da dissertação de Andrich (2013), foram adotados os mesmos parâmetros elétricos e mecânicos da máquina, buscando reproduzir no MATLAB/Simulink condições semelhantes às de sua plataforma. Foram desenvolvidas três estruturas de simulação: uma baseada no modelo Six-Step da biblioteca Simscape Electrical, com conversor Buck e controladores PI de tensão e velocidade; uma implementação própria do Six-Step, também com controladores PI; e uma implementação do controle vetorial (FOC), com controladores PI de corrente. As estruturas foram submetidas às mesmas condições de ensaio, permitindo comparar seus comportamentos por meio das principais variáveis elétricas e mecânicas.

RESULTADOS

Os resultados mostraram que as implementações baseadas no acionamento Six-Step apresentaram comportamento conforme o esperado. Inicialmente, a implementação própria não atingia a velocidade de referência devido à saturação do sistema e à utilização de uma tensão de barramento insuficiente. Após o ajuste dessa condição, a resposta passou a atingir a referência. A implementação do controle vetorial também apresentou resultados próximos do esperado, embora ainda possa ser aprimorada por meio de transformações estendidas modificadas, visando melhor adequação às características não senoidais da força contraeletromotriz e das correntes do motor BLDC. De modo geral, o Six-Step sem conversor Buck apresentou o comportamento mais satisfatório entre as estratégias analisadas. Nos ensaios com carga, todas as implementações apresentaram uma redução momentânea da velocidade, seguida da recuperação da referência pelos controladores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos foram alcançados com a implementação e comparação das estratégias Six-Step e FOC no MATLAB/Simulink, permitindo analisar o comportamento dos controladores em diferentes condições de operação. Como principal limitação, destaca-se a necessidade de aprimoramento do controle vetorial para melhor adequação às características não senoidais do motor BLDC. Como trabalhos futuros, propõe-se a implementação de transformações estendidas

modificadas, além do refinamento dos controladores e da realização de novas comparações entre as estratégias desenvolvidas.

Palavras-chave: motor BLDC; controle vetorial; Six-Step; controlador PI; MATLAB/Simulink; acionamento de máquinas elétricas.

ANEXOS

Tabela 1. *Parâmetros do motor e do FOC.*

Parâmetro	Símbolo	Valor
Parâmetros do motor		
Resistência do estator por fase	R_s	4,7 Ω
Indutâncias nos eixos d e q	$L_d = L_q$	20 mH
Fluxo concatenado do ímã permanente	ψ_m	0,0175 Wb
Constante de FEM	K_e	0,377 V·s/rad
Pares de polos	p	2
Momento de inércia do rotor	J_m	$8{,}7 \times 10^{-4}$ kg·m²
Coeficiente de atrito viscoso	B_m	$3{,}2 \times 10^{-4}$ N·m·s/rad
Condições de controle		
Tensão máxima do barramento CC	V_{dc}	282 V
Corrente máxima de pico	I_{max}	2,70 A
Velocidade máxima	n_{max}	4 500 rpm
Período da malha interna	T_{sc}	100 µs
Frequência PWM	f_{PWM}	5 kHz

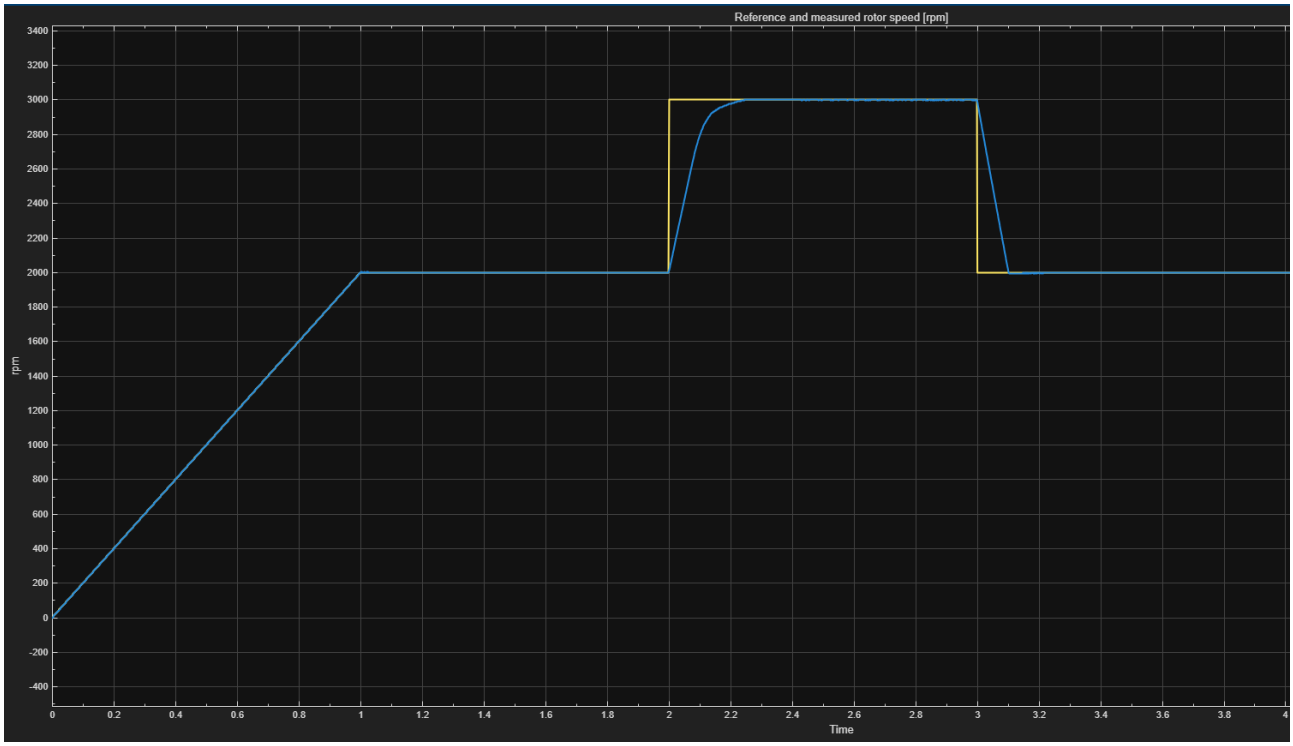


Figura 1. *Gráfico de velocidade do motor medida e referência para o FOC.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRICH, Roberto. *Desenvolvimento de uma plataforma para avaliação de desempenho de estratégias de acionamento de motores usados em produtos da linha branca*. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2013.