

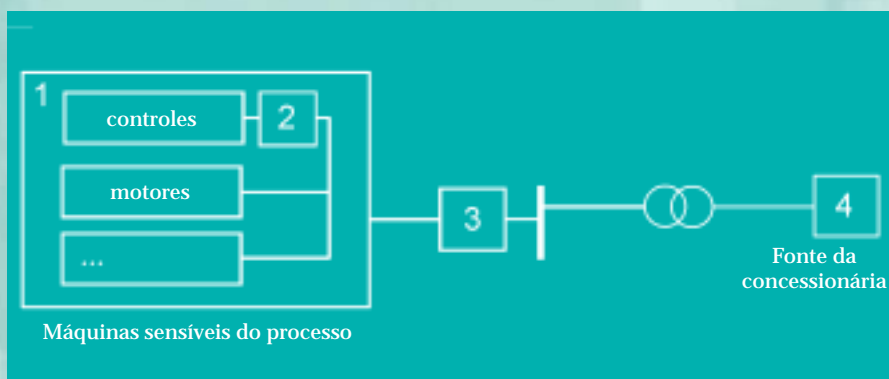
Power Quality Application Guide



Distúrbios de Tensão

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

5.3.4



Distúrbios de Tensão

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

Dr ir Marcel Didden

Laborelec

April 2005



Este Guia foi produzido como parte do Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), um programa de educação e treinamento europeu apoiado pela Comissão Europeia (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 Europeia, nem implica nenhuma responsabilidade por parte da Comunidade Europeia. 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

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

Introdução

Este artigo compara vários sistemas de proteção de processos industriais contra afundamentos de tensão (volante, UPS estático, restaurador de tensão dinâmico, statcom, motor síncrono ligado em paralelo e uma fonte de corrente sem transformador em série). Estes sistemas são comparados em relação à capacidade de imunização ao afundamento e vários outros parâmetros técnicos e econômicos.

Um afundamento de tensão, como definido na norma EN 50160, é uma diminuição da tensão de alimentação entre -10% e -99% por um tempo pequeno (<1 minuto) [1]. Os afundamentos de tensão são conhecidos por estarem entre os fenômenos de qualidade de energia mais custosos na indústria. Existem diferentes soluções para reduzir os custos incorridos devidos aos afundamentos de tensão: eles são estruturados freqüentemente nas quatro categorias indicadas na Figura 1 [2].

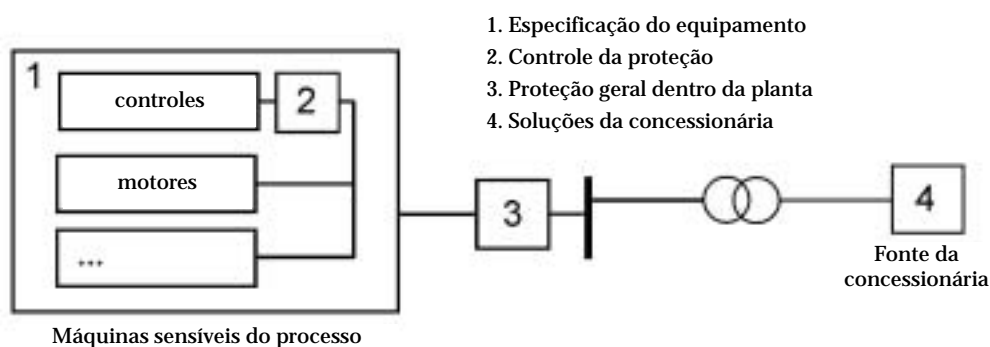


Figura 1 - Possíveis métodos de mitigação [2].

Modificações no próprio equipamento do processo (números 1 e 2 na Figura 1) tendem a ser a solução mais barata, mas isto nem sempre é possível porque os fabricantes não dispõem de equipamentos satisfatórios prontamente disponíveis no mercado (as opções para acionadores de velocidades variáveis são discutidas no Fascículo 5.3.3 desta Coleção). Modificar a rede, (número 4 na Figura 1), embora seja uma opção interessante (discutido no Fascículo 5.5.1), nem sempre é possível e é provável que seja muito caro. Os únicos métodos que geralmente podem ser aplicados são medidas de proteção instaladas entre o processo sensível e a rede (número 3 na Figura 1), e estes são discutidos neste artigo.

