

Compreendendo Harmônicos de Energia

Resolução básica de problemas utilizando multímetros ou alicates de corrente

Porque tanto barulho acerca de harmônicos?

Um mistério vem ocorrendo em prédios comerciais e fábricas de hoje. Transformadores fornecendo aparentemente cargas médias estão superaquecendo-se. Condutores neutros em circuitos balanceados estão superaquecendo-se por cargas excessivas. Interruptores de circuito estão disparando sem causa aparente. Ainda assim, os procedimentos padrões de resolução de problemas mostram que tudo está normal. Então, qual o problema? Em uma palavra — harmônicos.

Nova tecnologia introduz novos desafios

Harmônicos são os subprodutos de eletrônicos modernos. Eles serão especialmente predominantes onde houver grande número de PCs, controladores de velocidade ajustável e outros tipos de equipamentos que extraíam corrente em pulsos curtos. Este equipamento é projetado para extrair corrente somente durante uma porção controlada da forma

de onda de tensão de entrada. Se por um lado isto melhora muito a eficiência, por outro causa harmônicos na corrente de carga. E isto gera transformadores e neutros superaquecidos e interruptores de circuito acionados. Se você for ouvir uma linha de energia normal de 60 ciclos, você notará um único tom. Quando harmônicos estão presentes, você ouve um tom diferente, composto por notas mais agudas. O problema é ainda mais evidente quando você observa a forma de onda. Uma tensão de linha de energia de ciclo 60 aparece no osciloscópio quase como onda senoidal (Figura 1). Quando há harmônicos, a forma de onda é distorcida (Figuras 2A e 2B). Estas ondas são descritas como não-senoidais. As formas de onda de corrente e tensão não são mais facilmente descritas – por isso o termo “não linear”.

Cortando o mal pela raiz

Achar o problema é relativamente fácil uma vez que você sabe o que e onde procurar. Os sintomas de harmônicos são geralmente sutis. Esta nota lhe trará alguns indicadores básicos de como achar harmônicos e algumas sugestões de como lidar com o problema. Porém, você deveria chamar um consultor para analisar sua operação e projetar um plano para sua situação específica.

Nota de Aplicação

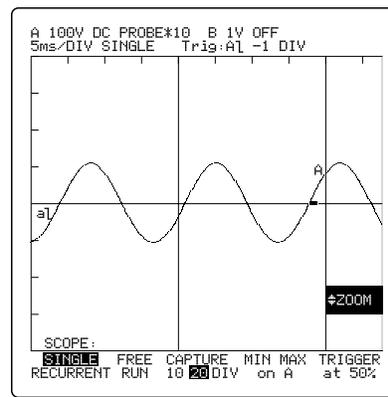


Figura 1. Onda senoidal

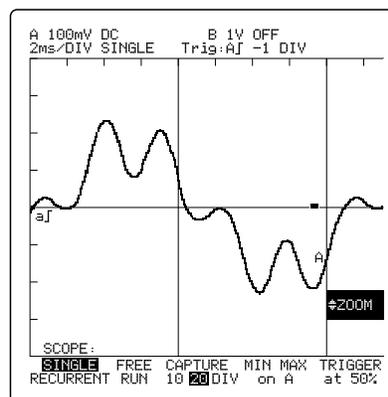


Figura 2A. Forma de onda de corrente distorcida

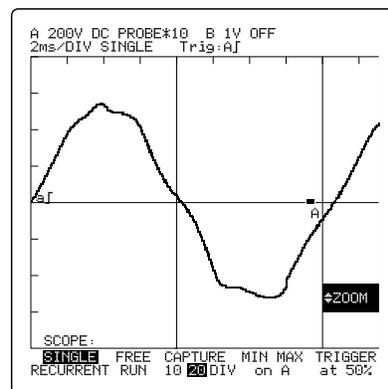


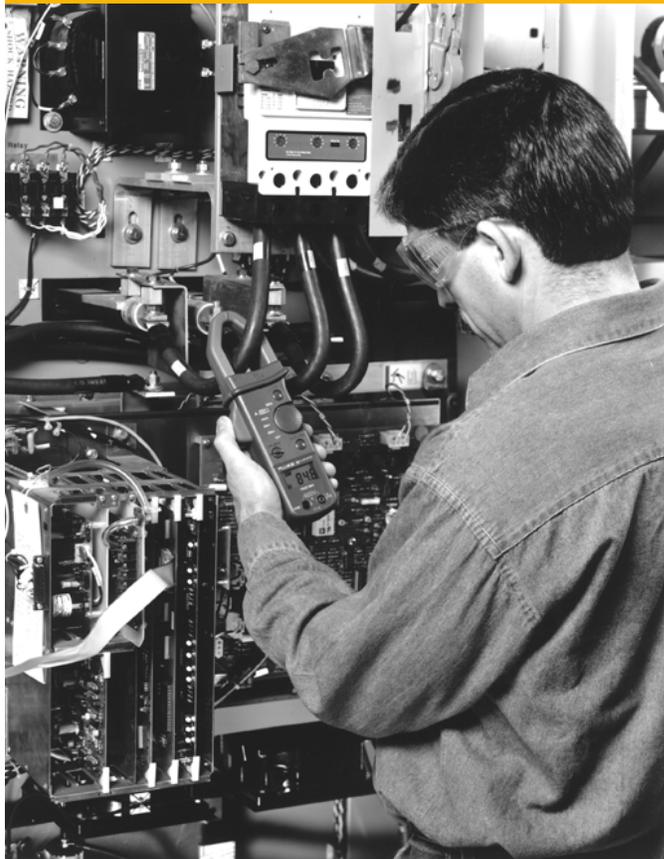
Figura 2B. Forma de onda de tensão distorcida

Trabalhe com segurança

As altas voltagens e tensões presentes em sistemas de energia elétrica podem causar ferimentos graves ou mortes por eletrocução. Por isso, modificações e testes de sistemas elétricos devem ser executados somente por eletricitas experientes e treinados que possuam conhecimento de sistemas elétricos em geral e do equipamento sob teste. A Fluke não pode prescrever todas as precauções possíveis que você deve tomar ao executar as medições descritas nesta nota. No mínimo, porém, você deveria:

- Usar equipamentos de segurança apropriados como óculos de segurança, luvas isolantes, esteiras isolantes etc.
- Certifique-se de que toda energia tenha sido desligada e bloqueada em qualquer situação na qual você esteja em contato direto com componentes de circuito. Esteja certo de que a energia não poderá ser ligada porque qualquer um além de você.

