Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

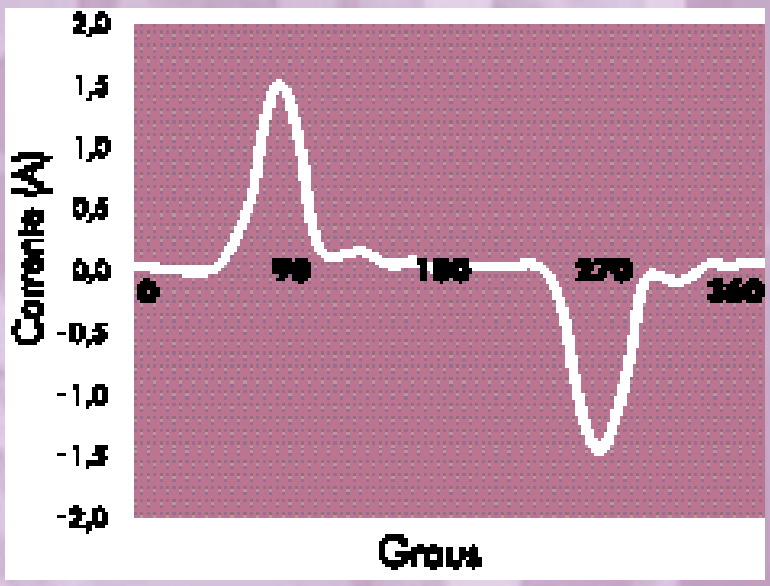
Education and Culture

Leonardo da Vinci

Introdução

Guia de Auto-avaliação da Qualidade de Energia

1.2



PRO COBRE Connects Life.™

PROCOPPER

Introdução

Introdução

Guia de Auto-avaliação de Qualidade de Energia

Hans De Keulenaer
European Copper Institute
Maio 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 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 and Copper Development Association.

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

Guia de Auto-avaliação da Qualidade de Energia

Este guia permite uma auto-avaliação rápida para decidir se sua organização deveria adotar um programa de melhoria da Qualidade de Energia (QE). A relação de problemas potenciais de QE é surpreendentemente longa. Os problemas de QE são complexos, e freqüentemente é necessário reunir uma equipe de especialistas para seu diagnóstico e solução. Sintomas semelhantes, tais como sobreaquecimento de equipamentos, podem ter causas diferentes (harmônicas, desequilíbrio, sobrecarga), e cada um precisa uma solução diferente.

É provável que você esteja sofrendo de problemas de QE?

A probabilidade de que você esteja sofrendo de problemas de qualidade de energia depende de:

- a qualidade da tensão fornecida por sua concessionária;
- os tipos de cargas existentes na sua instalação;
- a sensibilidade de seu equipamento aos vários tipos de perturbações.

Não existe uma solução única, genérica. Uma solução técnico-econômica ótima precisa ser projetada para cada local, levando em conta os três fatores que interagem, citados acima. Este guia não trata de assuntos referentes a concessionárias, amplamente cobertos em outros lugares, mas foca nos aspectos de qualidade de energia que estão dentro do controle de um gerente de operações de um local.

Problemas típicos

A seguinte lista de verificação (checklist) dá uma visão geral dos problemas de qualidade de energia que ocorrem com mais freqüência. De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Europeu do Cobre em 2001, abrangendo 1400 locais em 8 países, qualquer local determinado na Europa tem uma probabilidade de 5 a 20% de que sofrerá de um ou mais dos problemas relacionados. Tipicamente, metade dos locais em indústrias eletro-intensivas ou edifícios de escritórios com sistemas de missão crítica sofrerão de dois ou mais problemas. São muito poucos os locais que estão livres de problemas (Figura 1).

