



***ELETRICIDADE
MODERNA***

ARANDA EDITORA ANO 41 Nº 471 JUNHO 2013

OS AVANÇOS E AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ELETROELETRÔNICA

Cálculo de perdas energéticas por meio da determinação indireta do rendimento

O motor elétrico pode utilizar tecnologias mais eficientes mediante a realização de estudos de eficiência energética, beneficiando as indústrias em função da diminuição dos custos com energia elétrica. Este artigo apresenta uma metodologia para cálculo de perdas energéticas em motores de indução trifásicos com rotor em gaiola, por meio da determinação indireta do rendimento nas condições de funcionamento a plena carga.

Mário Cesar E. S. Ramos e Hédio Tatizawa, da Universidade de São Paulo; e Mário Cesar G. Ramos, da Universidade de Mogi das Cruzes

A metodologia MHmit, apresentada neste artigo, tem o objetivo de determinar o rendimento do motor elétrico de indução trifásico com rotor do tipo gaiola, a plena carga. Essa tarefa é árdua, não somente do ponto de vista da segurança, mas também técnico, levando em conta a precariedade das instalações elétricas de muitas indústrias brasileiras, a não utilização de equipamentos adequados

para medições e principalmente a escassez de dados de parâmetros (fator de potência e rendimento para diversos valores de carregamento) dos equipamentos mais antigos, que são essenciais para estimar as condições de operação dos motores elétricos. Além disso, a determinação direta do conjugado no local é muito difícil, em função da quase inexistência de equipamentos para essa finalidade, princi-

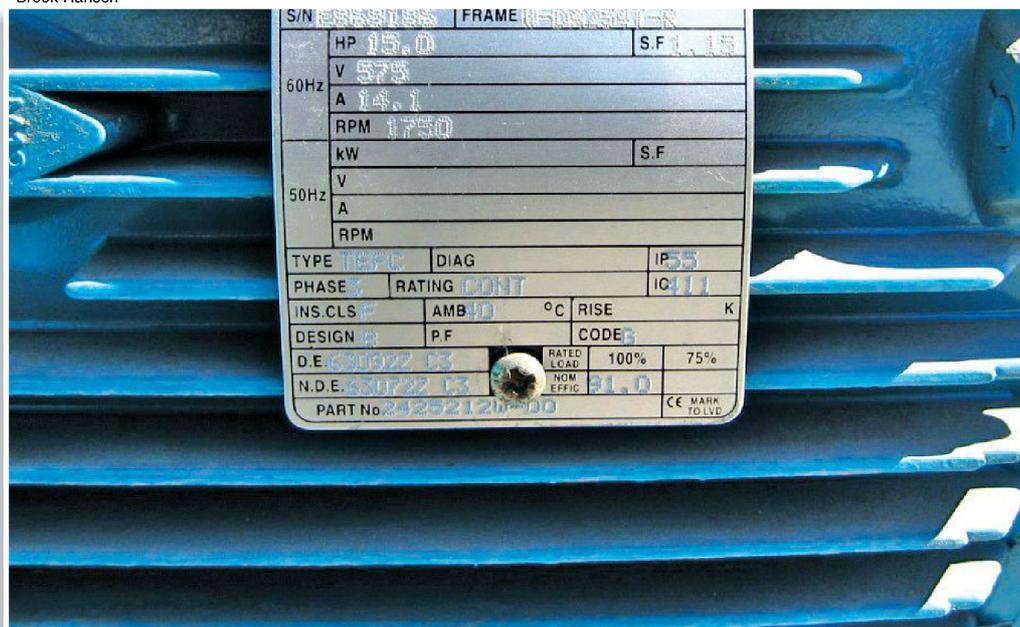
palmente para motores de grande porte.

O banco de dados do aplicativo MHmit contém o cadastro de parâmetros de motores elétricos de indução trifásicos com rotor do tipo gaiola do ano de 1979 até 2012, obtidos de fabricantes, universidades, escolas técnicas, empresas de prestação de serviços na área motriz e usuários. A ideia de utilizar parâmetros antigos surgiu a partir de en-

trevistas com diversas empresas prestadoras de serviços na área motriz, inclusive internacionais, que declaram a quase inexistência de dados de motores elétricos antigos, instalados e operando em ambientes industriais, impossibilitando a obtenção de uma estimativa verdadeira das condições reais de operação do equipamento.