Teoricamente, instalar um sistema de energia ininterrupta (UPS) é o modo mais fácil para proteger processos sensíveis contra todos os afundamentos de tensão. Porém, devido aos seus custos consideráveis de aquisição e manutenção, o equipamento de UPS somente é instalado em lugares onde o dano resultante de problemas de alimentação de energia é muito alto, tal como em hospitais, instalações de computador e instituições financeiras. Em outros casos, incluindo a maioria dos processos industriais, a instalação de um equipamento de proteção deve estar sujeita à análise de custo-benefício, a qual freqüentemente mostra que a instalação de um UPS é muito cara [7].

Estimulado pela alta prevalência de problemas relacionados com afundamento de tensão em processos industriais devido aos equipamentos serem sensíveis ao afundamento, soluções para proteger estes equipamentos tornaram-se comercialmente disponíveis. Devido à grande variedade e aos nomes exóticos dados pelos vendedores aos seus equipamentos específicos, a escolha da solução técnico-econômica ótima para um determinado problema não é imediata. Este artigo analisa diversos sistemas que podem ser utilizados em instalações existentes e que contêm processos suscetíveis aos afundamentos de tensão.

Levando em conta as estatísticas de vários países, este artigo é um guia sobre a eficiência (em termos do percentual de interrupções de processo evitadas) que pode ser esperada ao se instalarem estes sistemas. Primeiramente, os tipos de equipamentos são descritos. Em seguida, são avaliados a capacidade de imunização em relação ao afundamento de tensão e outros aspectos técnicos e econômicos. Assim, considerando-se então o desempenho dos sistemas descritos em relação a estes aspectos, são indicadas diretrizes para situações práticas.

Tipos de equipamento de mitigação

Volante

A combinação de um volante com um grupo motor-gerador (M/G) pode proteger processos críticos contra todos os afundamentos de tensão onde a duração é menor que o ciclo do volante. Quando um afundamento acontece, o grupo motor-gerador alimenta a carga, e a energia que é provida pelo volante vai gradualmente reduzindo a sua velocidade. Existem diferentes topologias de conexão do volante com o grupo M/G, sendo que a Figura 2 mostra os componentes principais de uma conexão que usa eletrônica de potência.

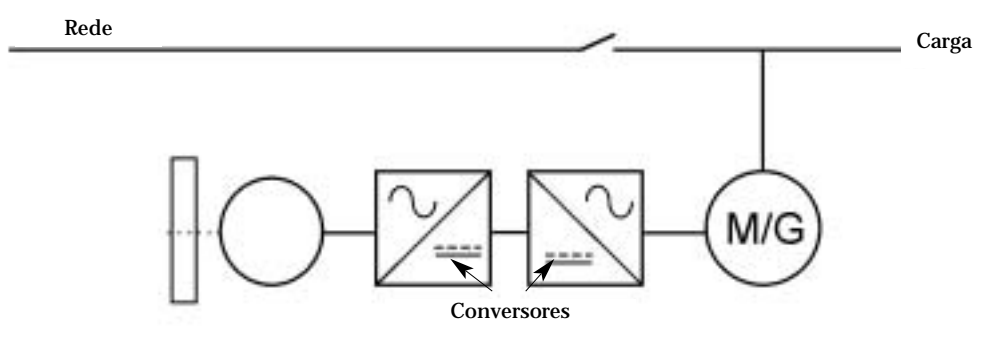


Figura 2 - Diagrama de bloco de um sistema que usa um volante.

UPS estático com armazenamento de energia mínimo

A Figura 3 mostra a topologia de um UPS estático, independente da frequência da tensão (VFI), conversão online ou dupla. Estes dispositivos são principalmente destinados a manter a alimentação durante interrupções de alimentação, provendo, por exemplo, apoio suficiente para permitir a interrupção ordenada dos processos. Durante uma interrupção, a carga é alimentada pela bateria do conversor CC/AC. Se a unidade é utilizada apenas para proteção contra os afundamentos, o armazenamento de energia pode ser provido por um capacitor; este arranjo é descrito frequentemente como um “condicionador”.

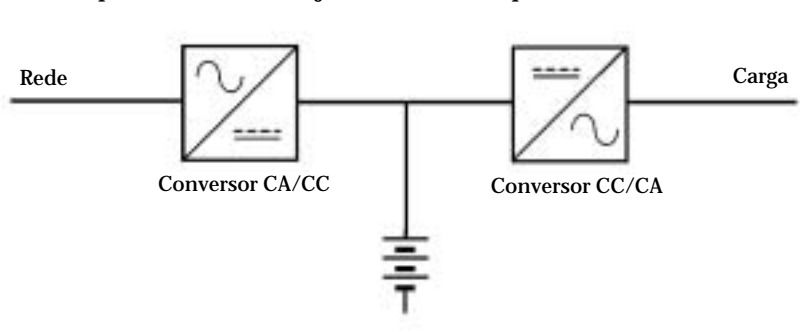


Figura 3 - Diagrama de bloco de um UPS estático independente da frequência da tensão.

