Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

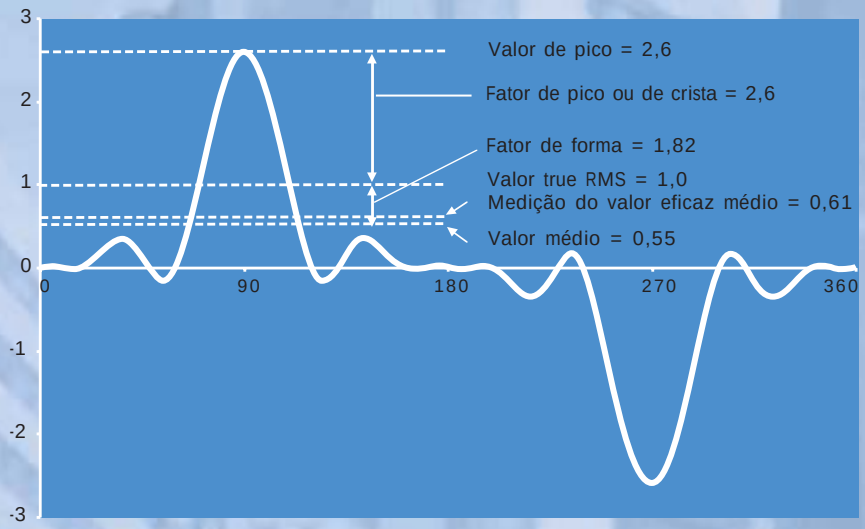
Education and Culture

Leonardo da Vinci

Harmônicas

True RMS – A única medição verdadeira

3.2.2



PRO COBRE Connects Life.™

PROJECT COPPER

Harmônicas

Harmônicas

True RMS - A única medição verdadeira

Ken West
Fluke (UK) Ltd
Julho de 2002

European Copper Institute (ECI)

O Instituto Europeu do Cobre é uma joint venture entre a ICA (Associação Internacional do Cobre) e o IWCC (Conselho Internacional do Cobre Forjado). Por sua qualidade de membro, o ECI age em nome dos maiores produtores de cobre do mundo e dos fabricantes líderes da Europa, na promoção do cobre na Europa. Formado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de dez Associações de Desenvolvimento do Cobre (CDAs) no Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, Escandinávia, Espanha e o Reino Unido. Fomenta os esforços empreendidos inicialmente pela Associação de Desenvolvimento de Produtos de Cobre, criada em 1959, e a INCRA (Associação Internacional de Pesquisa do Cobre) formada em 1961.

Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

Reconhecimentos

Este projeto foi realizado com o apoio da Comunidade Européia e da International Copper Association, Ltd.

Advertência

O European Copper Institute, a Fluke (UK) Ltd, a Copper Development Association e o Instituto Brasileiro do Cobre, negam responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar do uso da informação, ou da inabilidade para usar as informações ou dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Copper Development Association and Fluke (UK) Ltd.

A reprodução é autorizada com a condição de que o material não seja abreviado e a fonte seja reconhecida.

PRO COBRE Connects Life.™

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

True RMS – A única medição verdadeira

Muitas instalações comerciais e industriais sofrem de forma persistente o denominado “disparo intempestivo” dos seus disjuntores. Freqüentemente estes disparos parecem fortuitos e inexplicáveis, mas, certamente, existe sempre uma razão para que aconteçam e normalmente têm duas causas comuns. A primeira causa possível são as correntes de energização que ocorrem quando algumas cargas, particularmente computadores pessoais e outros dispositivos eletrônicos, são ligados. Este assunto é discutido em uma seção posterior deste Guia. A segunda provável causa é que a verdadeira corrente que circula no circuito tenha sido subestimada - em outras palavras, a corrente que realmente circula é muito maior.

A medição de um valor menor que o real acontece muito freqüentemente nas instalações modernas - mas por que, se os instrumentos de medição digitais são tão precisos e confiáveis? A resposta é que muitos instrumentos não são adequados para a medição de correntes distorcidas e, na atualidade, a maioria das correntes são distorcidas.

Esta distorção é devida às correntes harmônicas geradas por cargas não lineares, especialmente equipamentos eletrônicos tais como computadores pessoais, lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos, e acionamentos de velocidade variável. Como as harmônicas são geradas, e os seus efeitos no sistema elétrico, são assuntos discutidos na seção 3.1 deste Guia. A Figura 3 mostra a forma de onda de corrente típica gerada por um computador pessoal. Obviamente, não é uma onda senoidal e todas as ferramentas e técnicas de cálculo que normalmente são utilizadas para medição de ondas senoidais já não funcionam. Isto significa que, ao investigar uma avaria ou analisar o desempenho de um sistema de

Figura 1 - Uma corrente, duas leituras. Em qual delas você confia? O circuito acima alimenta uma carga não linear com corrente distorcida. O multímetro de alicate true RMS (à esquerda) lê corretamente, mas o multímetro de valor médio (à direita) fornece uma leitura 32% menor.

alimentação de energia, é essencial usar as ferramentas corretas para esse trabalho, ferramentas que possam lidar com correntes e tensões não senoidais.

