

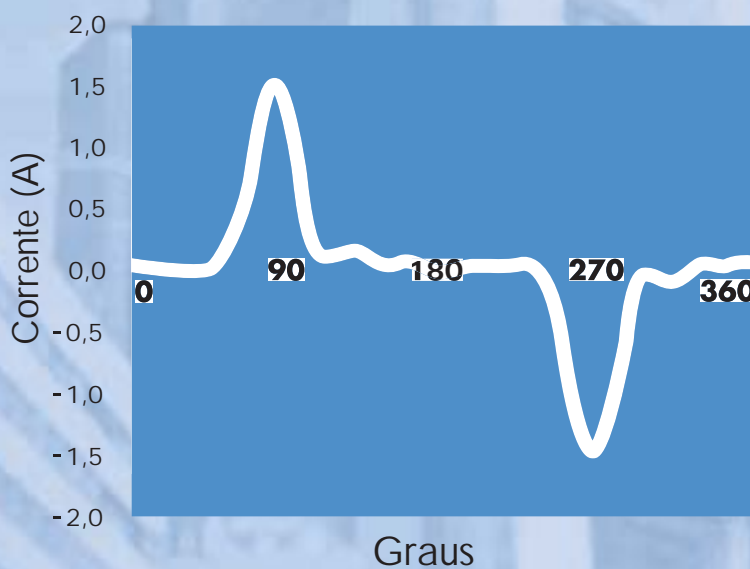
Guia de Aplicação de Qualidade de Energia



Harmônicas

Filtros ativos de Harmônicas

3.3.3



Harmônicas

Filtro ativo de Harmônicas

Shri Karve
MGE UPS Systems 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 MGE UPS Systems 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 MGE UPS Systems Ltd.

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



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

Filtros ativos de Harmônicas

Em pouco mais de dez anos, a qualidade de energia passou de ser um assunto de interesse apenas dos especialistas para um assunto de preocupação geral. As empresas dependem cada vez mais da energia elétrica para alimentar cargas críticas, enquanto o número crescente de cargas baseadas em eletrônica de potência está acrescentando distorção harmônica no sistema de fornecimento. O equipamento de condicionamento da energia está adquirindo uma importância crescente para as concessionárias elétricas e seus clientes.

Introdução

Os problemas causados por correntes harmônicas nas instalações e na rede de alimentação são discutidos na seção 3.1. Hoje, uma proporção grande da carga industrial, comercial e doméstica é não linear e o nível de distorção na rede de distribuição de baixa tensão tem se tornado uma preocupação séria. Faz muito tempo que foram identificados os problemas potenciais que podem ser causados por uma componente excessiva de tensão harmônica na rede, e têm sido estabelecidos procedimentos e normas para limitar a distorção. Estas medidas têm dado bom resultado devido a que os problemas experimentados pelos consumidores são quase sempre originados nas suas próprias instalações e só raramente importados da rede. Caso se pretenda manter esta situação, então os consumidores devem limitar as correntes harmônicas que eles próprios geram. Conseqüentemente, para consegui-lo, os consumidores devem assegurar a instalação de filtragem de harmônicas, onde necessária. De modo geral, existem três métodos disponíveis, cada um dos quais apresenta vantagens e desvantagens, relacionados a seguir:

- ♦ filtros passivos;
- ♦ soluções com transformadores: de isolamento, zigzague, de acoplamento vetorial;
- ♦ filtros ativos.

Esta seção trata dos filtros ativos, às vezes chamados Condicionadores Ativos de Harmônicas (AHC, do inglês Active Harmonic Conditioners). Os exemplos aqui descritos correspondem à versão comercial produzida por MGE UPS Systems Limited, que são comercializados com a marca registrada "Sine Wave".

Os equipamentos de redução de harmônicas podem ser instalados ou para satisfazer a concessionária de energia (quer dizer, atender os requisitos da norma G5/4 ou sua equivalente local) ou para lidar com os problemas causados pelas correntes harmônicas geradas na própria instalação do usuário. A posição e a seleção dos equipamentos dependerão das circunstâncias particulares e normalmente exigirão um estudo detalhado das harmônicas.

