

# Alternativas Tecnológicas para Mitigação de Afundamento e Interrupção Momentâneas de Tensão em Cargas Sensíveis do Sistema Elétrico de Potência

João Luis Reis e Silva  
Votorantim Metais Zinco S.A  
UGB-Engenharia de Manutenção & Utilidades  
Três Marias/MG-Brasil  
jolithp@yahoo.com

Luiz Carlos de Moura  
Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG  
Gerencia de Construções de LT e SE  
Belo Horizonte/MG-Brasil  
lucam@oi.com.br

**Resumo** — Distúrbios na rede elétrica causados principalmente por afundamentos e interrupções momentâneas de tensão representam a grande maioria dos problemas de qualidade de energia enfrentados por típicos consumidores industriais, que utilizam cada vez mais equipamentos sofisticados em seus processos de controle. Interrupções nos processos industriais causados por esses distúrbios podem gerar um alto prejuízo para esses consumidores. Muitos desses problemas podem ser mitigados com a adoção de tecnologias que melhoram a robustez dos equipamentos frente aos distúrbios elétricos. Esse trabalho apresenta algumas dessas alternativas tecnológicas destinadas à mitigação desses distúrbios em cargas sensíveis do sistema elétrico de potência.

**Palavras-chave:** Afundamento de tensão, interrupção momentânea de tensão, distúrbios elétricos, mitigação, ride-through, corretor dinâmico de tensão (DySC), qualidade de energia.

## I. INTRODUÇÃO

Perdas de produção nas indústrias ocasionadas por problemas de qualidade da energia possuem um impacto significativo na economia comercial, representando prejuízos anuais em torno de bilhões de dólares somente nos Estados Unidos.

Os eventos típicos de qualidade da energia responsáveis por estes prejuízos residem basicamente em eventos que acontecem em períodos de tempos da ordem de 6 a 10 ciclos e queda de tensão na ordem de 50% da tensão nominal. Tais eventos na sua maioria são classificados como afundamentos de tensão e interrupção momentânea de tensão.

A figura 1 ilustra um quadro onde é possível representar a susceptibilidade de diversas cargas de um sistema elétrico frente aos afundamentos de tensão.

O afundamento de tensão pode ser melhor compreendido observando o histograma tridimensional da figura 2 que caracteriza os principais tipos de afundamentos de tensão durante uma amostragem anual de eventos.

Na grande maioria das vezes o trabalho para eliminar as ocorrências dos afundamentos de tensão requer grandes

investimentos no setor elétrico, o que direciona a solução para a forma da mitigação destes afundamentos nas principais cargas utilizando tecnologias apropriadas que serão abordadas na seqüência de desenvolvimento deste trabalho.

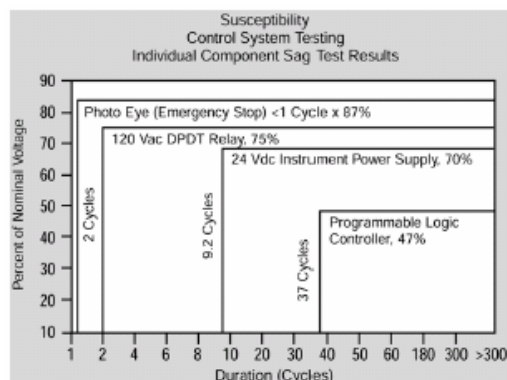


Figure 1. Susceptibilidade de diversas cargas de um sistema elétrico frente aos afundamentos de tensão.

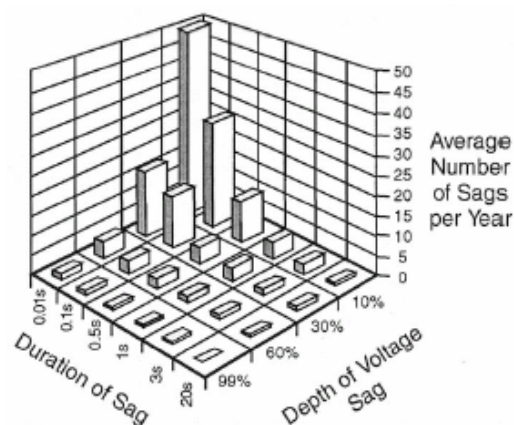


Figure 2. Histograma tridimensional para as características de afundamento de tensão.