A Figura 1 mostra dois multímetros de alicate no mesmo trecho de um circuito. Ambos instrumentos estão funcionando corretamente e estão calibrados conforme a especificação do fabricante. A diferença chave está na forma em que mede cada instrumento.

O multímetro à esquerda é um instrumento true RMS (verdadeiro valor eficaz), e o multímetro à direita é um instrumento calibrado para leitura de valores eficazes médios. Para apreciar a diferença é necessário compreender o que realmente significa RMS.

O que é RMS?

A magnitude da Média Quadrática (do inglês RMS, Root Mean Square), também denominada valor eficaz, de uma corrente alternada é o valor da corrente contínua equivalente que produziria a mesma quantidade de calor em uma determinada carga resistiva. A quantidade de calor produzida em um resistor por uma corrente alternada é proporcional à média do quadrado da corrente ao longo de um ciclo completo da forma de onda. Em outras palavras, o calor produzido é proporcional à média do quadrado, de modo que o valor da corrente é proporcional à raiz quadrada da média dos quadrados ou RMS (a polaridade é irrelevante já que o quadrado é sempre positivo).

Para uma onda senoidal perfeita, como a da Figura 2, o valor RMS (eficaz) é 0,707 vezes o valor de pico (ou o valor de pico é $\sqrt{2}$, ou 1,414, vezes o valor RMS). Em outras palavras, o valor de pico de uma corrente de onda senoidal pura de 1 ampère RMS será 1,414 ampères. Se a magnitude da forma de onda é calculada simplesmente como o valor médio (invertendo o semiciclo negativo), o valor médio é 0,636 vezes o valor de pico, ou 0,9 vezes o valor RMS. Existem duas relações importantes mostradas na Figura 2:

$$\textit{Fator de pico} = \frac{\textit{Valor de pico}}{\textit{Valor RMS}} = 1{,}414 \text{ e } \textit{Fator de forma} = \frac{\textit{Valor RMS}}{\textit{Valor médio}} = 1{,}111$$

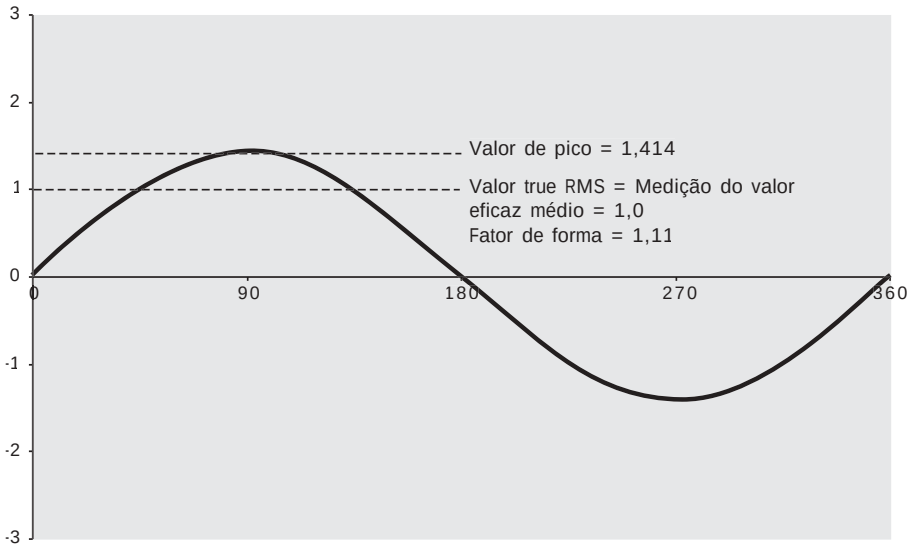


Figura 2 - Uma onda senoidal pura.

Ao medir uma onda senoidal pura - mas somente em uma onda senoidal pura - é correto fazer uma medição simples do valor médio (0,636 x valor de pico) e multiplicar o resultado pelo fator de forma, 1,111 (obtendo 0,707 vezes o valor de pico) e chamá-lo valor RMS (valor eficaz). Esta é a abordagem adotada em todos os medidores analógicos (nos quais a média é obtida pela inércia e o amortecimento do movimento da bobina), e em todos os multímetros digitais antigos mais comuns. Esta técnica é conhecida como medição “de leitura média com calibração RMS”.