Nos locais onde são utilizados equipamentos de tecnologia da informação (TI), estarão presentes todas as harmônicas ímpares, provocando problemas tais como sobrecarga dos neutros pelas harmônicas triple-N (múltiplos ímpares de três). Estes problemas podem ser aliviados mediante um projeto adequado, como pode ser o dimensionamento correto dos cabos na época da instalação. Porém, freqüentemente, as mudanças nas funções e no layout do edifício fazem com que estes problemas surjam muito depois do início de operação do edifício. O problema é agravado pelo fato de que a ocupação do escritório é freqüentemente reorganizada, de forma que circuitos que antes eram relativamente "limpos" se tornam fortemente poluídos. Em outras palavras, a cultura harmônica do edifício muda conforme novos equipamentos são acrescentados e equipamentos existentes redistribuídos. Estas mudanças são normalmente planejadas sem levar em conta o efeito que podem produzir na infra-estrutura elétrica.

A substituição de cabos em um edifício em operação pode ser muito cara e extremamente complicada de executar, de forma que é necessário utilizar outros métodos de mitigação. Os filtros passivos são uma possível solução, mas é bastante difícil projetar um filtro passivo em derivação eficiente para as harmônicas de ordem 3. Qualquer filtro passivo serve apenas para as freqüências harmônicas para as que foi projetado, portanto serão necessários filtros individuais para outras freqüências que possam produzir problemas. Em todo caso, conforme mudam as harmônicas presentes, os filtros passivos podem ter que ser substituídos ou suplementados. Os transformadores em zigzague e os transformadores de isolamento com enrolamento em triângulo são eficazes contra as harmônicas triple-N, mas não têm nenhum efeito sobre as outras harmônicas. Neste tipo de aplicação, o filtro ativo de harmônicas é uma solução muito boa.

Topologias de filtros ativos de harmônicas

A idéia do filtro ativo de harmônicas é relativamente antiga. Entretanto, a falta de uma técnica efetiva a um preço competitivo atrasou seu desenvolvimento por vários anos. Hoje, a disponibilidade amplamente difundida de transistores

Filtros ativos de Harmônicas

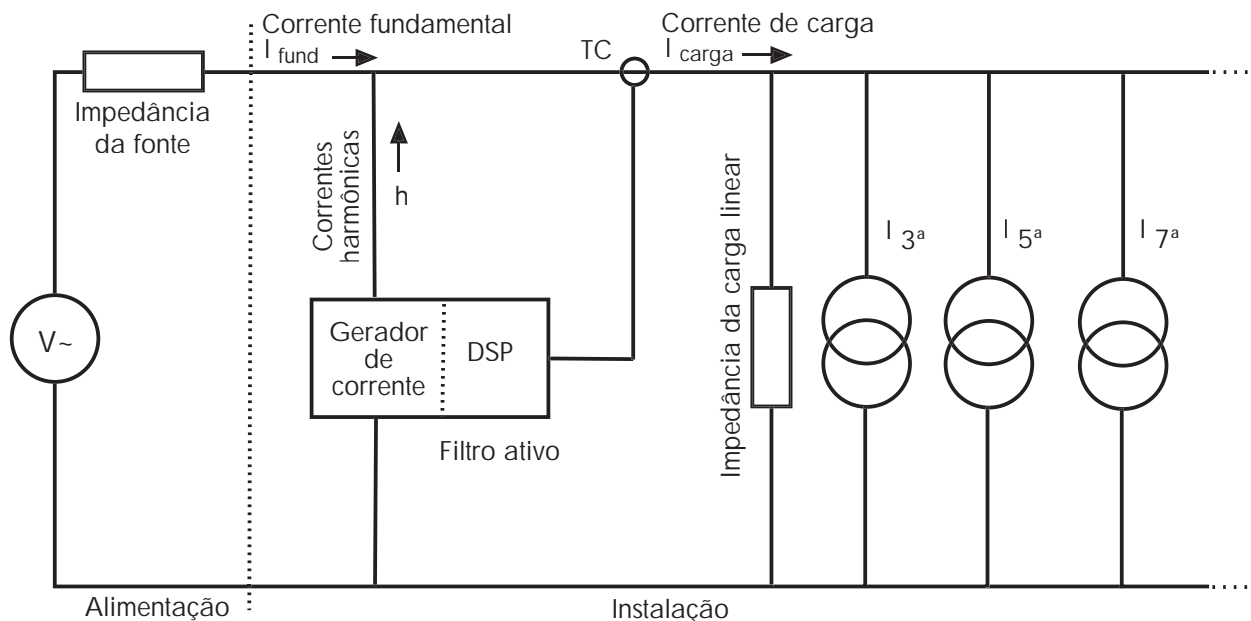


Figura 1 - Filtro ativo de harmônicas em derivação.

bipolares de porta isolada (IGBT, do inglês Insulated Gate Bipolar Transistors) e processadores de sinais digitais (DSP, do inglês Digital Signal Processors) fizeram do filtro ativo de harmônicas uma solução prática.

