



Estimativa de velocidade de um motor de indução trifásico utilizando FBG por Transformada Rápida de Fourier

speed estimation for a trifase induction motor using FBG by fast fourier transform

Rafael Mancuso, Jaqueline Bierende *, Kleiton Morais Sousa[†], Beatriz Brusamarello[‡], Giovanni Alfredo Guarneri[§]

RESUMO

Neste artigo, a técnica da transformada rápida de Fourier (FFT) é usada para estimativa de velocidade de um motor de indução trifásico (MIT) pela análise da deformação dinâmica do estator, funcionando em diferentes condições de carga. A deformação que ocorre por forças mecânicas e eletromagnética é medida por um sensor de rede de Bragg (FBGs), instaladas dentro do motor. Um inversor de frequência opera a 60 Hz para acionar o motor a vazio e também com 40,03% da carga nominal. A velocidade é estimada a partir da visualização do espectro da frequência obtido com a FFT do sinal gerado pela FBG e comparado com a medição da velocidade por um tacômetro a fim de descobrir se o cálculo analítico coincide com o resultado da instrumentação, assim obtendo como resultado um erro máximo absoluto que varia em 0,2%. Pode-se concluir que deformação dinâmica medida por FBGs tem uma boa relação sinal-ruído devido às características de sensores ópticos e que as redes bragg possuem alta exatidão, considerando os resultados obtidos analiticamente. A pesquisa é realizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Pato Branco e contou com dois acadêmicos e com o auxílio de um mestrando, ambos cursando engenharia elétrica.

Palavras-chave: MIT. FFT. FBG. Sensores. Velocidade.

ABSTRACT

In this paper, the fast Fourier transform (FFT) technique is used for speed estimation of a three-phase induction motor (TIM) by analyzing the dynamic deformation of the stator, running under different load conditions. The deformation that occurs due to mechanical and electro-magnetic forces is measured by a Fiber Bragg grating (FBGs), installed inside the motor. A frequency inverter operates at 60 Hz to drive the motor at no load and also at 40.03% of rated load. The speed is estimated from observing the frequency spectrum obtained with the FFT of the signal generated by the FBG and compared with the speed measurement by a tachometer in order to find out if the analytical calculation matches the measured result with the instrumentation, it's possible to calculate 0,2% of maximum absolute error. It can be concluded that dynamic deformation measured by FBGs has a good signal-to-noise ratio due to the intrinsic characteristics of optical sensors and that bragg gratings have high accuracy, considering the results obtained analytically comparing to the mesurent. The research is carried out at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná in Pato Branco and included two engineering students with the assistance of a master's student of electrical engineering.

Keywords: TIM. FFT. FBG. Sensor. Speed

* Programa de graduação em Engenharia Elétrica, UTFPR Câmpus Pato Branco; rafaelcavalcanti@alunos.utfpr.edu.br Programa de graduação em Engenharia Elétrica, UTFPR Câmpus Pato Branco; jaquelinebierende@alunos.utfpr.edu.br.

[†] Departamento Acadêmico de Elétrica, DAELE-PB, UTFPR Câmpus Pato Branco; kleitonsousa@utfpr.edu.br.

[‡] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE; beabrusamarello@gmail.com.

[§] Departamento Acadêmico de Elétrica, DAELE-PB, UTFPR Câmpus Pato Branco; giovanni@utfpr.edu.br.



1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da indústria brasileira ao longo das décadas, motores elétricos são cada vez mais usados devido a sua eficiência e torque que possuem. Motores de indução trifásico (MIT) tem um baixo custo de produção, boa relação rendimento/torque, facilidade de acionamento e funcionamento simples o que caracteriza uma máquina adequada para a utilização em escala industrial para diversas aplicações. Devido a isso, é considerado um dos tipos de motores elétricos mais utilizados e em consequência, cada vez mais são desenvolvidas tecnologias para melhorar sua implementação e funcionamento.

Com a grande utilização do MIT é necessário desenvolver técnicas que permitam obter informações sobre o funcionamento do motor. Devido ao escorregamento presente nos motores de indução, a velocidade do eixo varia conforme a demanda de carga que necessita ser acionada, e dessa forma questiona-se: Como é montado, implementado e medido com exatidão a velocidade de operação que está sendo gerada no eixo do MIT?

Devido as técnicas de gravação e de baixo custo de implementação, as fibras óticas com redes de Bragg (FBG) são utilizadas em diversas situações para medição de temperatura e análise de deformações. (Sousa et al (2016)) utiliza uma fibra do tipo Bragg Gratings (FBG) instalada na superfície de dentro do estator para medir a deformação interna e assim determinar parâmetros do motor a vazio.