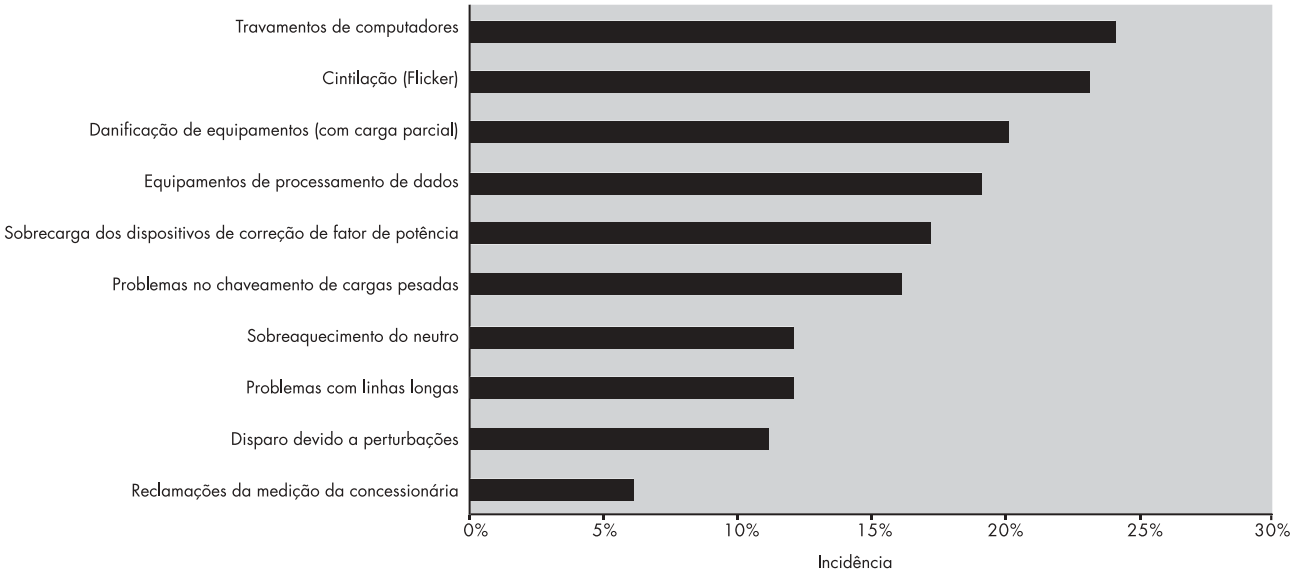


Figura 1 - Problemas de QE predominantes, medidos em 1400 locais em 8 países.

É claro que a qualidade de energia pobre não é a causa de todas as ocorrências dos problemas listados. Por exemplo, os travamentos de computadores podem ser relacionados com problemas de software. Além disso, a atribuição da origem

do problema a causas antes da medição (no lado do fornecedor do ponto de acoplamento comum) ou depois da medição (no lado da instalação do consumidor do ponto de acoplamento comum) é freqüentemente difícil sem medição e análise detalhada.

Travamentos de computadores

A corrente de terra originada no equipamento resulta em uma queda de tensão entre o equipamento e a terra real. Embora pequena, esta tensão de ruído pode ser significativa quando comparada com as tensões de sinal (de alguns volts) nas quais operam os equipamentos de TI. O hardware do PC é projetado para minimizar a sensibilidade a este tipo de perturbação mas não pode ser completamente eliminada, especialmente a medida que a freqüência do ruído aumenta. Os protocolos de comunicação modernos têm detecção de erro e algoritmos de correção embutidos, requerendo retransmissão de dados recebidos erroneamente, e reduzindo conseqüentemente a velocidade de processamento de dados. Como resultado, os PCs ficarão freqüentemente lentos ou travarão, um fenômeno freqüente nos atuais ambientes de escritório.

Em um esquema TN-C, o condutor neutro-terra combinado carrega efetivamente corrente, originando quedas de tensão. Os planos de referência de terra de diferentes computadores em diferentes andares não estão mais no mesmo potencial. As correntes circularão, por exemplo, ao longo das blindagens dos cabos de dados, conectadas a terra em ambas extremidades para atendimento aos requisitos de CEM.

Cintilação das telas de computador

As correntes harmônicas múltiplas de 3 se somam no condutor neutro. Em um esquema TN-C, o condutor neutro e o condutor de proteção são combinados e conectados em muitos pontos à estrutura do edifício. Como resultado, as correntes de retorno pelo neutro podem circular por qualquer lugar na estrutura metálica do edifício e criar campos magnéticos descontrolados e incontroláveis. Em casos extremos, estes campos podem resultar em cintilação (flicker) de telas de computador. A corrente de neutro sempre precisa retornar para o ponto de acoplamento comum usando um condutor separado, como nos esquemas TN-S e TN-C-S. De fato, a disciplina de ter um e apenas um ponto de conexão neutro-terra na instalação melhora a segurança e a CEM.

