

COMPARAÇÃO ENTRE CONTROLADORES PI E RMRAC APLICADOS NO CONTROLE DE UM MOTOR BLDC

JUSOAN LANG MÓR¹; EVERSON BRUM SIQUEIRA²; VINICIUS MENEZES de OLIVEIRA³; RODRIGO ZELIR AZZOLIN⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande – Furg – jmor@furg.br

²Universidade Federal do Rio Grande – Furg – eversonbrum@furg.br

³Universidade Federal do Rio Grande – Furg – vinicius.oliveira@furg.br

⁴Universidade Federal do Rio Grande – Furg – rodrigoazzolin@furg.br

1. INTRODUÇÃO

Motores sem escovas de corrente contínua (*Brushless Direct Current Motor* - BLDC) são largamente utilizados tanto em indústrias quanto no uso doméstico, acionando vários tipos diferentes de cargas. Estas máquinas são construídas com diversos tamanhos e potências, além disso, a não existência das escovas (principal fator de desgaste de motores de corrente contínua) garante um motor robusto, de grande eficiência e longa vida útil (Duy, 2011). Os motores descritos são construídos em geral com três sensores de efeito hall, responsáveis pela medição de velocidade e sentido de giro dos motores, comumente são utilizados controladores do tipo Proporcional e Integral (PI) para alcançar o desempenho desejado a estes tipos de motores, entretanto, a imprecisão dos parâmetros utilizadas no projeto do controlador PI pode comprometer seu desempenho (SIMPKINS, 2010). O Controlador Adaptativo Robusto por Modelo de Referência (*Robust Model Reference Adaptive Controller* - RMRAC) torna-se uma alternativa para contornar os problemas presentes no desempenho do controlador PI. O controlador RMRAC apresenta características de robustez frente as dinâmicas não modeladas, e variações e/ou imprecisões paramétricas que afetem o motor BLDC (IOANNOU, 2003).

Sendo assim, este trabalho busca comparar o desempenho dos controladores PI e RMRAC quando aplicados no controle de um motor BLDC.

2. METODOLOGIA

Inicialmente o motor BLDC foi representado, na Figura 1, observa-se o motor dividido em duas partes: elétrico (lado esquerdo da figura) e mecânico (lado direito). O sistema elétrico contempla o conjunto de variáveis tensão de entrada V_r , corrente de armadura i_a , a resistência de armadura R_a , a indutância da armadura L_a e a constante de força contraeletromotriz K_b . O sistema mecânico demonstra o torque total T_t , torque gerado T_g , o torque de distúrbio T_d , a velocidade angular ω , a constante de inércia J , a constante de torque K_m e o coeficiente de atrito mecânico do motor b .

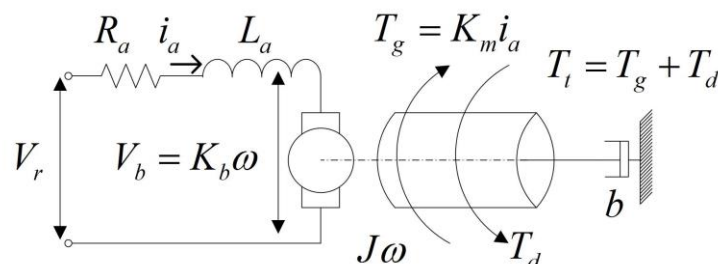


Figura 1. Representação Simplificada do Motor BLDC.

A modelagem do motor BLDC, vista na Figura 2, apresenta o diagrama de blocos que contempla todas as variáveis descritas anteriormente, o diagrama representa um sistema MISO (*Multiple Input, Single Output*) devido a inclusão da entrada de T_d .

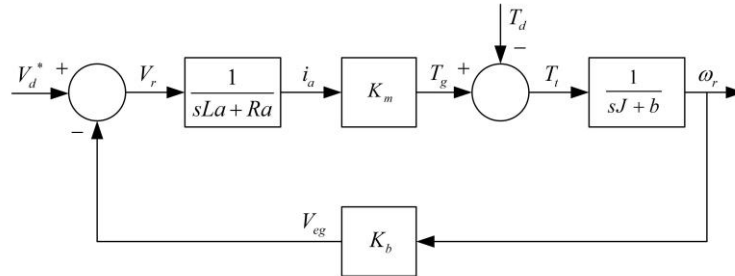


Figura 2. Diagrama de Blocos do Motor BLDC.

A função de transferência, que relaciona a saída e a entrada do sistema no domínio da frequência, é muito utilizada para análise de sistemas de controle. Para encontrar a função de transferência do motor BLDC, considerou-se T_d nulo e aplicando operações de simplificação no diagrama da Figura 2, encontra-se a relação entre tensão em Volts (entrada) e velocidade em rpm (saída), de acordo com a equação (1).

$$G(s) = \frac{\omega}{V_r} = \frac{K_m}{s^2 J L_a + s(L_a b + R_a J) + R_a b + K_b K_m} \quad (1)$$

O controlador PI pode ser observado na Figura 3(A), constituído de velocidade angular ω_r , o bloco PI contém $K_p + \frac{K_i}{s}$ como ação de controle e o bloco $G(s)$, corresponde a planta do sistema.