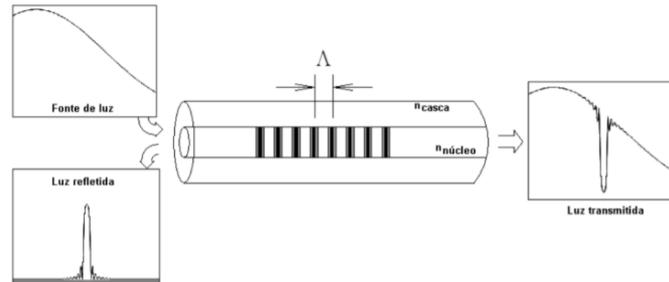
A FBG é caracterizada por um pedaço de fibra ótica com uma deformação em seu núcleo que altera o índice de refração, assim tem-se um novo comprimento de onda permitindo que apenas este chegue no receptor. Quando o feixe de luz incide na fibra, caso não seja compatível com o novo comprimento de onda Bragg, a luz refletida torna-se paulatinamente fora de fase e o feixe de luz refletida é cancelada. Quando a condição de Bragg é satisfeita, a luz refletida por cada plano da rede contribui na direção contrária a propagante, formando uma banda de reflexão com comprimento de onda central definido pelos parâmetros da rede (OTHONOS (1997)).

Assim, este artigo demonstra a estimativa de velocidade para um MIT operado a vazio, utilizando a FBG instalada na superfície interna do estator e utilizando a transformada de Fourier.

2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

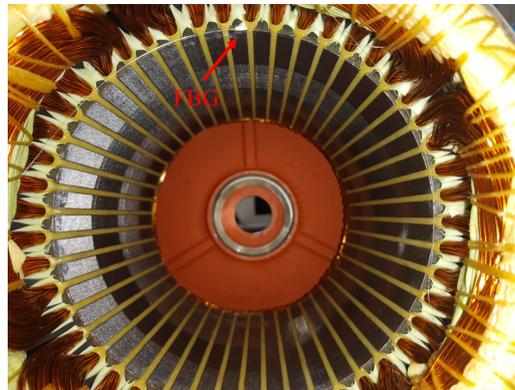
Ao analisar o comportamento da FBG na Fig. 1, o sensor utilizado é instalado dentro da fibra ótica de forma a refletir o comprimento de onda 1541 nm com refletividade média de 75%. Assim, para fazer a medição da deformação é necessário o auxílio de um interrogador óptico que capta as variações de amplitude desse comprimento de onda. Dessa forma, um sensor de deformação FBG multiplexado foi instalado dentro do motor, passando a fibra ótica entre a carcaça do motor e o núcleo do estator através da caixa de conexão. Para medir a deformação do estator devido às forças, o sensor foi posicionado entre os dentes do estator e fixado com cola de cianoacrilato, conforme indicado na Fig. 2.

Figura 1 – Compostamento de uma rede de Bragg



Fonte: MENEGOTTO (2006).

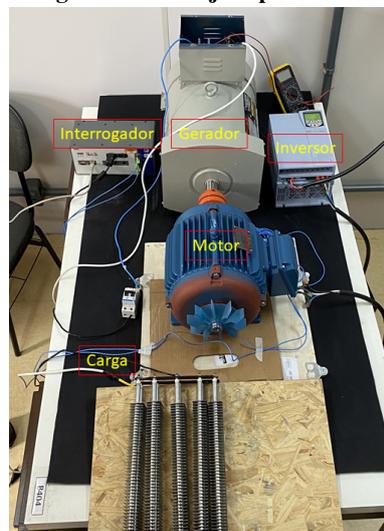
Figura 2 – FBG instalada no estator do motor



Fonte: Autoria própria (2021).

O arranjo experimental apresentado na Fig. 3 é composto por um motor trifásico de indução tipo gaiola de esquilo com potência nominal de 10 hp / 7,5 kW e quatro pólos, conectados em triângulo e operando a 220V. O motor é acoplado em um gerador de 10 hp/ 7,5kw. Por questão de proteção e da oscilação da rede, também foi instalado um inversor de frequência modelo CFC500, com capacidade operacional de 7,5 kW / 10 cv e entrada 220 V.

Figura 3 – Arranjo experimental



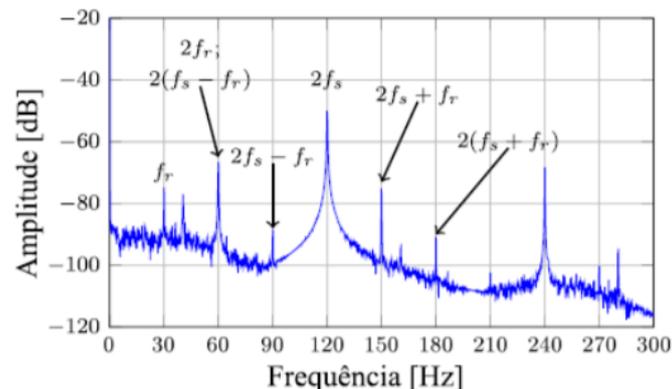
Fonte: Autoria própria (2021).