## II. TECNOLOGIAS PARA MITIGAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

### A. Causas do afundamento de tensão

Problemas de natureza física na rede de distribuição tornam inevitável a ocorrência de afundamentos e interrupções de tensão, apesar dos esforços adotados pelas concessionárias de energia elétrica. Condições do tempo, galhos de árvores ou contato de animais, e falhas na isolamento ou atividade humana, podem criar faltas fase-terra ou fase-fase e mais raramente faltas trifásicas. Um relativamente pequeno número de consumidores próximo da falta irá perceber um afundamento severo de tensão seguido de uma interrupção quando ocorre a operação do religador da concessionária. Entretanto a grande maioria dos consumidores conectados em outros alimentadores irá perceber um afundamento de tensão com a amplitude determinada pela distância do consumidor ao ponto de falta. A duração do afundamento será determinada pelos tempos de operação da proteção e dos dispositivos de manobra tais como: disjuntores, religadores, chaves fusíveis. Esses consumidores estarão isolados pela presença de vários transformadores entre a falta e os consumidores. A presença dos transformadores, com suas respectivas impedâncias, é que irão diminuir a profundidade do afundamento visto pela maioria dos consumidores.

### B. Sensibilidade de cargas industriais frente aos afundamentos de tensão

Fonte de alimentação chaveada, relés de controle industrial (PLC's), contadores, solenóides, acionamentos a velocidade variável (ASD's), retificadores, computadores entre outros, são exemplo de cargas sensíveis às variações de tensão de curta duração. A indústria de semicondutores através do padrão SEMI F47 e o ITIC (Information Technology Industry Council) reconheceram a vulnerabilidade frente à afundamentos de tensão, e os custos relacionados ao usuário final. Diante disso esses órgãos têm publicado curvas de magnitude e duração para a tensão de alimentação que os equipamentos deveriam seguir. O IEEE recentemente desenvolveu uma ferramenta que ajuda usuários de equipamento, a avaliar o custo financeiro do afundamento de tensão.

## III. TECNOLOGIAS PARA MITIGAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Este capítulo tem como principal objetivo apresentar diversas tecnologias de mitigação dos efeitos de afundamento e interrupção momentânea de tensão em cargas sensíveis de um sistema elétrico padrão. Para cada tecnologia apresentada são expostas as vantagens e desvantagens da utilização frente às limitações e particularidades da carga presente no sistema elétrico em estudo.

### A. UPS – Uninterruptible Power Supply

Os sistemas de armazenamento de energia a base de baterias proporcionam uma solução ride-through através da operação de comutação entre a fonte de tensão principal e a fonte de tensão fornecida pela bateria. Na detecção de um distúrbio elétrico, um circuito isola a carga alimentando-a com a energia armazenada pela bateria. A figura 3 mostra a configuração típica de um UPS on-line. Nesse projeto a carga é continuamente alimentada através da UPS.

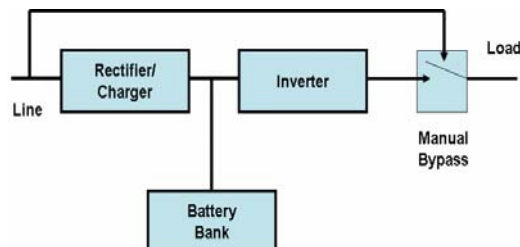


Figure 3. UPS - diagrama funcional

A tensão alternada da rede é retificada e na forma contínua carrega o banco de baterias. A energia armazenada nas baterias na forma DC é transformada em alternada através do inversor que então alimenta a carga. Na ocorrência de um distúrbio na alimentação alternada da UPS, o inversor alimenta a carga continuamente através do banco de baterias. Além de prover ride-through para interrupções na rede elétrica, a UPS consegue uma alta isolamento para as cargas críticas de todos os tipos de distúrbios presentes na rede elétrica. A especificação de uma UPS deve conter além da sua capacidade em kVA, a regulação estática e dinâmica de tensão, o nível de distorção harmônica (THD) na corrente de entrada e na tensão de saída, o nível de proteção contra surtos e a atenuação de ruído. Também deve estar presente a autonomia do banco de baterias frente a uma interrupção na tensão de alimentação.

Vantagens:

- Um dos mais baixos custos de armazenamento de energia;
- Sistema de fácil aquisição e instalação;
- Proporciona uma solução ride-through para os afundamentos de tensão de grande amplitude e duração.

Desvantagens:

- Vida útil entre 2 a 5 anos com uma forte necessidade de monitoramento e exigências de manutenção;
- Menor confiabilidade de operação comparada com os principais dispositivos do sistema elétrico.

## B. Banco de Capacitores

O banco de capacitor adicional representa uma tecnologia de mitigação de afundamento de tensão na medida em que ele é inserido em um barramento DC de um típico ASD (Adjustable-speed driver). A função deste banco de capacitor é suprir energia adicional para o motor durante um evento de afundamento de tensão, mantendo a tensão dentro de limites aceitáveis.