Cintilação da iluminação

As variações de tensão de curta duração, que resultam de chaveamento, curtos-circuitos e variação de carga, podem provocar cintilação da iluminação. A magnitude permissível da cintilação é regulada por normas internacionais, baseadas em critérios de percepção. A cintilação excessiva pode provocar enxaqueca e é responsável em alguns casos pela chamada “síndrome do edifício doente”.

Sobreaquecimento de transformadores com carga moderada

As harmônicas causam perdas adicionais no transformador. Quando o transformador está próximo da carga máxima, estas perdas podem levar a uma falha prematura devido ao sobreaquecimento e pontos quentes nos enrolamentos. Com a tendência atual de levar o equipamento até seus limites extremos, e a poluição harmônica crescente nas redes de baixa tensão, este problema está acontecendo cada vez mais freqüentemente.

As perdas em transformadores são devidas a perdas magnéticas por correntes parasitas no núcleo, e perdas por correntes de Foucault e resistivas nos enrolamentos. Destas, as perdas por correntes de Foucault são as de mais interesse quando estão presentes harmônicas, porque aumentam aproximadamente com o quadrado da freqüência. Em um edifício típico com carga misturada, as perdas por correntes de Foucault no transformador serão cerca de 9 vezes maiores do que seria esperado, duplicando aproximadamente as perdas com carga total. Para que possam ser determinadas as perdas em excesso, deve ser conhecido o espectro harmônico da corrente de carga.

Motores de indução

As tensões harmônicas causam perdas extras em motores de indução conectados diretamente à rede. A 5ª harmônica cria um campo de rotação inversa, enquanto que a 7ª harmônica cria um campo giratório além da velocidade síncrona do

motor. O conjugado pulsante resultante causa desgaste e ruptura em acoplamentos e rolamentos. Como a velocidade é constante, a energia contida nestas harmônicas é dissipada como calor adicional, resultando em envelhecimento prematuro. As correntes harmônicas também são induzidas no rotor causando aquecimento adicional excessivo. O calor adicional reduz o entreferro rotor/estator, diminuindo ainda mais a eficiência.

Os dispositivos de velocidade variável causam sua própria gama de problemas. Tendem a serem sensíveis aos afundamentos de tensão, causando perturbações em linhas industriais sincronizadas. São freqüentemente instalados a alguma distância do motor, e causam picos de tensão devido aos rápidos tempos de subida de tensão.

Tem que ser tomado um cuidado especial na partida de motores após um afundamento de tensão, quando o motor normalmente está operando próximo da plena carga. O calor adicional da corrente de energização pode fazer o motor falhar. O dimensionamento ótimo de motores deve levar em conta:

- que o motor foi projetado para funcionar na eficiência máxima em cerca de 70 % da carga;
- freqüência de afundamentos de tensão, e o tempo que pode-se esperar para retomar a operação do motor.

Sobreaquecimento de condutores devido ao efeito pelicular

Todas as harmônicas provocam perdas adicionais nos condutores de fase. O efeito pelicular, o qual é desprezível em 50 Hz, passa a se tornar importante em 350 Hz (7ª harmônica) e acima. Por exemplo, um condutor com 20 mm de diâmetro tem uma resistência aparente 60% maior em 350 Hz que sua resistência CC. A resistência aumentada, e até mais, a reatância aumentada (devido à freqüência mais alta), resultará em um aumento do afundamento de tensão e da distorção de tensão.

Funcionamento correto do equipamento de controle de processo

A distorção harmônica severa pode criar passagens por zero adicionais dentro de um ciclo da onda senoidal, afetando o equipamento de medição sensível. A sincronização do equipamento de controle de processo em linhas industriais de produção contínua pode ser perturbada e dispositivos CLP podem travar.

Congestionamento da rede de dados

As correntes de fuga a terra provocam pequenas quedas de tensão ao longo do condutor de aterramento. Em uma rede com esquema TN-C, circulará constantemente pelo condutor combinado terra-neutro uma corrente significativa, dominada pelas harmônicas múltiplas de 3. Devido ao uso crescente de sinais de tensão baixa em equipamentos de TI, a taxa de erro de bit aumenta, até o ponto em que a rede inteira trava. Quantas redes grandes e pequenas, de propriedade privada, sofrem este fenômeno quase semanalmente? Por uma razão inexplicável, a rede trava, os serviços de e-mail falham, não é mais possível imprimir…

Problemas com equipamento de correção de fator de potência

As freqüências harmônicas podem coincidir com freqüências ressonantes da indutância parasita e equipamento de correção de fator de potência combinados, originando tensão ou corrente excessivas e levando a uma falta prematura. Além disso, como um problema geral, os dispositivos de medição podem não medir corretamente o carregamento do equipamento de correção de fator de potência, assim como medem incorretamente o conteúdo harmônico na corrente (Seção 3.2.2 deste Guia).

