

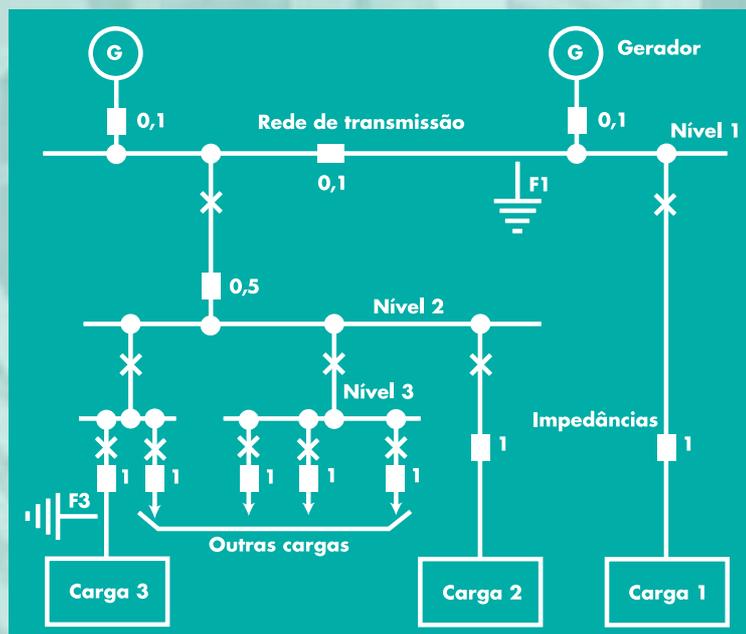
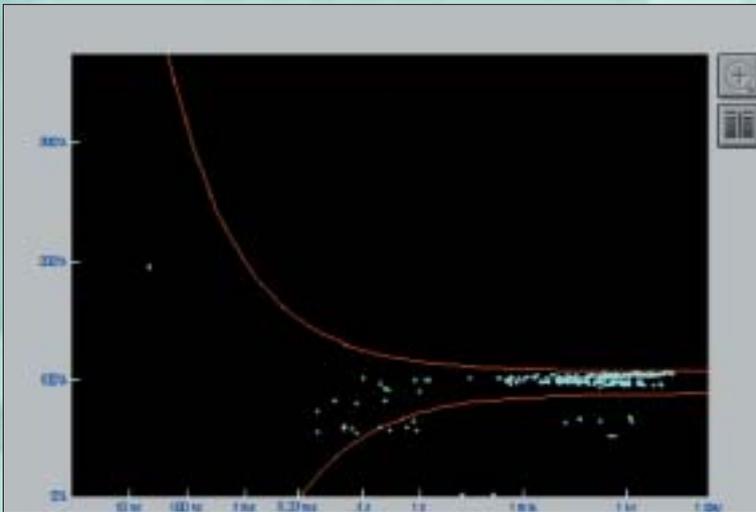
Guia de Aplicação de Qualidade de Energia



Afundamentos de Tensão

Introdução

5.1



Afundamentos de Tensão

Afundamentos de Tensão

Introdução

David Chapman

Copper Development Association

Versão, 2 de abril 2002

European Copper Institute (ECI)

O Instituto Europeu do Cobre é uma joint venture entre a ICA (Associação Internacional do Cobre) e o IWCC (Conselho Internacional do Cobre Forjado). Por sua qualidade de membro, o ECI age em nome dos maiores produtores de cobre do mundo e dos fabricantes líderes da Europa, na promoção do cobre na Europa. Formado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de dez Associações de Desenvolvimento do Cobre (CDAs) no Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, Escandinávia, Espanha e o Reino Unido. Fomenta os esforços empreendidos inicialmente pela Associação de Desenvolvimento de Produtos de Cobre, criada em 1959, e a INCRA (Associação Internacional de Pesquisa do Cobre) formada em 1961.

Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

Reconhecimentos

Este projeto foi realizado com o apoio da Comunidade Européia e da International Copper Association, Ltd.

Advertência

O European Copper Institute, a Copper Development Association e o Instituto Brasileiro do Cobre, negam responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar do uso da informação, ou da inabilidade para usar as informações ou dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute and Copper Development Association.