- Leia e compreenda todos os manuais aplicativos antes de usar as informações de aplicação desta nota. Dê atenção especial a todos avisos e precauções de segurança nos manuais de instrução. Esta nota de aplicação é um guia geral para compreensão de harmônicos. Não pretende substituir os serviços de consultores de sistemas elétricos profissionais. Antes de fazer qualquer medição para diagnosticar ou lidar com problemas potenciais de harmônicos você deve ter sua operação analisada profundamente por um profissional. Esta nota de aplicação não pretende ser um estudo de teoria elétrica. Ela apresenta conceitos eletro-eletrônicos básicos de interesse do leitor.



Definindo o problema

Harmônicos são correntes ou tensões com frequências múltiplas da frequência de energia fundamental. Por exemplo, se a frequência fundamental é 60 Hz, então a segunda harmônica é 120 Hz, a terceira é 180 Hz etc. Harmônicos são criados por cargas não lineares que extraem pulsos abruptamente ao invés da maneira senoidal estável. Estes pulsos causam aspectos de onda de corrente distorcidos que, por sua vez, geram correntes de harmônicos para fluir de volta em outras partes do sistema de energia.

A história interna

Este fenômeno é especialmente predominante em equipamentos que possuem fontes de energia de entrada de capacitor-diodo, por exemplo, PCs, impressoras e equipamentos de teste médico. O que ocorre eletricamente? A tensão ac de entrada é um diodo reparado e é usada, então, para carregar um capacitor grande. Depois de poucos ciclos, o capacitor é carregado para a tensão de pico da onda senoidal (por exemplo, 170V para uma linha ac de 120V). Então, o equipamento eletrônico extrai corrente a partir desta alta tensão dc para alimentar o resto do circuito. O equipamento pode extrair a corrente abaixo de um limite menor regulado. Geralmente, antes de atingir tal limite, o capacitor é recarregado para o pico no próximo semi-ciclo da onda senoidal. Este processo é repetido várias vezes. Basicamente, o capacitor extrai um pulso de corrente somente durante o pico da onda. Durante o resto da onda, quando a tensão está abaixo do restante do capacitor, o capacitor não extrai corrente. As fontes de energia encontradas no diodo/capacitor em equipamentos de escritório são tipicamente cargas monofásicas não lineares. Em fábricas industriais as causas mais comuns de correntes de harmônicos são cargas trifásicas não lineares que incluem controladores de motores eletrônicos e fontes de energia ininterruptas (UPS).

Efeitos de Correntes Harmônicas

Harmônicos de tensão

A própria linha de energia pode ser uma fonte indireta de tensão harmônica. A corrente harmônica extraída por cargas não lineares age numa relação de lei de Ohm com a impedância de fonte do transformador de fornecimento para produzir tensão harmônica. Impedância de fonte inclui o transformador de fornecimento e componentes de circuito ramificado. Por exemplo, uma corrente harmônica de 10A sendo extraída a partir de uma impedância de fonte de 0,1 gerará uma tensão de harmônico de 1,0V. Quaisquer cargas dividindo um transformador ou circuito com carga harmônica pesada podem ser afetadas por harmônicos de tensão gerados. O PC pode ser afetado por harmônicos de tensão. A performance da fonte de energia de diodo/capacitor é criticamente dependente da grandeza da tensão de pico. Harmônicos de tensão podem causar variações da forma de onda de tensão, baixando a tensão de pico (veja Figura 2B). Em muitos casos, o computador pode “resetar” devido à tensão de pico insuficiente. No ambiente industrial, o motor de indução e capacitores de correção de fator de energia podem também ser seriamente afetados por harmônicos de tensão. Capacitores de correção de energia podem formar um circuito ressonante com as partes indutoras do sistema de distribuição de energia. Se a frequência ressonante for próxima àquela da tensão harmônica, a corrente harmônica resultante pode crescer substancialmente, sobrecarregando os capacitores e queimando os fusíveis do capacitor. Felizmente, a falha do capacitor dessintoniza o circuito e a ressonância desaparece.

Prédios comerciais e fábricas – harmônicos em elevação

Sintomas de harmônicos geralmente revelam-se em equipamentos que suportam cargas não lineares. Existem dois tipos básicos de cargas não lineares – monofásicas e trifásicas. Cargas não lineares monofásicas são predominantes em escritórios, enquanto cargas trifásicas são frequentes em fábricas industriais. Cada componente do sistema de distribuição de energia manifesta os efeitos de harmônicos diferentes. Ainda assim, todos estão sujeitos a danos e performances ineficazes.

