

Guia de Aplicação de Qualidade de Energia



Distúrbios de tensão *Cintilamento*

5.1.4



Distúrbios de tensão

Cintilamento

Zbigniew Hanzelka & Andrzej Bien
AGH University of Science and Technology
April 2006



Este Guia foi produzido como parte do Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), um programa de educação e treinamento europeu apoiado pela Comissão Européia (sob o Programa Leonardo da Vinci) e pelo International Copper Association (ICA). Para informação adicional sobre o LPQI visite www.lpqi.org.



European Copper Institute (ECI)

O European Copper Institute (ECI) (Instituto de Cobre Europeu) é uma joint venture entre o ICA (International Copper Association) e os fabricantes europeus. O ECI representa os maiores produtores de cobre do mundo e os fabricantes europeus mais importantes para promover o cobre na Europa. Criado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de onze Associações de Desenvolvimento do Cobre ('CDAs') em Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polónia, Rússia, Escandinávia, Espanha e Reino Unido.



Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre no Brasil 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.

Aviso de Isenção de Responsabilidades

O conteúdo deste documento não necessariamente reflete a posição da Comunidade Européia, nem implica nenhuma responsabilidade por parte da Comunidade Européia. O European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko e Copper Development Association negam qualquer responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar pelo uso da informação, ou pela impossibilidade do uso da informação ou dos dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko and Copper Development Association.

Reprodução autorizada desde que o material esteja completo e a fonte mencionada.

Distúrbios de tensão

Cintilamento

Introdução

Cintilamento é a impressão de variação da sensação visual induzida por um estímulo luminoso, a luminância ou distribuição espectral que flutua com o tempo. Normalmente, aplica-se à variação cíclica da intensidade de luz de lâmpadas causadas pela flutuação da tensão de alimentação.

Cintilamento é um sintoma de flutuação de tensão que pode ser causado por perturbações introduzidas durante a geração, transmissão ou distribuição de energia, mas é causado tipicamente pelo uso de grandes cargas flutuantes, ou seja, cargas que têm rápidas flutuações de demanda de energia ativa e reativa.

As seções seguintes examinam a natureza das flutuações de tensão, suas causas, efeitos, métodos de medição, mitigação e normas aplicáveis.

Causas de flutuações de tensão

A classificação das variações de tensão rms é mostrada na Figura 1 como um gráfico da de tensão em relação à duração da perturbação. As áreas hachuradas correspondem às variações de tensão consideradas neste artigo.

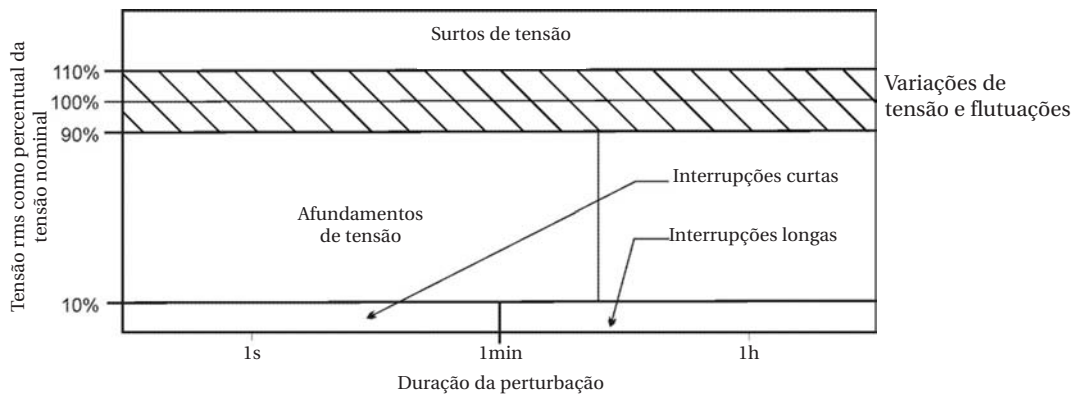


Figura 1 - Classificação das variações de tensão.

Para qualquer linha de alimentação, a tensão na carga é diferente da tensão na fonte. Isto pode ser demonstrado pelo circuito equivalente monofásico da Figura 2a. A relação (1, abaixo) ilustra como o valor da diferença de tensão ΔU , definido na Figura 2b, pode ser obtido do diagrama fasorial e de regras geométricas simples.

$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_s \frac{P}{U_0^2} + X_s \frac{Q}{U_0^2} \cong R_s \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{zw}} \quad (1)$$

onde:

E = tensão da fonte;

U_0 = a tensão nos terminais da carga;

I_0 = corrente,

Z_s, X_s, R_s = impedância equivalente, reatância e resistência da linha, respectivamente;

P, Q = potência ativa e reativa da carga, respectivamente;

S_{zw} = potência de curto-circuito no ponto de conexão da carga (S_{SC}).

Assumindo que a resistência equivalente da a linha é desprezível quando comparada com a sua reatância ($X_S > 10 R_S$), o que é verdade para sistemas em média e alta tensão, a seguinte

$$\frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{zw}} \quad (1a)$$

relação define o valor relativo da variação de tensão na carga no final da linha:

Dependendo de sua causa, a variação de tensão ΔU pode assumir a forma de uma queda de tensão com um valor constante por um longo intervalo de tempo, uma variação de tensão lenta ou rápida, ou uma flutuação de tensão. Flutuação de tensão é definida como uma série de variações da tensão rms ou uma variação cíclica da envoltória da forma de onda da tensão (ver Figura 3).

As características que definem as flutuações de tensão são:

- A amplitude da variação de tensão (diferença entre os valores rms ou de pico máximo e mínimo ocorrida durante a perturbação);
- O número de variações de tensão durante uma unidade especificada de tempo;
- Os efeitos conseqüentes (tais como o cintilamento) das variações de tensão associados com as perturbações.

Fontes de flutuações de tensão

Da relação indicada em (1a), pode ser visto que a causa primária das variações de tensão é a variação no tempo do componente de energia reativa de cargas flutuantes. Tais cargas incluem, por exemplo, fornos ao arco (Figura 4), acionadores de laminadores, etc. - em geral, cargas com uma taxa elevada de variação de potência em relação à capacidade de curto-circuito no ponto de conexão com a alimentação.

É muito importante notar que as cargas de pequena potência, tais como dispositivos de partida de motores de indução, máquinas de solda (Figura 5), caldeiras, reguladores de tensão, serras e martelos elétricos, bombas e compressores, guindastes, elevadores, etc. podem também ser fontes de cintilamento.

