



DINCON 2017

CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES
30 de outubro a 01 de novembro de 2017 – São José do Rio Preto/SP

PROTÓTIPO DE SISTEMA PARA ANÁLISE DA SAÚDE DE MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICO VIA ASSINATURA DE CORRENTE E ÍNDICES NORMATIZADOS DE DESEQUILÍBRIOS

Pedro Moreira Leite Alcamim¹

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Campus de Itabira, MG

Herbert Oliveira Ramos²

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Campus de Itabira, MG

Guilherme Mendes Cicarini Hott³

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Campus de Itabira, MG

Resumo. Este artigo consiste na documentação dos métodos e resultados obtidos do projeto de um sistema para análise de um motor de indução trifásico (MIT) usando os índices de desequilíbrio NEMA, IEEE e IEC e análise de assinatura de corrente. A medida da corrente do MIT foi realizada a partir de sensores hall de corrente, placa de aquisição USB-6212 e interface computacional para visualização. Os índices e a assinatura de corrente foram obtidos para o caso do motor saudável e com anomalia, configurando um bom sistema para identificação de problemas. Foram identificados de forma satisfatória os defeitos acerca de motores elétricos pelo método proposto.

Palavras-chave. Análise de assinatura de corrente do motor, NEMA, IEEE e IEC.

1 Introdução

Os avanços industriais trouxeram o motor de indução trifásico (MIT) como um dos principais elementos em ambientes fabris, tornando os problemas associados aos motores elétricos objeto de preocupação do setor produtivo e financeiro, uma vez que estes podem causar perdas de produção e financeira. Entre os diversos problemas do MIT, destacam-se os de vibração, aquecimento e problemas elétricos (isolação, desbalanço de tensão e corrente e afins) [1, 2].

Logo, os métodos que procuram identificar as falhas em motores elétricos de maneira a evitar paradas inesperadas tornaram objeto de estudo. Dentre esses métodos destacam-se os métodos

¹ pedroo2005@hotmail.com

² herbert.ramos11@hotmail.com

³ eng_guilhermemendes@hotmail.com

não-invasivos, pois podem ser implementados com a máquina em funcionamento e são capazes de fornecer informações do estado da máquina, tais informações podem apontar possíveis problemas antes que máquina venha a parar. Os principais métodos não-invasivos são: Medida de temperatura, termografia, medida de vibração e análise de assinatura de corrente [3, 4, 5].

Esse artigo busca utilizar o método de análise de assinatura de corrente para identificar problemas em MIT, com vista para problemas de vibração. Também serão utilizados índices como fator de desequilíbrio do IEC, IEEE e NEMA para quantificar o tamanho do desequilíbrio causado pela anomalia da máquina.

O método de análise de assinatura de corrente procura medir a corrente do estator da máquina e assim identificar problemas de funcionamento da máquina elétrica, possibilitando a identificação de diferentes problemas [4, 6].

Os índices com fator de desequilíbrio do IEC, IEEE e NEMA são índices que apresentam uma medida da quantidade de desbalanço entre as fases da máquina. Sendo possível observar o tamanho do desequilíbrio apresentado pela anomalia presente na máquina [7, 8, 9].

2 Análise de assinatura de corrente do motor

A análise de assinatura de corrente do motor (MCSA) consiste em um método de análise da corrente do motor em tempo real, utilizando o espectro do sinal de corrente das fases do motor para fazer a análise. Compara-se o espectro medido em tempo real com o espectro do motor saudável, quando o motor está com alguma falha o espectro medido irá divergir do espectro do motor saudável. As falhas na máquina apresentam alterações no entreferro e produzem frequências harmônicas girantes nas indutâncias do MIT, essas alterações nas indutâncias da máquina produzem corrente harmônicas fora da frequência fundamental. Com isso, é possível observar, no domínio da frequência, alterações no funcionamento dos motores elétricos [10, 11].

