



Universidade Federal de Itajubá

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Estimação Automática de Velocidade de Motores de Indução Utilizando Sistemas Inteligentes

Levy Ely de Lacerda de Oliveira

Itajubá, março de 2006

Sumário

Agradecimentos	I
Sumário	II
Lista de Figuras	V
Lista de Tabelas	XI
Lista de Acrônimos	XII
Lista de Símbolos	XIII
Resumo	XV
Abstract	XVII
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Visão Geral	1
1.2 Sistema Remoto e Autônomo	2
1.3 Organização do Trabalho.....	4
Capítulo 2	6
Hardware de Aquisição e Comunicação	6
2.1 Especificações	6
2.2 Descrição do <i>Hardware</i> Desenvolvido	7
2.3 <i>Firmware</i> de Controle e Comunicação.....	8
2.4 Conclusão	10
Capítulo 3	12
Análise das Técnicas Tradicionais de Estimação de Velocidade	12
3.1 Introdução	12
3.2 Técnicas tradicionais de estimação de velocidade	13
3.3 Problemas da estimação de velocidade por análise espectral tradicional ..	17
3.4 Conclusões	23

Capítulo 4	25
Estimação de Velocidade por Ajuste de Modelo de Assinatura de Corrente (AMAC)	25
4.1 Introdução	25
4.2 Descrição da metodologia.....	26
4.2.1 <i>Determinação das candidatas à velocidade rotórica</i>	29
4.2.2 <i>Relação entre AMAC e métodos tradicionais de estimação espectral</i>	30
4.3 Fundamentação da Metodologia.....	31
4.4 Exemplo de ajuste de modelo a uma assinatura de um motor real	37
4.5 Considerações sobre o Índice de Ajuste Final	41
4.5.1 <i>Definições Básicas</i>	41
4.5.2 <i>Definição do índice de ajuste final</i>	41
4.6 Conclusões	50
Capítulo 5	52
Resultados Experimentais	52
5.1 Introdução	52
5.2 Ensaio Laboratoriais de Estimação de Velocidade pela Metodologia AMAC	55
5.3 Resultados Experimentais em Campo – Siemens, Curitiba-PR.....	70
Capítulo 6	79
Conclusões	79
Capítulo 7	82
Sugestões para Trabalhos Futuros	82
8 Referências Bibliográficas	83
Apêndice A- Considerações sobre a Incerteza na Determinação da Frequência de Rotação	86
A1. Cálculo de fr a partir da primeira componente da direita de barra-quebrada	87
A2. Cálculo de fr a partir da primeira componente da direita de excentricidade em baixa frequência	90

A3. Cálculo de f_r a partir da primeira componente da direita de excentricidade em alta frequência	91
A4. Comparações entre os métodos de cálculo	92
A5. Considerações sobre a Incerteza na Determinação das Componentes Características e suas Harmônicas	93

Resumo

A manutenção preditiva por análise da assinatura da corrente de motores (MCSA) vem sendo reconhecida como uma ferramenta efetiva no combate a paradas não programadas no sentido de se aumentar a disponibilidade de motores de indução e seus processos. A estimação da velocidade rotórica é uma das etapas necessárias para aplicação desta técnica, uma vez que todas as frequências características de falhas mecânicas são calculadas a partir deste parâmetro, direta ou indiretamente.

Uma vez que se tenha um algoritmo robusto para estimação de velocidade rotórica e identificação de componentes características de falhas, torna-se possível a implementação de um sistema para monitoração remota da condição de operação de MITs que seja automático e que demande o mínimo de esforço de análise por parte do usuário, poupando tempo e recursos humanos.

Em geral, os métodos de estimação de velocidade por meio de análise espectral se baseiam unicamente na identificação da componente de excentricidade estática em torno da frequência de ranhuras (*slot frequency*). O objetivo destes trabalhos quase sempre é a identificação da velocidade rotórica para fins de controle de acionamentos e não especificamente a identificação de componentes indicativas de falhas nas assinaturas elétricas dos MITs.

Neste trabalho é proposta uma abordagem diferente para estimação da velocidade rotórica. Esta abordagem se baseia no ajuste de um modelo de assinatura elétrica do MIT ao seu espectrograma real. O modelo de assinatura é construído com base nas informações disponíveis sobre o MIT: dados de placa, características construtivas e características do acionamento de que ele faz parte. A abordagem é bastante flexível permitindo a utilização de um modelo parcial, caso alguma informação sobre o MIT não seja disponível.

O ajuste de modelo de assinatura reproduz e formaliza muito bem o processo intuitivo e heurístico utilizado por especialistas quando da análise do espectro de corrente de um motor cuja velocidade rotórica é desconhecida.