Neutro

Num sistema trifásico de 4 cabos, o neutro pode ser severamente afetado por cargas não lineares conectadas a circuitos ramificados de 120V. Sob condições normais para uma carga balanceada, a porção de 60 Hz fundamental das correntes de fase se anulará no neutro. Num sistema monofásico de 4 cabos com cargas não lineares, certos harmônicos ímpares chamados triplens – múltiplos ímpares da terceira harmônica: 3º, 9º, 15º etc. — não se anulam, mas, ao invés disso, adicionam-se ao neutro. Em sistemas com muitas cargas monofásicas, a corrente neutra pode de fato exceder a corrente de fase. O perigo aqui é o aquecimento excessivo, porque não há interruptor de circuito no neutro para limitar a corrente como há nos condutores de fase. Corrente excessiva no neutro pode também causar quedas de tensão maiores do que o normal entre o neutro e a terra na tomada de 120V.

Interruptores de circuito

Interruptores termo-magnéticos comuns de circuito utilizam um mecanismo de disparo bimetalico que responde ao efeito de aquecimento da corrente de circuito. É projetado para responder ao valor true-rms da forma de onda da corrente e, então, irá disparar quando esquentar muito. Este tipo de interruptor possui uma chance maior de proteger contra sobrecargas de correntes harmônicas. Um interruptor eletrônico de circuito de disparo sensível ao pico responde ao pico da forma de onda de corrente. Como resultado, ele nunca responderá apropriadamente a correntes harmônicas. Uma vez que o pico da corrente harmônica é geralmente maior do que o normal, este tipo de interruptor de circuito pode disparar prematuramente a uma corrente baixa. Se o pico for menor do que o normal, o interruptor pode falhar o disparo quando realmente deveria disparar.

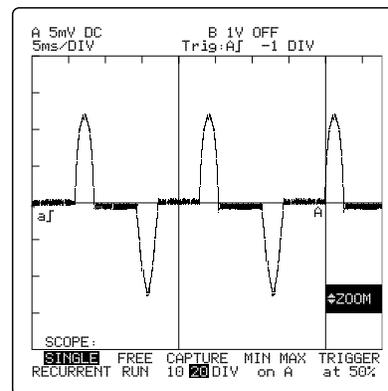


Figura 3A. Forma de onda de corrente de carga monofásica não-linear

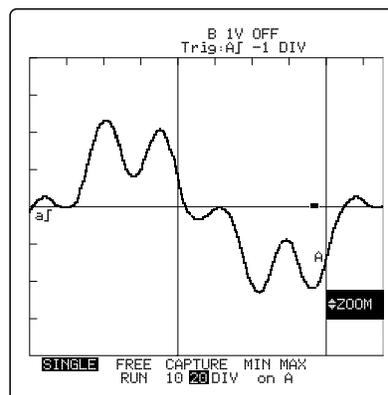


Figura 3B. Forma de onda de corrente de carga trifásica não-linear

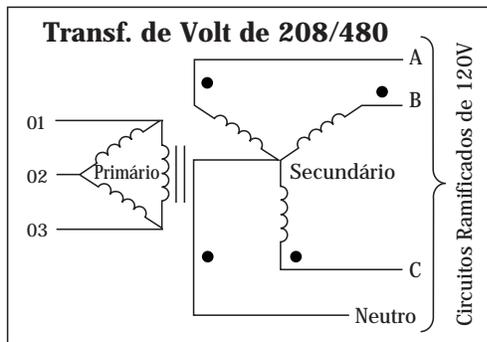
Efeitos de Correntes Harmônicas

Barras de ligação e suportes de conexão

Barras de ligação neutras e suportes de conexão são dimensionados para transmitir o valor completo da corrente de fase classificada. Eles podem tornar-se sobrecarregados quando neutros são sobrecarregados com a soma adicional de harmônicos triplen.

Painéis elétricos

Harmônicos em painéis elétricos podem emitir um tom forte. Painéis designados para transmitir correntes de 60 Hz podem tornar-se mecanicamente ressonantes aos campos magnéticos gerados pelas correntes harmônicas de alta frequência. Quando isto ocorre, o painel vibra e emite um zumbido a frequências harmônicas.



Telecomunicações

Sistemas de telecomunicações frequentemente lhe oferecem a primeira dica de problemas de harmônicos. Cabos de telecomunicações são comumente colocados próximos a cabos de energia. Para minimizar a interferência indutora da corrente de fase, cabos de telecomunicações são colocados mais próximos do fio neutro. Triplens no neutro causam comumente interferência indutora, que pode ser ouvida numa linha telefônica. Isto é frequentemente a primeira indicação de problemas de harmônicos e lhe dá uma diretriz na detecção do problema antes que cause maiores danos.

Transformador

Prédidos comerciais geralmente possuem um transformador de 208/120 V numa configuração delta-y. Estes transformadores geralmente alimentam receptáculos num prédio comercial. Cargas monofásicas não-lineares conectadas aos receptáculos produzem harmônicos triplen que, algebricamente, adicionam-se ao neutro. Quando esta corrente neutra alcança o transformador, é refletida no circuito primário delta, onde causa superaquecimento e falhas de transformador.

Outro problema de transformador resulta da perda nuclear e perda de cobre. Transformadores são normalmente quotados somente para cargas de corrente de fase de 60 Hz. Correntes harmônicas de frequências mais altas causam aumentada perda de cobre devido a correntes de turbilhão e histerese, resultando em maior aquecimento do que ocorreria na mesma corrente de 60 Hz. Estes efeitos de aquecimento exigem que os transformadores sejam reduzidos para cargas harmônicas ou substituídos por transformadores especialmente projetados.

Geradores

Geradores de prontidão estão sujeitos ao mesmo tipo de problema de superaquecimento que os transformadores. Por fornecerem reserva emergencial para cargas geradoras de harmônicos (como equipamentos de processamento de dados), frequentemente são ainda mais vulneráveis. Além do superaquecimento, certos tipos de harmônicos produzem distorção no cruzamento de zero da forma de onda da corrente, que causa interferência e instabilidade para os circuitos de controle dos geradores.

