

## Sensoriamento de Motor de Indução Trifásico Com Carga Variável

Matheus Rodrigues Marangon<sup>1</sup>, Flávio Vitorino Queiroz<sup>1</sup>, Henrique Gonçalves da Silva<sup>1</sup>, Marcel Chuma Cerbantes<sup>2</sup>, José Henrique Galeti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas – MS

<sup>2</sup> China Three Gorges Corp – Ilha Solteira-SP

matheus.marangon@hotmail.com.br, marcel.cerbantes@ctgbr.com.br, jose.galeti@ifms.edu.br

### Resumo

Atualmente, o controle do motor de indução trifásico (MIT) é realizado via inversores de frequência, com os quais é possível controlar a velocidade do MIT variando a frequência de sua alimentação. O controle de velocidade via inversor possui diversas aplicações, tais como condicionadores de ar, esteiras de carga, dentre outras. Dependendo do tipo de controle a ser aplicado, pode haver variações na velocidade e torque do MIT. Nesse trabalho, tem-se por objetivo maximizar a eficiência energética do MIT com cargas variáveis através da implementação prática de controladores robustos  $H^\infty$  usando Inequações Matriciais Lineares (LMIs). Para viabilizar o desenvolvimento do controlador foram realizadas medições de tensão fase-fase, corrente de fase e velocidade do MIT. Os resultados obtidos são validados através de simulações do MIT no Simulink.

**Palavras-chave:** Sensoriamento de Motor de Indução Trifásico com carga variável.

### Introdução

Esse trabalho faz parte do Projeto de Controladores Robustos para Motor de Indução Trifásico (MIT) com cargas variáveis, sendo seu principal objetivo validar medidas elétricas e mecânicas práticas do MIT.

As melhorias de estratégias de controle de velocidade e acionamento de MITs tiveram início por conta de avanços significativos da eletrônica de potência, aumentando os benefícios para os setores produtivos e de energia elétrica [1], [2]. As melhorias de controle e acionamento dos MITs por meio de inversores de frequência possibilitaram redução no consumo energético, flexibilidade na operação e redução no custo de infraestrutura elétrica. Com isso, estudos de controle aplicados para MITs tem atraído o interesse de pesquisadores da área [3], [4].

No setor industrial o controle de velocidade e torque do MIT utiliza controladores como PI, PID e PD [5], [6]. Um dos problemas para implementar o controle é a dificuldade na estimação adequada dos parâmetros do MIT, pois as variações nos parâmetros ocorrem de acordo com a operação MIT, causando desvios no sistema de controle [7], [8]. Com isso, utiliza-se estudos de técnicas de controle robustos que tem em consideração essas variações no parâmetros do MIT [9]. Neste trabalho são realizadas medidas elétricas e mecânicas do MIT com intuito de identificar as variações dos parâmetros do MIT para

desenvolvimento do controlador para maximizar a eficiência energética do MIT.

### Metodologia e desenvolvimento

Nesse projeto foi utilizando uma bancada didática para realizar as medidas da tensão, corrente e velocidade do MIT.



Figura 1. Bancada do MIT.

Para realizar as medidas de tensão, corrente e velocidade do MIT, foi necessário usar diversas estratégias de medições para obter resultados satisfatórios. Para realizar a medida de tensão do MIT, foi necessário fazer um filtro passa-baixa com um divisor de tensão na sua entrada.

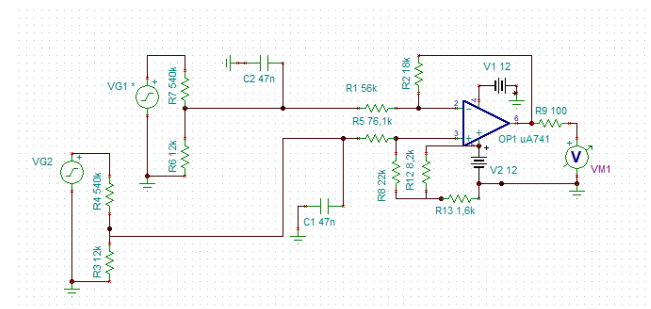


Figura 2. Filtro passa-baixa.

