

IMPLEMENTAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS CONTROLADORES PI E PI COM MÉTODO ANTI-WINDUP APLICADOS A CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTORES CC SEM ESCOVAS EM SITUAÇÕES CRÍTICAS

Gaspar Henrique Martins de Oliveira, Ricardo Yudi Takahashi, Stefan Thiago Cury Alves dos Santos

Profº Drº José Roberto Boffino de Almeida Monteiro

Universidade de São Paulo

gasparhenrique32@usp.br, ricardotakahashi@usp.br, stefan.santos@usp.br

Objetivos

Aplicar a teoria de controle PI e PI com método anti-windup em BLDCM (Brushless DC Motors) - que são motores síncronos de ímã permanente de força contra-eletromotriz trapezoidal [1] - através do método descrito em [2] e implementar, via simulação e em sistema real, a fim de comparar as respostas de ambos os controladores em situações críticas, tais como elevada aceleração e degrau de torque.

Métodos e Procedimentos

Com o desenvolvimento de um modelo por fase da máquina síncrona [3], obteve-se o modelo de corrente contínua do mesmo considerando o acionamento trapezoidal (seis pulsos) em 120°. Com as funções de transferência de corrente e velocidade, foram projetados os controladores PI [4] de corrente e velocidade.

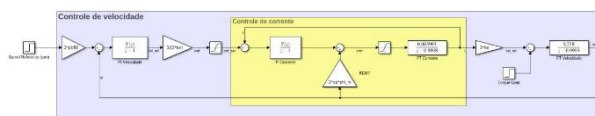


Figura 1: Modelo CC

Em seguida, utilizando a máquina elétrica e o inversor com IGBTs disponibilizados na biblioteca do Simulink, foi implementado em código o algoritmo de controle e acionamento do motor. É importante mencionar que o laço de controle de corrente é mais rápido, com um período de 100µs, enquanto que o de velocidade, 2,5ms.

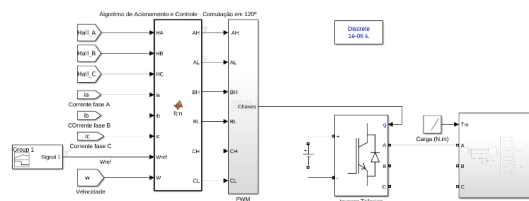


Figura 2: Acionamento da máquina

Equações do controle PI

$$u(k) = u(k-1) + K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T_{pwm} \cdot e(k-1) - K_p \cdot e(k-1)$$

Equação do controle PI+AW:

$$u(k) = u_{sat}(k-1) + K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T_{pwm} \cdot e(k) - u_{pwm}(k-1)$$

Para validação do modelo e controlador desenvolvidos, foi montada uma bancada experimental com um inversor trifásico conforme a Figura 4. Foi utilizada uma máquina síncrona da Siemens acoplada a um motor CC como carga, conforme a Figura 3.



Figura 3: Máquina Siemens (esquerda) acoplada ao motor CC (direita).

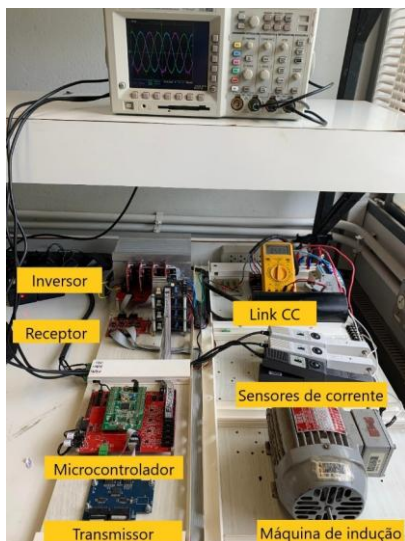


Figura 4: Bancada experimental acionando o motor de indução para testes.

Resultados

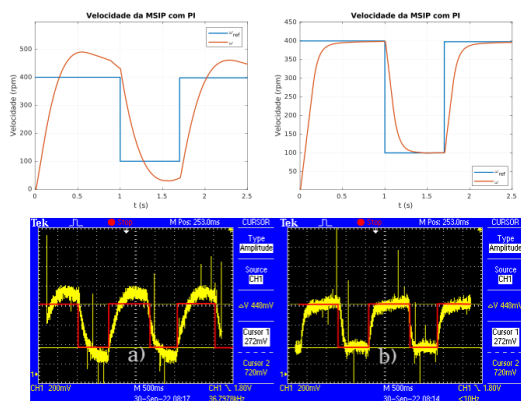


Figura 5: Respostas de velocidade da MSIP frente à variação do degrau de velocidade, entre valores de 100 e 400rpm.

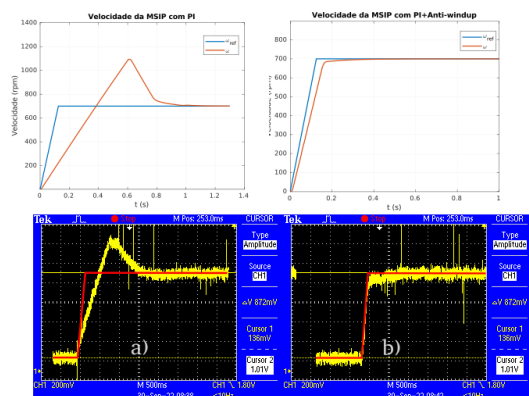


Figura 6: Respostas de velocidade da MSIP frente à entrada de rampa com aceleração de 5600rpm/s²

Para as figuras 5 e 6, temos os resultados simulados acima dos resultados testados na bancada experimental, com o controle PI à esquerda e o PI+AW à direita. Além da validação dos resultados simulados, nota-se a eliminação do sobressinal e um menor tempo para atingir o regime em situações críticas de alta aceleração.

Conclusões

Com o uso do método anti-windup aplicado ao controlador PI, é possível verificar melhorias nas respostas dinâmicas do sistema frente ao controlador PI puro. Tais melhorias encontradas foram:

1. Eliminação do erro em regime ao longo da curva de aceleração.
2. Menor tempo para atingir o regime.

Outros achados foram: redução do pico de corrente e torque eletromagnético para mesmos distúrbios de carga e redução do ruído de chaveamento sobre as correntes de fase. Ao mesmo tempo, com a adição dos saturadores na ação proporcional e integral, o controlador não explode sua saída e evita o sistema a ter grandes oscilações como é visto no controlador PI puro quando a aceleração é muito elevada.

Referências Bibliográficas

- [1] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives". Oxford: Clarendon Press, 1993
- [2] J. R. B. A. Monteiro, W. C. A. Pereira, M. P. Santana, T.E.P. Almeida, G. T. Paula, I. Santini, "Anti-windup Method for Fuzzy PD+I, PI and PI Controllers applied in Brushless DC Motor Speed Control" in 2013 Brazilian Power Electronics Conference.
- [3] J. R. B. A. Monteiro, "Estratégias de acionamento e controle em máquinas CA de ímã permanente com fluxo não senoidal". Escola de Engenharia de São Carlos, 1997.
- [4] K. J. Aström, T. Hägglund, "Advanced PID Control". ISA, 2005.