O cálculo do banco de capacitor adicional (C) é obtido em função da potência do motor/carga ( $P_o$ ), do tempo do afundamento de tensão ( $t_r$ ) e das tensões nominal ( $V_{dc}$ ) e mínima do barramento ( $V_{dc-trip}$ ).

As formulações a seguir ilustram o cálculo:

$$I_{dc} = \frac{P_o * 746}{V_{dc}} \quad (1)$$

$$t_{r \approx} \frac{C * (V_{dc} - V_{dc,trip})}{I_{dc}} \quad (2)$$

$$C = \frac{I_{dc} * t_r}{V_{dc} - V_{dc-trip}} \quad (3)$$

onde:

$$V_{dc} = 1,35 * V_{LL} \quad (4)$$

$V_{LL}$  : tensão de linha



Figure 4. Foto ilustrativa de um banco de capacitor

Vantagens:

- Solução simples e robusta garantindo um ride-through para pequenos distúrbios;

Desvantagens:

- Custo de implementação relativamente elevado;
- Necessidade de painel com grande espaço para os capacitores.
- Adicional circuitos de pré-carga e de segurança operacional.

## C. Contatores de Corrente Contínua

Uma solução bastante simples para mitigação de afundamentos de tensão reside na substituição de contatores de corrente alternada por contatores de corrente contínua. Nos contatores de corrente contínua o fluxo magnético é constante devido a corrente dc que percorre a bobina. Esta propriedade possibilita um acúmulo maior de energia nas bobinas durante um afundamento de tensão.

A substituição de contatores ac por dc em motores elétricos possibilita uma solução ride-through para afundamentos de tensão menores que 80% da tensão nominal. O conceito de corrente dc em bobinas magnéticas também pode ser estendido para relés de controle.

Para implementar a solução com contatores e relés dc, uma fonte retificadora deverá ser utilizada para a conversão ac-dc, assim como um pequeno banco de capacitores também poderá ser empregado em paralelo com a bobina para aumentar a energia e conseqüentemente prolongar o tempo de ride-through.

As vantagens no uso de contatores e relés dc residem no preço e na facilidade de implementação desta solução. A grande desvantagem deve-se ao fato de que nos contatores dc o arco elétrico durante a abertura da bobina é mais intenso, causando maior desgaste nos contatos.

## D. SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage System

O dispositivo SMES pode ser utilizado para mitigar afundamentos de tensão bem como interrupções momentâneas. A energia disponível em um sistema SMES é proveniente da energia elétrica armazenada na corrente fluindo em uma bobina supercondutora. Desde que a bobina não apresente perdas, a energia pode ser liberada quase instantaneamente. Através de um banco de inversor e regulador, essa energia é entregue ao sistema a ser protegido em menos de um ciclo para compensar a tensão faltosa durante o sag. O ciclo de recarga é tipicamente menor que 90 s. A figura 4 mostra um sistema SMES típico. Ele consiste de uma bobina supercondutora, regulador de tensão, banco de capacitores, conversor dc-dc, contatores dc, modulo de inversão, sensores e dispositivos de controle e um transformador de injeção serie. A bobina supercondutora é formada de Niobium Titanium (NbTi) e um sistema de refrigeração que mantém a temperatura em aproximadamente

4.2 kelvin (k). O material magnético pode armazenar uma energia da ordem de 3 megajoules (3MJ). O subsistema inversor consiste de 6 pontes monofásicas. Um típico sistema SMES pode proteger cargas até 8 MVA com tensões tão baixa quanto 0,25 pu.

Vantagens:

- Sistema confiável;
- Requer pouca manutenção;
- Um sistema SMES pode conviver com operações de cargas e descargas rápidas sem comprometer sua performance e vida útil.

Desvantagens:

- Hardware e espaços adicionais são necessários;
- Um sistema de refrigeração avançado é necessário para manter as baixas temperaturas para o supercondutor;
- Custo elevado para implantação.