Os parâmetros de funcionamento do motor elétrico de indução alteram-se ao longo da vida útil devido ao envelhecimento dos materiais que o compõem. No entanto, muitas vezes são utiliza-

Brook Hansen



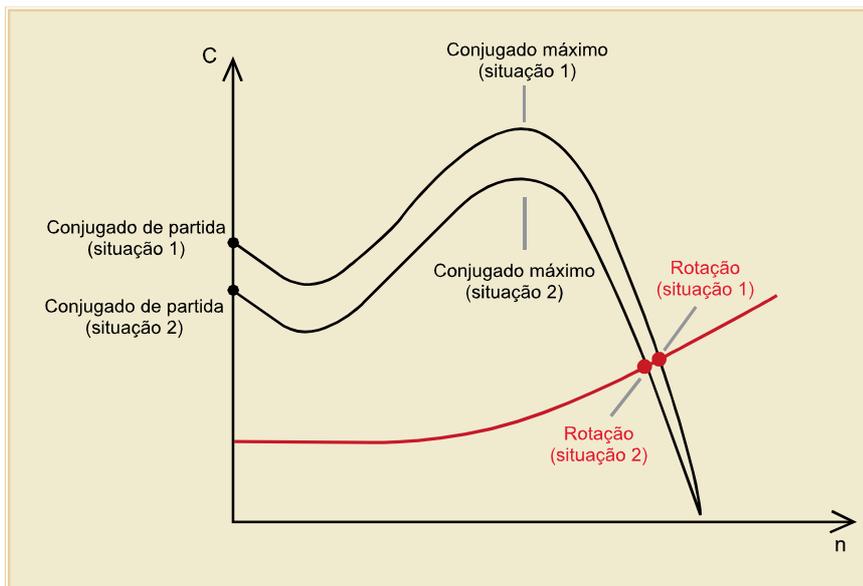


Fig. 1 – Perda de conjugado e rotação em função do tempo de uso para cargas do tipo conjugado parabólico

dos parâmetros de motores elétricos novos para analisar as condições de operação de equipamentos fabricados há mais de 20 anos e que sofreram rebobinagens, danos mecânicos, sobreaquecimentos e curtos-circuitos.

Desta maneira, percebe-se que analisar um motor elétrico antigo (muitas vezes sem histórico de acompanhamento de operação ao longo da vida útil), por meio de dados de motores elétricos fabricados recentemente, pode gerar um desvio percentual entre os valores de rendimento estimado e real, não condizentes com a realidade, afetando principalmente os estudos de viabilidade eco-

nômica, essenciais para a realização das substituições.

Os programas de simulação de motores elétricos atualmente utilizados para estudos de viabilidade econômica possuem um histórico recente de parâmetros elétricos e mecânicos. Desta maneira, a metodologia MHmit tem o intuito de apresentar resultados das condições de operação do motor elétrico, bem como estudos de redimensionamento matriz para os principais tipos de cargas industriais, quando necessário, com o menor valor de desvio percentual possível entre os valores previstos (simulados pelo aplicativo MHmit) e reais (consta-

tados por meio de medições de parâmetros elétricos do novo motor implementado).

Desenvolvimento matemático

Determinação do rendimento do motor elétrico antigo

Apresenta-se o desenvolvimento matemático para determinação indireta do rendimento de motores de indução com rotor em gaiola para cargas com conjugado do tipo parabólico, que são muito utilizadas em ambientes industriais.

Observa-se pela figura 1 que, com o tempo de uso, o motor perde conjugado e consequentemente rotação. O motor que no passado (situação 1) acionava carga com rotação n_1 passou a acioná-la (situação 2) com uma rotação menor n_2 .

As equações 1, 2 e 3 apresentam a situação 1:

$$C_1 = k \cdot n_1^2 \quad (1)$$

$$P_{m1} = C_1 \cdot n_1 \quad (2)$$

$$\eta_1 = \frac{P_{m1}}{P} \quad (3)$$

Já as equações 4, 5 e 6 apresentam a situação 2:

$$C_2 = k \cdot n_2^2 \quad (4)$$

$$P_{m2} = C_2 \cdot n_2 \quad (5)$$

$$\eta_2 = \frac{P_{m2}}{P} \quad (6)$$

MOTORES

Onde:

- P = potência elétrica (supondo constante nos 2 casos);
- P_{m1} = potência mecânica (situação 1);
- η_1 = rendimento (situação 1);
- P_{m2} = potência mecânica (situação 2); e
- η_2 = rendimento (situação 2).