O conceito do filtro ativo de harmônicas é simples. É usado um dispositivo de eletrônica de potência para gerar as correntes harmônicas requeridas pelas cargas não lineares de forma que a alimentação normal deve fornecer apenas a corrente fundamental. A Figura 1 mostra o princípio de um dispositivo em derivação.

A corrente de carga é medida por um transformador de corrente, cuja saída é analisada por um DSP para determinar o perfil harmônico. Esta informação é usada pelo gerador de corrente para produzir exatamente a corrente harmônica requerida pela carga no próximo ciclo da onda fundamental. Na prática, a corrente harmônica requerida da alimentação é reduzida em aproximadamente um 90%.

Como o filtro ativo utiliza a medição do transformador de corrente, adapta-se rapidamente às mudanças nas harmônicas da carga. Como os processos de análise e geração são controlados por software, é simples programar o dispositivo para eliminar apenas certas harmônicas de forma a conseguir o melhor resultado possível da capacidade do dispositivo.

Têm sido propostas várias topologias diferentes e algumas delas são descritas a seguir. Em cada caso, são fornecidas as características dos componentes necessários e o método de dimensionamento do filtro como um todo, para as cargas a serem compensadas.

Filtros série

Este tipo de filtro, conectado em série na rede de distribuição, compensa as correntes harmônicas geradas pela carga e a distorção de tensão já presente no sistema de alimentação. Esta solução é tecnicamente semelhante a um filtro de linha e deve ser dimensionado para a capacidade nominal da carga total.



Figura 2 - Filtro série.

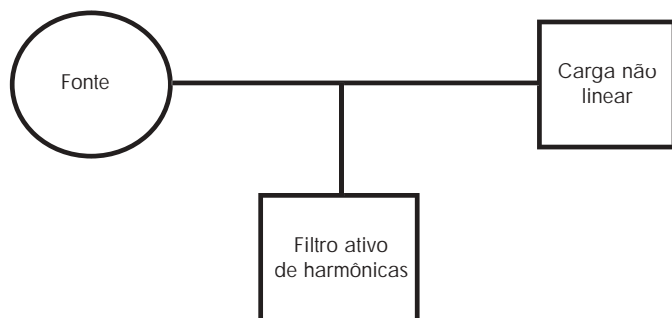


Figura 3 - Filtro derivação.

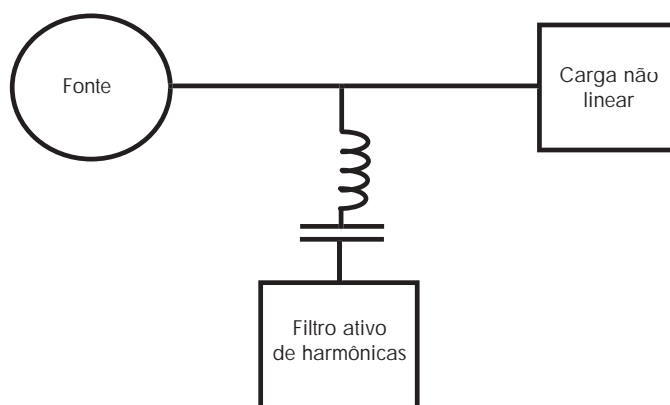


Figura 4 - Filtro híbrido.

Filtros derivação

Também chamados filtros shunt, são conectados em paralelo com a linha de CA e precisam ser dimensionados apenas para a potência harmônica (corrente harmônica) gerada pela carga ou cargas não linear(es). Este tipo de filtro é descrito em detalhe mais adiante.

Filtros híbridos

Esta solução, que combina um filtro ativo e um filtro passivo, pode ser ou do tipo série ou derivação. Em certos casos, pode ser uma solução econômica. O filtro passivo executa a filtragem básica (harmônica de ordem 5, por exemplo) e o filtro ativo, devido a sua técnica precisa e dinâmica, abrange as harmônicas de outras ordens.

Princípio operacional do filtro ativo de harmônicas em derivação

O filtro ativo é conectado em derivação com a fonte de alimentação, e injeta constantemente correntes harmônicas que correspondem exatamente às componentes harmônicas geradas pela carga. O resultado é que a corrente fornecida pela fonte de alimentação permanece senoidal.

Este sistema suporta o espectro harmônico completo de baixa frequência, da segunda até a vigésima quinta harmônica.