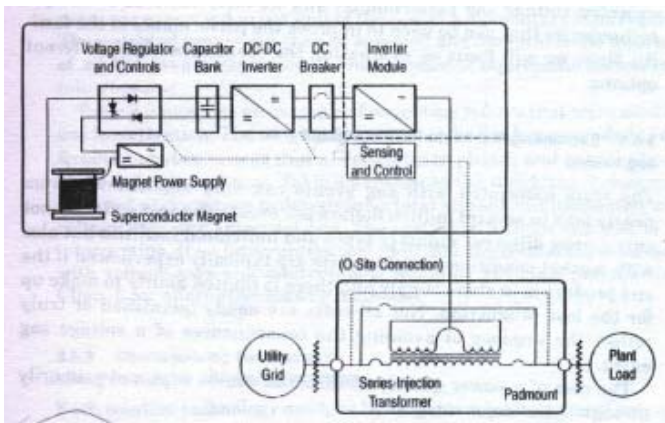


Figure 5. Diagrama funcional de um regulador de tensão utilizando o SMES como elemento armazenador de energia.

### E. Flyweels – Energia girante

Numa máquina elétrica, pode-se acumular energia cinética nas suas partes girantes. Assim, é possível extrair energia do rotor, de forma eficiente, mesmo quando a tensão do sistema cai a valores muito baixos. Recentemente a literatura tem apresentado exemplos de armazenadores do tipo flyweels, que se utilizam deste princípio. De maneira geral, estes sistemas baseiam-se na energia armazenada em volantes de inércia com massa pequena e girando a velocidades muito elevadas ou volantes com massa elevada girando a velocidades baixas. Um moderno sistema de energia flywheel utiliza flyweels de alta velocidade e eletrônica de potência para obter capacidades de ride-through entre 10 s e 2 min. Enquanto um sistema motor-gerador (M-G) opera em um ambiente aberto e está sujeito a perdas por fricção aerodinâmicas, os sistemas flyweels operam no vácuo e empregam rolamentos magnéticos que reduzem as perdas substancialmente. O desenvolvimento de matérias

compostos à base de fibras de vidro e carbono tem permitido a confecção de volantes de inércia de grandes dimensões, capazes de operar a velocidades de 60 000 rpm (com velocidade tangencial de 1 km/s) tornando a densidade de energia competitiva com outros dispositivos de armazenamento, tais como baterias químicas, supercapacitores e SMES. O sistema com um DVR (compensador dinâmico para afundamento de tensão) utilizando um armazenador de energia do tipo flywheel pode ser visto na figura 5. Os componentes principais podem ser identificados: conversor de acoplamento com a rede elétrica; elo CC; conversor de acionamento da MRV; máquina de relutância variável; e o flywheel.

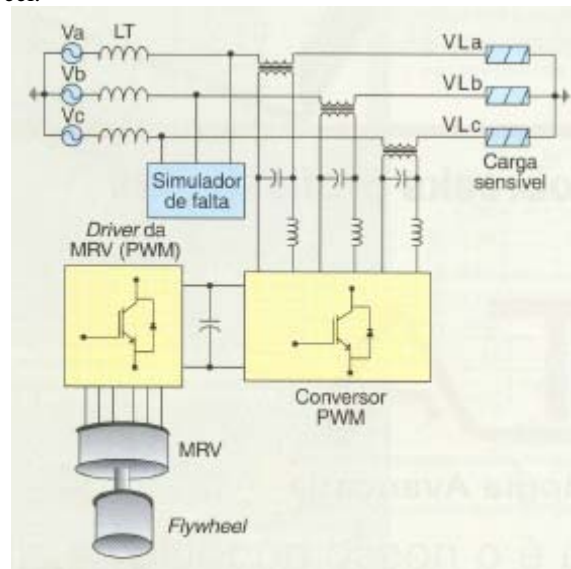


Figure 6. Compensador série com Flywheel

Vantagens:

- Suporta uma solução ride-through para afundamentos de tensão de grande severidade e também de interrupções;
- O tamanho e a massa do sistema é reduzido quando comparado com a solução para o motor-gerador.

Desvantagens:

- Hardware e espaços adicionais são necessários;
- Um programa de manutenção para o sistema da roda livre é necessário.

### F. Controlador de Tensão Série – DVR

- Princípio básico de operação

O controlador de tensão série consiste em um conversor de tensão montado em série com a fonte de tensão do sistema, como mostrado na figura 6.

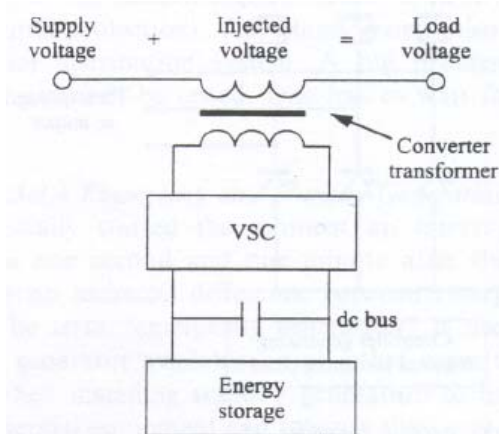


Figure 7. Controlador série de tensão – diagrama básico

O bloco VSC indicado na figura acima representa um conversor de tensão composto de dispositivos eletrônicos de potência (GTO, IGBT) que podem gerar uma tensão senoidal com qualquer frequência, amplitude e ângulo de fase. A figura 7 mostra a estrutura de um VSC.