Outras causas incluem o chaveamento de capacitores e os variadores sob carga de taps de transformadores, que podem mudar o componente indutivo da impedância da fonte.

Variações na capacidade de geração, como, por exemplo, turbinas eólicas, também podem ter um efeito. Em alguns casos, flutuações de tensão podem ser causadas inter-harmônicas de tensão de baixa freqüência.

Efeitos das flutuações de tensão

Flutuações de tensão em sistemas de potência causam vários efeitos técnicos prejudiciais que resultam em interrupção de processos de produção com custos significativos. Porém, o efeito fisiológico de cintilamento é o mais importante, porque afeta a ergonomia do ambiente de produção, causando a fadiga do operador e a redução dos seus níveis de concentração.

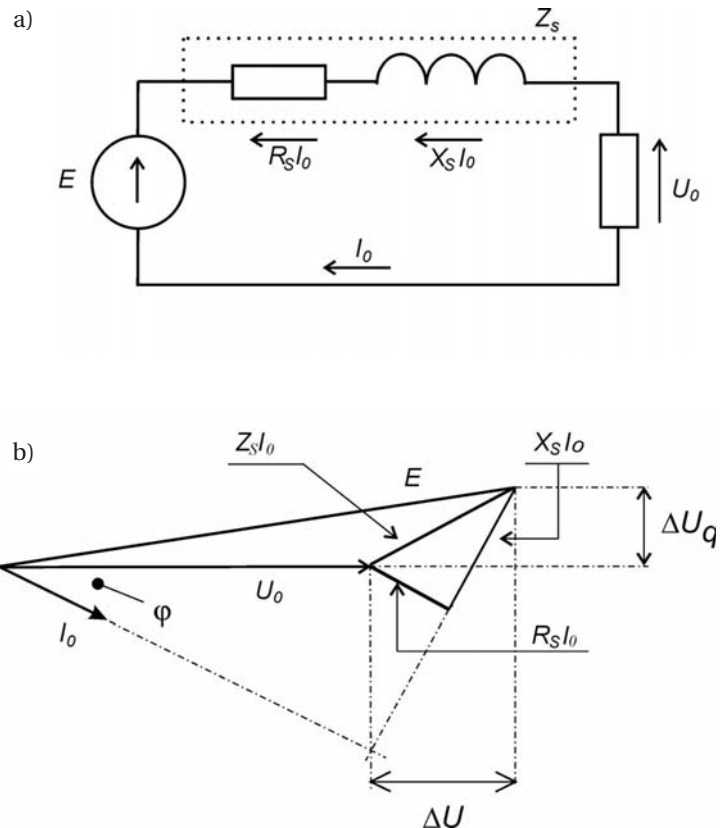


Figura 2 - Circuito equivalente monofásico da rede de alimentação (a) e diagrama fasorial para uma carga resistiva-indutiva (b).

Cintilamento

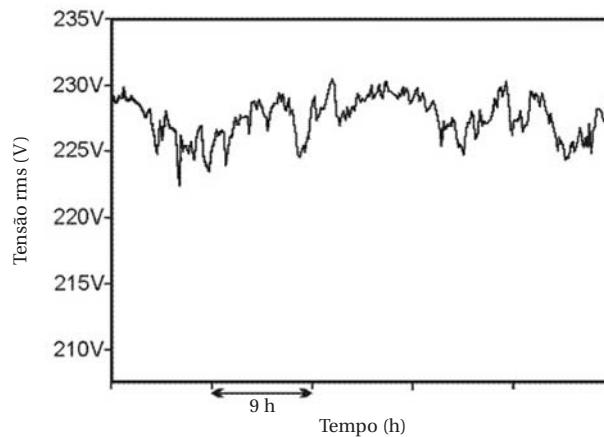


Figura 3 - Exemplo de flutuação de tensão rms.

Além disso, a operação irregular de contadores e relés pode causar sérias interrupções dos processos de produção. Exemplos ilustrativos dos efeitos adversos da flutuação de tensão são apresentados a seguir.

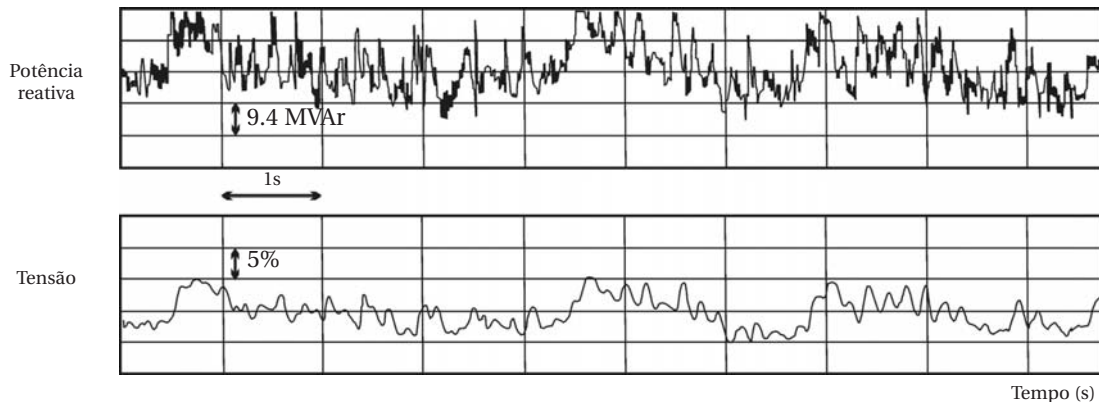


Figura 4 - Variações na potência reativa e as flutuações de tensão resultantes no ponto de conexão de um forno ao arco.

Máquinas elétricas

Flutuações de tensão nos terminais de um motor de indução causam variações no torque e no escorregamento, e, conseqüentemente, afetam o processo de produção. No pior caso, elas podem conduzir à vibração excessiva, redução no torque mecânico e diminuição da vida útil do motor.

Flutuações de tensão nos terminais de motores e geradores síncronos dão lugar desgaste prematuro de rotores; elas também causam variações no torque e potência e um aumento de perdas.

Retificadores estáticos

O efeito mais usual da flutuação de tensão em retificadores controlados por fase com controle de parâmetro pelo lado CC é uma redução do fator de potência e a geração de harmônicas e inter-harmônicas não características. No caso do acionador frear em modo de inversor, pode resultar em falha de comutação, e conseqüente dano para os componentes dos sistemas.

Equipamentos de eletrólise

Tanto a vida útil quanto a eficiência operacional de equipamentos de eletrólise podem ser reduzidas na presença de flutuações de tensão. Além disso, elementos de alta corrente da linha de alimentação podem ser significativamente degradados, aumentando assim os custos de manutenção e consertos.

