Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

Leonardo da Vinci

Education and Culture

Introdução

QE em Processos Contínuos 1.5

Introdução

PRO COBRE Connects Life.™

european COPPER institute

Introdução

QE em Processos Contínuos

M Stephens
Epri
Março de 2007

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 de1996, o ECI é apoiado por uma rede de onze Associações de Desenvolvimento do Cobre (‘CDAs‘) em Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, 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.

QE em Processos Contínuos

Introdução

Cargas tais como controladores de lógica programáveis, relés, fontes de energia, contatores e acionadores de motor são comuns em processos industriais contínuos automatizados. Um erro induzido por um afundamento de tensão no processo pode rapidamente resultar em desligamentos em cascata do processo inteiro. O tempo de parada resultante pode ser custoso e resultar em perda de produção. Este artigo examina os problemas típicos em processos contínuos causados por afundamentos de tensão e sugere medidas econômicas, efetivas e comprovadas para fortalecer estes processos.

Um afundamento de tensão para 70% da tensão nominal (ou seja, uma redução de 30%), durando menos de 100 milissegundos, pode causar falhas de sistemas automatizados, que respondem por uma perda anual calculada em € 10 bilhões na Europa. Embora os efeitos de problemas de qualidade de energia possam ser custosos para as indústrias com processos intensivos, soluções gerais (extensivas) para esses problemas podem ser bem caras também, tanto para os usuários finais de energia elétrica como para as concessionárias que os atendem. Para os fabricantes, soluções completas de qualidade de energia para toda a planta energia podem valer entre € 388 e € 1165 por quilowatt (kW), excluindo os custos de instalação. Para concessionárias, redesenhar os sistemas de distribuição ou fazer outros investimentos em infra-estrutura da rede de distribuição de energia também pode ser proibitivamente caro.

Felizmente, os sistemas automáticos podem ser concebidos de forma mais robusta em relação ao fenômeno de afundamento de tensão através do emprego de um hardware elétrico apropriado e de técnicas de projeto de softwares. Estas técnicas envolvem a identificação dos tipos de perturbações elétricas prováveis de acontecerem em uma instalação em particular, descobrindo os componentes e equipamentos específicos que podem ser suscetíveis a essas perturbações, e lidando então com estes itens sensíveis, tanto os substituindo por alternativas mais robustas quanto os protegendo.

Aspectos básicos sobre afundamento de tensão

Para começar a entender porque um equipamento automatizado é suscetível a estes eventos, é importante entender o que é um afundamento de tensão.

Fabricantes industriais assumem freqüentemente, de modo incorreto, que todos os eventos que afetam um equipamento elétrico são “surtos de energia” uma vez que a paralisação pode ter acontecido durante um evento de descarga atmosférica (raio).

Embora as condições de sobretensão (conhecida como surtos de tensão ou swells) possam acontecer, as reduções da tensão de curta duração (afundamentos de tensão, dips ou sags) são as causas mais freqüentes de reclamações de clientes industriais. Estes eventos acontecem tipicamente quando uma falta fase-terra acontece na rede da concessionária provocada pelas condições climáticas, árvores ou animais. Os afundamentos de tensão são descritos em termos de intensidade e duração como mostrado na Figura 1. A profundidade do evento vista pela instalação é determinada pela intensidade da corrente de falta, suportabilidade da rede e quão perto a instalação do cliente está do local da falta. A duração do evento está relacionada com o tempo de interrupção e restabelecimento do sistema da concessionária.

Quando um afundamento de tensão resulta em paralisação ou mau funcionamento do equipamento durante a operação normal do sistema, é dito que o equipamento é incompatível com seu ambiente elétrico, ou tem baixa compatibilidade com o sistema.

Tipicamente, a duração de um afundamento de tensão varia de 10 milissegundos até menos de 1 segundo, dependendo se a instalação é alimentada diretamente pelo sistema de transmissão, que é mais firme, ou por uma rede de distribuição, que não pode alimentar uma corrente de falta tão elevada.

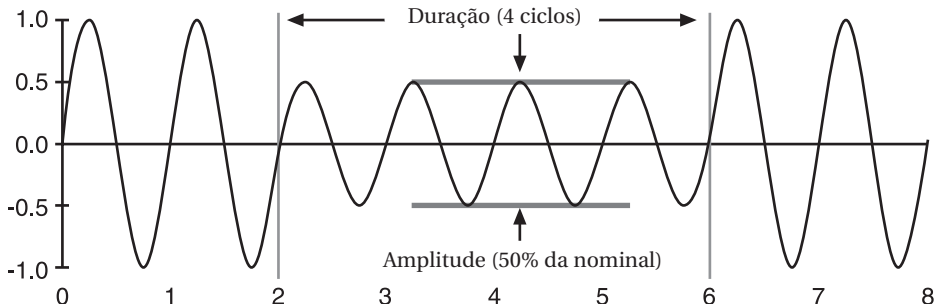

Figura 1 - Afundamentos de tensão são descritos por intensidade e duração.

Com que freqüência acontecem os afundamentos de tensão?

Muitos estudos foram realizados na Europa e nos EUA para quantificar a freqüência e as características dos afundamentos de tensão. Alguns destes estudos são descritos a seguir. Um exame dos resultados, especialmente as suas semelhanças, é útil para entender o ambiente típico.

Estudo do EPRI sobre qualidade de energia na distribuição

Em 1990, o EPRI iniciou o projeto DQE para monitorar qualidade de energia no sistema de distribuição. Vinte e quatro concessionárias foram monitoradas em quase 300 locais por um período de aproximadamente 2 anos [1]. O dados foram caracterizados e analisados para formar uma base de dados sobre qualidade de energia nos circuitos de distribuição dos EUA.

Tensão de retenção	10-100 ms	100-500ms	500ms-1s	1s-3s	3s-20-s	20s-60s
70-90%	42%	22%	3%	1%	0%	0%
40-70%	10%	7%	1%	0%	0%	0%
10-40%	2%	1%	0%	0%	0%	0%
0% (interrupção)	1%	2%	1%	3%	2%	0%

Tabela 1 - Tabela de afundamento de tensão para os dados de DQE do EPRI: Todos os 277 locais, baseados em eventos por local por ano (59,32 eventos totais de afundamento por local por ano entre 10 ms - 60 s).

Pesquisa norueguesa do EFI

O Norwegian Electric Power Research Institute, EFI, recentemente renomeado como SINTEF Energy Research, mediu afundamentos e outras perturbações de tensão em mais de 400 locais na Noruega. A maioria (379) dos locais era alimentada em baixa tensão (230V e 400V), 39 deles eram atendidos em tensões de distribuição e o restante em vários níveis de tensão [2]. Os dados de baixa tensão são apresentados aqui, uma vez que são muito relevantes para as condições no interior de uma planta.

Tensão de retenção	10-100 ms	100-500ms	500ms-1s	1s-3s	3s-20-s	20s-60s
70-90%	27%	27%	3%	1%	0%	0%
40-70%	3%	15%	1%	0%	0%	0%
10-40%	0%	6%	1%	0%	0%	0%
0% (interrupção)	0%	3%	7%	1%	1%	2%

Tabela 2 - Tabela de afundamento de tensão para os dados do EFI: Todas as redes de baixa tensão, baseados em eventos por local por ano (74,7 eventos totais de afundamento por local por ano entre 10 ms - 60 s).

Pesquisa UNIPEDE - DISDIP

O Comitê de Estudo de Distribuição da UNIPEDE designou um grupo de peritos, DISDIP, para melhorar o conhecimento das taxas de ocorrência e severidade dos afundamentos de tensão e pequenas interrupções em redes públicas de alimentação de eletricidade. Este grupo organizou uma série coordenada de medições em 9 países (Áustria, França, Alemanha, Itália, Holanda, Noruega, Suécia, Suíça e Reino Unido) que resultaram em informações estatísticas em mais de 80 sistemas que abrangem uma grande faixa de condições ambientais e geográficas [3].

Tensão de retenção	10-100 ms	100-500ms	500ms-1s	1s-3s	3s-20-s	20s-60s
70-90%	27%	27%	3%	1%	0%	0%
40-70%	3%	15%	1%	0%	0%	0%
10-40%	0%	6%	1%	0%	0%	0%
0% (interrupção)	0%	3%	7%	1%	1%	2%

Tabela 3 - Dados do UNIPEDE- DISDIP: Todos os locais, baseados em eventos por local por ano (84,6 eventos totais de afundamento por local por ano entre 10 ms - 60 s).

As medidas foram realizadas em 85 locais em redes de média tensão. Destes, 33 locais eram de sistemas com cabos isolados e 52 locais eram sistemas mistos de redes aéreas.