Problemas com linhas específicas (longas) ou no chaveamento de cargas pesadas

Linhas longas significam impedância mais alta, resultando em perturbações de tensão maiores como conseqüência das correntes de energização, por exemplo, quando um motor pesado inicia a partida, ou no chaveamento de computadores. As correntes harmônicas geradas por acionamentos de velocidade variável ou fontes chaveadas localizadas na extremidade de linhas longas resultam em distorção de tensão harmônica mais alta. Portanto, as linhas de energia longas devem ser redimensionadas (upsize) para manter a queda de tensão baixa Como um benefício paralelo, as linhas de energia redimensionadas terão perdas menores. Quando carregadas por mais de 3.000 horas, o período de retorno do investimento será muito curto.

Neutros sobrecarregados

Em um circuito trifásico, existem 3 condutores ativos, e um condutor de retorno, que carrega o desequilíbrio entre as 3 fases. Porém, com as harmônicas múltiplas de 3 somando-se, correntes significativas circulam no condutor neutro. Como muitos condutores neutros têm sido, no passado, dimensionados com a metade da seção dos condutores de fase, esta situação pode tornar-se crítica, até mesmo quando os condutores de fase estiverem operando bem abaixo da carga plena.

Disparo de dispositivos de proteção devido às perturbações

As correntes de energização podem causar o disparo dos disjuntores. Os disjuntores não podem somar corretamente a corrente contida na componente fundamental e nas várias harmônicas e assim podem atuar erroneamente, ou não atuar, quando deveriam fazê-lo. As correntes de fuga podem alcançar limiares que provocam o disparo de dispositivos a corrente diferencial-residual.

As medidas contra disparos indevidos não devem comprometer a segurança do pessoal no local. A solução geral é reduzir as correntes de energização e as correntes de fuga a terra por meio da divisão dos equipamentos entre mais circuitos, com cada circuito alimentando menos cargas. Devem ser usados disjuntores especialmente projetados, que podem lidar com harmônicas. O sobredimensionamento nunca é a solução correta.

Reclamações das concessionárias com relação a harmônicas que afetam o fornecimento

Poucas concessionárias cobram (ainda) pela poluição harmônica, como fazem atualmente pela potência reativa. Entretanto, podem começar a fazê-lo no futuro, na medida em que as harmônicas também levam a uma exploração do sistema de distribuição de energia elétrica abaixo do nível ótimo.

Soluções

A lista de possíveis soluções para problemas de qualidade de energia é, mais uma vez, longa e não completa. A Figura 2 relaciona as soluções de qualidade de energia adotadas de acordo com uma pesquisa em 1400 locais em 8 países.