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



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

Afundamentos de Tensão

Introdução

Um afundamento de tensão (voltage dip) é uma redução em um período curto, ou a perda completa, da tensão RMS. É especificado em termos da duração e da tensão mantida, normalmente expressada como a porcentagem da tensão RMS nominal remanescente no ponto mais baixo durante o afundamento. Um afundamento de tensão significa que a energia requerida não está sendo entregue à carga e isto pode ter consequências sérias dependendo do tipo de carga envolvida.

Os voltage sags - reduções da tensão em períodos mais longos - geralmente são causados por uma redução deliberada da tensão pelo fornecedor para reduzir a carga em períodos de demanda máxima ou por uma alimentação excepcionalmente fraca em relação à carga.

Os acionamentos de motores, inclusive os acionamentos de velocidade variável, são particularmente suscetíveis porque a carga ainda requer energia que não está mais disponível exceto a partir da própria inércia do acionamento. Em processos onde vários acionamentos estão envolvidos, as unidades de controle de motor individuais podem sentir a perda de tensão e derrubar o acionamento a um nível de tensão diferente de seus similares e a uma taxa diferente de desaceleração, resultando em perda completa de controle do processo. Os equipamentos de processamento de dados e de controle são também muito sensíveis aos afundamentos de tensão e podem sofrer perda de dados e tempos de paralisação prolongados. As implicações de custo são muito sérias e são discutidas na Seção 2.

Há duas causas principais para os afundamentos de tensão: a partida de grandes cargas seja no local afetado ou por um consumidor no mesmo circuito, e faltas em outros ramais da rede.

Afundamentos causados por grandes cargas

Quando é dada partida a cargas pesadas, tal como grandes acionamentos, a corrente de partida pode ser muitas vezes maior que a corrente nominal. Como a alimentação e o cabeamento da instalação são dimensionados para a corrente de funcionamento normal, a corrente inicial alta causa uma queda de tensão na rede de alimentação e na instalação. A magnitude deste efeito depende de quanto “forte” é a rede, isto é, de quanto baixa é a impedância no ponto de acoplamento comum (PCC, do inglês Point of Common Coupling) e da impedância do cabeamento da instalação. Afundamentos provocados por correntes de partida se caracterizam por serem menos profundos e mais longos que os causados por faltas de rede - tipicamente de um até vários segundos ou dezenas de segundos, em lugar de menos de um segundo.

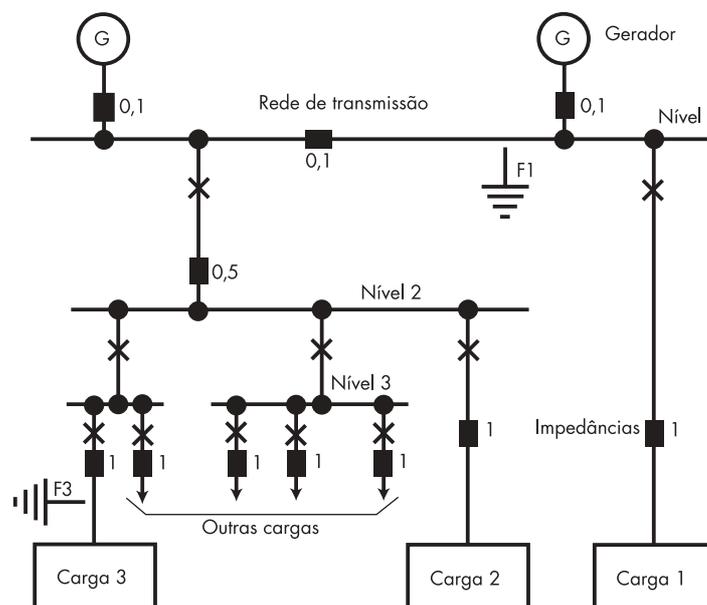


Figura 1 - A causa dos afundamentos de tensão.

Introdução

Problemas no local, causados por resistência muito alta do cabeamento interno, são fáceis de tratar. As grandes cargas deveriam ter circuitos individuais, diretamente da origem do nível de tensão adequado - seja o PCC ou o secundário do transformador de alimentação. Se o problema é causado pela impedância do PCC - isto é, a alimentação é “fraca” demais - então é requerida uma ação adicional. Uma solução, se aplicável ao equipamento em questão, é instalar uma chave de partida estática (soft starter) de forma que a corrente de partida é limitada a um valor menor, mas mantida durante um tempo muito maior. Outra solução é negociar com a concessionária uma conexão de impedância mais baixa - mas isto pode ser caro dependendo da geografia da rede na área. Se a causa da redução de tensão não pode ser controlada, então será necessário outro equipamento para compensá-la. Existem diversos equipamentos apropriados, desde os tradicionais estabilizadores mecânicos servo-controlados, até comutadores de derivações controlados eletronicamente e restauradores dinâmicos de tensão. Estes tipos de equipamento são discutidos na Seção 5.3.