Os dados de afundamento de tensão para os estudos do DQE, EFI e DISDIP estão resumidos nas Tabelas 1 a 3 para todos os eventos entre 10 ms e 60 segundos de duração. O dados são apresentados como porcentagem de eventos que acontecem em cada categoria, permitindo assim uma comparação entre os resultados dos três estudos.

A partir dos dados das Tabelas 1 a 3 (resumidos na Tabela 4), pode ser visto que a maioria dos eventos tem uma duração de menos de 1 segundo. Como será discutido adiante, os condicionadores de energia sem bateria podem atender esta duração sem as questões que envolvem a manutenção e descarte de baterias usadas nos sistemas comuns de UPS. A experiência mostra que a maioria dos sistemas de controle desprotegidos pode normalmente sobreviver se a tensão de retenção está acima de 70% da nominal (duração de 1 segundo). A Tabela 4 mostra que uma proporção significativa de afundamentos de tensão <70%, <1 segundo apresentou uma tensão de retenção de 40% ou mais. Portanto, se puderem ser desenvolvidas estratégias que tornem os equipamentos aptos a sobreviverem aos eventos com 40% de intensidade e menos de 1 segundo de duração muitas interrupções serão evitadas e apenas cerca de 8 a 17% dos eventos poderiam causar paralisações.

Um local típico verá de 59 a 84,6 eventos que estão entre 10 ms e 60 segundos de duração.

Usando-se apenas esta abordagem, seria possível reduzir entre 30% e 50% o número de eventos prováveis de causar interrupções.

Estudo	<1s	<70% & <1s	<40% & <1s
DPQ	93%	66%	8%
EFI	84%	25%	12%
DISDIP	94%	36%	17%

Tabela 4 - Comparação dos dados do DQE, EFI e UNIPEDE (para eventos com durações de 10 ms - 60 s).

Normas para afundamentos de tensão

Há várias normas importantes que podem ser usadas para representar a resiliência de equipamentos e componentes para afundamentos de tensão. Basicamente, estas normas são apresentadas na forma de um gráfico da tensão de retenção em função do tempo, mostrando o limite entre operação normal - a área acima da linha - e operação anormal - sob a linha. A curva original foi desenvolvida no início dos anos oitenta pela CBEMA, atualmente chamada de Information Technology Industry Council (ITIC), e representava o desempenho real de uma alimentação de energia. Mais recentemente, esta curva foi simplificada e modificada. Embora amplamente reconhecidas, estas curvas não eram normas efetivamente. Elas eram meras representações úteis do que pode ser razoavelmente esperado de um equipamento e, por extensão, o que pode ser requerido de uma alimentação - embora os criadores originais das curvas excluíram expressamente sua utilização como uma especificação tanto para equipamentos quanto para projetos de alimentação. Não obstante, a maioria dos monitores de qualidade de energia pode sobrepor os dados registrados sobre as curvas normalizadas.

Deveria ser notado que todas estas normas também descrevem os limites de tensão/tempo para sobre-tensões e transitórios da alimentação. Porém, no contexto de afundamentos de tensão, só o limite inferior de tensão é relevante.

Na prática, a curva é irreal como uma norma de projeto - um equipamento que atende os limites do ITIC não vai lidar adequadamente com todos os afundamentos de tensão do sistema de alimentação. A norma SEMI F47, originalmente publicada em fevereiro de 2000, é mais restritiva que a curva do ITIC. Foi desenvolvida como um benchmark para testar equipamentos usados pela indústria de semicondutores. Esta indústria é muito sensível a interrupções e a meta da norma era conduzir a projetos de equipamentos mais robustos que são menos suscetíveis a afundamentos de tensão. A implementação da SEMI F47 resultou em uma ampla disponibilidade de equipamentos de produção mais robustos de semicondutores. A SEMI F47 também foi aplicada em outras indústrias sensíveis tais como a automobilística e a alimentícia.

A norma SEMI F47-0706 foi revisada em julho de 2006 para incorporar o conhecimento adquirido durante seis anos de ensaios de conformidade e alinhá-la com as normas IEC 61000-4-11 e IEC 61000-4-34.

Os requisitos da SEMI F47-0706 são mostrados na Tabela 5.

Afundamento de tensão1	Duração em 50 Hz(ciclos)	Duração em 60 Hz (ciclos)
50%	10	12
70%	25	30
80%	50	60

Tabela 5 – Pontos de ensaio da SEMI F47-0706 (somente afundamentos de tensão monofásicos e bifásicos)

Conversores de freqüência estáticos indiretos

Os conversores de freqüência indiretos contêm um circuito em corrente contínua (CC) num conversor de entrada no lado da rede de alimentação e um conversor de saída (normalmente operando como um inversor) no lado da carga. Tanto em relação à corrente ou à tensão, o circuito em CC contém um filtro que desacopla os sistemas de corrente ou a tensão da alimentação e da carga. Por esta razão, as duas freqüências fundamentais (da alimentação e da carga) são mutuamente desacopladas. Mas um filtro ideal não existe, e sempre existe um certo grau de acoplamento. Em conseqüência, componentes de correntes associadas à carga estão presentes no lado CC, e componentes deste lado estão presentes no lado de alimentação. Estes componentes são subharmônicas e inter-harmônica em relação à freqüência do sistema de potência.

Classe[a]	Níveis e durações dos ensaios para afundamentos (ts) (50 Hz/ 60 Hz)				
Classe 1	Caso a caso dependendo dos requisitos dos equipamentos				
Classe 2	0% durante 1/2ciclo	0% durante 1 ciclo	70% durante 25/30[c] ciclos		
Classe 3	0% durante 1/2 ciclo	0% durante 1 ciclo	40% durante 10/12[c] ciclos	70% durante 25/30[c] ciclos	80% durante 250/300[c] ciclos
Classe X[b]	X	X	X	X	X

Tabela 6 - Níveis de ensaio e durações preferidos para afundamentos de tensão (IEC 61000-4-11, IEC 61000-4-34).

Notas:
a) Classes pela IEC 61000-2-4, Anexo B;
b) A ser definido pelo comitê de produto. Para equipamento conectado diretamente ou indiretamente à rede pública, os níveis não devem ser menos severos do que Classe 2;
c) Ciclos “25/30” significam “25 ciclos para ensaios em 50 Hz” e “30 ciclos para ensaios em 60 Hz”.

Nas IECs, o pior caso de afundamento de tensão no ponto de ensaio do 10o ciclo (em 50 Hz) é 40% da nominal versus 50% da nominal na SEMI F47 e os pontos de ensaio de interrupções curtas e longas (com durações de 1/2, 1 e 250 ciclos) são exigidos ao invés de recomendados. Quando as normas IEC são adotadas pela CENELEC como normas EN, elas se tornam obrigatórias para equipamentos que têm a marcação CE e são colocados à venda na União Européia. A IEC 61000-4-11 já foi adotada como CENELEC EN 61000-4-11 e então seu cumprimento é obrigatório na Europa. O CIGRE e o CIRED formaram um grupo de trabalho conjunto para considerar a aplicabilidade das normais atuais da IEC sobre afundamento de tensão e os métodos de ensaios propostos. (ver www.jwgc4-110.org). Este grupo de trabalho fará recomendações à IEC relativas a atualizações das normas. Neste momento não está claro se a IEC 61000-4-34 será adotada pela CENELEC.

Efeitos de afundamentos de tensão em equipamentos de processos contínuos

A menos que assim exigido pelos seus clientes, a maioria dos projetistas e fabricantes de equipamentos não leva suficientemente em conta o ambiente elétrico no qual os seus produtos serão usados. A maioria dos equipamentos é simplesmente projetada para operar sob condições estacionárias de energia, com as tolerâncias normais para tensões a longo prazo.

Perturbações elétricas comuns podem afetar negativamente os equipamentos de processos. Afundamentos podem causar todos os tipos de maus funcionamentos dos equipamentos; não apenas os equipamentos sensíveis, tais como PLCs, mas também os equipamentos eletromecânicos não sofisticados, tais como os relés de controle simples, que afetam a operação de acionadores ou circuitos de segurança.

1 A intensidade do afundamento de tensão é expresso como uma porcentagem da tensão de retenção nominal. Por exemplo, durante um afundamento de 70% em um sistema de tensão nominal 200 volts, a tensão é reduzida durante o evento para 140 volts (não 60 volts).