O problema é que esta técnica é válida apenas para ondas senoidais puras e as ondas senoidais puras não existem no mundo real de uma instalação elétrica. A forma de onda mostrada na Figura 3 é típica da forma de onda de corrente gerada por um computador pessoal. O valor true RMS permanece 1 A, mas o valor de pico é muito mais elevado, chegando aos 2,6 A, e o valor médio é muito inferior, da ordem de 0,55 A.

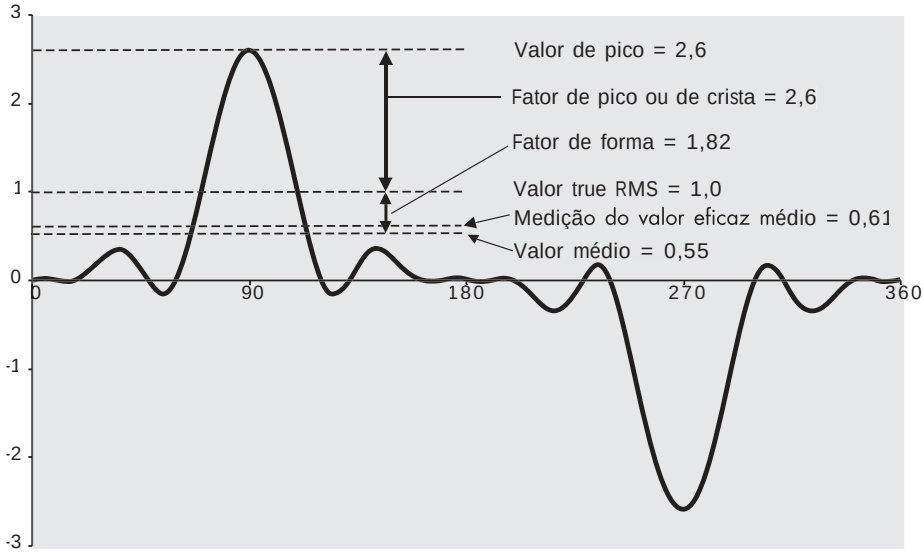


Figura 3 - Forma de onda de corrente típica gerada por um computador pessoal.

Se esta forma de onda é medida com um multímetro de leitura média com calibração RMS, a leitura será de 0,61 A, em lugar do valor verdadeiro de 1 A, quase 40% mais baixo. A Tabela 1 dá alguns exemplos do modo como os dois diferentes tipos de aparelhos de medição respondem para diferentes formas de onda.

Um multímetro true RMS funciona tomando o quadrado do valor instantâneo da corrente de entrada, calculando a média com relação ao tempo e mostrando então a raiz quadrada desta média. Quando este procedimento está perfeitamente programado, é absolutamente preciso qualquer que seja a forma de onda. Logicamente, a programação nunca é perfeita, e têm que ser levados em conta dois fatores que limitam a precisão: a resposta de freqüência e o fator de pico ou de crista.

Para uso em sistemas de potência é normalmente suficiente medir até a harmônica de ordem 50, isto é, até uma freqüência de cerca de 2500 Hz. O fator de crista, a relação entre o valor de pico e o valor RMS (valor eficaz), é importante: um fator de crista mais alto requer um medidor com um nível dinâmico maior e, portanto, precisão maior nos circuitos de conversão. Normalmente, são requeridos instrumentos com capacidade para um fator de crista pelo menos igual a três.

Vale a pena observar que, apesar de fornecer leituras diferentes quando usados para medir formas de onda distorcidas, os aparelhos de medição de ambos tipos forneceriam a mesma leitura se usados para medir uma forma de onda senoidal perfeita. Esta é a condição para a qual são calibrados, de forma que cada medidor pode ser certificado como calibrado, mas apenas para uso em formas de onda senoidais.

Os aparelhos de medição true RMS estão disponíveis faz pelo menos 30 anos, mas costumavam ser instrumentos especializados e de custo elevado. Os avanços na eletrônica permitem agora que a capacidade de medição true RMS esteja incorporada em muitos multímetros portáteis. Infelizmente, esta característica é encontrada apenas nos aparelhos de topo de linha da maioria dos fabricantes, mas ainda assim são suficientemente baratos para poder adquiri-los como instrumentos para trabalho normal, para serem utilizados por todos e de forma contínua.