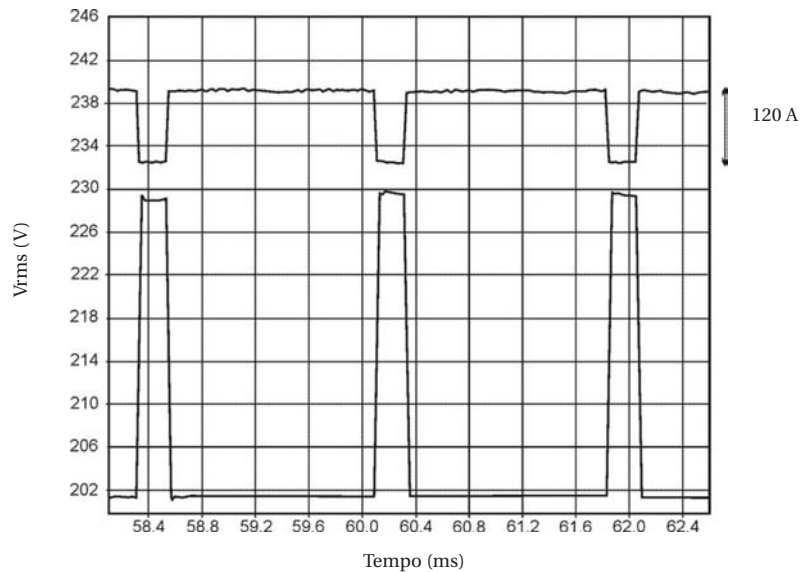


Figura 5 - Flutuações de tensão em sistemas de potência durante a soldagem.

Equipamentos elétricos de aquecimento

A eficiência operacional de todos os equipamentos de aquecimento é reduzida na presença de níveis significativos de flutuação de tensão, por exemplo, um forno ao arco necessitaria de um maior tempo de fundição.

Fontes de luz

Qualquer variação na intensidade da tensão de alimentação resulta em uma variação no fluxo luminoso de uma fonte de luz. Isto é conhecido como cintilamento, que é uma impressão visual subjetiva da variação do fluxo de luz quando sua luminância ou distribuição espectral flutua com o tempo.

Fontes de luz incandescentes são particularmente sensíveis a variações em tensão de alimentação, assim como o fluxo luminoso, Φ , é proporcional à tensão aplicada de acordo com a relação $\Phi - U^y$ onde o expoente y tipicamente varia entre 3,1 e 3,7 (para lâmpadas fluorescentes, o expoente é tipicamente menor [aproximadamente 1,8]).

A Figura 6 ilustra a variação no fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente de 60 W, 230 V, provocada pela flutuação de tensão de alimentação. O cintilamento que é gerado significativamente prejudica a visão e causa um desconforto generalizado e fadiga. A fisiologia deste fenômeno é complexa. De forma geral, pode ser assumido que o cintilamento afeta o processo de visão e a reação do cérebro humano. Fontes de luz que cintilam podem produzir desconforto e deterioração da qualidade de trabalho - em algumas situações podem causar acidentes de trabalho.

Medição do cintilamento

Medições de flutuação de tensão são necessárias para determinar os níveis de emissão reais das cargas para comparação com os valores de limite estabelecidos nas normas de compatibilidade eletromagnética (EMC).

Medições de cintilamento são realizadas com dois objetivos. O primeiro é avaliar a qualidade de uma alimentação, ou seja, comparar o nível de cintilamento existente no ponto de medição com as recomendações formuladas pelas normas. O segundo é avaliar os níveis de emissão de um projeto de um equipamento antes que seja introduzido no mercado, ou seja, um ensaio de tipo para propósitos de certificação.

Fatores de flutuação de tensão

Até bem recentemente, as flutuações de tensão em sistemas de potência, ou nos terminais da carga, foram caracterizadas pela utilização de fatores associados com a variação da tensão rms de pico a pico no sistema de potência. A energia das flutuações de tensão e seu espectro, também chamado de espectro de energia

das flutuações de tensão, e sua duração foram levados em conta quando avaliadas as flutuações de tensão. Atualmente, os parâmetros básicos que determinam as flutuações de tensão são os índices de severidade de cintilamento em curto prazo P_{ST} e severidade de cintilamento em longo prazo P_{LT} .

Estes parâmetros se referem aos efeitos de flutuação de tensão na iluminação e suas influências em humanos.

A pesquisa sobre o processo de percepção visual tem uma história que remonta a mais de quarenta anos. Inicialmente, ela consistia principalmente de testes realizados em grupos de indivíduos selecionados e representativos, utilizando-se diversas fontes de luz e várias formas de onda de variações de tensão. Nesta base, eram obtidas as curvas de percepção e severidade de cintilamento.

Estas curvas apresentam valores de flutuações de tensão senoidais ou retangulares (vertical/eixo y), e freqüência (horizontal/eixo x).

A área acima da curva define flutuações de tensão que produzem cintilamentos notáveis e inaceitáveis, enquanto que a área sob a curva define os níveis de cintilamento aceitáveis.

A participação de fisiologistas e psicólogos nestas experiências permitiu o desenvolvimento de modelos matemáticos sofisticados para os processos neuro-fisiológicos. As experiências de De Lange ofereceram a primeira oportunidade para avançar a tese de semelhança entre a sensibilidade do olho humano aos estímulos da luz e a característica de freqüência de um sinal elétrico análogo. Estudos extensos realizados posteriormente por Kelly levaram em conta, não apenas as amplitudes das variações, mas também os diferentes níveis de adaptação do olho para a luminância média. Uma contribuição importante para desenvolvimentos neste campo de conhecimento foi feita por Rashbass, Koenderink e Van Doorn [1, 2]. Seus trabalhos de pesquisa resultaram no desenvolvimento do medidor de cintilamento UIE, o qual utiliza a flutuação de tensão como sinal de entrada, ao invés das variações dos fluxos luminosos em si. Isto exigiu que o processo fisiológico de percepção visual fosse modelado de acordo com o trabalho de Rashbass e Koenderink sobre o instrumento.

O trabalho deles demonstrou que a resposta do olho humano tem a característica de um filtro passa-faixa entre 0,5 Hz e 35 Hz, com sensibilidade máxima para o fluxo luminoso em uma freqüência ao redor de 8-9 Hz.