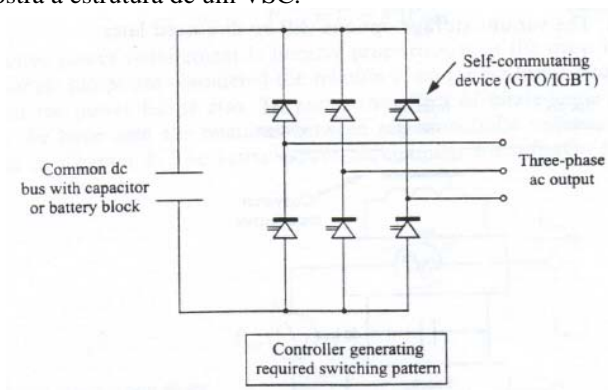


Figure 8. VSC – Conversor de fonte de tensão trifásico.

A tensão nos terminais da carga é igual a soma da tensão da fonte com a tensão do controlador ou seja:

$$V_{load} = V_{cont} + V_{sys}$$

A figura 8 ilustra o diagrama simplificado com as tensões envolvidas no controlador série.

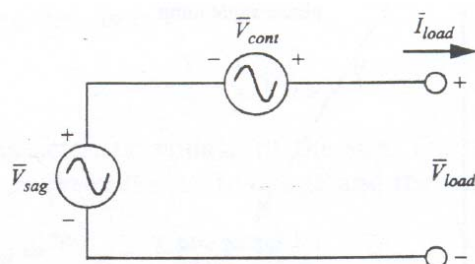


Figure 9. Diagrama do circuito com o sistema de potência, controlador série e a carga.

Um transformador é utilizado para conectar o controlador ao sistema. A tensão de saída do controlador é obtida através de uma modulação PWM (pulse width modulation). Uma fonte de armazenamento de energia é necessária, uma vez que o controlador precisa fornecer à carga tanto potência ativa quanto reativa. O termo DVR (Dynamic Voltage Restorer) é mais comumente usado do que o nome “controlador de tensão série. Nos DVR’s atualmente comercializados, grandes bancos de capacitores são usados com a função de armazenadores de energia. Outros armazenadores de energia tais como: banco de baterias, bobinas supercondutoras (SMES) e flywheels podem ser utilizados. A capacidade do DVR de proteger a carga sensível, está relacionada com a amplitude e duração d sag, bem como a quantidade de energia armazenada.

• Avaliação da potência ativa do DVR

A potência ativa que ser gerada pelo DVR é igual a diferença entre a potência ativa absorvida do sistema e a potência ativa consumida pela carga, ou seja:

$$P_{cont} = P_{load} - P_{sys} \quad (1)$$

Adotando-se as seguintes ponderações:

$$V_{load} = 1 + j0 \rightarrow \text{tensão na carga é igual a 1 pu}$$

$$I_{load} = \cos \Phi - j \sin \Phi \rightarrow \text{corrente na carga é igual a 1 pu com FP} = \cos \Phi$$

$$V_{sag} = V \cos \varphi - jV \sin \varphi \rightarrow \text{tensão do sag } V \text{ e salto de fase } \varphi$$

Temos que a potência drenada pela carga durante o afundamento é:

$$P_{load} + jQ_{load} = V_{load} * I_{load}^* = \cos \Phi + j \sin \Phi$$

A potência complexa tomada do sistema é:

$$P_{sys} + jQ_{sys} = V_{sag} * I_{load}^* = V \cos(\Phi + \varphi) + jV \sin(\Phi + \varphi)$$

Reescrevendo a equação (1) em função da potência da carga e do sistema, temos que a potência do controlador é:

$$P_{cont} = \left[ 1 - \frac{V \cos(\Phi + \varphi)}{\cos \Phi} \right] * P_{load}$$

Assumindo um afundamento de tensão sem salto de fase, ou seja,  $\varphi = 0$ , temos que a potência ativa requerida pelo controlador é:

$$P_{cont} = [1 - V] * P_{load}$$

Conclui-se através da expressão anterior que a potência ativa requerida do controlador é diretamente proporcional à queda na tensão nominal ou seja à severidade do sag.