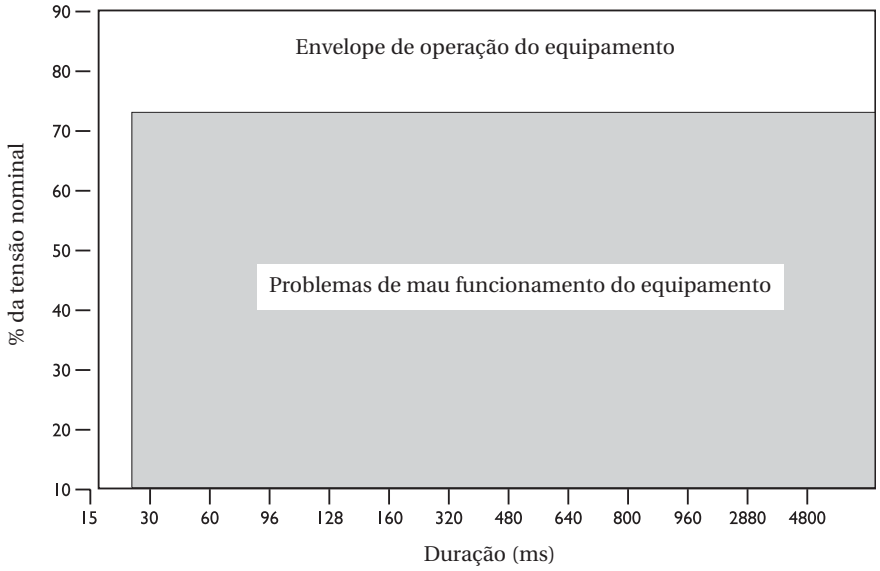

Figura 2 - Curva de tolerância ao afundamento de um PLC sensível.

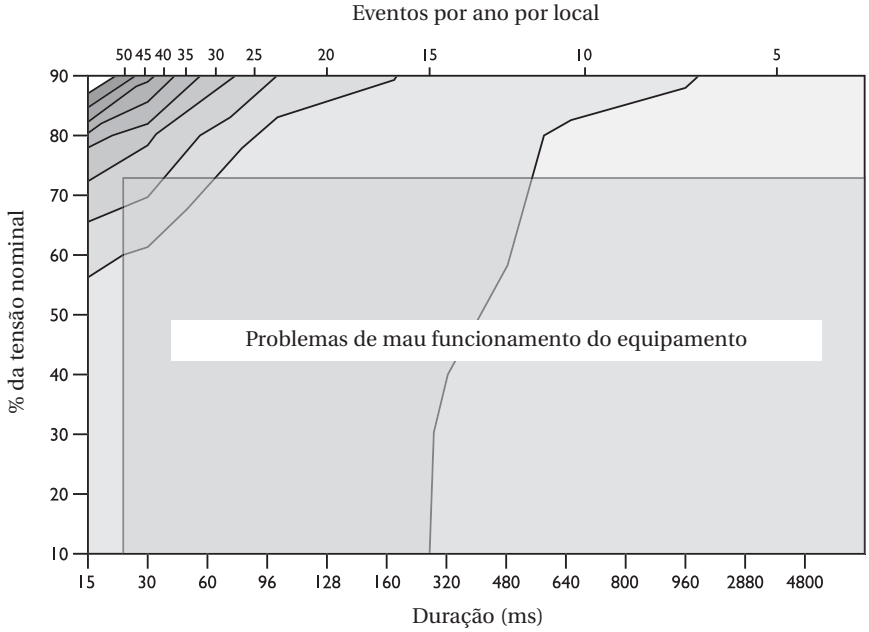

Figura 3 - Curva de tolerância ao afundamento aplicada sobre o gráfico de contorno da tensão de afundamento.

A tolerância de um equipamento de processo é freqüentemente ilustrada por um gráfico chamado de curva de tolerância ao afundamento, como mostrado na Figura 2 para um PLC. A área sob a curva representa a área na qual o afundamento de tensão provoca o mau funcionamento do PLC.

Um gráfico de coordenação pode ser produzido examinando-se os dados de qualidade de energia de um determinado local. Cada afundamento é marcado no gráfico de acordo com a tensão de retenção e duração. Como descrito na IEEE 1346, Anexo D, linhas de contorno que representam o número de eventos que são prováveis acontecer [4]. Se a curva de tolerância de afundamento é sobreposta no gráfico de coordenação (Figura 3), podemos tirar conclusões sobre o número de vezes por ano que o PLC não vai funcionar bem. Por exemplo, a curva de tolerância sobrepõe uma área do gráfico de coordenação que indica aproximadamente 25 eventos por ano, cada um dos quais é provável de causar um mau funcionamento.

Durante um afundamento de tensão, a energia disponível para a carga é reduzida e, a menos que sejam tomadas medidas corretivas, maus funcionamentos podem acontecer. Há várias estratégias para mitigar os efeitos de afundamentos de tensão, incluindo:

- Grandes condicionadores de energia, tais como compensadores estáticos em série e fontes reservas de energia armazenada que podem proteger uma instalação inteira. O custo destas soluções é muito alto e o gasto de capital pode ser difícil de justificar para muitos fabricantes.
- Condicionadores de energia adequadamente dimensionados e estrategicamente localizados podem ser usados para proteger um único processo ou partes de um equipamento.
- Equipamentos de processos existentes podem ser protegidos no nível de controle pelo uso de pequenos condicionadores de energia.
- Equipamentos podem se tornar imunes aos afundamentos de intensidades e durações limitadas através de um bom projeto, uso componentes robustos e/ou por técnicas de programação modificadas.

Cada uma destas estratégias para estender o envelope operacional do equipamento - das soluções em macro-escala implementadas aos níveis da transmissão ou distribuição às soluções embutidas implementadas ao nível do equipamento - têm suas vantagens e desvantagens. Por exemplo, as soluções para as concessionárias podem ser muito caras, mas requerem conhecimento limitado sobre a resposta detalhada do equipamento na planta.

As soluções aplicadas ao nível do equipamento individual requerem conhecimento profundo de cada parte do equipamento e como elas interagem com as outras para determinar a resposta global do processo. As soluções embutidas aumentam o custo inicial do equipamento, mas geralmente é aceito que soluções embutidas são muito econômicas para melhorar a imunidade dos equipamentos contra os afundamentos de tensão. A Figura 4 mostra o espectro de soluções mapeadas em relação ao custo relativo e à profundidade de conhecimento requerida.