Para fontes de luz incandescentes, flutuações de tensão de aproximadamente 0,3% do valor médio são observadas nesta freqüência. Efeitos fisiológicos dependem da amplitude das variações do fluxo luminoso, do espectro de freqüência e da duração da perturbação. A resposta do cérebro para o estímulo luminoso tem uma característica inercial com uma constante de tempo de aproximadamente 300 ms, significando que acontecem variações lentas do fluxo luminoso e variações rápidas são amenizadas. Por exemplo, duas variações pequenas no fluxo luminoso, acontecendo em 300 ms, são percebidas como uma única variação. Variações pequenas de fluxo luminoso, seguidas por uma pausa mais longa, são mais incômodas. O fenômeno de cintilamento é mais dominante na periferia do campo visual do que naquelas áreas nas quais a atenção do observador é focalizada. A flutuação de tensão necessária para produzir cintilamento perceptível é independente do tipo de tensão de alimentação (CA ou CC) utilizada para a lâmpada.

O conceito de avaliação da influência da flutuação de tensão no conforto do usuário

O fenômeno de cintilamento das fontes de luz tem sido um assunto desde o início do uso dos sistemas de distribuição. Porém, com o aumento no número de consumidores e da potência instalada, o cintilamento começou a aumentar rapidamente. Para entender o fenômeno de cintilamento e seus efeitos nos países onde isto era um problema sério, foram realizadas investigações para medi-lo e trata-lo. Os passos iniciais empregaram uma observação simples de variações de fluxos luminosos. Subseqüentemente, um modelo

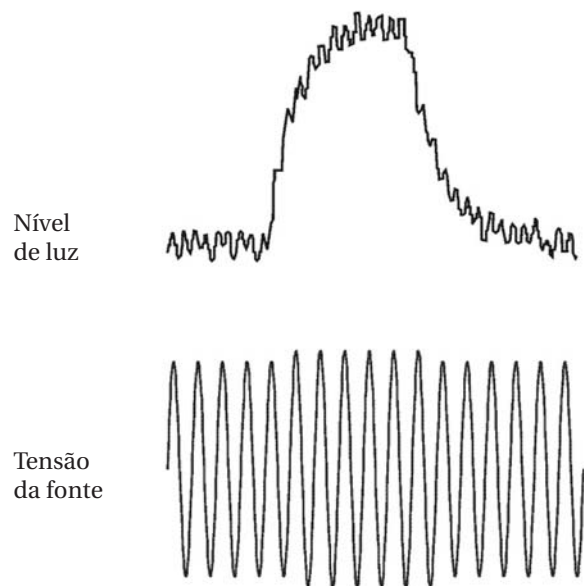


Figura 6 - O efeito de uma variação de tensão no fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente [1].

de reação humana (fadiga) para variações de fluxos luminosos foi desenvolvido, levando ao projeto dos primeiros instrumentos para medir a severidade de cintilamento de fontes de luz. Estes instrumentos incluíram uma lâmpada incandescente normal (60W, 230V), um sensor de fluxo luminoso e um modelo analógico (usando amplificadores operacionais) para simular a reação humana. O fim dos anos oitenta trouxe mais sistematização e organização do trabalho na avaliação da severidade do cintilamento, principalmente coordenado pela União Internacional para Eletrotécnica (UIE).

Foi adotado um modelo normalizado de um instrumento que mede a severidade de cintilamento em termos de PST para pequenos tempos de observação e PLT para períodos de tempo longos. Este é um instrumento completamente eletrônico, o qual modela o comportamento da fonte de luz de tungstênio e a resposta humana para aquele comportamento. Os princípios de projeto são discutidos em outro Fascículo desta Coleção.

Mitigação de flutuações de tensão em sistemas de potência

Os efeitos das flutuações de tensão dependem, em primeiro lugar, de suas amplitudes, influenciadas pelas características do sistema de potência, e da taxa de suas ocorrências, determinada pelo processo tecnológico, ou seja, tipo de carga e natureza de sua operação. Normalmente, medidas de mitigação são utilizadas em ações focadas para limitar a amplitude das flutuações de tensão; o processo tecnológico raramente é influenciado. Exemplo destes métodos são:

- Forno ao arco - incorporação de um reator em série (ou saturação variável), funcionando apropriado do sistema de controle do eletrodo, segregação e aquecimento preliminar da carga, etc.; estes métodos são familiares aos engenheiros de processos metalúrgicos;
- Planta de soldagem - alimentação da planta por um transformador dedicado, conexão de máquinas de solda monofásicas em rede trifásica para distribuição equilibrada de cargas entre fases, conexão de máquinas de solda monofásicas em fases diferentes daquelas utilizadas para equipamentos de iluminação, etc.
- Acionadores de velocidades variáveis - uso de dispositivos de partida suave.

Como resulta da relação 1a anterior, as amplitudes das flutuações de tensão podem ser limitadas de dois modos:

- Aumento da potência de curto-circuito (em relação à potência da carga) no ponto de acoplamento onde uma carga flutuante é conectada. Em termos práticos, isso significa:
 - Conectar a carga em um nível de tensão nominal mais elevado;
 - Alimentar esta categoria de cargas por linhas dedicadas;
 - Separar as alimentações das cargas flutuantes das cargas fixas usando enrolamentos separados de um transformador de três enrolamentos;
 - Aumentar a potência nominal do transformador que alimenta a carga flutuante;
 - Instalar capacitores em série.
- Redução das variações de energia reativa no sistema de alimentação pela instalação de compensadores/estabilizadores dinâmicos.

Estabilizadores de tensão dinâmicos

Estabilizadores de tensão dinâmicos são uma solução tecnicamente viável para a eliminação ou mitigação de variações de tensão. Suas efetividades dependem principalmente da potência nominal e da velocidade de reação. Pela drenagem de energia reativa na frequência fundamental, eles produzem quedas de tensão nas impedâncias da rede de alimentação. Dependendo se a energia reativa é indutiva ou capacitiva, o valor de tensão rms no ponto de conexão comum (PCC) pode ser aumentado ou reduzido. A Figura 7 mostra a classificação de várias soluções para estabilizadores de tensão dinâmicos. Elas são principalmente sistemas trifásicos, de elevada potência nominal, projetados para estabilização de tensão no ponto principal de um sistema de distribuição, de uma carga específica ou de um grupo de cargas num PCC. Uma vez que estes sistemas são freqüentemente usados como compensadores dinâmicos de energia reativa na frequência fundamental, os termos “estabilizador” e “compensador” serão utilizados alternadamente.

Máquinas síncronas

Máquinas síncronas são uma fonte tradicional de energia reativa harmônica na frequência fundamental, atrasada ou adiantada, fornecida de uma maneira contínua. Elas também podem ser a fonte de energia mecânica quando operadas como um compensador e um motor.