Afundamentos originários de faltas da rede

A rede de alimentação é muito complexa. A extensão de um afundamento de tensão em um local devido a uma falta em outra parte da rede depende da topologia da rede e das impedâncias de fonte relativas da falta, carga e geradores no seu ponto de acoplamento comum. A Figura 1 mostra um exemplo.

Uma falta na posição F3 resulta em um afundamento de 0% na Carga 3, um afundamento de 64% na Carga 2 e de 98% na Carga 1. Uma falta em F1 afetará todos os usuários, com um afundamento de 0% na Carga 1 e de 50% para todas as outras cargas. Deve-se observar que uma falta no Nível 1 afeta muitos mais consumidores de forma mais severa que uma falta no Nível 3. É provável que cargas conectadas no Nível 3 experimentem muitos mais afundamentos que uma carga conectada no Nível 1 porque há mais locais de faltas potenciais - elas são afetadas pelas faltas no Nível 1 e no Nível 2. Cargas no Nível 2 e 1 são progressivamente menos sensíveis às faltas no Nível 3. Quanto mais perto estiver a carga da fonte, em menor quantidade e menos severos serão os afundamentos.

A duração do afundamento depende do tempo empregado pelos circuitos de proteção para detectar e isolar a falta, e normalmente é da ordem de algumas centenas de milissegundos. Como as faltas podem ser transitórias, por exemplo, quando causadas por uma rama de árvore que cai sobre uma linha, a falta pode ser eliminada muito rapidamente após a ocorrência. Se o circuito fosse desconectado permanentemente pelo equipamento de proteção, então todos os consumidores no circuito experimentariam um blecaute até que a linha pudesse ser verificada e reconectada. Os religadores automáticos podem ajudar a facilitar a situação, mas também causam um aumento no número de afundamentos. Um religador automático tenta reconectar o circuito pouco tempo depois (menos de 1 segundo) da atuação do equipamento de proteção. Se a falta foi eliminada, o religamento automático terá sucesso, e a energia é restabelecida. As cargas naquele circuito experimentam um afundamento de 100% entre a desconexão e o religamento automático enquanto outras cargas experimentam um afundamento menor, mais curto, entre a ocorrência da falta e sua eliminação, como discutido acima. Se a falta não foi eliminada quando o religador automático reconecta, o equipamento protetor operará novamente; o processo pode ser repetido de acordo com o programa fixado para o religador automático em particular. Cada vez que o religador automático reconecta a linha sob falta, ocorre outro afundamento, de forma que outros consumidores podem experimentar vários afundamentos em seqüência. O desempenho de concessionárias em mercados desregulamentados é em parte - em alguns países, como o Reino Unido, unicamente - julgado pela média “minutos perdidos por consumidor”, levando em conta interrupções excedendo, tipicamente, um minuto. A minimização desta estatística resultou na aplicação ampla de religadores automáticos e no aumento da probabilidade de afundamentos. Em outras palavras, a disponibilidade de longo prazo foi maximizada, mas às custas da qualidade.

Sensibilidade de equipamento

Os computadores são agora essenciais em todos os negócios, seja como estações de trabalho, servidores de rede ou como controladores de processo. Eles são vitais para todas as transações de processamento de dados e muitas funções de comunicações, como e-mail e sistemas de caixa de voz. Foi a introdução