Classificação de harmônicos

Cada harmônico possui um nome, frequência e sequência. A sequência refere-se à rotação física com respeito ao fundamental (F). Por exemplo, num motor de indução, um harmônico de sequência positiva gera um campo magnético que gira na mesma direção do fundamental. Um harmônico de sequência negativa gira na direção oposta. Os primeiros nove harmônicos junto com seus efeitos estão listados abaixo:

Nome	1º	2º*	3º	4º*	5º	6º*	7º	8º*	9º
Frequência	60	120	180	240	300	360	420	480	540
Sequência	+	-	0	+	-	0	+	-	0

*Mesmo harmônicos desaparecem quando as ondas são simétricas (típico para circuitos elétricos)

Sequência	Rotação	Efeitos (efeitos de superfície, correntes parasitas etc.)
Positiva	Adiante	Aquecimento de condutores, interruptores de circuito etc.
Negativa	Reversa	Aquecimento como acima + problemas de motor
Zero**	Nenhuma	Aq. + aumento no neutro do sistema trifásico de 4 fios

**Harmônicos de sequência zero (múltiplos ímpares do 3º) são chamados "Triplens" (3º, 9º, 15º, 21º etc.)

Analise a situação

Uma análise de harmônico lhe dará uma boa idéia se você tem ou não um problema de harmônico e onde ele está localizado. Eis algumas regras a seguir.

1. Inventário de carga – faça uma inspeção de aparato e observe os tipos de equipamentos em uso. Se você possui muitos PCs e impressoras, motores de velocidade ajustável, controles de aquecedores de estado sólido e certos tipos de iluminação fluorescente, há uma grande chance de harmônicos estarem presentes.

2. Verificação de aquecimento de transformador – localize os transformadores alimentando cargas não lineares e procure aquecimentos excessivos. Certifique-se também de que as saídas de ar estejam desobstruídas.

3. Corrente secundária de transformador – utilize um multímetro true-rms para verificar correntes de transformador.

- Verifique se as classificações de tensão para o equipamento de teste são adequadas para o transformador sendo testado.

- Meça e registre as correntes secundárias do transformador em cada fase e no neutro (se utilizado).

- Calcule a kVA fornecida para a carga e compare-a com a classificação de fábrica. Nota: se correntes harmônicas estiverem presentes, o transformador pode superaquecer-se mesmo se a kVA fornecida for menor do que a classificação de fábrica.

- Se o secundário de transformador for um sistema de 4 fios, compare a corrente de neutro medida com o valor previsto a partir da instabilidade nas correntes de fase (a corrente de neutro é a soma vetorial das correntes de fase e normalmente deve ser zero se as correntes de fase estiverem balanceadas tanto em fase quanto em amplitude). Quando a corrente de neutro está alta, é provável que haja harmônicos

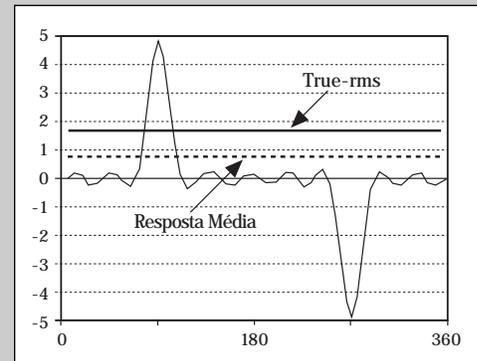
e o transformador deverá ser reduzido.

- Meça a frequência da corrente de neutro. 180 Hz seria uma leitura típica para corrente de neutro consistindo principalmente de terceiro harmônico.

4. Verificação de corrente de neutro de sub-painel – analise os sub-painéis que alimentam cargas harmônicas. Meça a corrente em cada neutro ramificado e compare o valor medido com a capacidade classificada para o tamanho de fio usado. Procure aquecimento e descoloração na barra de ligações do neutro e nas conexões alimentadoras. Uma sonda infra-vermelho de temperatura sem contato é útil na detecção de superaquecimentos excessivos em barras de ligações e conexões.

5. Verificação de tensão neutro-terra do receptáculo – superaquecimento de neutro em circuitos ramificados de receptáculos às vezes pode ser detectado medindo-se a tensão neutro-terra no receptáculo. Meça a tensão quando as cargas estiverem ligadas. Dois volts ou menos é normal. Tensões mais altas podem indicar problemas dependendo do comprimento do percurso, qualidade das conexões etc. Meça a frequência. 180 Hz sugere uma forte presença de harmônicos. 60 Hz sugere que as fases estão desbalanceadas.

Dedique especial atenção a fios sob carpetes e painéis modulares de escritórios com fios integrados que utilizam um neutro compartilhado por condutores trifásicos. Pelo fato das cargas típicas nestas duas áreas serem computadores e máquinas de escritório, elas são frequentemente focos de problemas para neutros sobrecarregados.



À procura de harmônicos

Eis um modo simples de determinar a extensão de distorção harmônica causada por circuitos de entrada de carga linear monofásica:

Faça duas medições de corrente separadas:

1. Utilizando um alicate de corrente ou multímetro de resposta média com alicate conectado (p.e. Fluke 27 e 80i-600).

2. Utilizando alicates de medição true-rms, como o Fluke 32, 33 ou 36 ou um multímetro true-rms com alicate acoplado (p.e. Fluke VX87 e 80i-600). Divida os resultados da primeira medição pela segunda medição. Isto lhe dá a razão A/R. Uma razão de 1,0 indicaria pouca ou nenhuma distorção harmônica.