O uso de uma máquina síncrona sem controle da corrente de excitação é insensato porque, para atingir o nível de limite normalizado das variações de tensão, a máquina precisaria de uma potência nominal muitas vezes maior do que a potência da carga que requer estabilização. Este fato, como também os parâmetros dinâmicos exigidos do processo de estabilização, requer que a máquina síncrona seja operada por um sistema de controle de tensão em laço fechado com controle rápido de corrente de excitação (Figura 8). Tal solução habilita um tempo de subida rápido da corrente reativa da máquina.

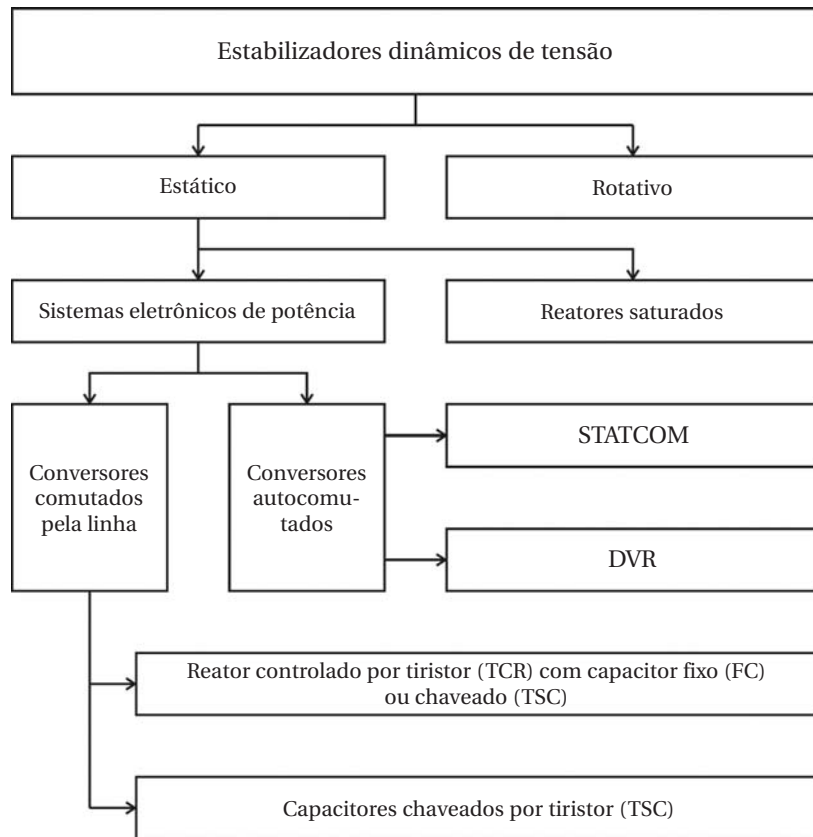


Figura 7 - Classificação dos estabilizadores de tensão dinâmicos.

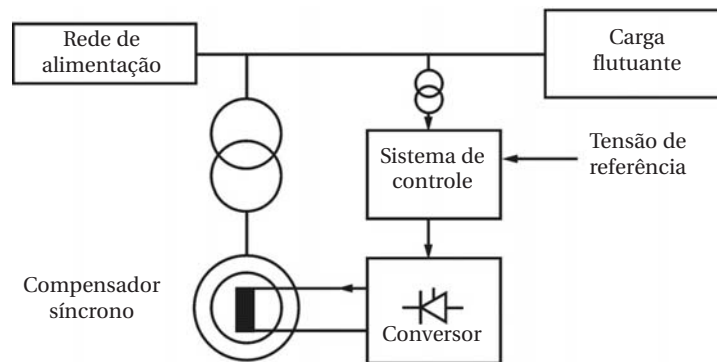


Figura 8 - Sistema de controle de estabilização de tensão que usa um compensador síncrono.

Cintilamento

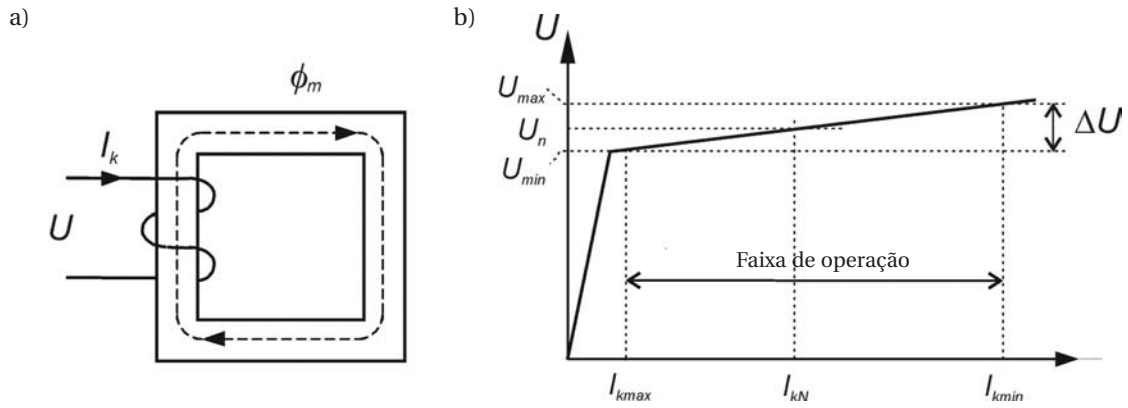


Figura 9 - Princípio de operação do reator auto-saturado: diagrama esquemático (a), característica magnética do núcleo (b).