A relação entre as potências mecânicas P_{m1} e P_{m2} é obtida de acordo com a equação 7:

$$\frac{P_{m1}}{P_{m2}} = \frac{C_1 \cdot n_1}{C_2 \cdot n_2} = \frac{k \cdot n_1^3}{k \cdot n_2^3} = \frac{n_1^3}{n_2^3} \quad (7)$$

A relação entre os rendimentos η_1 e η_2 é obtida de acordo com a equação 8:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\frac{P_{m1}}{P}}{\frac{P_{m2}}{P}} = \frac{P_{m1}}{P_{m2}} = \frac{n_1^3}{n_2^3} \quad (8)$$

Assim, o valor do rendimento do motor em uso pode ser determinado de acordo com a equação 9:

$$\eta_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot \eta_1 \quad (9)$$

- η_2 = rendimento (motor antigo);
- η_1 = rendimento (motor novo);
- n_1 = rotação a plena carga (motor novo); e
- n_2 = rotação a plena carga (motor antigo).

Neste caso, considera-se que a carga manteve-se inalterada durante o período de funcionamento do motor elétrico. Assim, k é constante e igual em ambos os casos.

Estudos de caso

Os estudos de caso foram realizados em ambiente industrial. Foram substituídos 90 motores, totalizando 3870 cv.

A substituição de motores de mesma potência nominal foi um procedimento aplicado nos acionamentos em que o carregamento do motor originalmente instalado encontrava-se acima de 75%. Neste caso, o custo da substituição refere-se apenas à aquisição do novo motor, uma vez que não houve necessidade de adaptação pela utilização de carcaças normalizadas.

O redimensionamento motriz foi um

procedimento aplicado nos acionamentos onde o carregamento do motor originalmente instalado encontrava-se abaixo de 75%. Neste caso, o custo da substituição incluiu, além do novo motor, as modificações necessárias para sua adaptação à máquina, em função das diferenças de dimensões entre os equipamentos.

Durante os procedimentos de verificação, tomou-se o devido cuidado em reproduzir as mesmas condições de operação das medições iniciais, como velocidade, vazão e pressão, entre outras. As condições mecânicas das máquinas foram avaliadas, principalmente quanto aos desgastes e desalinhamentos devidos às substituições dos motores. Também foram realizados estudos sobre a qualidade de energia elétrica, bem como variações climáticas e alterações nos produtos ou características, ocorridas no intervalo entre a medição e a verificação.

Os motores substituídos possuíam em média 20 anos de uso.

Análise econômica

Por meio dos valores medidos antes e

SUA SOLUÇÃO EM CAPACITORES DE POTÊNCIA EPCOS



Fone: (51) 3431.3855 | 3488.2565
Fax: (51) 3431.3887
www.ifg.com.br | ifg@ifg.com.br
Avenida Ely Correa (RS 30), 945
Parada 88 | Gravataí/RS

IFG ELETRO MECÂNICA
INDÚSTRIA E CIÊNCIA

SOLDA EXOTÉRMICA

DESDE 1980 MONTAL PARA-RAIOS

GARANTA CONEXÕES COM QUALIDADE MONTAL 30 ANOS FORNECENDO SEGURANÇA



MOLDES
PÓ EXOTÉRMICO
ALICATES
ACESSÓRIOS

CONFIRA CATÁLOGO COM INSTRUÇÕES PARA EXECUÇÃO PASSO A PASSO, AVALIAÇÃO DE RESULTADOS, INSPEÇÃO DE MOLDES E ANÁLISE DE CASOS.

CONFIRA MAIS DETALHES NO SITE: WWW.MONTAL.COM.BR

MONTAL para-raios

(31) 3476 7675
vendas@montal.com.br
vendas2@montal.com.br

Tab. I – Resultados do programa de eficiência energética

Potência instalada (cv)	3870	3870
Redução da demanda (kW)	0	121
Benefício da redução de demanda (R\$)	0	73123
Economia de energia (kWh)	0	720320
Benefício da economia de energia (R\$)	0	110209
Receita (R\$)	0	183332
Capex (R\$)	-420 000	0
Depreciação (R\$)	0	28000
Opex (R\$)	0	0
Fluxo de caixa líquido (R\$)	-420 000	183332
i (%)	10%	
VPL	885850	
Tempo de retorno do investimento (meses)	27	
TIR	43%	

após a substituição dos motores elétricos, constatou-se economia anual de 720,32 MWh e redução de demanda de 121 kW.

O investimento utilizado para a substituição dos 90 motores, considerando valores dos equipamentos e frete, totalizou R\$ 420 mil. O tempo de retorno do investimento foi de 27 meses.

