

PLATAFORMA DE ENSAIOS DE ENGENHARIA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRÍFASICOS COM CARGA VARIÁVEL - CONTROLE

Hélcio Henrique Gonçalves da Silva¹, José Henrique Galeti¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas - MS

Helcio.silva@estudante.ifms.edu.br, jose.galeti@ifms.edu.br

Resumo

Atualmente, a utilização de controle em motores de indução trifásico (MIT) é realizado a partir de inversores de frequência, com os quais é possível controlar a velocidade do MIT variando a frequência de sua alimentação, alguns exemplos de aplicação na indústria são: ar condicionado, moendas de cana, esteiras de carga, dentre outras diversas aplicações. Dependendo do tipo de controle a ser aplicado, pode haver variações na velocidade e torque do MIT. Neste projeto objetiva-se desenvolver uma bancada didática e instrumentalizada que auxilie o aluno na compreensão das respostas de uma planta real quando for aplicado alguma técnica de controle. Para isso foram utilizados uma bancada com MIT e freio magnético, o hardware Myrio para aquisição das variáveis elétricas e mecânicas dos sistemas e controle do mesmo, além de um conjunto de sensores e circuitos projetados para as respectivas medições. Os resultados obtidos foram a implementação de um sistema básico de controle PID pela leitura da velocidade real, que foi feita através da programação em blocos no LabView.

Palavras-chave: Motor, Myrio, Controle, LabView.

Introdução

As novas técnicas de controle e acionamento dos MITs, principalmente através de inversores de frequência, foram viabilizadas pelo desenvolvimento de dispositivos de eletrônica de potência mais baratos e eficientes. Este avanço de tecnologia vem proporcionando, além da uma maior flexibilidade de operação, redução dos custos de infraestrutura elétrica, um menor consumo de energia elétrica, sem contar na melhoria da qualidade da energia elétrica [1]–[4]. Industrialmente, a execução do controle de velocidade e torque do MIT utiliza, em sua maioria, controladores clássicos como PI, PD e PID [5],[6], e para alguns casos em que se busca melhor desempenho ou uma outra aplicabilidade, temos diversas técnicas, como por exemplo, Redes Neurais Artificiais [7], Fuzzy [8], Modos Deslizantes [9] e dentre outros.

Neste projeto propõe-se o desenvolvimento de uma plataforma de controle de MIT com carga variável destinado a experimentação com a possibilidade de uso com diferentes técnicas de controle, fazendo com que a bancada após ser totalmente instrumentalizada possa ser utilizada como um modelo prático de planta real nas disciplinas de controle,

validando os controladores projetados pelos alunos teoricamente, além do auxílio em ver na prática técnica que são apresentadas em sala de aula.

Fundamentação Teórica

Nessa seção é apresentada uma revisão da descrição em espaços de estados, a partir de formulas e equações tiradas do modelamento parcial do motor [1], [4], [6].

$$\dot{x}(t) = A(\alpha)x(t) + B_u(\alpha)u(t) + B_w(\alpha)T_l(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C(\alpha)x(t)$$

Em (1), temos as equações do motor em formas de variáveis de estados, a onde o $T_l(t)$ é o torque de carga, e pela representação em variáveis de estado utilizando o controle robusto, consideramos como uma perturbação no sistema.

$$A(\alpha) = \begin{bmatrix} a^{11} & a^{12} & a^{13} & a^{14} \\ a^{21} & a^{22} & a^{23} & a^{24} \\ a^{31} & a^{32} & a^{33} & a^{34} \\ a^{41} & a^{42} & a^{43} & a^{44} \end{bmatrix}$$

$$a_{11} = - \left[\frac{R_s}{\sigma \cdot l_s} + \frac{R_r(1-\sigma)}{\sigma \cdot l_s} \right]; a_{12} = w_s; a_{13} = \frac{l_m \cdot R_r}{\sigma \cdot l_s \cdot l_r^2};$$

$$a_{21} = -w_s; a_{22} = - \frac{R_s}{\sigma \cdot l_s}; a_{23} = \frac{w_s \cdot l_m}{\sigma \cdot l_s \cdot l_r}$$

$$a_{31} = \frac{l_m \cdot R_r}{l_r}; a_{33} = - \frac{R_r}{l_r}; a_{42} = \frac{Kt}{J}; a_{44} = - \frac{B}{J};$$

$$a_{14} = a_{24} = a_{32} = a_{34} = a_{41} = a_{43} = 0 \quad (2)$$

Em (2), possuímos variáveis como R_s e R_r , que são as resistências do estator e rotor, também temos l_s , l_r e l_m , que representam as indutâncias do estator, rotor e mútua, B , J , σ , onde respectivamente o primeiro e o coeficiente de atrito viscoso, momento de inercia e coeficiente de dispersão do

MIT, w_s é a referência síncrona girante e K é a constante de torque, estabilidade.

$$Bu(\alpha) = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \\ b_{41} & b_{42} \end{bmatrix}$$

$$b_{11} = b_{22} = \frac{1}{\sigma \cdot L_s}$$

$$b_{12} = b_{21} = b_{31} = 0$$

$$b_{32} = b_{41} = b_{42} = 0 \quad (3)$$

$$Bw(\alpha) = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \end{bmatrix}$$

$$a_{11} = a_{12} = a_{13} = 0; \quad (4)$$

$$a_{14} = \frac{1}{J}$$

$$C(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \end{bmatrix}$$

$$a_{11} = i_{ds}^e \quad (6)$$

$$a_{12} = i_{qs}^e$$

$$a_{13} = \phi_{dr}^e$$

$$a_{14} = w_r$$

Em (6), i_{ds}^e e i_{qs}^e são as componentes do eixo direto e em quadratura da corrente do estator, ϕ_{dr}^e é o componente do eixo direto e em quadratura do fluxo do rotor e w_r é a velocidade do rotor.

$$u(t) = \begin{bmatrix} v_{ds}^e \\ v_{qs}^e \end{bmatrix} \quad (7)$$

Em (7), temos as componentes do eixo direto e em quadratura da tensão do estator e rotor.