Uma razão de 0,50 indicaria distorção harmônica substancial. O método de razão A/R não substitui o analisador de harmônico, mas é um modo prático e simples de determinar se há algum problema em circuitos ramificados monofásicos. Uma vez sabendo da existência de harmônicos, você pode utilizar um Fluke VX39, VX41B ou VX43 para determinar a extensão do problema.

Nota: o método de razão A/R é útil somente para correntes de circuitos ramificados monofásicos e não deve ser usado em cargas trifásicas.

Comparação de performances de multímetros: resposta média vs. true-rms

Tipo do multímetro	Circuito de medição	Resposta de Onda senoidal	Resposta de Onda quadrada	Resposta de Onda distorcida
Resposta Média	Média Retificada x 1.1			
True-rms	Conversor de cálculo rms. Calcula o valor de aquecimento.	Correta	Correta	Correta

*Dentro das especificações do multímetro para fator de crista e largura de banda.

Multímetros True-rms

Possuir as ferramentas apropriadas é fundamental para diagnosticar problemas de harmônicos. O tipo de equipamento que você usa varia de acordo com a complexidade das medições que você precisa. Para determinar se você tem um problema de harmônicos, você precisa medir o valor true-rms e o valor de pico instantâneo do gráfico de onda. Para isto, é necessário usar um alicate de medição como o Fluke 32, 33 ou 36, ou um multímetro digital portátil que faça medições true-rms e tenha um circuito de “peak hold” de alta velocidade (1 ms) como um Fluke VX87.

Obtendo a figura verdadeira

“True-rms” refere-se a “root-mean-square” (raiz média quadrada) ou valor de aquecimento equivalente de um gráfico de onda de tensão ou corrente. “True” distingue a medição feita daquelas tiradas por multímetros de resposta média. A maioria absoluta dos alicates de corrente portáteis de baixo custo são de resposta média.

Estes instrumentos oferecem leituras corretas somente para ondas senoidais puras e geralmente lêem abaixo quando confrontados com uma forma de onda de corrente distorcida. O resultado é uma leitura que pode ser até 50% abaixo.

Multímetros True-rms oferecem leituras corretas para qualquer gráfico de onda dentro das especificações de fator de crista e largura de banda do instrumento.

Saiba seu fator de crista

O fator de crista de uma forma de onda é a razão do valor de pico para o valor rms. Para uma onda senoidal, o fator de crista é 1,414. Um multímetro true-rms terá uma especificação de fator de crista. Esta especificação relata o nível de picos que pode ser medido sem erros. Um multímetro digital portátil true-rms de qualidade tem um fator de crista de 3,0 em escala completa. Isto é mais do que adequado para a maior parte das medições de distribuição de energia. Em meia-escala o fator de crista é o dobro. Por exemplo, na faixa ac de 400 V, o Fluke VX87 tem uma especificação de fator de crista de 3,0 medindo 400V ac e um fator de crista de 6,0 ao medir 200V ac. Nota: a maioria dos multímetros true-rms não pode ser usada para sinais abaixo de 5% da escala devido ao problema de ruído de medição. Utilize uma faixa menor se disponível.

Utilizando-se um multímetro com função “Peak” – como o Fluke VX87 – ou função “Crest” – como o Fluke 33 – o fator de crista pode ser facilmente calculado. Um fator de crista diferente de 1,414 indica a presença de harmônicos. Em casos monofásicos típicos, quanto maior a diferença de 1,414, maior será o conteúdo harmônico. Para harmônicos de tensão, o fator de crista típico é menor do que 1,414. Por exemplo, forma de onda retificada (“flat top”). Para harmônicos de corrente monofásica, o fator de crista típico está muito acima de 1,414. Formas de onda de corrente trifásica frequentemente exibem a forma de onda de curvas duplas (“double hump”) mostrada na figura 3B. Então, o método de comparação de fator de crista não deve ser aplicado a corrente de carga trifásica. Depois de determinar a presença de harmônicos, você pode fazer uma análise mais aprofundada da situação com um analisador de harmônicos como os modelos Fluke VX39, VX41B ou VX43.

A seguir algumas sugestões de como lidar com alguns problemas típicos de harmônicos.

Antes de realizar quaisquer destas medições, você deve chamar um especialista em qualidade de energia para analisar o problema e projetar um plano sob medida para sua situação específica.

Em neutros sobrecarregados

Num sistema trifásico de 4 fios, a porção de 60 Hz da corrente de neutro pode ser minimizada balanceando-se as cargas em cada fase. A corrente de neutro de harmônico triplen pode ser reduzida adicionando-se filtros harmônicos na carga. Se nenhuma destas soluções forem úteis, você pode instalar neutros extra – preferencialmente um neutro para cada fase - ou instalar um neutro grande compartilhado por três condutores de fase. Em construções modernas, fios sob carpetes e fios de divisões modulares de escritório devem ser marcados com neutros individuais e o chão isolado possivelmente separado da terra. (Referência FIPS Pub 94, Guideline on Electrical Power for ADP Installations*, and 1990 NEC Article 250-74 exception No. 4.)

*Cópias desta publicação estão à venda no National Technical Information Service, U.S. Dept. of Commerce, Springfield, VA 22161. Ao encomendar, refira-se à publicação Federal Information Processing Standards e dê o título.

Nota: National Electrical Code e NEC são marcas registradas da National Fire Protection Association.

Reduzindo transformadores

Um modo de proteger um transformador de harmônicos é limitar a quantidade de carga colocada nele. Isto é chamado “reduzir” o transformador.