Introdução

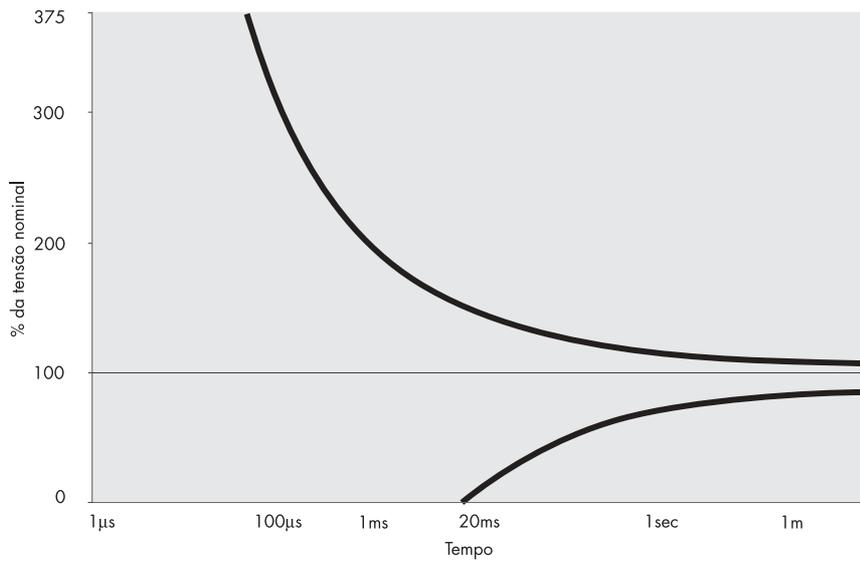


Figura 2 - Curva CBEMA.

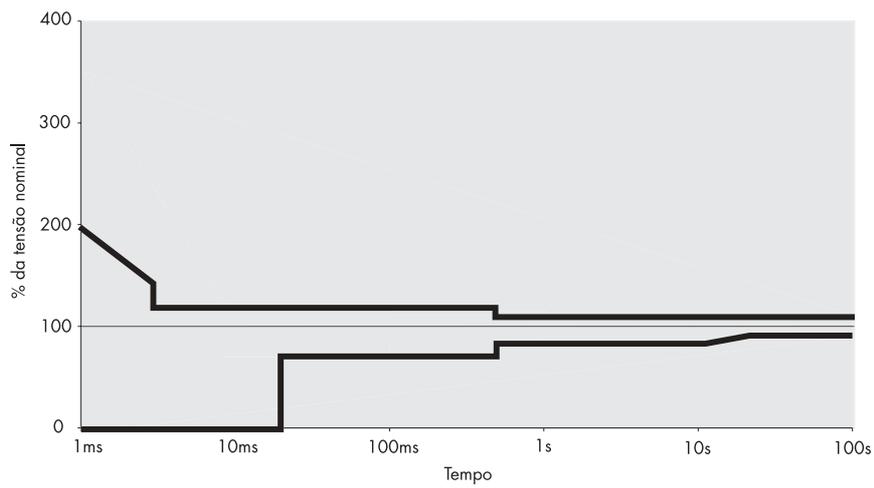


Figure 3 - Curva ITIC.

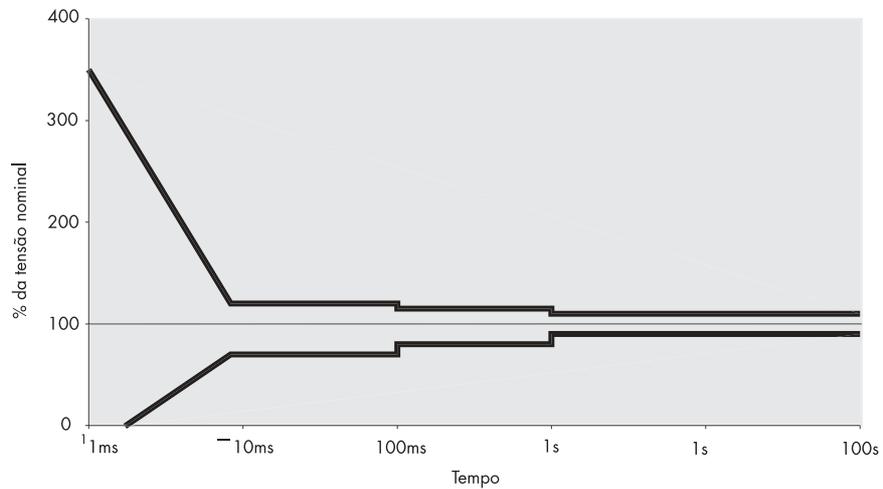


Figure 4 - Curva ANSI.

Introdução

de equipamentos de computação que em primeiro lugar destacou o problema dos afundamentos de tensão (na realidade, a maioria dos problemas de qualidade de energia), e logo as instalações foram infestadas com faltas aparentemente fortuitas que resultaram na exigência de um esforço de suporte considerável. O processo de aprendizagem resultou na produção da curva da Associação dos Fabricantes de Computadores e Equipamentos para Escritório (CBEMA, do inglês Computer and Business Equipment Manufacturers Association) (Figura 2). Esta curva foi modificada desde então e é conhecida agora como curva do Conselho da Indústria da Tecnologia de Informação (ITIC, do inglês Information Technology Industry Council) (Figura 3) e uma versão desta foi padronizada pelo ANSI como IEEE 446 (Figura 4).