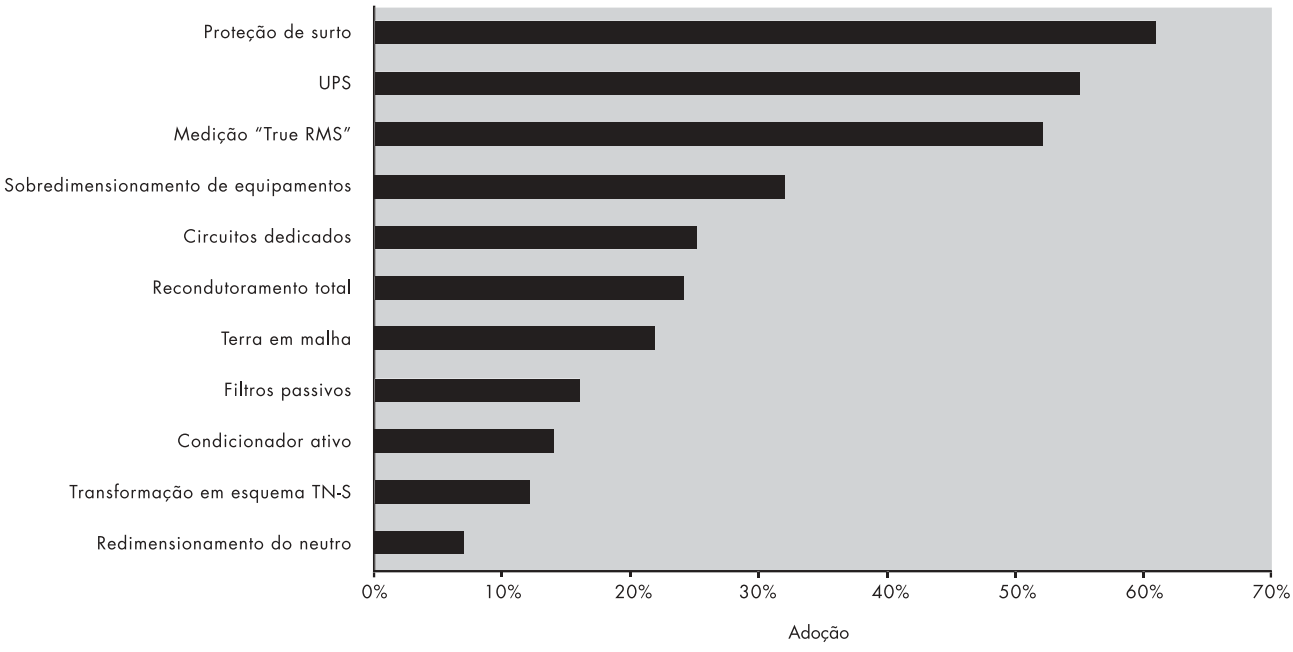


Figura 2 - Soluções de QE predominantes, em termos de % de taxa de adoção, em 1400 locais em 8 países.

É importante observar que não existe uma solução única para problemas de qualidade de energia. Para cada tipo de problema, existe uma gama de possíveis abordagens de mitigação, algumas das quais poderiam ser aplicadas com sucesso da mesma forma. No mundo real, provavelmente co-existirão vários problemas, e as soluções adotadas devem ser compatíveis entre si e com as cargas que compõem a instalação. Deve-se tomar cuidado com as soluções maravilhosas chamadas "caixa preta", que são às vezes fortemente comercializadas como capazes de resolver um problema em particular em todas as circunstâncias: na prática, elas não existem! Os projetistas devem sempre procurar a mistura ótima de soluções para os problemas que estão sendo experimentados e os que se espera que surjam no futuro no contexto da instalação. Estas soluções devem ser robustas.

É importante entender que a carga elétrica não é estática. As diferenças nos ciclos de serviço dos equipamentos e as variações nos padrões de trabalho contribuem para um padrão de carga que varia constantemente. Um edifício comercial grande, por exemplo, pode ter centenas de mudanças por ano, de forma que a "cultura harmônica" - o espectro de correntes harmônicas agregadas - na instalação varia constantemente. Os perfis harmônicos dos equipamentos de TI não têm uma média de saída (average out), mas, especialmente no caso das importantes terceira e quinta harmônicas, somam-se. A operação de equipamentos de ciclo de serviço curto, como elevadores e equipamentos para trabalhos em metais (seja no local ou em locais vizinhos) causam variações de tensão locais que se somam àquelas originadas no sistema de distribuição. O resultado é que os problemas de qualidade de energia são freqüentemente de natureza estatística e requerem monitoramento cuidadoso para definição completa.

O custo dos problemas de qualidade de energia, em termos de perda de produção e disrupções variam amplamente dependendo do tipo de indústria. Entretanto, o custo de medidas de mitigação freqüentemente está dentro dos critérios de investimento típicos para negócios e indústria com retorno financeiro de 2-3 anos. É lógico que o custo de prevenção - evitando problemas na fase de projeto inicial - é de 10-20% do custo das medidas de mitigação de retrofit em uma instalação já trabalhando (Seção 2 deste Guia). Infelizmente, para um edifício em fase de projeto, a natureza e o tamanho da carga final são geralmente desconhecidos, portanto os problemas de qualidade de energia potenciais e seus custos são difíceis de quantificar. A montagem de um modelo financeiro para investimento em soluções de QE pode representar quase que um desafio. No futuro, os engenheiros poderão predizer com segurança a provável escala de problemas e ter experiência prática para resolvê-los. Ao mesmo tempo, talvez os proprietários e os operadores terão percebido que a prevenção é sempre mais barata que o reparo.

