

DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TORQUE PARA MOTORES ELÉTRICOS

Luiz V. O. Dalla Valentina

UDESC- Departamento de Engenharia Mecânica- Campus Prof. Avelino Marcante s/n- CEP 89223-100 Joinville/SC. dalla@joinville.udesc.br

Decio Odail de Oliveira

WEG SA- Dept^o Eng^a da Qualidade- Avenida Prefeito Waldemar Grubba, 3300- CEP 89256-900 Jaraguá do Sul-SC. odail@weg.com.br

Resumo. *Durante auditoria no processo produtivo da empresa WEG, em conformidade com a diretiva 94/9/EG - ATEX 100^a, norma EN 13980, ficou constatado a necessidade de se desenvolver e calibrar sistema de medição de torque. Tal sistema é composto basicamente de um transdutor de torque, medidor eletromecânico acoplado na ponta do eixo do gerador (dinamômetro), cuja função principal é a colocação de carga durante os ensaios elétricos em motores de indução trifásicos de média e alta tensão. Como um dos principais fabricantes de motores elétricos do mundo, a WEG necessita estar presente em todos os mercados mundiais com produtos de ponta. Para que isso aconteça é necessário estar rigorosamente de acordo com as normas internacionais no que se refere a equipamentos elétricos, principalmente para os motores que irão operar em atmosferas potencialmente explosivas. Para se medir com exatidão qualquer grandeza elétrica é necessária possuir equipamentos de última geração. O trabalho busca descrever as principais funções exercidas durante a realização de ensaios elétricos em motores de indução trifásicos, especificamente no que se refere à medição de conjugado ou torque e através da elaboração de todos os procedimentos necessários para se montar um sistema de medição e desenvolvimento de uma seqüência detalhada de calibração deste sistema de medição de torque.*

Palavras-chave: *ensaios elétricos, calibração, transdutor de torque.*

1. INTRODUÇÃO

Medir com exatidão o torque é o principal objetivo dos fabricantes de máquinas elétricas. Os bancos de provas estão cada vez mais desenvolvidos, buscando a melhoria contínua da eficiência das máquinas elétricas.

Os sistemas de medição de força, ou dinamômetros, são constituídos de um elemento elástico e outros módulos que compõem o sistema de medição de deslocamento ou de deformação específica⁽¹⁾. Sob ação de uma determinada força, o elemento elástico gera um sinal proporcional ao deslocamento ou deformação física específica indicando uma leitura proporcional à força atuante. O dinamômetro de mola e o anel dinamométrico transformam a força a ser medida em um deslocamento proporcional.

Conforme a natureza do sistema de medição de deslocamento ou deformação específica, os dinamômetros que operam pelo método da indicação são classificados em mecânicos, elétricos ou

ópticos. Os dinamômetros mecânicos e ópticos em geral indicam a leitura em função de uma deformação total medida em forma de deslocamento, que é o caso de dinamômetros que utilizam relógio comparador ou escalas ópticas.

Os dinamômetros elétricos são constituídos de transdutores indutivos ou eletro-ópticos de deslocamento, a medição da deformação específica é feita através de um transdutor elétrico denominado de extensômetro de resistência ^(1,2). Os dinamômetros constituídos por extensômetros de resistência são os mais utilizados na atualidade pois são compactos e com baixa incerteza de medição. Os fabricantes destes dinamômetros estão otimizando e utilizando elementos elásticos que permitem a utilização do esforço de tração e de compressão. O princípio de funcionamento de um transdutor extensométrico considera que uma tensão mecânica atua no elemento elástico e o deforma.

Além dos sistemas de medição de força com base em transdutores passivos, na medição de sinais dinâmicos podem ser utilizados os transdutores piezoelétricos.