O método de redução mais rigoroso é descrito no padrão ANSI/IEEE C57.110-1986. Este método é, de certa forma, pouco prático, pois requer extensa consulta de dados junto ao fabricante do transformador, além de um espectro harmônico completo da corrente de carga. A Computer & Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA), recomendou recentemente um segundo método

que envolve diversas medições que você pode obter com equipamentos de teste comumente disponíveis. Ele aparece para dar resultados razoáveis para transformadores de receptáculos de 208/120 Y que fornecem harmônicos ímpares de baixa frequência (3^o, 5^o, 7^o) normalmente gerados por computadores e máquinas de escritório operando a partir de circuitos ramificados monofásicos.

O equipamento de teste que você usa deve ser capaz de obter tanto a corrente de fase true-rms quanto a corrente de fase de pico instantâneo para cada fase do secundário.

Fator de redução

Para determinar o fator de redução para o transformador, faça as medições true-rms e de pico de corrente para os condutores trifásicos. Se as fases não estiverem balanceadas, calcule a média das três medições e insira o valor na seguinte fórmula:

$$\text{HDF} = \frac{\text{Fator de redução harmônica}}{(1,414) (\text{corrente de fase true-rms})}$$

$$= \frac{\text{(Corrente de fase de pico instantâneo)}}{\text{(Corrente de fase de pico instantâneo)}}$$

Esta fórmula gera um valor entre 0 e 1,0, tipicamente entre 0,5 e 0,9. Se as correntes de fase forem senoidais (sem distorção), os picos instantâneos serão 1,414 vezes o valor true-rms e o fator de redução será 1,0. Se este for o caso, não haverá necessidade de redução.

Porém, com a presença de harmônicos, a classificação do transformador será o produto da classificação kVA de fábrica vezes o HDF.

$$\text{kVA reduzido} = (\text{HDF}) \times (\text{classificação kVA de fábrica})$$

Por exemplo: transformador 208/120 Y classificado para 225 kVA:

Correntes de carga foram medidas por um Fluke VX87 com sonda de corrente 80i-600 ac acoplada para dar os seguintes resultados:	Nome do Conductor	Amps de cor. True-rms	Corrente de Pico instantâneo
	01	410A	804A
	02	445A	892A
	03	435A	828A

$$I \text{ Média de fase} = \frac{410 + 445 + 435}{3} = 430A$$

$$I \text{ Média de pico} = \frac{804 + 892 + 828}{3} = 841A$$

$$\text{HDF} = \frac{(1,414) \cdot (430)}{841} = 72,3\%$$

Os resultados indicam que com o nível de harmônicos presente, o transformador deve ser reduzido para 72,3% da sua classificação, para prevenção contra superaquecimento.

Situação

Um prédio comercial moderno, voltado essencialmente para desenvolvimento de softwares continha um grande número de PCs e outros equipamentos eletrônicos de escritório. Estas cargas eletrônicas eram alimentadas por um transformador de 120/208V configurado com um delta primário e um Y secundário. Os PCs estavam bem distribuídos pelo prédio, exceto por uma grande sala que continha muitas máquinas. Os PCs nesta sala, usados exclusivamente para testes, eram servidos por muitos circuitos ramificados. O transformador e a chave de distribuição principal localizavam-se numa sala elétrica do andar térreo. A inspeção desta sala revelou imediatamente dois sintomas de correntes harmônicas altas:

- O transformador estava gerando uma quantidade substancial de calor.
- O painel principal emitiu um zumbido audível. O som não era a trepidação comumente associada a um interruptor de circuito defeituoso, mas um profundo zumbido ressonante que indicou que as partes mecânicas do próprio painel estavam vibrando.

Um duto de ar instalado diretamente ao lado do transformador para dissipar o excesso de calor manteve a temperatura da sala dentro de limites razoáveis.

Definindo o problema

Transformador – medições de corrente (veja tabela 1) foram feitas no neutro e em cada fase do transformador secundário utilizando-se tanto um multímetro true-rms quanto uma unidade de resposta média. Um acessório transformador de corrente para 600A foi conectado em cada multímetro para permiti-los realizar leituras de alta corrente. Os gráficos de onda de corrente são mostrados nas figuras 4 e 5. A presença de harmônicos era óbvia através da comparação das medições de corrente de neutro e corrente de fase. Como mostra a tabela 1, a corrente de neutro estava substancialmente mais alta do que quaisquer das correntes de fase, mesmo com as correntes de fase bem balanceadas. O multímetro de resposta média obteve leituras aproximadamente 20% abaixo em todas as fases. Suas leituras de corrente de neutro estavam somente 2% abaixo. As formas de onda explicam a discrepância. As correntes de fase estavam gravemente distorcidas em função de uma grande quantidade de corrente de terceiro harmônico, enquanto a corrente de neutro era praticamente uma onda senoidal pura na frequência do terceiro harmônico. As leituras de corrente de fase listadas na tabela 1 demonstram claramente porquê a capacidade de medição true-rms é necessária para determinar com precisão o valor das correntes de harmônico. O passo seguinte foi calcular o “fator de redução de harmônico” ou HDF (reporte-se à seção “Reduzindo transformadores” da página anterior).

Os resultados indicaram que, com o nível de harmônicos presente, o transformador deveria ser reduzido para 72.3% da sua classificação para prevenir contra o aquecimento. Neste caso, o transformador deveria ser reduzido para 72.3% da classificação de 225 kVA, ou seja, 162,7 kVA. A carga real foi calculada para ser 151.3 kVA. Ainda que este número esteja um pouco distante de sua classificação de fábrica, o transformador estava operando próximo a sua capacidade reduzida.

Subpainel – Um subpainel que supria circuitos ramificados para os receptáculos de 120V também foi examinado. A corrente em cada neutro foi medida e registrada (veja tabela 2).