Se as correntes harmônicas geradas pela carga são maiores que a capacidade nominal do filtro, este limita automaticamente sua corrente de saída à sua capacidade nominal máxima. O filtro não se sobrecarrega e continuará corrigindo harmônicas até a sua capacidade nominal de corrente máxima. Qualquer excesso de corrente harmônica será fornecido pela alimentação. O filtro ativo pode funcionar permanentemente neste estado sem sofrer danos.

Pontos de conexão e configuração

O filtro ativo de harmônicas pode ser instalado em diferentes pontos do sistema de distribuição:

- numa posição central, no ponto de acoplamento comum (PCC, do inglês Point of Common Coupling), para compensação global das correntes harmônicas (Figura 5, posição A);
- compensação parcial de correntes harmônicas (Figura 5, posição B);
- perto das cargas poluidoras, para assegurar a compensação local das correntes harmônicas (Figura 5, posição C).

Note-se que o filtro reage apenas às harmônicas a jusante. Um filtro na posição B, por exemplo, corrigirá apenas a corrente harmônica devida às cargas no circuito alimentador S3 e não reagirá às cargas de qualquer outro circuito. Isto permite grande flexibilidade no projeto do esquema de compensação.

Como ocorre com todos os filtros de harmônicas, o lado da carga está ainda poluído por correntes harmônicas. A filtragem é feita apenas no lado do circuito de alimentação. Note-se que os cabos do lado da carga ainda deverão ser dimensionados levando em conta a presença de harmônicas e do efeito pelicular.

Filtros ativos de Harmônicas

Idealmente, a compensação de harmônicas deveria ser feita no seu ponto de origem. De forma a otimizar a compensação de harmônicas, podem ser conectados vários filtros em diversas configurações. Estas configurações podem ser usadas em qualquer ponto de origem no sistema de distribuição, oferecendo uma flexibilidade total e uma ampla escolha de estratégias de compensação. As configurações mais comuns são descritas nos dois parágrafos seguintes.