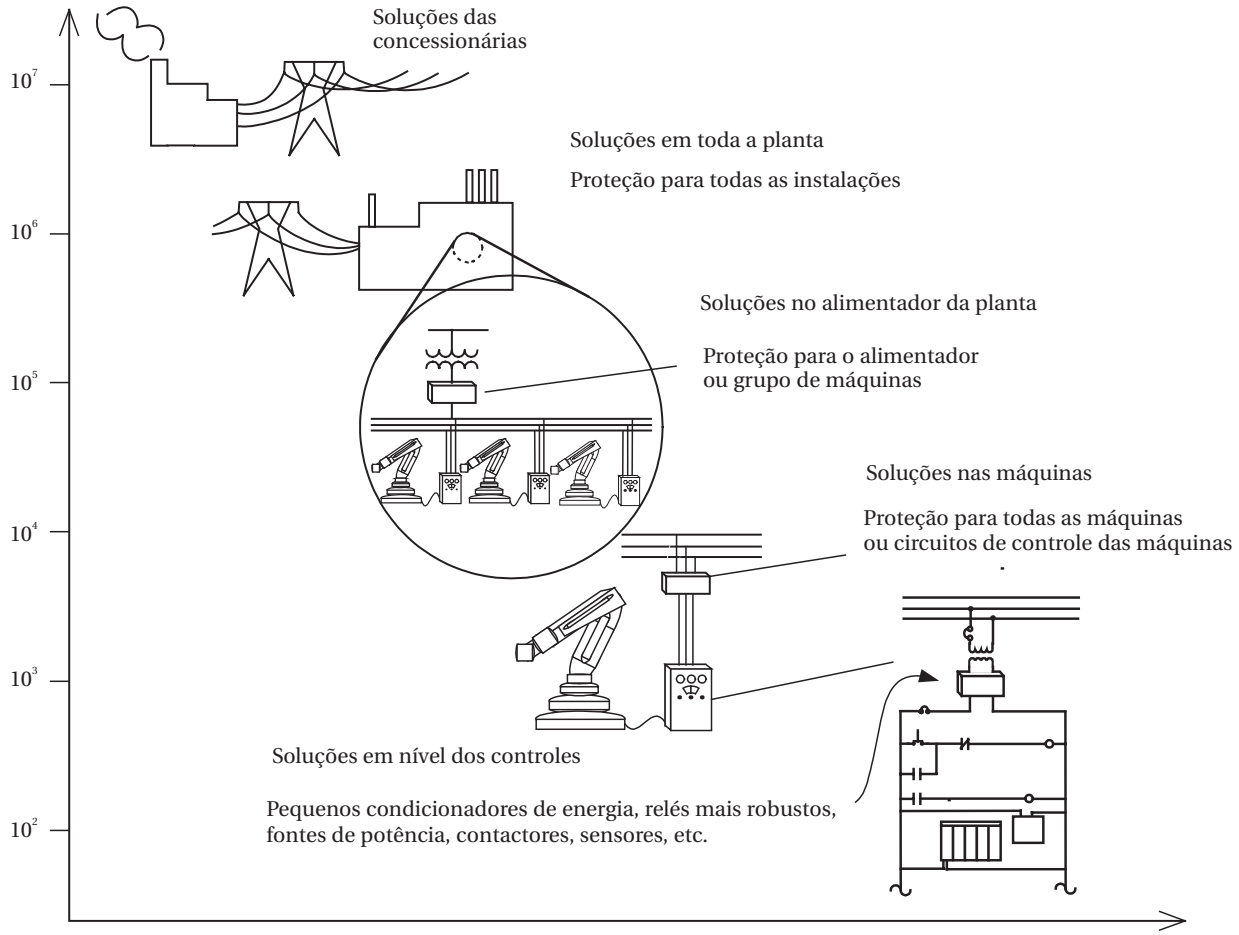

Figura 4 - Custos relativos de soluções versus o conhecimento do equipamento.

Em plantas industriais existentes, há duas abordagens comuns para melhorar o desempenho em relação ao afundamento de tensão. Ambas têm suas vantagens e desvantagens quando se consideram as atividades e custos de instalação, projeto e gerenciamento. As duas abordagens são identificadas aqui como “nível do painel” e “nível do controle”.

Abordagem “nível do painel”

Na abordagem ao nível do painel, é instalado um condicionador de energia entre o equipamento e a fonte de energia. A passagem do afundamento de tensão por processos inteiros ou por grupos de equipamentos pode ser protegida usando-se este método de proteção. A Figura 5 mostra exemplos da abordagem ao nível do painel para uma linha ou para um grupo de linhas de produção.

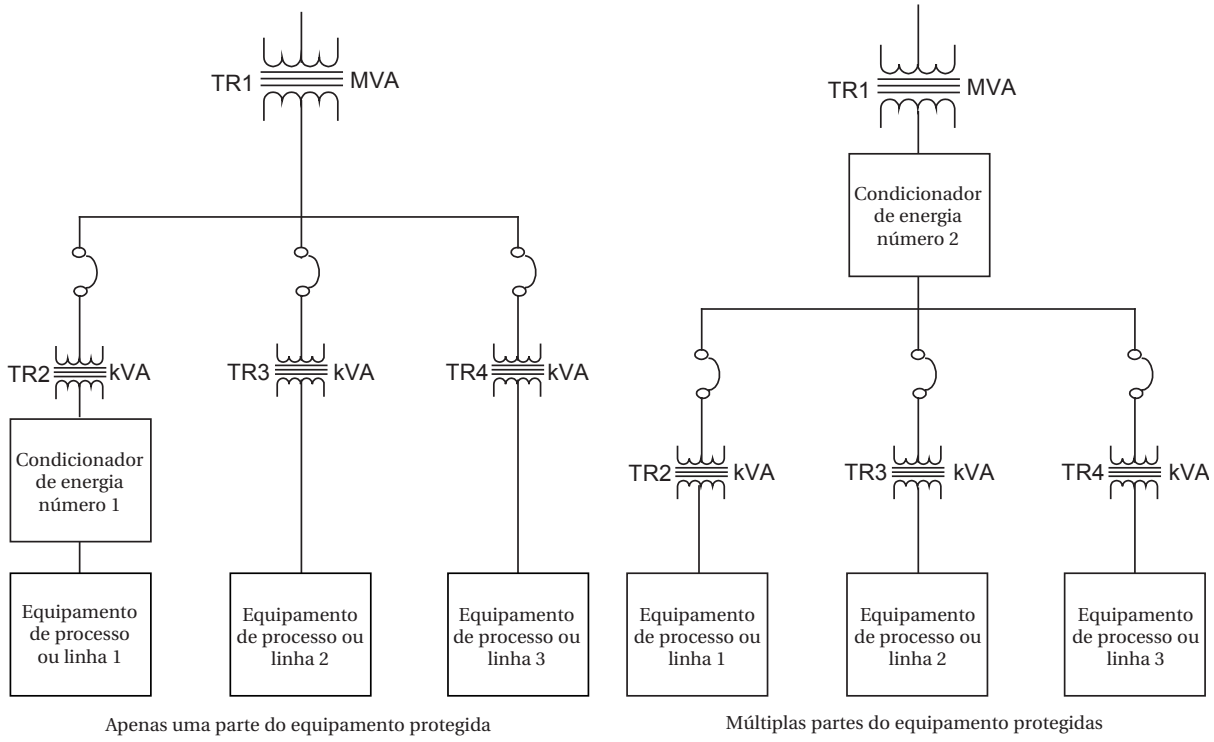

Figura 5 - Exemplo de abordagem ao nível do painel.

Abordagem “nível do controle”

A abordagem “nível do controle” envolve a identificação daqueles componentes ou circuitos dentro do equipamento do processo de produção que são mais prováveis de serem sensíveis aos afundamentos de tensão e a proteção apenas dessas áreas. A idéia é que os processos falham por causa da falha de um único elemento sensível no sistema de controle. Pesquisas têm mostrado que uma correta proteção pode permitir que o equipamento de produção supere a maioria dos afundamentos de tensão [5].

O custo da solução “nível do controle” é tipicamente cerca de 1/10 a 1/20 do custo da solução “nível do painel”. Porém, o custo de instalação também deve ser considerado uma vez que esta abordagem pode requerer a proteção de vários circuitos distribuídos pela área de produção.

Condicionadores de energia

Os condicionadores de energia são projetados para fornecer energia para a carga continuamente na tensão nominal durante um afundamento de tensão na alimentação de energia. A energia fornecida pode ser obtida pela retirada de uma corrente crescente da tensão residual ou de armazenadores de energia, tais como uma bateria, um indutor ou um capacitor. Onde energia armazenada é usada, o condicionador será freqüentemente efetivo contra interrupções curtas, dentro dos parâmetros de projeto, como também

contra afundamentos. Uma vez que este tipo de condicionador é usado em larga escala distribuído pela linha de produção, os dispositivos que usam armazenamento por bateria, como pequenos UPS, podem causar problemas de manutenção e, freqüentemente, é mais efetivo usar dispositivos de armazenamento passivos, às vezes chamados de Battery-less Ride-Through Devices (BRTD).

Para a maioria dos processos, as áreas críticas são os circuitos de emergência, instrumentação, fontes de alimentação CC e a energia para o controlador (computador) e seus circuitos de entrada/saída. Freqüentemente alimentadas por tensão monofásica, há várias opções para escolher as topologias de condicionadores, conforme a seguir.

Condicionadores em stand-by baseados em capacitores

Um condicionador em stand-by baseado em capacitores é um dispositivo que só opera quando o afundamento de tensão é detectado. É dimensionado somente para a carga nominal. Um banco de capacitores é mantido carregado por um circuito alimentado pela fonte normal. No caso de um afundamento, a linha de entrada de energia do dispositivo é aberta e a carga é alimentada pelo banco de capacitores por meio de um conversor por um período especificado. O tempo pelo qual a carga será alimentada pode ser calculado com base na potência real da carga e na capacidade de armazenamento de energia do dispositivo; tipicamente, estas unidades podem fornecer energia condicionada para uma carga por até 1 segundo. Um condicionador monofásico típico de 1kVA terá um custo variando entre € 1200 e € 1500.

Condicionadores com tecnologia baseada em injeção

Este tipo de condicionador não tem nenhum armazenamento. Ele opera retirando uma corrente mais alta da fonte de tensão reduzida e gerando uma tensão elevada em série com a alimentação da carga. É capaz de corrigir afundamentos de até 50% de tensão de retenção durante 3 a 12 ciclos. Uma vez que eles drenarão ~200% de corrente para manter um afundamento de tensão de 50%, é preciso ter cuidado na especificação dos valores nominais e proteção apropriados. Produtos estão disponíveis em versões monofásicas e trifásicas com níveis de potência de 250VA a muitos MVA. Unidades monofásicas são freqüentemente usadas nas soluções de “nível do controle”. Uma unidade monofásica de 1kVA custa aproximadamente € 1250.