Através da equação anterior é possível estimar a potência necessária para o dimensionamento do transformador série e do VSC. O projeto de um DVR que protege a carga contra

afundamentos de até 50 % da tensão nominal deve possuir um transformado com metade da potência da carga, ou seja, para uma carga de 1MVA deve-se ter um transformador de 0,5 MVA, aproximadamente.

- Avaliação da faixa de tensão do DVR

O valor da faixa de alcance da tensão do DVR determina a máxima tensão que pode ser injetadas e consequentemente o máximo sag para o qual a carga encontra-se protegida. É possível cobrir toda a faixa de afundamentos pela escolha de um controlador com uma faixa de tensão muito ampla. Entretanto o número de sags diminui com o aumento da severidade deles e o custo do DVR aumenta quando aumentamos a faixa de tensão. Os controladores série atualmente em uso têm uma faixa de cobertura de 50 % ou seja, protegem as cargas para afundamentos de até 50 % da tensão nominal. A figura 9 ilustra bem a situação descrita acima.

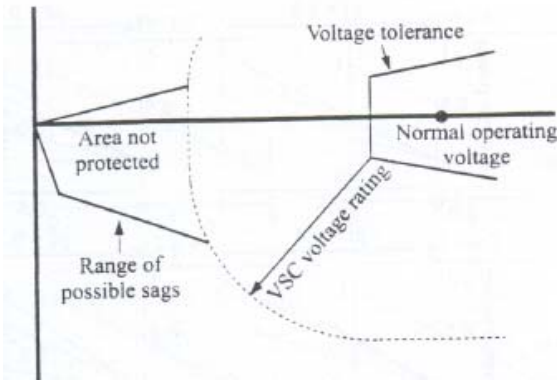


Figure 10. Parte do plano complexo de tensão protegido por um DVR com indicação da faixa (rating) de tensão.

A figura 10 apresenta as formas de onda de tensão a montante e jusante de um DVR durante a ocorrência de um afundamento de tensão. Nota-se que o equipamento funciona como esperado mantendo a tensão na carga regulada.

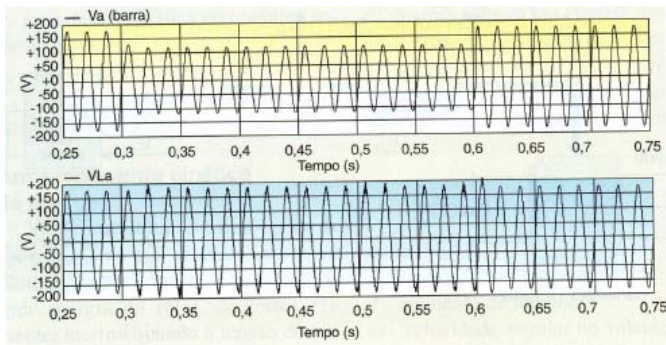


Figure 11. Tensão antes e depois do DVR durante a ocorrência de um sag.

Vantagens:

- O custo para a correção de tensão inferior quando comparado com a tecnologia UPS de mesma faixa de potência;
- Possibilita proteger a carga da influência de harmônicos na rede.
- Maior confiabilidade quando comparado com o sistema UPS.

Desvantagens:

- Não possibilita uma solução ride-through para interrupções momentâneas de tensão.
- Necessita de um caminho de baixa impedância à montante do DVR, de forma a permitir a circulação de corrente.
- Necessidade de espaço físico considerável para o transformador série.

G. DySC – Dynamic Sag Corretor

O DySC é a mais recente solução disponível no mercado para mitigação de afundamento de tensão, que consiste em um dispositivo série/shunt híbrido que protege cargas sensíveis de afundamentos de tensão e de interrupções momentâneas. Com valores nominais que variam de 250 VA a mais de 3000 kVA, o DySC pode ser aplicado no ponto de utilização da carga sensível dentro de uma planta, ou até mesmo dentro do equipamento sensível. O DySC atinge e excede as exigências da norma SEMI F47, conforme mostra a figura 11. A tecnologia empregada no DySC é baseada nos dispositivos de compensação série ativa. Esse dispositivos injetam uma tensão (boost) em série com a tensão remanescente do sistema durante um afundamento de tensão. Um diagrama básico, mostrando os dispositivos eletrônicos que são utilizados para se obter a compensação, é mostrado na figura 12. Quando um distúrbio é detectado na tensão de entrada, uma chave eletrônica abre e a potência é suprida através da eletrônica conectada em série. Esse circuito adiciona ou subtrai um sinal de tensão da tensão de entrada da rede de modo que a tensão de saída permaneça dentro de um valor aceitável durante o distúrbio.