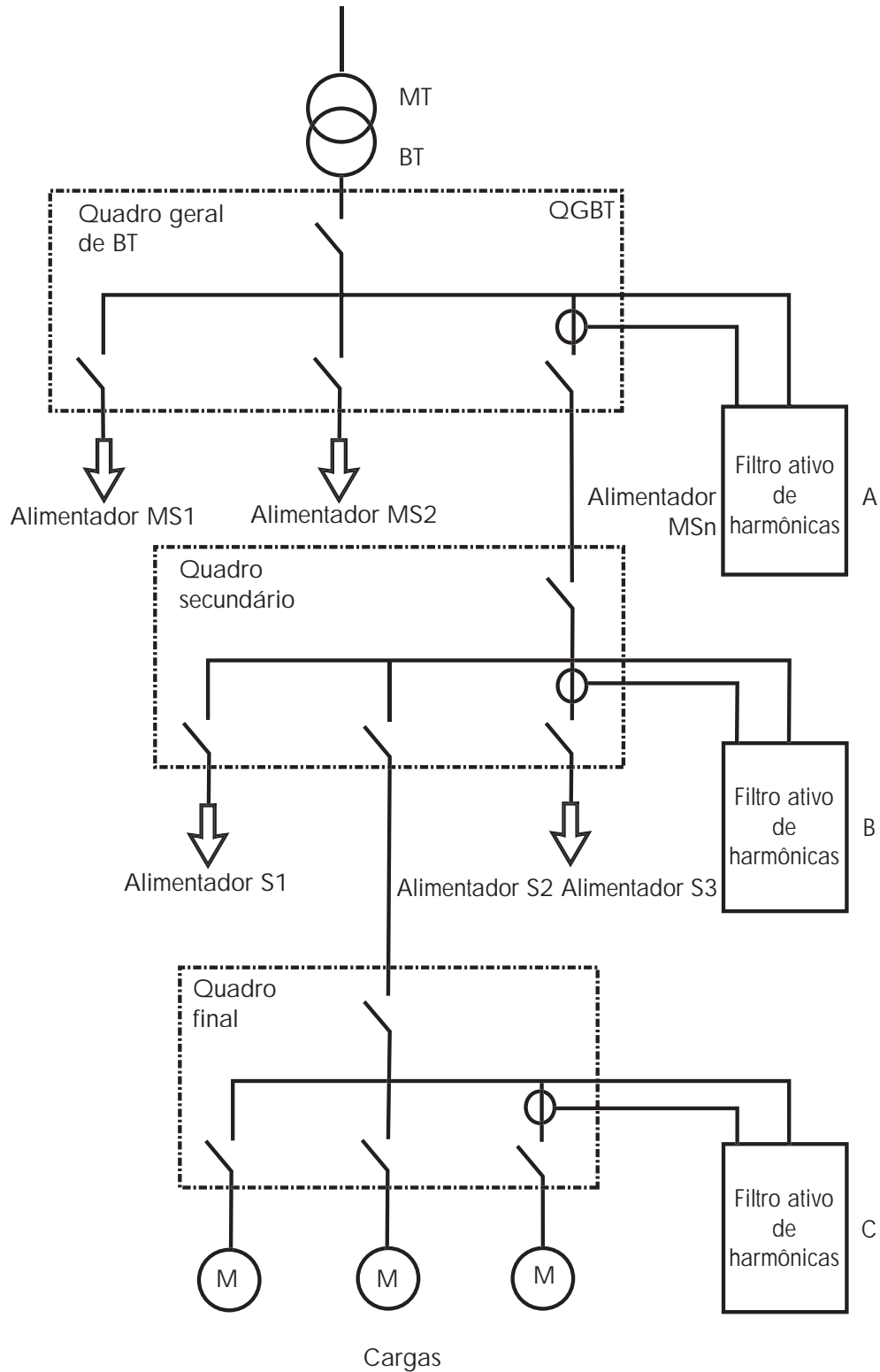


Figura 5 - Sistema de distribuição radial em três níveis mostrando possíveis pontos de conexão para um filtro ativo de harmônicas.

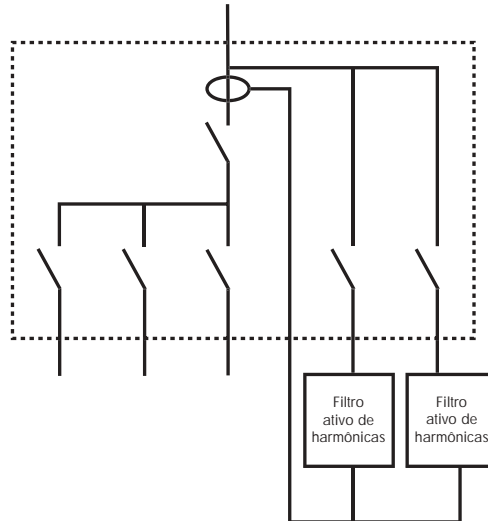


Figura 6 - Configuração em derivação.

Configuração em derivação

Esta configuração, mostrada na Figura 6, atende vários requisitos diferentes:

- maior capacidade de compensação em um determinado ponto do sistema CA conectando até quatro filtros da mesma capacidade nominal;
- maior capacidade de compensação no caso de qualquer expansão de carga futura;
- maior confiabilidade mediante o uso de filtros da mesma capacidade nominal em modo de operação redundante.

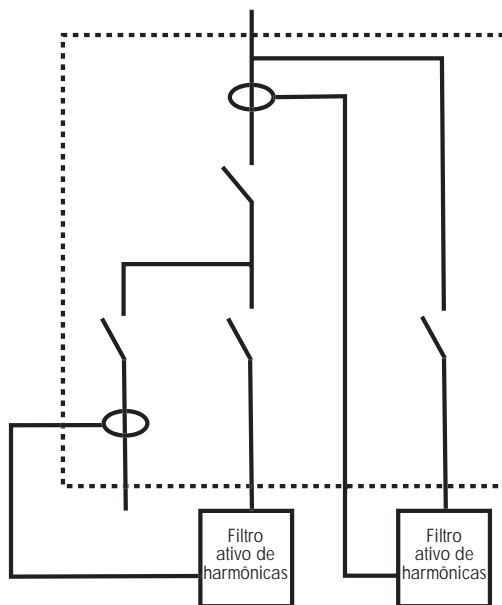


Figura 7 - Configuração em cascata.

Configuração em cascata

Esta configuração, mostrada na Figura 7, tem as seguintes vantagens:

- aumenta a capacidade de compensação global usando filtros de capacidades nominais iguais ou diferentes;
- compensação de uma carga em particular ou de uma harmônica específica localmente, e compensação global de um grupo de cargas não lineares.

Resultados dos ensaios de aplicação

Esta seção apresenta alguns resultados típicos da aplicação de filtros ativos de harmônicas a cargas não lineares. As figuras ilustram os níveis de compensação que podem ser alcançados com aplicações típicas na indústria e em edifícios comerciais.