Quando um condutor marginal ou sobrecarregado era identificado, as correntes de fase associadas e a tensão neutro-a-terra no receptáculo eram também medidas. Quando uma checagem de neutro #6 revelou 15 ampères num condutor classificado para 16A, as correntes de fase dos circuitos (#25, #27 e #29) que dividiam este neutro foram também medidas (Tabela 3). Observe que cada uma das correntes de fase destes três circuitos ramificados foram substancialmente menor do que 15A e também os mesmos condutores de fase tiveram significativas quedas de tensão neutro-a-terra.

Nome do Condutor	Multímetro True-rms (amps)	Multímetro de resposta média (amps)	Corrente de pico instantâneo (amps)
Fase 1	410	328	804
Fase 2	445	346	892
Fase 3	435	355	828
Neutro	548	537	762

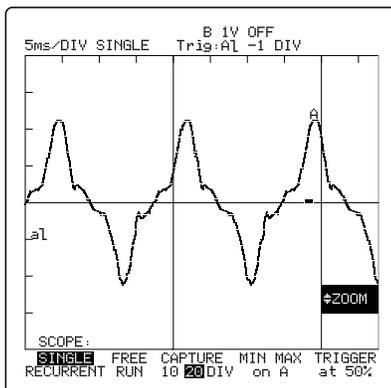


Figura 4. Corrente de fase

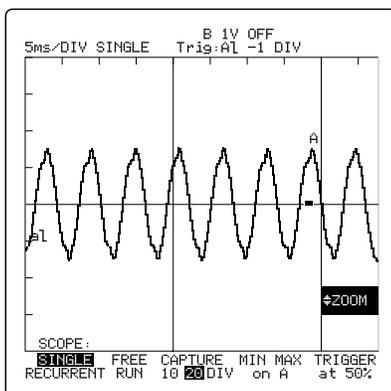


Figura 5. Corrente de neutro

Número do condutor de neutro	Corrente (amps)
01	5,0
02	11,3
03	5,0
04	13,1
05	12,4
06	15,0*
07	1,8
08	11,7
09	4,5
10	11,8
11	9,6
12	11,5
13	11,3
14	6,7
15	7,0
16	2,3
17	2,6

Tabela 2. Corrente de neutro de circuito ramificado de subpainel

Nos circuitos ramificados com alta corrente de neutro, a relação entre o neutro e as correntes de fase era similar àquela do transformador secundário. A corrente de neutro era maior do que quaisquer das correntes de fase associadas. O perigo aqui é que os condutores de neutro poderiam tornar-se sobrecarregados e não oferecer os sinais de aviso de interruptores de circuito equivocados.

Recomendações

1. Evite adicionar novas cargas ao transformador do receptáculo, a menos que medidas sejam tomadas para reduzir o nível de harmônicos.
2. Remova neutros extra dos circuitos ramificados que estejam muito carregados.
3. Monitore as correntes de carga numa base regular usando equipamento true-rms de teste e medição.

Número do circuito	Corrente de fase (amps)	Queda de tensão neutro-terra no receptáculo
25	7,8	3,75V
27	9,7	4,00V
29	13,5	8,05V

Tabela 3. Correntes de fase e tensão neutro-terra para neutro #06

Produtos Fluke



Fluke VX87 III

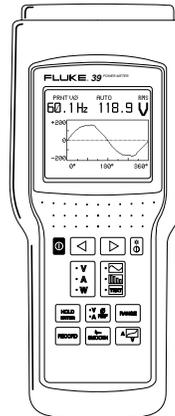
- Leituras True-rms
- Novo display LCD retroiluminado com dígitos maiores e melhor ângulo de visão
- 4 1/2 Dígitos, display de 20.000 contagens para detectar mudanças sutis
- Pico de 250 ms MIN/MAX para captura de transientes
- Touch Hold automático, dispara o multímetro para captar leituras estáveis
- Exatidão dc melhorada significativamente: + (0,05% + 1)
- Blindagem de EMI melhorada para leituras estáveis perto de aparelhos eletricamente ruidosos
- Porta de acesso à bateria que permite trocá-las em violar o selo de calibração
- Volts, ohms, corrente, frequência, ciclo de atividade e teste de diodo
- Garantia vitalícia
- CAT III 1000V



Analisador de qualidade de energia Fluke VX43

- O Fluke VX43 executa as seguintes medições que você precisa para fazer manutenção de sistemas de energia, resolver problemas de energia e diagnosticar falhas de equipamento. Tudo numa peça compacta, resistente e portátil.
- Tensão True-rms para 600V com forma de onda.
 - Corrente True-rms para 500A com forma de onda (até 3000A com alicate opcional)
 - Distorção harmônica total (%THDF e %THDR)
 - Watts até 300kW com alicate incluso
 - Energia aparente (kVA)
 - Fator de energia total (PF)
 - Fator de energia de deslocamento (DPF)
 - fator K
 - Frequência de linha (40,0 a 70,0 Hz)
 - Harmônicos até 51^o
 - Ângulo de fase de fundamentais e harmônicos
 - Rastreia flutuações de volts e amps de ciclo único por até 16 dias.