A tabela I apresenta os resultados do Programa de Eficiência Energética.

Conclusões

Este artigo apresentou uma metodologia específica para a quantificação das perdas energéticas em motores elétricos de indução trifásicos com rotor de gaiola, por meio da determinação indireta do rendimento nas condições de funcionamento a plena carga. A metodologia, denominada MHmit, foi desenvolvida em ambientes industriais.

Gerenciar e conservar energia elétrica na indústria desempenha um papel cada vez mais importante no planejamento do setor elétrico brasileiro, levando em conta que os custos dos projetos para conservar energia são significativamente inferiores aos custos para expansão do sistema. Não somente pelas dificuldades encontradas na obtenção de novos investimentos governamentais ou privados, mas também pelos impactos ambientais proporcionados pela expansão do sistema, a conservação de energia elétrica torna-se cada vez mais um fator essencial.

Porém, durante a realização deste trabalho, em muitas indústrias, foram observados grandes desperdícios de

energia elétrica devido à utilização de equipamentos e processos energeticamente ineficientes, que necessitam urgentemente de estudos voltados a substituições, modificações e atualizações para a redução dos seus custos internos e melhor competitividade.

O diagnóstico energético visou proporcionar a redução de custos com energia elétrica, tanto pela redução da demanda como pela redução do consumo. Como o motor elétrico é um equipamento

de uso final muito presente no ambiente industrial, é passível de substituições, trazendo resultados satisfatórios quando o diagnóstico é realizado de forma consistente, seguindo procedimentos coerentes para sua validação.

A metodologia MHmit apresentou desvios percentuais satisfatórios (< 10%) entre os valores previstos (durante as simulações com o aplicativo MHmit) e reais (por meio da verificação da real economia de energia elétrica proporcionada após a substituição do novo motor).

Referências

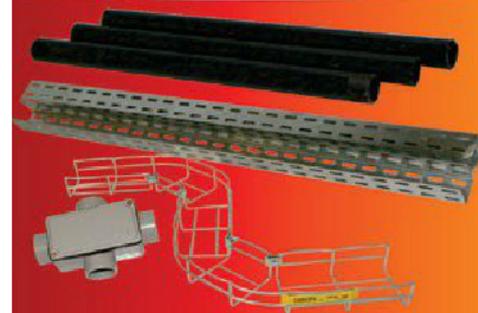
- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 17094-1: Máquinas elétricas gigantes - Motores de indução - Parte 1: Trifásicos*. Rio de Janeiro, 2008.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 5383-2: Máquinas elétricas gigantes - Máquinas de indução - Determinação das características*. Rio de Janeiro, 2007.
- [3] Augusto Jr., Norberto: *Motores de alto rendimento: dimensionamento e viabilidade econômica*. São Paulo, 2001. 157p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- [4] DOE - U.S. Department of Energy: *International Performance Measurement and Verification Protocol*. United States of America, 1997.
- [5] Eletrobras: *Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos*. 2ª ed. Itajubá: Unifei, 2003. p. 349-376.
- [6] Fitzgerald, A.; Kingsley C.; Umans, S.: *Electric Machinery*. New York: McGraw-Hill, 1991. 599p.
- [7] Guia Técnico: *Motor de alto rendimento*. Rio de Janeiro: Procel/Eletrobras, 1998. 28p.
- [8] Guilbert, C. F.: *Essais des machines électriques*. Paris: Librairie J.-B. Baillière et Fils, 1934. 535p.
- [9] Lobosco, O. S.; Dias, L. P. C.: *Seleção e aplicação de motores elétricos*. São Paulo: McGraw-Hill, 1988. 356p.
- [10] Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. *O Programa - Apresentação*. Disponível em: www.eletobras.com/procel. Acesso em 3 de maio de 2008.
- [11] Ramos, M.C.G.: *A conservação, considerando aspectos relacionados à qualidade de energia elétrica na indústria têxtil: estudo de caso*. 2002. 148p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Trabalho apresentado no Enie 2012 - XIV Encontro Nacional de Instalações Elétricas (14 a 16 de agosto de 2012, em São Paulo, SP).

REYMASTER
MATERIAIS ELÉTRICOS
41. 3021-5000
www.reymaster.com.br

**TUDO EM UM
SÓ LUGAR.**

- ⚡ Materiais Elétricos
- ⚡ Motores Elétricos
- ⚡ Conectividades
- ⚡ EPIs



Av. Pres. Wenceslau Braz, 3241
Lindóia - Curitiba - PR