A duração de um evento é representada em função da tensão com relação à tensão de alimentação nominal e as curvas definem a envoltória dentro da qual o equipamento deveria continuar funcionando sem interrupção ou perda de dados. No que diz respeito aos afundamentos, é a linha limite inferior que apresenta interesse. Esta linha representa a fronteira entre afundamentos toleráveis e não toleráveis.

Em um mundo ideal haveria apenas uma curva que representasse o desempenho da rede de alimentação na vida real e que todo equipamento obedeceria. Na realidade, embora uma grande quantidade de equipamentos satisfaça as exigências de uma ou outra das curvas padrão, o desempenho das redes de alimentação fica muito aquém das expectativas.

Características de sensibilidade de equipamentos

A alimentação de energia para equipamentos eletrônicos, como os usados em computadores pessoais (PCs) e os controladores lógicos programáveis (PLC, do inglês Programmable Logic Computers), utiliza um capacitor de armazenamento para alisar os picos da forma de onda retificada de onda completa, portanto deveriam ser inerentemente resilientes aos afundamentos de curta duração. Quanto maior o capacitor, e maior a diferença entre a tensão armazenada do capacitor e o mínimo requerido para os conversores internos de tensão funcionarem, melhor será a resiliência. Os projetistas sempre tentarão diminuir o tamanho do capacitor ao mínimo, para reduzir o tamanho, peso e custo, embora assegurando que a carga armazenada seja realmente suficiente na tensão mínima e carga máxima. Para boa resiliência de afundamento é necessário um capacitor muito maior, pelo menos duas vezes maior para permitir o equipamento funcionar durante um ciclo, e 100 vezes maior se for requerido o funcionamento durante um segundo. Uma estratégia alternativa de projeto é manter a tensão de entrada mínima tão baixa quanto possível para maximizar o tempo de sustentação do sistema. Esta é a abordagem adotada, por definição, em equipamento projetado para trabalhar numa faixa larga de tensão. O tempo de sustentação será muito maior com uma alimentação de 230 V do que com alimentação em 110 V. Não existe nenhum problema técnico em fazer uma alimentação de energia resistente a afundamentos, mas isso não ocorre porque não é um assunto que os usuários tratam com os fabricantes, e tem implicações de custo. Não obstante, o custo de tornar um PC ou PLC resiliente a afundamentos de 1 segundo é muito pequeno comparado com o custo de melhorar os ativos da rede para prevenir a ocorrência de tais afundamentos.

Os acionamentos de velocidade variável podem ser danificados por afundamentos de tensão e são normalmente equipados com detectores de subtensão que atuam entre 15% e 30% abaixo da voltagem nominal. Os acionamentos de velocidade variável com capacidade de desempenho melhorado são o assunto da última seção deste Guia.

Os motores de indução têm inércia, portanto podem ajudar a suportar a carga durante um afundamento curto, regenerando energia conforme reduzem a velocidade. Esta energia tem que ser substituída a medida que o motor re-acelera e, se a velocidade diminuiu para menos de 95%, puxará quase a corrente de partida plena. Considerando que todos os motores iniciam a partida ao mesmo tempo, esta pode ser a causa de problemas adicionais.

Os relés e os contatores também são sensíveis a afundamentos de tensão e podem ser freqüentemente o elo mais fraco no sistema. Foi estabelecido que um dispositivo pode parar durante um afundamento até mesmo quando a tensão mantida for mais alta que a tensão mínima de manutenção em regime