A aquisição da corrente foi feita por um sensor de corrente 5A (ACS712-5A), que está em serie com umas das fases do motor de indução trifásico.



Figura 3. Sensor de corrente ACS712-5A.

O motor de indução trifásico utilizado no projeto tem um disco fixo no eixo do motor, repartindo o disco em quatro faixas pretas (Figura 5) e utilizando um sensor de proximidade óptico, ligado ao um osciloscópio, é possível medir a frequência de rotação do disco.



Figura 4. Sensor de proximidade óptico.



Figura 5. Ligação do sensor de proximidade óptico.

## Resultados e Considerações Finais

Nessa seção será apresentada os resultados das medidas realizadas no MIT.

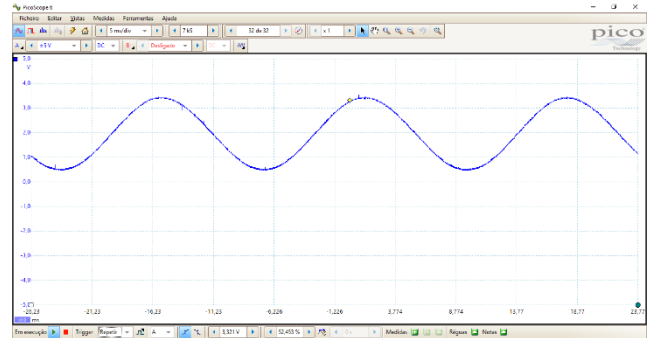


Figura 7. Medida de tensão.

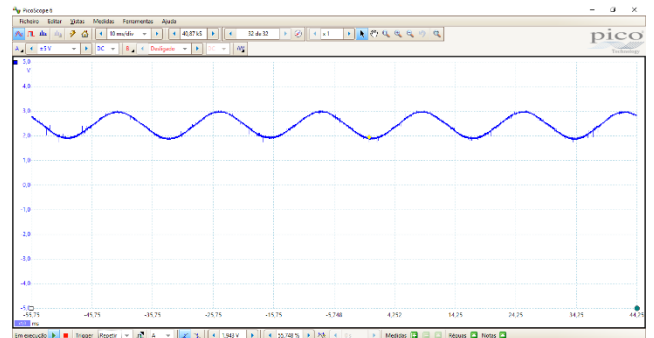


Figura 8. Medida de corrente.

Utilizando o sensor de proximidade óptico (figura 4), foi possível medir a frequência de rotação do disco.

Tabela 1. Frequência do disco.

Inversor de Frequência	Frequência de rotação do disco
60Hz	120Hz

Na tabela 1 pode-se verificar a frequência de rotação do disco do motor de indução trifásico com o inversor de frequência em 60Hz (velocidade máxima). Utilizando a equação abaixo, é possível obter velocidade do MIT em RPM, onde FD é a frequência de rotação do disco, e a constante a 4 é o número de polos do MIT.

$$RPM = \frac{FD}{4} 60 \quad (1)$$

Resolvendo a equação foi verificado que a velocidade em vazio do MIT é 1800 rpm. Por outro lado, o inversor, que aciona o motor, produz um controle de velocidade em malha aberta de forma a manter a velocidade aproximadamente constante mesmo com um aumento da carga, o que pode levar o motor a operar fora do ponto de ótima eficiência. Foram feitas medições da velocidade versus carga na bancada anteriormente descrita.

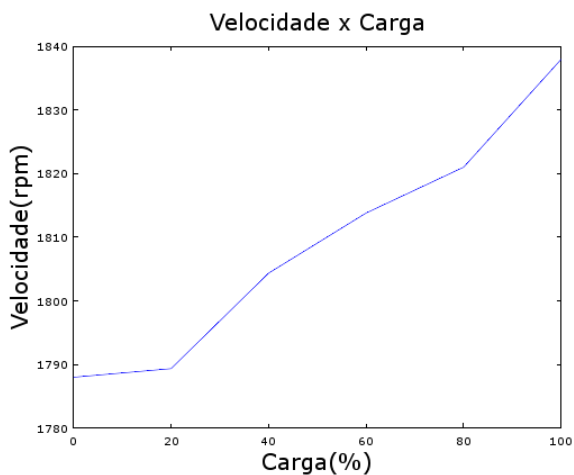


Figura 9. Velocidade x Carga.