Nesta abordagem, o objetivo é a identificação da velocidade rotórica bem como a correta identificação das componentes espectrais indicativas de

falhas no MIT. Assim, erros de velocidade admissíveis numa aplicação de controle, mas que provoquem a identificação enganosa de uma componente espectral, não podem ser admitidos.

A efetividade da abordagem proposta foi avaliada em laboratório e em assinaturas de motores funcionando em ambiente industrial, demonstrando sua validade e generalidade.

A abordagem por ajuste de modelo de assinatura constitui uma metodologia conveniente para a solução de problemas de identificação de padrões e extração de características em geral, não se limitando à aplicação descrita neste trabalho.

Referências Bibliográficas

[1] Massimo Aiello, Antonio Cataliotti and Salvatore Nuccio, "An Induction Motor Speed Measurement Method Based on Current Harmonic Analysis with the Chirp-Z Transform", IEEE Transactions on Industry Applications, vol 54, pp 1811-1819, 2005;

[2] Tong Zhao, Donald S. Zinger, "Induction Motor Speed Detection By Applying Goertzel's Algorithm To Current Harmonics", In Proceedings of the WSEAS ICOPES, october 2002;

[3] José M. Aller, Thomas G. Habetler, Ronald G. Harley, Rangarajan M. Tallam, Sang Bin Lee, "Sensorless Speed Measurement of AC Machines Using Analytic Wavelet Transform", IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 38, pp 1344-1350, 2002;

[4] P. Pillay, Z. Xu, "Labview Implementation Of Speed Detection for Mains-Fed Motors Using Motor Current Signature Analysis", IEEE Power Engineering Review, pp 47-48, June 1998;

[5] Subhasis Nandi, Hamid A. Toliyat, "Detection Of Rotor Slots and Other Eccentricity Related Harmonics In A Three Phase Induction Motor With Different Rotor Cages", IEEE Transactions on Energy Conversion, pp 253-260, September 2001;

[6] Gerald B. Kliman, William J. Premerlani, Birsen Yazici, Rudolph A. Koegl, Jeff Mazereeuw, "Sensorless, Online Motor Diagnostics", IEEE Computer Applications in Power, pp39-43, April 1997;

[7] Birsen Yazici, Gerald B. Kliman, "An Adaptive Statistical Time-Frequency Method for Detection of Broken Bars and Bearing Faults in Motors Using Current", IEEE Transactions on Industry Applications, vol .35, pp 442-452, 1999;

[8] Mohamed El Hachemi Benbouzid, "A Review Of Induction Motors Signature Analysis As A Medium for Faults Detection", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, pp 984-993, 2000;

[9] Kevin D. Hurst and Thomas G. Habetler, "Sensorless Speed Measurement Using Current Harmonic Spectral Estimation in Induction Drives", IEEE Transactions on Power Electronics, vol 11, pp 66-73, 1996;

[10] Kevin D. Hurst , Thomas G. Habetler, Giovanni Griva e Francesco Profumo, "A Self-Tuning Closed-Loop Flux Observer for Sensorless Torque Control of Standard Induction Machines", IEEE Transactions on Power Electronics, vol 12, pp 807-815, 1997;

[11] Randy R. Schoen, Brian K. Lin, Thomas G. Habetler, Jay H. Schlag and Samir Farag, "An Unsupervised, On-Line System for Induction Motor Fault Detection Using Stator Current Monitoring", IEEE Transactions on Industry Applications, vol 31, pp 1280-1286, 1995;

[12] "Rabbit 3000 Microprocessor – User's Manual", Rabbit Semiconductor, Part Number 019-0108 · 020426-A, · Printed in U.S.A.;

[13] "Rabbit 2000/3000 Microprocessor – Instruction Reference Manual", Rabbit Semiconductor, Part Number 019-0098 C · 020416, · Printed in U.S.A.;

[14] "An Introduction to TCP/IP for Embedded System Designers", Zworld Inc., Part Number 019-0074 · 010809-F, Printed in USA;

[15] "Dynamic C – TCP/IP User's Manual", Zworld Inc., Part Number 019-0100 020131-D, Printed in USA;

[16] "Dynamic C- User's Manual", Zworld Inc., Part Number 019-0071 · 020409 - Q, Printed in USA;

[17] Matlab[®] Help, Ver. 6.1.0.450, Release 12.1, The MathWorks Inc;

[18] Fluke i200/i200s, AC Current Clamp, PN 4822 872 00934, Fluke Corporation, <http://www.fluke.com>, fevereiro/2006

[19] “User Operating Manual for Machinery Fault Simulator™”, Spectra Quest, Inc, Vibration Solutions, <http://www.spectraquest.com>, fevereiro/2006

[20] “The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing”, Second Edition, Steven W. Smith, Califórnia Technical Publishing, San Diego, California