Restaurador de tensão dinâmico (DVR)

Durante um afundamento de tensão, um restaurador de tensão dinâmico (DVR) soma a tensão perdida através de um transformador ligado em série com a carga [5]. A carga permanece conectada à rede e o DVR calcula a parte perdida da forma de onda de tensão e a corrige. Dependendo do conceito, a energia para manter a carga durante um afundamento se origina tanto da rede quanto de uma unidade adicional de armazenamento de energia (normalmente um banco de capacitores).

O primeiro caso (chamado adiante por DVR-1) não tem nenhum armazenamento de energia e está continuamente on-line. Quando um mergulho acontece, a energia para gerar a tensão diferencial

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

exigida é retirada da alimentação (resultando em um aumento de corrente) e assim o dispositivo não pode lidar com tensões retidas muito pequenas. Este tipo de DVR está comercialmente disponível com uma capacidade de incremento de tensão de até 50%. Porém, análises mais recentes fazem referência a uma versão com uma capacidade de incremento de 30%, uma vez que este é o equipamento considerado mais eficiente em custo pelos fabricantes.

O segundo caso (Figura 4, chamado adiante por DVR-2) tem armazenamento de energia e é mais apropriado para grandes cargas. A unidade é especificada em termos da energia que pode ser injetada; a capacidade de incremento de tensão depende então da carga. Uma unidade de 2 MW pode incrementar a tensão de uma carga de 4 MW em 50%, ou a tensão de uma carga de 8 MW em 25%.

Em contraste com a maioria dos outros dispositivos, a capacidade de armazenamento de energia é uma questão importante para os casos de longos afundamentos de tensão. O tipo de armazenamento de energia é um assunto importante. Os capacitores têm uma densidade de armazenamento relativamente baixa, mas se recarregam muito rapidamente e ficam então preparados para o próximo defeito de alimentação, enquanto volantes de alta velocidade têm grande densidade de armazenamento, mas levam tempos relativamente longos para se recarregarem. Estes assuntos são discutidos em detalhes no Fascículo 4.3.1 desta Coleção.

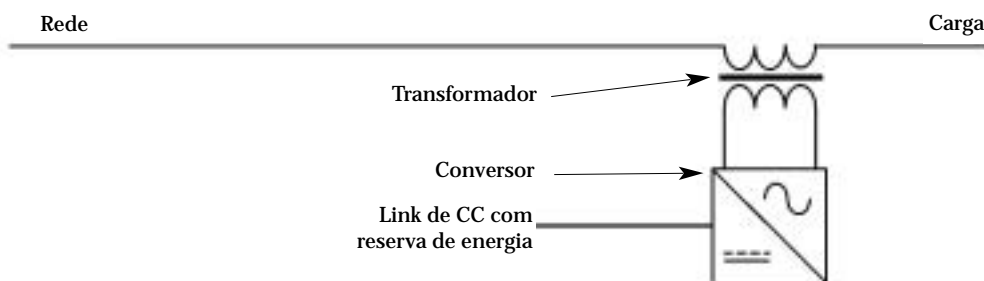


Figura 4 - Diagrama de bloco de um restaurador de tensão dinâmico (DVR-2).

Máquina síncrona ligada em paralelo

Uma máquina síncrona ligada em paralelo tem algumas semelhanças com o statcom, mas não contém eletrônica de potência. A capacidade da máquina síncrona para prover correntes reativas elevadas faz com que este sistema eleve a tensão em 60% durante pelo menos 6 segundos. Além disso, um pequeno volante protege a carga contra interrupções plenas de alimentação de até 100 ms (porém, esta característica não será considerada adiante na análise).