Tipo de multímetro	Onda senoidal pura	Onda quadrada	Diodo retificador monofásico	Diodo retificador trifásico
Valor médio	Correto	10% mais alto	40% mais baixo	5-30% mais baixo
True RMS	Correto	Correto	Correto	Correto

Tabela 1 - Comparação entre um multímetro de valor médio e de verdadeiro valor eficaz.

As conseqüências de medições baixas demais

O valor nominal de funcionamento para a maior parte dos elementos dos circuitos elétricos é determinada pela quantidade de calor que pode ser dissipada de forma que o elemento ou componente não sofra um sobreaquecimento.

As capacidades nominais de condução de corrente dos cabos, por exemplo, são definidas para umas condições de instalação em particular (o que determina quão rápido o calor gerado pela passagem da corrente pode dissipar-se), e uma temperatura máxima de trabalho. Como as correntes poluídas por harmônicas têm um valor eficaz mais alto que aquele que é medido por um instrumento de valor médio, os cabos podem ter sido subdimensionados e aquecem muito mais do que o esperado. O resultado é a degradação do isolamento, a falha prematura e o risco de incêndio.

Os barramentos são dimensionados calculando a taxa de dissipação de calor das barras por convecção e radiação e a taxa de aquecimento devido às perdas resistivas. A temperatura em que estas taxas são iguais é a temperatura de trabalho do barramento, e é projetado de forma que a temperatura de trabalho seja suficientemente baixa para evitar que aconteça um envelhecimento prematuro do isolamento e dos materiais de suporte. Da mesma forma que no caso dos cabos, erros na medição do verdadeiro valor eficaz terão como conseqüência temperaturas de funcionamento mais altas. Como os barramentos são normalmente de dimensões grandes, o efeito pelicular é mais aparente que nos condutores de menor tamanho, o que provoca um aumento adicional da temperatura.

Os valores nominais de outros componentes do sistema elétrico, tais como fusíveis e os elementos térmicos dos disjuntores, são estabelecidos em valores de corrente true RMS porque suas características estão diretamente relacionadas com a dissipação de calor. Esta é a principal causa dos disparos intempestivos, já que a corrente efetiva é superior à prevista e o disjuntor está operando em uma área em que seu uso prolongado provocará o disparo por aquecimento excessivo. A resposta de um disjuntor nesta região é muito sensível à temperatura, e parece imprevisível. Como acontece com qualquer interrupção de fornecimento, o custo da falha devida ao disparo intempestivo pode ser alto, causando perda de dados em sistemas de computação, interrupção dos sistemas de controle de processo, etc. Estes assuntos são discutidos na Seção 2 deste Guia.

Obviamente, apenas os instrumentos true RMS fornecerão as medições corretas, de forma que as capacidades nominais dos cabos, barramentos e disjuntores possam ser corretamente determinadas. Uma pergunta importante é: “Este medidor é de verdadeiro valor eficaz?”. Normalmente, se um medidor é de verdadeiro valor eficaz, estará claramente especificado na documentação que o acompanha, mas esta freqüentemente não está disponível quando necessário. A resposta pode ser obtida comparando suas medições com as de um multímetro de valor médio conhecido (que normalmente será o mais barato que estiver disponível!) ou com as de um medidor que reconhecidamente forneça leituras true RMS ao medir a corrente de uma carga não linear como um PC e a corrente gerada por uma lâmpada incandescente. Ambos medidores devem indicar a mesma leitura para a corrente de uma lâmpada incandescente. Se um dos instrumentos fornece uma leitura significativamente maior (digamos, mais de 20%) que o outro para o PC, então é provavelmente um instrumento true RMS, e se as leituras são semelhantes, os medidores são do mesmo tipo.

Conclusão

A medição de verdadeiro valor eficaz é essencial em qualquer instalação onde existe um número significativo de cargas não lineares (PCs, reatores eletrônicos, lâmpadas fluorescentes compactas, etc.). Os medidores de leitura de valores médios fornecerão medições até 40% inferiores, o que pode resultar em cabos e disjuntores subdimensionados, com o risco de falhas e disparos intempestivos.

Rede de Parceiros

Copper Benelux
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 7099
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association
Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V
Am Bonneshof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services
Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox
Schoebroeckstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendrikx

HTW
Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame
Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirenet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven
Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA
Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: pcpm@miedz.org.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo
Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw
Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz

Ken West

Fluke (UK) Ltd
52 Hurricane Way
Norwich
Norfolk NR6 6JB
United Kingdom

Tel: 00 44 207 942 0709
Fax: 00 44 207 942 0701
Email: industrial@uk.fluke.nl
Website: www.fluke.co.uk

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org