Introdução

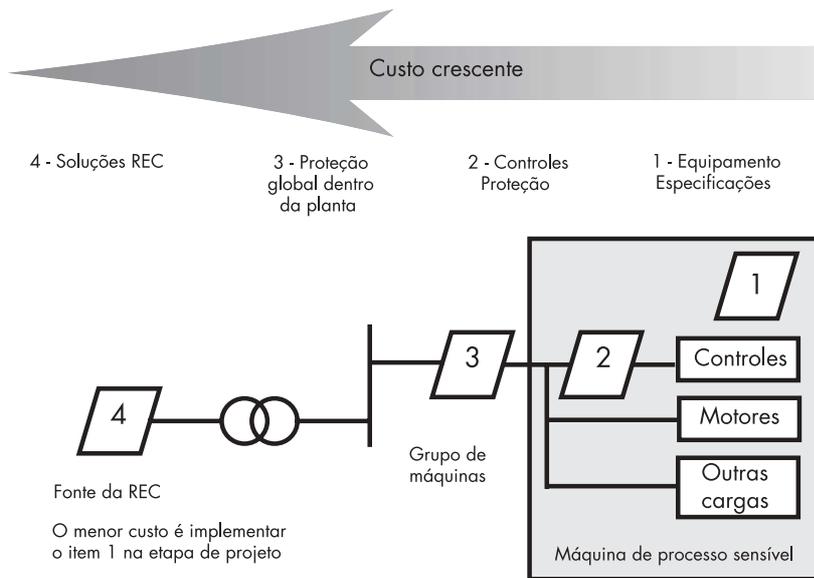


Figura 5 - Custo de melhorias na tolerância aos afundamentos.

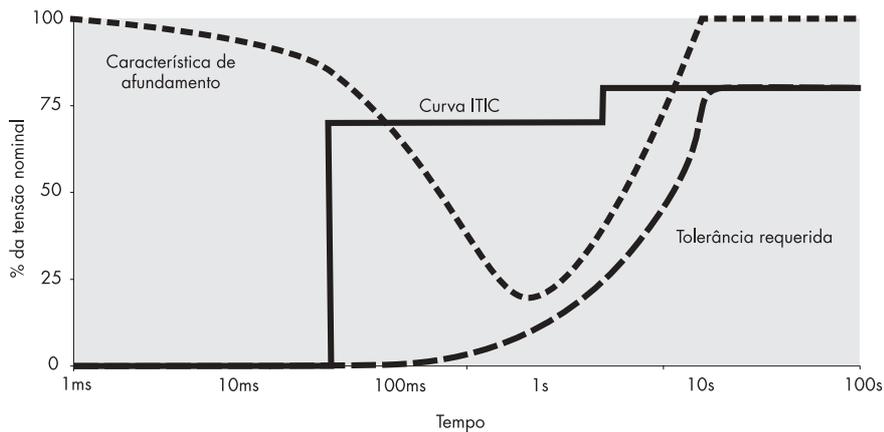


Figura 6 - Característica típica de afundamento da alimentação e curva ITIC.

permanente. A resiliência de um contator aos afundamentos não depende apenas da tensão mantida e da duração, mas também do ponto da onda onde o afundamento acontecer, sendo o efeito menor no pico.

As lâmpadas de descarga de sódio têm uma tensão de acendimento muito mais alta quando a quente do que a frio, de forma que uma lâmpada quente pode não reacender depois de um afundamento. A magnitude do afundamento que fará uma lâmpada apagar varia conforme o tempo de utilização: pode ser pequena (da ordem de 2%) no término da vida útil, ou alta (45%) quando nova.

A maioria dos aparelhos elétricos e sistemas incorporam um ou mais dos elementos acima, e assim apresentarão problemas quando sujeitos a afundamentos. A Figura 5 sugere que é mais econômico e mais seguro projetar um equipamento para ser resiliente a afundamentos, em lugar de tentar tornar resilientes a totalidade do processo, da planta, ou do sistema de distribuição de eletricidade. Como mostrado aqui, o custo da solução aumenta rapidamente conforme o ponto de tratamento é transferido do equipamento dentro da planta para a infra-estrutura.

Introdução

Características de afundamentos de alimentação

Como indicado acima, a probabilidade de acontecerem afundamentos de tensão, e sua provável magnitude, dependem da topologia da rede nas proximidades do local em questão. Houve alguns estudos limitados em áreas relativamente pequenas em alguns países, mas ainda pode-se dizer que estatísticas de afundamentos para locais em particular não estão disponíveis. Isto torna difícil a seleção de um local para uma operação crítica. Obviamente, um local perto de uma central geradora (ou duas), e conectado em média tensão através de cabo subterrâneo será uma escolha melhor que um local remoto com uma conexão aérea exposta longa, mas até que ponto? É fácil julgar a qualidade das conexões de transporte, por exemplo, e esse fator é citado freqüentemente como uma razão para selecionar uma determinada localização para uma empresa, mas é bastante mais difícil julgar a qualidade da infraestrutura elétrica.