2. BANCO DE PROVAS PARA A MEDIÇÃO DE TORQUE

O torque pode ser calculado a partir da potência e da velocidade de rotação ⁽¹⁾. Equipamentos de medição modernos são utilizados para determinar facilmente a potência elétrica e a velocidade de rotação de uma máquina elétrica. Entretanto, para se calcular o torque desenvolvido através do eixo de uma máquina elétrica, erros relativamente grandes podem ocorrer, devido à potência dissipada e o estado operacional da máquina.

Os instrumentos de hoje, com as características computadorizadas avançadas levam em conta um elevado número de parâmetros para diminuir o nível de incerteza da resposta dinâmica.

O banco de provas de 5000 kw (ver fig.1) foi desenvolvido para realizar ensaios em motores de indução trifásicos de média e alta tensão, com rotação variando de 600 a 3600 rpm, é composto de um dinamômetro elétrico com a função de frear eletricamente o motor de indução sob ensaio, fazendo com que circule corrente elétrica nas bobinas do mesmo.



Figura 1. Banco de provas de 5000 kw.

Os bancos de provas da WEG – Máquinas possuem duas maneiras distintas para medir torque fornecido através do eixo do motor:

- a) Célula de carga instalada em um braço fixado na carcaça do dinamômetro elétrico (ver fig.2);



Figura 2. Medição através de célula de carga.

b) Transdutor de torque acoplado ao eixo do dinamômetro elétrico (ver fig.3).

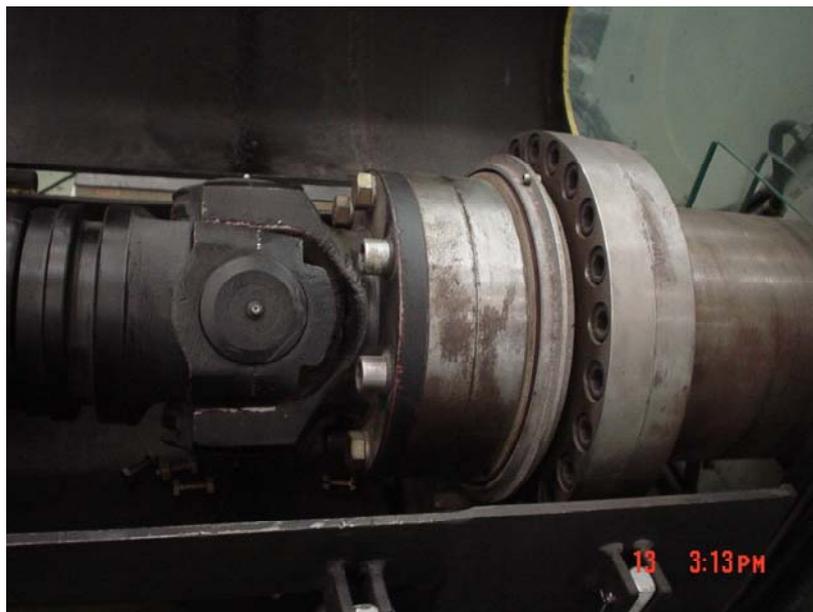


Figura 3. Transdutor de torque.

O sistema de medição através de célula de carga não permite determinar com precisão absoluta, a potência diretamente no eixo do motor, pois precisa levar em consideração as perdas elétricas do dinamômetro, portanto é necessário determinar as perdas elétricas do dinamômetro para calcular a potência real fornecida através do eixo do motor.

A empresa optou em implantar um transdutor de torque acoplado do eixo do dinamômetro devido à possibilidade de medir o torque real aplicado ao motor sob ensaio, associado à medição da rotação do eixo, possibilita determinar com relativa exatidão a eficiência do motor. Para tal, foi escolhido um transdutor de torque modelo T10FM, fabricado pela empresa alemã “ Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH – HBM”, devido à facilidade de instalação e a grande reduzida incerteza de medição. Este transdutor de torque modelo T10FM é composto de: carcaça, rotor e antenas. O rotor é composto por um corpo medidor e um flange adaptador. Sobre o corpo medidor