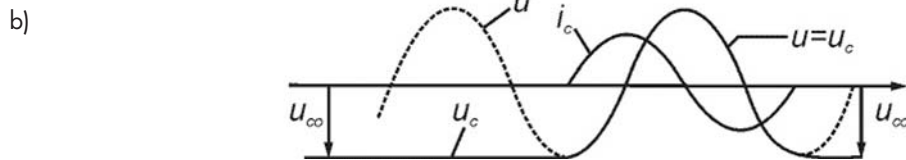
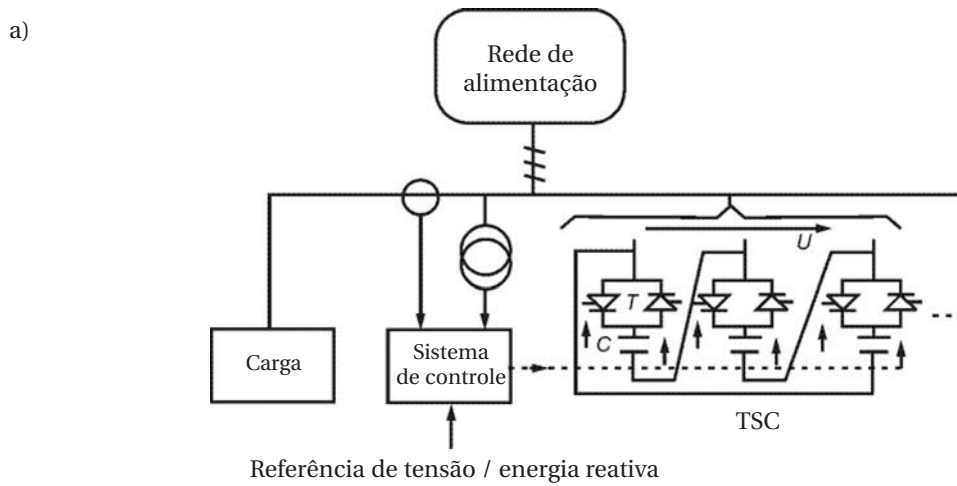


Figura 10 - Diagrama esquemático de um compensador de TSC (a), formas de onda de corrente e tensão durante o chaveamento de capacitor (b).

Compensadores estáticos

Compensadores estáticos (que não o STATCOM) empregam componentes passivos capacitivos e/ou indutivos que são chaveados, controlados por fase ou combinados com saturação de núcleo controlada. Eles alimentam a corrente reativa estabilizada tanto em valores discretos ou, mais frequentemente, em um modo continuamente variável. Compensadores estáticos são considerados como a solução mais vantajosa para melhorar a qualidade da alimentação de energia tanto sob os aspectos técnicos quanto econômicos.

Compensadores com reatores saturados

Há muitos dispositivos que empregam a saturação de circuitos magnéticos para a estabilização de tensão. Duas dessas soluções encontraram uma ampla aplicação prática: reator auto-saturado (SR) e um reator com circuito de controle CC.

Reator auto-saturado (SR)

Este foi um dos primeiros compensadores estáticos aplicados em escala industrial para mitigar os efeitos de flutuações de tensão. O reator é projetado de modo que a característica de magnetização tenha um “joelho” definido com uma pequena rampa linear positiva acima do ponto de saturação (Figura 9). O reator é projetado de forma que, no mínimo da faixa de tensão, o núcleo está muito perto da saturação e circula uma corrente de magnetização, semelhante ao caso de um transformador sem carga. Neste estado, não há praticamente nenhuma influência na amplitude da tensão. Na tensão nominal o reator está saturado e, assim, uma variação pequena na tensão de alimentação resulta numa variação considerável na corrente. O compensador normalmente é conectado à rede de alimentação sem um transformador.

Reator com um circuito de controle em CC

O estabilizador é operado frequentemente com um banco de capacitor em paralelo que forma um filtro para harmônicas de ordem mais altas. Ele trabalha essencialmente como um transdutor, no qual a intensidade da corrente primária é controlada pelo ajuste da corrente de magnetização CC. O enrolamento CC de controle normalmente é alimentado por um conversor a tiristor completamente controlado, cuja potência normalmente não excede a 1% da potência nominal do estabilizador. Esta solução permite a circulação de corrente transitória, tornando assim a operação mais rápida do sistema.

Pelo ajuste da corrente de magnetização, a corrente primária do reator varia praticamente de zero (núcleo não saturado) até o valor máximo (núcleo saturado) ao longo de toda faixa das variações da corrente primária. Uma desvantagem considerável desta solução é a geração de correntes harmônicas de ordens elevadas. Na versão trifásica, um número maior de aberturas e a interligação apropriada de vários enrolamentos fazem com que as correntes harmônicas de ordens mais elevadas são praticamente eliminadas, mas às custas de uma resposta mais lenta do sistema. O uso de três estabilizadores monofásicos permite a correção do desbalanceamento.

Capacitores chaveados por tiristores (TSC)

Nesta solução, os bancos de capacitores seccionados são conectados entre fases, com cada seção chaveada (ligada ou desligada) por meio de chaves tiristorizadas CA (Figura 10). Então, os valores das susceptâncias equivalentes do compensador variam de uma maneira discreta dependendo do número de seções ativas. A sincronização do chaveamento e a pré-carga dos capacitores evitam as sobrecorrentes e sobretensões normalmente relacionadas com o chaveamento de capacitores. O tempo de reação para operação simétrica não excede a 20 ms.

Compensador de FC/TCR

Esta solução é um exemplo de compensação indireta. Dependendo da função exigida - estabilizador de tensão ou compensador de energia reativa - o valor da soma dos dois componentes da corrente é controlado (Figura 11):

- Harmônica fundamental da corrente do capacitor; o capacitor é operado como um filtro ou como estágios de capacitores chaveados (TCR/TSC);
- Harmônica fundamental da corrente do reator, controlada por meio de uma chave tiristorizada CA.