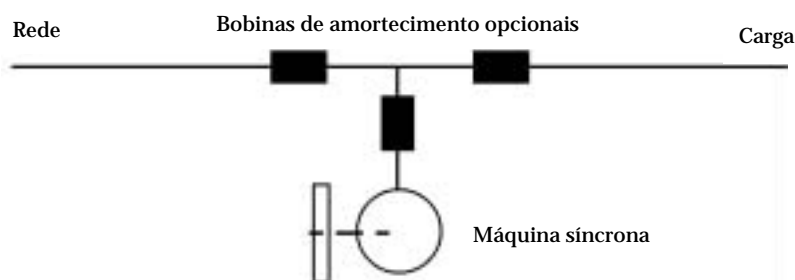


Figura 5 - Diagrama de bloco de uma máquina síncrona ligada em paralelo e um volante.

Statcom

Um compensador estático de VAR [5] é uma fonte de corrente ligada em paralelo com a carga (Figura 6). Um statcom mitiga os afundamentos de tensão injetando energia reativa no sistema. A capacidade de mitigação de afundamento pode ser aumentada somando-se um armazenamento de energia como, por exemplo, um armazenamento de energia magnética por supercondutores (SMES) [8].

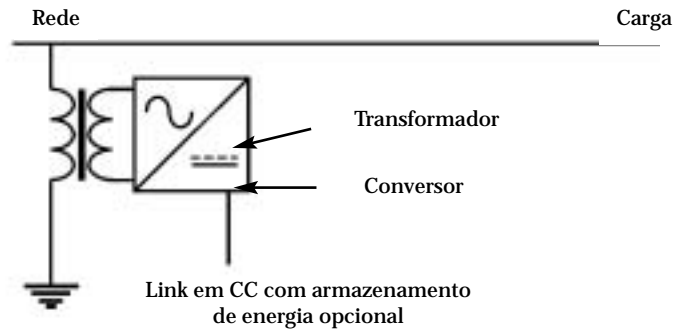


Figura 6 - Diagrama de bloco de um Statcom.

Injeção em série sem transformador

No caso de um afundamento de tensão, a chave estática deste dispositivo de injeção em série (Figura 7) é aberta e a carga é alimentada por um inversor. A potência no barramento CC do inversor é mantida pelo carregamento de dois capacitores em série. Para afundamentos com tensão retida de até 50%, a tensão nominal pode ser fornecida para carga. Um armazenamento adicional opcional de energia (por exemplo, capacitores extras) pode mitigar uma interrupção completa durante um tempo limitado e pode mitigar afundamentos assimétricos mais profundos, como uma interrupção completa de uma fase. Somente a operação básica é considerada adiante.

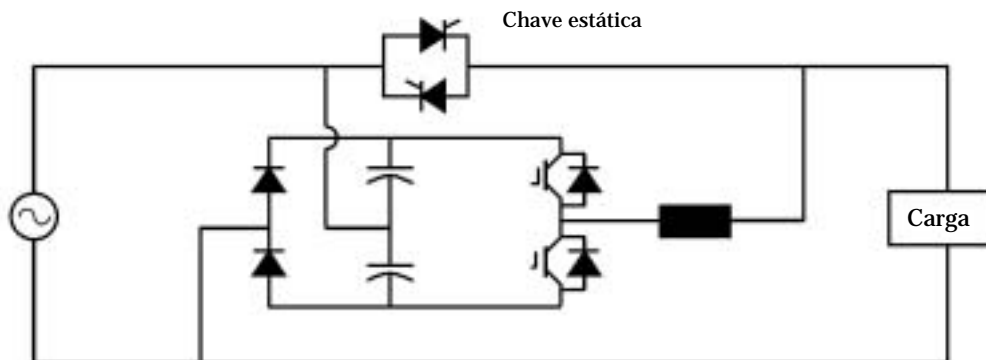


Figura 7 - Injeção em série sem transformador.

Capacidade de mitigação do afundamento

Esta seção compara os sistemas descritos anteriormente em relação às suas capacidades de mitigação do afundamento. Mais precisamente, é analisado o percentual de paradas de equipamentos devidas ao afundamento de tensão que será mitigado. Três importantes parâmetros são necessários para realizar uma análise apropriada:

- Frequência relativa de afundamentos de uma certa profundidade;
- Nível de imunização;
- Sensibilidade do processo.

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

Freqüência relativa de afundamentos de uma certa profundidade

Quando se comparam diferentes soluções preventivas, a freqüência de afundamentos e a distribuição de probabilidade das intensidades dos afundamentos são muito importantes. Alguém pode imaginar que uma instalação que experimenta 10 afundamentos por ano com uma tensão retida de 10% requer uma solução diferente de uma outra com um número semelhante de afundamentos mas com uma tensão retida de 70%.