Dispositivos bobinados

Dispositivos bobinados são projetados especificamente para mitigar os efeitos de afundamentos de tensão em relés individuais e contatores. São conectados em linha com o sinal de controle de entrada para os relés ou contatores e são particularmente úteis em circuitos de emergência, relés de controle principais ou circuitos de controle de motores. Dispositivos bobinados típicos custam entre € 80 e € 200 e permitem que um relé ou um contator permaneça funcionando quando a tensão caia a cerca de 25% da nominal.

Transformador de tensão constante (CVT)

O CVT, também chamado de transformador ferro-ressonante, é um dispositivo passivo que mantém separados dois caminhos magnéticos com limitado acoplamento entre eles. A saída contém um circuito de tanque ressonante paralelo e drena energia do primário para substituir a energia fornecida para a carga (os CVTs são descritos mais detalhadamente no Fascículo 5.3.2.). Os CVTs têm excelente regulação de tensão, especialmente quando operados em baixas cargas - com 40% de carga, a saída é mantida dentro de 5% para uma tensão de entrada reduzida em até 40% da nominal. As desvantagens dos CVTs incluem uma habilidade limitada para fornecer altas correntes de partida (por exemplo, fontes de alimentação chaveadas), sensibilidade da tensão de saída em relação à freqüência de alimentação, um campo magnético externo alto e baixa eficiência energética.

Para uma carga de 1kVA, o CVT de 2kVA requerido para lidar adequadamente com o afundamento de tensão custaria aproximadamente € 950.

UPS baseado em bateria

Pequenos sistemas de alimentação de energia ininterrupta (UPS) - condicionadores de energia com baterias - precisam de considerações cuidadosas quando utilizados para tornar mais resistentes os circuitos de controle. A forma de onda de saída de algumas unidades mais velhas e baratas está longe de uma onda senoidal (em outras palavras, a distorção de tensão harmônica é muito alta) e tais unidades

deveriam ser evitadas. As unidades de UPS que são projetadas tipicamente para proteção de PC podem não chavear rapidamente o bastante para evitar que os contatores atuem, por exemplo - a maioria dos PCs sobreviverá pelo menos meio ciclo, mas um contator não. Dispositivos on-line ou dispositivos off-line com tempos de transferência curtos deveriam ser preferidos. A vantagem de um UPS é que ele tem um armazenamento de energia relativamente grande, na forma de uma bateria, para atravessar afundamentos longos e profundos. Porém, a presença da bateria também é a maior desvantagem, na medida em que ela exige um programa de manutenção cuidadosamente administrado para assegurar que ela permaneça em boa condição e seja substituída antes do fim da sua vida útil de 3 a 5 anos. Quando pequenos UPS são distribuídos pela linha de produção, a manutenção pode se tornar um assunto sério. Se o ambiente de QE garante o uso de um UPS, pode ser melhor usar um grande sistema de UPS centralizado para fornecer a "energia crítica" para os circuitos sensíveis, simplificando, mas não eliminando, a exigência de manutenção.

Entendendo e protegendo componentes individuais sensíveis ao afundamento

Dois passos requeridos para se obter uma solução no "nível do controle" são:

- Identificar os componentes sensíveis aos afundamentos de tensão;
- Aplicar as técnicas para proteger esses componentes contra afundamentos de tensão.

Os componentes mais comuns sensíveis aos afundamentos de tensão encontrados em circuitos de controle são relés CA e contatores, fontes de alimentação CC, controladores e controladores lógicos programáveis.

Relés CA e contatores

Estes dispositivos eletromecânicos são extensivamente usados em sistemas de controle de processo. Relés são tipicamente usados como elementos de lógica para chavear circuitos de controle, grandes bobinas de partida e cargas elétricas de iluminação. Contatores são chaves operadas eletromagneticamente que fornecem meios seguros e convenientes para conectar e interromper circuitos de potência. Dispositivos de partida de motores têm a mesma função básica dos contatores, mas também oferecem proteção contra sobrecorrente para o motor. A Figura 6 mostra um exemplo de curva de tolerância para estes tipos de dispositivos.

Durante um afundamento de tensão um relé pode voltar para o estado desenergizado. Por exemplo, se o relé é parte de um circuito de controle de motor e os contatos são usados para manter os contatos do acionador ligados, como mostrado na Figura 6, um afundamento de tensão com intensidade e duração sob a curva de sensibilidade do relé causaria a parada do motor.

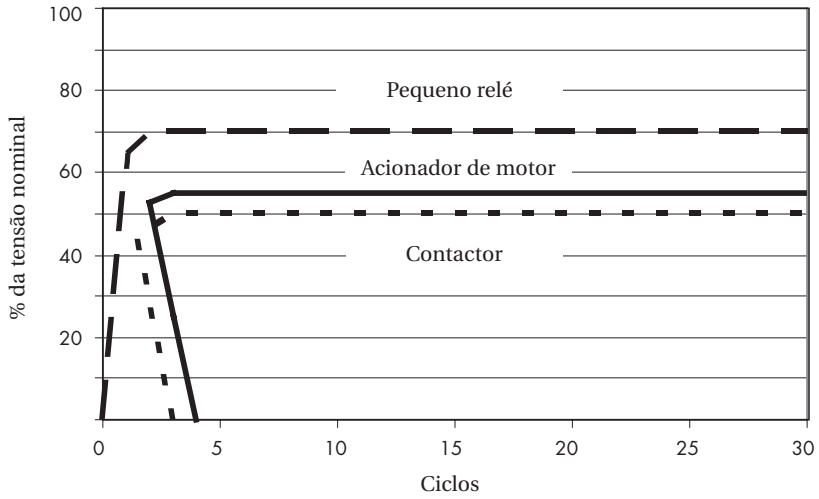

Figura 6 – Exemplos de curvas de tolerâncias para relés, contatores dispositivos de partida de motor.

Relés podem ser protegidos contra afundamentos de tensão através do condicionamento de energia da bobina do relé por meio de um dispositivo bobinado, como mostrado na Figura 7. Neste caso, o elemento mais sensível (CR1) é fortalecido pela adição do dispositivo bobinado. O dispositivo de partida do motor maior e menos sensível (SC1) também poderia ser protegido com outro dispositivo bobinado, se necessário. Outra abordagem é adicionar um condicionador de energia sem bateria para o circuito completo que contém o relé CA e o dispositivo de partida de motor, como mostrado na Figura 8.

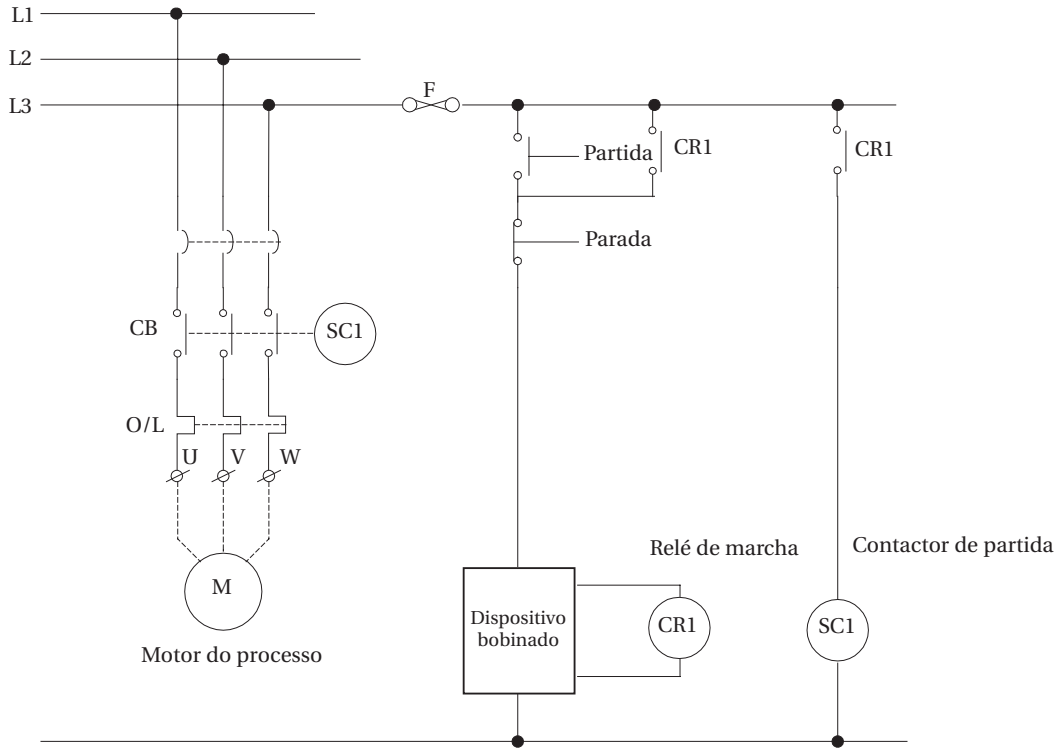

Figura 7 - Relé ou circuito de contator com solução de dispositivo bobinado.