são colocados extensômetros para medir a deformação elástica ou dilatação. O sistema eletrônico do rotor cuja função é transmitir a tensão de alimentação e os sinais de saída estão dispostos no centro do flange. Bobinas estão instaladas no perímetro exterior do corpo medidor do rotor e transmitem sem contato elétrico a tensão de alimentação e o sinal de saída. A antena fixada sobre a carcaça onde está alojado o sistema eletrônico para adaptação da tensão e tratamento do sinal. No estator estão instalados os bornes de conexão da tensão de alimentação e do sinal de saída a ser enviado ao módulo indicador. O funcionamento se dá quando o transdutor sofre uma torção, provocando uma deformação, os elementos elásticos transmitem o sinal proporcional à esta deformação que é captado através da antena e enviado ao estator onde o sinal é processado e enviado ao módulo indicador.

3. CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DO TORQUE

Procurou-se montar um sistema de medição que permita calibrar o transdutor de torque TF10M tomando como exemplo um sistema indicado pelo fabricante do transdutor de torque conforme a figura 4.

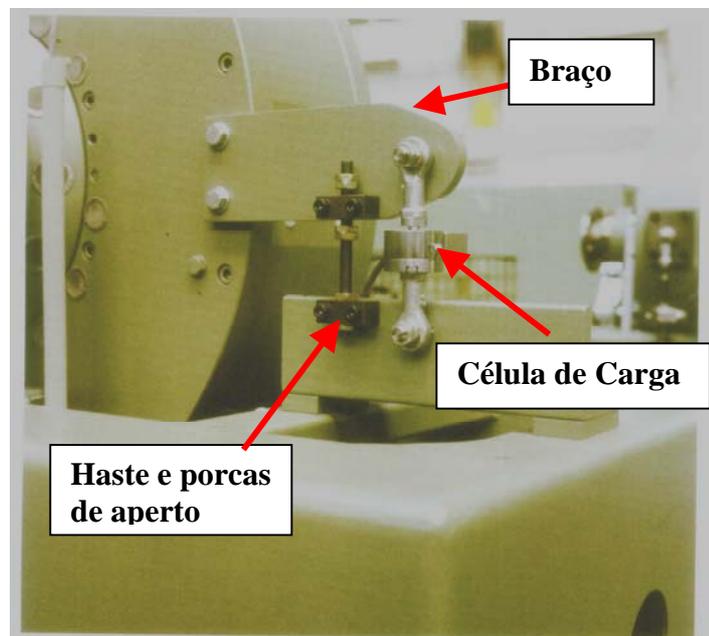


Figura 4. Sistema de calibração do transdutor de torque.

O sistema de calibração do transdutor de torque proposto é constituído de cinco componentes conforme figura 4, composto de:

1. Braço: Construído em aço 1045, com espessura = 50 mm, largura = 300 mm e comprimento = 1300 mm;
2. Célula de carga modelo Z-5T;
3. Unidade Indicadora de pesagem modelo 3103;
4. Macaco hidráulico;
5. Calço de aço.

Os componentes do conjunto de medição padrão (célula de carga e indicador digital), foram calibrados no laboratório do CERTI, credenciado na Rede Brasileira de Calibração.

Nas empresas do grupo WEG são elaboradas normas internas para descrever todo e qualquer procedimento a ser implantado. Desta forma procurou-se escrever os procedimentos de calibração do transdutor de torque em formato de norma interna WEG.

Seguindo os procedimentos, foi realizada a calibração do transdutor de torque. Quatro ciclos de medição foram realizados com objetivo de calcular as incertezas de medição. A figura 5 apresenta a realização deste experimento.