A Figura 8 mostra a redução de tensão em função do percentual de afundamentos de tensão. As seguintes estatísticas são usadas:

B1, B2 = Dois barramentos de média tensão na Bélgica;

F = Barramento de média tensão na França;

NL = Barramento de média tensão nos Países Baixos;

US = Estudo sobre qualidade de energia feito nos EUA [1];

C = Média dos barramentos de média tensão do relatório do CIGRE [4].

As durações dos afundamentos não são levadas em conta uma vez que é assumido que todos os sistemas podem funcionar por pelo menos os 2 segundos de duração máxima de um afundamento - embora esta não seja uma suposição razoável para um equipamento industrial desprotegido. É assumido que a distribuição relativa mostrada na Figura 8 representa todos os tipos de afundamento (1, 2 ou 3 fases). Como um exemplo, o ponto P nesta figura indica que 47% dos afundamentos nas estatísticas do CIRED (C) têm uma queda de tensão menor do que 20% (ou seja, uma tensão retida maior do que 80%).

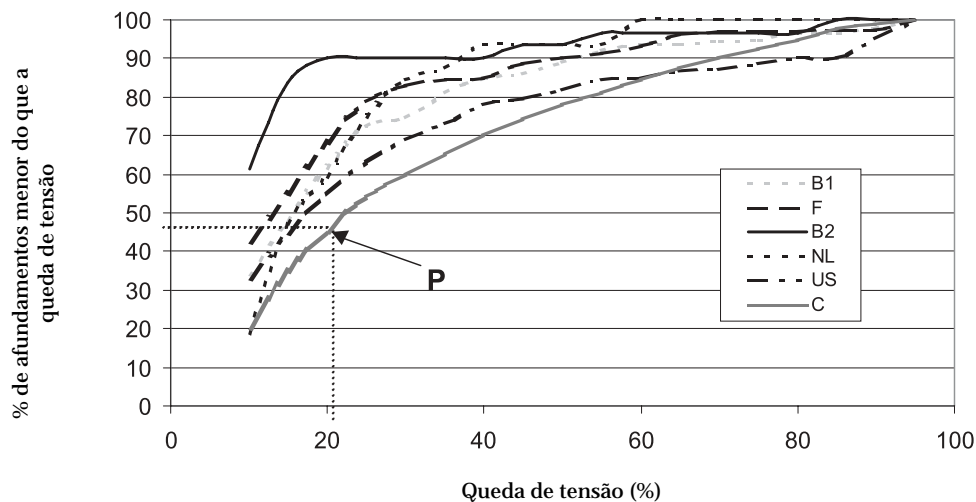


Figura 8 - Estatísticas de afundamentos de países diferentes mostrando o percentual de afundamentos menores do que uma certa queda de tensão em %.

Nível de imunização

Três conceitos diferentes para aumentar a imunidade aos afundamentos de tensão podem ser identificados:

a) A carga é alimentada por uma fonte de energia externa.

Estes tipos de sistemas (volante e UPS estático) podem proteger contra todos os afundamentos de tensão. A duração máxima da proteção só depende da quantidade de energia armazenada que pode ser utilizada.

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

b) A tensão é incrementada por um certo percentual.

Estes sistemas (statcom e DVR) usam a tensão residual na rede como um ponto de partida e somam a tensão perdida. Se eles não podem restabelecer a tensão de alimentação nominal, eles usam suas capacidades máximas. Um afundamento é considerado como mitigado se a tensão final (tensão de rede durante o afundamento mais a tensão adicionada) é alta o suficiente para manter a operação normal da carga.

c) A solução protege a carga contra uma intensidade pré-definida de afundamento.

Para manter um fluxo de energia constante para a carga, estes tipos de sistemas (por exemplo, injeção em série sem transformador) compensam a tensão reduzida pela retirada de uma corrente mais elevada da rede. Então, a profundidade máxima do afundamento que pode ser compensada depende da corrente nominal do equipamento de mitigação e do sistema de alimentação.

Sensibilidade do processo

A sensibilidade do processo é complexa e é o resultado das sensibilidades individuais - em termos de intensidade e duração do afundamento - dos diversos componentes dos equipamentos que fazem parte do processo. A redução da sensibilidade total (desprotegida) do processo em relação aos afundamentos requer uma seleção cuidadosa dos equipamentos e uma compreensão de como o processo falha como consequência de um afundamento.