Cargas do tipo PC

As cargas do tipo PC caracterizam-se por apresentarem elevados níveis de perturbação em todas as harmônicas ímpares de ordem baixa, com níveis muito altos de terceira, quinta, sétima e nona harmônicas. Na Figura 8 é mostrado um espectro típico.

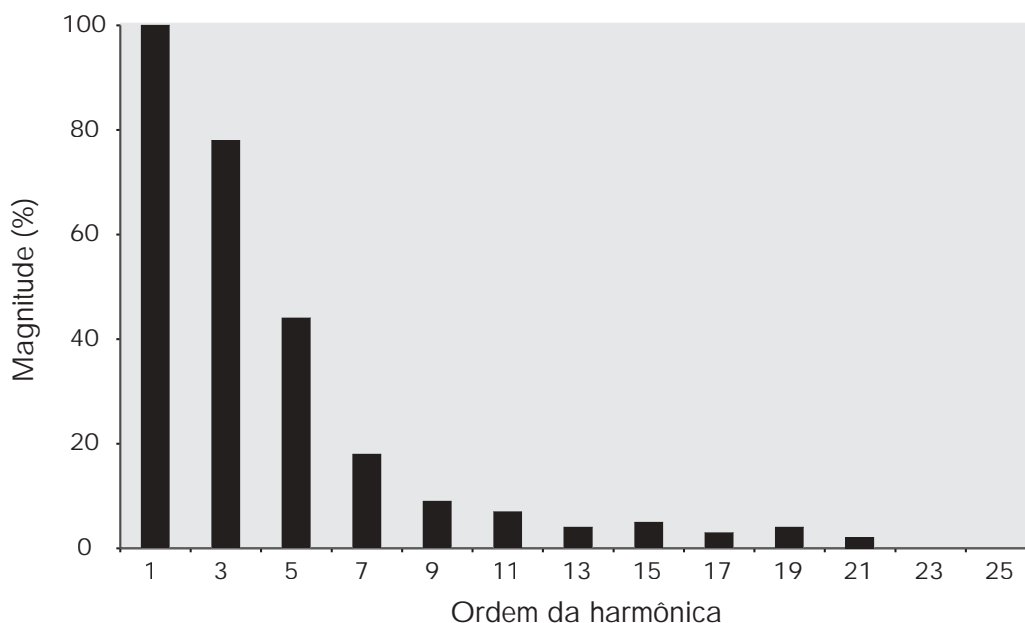


Figura 8 - Perfil não corrigido de cargas do tipo PC.

Este tipo de carga causa muitos problemas: sobrecarga nos condutores neutros, sobreaquecimento em transformadores e aquecimento devido ao efeito pelicular, como discutido na seção 3.1 deste Guia. A aplicação de um filtro ativo de harmônicas a esta carga produz o espectro de corrente de alimentação mostrado na Figura 9. A melhoria é evidente: a DHTi (distorção harmônica total de corrente) diminui de 92,6% para 2,9% (um fator 32) e a corrente eficaz diminui um 21%.

A correção completa, como a mostrada na Figura 9, requer mais corrente do filtro. Dependendo das circunstâncias, pode não ser necessário eliminar todas as correntes harmônicas. Os problemas podem ser associados apenas, por exemplo, à terceira harmônica, e pode ser suficiente eliminar apenas os problemas relacionados a ela. A Figura 10 mostra o efeito sobre a corrente de alimentação de programar o filtro ativo de harmônicas para eliminar apenas a terceira harmônica.

A vantagem desta abordagem é que o problema é resolvido com uma corrente do filtro mais baixa, de forma que um único filtro pode atender uma carga muito maior.