Cintilamento

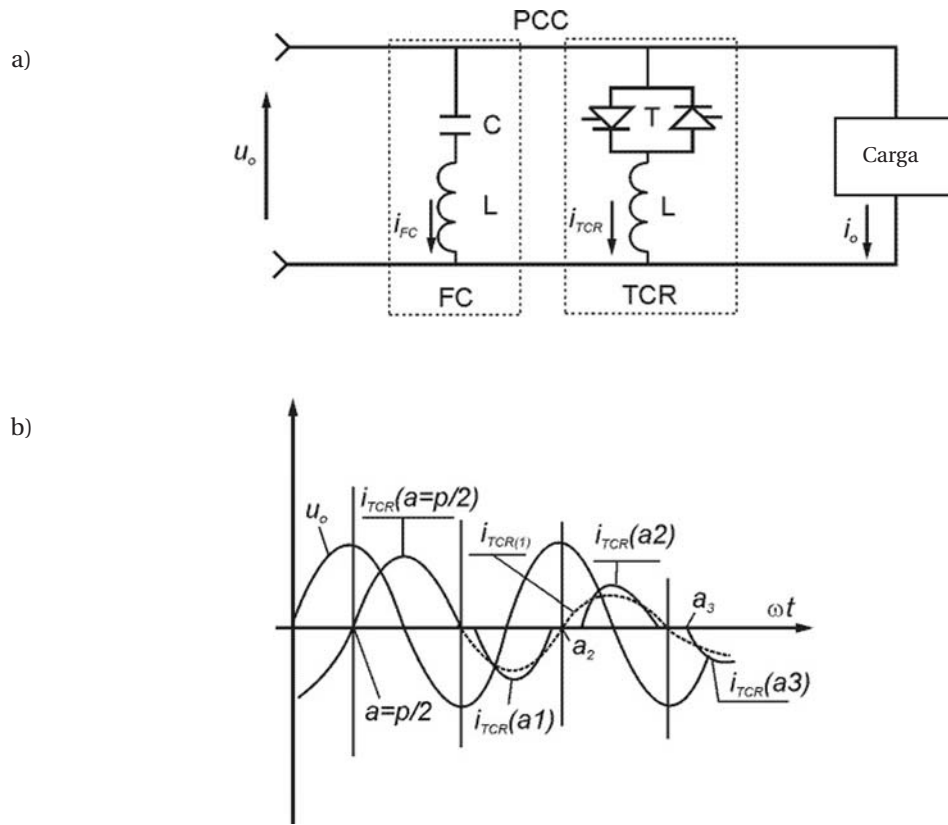


Figura 11 - Diagrama conceitual de compensador monofásico FC/TCR (a), formas de onda de corrente TCR(b).

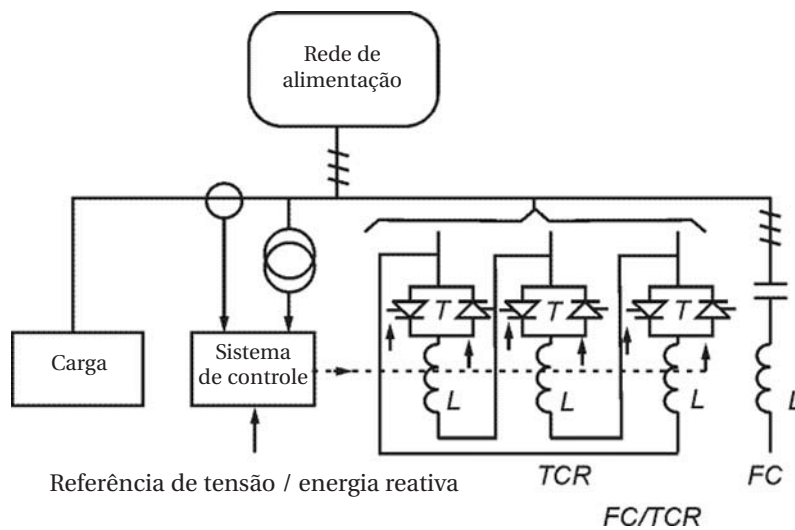


Figura 12 - Compensador trifásico FC/TCR.

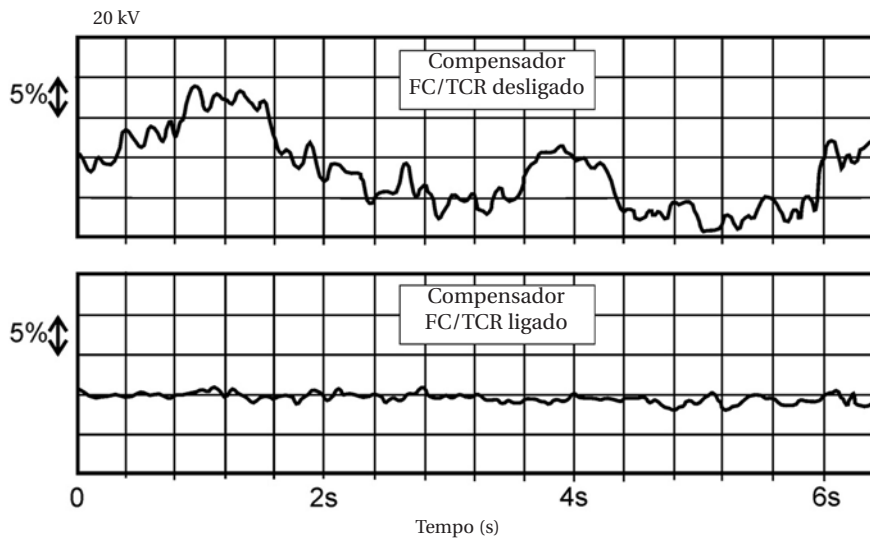


Figura 13 - Um exemplo de efeito do desempenho de um compensador FC/TCR.

Na configuração clássica trifásica (Figura 12), os ramos do reator são conectados em delta com filtros em paralelo e são vistos pela rede de alimentação como susceptâncias equivalentes ligadas entre fases. Pela variação dos ângulos de controle, os valores das susceptâncias são modificados em degraus e independentemente um do outro. A função do reator pode ser executada pelas reatâncias equivalentes de um transformador com uma grande tensão de curto-circuito.

Exemplos do desempenho do compensador são mostrados na Figura 13.

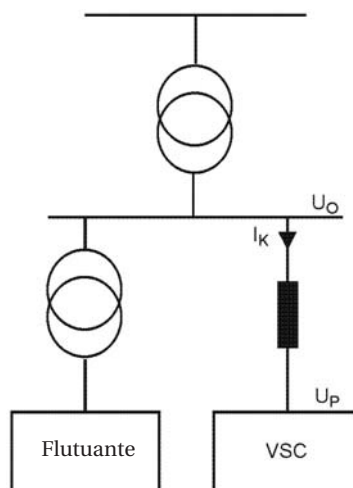


Figura 14 - Diagrama esquemático de um compensador (VSC) conectado à rede de alimentação.

Fontes de tensão por conversores autocomutados e fontes de potência/corrente reativas

O compensador inclui um conversor de fonte de tensão (VSC). Os estados de chaveamento dos dispositivos semicondutores (modulação por largura de pulso) determinam o valor e o tipo de energia reativa (indutiva ou capacitiva) - Figura 14.

São descritas várias soluções práticas para estes compensadores na literatura. As capacidades de tais compensadores são análogas às das máquinas síncronas, embora com uma operação muito mais rápida. O compensador mais utilizado normalmente é o STATCOM.