Com o uso da MCSA é possível detectar excentricidade do entreferro, defeitos em rolamentos, curtos-circuitos entre bobinas do estator, rotor desbalanceado, assimetria do rotor e barras quebradas do rotor. Sendo que cada problema desse apresenta um diferente espectro do sinal da corrente [10, 11].

3 Índices de desequilíbrio elétrico

No caso dos desequilíbrios de corrente para motores, a NEMA define que o grau de desequilíbrio de corrente é a relação entre o máximo desvio da média das correntes de linha e a média das correntes de linha, podendo ser calculado por (1) [7]:

$$IUF(\%) = \frac{|I_{m\acute{a}x}| - |I_{m\acute{e}dia}|}{|I_{m\acute{e}dia}|} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

- $IUF(\%)$ é o fator de desequilíbrio em porcentagem;
- $|I_{m\acute{a}x}|$ é o módulo da máxima corrente de linha;
- $|I_{m\acute{e}dia}|$ é o módulo da média das correntes de linha.

Conforme [9] apresenta detalhe sobre o cálculo do fator de desequilíbrio de corrente baseado na IEC. Segundo a mesma, o grau de desequilíbrio de corrente é mensurado através da relação entre as correntes de sequência negativa e positiva, podendo ser calculado por (2):

$$IUF(\%) = \frac{|I_-|}{|I_+|} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

- $IUF(\%)$ é o fator de desequilíbrio em porcentagem;
- $|I_-|$ é o módulo da corrente de sequência negativa;
- $|I_+|$ é o módulo da corrente de sequência positiva.

Sendo que para obter as correntes de sequência positiva, negativa e zero foi utilizado o teorema de Fortescue apresentado em [12].

No caso dos desequilíbrios de corrente, o IEEE define que o grau de desequilíbrio de corrente é a relação entre a máxima amplitude das correntes de fase e a média das correntes de fase, podendo ser calculado por (4) [8]:

$$IUF(\%) = \frac{3(|I_{máx}| - |I_{mín}|)}{|I_{AN}| + |I_{BN}| + |I_{CN}|} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

- $IUF(\%)$ é o fator de desequilíbrio em porcentagem;
- $|I_{máx}|$ é o módulo da máxima corrente de fase;
- $|I_{mín}|$ é o módulo da mínima corrente de fase;
- $|I_{AN}|$ é o módulo da corrente de fase “AN”;
- $|I_{BN}|$ é o módulo da corrente de fase “BN”;
- $|I_{CN}|$ é o módulo da corrente de fase “CN”;

4 Metodologia

De acordo com a Figura 1, para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário o uso dos seguintes componentes:

- Motor de indução trifásico WEG 5 CV;
- Sensor *Hall* de corrente;
- Placa de aquisição NI USB 6212;
- Computador com software *LabVIEW*.

O diagrama de blocos que representa o sistema físico e virtual (digital) está apresentado na Figura 1.