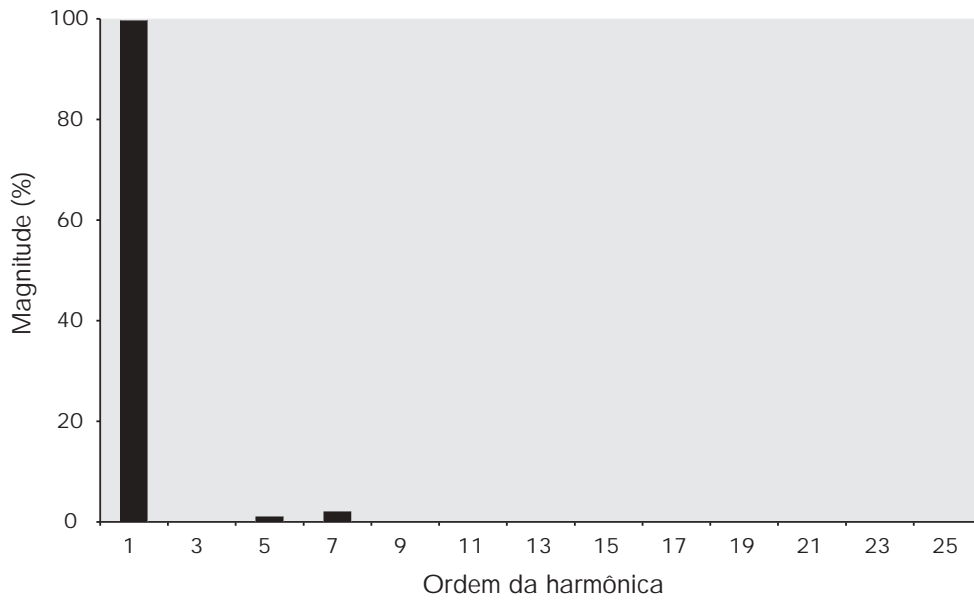


Figura 9 - Carga tipo PC completamente corrigida.

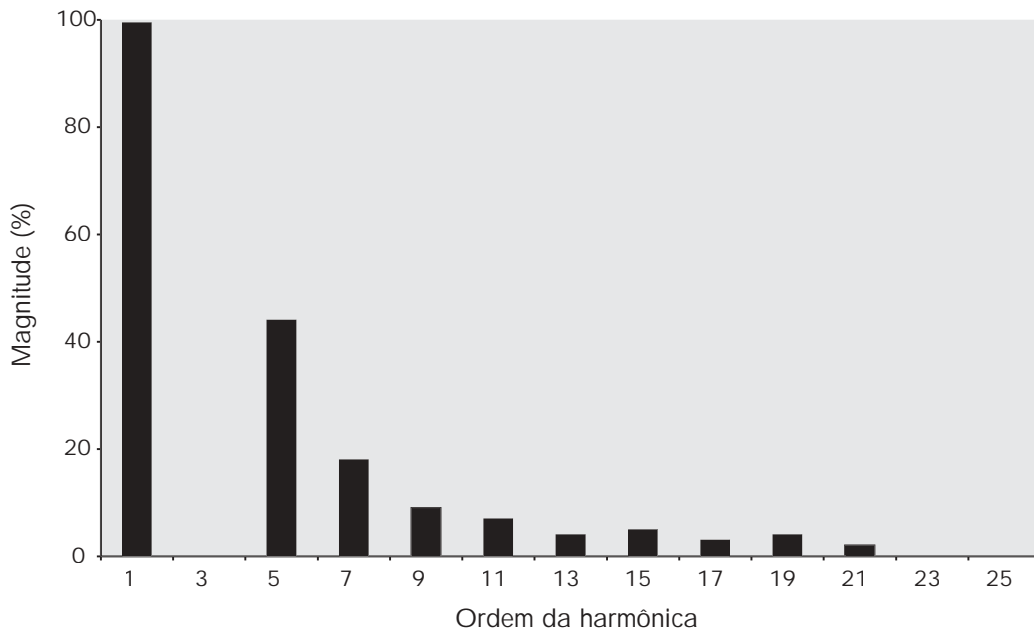


Figura 10 - Carga tipo PC parcialmente corrigida.

Cargas do tipo acionamentos de velocidade variável

A Figura 11 mostra um acionamento de velocidade variável típico no lado carga. As harmônicas quinta e sétima, de magnitude muito elevada, podem provocar problemas sérios na instalação, como sobreaquecimento nos transformadores, e podem representar um problema sério no atendimento dos limites de correntes harmônicas fixados pela concessionária.

O acréscimo de um filtro ativo de harmônicas que permita uma correção completa, produz o espectro mostrado na Figura 12. Neste caso, o DHTi diminui de 124% para apenas 13,4% (um fator 9,3), com uma redução de 30% na corrente eficaz.