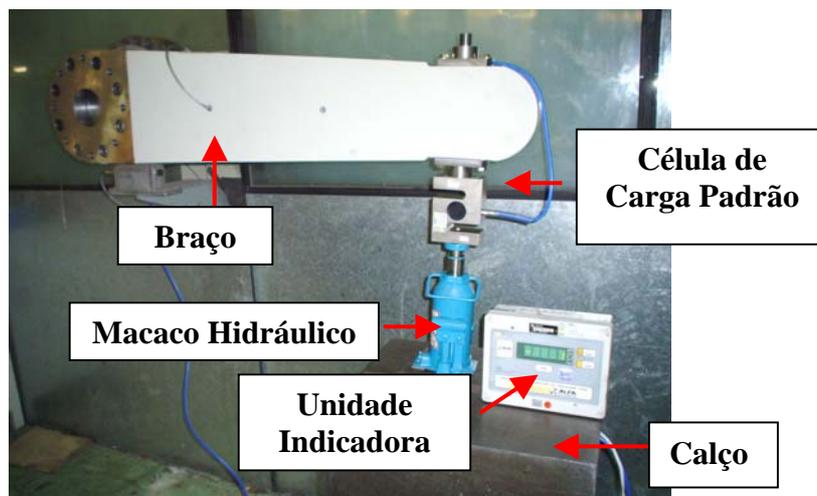


Figura 5. Montagem do experimento.

Quando da calibração do sistema de medição de torque é realizada, o resultado é somente uma aproximação ou estimativa do valor deste mensurando ^(1,2). Sendo assim, a expressão completa que representará o valor do torque deverá incluir a incerteza de medição. A incerteza é um parâmetro associado ao resultado da medição do torque e é caracterizada como a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando, segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição ^(3,4,5,6). Para estabelecer a estimativa de incerteza de medição é necessário identificar as variáveis que contribuem para incerteza e seus valores. Na medição do torque pode-se citar diversas fontes que contribuem para a estimativa da incerteza como a não repetitividade dos valores; a incerteza e a resolução do padrão; resolução do sistema de medição de torque e o braço do dispositivo. Baseados no método de avaliação os componentes da incerteza podem ser classificados em Tipo A, quando a avaliação é realizada pela análise estatística de uma série de observações da grandeza medida, isto é, quando as medições são obtidas sob condições de repetitividade e a do Tipo B, quando se assume que cada grandeza de entrada tem uma distribuição e um intervalo de dispersão. Ambos os tipos de avaliação são baseados em distribuições de probabilidade (uniforme, retangular, triangular, normal, entre outras) e os componentes de incerteza resultantes de cada tipo são quantificados por variâncias ou desvio padrão. Uma vez identificadas estas fontes de incerteza (tipo A ou B) e consideradas as suas contribuições pode-se estimar a incerteza padrão combinada (uc). A fim de que as incertezas sejam combinadas deve-se calcular a incerteza padrão relativa de cada contribuição que consiste na razão do valor obtido da incerteza padrão pelo valor da variável. A incerteza padrão combinada é a raiz quadrada da soma quadrática das incertezas padrão relativas de todos os componentes que contribuem para estimativa da incerteza de medição. Em geral, a uc é utilizada para expressar a incerteza em um resultado de medição, mas em algumas aplicações comerciais, industriais, regulamentares e quando a segurança e a saúde estão em foco, é às vezes necessário se dar uma incerteza que defina um intervalo em torno do resultado de medição. Neste caso espera-se que este intervalo englobe uma grande porção da distribuição de valores que podem ser razoavelmente ser atribuído ao mensurando e então é denominada de incerteza expandida (U). A incerteza expandida é obtida quando a incerteza padrão combinada é multiplicada por uma constante k que depende do nível de confiança e o resultado de medição é expresso por $y \pm U$, onde o y corresponde ao mensurando.

Como exemplo dos valores obtidos na calibração deste sistema de medição de torque é apresentada a tabela 1. Analisando-se os valores da referida tabela 1, verifica-se que a incerteza expandida é da ordem de 25,00 Nm. Sendo que o valor da tendência para esta posição de medição

foi de 1,75 Nm. O que significa a predominância de efeitos aleatórios em relação aos sistemáticos atuando neste sistema de medição.

Tabela 1- Balanço de incerteza com padrão de 4883 Nm.