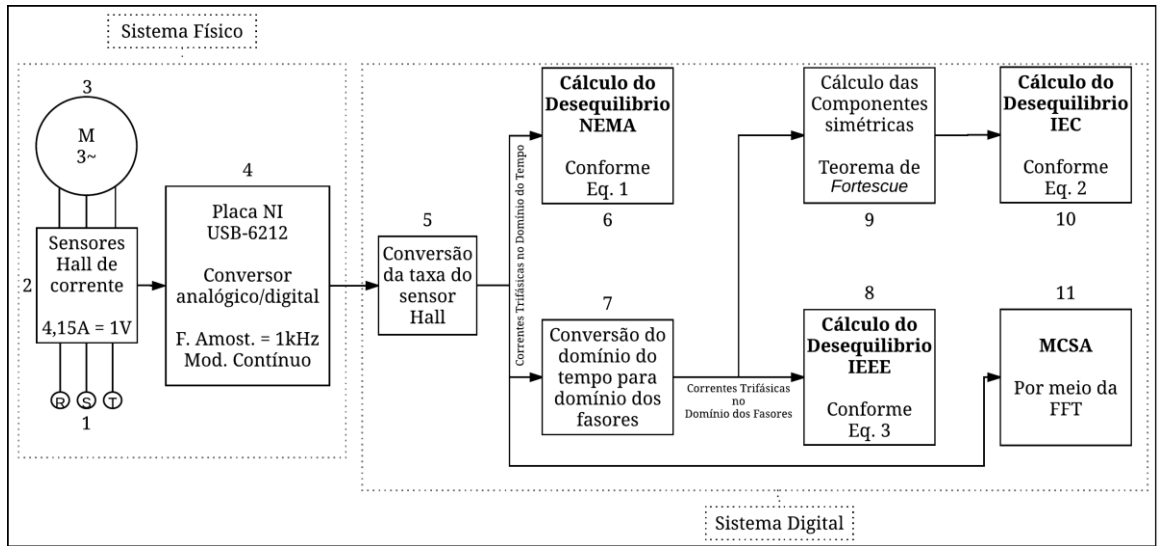


Figura 1: Diagrama de blocos simplificado do sistema de análise.

Na Figura 1, o bloco “1” representa a rede elétrica trifásica de 220 [V]. O bloco “2” representa o sensor *hall* de corrente que realiza a captação da corrente elétrica com uma taxa de 4,15 [A] por 1 [V] de saída. O bloco “3” representa o motor de indução trifásico de 5 [CV] da WEG, que será utilizado com e sem anomalia. O bloco “4” consiste na conversão analógica/digital e utiliza a placa NI USB 6212 da *Nacional Instruments*. O bloco “5” realiza a conversão da taxa do sensor *hall*, fazendo a multiplicação da entrada por 4,15. O bloco “6” realiza os cálculos do desequilíbrio NEMA conforme equação 1. O bloco “7” faz a conversão do domínio do tempo para o domínio dos fasores. O bloco “8” realiza os cálculos do desequilíbrio IEEE conforme equação 3. O bloco “9” realiza a transformação do domínio dos fasores para o domínio das componentes simétricas conforme [12]. O bloco “10” realiza os cálculos do desequilíbrio IEC conforme equação 2. O bloco “11” realiza a transformada rápida de Fourier “*Fast Fourier Transform*” (FFT) para obtenção da Análise da Assinatura de Corrente do Motor (MCSA).

No bloco “4” da Figura 1 utilizou-se a placa de aquisição NI USB 6212 da *Nacional Instruments*. O modo e a frequência de aquisição foram ajustados para modo contínuo com frequência de amostragem de 1 [kHz]. O modo contínuo foi escolhido para possibilitar o monitoramento constante do motor e a frequência de amostragem foi ajustada com o intuito de garantir o critério de *Nyquist* para frequência fundamental de 60 [Hz]. Tem-se também que a corrente analisada no MCSA é retirada dessa etapa.

No bloco “7” da Figura 1 tem-se a transformação do domínio temporal para o domínio dos fasores utilizando relações trigonométricas.

5 Resultados e discussões

Foram realizados testes com o motor funcionando em condições normais e com anomalias, sendo a anomalia uma desbalanceamento para causar vibração.

Por meio do bloco “5” da Figura 1 tem-se as correntes do motor apresentadas na Figura

2. Em que é possível observar que o motor em condições normais possui correntes equilibradas, conforme o item (a) da Figura 2. Quando se adiciona vibração no mesmo, observa-se que as correntes ficam desequilibradas, conforme o item (b) da Figura 2.