Os testes consistiram na utilização de um inversor de frequência para acionamento e manutenção do motor em 60 Hz. Primeiramente então obtendo o espectro da frequência a vazio e depois a medição com uma carga conectada no gerador que resulta na potência do motor em 40,03% da carga nominal. A medida das velocidades fora feitas também através de um tacômetro que mede em rotação por minuto.

A aquisição dos dados dos sensores foi realizada por um interrogador óptico DI410 e o software CatmanEasy, ambos fabricados pela HBM e a taxa de amostragem utilizada é de 1 kHz. Estes dados foram exportados para o Matlab software e assim obtido a FFT do espectro. A partir da análise do espectro da frequência do ensaio podemos detectar a velocidade de operação do motor tanto com carga quanto sem.

A interação criada pelo campo magnético das correntes de reação do rotor gera uma componente de pico visível no espectro da frequência, após a FFT ser realizada, que expressa a velocidade de rotação do motor. A frequência de deformação esperada para determinar a velocidade de operação do motor de quatro polos é de 30 Hz (f_r), observada na Fig. 4 (DE MORAIS SOUSA (,2015)).

Figura 4 – Espectro de frequência de deformação de um motor de indução trifásico de quatro polos operando a vazio



Fonte: DE MORAES SOUZA, 2016

Utiliza-se um tacômetro para aferição da velocidade do MIT nas duas condições de operação, com a finalidade de comparar o parâmetro medido (instrumentação) com o estimado (realizando a análise da FFT do espectro captado pela FBG).

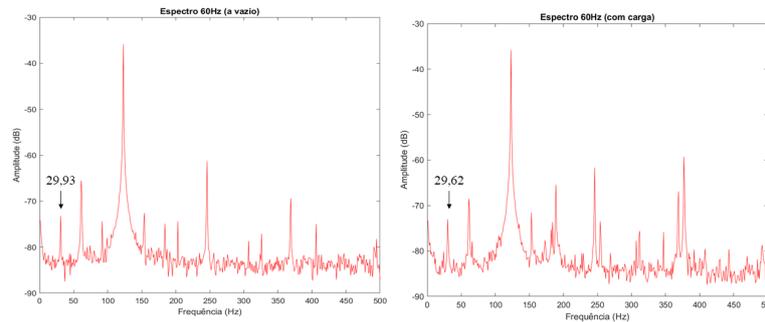
3 RESULTADOS

A Fig. 5 mostra os resultados dos espectros da frequência da deformação do estator quando o MIT é operado a 60 Hz em condição de vazio e com 40% de carga. A componente presente nas imagens é a componente f_r , respectiva a velocidade do rotor.

Os resultados obtidos do tacômetro para os dois ensaios foram de 29,95Hz a vazio e 29,57Hz com carga, dessa forma obtendo um erro máximo de 0,2% comparando com os valores estimados.

Também é possível analisar que a velocidade nominal do motor é de 1800 rpm, mas devido ao escorregamento do MIT o parâmetro é menor, porém identifica-se a componente da velocidade devido a um pico em db que ocorre próximo a ao valor de 30Hz.

Figura 5 – Comparação dos espectros em 60Hz com carga e a vazio



Fonte: Autoria própria (2021).

4 CONCLUSÕES

O uso de FBG melhora a qualidade da medição devido às características físicas do sensor, permitindo extrair os detalhes mínimos dos sinais e obter pequenos ruídos em as informações coletadas. Devido a esse motivo é possível mostrar com precisão a diferença na frequência das componentes de um motor operando com carga e sem carga. Essa característica das fibras foi importante para o projeto, porque o gerador é do tipo autorregulável, onde o a carga máxima aplicável na saída é de apenas 40,03% do valor nominal, dificultando a visualização dos componentes da frequência, pois a velocidade do motor diminuiu pouco para pequenas variações de cargas.

Neste trabalho, um estimador de velocidade foi desenvolvido para um motor de indução trifásico usando um sensor FBG instalado na mancha do estator. As velocidades estimadas foram de 29,93 Hz e 29,62 Hz, e o erro máximo obtido foi de 0,2%, considerando então que os valores estimados permaneceram muito próximos dos valores esperados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), Fundação Araucária, Fotônica Multiusuários Instalação - UTFPR-CT. Este estudo foi financiado em parte por Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil.

REFERÊNCIAS

DE MORAIS SOUSA, Kleiton et al. Vibration measurement of Induction Motor under dynamic eccentricity using optical fiber Bragg grating sensors. *IEEE Sensor J.*, vol. 12, no. 10, pp. 3054-3061, ,2015.

OTHONOS. **Fiber bragg gratings. Review of Scientific Instruments.** [S.l.], 1997.

SOUSA ET AL, K. M.; Dreyer, U. J.; Martell C.i;J. C. Cardozo da Silva. Dynamic eccentricity induced in induction motor detected by optical fiber bragg grating strain sensors. *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 12, pp. 4786–4792, 2016., 2016.