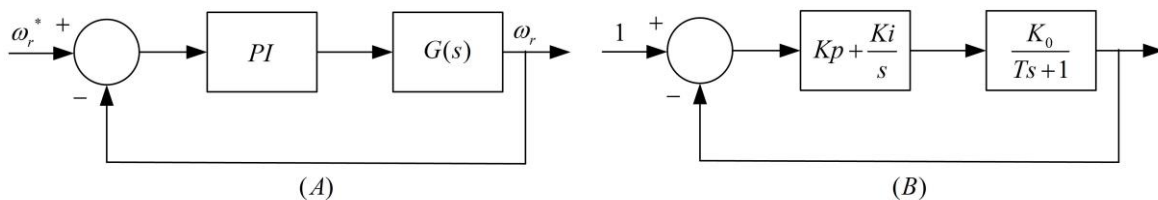


Figura 3(A). Estrutura do Controlador PI.

Figura 3(B). Modelagem dos Ganhos do controlador PI

Para obtenção dos ganhos K_p e K_i , como a planta a ser controlada é devidamente conhecida, utilizou-se a resposta em malha aberta de uma entrada de referência em degrau aplicada na planta $G(s)$. Com isso encontrou-se o ganho do sistema K_0 e a constante de tempo T . Então os ganhos do controlador PI são encontrados a partir da Figura 3(B), onde as operações necessárias são aplicadas no diagrama de blocos, então a função de transferência resultante é igualada a uma função de transferência de segunda ordem $W(s)$ observada na Equação 2, comumente utilizada em sistemas de controle, para obter uma relação entre K_p , K_i , K_0 e T , como visto na Equação 3.

$$W(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + s(2\xi\omega_n) + \omega_n^2} \quad (2)$$

$$Kp = \frac{2\xi\omega_n T - 1}{K_0} \qquad Ki = \frac{\omega_n^2 T}{K_0} \qquad (3)$$

Observa-se na Equação 2, ω_n e ξ como frequência natural e coeficiente de amortecimento, respectivamente. Toda a modelagem do controlador PI baseia-se em (OGATA, 2010).

O controlador RMRAC apresentado na Figura 4, utiliza um modelo de referência com o mesmo grau da planta desejada, sendo esse o fator que define a resposta dinâmica desejada para a saída da planta. Um erro e_1 é utilizado pelo algoritmo de adaptação para ajustar os parâmetros do controlador, adquirido a partir da saída do modelo de referência e da saída da planta. Outras definições presentes da Figura 4, r atua como a entrada de referência do controlador, y_m é à saída do modelo de referência e u_p e y_p são entradas e saída da planta respectivamente.

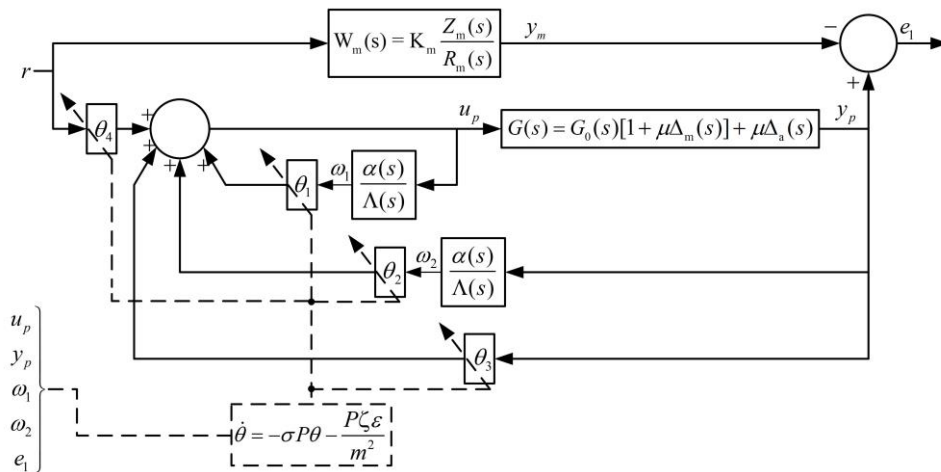


Figura 4. Estrutura do Controlador RMRAC.