É freqüentemente negligenciado o fato de que a sensibilidade inicial de um processo pode ter um impacto no percentual de paradas do processo evitadas pelo equipamento de proteção. Porém, isto é grande importância quando se comparam sistemas dentro das categorias b) e c), descritos anteriormente, como ilustrado na Figura 9.

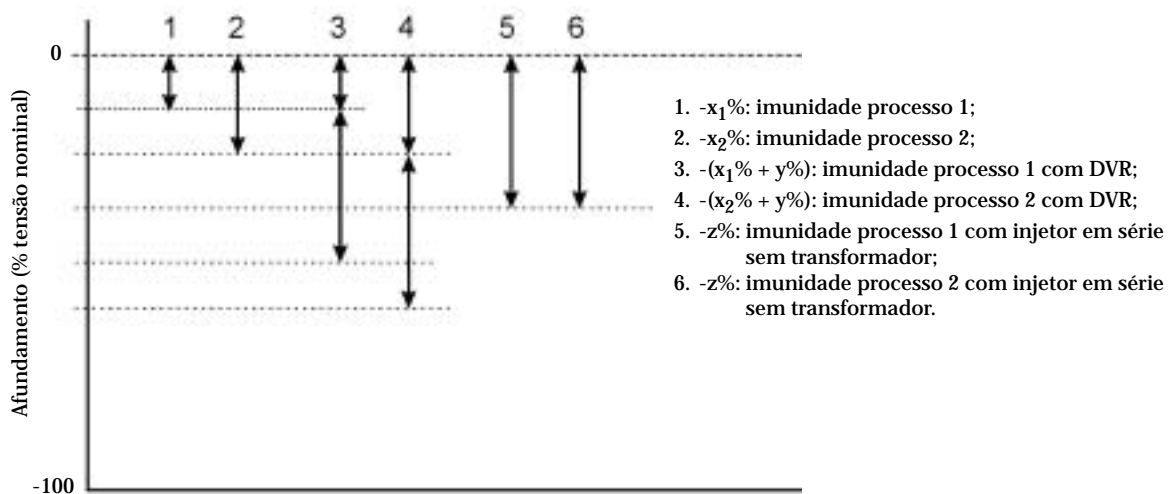


Figura 9 - Imunidade de processos com imunidades iniciais diferentes com e sem equipamento de imunização adicional.

Equipamentos da categoria b) incrementarão a tensão em um certo percentual. Se um processo que é imune a afundamentos de -x% é equipado com um sistema da categoria b), como um DVR que tem uma capacidade de incrementar a tensão em +y%, o processo será imune a tensões de afundamento de -(x% + y%).

Por outro lado, equipamentos da categoria c) imunizarão o processo contra afundamentos de tensão de um nível predeterminado (por exemplo, z%). Instalando-se equipamentos da categoria c), o percentual de paradas de processo evitadas é menor se a imunidade inicial do processo era -30% se comparado a uma imunidade inicial de -10%.

Resumo de capacidade

A Tabela 1 mostra o percentual de paradas de processo devidas aos afundamentos de tensão que pode ser evitado pelos sistemas descritos, usando-se estatísticas do relatório do CIGRE informe e um barramento belga (C e B2 na Figura 8) e levando em consideração dois níveis diferentes de imunidade

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

inicial do processo (-10% e -30%). O percentual de paradas evitadas não é afetado pela vulnerabilidade dos equipamentos do processo para afundamentos trifásicos ou para afundamentos de 1, 2 ou 3 fases uma vez que o artigo assume que:

- A distribuição relativa da profundidade do afundamento é igual para todos os afundamentos (1, 2 e 3 fases);
- Todos os equipamentos de proteção oferecem a mesma proteção relativa para estes afundamentos.

| Percentual de paradas devido a afundamentos que será reduzido | Conceito de imunização | Queda de tensão máxima sendo protegida em % | | Máxima tensão aumentada em % | Imunidade inicial do "Barramento CIGRE" (C) – 10% | Imunidade inicial do "Barramento CIGRE" (C) – 30% | Imunidade inicial do "Barramento Belga" (B2) – 10% | Imunidade inicial do "Barramento Belga" (B2) – 30% |
|---|------------------------|---|----|------------------------------|---|---|--|--|
| | | | | | | | | |
| 40 - 60% | | | | | | | | |
| 60 - 80% | | | | | | | | |
| 80 - 100% | | | | | | | | |
| Volante | a | 100 | / | | | | | |
| UPS Estático | a | 100 | / | | | | | |
| DVR - Cap 1 | b | / | 30 | | | | | |
| DVR - Cap 2, 200% de carga | b | / | 50 | | | | | |
| DVR - Cap 2, 400% de carga | b | / | 25 | | | | | |
| Statcom - SMES | b | / | 60 | | | | | |
| Máquina síncrona ligada em paralelo | b | / | 60 | | | | | |
| Injetor em série sem transformador | c | 50 | / | | | | | |

Tabela 1 - Percentual de paradas reduzidas pela instalação de diferentes dispositivos de mitigação, considerando-se diferentes estatísticas de afundamento e imunidades iniciais dos processos.