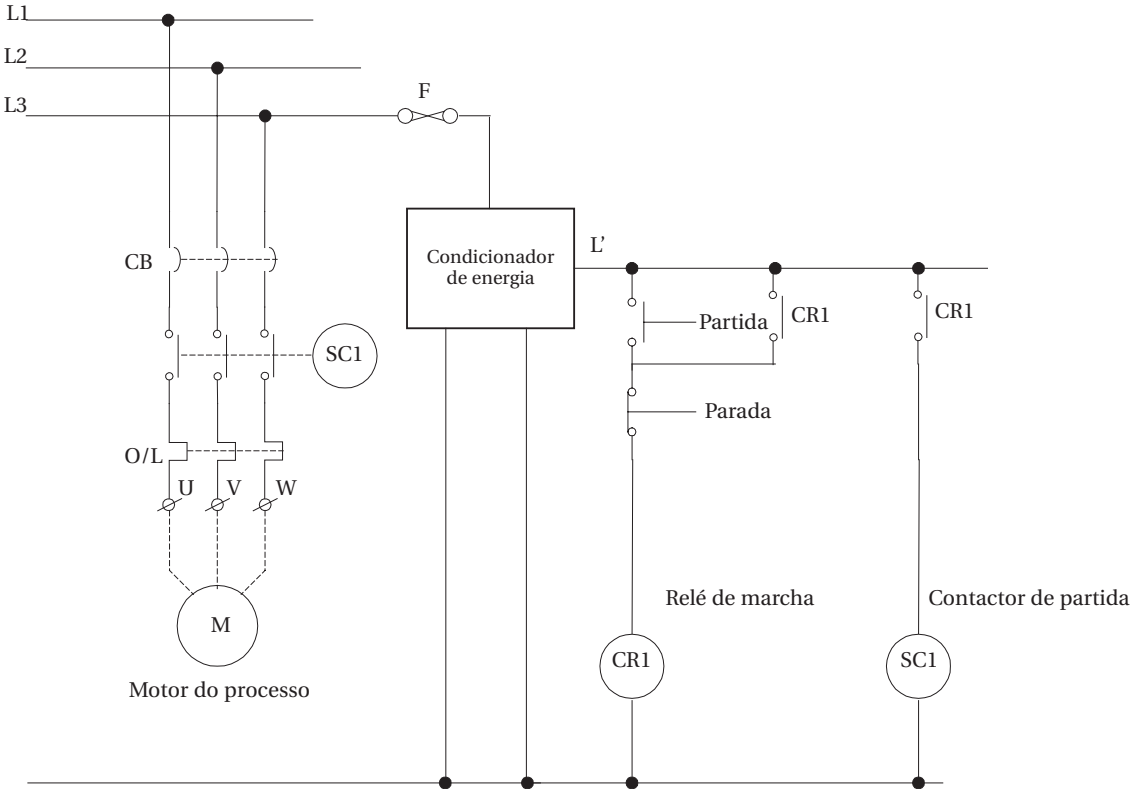

Figura 8 - Relé ou circuito de contator com solução de condicionador de energia.

Fontes de energia CC

A resposta de uma alimentação de energia CC para afundamentos de tensão pode variar grandemente da topologia da alimentação e da carga. A Figura 9 mostra um exemplo de resposta de cinco topologias diferentes de alimentação de energia instaladas em um sistema 400Vac para afundamentos de tensão monofásicos (entre L3 e Neutro para este exemplo). Em cada caso, é mostrada uma curva de sensibilidade ilustrativa. É assumido que as alimentações estão carregadas em 100% da saída nominal.

Topologia 1 - alimentação CC não regulada

Para uma alimentação CC não regulada, consistindo de um transformador e uma ponte de diodos sem um capacitor, a tensão de saída cairá até mesmo para afundamentos de tensão rasos e de curta duração. Este tipo de alimentação não protege contra afundamentos de tensão.

Topologia 2 - alimentação CC regulada

Em uma alimentação CC regulada, um capacitor armazena energia do circuito retificador e alimenta um regulador de tensão. O transformador e o capacitor são dimensionados de forma que a tensão de entrada do regulador é mantida em um nível alto o bastante de forma que o regulador pode manter a tensão de saída correta durante as passagens pelo zero e pelos afundamentos. Quanto mais alta a tensão armazenada, melhor a capacidade de atravessar um afundamento, mas às custas de uma baixa eficiência.

Topologia 3 – fonte de energia chaveada

Pode-se esperar que uma fonte de energia chaveada CC (SMPS) tenha melhor desempenho durante afundamentos de tensão que uma fonte de energia linear equivalentemente dimensionada. Quando a tensão de entrada cai durante um afundamento de tensão ou falta de tensão momentânea, a largura de pulso será aumentada para compensar a queda de tensão até que a tensão de alimentação do controle de modulação de largura de pulso (IC) seja menor do que sua tensão de disparo designada [6]. Esta compensação ativa permite a alimentação de energia manter uma melhor regulação do que a unidade linear equivalente.

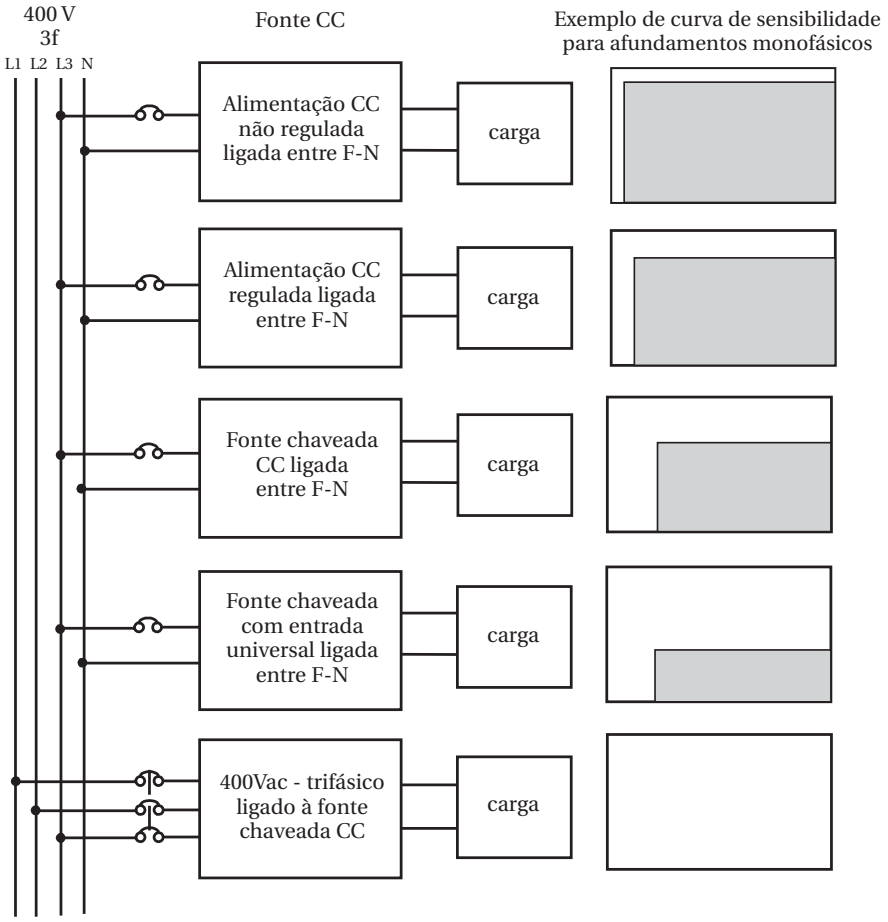

Figura 9 – seleção da alimentação de energia CC - com respeito à resposta de afundamento de tensão.

Topologia 4 - alimentação de energia com entrada universal

A alimentação de energia CC com entrada universal é uma unidade chaveada com uma faixa larga de tensão de entrada aceitável, tipicamente de 85 a 264 Vac. Em um sistema 230 Vac, a tensão de saída será mantida durante afundamentos de 36% de tensão de retenção.