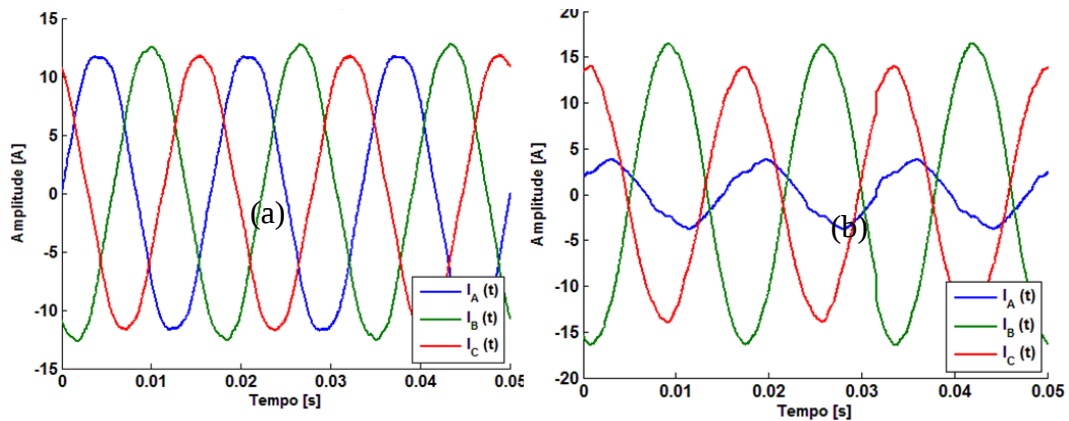


Figura 2: Correntes do motor. Sendo (A) do motor em condições normais, (B) do motor com desbalanço provocado por vibração.

Os resultados dos índices de desequilíbrio (blocos “6”, “8” e “10” da Figura 1) estão apresentados na Figura 3. Sendo que no item (A) da Figura 3 observa-se a situação em que o motor se encontra em suas condições normais. No item (B) da Figura 3 observa-se o efeito da adição da vibração no motor. Por meio da Figura 3 tem-se que os índices de desequilíbrio apresentam grande aumento quando acionado vibração.



Figura 3: Índices NEMA, Componentes Simétrica (IEC) e IEEE. Sendo (A) quando equilibrado (sem vibração), e (B) quando desequilibrado (com vibração).

A Figura 4 apresenta o resultado da análise da assinatura de corrente, obtida no bloco “11” da Figura 1. Observa-se que o espectro da corrente da fase A para situação equilibrada (sem vibração) apresenta-se de forma moderada, enquanto que o espectro da corrente da fase A para situação desequilibrada (com vibração) apresenta-se de forma elevada. Além de ser observado aumento nas componentes de 3º e 5º harmônico. Assim tem-se que o MCSA configura um bom sistema para mensurar anomalias na máquina elétrica.

Observa-se nos resultados que a anomalia inserida possui determinada característica. Em caso de outras anomalias, as respostas seriam diferentes. Dessa forma é importante salientar que para uma análise mais precisa do problema é importante levantar a característica de cada

tipo de problema.