Outros aspectos técnicos e econômicos

Esta seção discute algumas características comparativas físicas e de desempenho de algumas categorias de produto atualmente disponíveis no mercado. Para cada tipo, cada característica é indicada como uma vantagem (+), neutra (=) ou como uma desvantagem (-).

Potência

Alguns sistemas são atualmente disponíveis apenas em potências maiores do que 1 MW (-), enquanto que outros também são vendidos em potências menores ou iguais a 100 kW (+).

Custo inicial de aquisição

Uma vez que a decisão de compra de um equipamento de mitigação para prevenir danos devidos aos afundamentos de tensão é o resultado de uma análise de custo-benefício, o preço inicial de aquisição do sistema é muito importante. Embora contratos sejam feitos individualmente e podem variar substancialmente, a seguir são fornecidas algumas diretrizes gerais para a compra e instalação de um dispositivo de porte médio (entre 100 kVA e 500 kVA), quando disponível.

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

São definidas três categorias de preço:

- : > 250 euro por kVA;
- =: 150-250 euro por kVA;
- +: < 150 euro por kVA.

Manutenção

Dependendo do tipo de sistema, os custos de manutenção podem ser significativos. Este artigo somente considera se uma manutenção anual é requerida (-) ou não (+).

Eficiência

Muitos sistemas requerem uma demanda de eletricidade contínua devido ao uso de eletrônica de potência, o uso de partes girantes (volante) ou resfriamento (SMES), resultando em uma redução da eficiência total. Três categorias são definidas:

- +: perdas <0,5% da potência nominal;
- =: perdas 0,5-2% da potência nominal;
- : perdas >2% da potência nominal.

Note-se que uma baixa eficiência tem um impacto significativo na decisão econômica que faz em relação ao processo. Considerando-se um custo de eletricidade de 0,05 euro/kWh e uma eficiência de 97%, a perda anual é de 13.1 euro por kW instalado. Considerando uma taxa de juros de 10%, as perdas descontadas em 10 anos por kW serão 80.4 euro.

Tempo de reação

Alguns dos dispositivos de proteção precisam detectar o afundamento de tensão antes que possam reagir. Isto pode resultar em um comportamento transitório do processo.

A tempo de reação (ativação) do dispositivo de proteção é dividido em três categorias:

- +: transiente de reação ou ativação <1 ms;
- =: transiente 1-5 ms;
- : transiente > 5 ms.

Harmônicas de tensão

Alguns dos sistemas de mitigação também podem compensar continuamente harmônicas de tensão originadas na rede de alimentação (+), enquanto outros não influenciam as harmônicas de tensão (=).

Harmônicas de corrente

Se a carga a jusante contém muita eletrônica de potência, tais como acionadores de velocidades variáveis, a corrente será altamente não linear. Alguns sistemas de mitigação de tensão têm a habilidade de solicitar uma corrente linear da rede apesar das cargas não lineares (+), enquanto outros não influenciam as correntes harmônicas (=).

Energia reativa

Algumas aplicações têm a habilidade para fornecer ou solicitar energia reativa continuamente (+), enquanto outros não têm (=).

Considerações sobre a escolha do dispositivo de mitigação adequado para afundamentos de tensão

Resumo dos aspectos técnicos e econômicos

A Tabela 2 resume o desempenho dos sistemas descritos em relação a estes parâmetros:

| | Potência | Custo inicial | Manutenção | Eficiência | Tempo de reação | Harmônicas de tensão | Harmônicas de corrente | Energia reativa |
|-------------------------------------|----------|---------------|------------|------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| Volante | + | - | - | - | = | + | + | + |
| UPS estático | + | - | - | - | + | + | + | + |
| DVR - Cap 1 | + | + | + | = | = | = | = | + |
| DVR - 2, 200% de carga | - | - | + | - | = | + | = | = |
| DVR - 2, 400% de carga | - | = | + | - | = | + | = | = |
| Statcom - SMES | - | = | - | = | - | = | = | + |
| Máquina síncrona ligada em paralelo | + | = | - | -/= | = | + | + | + |
| Injetor em série sem transformador | + | = | + | + | = | = | = | = |