- Cursores mostram dia e horário de quedas e subidas
- Obtém e salva até 40 transientes de tensão
- Forma de onda de corrente Inrush até 500A com sonda de corrente fornecida
- Opção Connect-and-View para rápida amostragem de formas de onda
- Largura de banda de 20 MHz com sonda de tensão opcional de 10:1. 15kHz no canal de corrente com alicate opcional
- Ohms, continuidade e capacitância
- Memória para 10 medições
- Baterias de NiCad recarregáveis
- CAT III 600V
- Menus utilizam terminologia elétrica familiar
- Inclui sondas de corrente e tensão, software para PC e cabo
- Inclui manual de aplicações e vídeo sobre resolução de problemas de energia



Fluke VX39

- Tensão True-rms para 600V com forma de onda
- Corrente True-rms para 500A com forma de onda (até 3000A com alicate opcional)
- Distorção harmônica total (%THDF e %THDR)
- Watts para 300 kW (600 kW com sonda opcional)
- Energia aparente (kVA)
- Fator de energia total (PF)
- Fator de energia de deslocamento (DPF)
- 3Ø direta/leituras trifásicas a partir de medições simples monofásicas
- Fator K
- Frequência de 6 Hz a 100 Hz (fundamental)
- Harmônicos até o 31^o
- Ângulo de fase de fundamental e harmônico
- Forma de onda e displays de espectro
- Modo de registro – MIN, MAX e MÉDIA
- Modo “Zoom”
- Bateria com 48 horas de duração (4 “C” cells)
- Portátil, 1 kg
- Proteção contra surto, 6 kV por IEC 1010-1
- CAT III-600V
- Marcas – CE, CSANRTL, TÜV/GS
- Inclui alicate de corrente 500A e vídeo “Gerenciando sistemas de energia elétrica”



Fluke VX41B

- Tensão True-rms para 600V com forma de onda
- Corrente True-rms para 500A com forma de onda (até 3000A com alicate opcional)
- Distorção harmônica total (%THDF e %THDR)
- Watts para 300 kW (600 kW com sonda opcional)
- Energia aparente (kVA)
- Fator de energia total (PF)
- Fator de energia de deslocamento (DPF)
- 3Ø direta/leituras trifásicas a partir de medições simples monofásicas
- Fator K
- Frequência de 6 Hz a 100 Hz (fundamental)
- Harmônicos até o 31^o
- Ângulo de fase de fundamental e harmônico
- Forma de onda e displays de espectro
- Modo de registro – MIN, MAX e MÉDIA
- Modo “Zoom”
- Bateria com 48 horas de duração (4 “C” cells)
- Proteção contra surto, 6 kV por IEC 1010-1
- CAT III-600V
- Marcas – CE, CSANRTL, TÜV/GS
- Inclui alicate de corrente 500A e vídeo “Gerenciando sistemas de energia elétrica”
- Memória para oito conjuntos de dados completos
- Interface RS-232 isolada opticamente
- Software FlukeView™ incluso
- Novo software de documentação de dados incluso



Fluke 36

- Display digital de 2000 contagens
- 2% de leitura, exatidão básica para corrente ac
- 1,9% de leitura, exatidão básica para corrente dc
- Garantia de um ano
- Max hold
- Seleção de faixa manual
- Ohms
- Modo de descanso
- Medição ac True-rms, fator de crista



Fluke 33

- Display analógico/digital
- Display digital com 4000 contagens (corrente); display digital com 10.000 contagens (frequência)
- True-rms
- Corrente AC de 0,3A a 400A
- Frequência
- Display hold
- Crista/Pico instantâneo
- Modo de registro MIN/MAX/MED
- Fator de crista

- Modo de descanso para preservar a vida útil da bateria
- Smoothing™ mostra uma média de 3 segundos em curso de corrente ou frequência



80i-1000s

- Alicates de corrente ac de 1 a 1000 ampere para osciloscópio
- Funciona com os analisadores de energia modelos 39 ou 41B



80i-500s

- Alicates de corrente ac de 1 a 500 amps para osciloscópio
- Incluso com os modelos 39 ou 41B



80i-600

- Alicates de corrente ac de 1 a 600 amps ac para multímetro



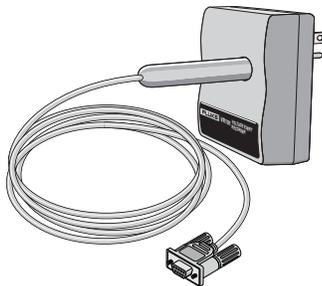
80i-400

- Alicates de corrente ac de 1 a 400 amps para multímetros



Sonda infravermelho de temperatura 80T-IR

- Acessório de temperatura sem contato para DMMs
- Faixa: -18°C a 260°C



Sistema Registrador de Eventos de Tensão VR101S

- Captura e grava o horário de quedas, elevações e interrupções de tensão
- Registra tensões de pico em transientes abaixo de 1ms
- Limites de captura selecionáveis pelo usuário
- Armazena até 4000 eventos
- Monitora receptáculos, onde muitas cargas críticas obtêm energia
- Dados enviados ao PC com cabo de interface óptica para análise com software EventView, incluso no VR101S
- Software EventView gera relatórios de evento compreensíveis
- Registradores VR101 adicionais podem ser comprados separadamente, para que você possa monitorar vários locais de uma só vez

Vídeos Fluke

Understanding and Managing Harmonics

- Duração: 30 minutos
- Temas abordados:
 - Definição de harmônico
 - Causas de harmônicos
 - Efeitos de harmônicos
 - Detecção de harmônicos
 - Seleção das ferramentas de teste
 - Planejamento para harmônicos

The ABCs of Digital Multimeter Safety

- Duração: 20 minutos
- Temas abordados:
 - Categorias de sobretensão
 - Equipamentos e procedimentos de trabalho apropriados
 - O que esperar de um multímetro

Power Quality Troubleshooting

- Duração: 30 minutos
- Leva você a uma pesquisa sobre qualidade de energia passo-a-passo num grande prédio comercial. Aprenda técnicas de resolução de problemas e soluções em qualidade de energia.

Para encomendar estes vídeos, ligue:

(31) 3427-7700

Fluke. *Mantendo seu mundo funcionando.*



Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

VÓRTEX Equipamentos Ltda
Rua São Miguel 1183 Bairro Itapoã
CEP 31710-350
Belo Horizonte - MG

Para maiores informações, ligue:
(0xx31) 3427-7700

Web Site:
www.vortex.com.br
e-mail:
vortex@vortex.com.br