Topologia 5 - alimentação de energia com entrada trifásica

Afundamentos de tensão acontecem freqüentemente em uma ou duas fases de uma alimentação trifásica e afundamentos trifásicos são relativamente raros. Usar uma entrada trifásica em uma alimentação de energia significa que o número de afundamentos que afetam a saída CC - somente afundamentos trifásicos - será muito menor e o sistema muito mais robusto. Testes em muitas unidades deste tipo indicam que elas são imunes a afundamentos de tensão monofásicos e interrupções que duram até 1 segundo e algumas podem manter a saída CC para afundamentos bifásicos de 10% da tensão nominal. Para afundamentos de tensão trifásicos severos, este tipo de alimentação de energia tem se mostrado adequado para eventos de 50% da tensão nominal.

Controladores lógicos programáveis

Controladores lógicos programáveis (PLCs) são extensivamente usados em processos de automação industriais. O PLC consiste de um controlador central e um módulo de potência e um conjunto de circuitos de entrada e saída (I/O) que fazem a interface entre níveis de tensão internos e externos. Cada seção é vulnerável aos afundamentos de tensão em um grau que depende de como a energia é fornecida. Por exemplo, os módulos de alimentação de energia e o I/O poderiam cada um ser alimentado pela fonte CA ou CC, resultando em quatro possíveis configurações. A Figura 10 mostra a solução ótima para cada configuração.

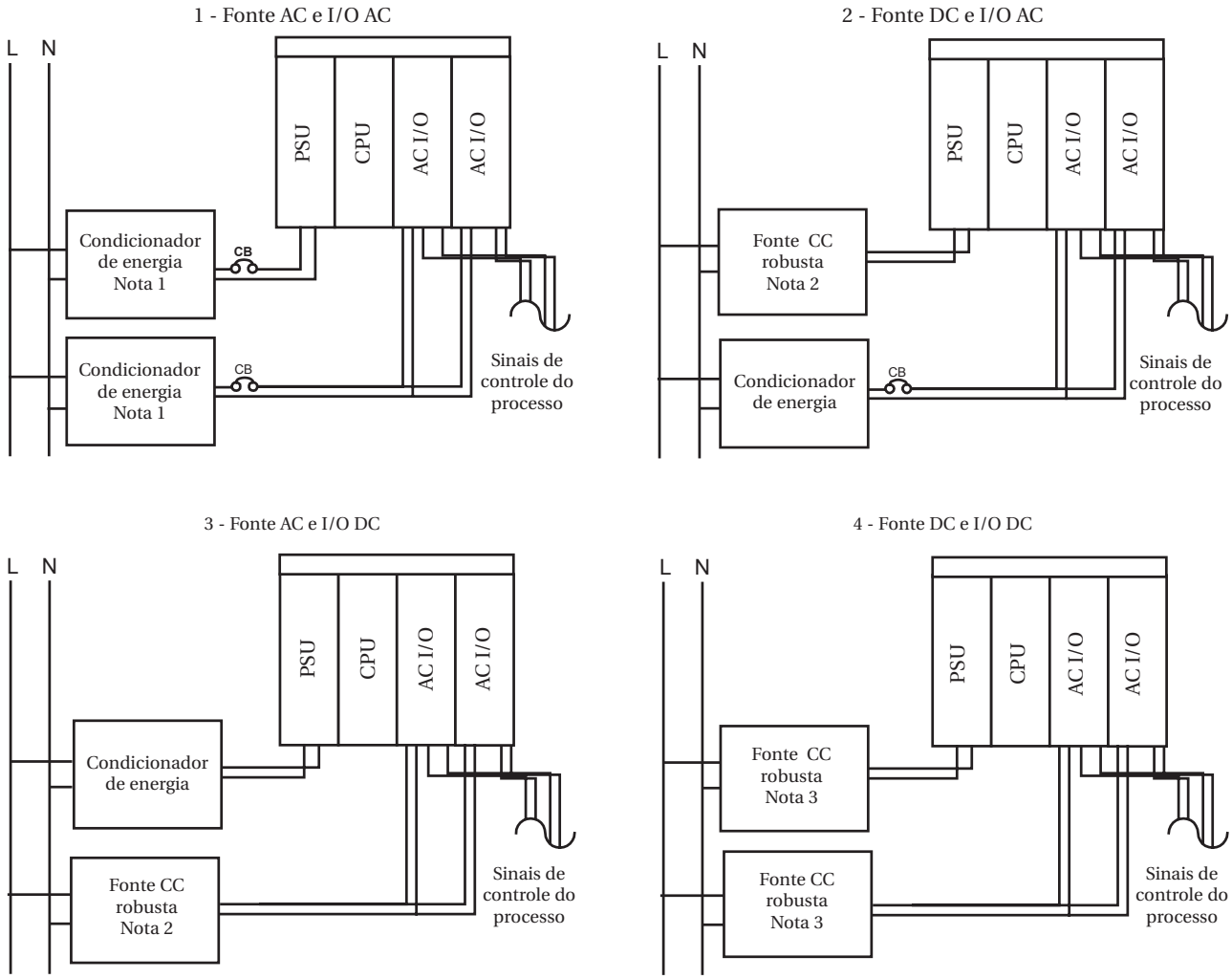

Figura 10 -Ssoluções para afundamentos de tensão em PLCs [8].

Notas:
1. Considerar a alimentação do controlador e dos circuitos I/O por um condicionador de energia se a alimentação de energia da fonte e do I/O estiverem próximas uma da outra.
2. Para selecionar uma alimentação CC robusta, ver Figura 9.
3. Considerar a alimentação do controlador e dos circuitos I/O por uma fonte CC com uma segunda fonte como reserva redundante. Ver Figura 9 para selecionar os tipos de alimentação de energia primários e secundários.

Localizando e protegendo a fonte de energia comum

O equipamento de processo pode ser protegido facilmente se os componentes sensíveis são todos alimentados por um circuito comum. Por exemplo, o circuito indicado na Figura 11 mostra um sistema de controle com um circuito EMO, um PLC com dispositivos I/O tanto CA quanto CC e uma fonte CC separada para a instrumentação analógica. Localizar o condicionador de energia no controle principal protege todas as cargas de controle associadas com o gabinete. Muitos projetistas cometem o erro de colocar o PLC e a fonte CC uma fonte de energia condicionada, mas não incluem os dispositivos I/O em CA ou os respectivos relés. Ao proteger todas as cargas de controle, a resposta do sistema ao afundamento de tensão pode ser bastante melhorada.