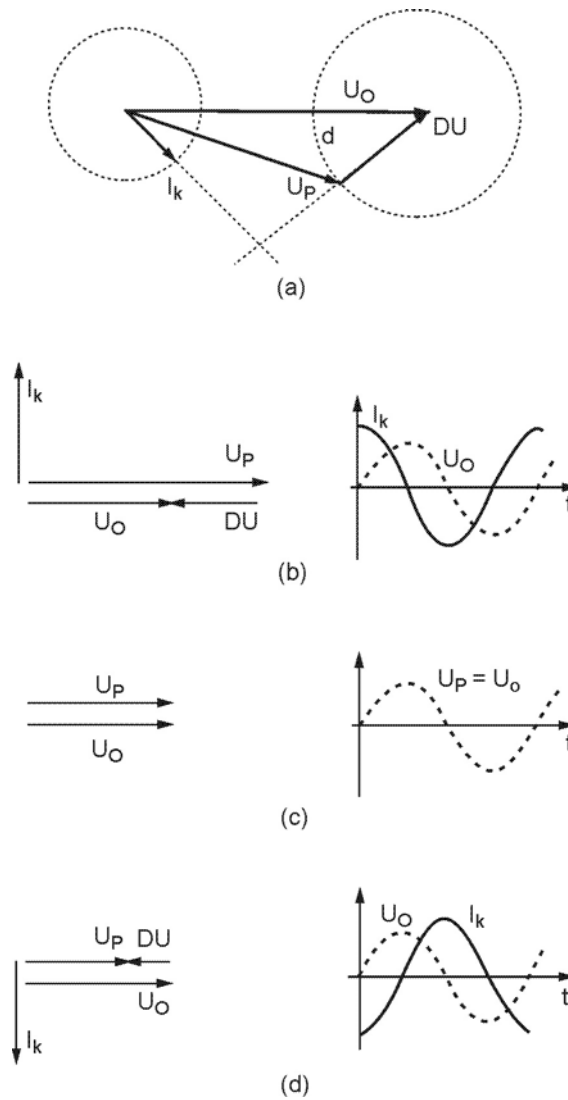


Figura 15 - Formas de onda de tensão e de corrente e diagramas fasoriais de um STATCOM para diferentes relações de fase entre U_0 e U_p .

O STATCOM é uma nova geração de compensadores estáticos que empregam dispositivos semicondutores com comutação forçada. Seu nome - Compensador Síncrono Estático - é derivado do princípio de operação, análoga à operação do compensador síncrono. A parte básica do compensador é um conversor CA/CC, conectado à rede via uma reatância indutiva, normalmente a indutância de fuga do transformador. Quando a tensão do conversor é menor do que a tensão da rede de alimentação, o compensador é uma carga indutiva; reciprocamente, quando a tensão do conversor é maior do que a tensão de alimentação, o compensador fornece energia reativa para a rede e se comporta, dessa forma, como uma carga capacitiva - Figura 15.

Conclusão

O cintilamento é um fenômeno subjetivo. Conseqüentemente, é difícil determinar o custo direto de seu efeito. Ele afeta a qualidade fundamental do serviço da concessionária – quer dizer, a habilidade para prover uma iluminação estável e consistente. Certamente o cintilamento pode afetar a produtividade em um escritório ou fábrica, mas o custo do cintilamento é normalmente baseado no custo de sua mitigação quando as reclamações ficam significativas. Desenvolvimentos em eletrônica de potência, em particular na fabricação de dispositivos semicondutores, permitiram a construção prática de sistemas dinâmicos de estabilização de tensão com potências nominais cada vez maiores, enquanto que ao mesmo tempo foram reduzidos os investimentos e os custos operacionais. A disponibilidade de equipamentos com a habilidades para executar algoritmos complexos de controle permite a implementação de diversas funções, incluindo a estabilização dinâmica de tensão.

Referências

[1] *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations, Part 5, Flicker and Voltage Fluctuations, "Power Quality" Working Group WG2, 2000.*

[2] *UIE Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations. Part 1: General Introduction to Electromagnetic Compatibility (EMC), Types of Disturbances and Relevant Standards, 1994.*

Normas IEC relativas à flutuação de tensão

Item	Norma	Título
1.	IEC 61000-2-2: 2002	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2. Environment. Section 2. Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.
2.	IEC 1000-3-5: 1994	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3. Limits. Section 5. Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.
3.	IEC 1000-3-7: 1996	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3. Limits. Section 7. Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems.
4.	IEC 61000-4-14: 2002	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4. Testing and measuring techniques. Section 14. Voltage fluctuation immunity tests.
5.	IEC 60868: 1986	Flickermeter - Functional and design specifications.
6.	IEC 61000-4-15: 2003	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4. Testing and measurement techniques. Section 15. Flickermeter - Functional and design specifications.
7.	IEC 61000-4-30: 2003	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4. Testing and measuring techniques. Section 30. Measurements of power quality parameters.

Tabela A1 - Norma IEC relativas a flutuação de tensão.

Referências & Membros Fundadores

European Copper Institute* (ECI) <i>www.eurocopper.org</i>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <i>www.etsii.upm.es</i>	LEM Instruments <i>www.lem.com</i>
Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) <i>www.agh.edu.pl</i>	Fluke Europe <i>www.fluke.com</i>	MGE UPS Systems <i>www.mgeups.com</i>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) <i>www.citcea.upc.es</i>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <i>www.htw-saarland.de</i>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <i>www.uni-magdeburg.de</i>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <i>www.ceiuni.it</i>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <i>www.pih.be</i>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <i>www.miedz.org.pl</i>
Copper Benelux* <i>www.copperbenelux.org</i>	International Union for Electricity Applications (UIE) <i>www.uie.org</i>	Università di Bergamo* <i>www.unibg.it</i>
Copper Development Association* (CDA UK) <i>www.cda.org.uk</i>	ISR - Universidade de Coimbra <i>www.isr.uc.pt</i>	University of Bath <i>www.bath.ac.uk</i>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <i>www.kupferinstitut.de</i>	Istituto Italiano del Rame* (IIR) <i>www.iir.it</i>	The University of Manchester <i>www.manchester.ac.uk</i>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <i>www.ecd.it</i>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <i>www.kuleuven.ac.be</i>	Wroclaw University of Technology* <i>www.pwr.wroc.pl</i>
EPRI Solutions Inc <i>www.epri.com/eprisolutions</i>	Laborelec <i>www.laborelec.com</i>	

Conselho Editorial

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof. Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr. Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof. Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr. Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof. Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof. Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr. ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr. Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	ERA Technology s	tephanie.horton@era.co.uk
Dr. Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof. Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Prof. Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr. Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr. Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr. ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof. Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl
Dr. Ahmed Zobaa	Cairo University	azmailinglist@link.net



Prof Zbigniew Hanzelka



AGH-UST
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
Poland

Tel: (012) 617 28 78
Fax: (012) 633 22 84
Email: hanzel@uci.agh.edu.pl
Web: www.agh.edu.pl



Dr eng Andrzej Biń



AGH-UST
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
Poland

Tel: (012) 617 28 73
Fax: (012) 633 22 84
Email: abien@uci.agh.edu.pl
Web: www.agh.edu.pl

PROCOBRE
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

COPPER

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
e-mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org