O objetivo do controlador RMRAC é diminuir o erro entre a saída da planta e do modelo de referência. O algoritmo gradiente utilizado para a adaptação dos parâmetros do controlador não foi abordado neste estudo, apenas os parâmetros iniciais do algoritmo são citados a seguir na Equação 4. Baseado nos trabalhos de (MARTINS, 2006 e IOANNOU, 2003).

$$\delta_0 = 0.1 \qquad \delta_1 = 0.001 \qquad \sigma_0 = 0.01 \qquad M_0 = 0.01 \qquad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de simulação foram gerados com o software Octave, a uma frequência de amostragem de 1000Hz, todas as simulações utilizaram como referencia um sinal em rampa com amplitude de 3000 rpm. O motor simulado teve seus parâmetros baseados em um motor real existente no laboratório de automação na Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Na Tabela 1 observa-se, os parâmetros de acordo com o fabricante.

Parâmetro	$L_u(H)$	$R_u(\Omega)$	$K_m(Nm/A)$	$J(Kgm^2)$	$b(Nm/s)$	$K_b(V/rpm)$
Valor	$0.56e^{-3}$	1.2	$25.5e^{-3}$	$92.5e^{-7}$	$0.92e^{-6}$	$2.73e^{-3}$

Tabela 1. Parâmetros do motor BLDC 45 flat ϕ 45mm, 30 W, Maxon.

Substituindo os dados da Tabela 1 na Equação 1, obtém-se a planta utilizada nas simulações, além disso, utilizou-se $\omega_n = 100$ e $\xi = 1$ para obtenção dos parâmetros do controlador PI, gerando, $K_p = 0.0843$ e $K_i = 4.3561$. No controlador RMRAC utilizou-se a Equação 2 como modelo de referência e os parâmetros iniciais presentes na Equação 4. Na Figura 5, observa-se o distúrbio de torque aplicado nas simulações. Na Figura 6(A e B) observa-se a saída do controlador PI e do controlador RMRAC, respectivamente.

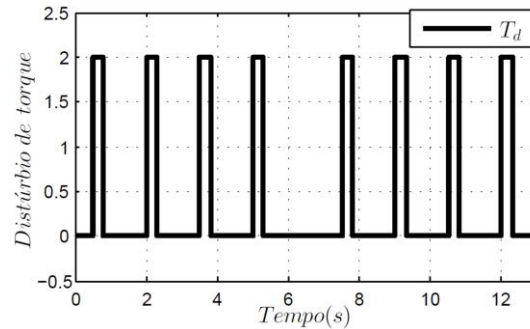


Figura 5. Distúrbio de Torque.

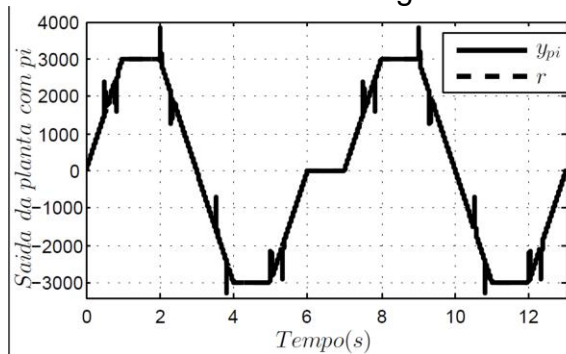


Figura 6(A). Saída do Controlador PI.

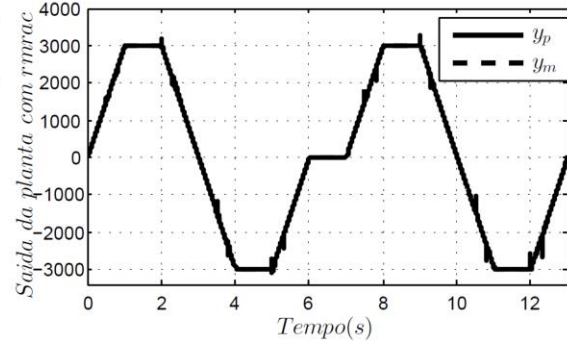


Figura 6(B). Saída do Controlador RMRAC

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que ambos os controladores apresentaram desempenho satisfatório quando aplicados a planta do motor BLDC. Entretanto, uma variação no torque aplicada na planta mostrou que o controlador RMRAC possui menor erro além de uma rápida resposta para convergir novamente à referência se comparado ao controlador PI, conforme observado na Figura 6.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUY, V.H.; BACH, D.H.; PHUONG, N.T. Discrete Time Optimal Tracking Control of BLDC Motor. Industrial Electronics and Applications (ICIEA) IEEE, Singapore, 7th, 383 – 387, 2012.
- SIMPKINS, A.; TODOROV, E. Position Estimation and Control of Compact BLDC Motors Based on Analog Linear Hall Effect Sensors. American Control Conference, Baltimore, MD, USA, 1948 – 1955, 2010.
- IOANNOU, P.A. **Robust Adaptive Control**. California: Digital Version, 2003.
- OGATA, K. **Modern Control Engineering 5°**. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2010.
- MARTINS, O.S. Comparação de Técnicas de Controle de Velocidade Sensorless Aplicadas a Motores de Indução em Plataforma DSP. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PPGEE, Universidade Federal de Santa Maria.