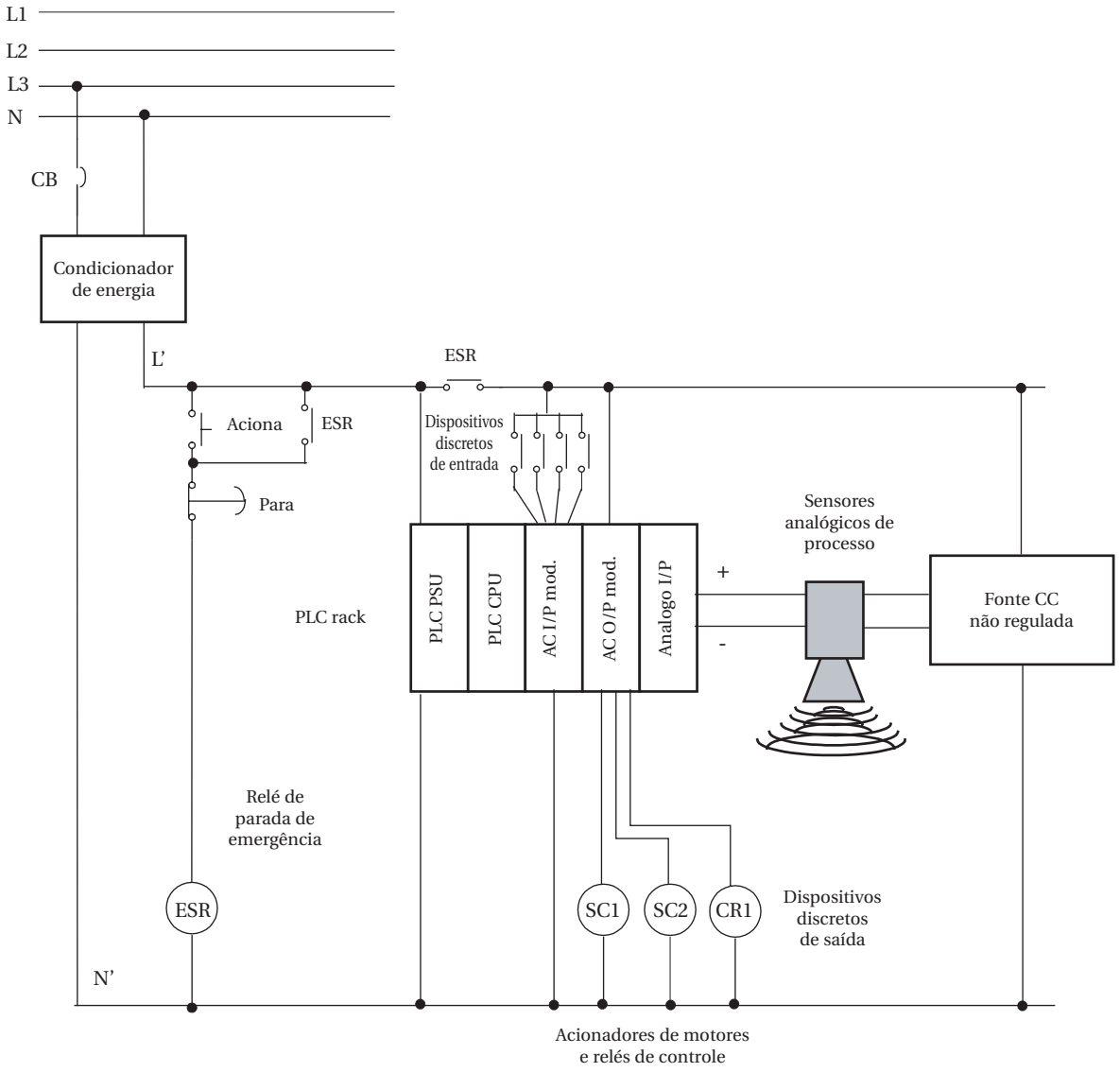

Figura 11 - solução de condicionamento de energia com fonte de energia comum.

Estratégias para mitigação de afundamentos de tensão

Para minimizar a possibilidade de futuros afundamentos de tensão relacionados com problemas de qualidade de energia, os engenheiros de campo podem implementar as melhores estratégias práticas de projeto em sistemas existentes. Os fabricantes de equipamento originais (OEMs) e projetistas de sistemas de controle podem introduzir robustez nos seus projetos considerando as seguintes estratégias em projetos atuais e futuros:

1. Utilizar componentes que atendam normas como IEC 61000-4-11, IEC 61000-4-34 ou SEMI F47. Centenas de componentes de sistemas foram certificadas como em conformidade com estas normas.
2. Evitar tensões de equipamento que não são adequadas. Se os componentes usados em um projeto de equipamento não são adequados para a tensão nominal de entrada, a máquina ou o processo será mais suscetível aos afundamentos de tensão. Isto pode acontecer quando as tensões secundárias do transformador não são iguais à tensão nominal do equipamento conectado, ou quando um subsistema, tal como um servo controlador ou uma fonte de alimentação, possui uma tensão nominal mais alta (por exemplo, equipamento 240 Vac é usado em um ambiente de 208 Vac). Para relés e contatores, uma diferença de 10% de tensão corresponde a um aumento em suscetibilidade de 10%. No entanto, em fontes CC, a energia armazenada nos capacitores internos pode ser 18% menor quando a tensão de entrada é diferente em apenas 10% [9].
3. Usar fontes chaveadas trifásicas onde possível. Este tipo de alimentação pode sobreviver a afundamentos monofásicos e bifásicos enquanto mantém a tensão de saída CC. Este tipo de alimentação deveria ser especificado para circuitos de segurança e para fontes CC para instrumentação e controle.
4. Evitar o uso de relés comuns para uso geral alimentados em CA. Ao invés, usar um relé robusto em CA ou uma alimentação CC para os circuitos de controle como mencionado anteriormente.
5. Considerar as características do disjuntor do circuito. Disjuntores e fusíveis deveriam ser escolhidos para permitir a circulação das correntes de partida mais altas que podem surgir durante variações de tensão. Isto deve ser considerado para cargas constantes, tais como fontes de energia e acionadores de freqüência variáveis. Onde possível, não selecionar disjuntores que têm características de disparo instantâneas.
6. Não usar relés de monitoramento de fases em circuitos intertravados. Estes dispositivos irão disparar facilmente durante um afundamento de tensão e poderão levar a uma interrupção do processo. Ao invés, usar estes dispositivos para registrar que um afundamento de tensão ou problema na fase aconteceu. Se há uma preocupação que um motor poderia girar no sentido errado, somente intertrave com os controles do motor.
7. Selecionar os sistemas de controle de máquina que usam memória não volátil. Este tipo de técnica de retaguarda assegura que o sistema de controle não perderá sua função no caso de um afundamento de tensão. Utilizar memória não volátil em combinação com técnicas de programação pode permitir que alguns equipamentos de processo reiniciem na etapa em que estavam quando houve a paralisação.
8. Não sobrecarregar a fonte CC. Como o tempo de suportabilidade aos afundamentos de tensão disponíveis para uma alimentação CC é relacionado diretamente à carga, fontes CC não deveriam estar operando em suas capacidades máximas. Sobredimensionar em pelo menos duas vezes a carga esperada ajudará a fonte a suportar os afundamentos de tensão. Isto não é tão crítico quando projetos robustos de fontes de alimentação são usados, como sugerido na Estratégia 3 anterior.
9. Usar acionadores de velocidade variáveis robustos. Quando usar estes acionadores, especificar modelos que têm bom desempenho em relação aos afundamentos de tensão. Confira com o fornecedor do acionador que o produto suporta os afundamentos de tensão. Também assegurar que todos os relés e controladores que têm interface com o acionador são robustos em relação aos afundamentos de tensão.
10. Considerar as questões de software e programas de controle. Desenvolvedores de software de sistemas deveriam considerar quais flutuações de variáveis do processo poderiam acontecer durante os afundamentos de tensão. Aumentar a largura de banda para certas variáveis de processo, ou adicionar tempos de retardo nos filtros, pode ajudar a evitar disparos do processo quando acontecem afundamentos de tensão.

11. Consolidar as fontes de controle. Quando projetar o leiaute de um equipamento de processo, tentar consolidar as alimentações de controle de forma que sejam alimentadas por uma fonte comum ou disjuntor quando possível. Se um pequeno condicionador de energia é exigido para tornar o equipamento ou o processo robusto aos afundamentos de tensão, a implementação será menos dolorosa.
12. Usar uma abordagem de condicionamento de tensão específica como último recurso. Aplicar dispositivos de condicionamento de tensão específica somente quando as estratégias anteriores não são aplicáveis. Como discutido neste artigo, vários tipos isentos de bateria estão disponíveis e requerem menor manutenção do que o UPS tradicional com bateria.

Conclusão

Este artigo apresentou técnicas para melhorar a robustez global dos processos contínuos em relação aos afundamentos de tensão pelo uso de equipamentos de condicionamento de energia. Esta abordagem é baseada no fato que a maioria dos componentes sensíveis aos afundamentos de tensão são tipicamente encontrados nos circuitos de controle. Uma vez que equipamentos de alta potência, tal como um motor, não são tão sensíveis aos afundamentos de tensão como os equipamentos de controle, é freqüentemente desnecessário condicionar a alimentação de energia para eles. O custo desta abordagem é tipicamente muito menor do que o custo de colocar a máquina inteira ou o processo na energia condicionada.

Referências e bibliografia

[1] Sabin, D, "An Assessment of Distribution System Power Quality, Volume 2: Statistical Summary Report", EPRI TR-106294, May 1996

[2] Seljeseth, H, and Pleym, A, "Voltage Quality Measurements, 1992 to 1996", Report EFI TR A4460 published by EFI, 7034 Trondheim, Norway

[3] Davenport, F W T, "Voltage Dips and Short Interruptions in Medium Voltage Public Electricity Supply Systems", UNIPEDE/DISDIP Report, 1990

[4] IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment', IEEE Std 1346-1998 (R2004)

[5] Stephens, M, and Dorr, D, "Technical and Economic Considerations for Power Quality Improvements", EPRI TR-1005910, December 2001

[6] "Performance and Design Evaluation of Switch-Mode Power Supplies CA Interface Issues", EPRI Power Electronics Applications Center, July 1995

[7] Stephens, M and Thomas, C, "Extending the Operating Envelope of Existing Manufacturing Processes: Control Level Solutions", EPRI TR-100164, February 2002

[8] Stephens, M; Thomas, C; Paudert, T; Moncrief, B, "PLC Basics and Voltage Sag Susceptibilities-Part 2", Power Quality Assurance, February, 2001

Referências & Membros Fundadores

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

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	onnie.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 Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	ERA Technology	stephanie.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. Dr. rer nat 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@epri-peac.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

M Stephens

EPRI
3420 Hillview Avenue
Palo Alto
California 94304

Tel 00 1 800-313-3774
Fax 00 1 704-595-2871
Web: www.epri.com

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

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