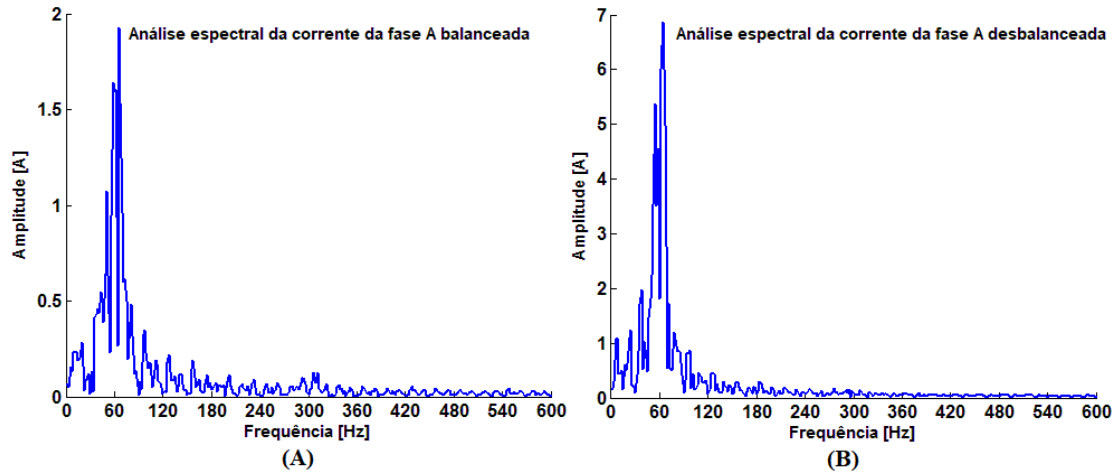


Figura 4: Assinatura de corrente da fase A. Sendo (A) espectro de corrente para situação equilibrada (sem vibração), e (B) espectro de corrente para situação desequilibrada (com vibração).

6 Conclusão

Dessa forma, o projeto em questão torna-se uma ferramenta poderosa para identificar problemas como vibração, aquecimento e problemas elétricos (isolação, desbalanço de tensão e corrente e afins), assim pode evitar falha e defeitos em MIT.

Cabendo sugestão de trabalhos futuros com intuito de construir aparelho comercial com interface com aparelhos moveis e monitoramento online.

A metodologia utilizada se apresentou de forma adequada, uma vez que os sensores utilizados conseguiram captar os sinais elétricos e a placa de aquisição transmitiu os dados ao computador. A etapa digital realizou os ajustes necessários e apresentou as medidas dos índices e análise de assinatura de corrente do motor.

Portanto conclui-se que os resultados foram adequados em vista os objetivos do projeto, uma vez que apresentou os índices que mensuraram a vibração da máquina elétrica. E a assinatura de corrente também identificou as anomalias elétricas relativas a vibração no MIT. Podendo ser um sistema que evita paradas indesejadas e consequentemente reduz prejuízos financeiros.

Referências

- [1] S. Nandi, H. A. Toliyat and X. Li, Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors A review, IEEE Transactions on Energy Conversion, (2005).
- [2] A. Bonnett and C. Yung, Increased efficiency versus increased reliability, IEEE Industry

Applications Magazine, (2008).

- [3] V. N. Ghaté and S. V. Dudul, Optimal MLP neural network classifier for fault detection of three phase induction motor, Expert Systems with Applications, (2010).
- [4] A. Bellini, F. Filippetti, C. Tassoni and G. A. Capolino. Advances in diagnostic techniques for induction machines, IEEE Transactions on Industrial Electronics, (2008).
- [5] R. M. Tallam, S. B. Lee, G. C. Stone, G. B. Kliman, J. Yoo, T. G. Habetler and R. G. Harley, A survey of methods for detection of stator-related faults in induction machines, IEEE Transactions on Industry Applications, (2007).
- [6] L. Frosini and E. Bassi, Stator current and motor efficiency as indicators for different types of bearing faults in induction motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics, (2010).
- [7] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION (ESTADOS UNIDOS) (NEMA), NEMA MG-1: Motors and Generators, Washington, (2009).
- [8] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (ESTADOS UNIDOS) (IEEE), IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, Piscataway, (2001).
- [9] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (Brasil) (ONS). Submódulo 2.8: Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira, e de seus componentes. Brasília, (2011).
- [10] W. T. Thomson and R. J. Gilmore, Motor Current Signature Analysis To Detect Faults In Induction Motor Drives, Scotland, (2003).
- [11] D. S. Gazzana, L. A. Pereira, D. Fernandes e J. S. Silva, Métodos da Análise da Assinatura de Corrente do Motor (MCSA) Aplicado a detecção de Falhas de Curto-Circuito do Enrolamento do Estator de Motores de Indução. CINDUSCON: VII Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Poços de Caldas, (2008).
- [12] P. K. KOVACS, Transient Phenomena in Electrical Machines, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (1994).