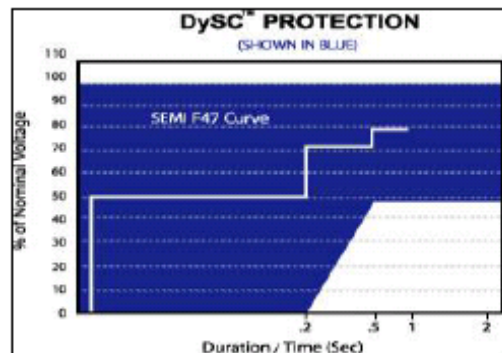


Figure 12. Norma SEMI F47 e a faixa de proteção do DySC (em azul).

A chave eletrônica atua de forma muito rápida de forma que o distúrbio visto pela carga seja menor que um quarto de ciclo de duração. Essa atuação é rápida o suficiente para evitar problemas com quase todos os tipos de cargas sensíveis.

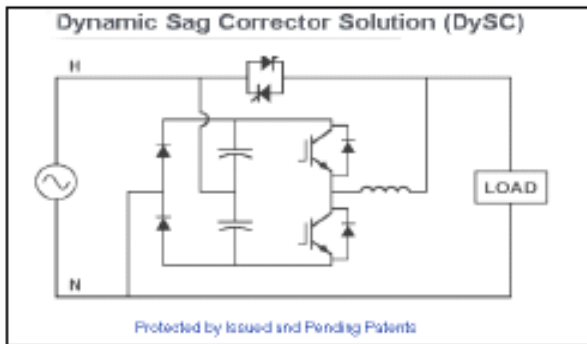


Figure 13. Diagrama básico do DySC.

No caso de um afundamento de até 50% da tensão nominal, o DySC pode, em princípio prover 100% da tensão de alimentação indefinidamente sem qualquer sistema de armazenamento de energia significativo e sem o transformador série do DVR. No caso de uma interrupção, o DySC provê de 3 a 12 ciclos de suporte de tensão, limitada pela quantidade de energia armazenada nos capacitores da barra de corrente contínua.

Vantagens:

- O custo de um DySC está abaixo das alternativas tecnológicas existentes;
- Não é necessário o uso de transformador;
- Não é necessária a utilização de grandes armazenadores de energia.

Desvantagens:

- Não é projetado para suportar interrupções momentâneas de tensão.
- Proporciona uma solução ride-through para afundamentos acima de 50%;

#### H. Uso da inércia da carga

O software de controle do inversor (ASD) pode ser modificado de forma que na ocorrência de um distúrbio que cause a queda na tensão do barramento CC abaixo de um valor especificado, o inversor irá ajustar a frequência ligeiramente abaixo da frequência do motor, fazendo o motor atuar como gerador. O inversor irá absorver uma pequena quantidade de energia da massa girante de forma a manter a tensão do barramento CC dentro de limites especificados. Acionamentos comerciais já estão disponíveis no mercado com essa característica, como é o caso do inversor da WEG modelo CFW 09. O objetivo da função ride-through parametrizável nesse equipamento em modo vetorial, é fazer com que o inversor mantenha o motor girando durante a falta de rede, sem interrupção a memorização de falha. A energia necessária

para a manutenção do conjunto em funcionamento é obtida da energia cinética do motor (inércia) através da desaceleração do mesmo. No retorno da rede o motor é reaccelerado para a velocidade definida pela referência de velocidade. A figura 13 mostra o perfil da tensão no barramento CC durante a ocorrência de um afundamento ou interrupção momentânea de tensão.

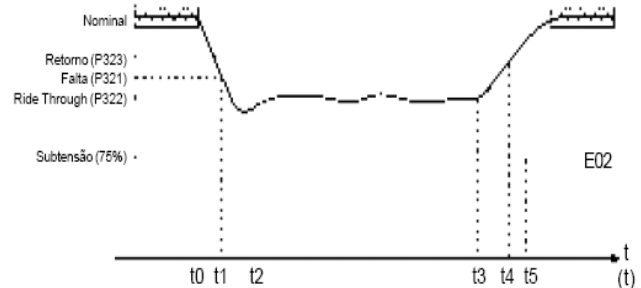


Figure 14. Atuação da função Ride-Through em modo vetorial.