Locais em áreas isoladas apresentam problemas especiais, já que lá não há nenhuma planta existente como referência. Por outro lado, representam uma oportunidade para começar com uma infra-estrutura adequada funcionando, contanto que a concessionária local se disponha e seja capaz de alimentá-la (usando seu dinheiro!).

Esses estudos que foram feitos mostram que a duração dos afundamentos de alimentação é bastante mais longa que o sugerido pelas curvas de tolerância de equipamento discutidas acima. A Figura 6 mostra a duração provável e magnitude dos afundamentos em uma rede de alimentação típica. A curva ITIC é desenhada também para comparação.

Este gráfico mostra claramente que, no mundo real, o equipamento de TI realmente precisa ser cerca de 100 vezes melhor que o indicado pela curva ITIC, como mostrado pela curva de “tolerância requerida”. Provavelmente é certo dizer que nenhum equipamento de produção satisfaz esta exigência!

Preenchendo a lacuna

Claramente, em um ambiente empresarial, o equipamento em uso tem que ser resiliente aos defeitos característicos normais da alimentação e não é este o caso com o equipamento padrão (de prateleira). Como mostrado na Figura 5 o custo de correção é muito menor se a ação corretiva é adotada na fase de projeto do equipamento, mas isto requer conhecimento da natureza e probabilidade de defeitos. É este conhecimento que está faltando. Esta é, entretanto, a abordagem mais econômica.

Alguns fabricantes de equipamento estão reconhecendo o problema, mas o mercado competitivo significa que os fabricantes responderão apenas às exigências dos clientes. Até que os clientes entendam os problemas e percebam que os fabricantes de equipamento podem fornecer uma solução, eles não especificarão desempenho melhorado. A exceção é o mercado de acionamentos de velocidade variável, onde os fabricantes estão promovendo ativamente produtos com desempenho melhorado frente aos afundamentos.

A abordagem tradicional é prover equipamento adicional para alimentar a carga durante os afundamentos; os tipos de equipamentos disponíveis estão detalhados em seções posteriores deste Guia. No caso de cargas de pequena potência, como equipamentos de TI, alimentações de energia ininterruptas têm sido usadas para proteção contra afundamentos e interrupções curtas. O estoque de energia é normalmente uma bateria recarregável, de forma que não são apropriados para durações longas. Tipicamente, a carga é alimentada apenas durante o tempo necessário para preparar um desligamento organizado, protegendo assim os dados, mas requerendo ainda um tempo de restabelecimento considerável. Às vezes, um UPS é usado para fornecer energia enquanto entra em funcionamento um grupo motor-gerador.

Para afundamentos pouco profundos, onde é mantida uma tensão considerável, há várias tecnologias estabelecidas de reguladores de tensão automáticos, incluindo dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos. Como não há necessidade de energia armazenada, estes dispositivos podem ser usados para eventos de longa duração tais como sub e sobretensões. Os reguladores de tensão automáticos são discutidos na Seção 5.3.1 deste Guia.

Introdução

Onde há preocupação com cargas pesadas ou com afundamentos profundos, é usado um Restaurador de Tensão Dinâmico (DVR, do inglês Dynamic Voltage Restorer). Este dispositivo é acoplado em série com a carga e gera a parte perdida da alimentação; se a tensão afunda a 70%, o DVR gera os 30% perdidos. Normalmente, espera-se que os DVRs sustentem a carga por um período curto e podem usar baterias industriais, supercapacitores ou outras formas de armazenamento de energia, tais como volantes de inércia de alta velocidade. Os DVRs não podem ser usados para corrigir sub e sobretensões de longa duração.

Conclusão

Melhorar o desempenho da rede para eliminar afundamentos é muito caro e provavelmente impossível. Em casos especiais, onde a necessidade justifica a despesa, pode ser possível arranjar duas alimentações que são derivadas de partes suficientemente separadas da rede como para serem consideradas independentes.

Para a maioria das operações será requerida alguma forma de equipamento de mitigação de afundamentos, e há uma ampla gama para escolher, dependendo do tipo de carga que está sendo suportada.

A solução mais econômica é especificar equipamentos com a resiliência necessária aos afundamentos, mas esta opção não é ainda bem aceita pelos fabricantes.

Notas

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



David Chapman

 Copper Development Association

Copper Development Association
Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

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

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