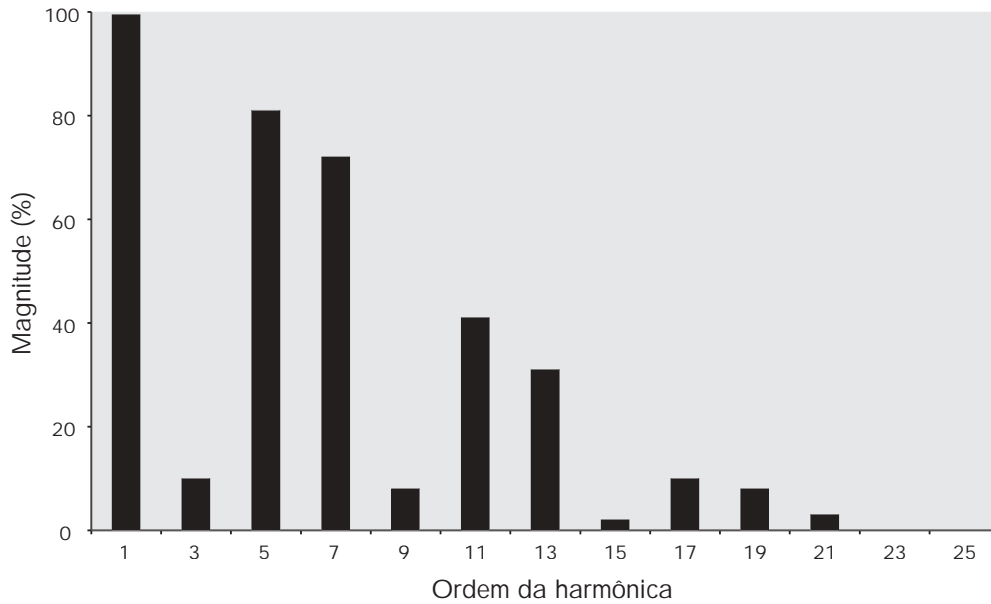


Figura 11 - Carga do tipo acionamento de velocidade variável não corrigida.

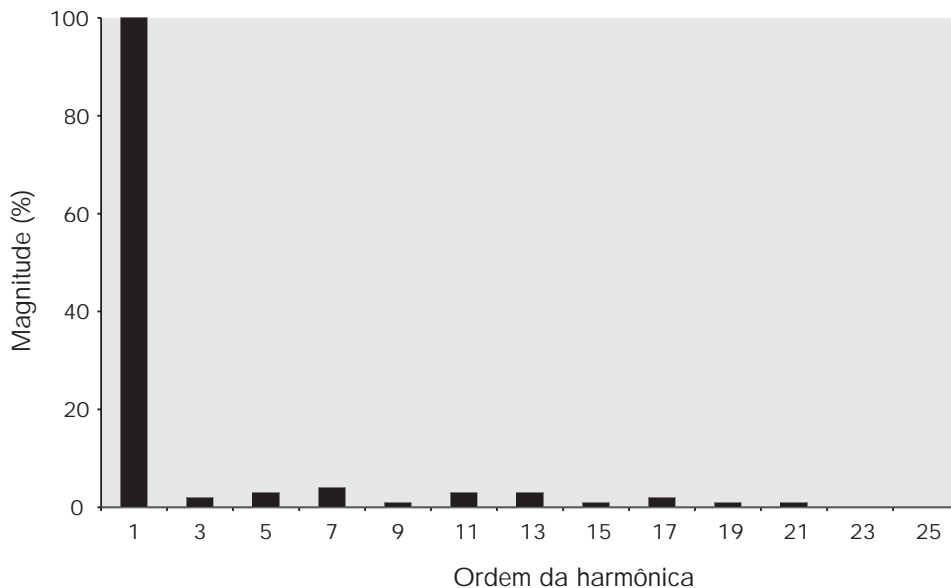


Figura 12 - Carga do tipo acionamento de velocidade variável, corrigida.

Vantagens dos filtros ativos de harmônicas

Os filtros ativos de harmônicas têm as seguintes vantagens:

- ♦ reduzem a DHTi em cerca de 10:1;
- ♦ melhoram o fator de potência;
- ♦ não são afetados por variações de frequência, por exemplo quando operando com um gerador de emergência;
- ♦ não existe risco de ressonância com qualquer frequência harmônica;
- ♦ não podem sobrecarregar-se;
- ♦ são flexíveis;
- ♦ se for preciso, o usuário pode programá-los para que atuem apenas para determinadas frequências harmônicas.

Os filtros ativos de harmônicas provêm uma solução de aplicação simples para o que pode ser um problema muito complexo. Trata-se de uma solução muito flexível, que permite enfrentar com facilidade as mudanças de layout e de uso em um edifício.

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
Web: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V
Am Bonnhof 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
Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

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

Contact: Mr I Hendriks

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@wirednet.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



MGE UPS Systems Ltd
Orion House
171-177 High Street
Harrow HA3 5EA
United Kingdom

Tel: 00 44 20 8861 4040
Fax: 00 44 20 8861 2812
Website: www.mgeups.com

Shri Karve



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