Pode-se verificar no gráfico (Figura 9) a variação da velocidade do MIT, variando a carga. Conforme é visto na Figura 9, há uma pequena variação na velocidade do MIT entre 1789 à 1839, isso porque o inversor de frequência estava em 60Hz e o mesmo estava controlando a velocidade do MIT, mantendo aproximadamente em 1800 rpm.

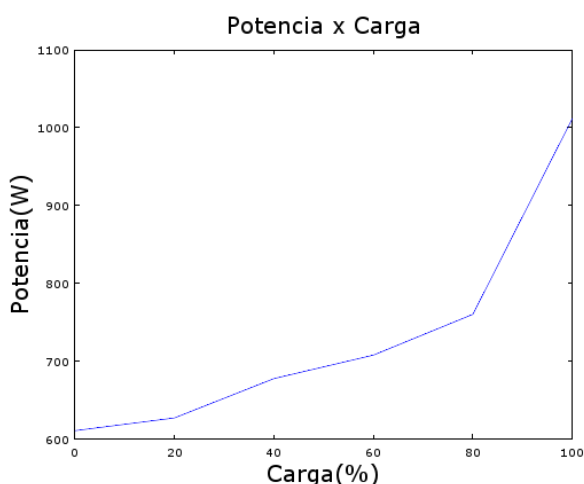


Figura 10. Potência x Carga.

Com as medições realizadas no motor de indução trifásico, podemos verificar como o MIT se comporta em diversas

situações, verificando o seu comportamento em vazio ou com carga.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro (Edital nº 035/2017 ID 68) e ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas – MS.

### Referências

- [1] K. Belda, D. Vosmik, "Explicit generalized predictive control of speed and position of PMSM drives", IEEE Trans. Ind. Electron., vol.63, no. 6, pp. 3889-3896, Jun. 2016.
- [2] BOSE, B. K. **Modern Power electronics and ac drives**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
- [3] LUGLI, A. B.; ARAÚJO, F. M.; FLORIANO, G. H. F.; SILVA, J. P.; HENRIQUES, J. P.; VOLPATO, R. M.; MASSELLI, Y. M. C. **Controle vetorial e escalar para motores de indução trifásicos**. In: SAISEE, 2015, Santa Rita do Sapucaí. Proceedings... Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 2015.
- [4] ORTUNHO, T. V.; RIBEIRO, J. M. S.; TEIXEIRA, M. C. M.; GARCIA, J. P. F. **Projeto de controladores robustos  $H_{\infty}$  usando LMIs para controle de um motor de indução trifásico com incertezas**. In: DINCON, 2015, Natal. Proceedings... Natal: SBMAC, 2015.
- [5] J. Jung, V. Q. Leu, T. D. Do, E. Kim, H. H. Choi, "Adaptive PID speed control design for permanent magnet synchronous motordrives", IEEE Trans. Power Electron, vol. 30, no. 2, pp. 900-908, Feb. 2015.
- [6] L. Niu, D. Xu, M. Yang, X. Gui, Z. Liu, "On-line inertia identification algorithm for PI parameters optimization in speed loop", IEEE Trans. Power Electron, vol. 30, no. 2, pp. 849-859, Feb. 2015.
- [7] F. Alonge, F. D'Ippolito, A. Sferlazza, "Sensorless control of induction-motor drive based on robust Kalman filter and adaptive speedestimation", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 3, pp. 1444-1453, Mar. 2014.
- [8] J. Yang, W. -H. Chen, S. Li, L. Guo, Y. Yan, "Disturbance/uncertainty estimation and attenuation techniques in PMSM drives—Asurvey", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 64, no. 4, pp. 3273-3285, Apr. 2017.
- [9] M. Siami, D. A. Khaburi, A. Abbaszadeh, J. Rodriguez, "Robustness improvement of predictive current control using prediction errorcorrection for permanent-magnet synchronous machines", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 6, pp. 3458-3466, Jun. 2016.