Fontes de Incerteza	Valor (Nm)	Distrib. de Probab.	Divisor	Incerteza padronizada ± (Nm)	Graus de liberdade
Repetitividade	2,13600	Normal	1	2,1360	4
Incerteza do Padrão	24,5	Normal	2	12,2500	Infinitos
Resolução do Padrão	1	Retangular	1,732051	0,5774	Infinitos
Resolução do Equipamento	0,1	Retangular	1,732051	0,0577	Infinitos
Influência do comprimento do braço	2	Retangular	1,732051	1,1547	Infinitos
Incerteza padrão combinada				12,5018	3520,51
Incerteza expandida			k=2	25,0036	

4. CONCLUSÕES

Através da elaboração deste trabalho foi possível estudar em detalhe o funcionamento de um instrumento de medição de torque de tecnologia inovadora, que proporciona ao seu usuário satisfação em função da praticidade operacional, exatidão e confiabilidade nos resultados da medição. Vale ressaltar a importância em se trabalhar com projetos como estes, pois é necessário conhecer o sistema de ensaio como um todo, auxiliando na execução do projeto mecânico do equipamento, especificando e comprando acessórios importantes na construção do sistema. Com a realização da calibração, pode-se verificar a correta adequação do projeto desenvolvido a sua finalidade, através da determinação de suas fontes de incertezas. A incerteza expandida obtida do sistema de calibração de torque esta dentro dos padrões de aceitação internacionais.

5. REFERÊNCIAS

1. BECKWITH, T.G. **Mechanical Measurements**. Pittsburgh: Addison-Wesley, 1981.
2. DOEBELIN, E. O. **Measurement System- Application and Design**. Mc Graw-Hill.1990.
3. ISO/IEC GUIDE 25- **General Requirements for the Competence of Testing and Calibration**. ISO, 1996.
4. INMETRO. **Guia para Expressão da Incerteza de Medição** – Primeira Edição Brasileira do Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (ISO-GUM),1997.
5. KESSEL, W. **Uncertainty of Measurements: Statement of Physical Ignorance**. Advanced School of Metrology: Evaluation of Uncertainty in Measurement, Programa RH-Metrologia, Brazil, 1997.
6. MATHIESEN, O. **Uncertainty of Measurement - understanding the GUM**. Advanced School of Metrology: Evaluation of Uncertainty in Measurement, Programa RH-Metrologia, Brazil, 1997.

DEVELOPMENT AND CALIBRATION OF SYSTEM MEASUREMENT TORQUE FOR ELECTRIC MOTORS

Luiz V. O. Dalla Valentina

UDESC- Departamento de Engenharia Mecânica- Campus Prof. Avelino Marcante s/n- CEP 89223-100 Joinville/SC. dalla@joinville.udesc.br

Decio Odail de Oliveira

WEG SA- Dept^o Eng^a da Qualidade- Avenida Prefeito Waldemar Grubba, 3300- CEP 89256-900 Jaraguá do Sul-SC. odail@weg.com.br

Abstract. During auditing in the productive process of the company WEG, in accordance with the directive 94/9/EG - ATEX 100a, norm EN 13980, the need was verified of to develop and to gage system of torque measurement. Such system is composed basically of a torque transducer, meter electrical-mechanical coupled in the tip of the axis of the generator (dynamometer), whose main function is the load placement during the electric rehearsals in motors of induction average three phase and high tension. As one of the main manufacturers of electric motors of the world, WEG needs to be present in all of the world markets with tip products. So that that happens is necessary to be strictly in agreement with the international standards in what refers to electric equipments, mainly for the motors that will operate in atmospheres potentially explosive. To measure with accuracy any electric greatness it i necessary to possess equipments of last generation. O work looks for to describe the main functions exercised during the accomplishment of electric rehearsals in motors of induction three phase specifically in what he/she refers to the measurement of having conjugated or torque and through the elaboration of all of the necessary procedures to set up a measurement system and development of a detailed sequence of calibration of this system of torque measurement.

Keywords: electric test, calibration, torque measurement.