Proteção contra surtos

A solução número um em termos de taxa de adoção. É discutida em detalhe na Seção 6 deste Guia (Aterramento e CEM).

UPS (fornecimento de energia ininterrupta)

A maior parte dos locais que incorporam quantidades significativas de TI ou equipamentos de controle de processo têm algum tipo de UPS (do inglês Un-interruptible Power Supply). Sua aplicação pode variar de uma ou mais unidades simples de potência baixa protegendo computadores servidores individuais até uma unidade central grande de potência nominal de até 1 MVA. A estratégia do UPS deve ser refletida com cuidado, porque a energia do UPS é energia armazenada e, portanto, ocorrem em perdas extras significativas na sua produção. É caro e deve ser usado seletivamente. A abordagem mais econômica é usar energia de UPS apenas para manter os computadores servidores, equipamentos de controle de processo e equipamentos de segurança por um tempo suficientemente longo para permitir uma paralisação e/ou evacuação ordenada - isto deixa todos os computadores clientes e equipamentos industriais auxiliares sem energia. No outro extremo, o UPS pode ser dimensionado para suportar virtualmente a operação inteira pelo tempo requerido para conectar uma fonte auxiliar on-line. Para a maioria das situações, o ponto ótimo estará em algum lugar entre estes dois extremos. A seção 4 deste Guia trata estes assuntos com mais detalhe.

Gerador de emergência

Por causa do retardo na partida, o gerador é a segunda linha de defesa contra blecautes de energia. Este dispositivo pode fornecer energia para uma grande parte das cargas durante um período mais longo de tempo.

Medição True RMS

O processo de medição é conhecido. Os valores medidos como True RMS podem ser significativamente mais altos que os valores incorretos medidos através de medidores de leitura média. Felizmente, a maior parte dos locais pesquisados têm um medidor True RMS. Entretanto, para estar completamente seguro, todos os instrumentos de medida devem ser do tipo True RMS.

Sobredimensionamento de transformadores

A prática de sobredimensionamento de transformadores para cargas harmônicas está bem documentada, embora ainda não amplamente interpretada, na norma IEC 61378-1 “Transformadores para aplicações industriais”. Deve ser notado que o calor adicional gerado pela poluição harmônica pode levar a uma diminuição espetacular no tempo de vida. O uso de um transformador classe K (K-rated), especialmente projetado para lidar com cargas harmônicas, deve ser preferido ao sobredimensionamento do transformador, porque o transformador classe K é projetado para ter perdas por correntes de Foucault mais baixas. Um transformador sobredimensionado tem perdas maiores – tem dimensões maiores apenas para que o calor resultante possa se dissipar. A nível prático, é difícil manter o sobredimensionamento de um transformador durante sua vida útil: na medida em que a carga cresce, o sobredimensionamento tende a ser negligenciado e o transformador se torna seriamente sobrecarregado.

Sobredimensionamento de motores

O desequilíbrio de tensão e as tensões harmônicas resultam em perdas adicionais em motores elétricos, de forma que o motor não pode ser completamente carregado até sua potência moninal. A NEMA fornece alguma orientação sobre como sobredimensionar o motor na presença de tensões harmônicas.

Os motores de alta eficiência (classe Eff1) não só economizam energia e conseqüentemente dinheiro, mas também são mais resistentes contra alguns dos problemas mencionados anteriormente. Usando maior quantidade de material e de melhor qualidade, funcionam a uma temperatura mais baixa e são, portanto, mais adaptados para lidar com o calor extra gerado devido às correntes harmônicas ou de energização na partida depois de um afundamento de tensão.

Circuito dedicado

As cargas que são sensíveis à poluição harmônica deveriam ser alimentadas por circuitos dedicados. As cargas pesadas também devem ter seus próprios circuitos, de forma a não afetar outras cargas durante a partida. De acordo com a pesquisa, 25% dos locais adotam uma política de uso de circuitos dedicados.

Cabos multipolares para cargas harmônicas

Fora o calor adicional gerado pelas correntes de neutro, a seção efetiva do cabo é reduzida por causa do efeito pelicular, fazendo o papel da 7ª harmônica. O uso de cabos de diâmetro maior dificilmente é uma solução, já que a corrente continuará a ser deslocada para a periferia do condutor. Conseqüentemente, devem ser usados cabos multipolares, apropriadamente dispostos para manter o equilíbrio.