Simulações e Resultados

Primeiramente, toda a base experimental é feita diretamente na bancada didática da “AutômatuS” cedida pelo IFMS para utilização na pesquisa. Ela conta com um inversor de frequência com operação em controle escalar e vetorial, o MIT possui 4 pólos e um freio magnético acoplado ao eixo, que funciona a partir de uma célula de carga, além do controle de velocidade e torque feito manualmente por meio de dois potenciômetros comuns (figura 1).



Figura 1. Bancada didática.



Figura 2. MyRio

Em seguida com auxílio do MyRio (Figura 2) e o software do Labview, foi possível dar início às primeiras simulações da bancada, para isso foi interligado todos os circuitos para termos as variáveis mecânicas e elétricas que possuem no MIT, para podermos fazer nosso primeiro controle na bancada.

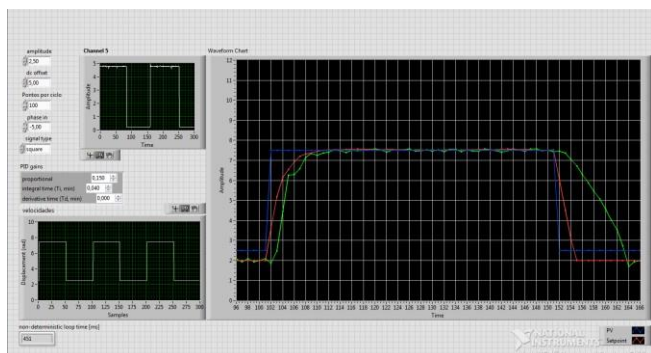


Figura 3. Controle PID implementado no LabView-Myrio.

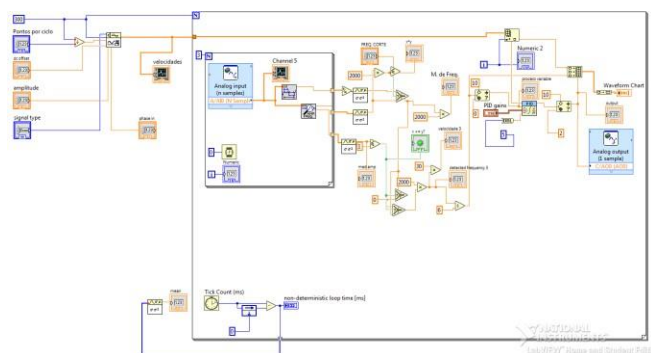


Figura 4. Diagrama de Blocos do Controle PID implementado no LabView-Myrio.

Por fim foi implementado o sistema de controle PID, baseado na realimentação da velocidade real x o setpoint programado, ou seja, com base na velocidade programada do inversor conseguimos fazer esse controle, é possível visualizar em tempo real o sinal programado, o sinal real e o comportamento em estado de transitório, e a partir disso temos um sinal de erro que é gerado de um função para outra.

Na Figura 3, verificamos o uso do Labview e nossa interface de controle, nela temos alguns botões para melhor otimização da tela e temos a implementação do controle PID, a cor azul é referente ao setpoint imposto pelo inversor de frequência, já a cor verde e a realimentação da velocidade real medida através dos sensores, e por fim a cor vermelha remete ao erro destas outras duas.

Na Figura 4, temos o nosso programa em blocos no LabView, nele temos as características do motor e o sistema modelado internamente, a partir dele conseguimos fazer esse controle e modificações.

Considerações Finais

A bancada está toda instrumentalizada, as medidas estão boas e coerentes, o que garante uma boa ação dos nossos sensores e resposta dos controladores, e o sistema já funciona para ações de controle básicas como PID. Como um próximo passo, faltar integrar os circuitos de torque/corrente/tensão e desenvolver outros tipos de controle em cima da bancada, contudo a bancada já é de grande utilidade para um docente que queira ministrar uma disciplina prática na área de controle.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul –Três Lagoas–MS.

Referências

- [1] BOSE, B. K. Modern Power electronics and acdrives. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
- [2] 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.
- [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_∞ 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 motor drives", 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] D. Q. Dang, M. S. Razaq, H. H. Choi, J.-W. Jung, "Online parameter estimation technique for adaptive control applications of interior PM synchronous motor drives", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 3, pp. 1438-1449 Mar. 2016.
- [8] F. Alonge, F. D'Ippolito, A. Sferlazza, "Sensorless control of induction-motor drive based on robust Kalman filter and adaptive speed estimation", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 3, pp. 1444- 1453, Mar. 2014.
- [9] N. Salvatore, A. Caponio, F. Neri, S. Stasi, G. L. Cascella, "Optimization of delayed-state Kalman-filter-based algorithm via differential evolution for sensorless control of induction motors", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 1, pp. 385-394, Jan. 2010.