Tabela 2 - Aspectos técnicos e econômicos de diferentes métodos de mitigação

Análise de custo-benefício de equipamentos de mitigação

Com o objetivo de analisar se a redução esperada dos custos de interrupções excede ou não o custo dos equipamentos de proteção, a seguinte versão adaptada do método de Valor Presente Líquido pode ser usada: [7]:

$$f \cdot p_{prev} \geq \frac{C_{inv}}{C_{sag}} \times \left(\frac{(1+i)^n (i + p_{mnt}) - p_{mnt}}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (1)$$

onde:

C_{inv} = Investimento inicial por kVA (Tabela 2);

f = Interrupções anuais devidas aos afundamentos de tensão;

p_{prev} = Percentual de interrupções que são evitadas (Tabela 1);

$f \cdot p_{prev}$ = Interrupções anuais mitigadas;

C_{sag} = Custo de interrupção por afundamento por kVA;

p_{mnt} = Custos de manutenção por kVA por ano como um percentual de C_{inv} ;

i = Fator de desconto;

n = Tempo do projeto.

Introduzindo-se valores otimistas para um sistema de mitigação (por exemplo, $C_{inv} = 100$ euro/kVA, $p_{mnt} = 0$, $p_{prev} = 100\%$), esta fórmula pode ser usada para determinar se a redução das perdas por afundamento excederá o custo de qualquer um dos dispositivos de mitigação descritos.

Conclusões

Pode ser concluído que não há nenhum sistema que seja superior em todas as situações. Porém, algumas diretrizes podem ser oferecidas:

- Um DVR que não tem nenhum armazenamento de energia ou um injetor em série sem transformador são muito eficientes em custo. Se harmônicas e energia reativa também causam problemas, o motor síncrono ligado em paralelo também poderia ser considerado;
- Também foi mostrado que o percentual de paradas que é prevenido por uma certa solução depende de parâmetros diferentes e não pode ser previsto sem dados estatísticos sobre os afundamentos. Se todos os afundamentos e curtas interrupções tiverem que ser mitigadas, a única solução possível é a instalação de um volante ou um UPS estático.

Referências

[1] CENELEC, EN 50160, Nov 1999.

[2] Dugan, R; McGranaghan, M; Beaty, H: *Electrical Power Systems Quality*, Knoxville/USA: McGraw-Hill, 1996.

[3] EPRI, 'DPQ study final report', 1996.

[4] Beaulieu G et al, *Power quality indices and objectives for MV, HV and EHV systems CIGRE WG 36.07/CIREDD progress, CIREDD 2003.*

[5] Hingorani N, Gyugyi L, *Understanding FACTS*, Wiley IEEE Press, ISBN 0-7803-3455-8, 1999.

[6] van Zyl A, Spee R, Faveluke A, Bhowmik S, *Voltage sag ride-through for adjustable-speed drives with active rectifiers, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, pp 1270-1277, Nov/Dec 1998.*

[7] Didden M, Belmans R, D'haeseleer W, *Cost-benefit analyses of voltage sag mitigation methods in textile extrusion plants, European Transaction of Electrical Power Vol.13 No 2, Mar/Apr 2003.*

[8] Nelson B (AM Superconductor Corporation), *Improving power quality inside the fab voltage sag correction using shunt inverter technology and stored energy, Future Fab International, Issue 13, July 2002.*

In addition, manufacturers' published information has been used.

Referências & Membros Fundadores

| | | |
|---|--|---|
| European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org | ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es | LEM Instruments www.lem.com |
| Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl | Fluke Europe www.fluke.com | MGE UPS Systems www.mgeups.com |
| Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) www.citcea.upc.es | Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de | Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de |
| Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it | Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be | Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl |
| 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* www.pwr.wroc.pl |
| EPRI Solutions Inc www.epri.com/eprisolutions | Laborelec www.laborelec.com | |

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 |
| Jonathan Manson | Gorham & Partners Ltd | jonathanm@gorham.org |
| 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 |



Laborelec
Rodestraat 125
B-1630 Linkebeek
Belgium

Tel: 00 32 2 3820503
Fax: 00 32 2 3820241
Email: marcel.didden@laborelec.com
Website: www.laborelec.com

Dr ir Marcel Didden



Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128 - cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@eurocopper.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
e-mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org