Recondutoramento completo da instalação

Trata-se de uma medida bastante drástica (exceto se fizer parte de uma reforma importante da instalação), mas adotada freqüentemente, visto que a instalação antiga não foi projetada para lidar com as cargas modernas. De acordo com a pesquisa em 1400 edifícios, esta solução foi adotada em 24% dos casos.

Zoneamento de cargas elétricas

Os diferentes tipos de carga têm requisitos diferentes em termos de CEM, continuidade de fornecimento de energia e segurança. Por este motivo, é necessária uma classificação das cargas em várias categorias, cada uma com sua própria abordagem para fiação, aterramento ou alimentação de emergência (Seções 4 e 6).

Terra em malha

O sistema de aterramento em malha é necessário para prover um caminho de baixa impedância para terra numa ampla faixa de freqüências (Seção 6). O sistema de aterramento em malha deve ser adotado para cada andar, com conexões verticais múltiplas.

Filtros passivos

O filtro passivo representa uma solução bastante popular, podendo ser aplicada a cargas individuais ou centralizadas. Quando o filtro é instalado tão próximo quanto possível do ponto de geração de harmônicas, pode-se garantir que a filtragem permaneça efetiva durante as muitas mudanças que tipicamente aconteçam em edifícios de escritórios. A desvantagem é que é fornecida mais capacidade de filtragem da que realmente é necessária (isto é, não faz nenhuma diferenciação quanto à diversidade de cargas) e os filtros pequenos individuais são mais caros que um filtro centralizado. Uma vantagem é que as correntes harmônicas são limitadas a uma área menor da instalação.

Por outro lado, uma abordagem centralizada permite a combinação de filtros passivos com equipamentos de correção de fator de potência. O projeto em conjunto destas funções permite adotar medidas para evitar ressonância nas freqüências harmônicas. Normalmente, o equipamento combinado de correção do fator de potência e filtragem é centralizado, permitindo economia de escala devido à diversidade, redução na quantidade de controle requerido e a capacidade de correção para um nível mais alto sem o risco de auto-excitação de motores. Entretanto, conforme a cultura harmônica das mudanças de carga, devem ser tomadas medidas para assegurar que o filtro permaneça funcional.

Este assunto é desenvolvido adicionalmente na Seção 3.3.1 deste Guia.

Condicionadores ativos

Uma ótima solução prática, mas que tem um custo alto. Entretanto, os condicionadores são extremamente flexíveis e adaptáveis, e especialmente úteis para lidar com uma cultura harmônica (o espectro das correntes harmônicas agregadas) variável. Devem ser usados seletivamente.

Transformação em esquema TN-S

Os esquemas TN-C, com os chamados condutores PEN, se tornaram uma exceção, quando, em alguns países, costumavam ser a regra. Nos comitês de normas, o condutor PEN é agora considerado como um caso especial. Para edifícios com instalações de TI intensivas, os esquemas TN-C não são mais permitidos. Do ponto de vista da CEM, os esquemas TN-S são superiores.

Redimensionamento do neutro

Os condutores neutros com seção cheia são exigidos agora na maioria das normas, exceto onde pode ser demonstrado que um condutor menor será suficiente. Onde estão presentes harmônicas, é requerido um neutro de seção nominal igual aos condutores fase - capaz de conduzir a corrente de neutro real - e, em algumas normas de instalação elétrica, devem estar adequadamente protegidos contra sobrecorrente (Seção 3.5.1 deste Guia).

Conclusão

A qualidade de energia é um domínio complexo, tratando uma dúzia de áreas de problemas, para as quais existe um número até muito maior de soluções. No momento, a maior parte dos locais com utilização intensiva de energia sofrem um certo grau de qualidade de energia pobre, o que fez com que a maioria deles já tenham adotado algumas soluções. As soluções são tipicamente a compra de um UPS, gerador de emergência, adoção de medição True RMS, complementadas com algumas das outras soluções, tais como aterramento em malha, transformação em esquema TN-S, condicionadores ativos, etc.

É improvável que uma única solução seja efetiva. É necessário um projeto cuidadoso com uma mistura de soluções sob medida para os problemas de QE experimentados, e baseado em uma compreensão detalhada das causas dos problemas de QE. As seções subseqüentes deste Guia visam prover tal conhecimento para instaladores, engenheiros de projeto e gerentes de manutenção.

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

Hans De Keulenaer

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

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