Após a falta de rede ( $t_0$ ), a tensão do link CC ( $U_d$ ) começa a diminuir segundo uma taxa dependente da condição de carga do motor, podendo atingir o nível de subtensão ( $t_2$ ) se a função Ride-through não estiver operando. O tempo necessário para que isto ocorra, típico para carga nominal, é da ordem de 5 a 15ms. Com a função ride-through ativa, a falta de rede é detectada quando a tensão  $U_d$  cai abaixo do valor “ $U_d$  falta de rede” ( $t_1$ ). Imediatamente o inversor inicia a desaceleração controlada do motor, regenerando a energia

- ☑  $t_0$  – Falta de rede;
- ☑  $t_1$  – Detecção da falta de rede;
- ☑  $t_2$  – Atuação da Subtensão (E02 sem Ride-Through);
- ☑  $t_3$  – Retorno da rede;
- ☑  $t_4$  – Detecção do retorno da rede;
- ☑  $t_5$  – Atuação da Subtensão (E02 com Ride-Through);

para o link CC de modo a manter o motor operando com a tensão  $U_d$  regulada no valor “ $U_d$  Ride-Through”. Caso a rede não retorne, o conjunto permanece nesta condição o maior tempo possível (dependendo do balanço energético) até a ocorrência da subtensão (E02 em  $t_5$ ). Se a rede retornar ( $t_3$ ) antes da ocorrência da subtensão, o inversor detecta o retorno da mesma quando a tensão  $U_d$  atinge o nível “ $U_d$  retorno rede” ( $t_4$ ). O motor é então reaccelerado, seguindo a rampa ajustada, desde o valor corrente de velocidade até o valor definido pela referência de velocidade ativa.

Vantagens:

- Nenhum hardware adicional é necessário, somente a modificação do software do inversor;
- Inversores comerciais estão disponíveis no mercado com essa característica com 2 s de ride-through para afundamentos para 80 % da tensão nominal.

#### Desvantagens:

- A velocidade do motor é reduzida e o torque revertido, o que é aceitável para cargas do tipo ventilador e bomba, mas não aceitável para outros tipos de carga.
- A duração da capacidade de ride-through irá depender da inércia da carga acoplada ao eixo do motor.

#### IV. CONCLUSÃO

As tecnologias para mitigação do afundamento e interrupção momentânea de tensão apresentadas anteriormente, são uma pequena amostra da variedade de soluções que podem ser adotadas para tais tipos de problemas. A escolha do método adequando irá depender, entre outros aspectos, dos seguintes pontos: potência da carga, severidade e duração do afundamento de tensão que se quer proteger. Os avanços nas áreas de eletrônica de potência e microprocessadores têm permitido o aparecimento de várias tecnologias para o acondicionamento de energia e sistemas de proteção. Experiências realizadas, principalmente nos EUA, têm demonstrado a eficiência técnica e a viabilidade econômica da aplicação de algumas dessas tecnologias no controle e mitigação de afundamentos de tensão.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bollen, M. H. J., "Understanding Power Quality Problems – Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press Series on Power Engineering, 543p, 1999, New York.
- [2] A. von Jouanne, P. N. Enjeti, "Assessment of Ride-Through Alternatives for Adjustable-Speed Drives," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, NO. 4, pp. 908-916, July-August. 1999.
- [3] D. Ezer, R. A. Hanna, J. Penny, "Active Voltage Correction for Industrial Plants" IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 38, NO. 6, pp. 1641-1646, November-December. 2000.
- [4] W. E. Brumsickle, R. S. Schneider, G. A. Luckjiff, D. M. Divan, M. F. Mcgranaghan, "Dynamic Sag Correctors: Cost-Effective Industrial Power Line Conditioning" IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 37, NO. 1, January-February. 1999.
- [5] C. J. Melhorn, A. Braz, P. Hofmann, R. J. Mauro, "An Evaluation of Energy Storage Techniques for Improving Ride-Through Capability for Sensitive Customers on Underground Networks" IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 33, NO. 4, July- August. 1997.
- [6] D. Divan, F. R. Garcia, A. C. Naves, "Uma Análise Comparativa entre as Principais Tecnologias existentes e a Nova Tecnologia DYSC para correção de Problemas Causados pelos Afundamentos de Tensão em Processos Industriais" VI SBQEE, agosto. 2005.
- [7] M. MacGranaghan, C. Melhorn, "Economics of Different Plant Ride-Through Improvement Solutions for Power System Problems". (Incompleta)
- [8] "Voltage Sag Ride-Through Mitigation in Sequence by Increasing Cost". (Incompleta)
- [9] Dugan, R.C, Mcgranaghan, M.F, Santoso, S., Beaty, H.W, "Electrical power System Quality", McGraw-Hill, 528p, 2002
- [10] "Inversores de Freqüência CFW 09 – Manual do Usuário", WEG, 282p, 2003.