

Avaliação de Desempenho do Restaurador Dinâmico de Tensão (DVR) na Compensação de Afundamentos e Elevações de Tensão

D. M. F. de Jesus e M. I. Samesima

Resumo - O presente artigo descreve o estudo do desempenho de algumas topologias de DVR na mitigação de afundamentos e elevações de tensão [1], comparando a atuação de três opções de configuração através de simulações computacionais em plataforma SABER.

Palavras-Chave - Restaurador Dinâmico de Tensão (DVR), Qualidade da Energia Elétrica, Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD), Custom Power.

I. INTRODUÇÃO

As preocupações com os diversos assuntos relacionados à Qualidade da Energia Elétrica têm sido cada vez mais comuns às empresas de energia e aos consumidores em geral, e vêm assumindo importância destacada nos cenários nacional e internacional. Tais preocupações são voltadas para a ocorrência de distúrbios elétricos capazes de comprometer o desempenho e a vida útil de equipamentos e dispositivos, além de afetar ou interromper variados processos industriais. Desses distúrbios, as VTCDs (Variações de Tensão de Curta Duração) são consideradas as que mais causam prejuízos aos consumidores, tendo como principais vítimas as indústrias. Com isso, já existe na literatura técnica uma série de metodologias de prevenção e variados dispositivos de atenuação dos efeitos das VTCDs. Destes dispositivos, destaca-se o Restaurador Dinâmico de Tensão (DVR – *Dynamic Voltage Restorer*) que é um compensador estático série avançado aplicado à distribuição de energia elétrica e que representa hoje o que há de mais moderno na mitigação de VTCDs classificadas como afundamentos e elevações de tensão, mostrando ser uma ótima aplicação para consumidores com potência total na faixa de 100 kW a 10 MW [2]. Existe hoje, na literatura técnica internacional, uma série de publicações que comprovam a eficiência do restaurador dinâmico de tensão na compensação de afundamentos de tensão em sistemas de distribuição. Porém, poucas pesquisas foram publicadas comparando as variadas possibilidades de topologia de suprimento de energia ao DVR [3], uma vez que a grande maioria destes estudos considera apenas uma dessas configurações.

II. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DVR

Na sua configuração mais simples, o DVR possui um inversor VSI-PWM associado a um circuito de controle, um capacitor conectado ao lado CC do inversor e um transformador de acoplamento conectando o inversor em série com o sistema CA, conforme mostrado na fig. 1.

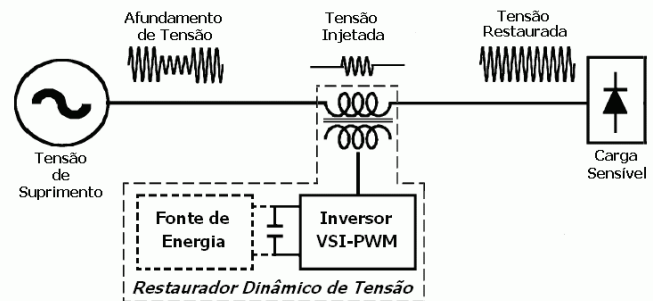


Fig. 1. Princípio de funcionamento e elementos básicos que compõem o restaurador dinâmico de tensão.

Durante a ocorrência do distúrbio, o restaurador dinâmico de tensão injeta a diferença entre a tensão desejada para a carga e a tensão remanescente do sistema, restabelecendo, assim, a amplitude da tensão pré-distúrbio.

O capacitor, que é o armazenador de energia do DVR, simula uma fonte de tensão em corrente contínua.

Para proceder à compensação, o inversor VSI-PWM absorve a energia armazenada no capacitor para sintetizar uma tensão a ser injetada no sistema através do transformador série.

Dependendo da topologia do DVR, pode ou não existir uma fonte de energia suprindo o capacitor para a melhoria do seu desempenho durante o distúrbio e para recarregá-lo ao término do mesmo, conforme é ilustrado na fig. 1. Essa fonte de energia pode ser o próprio sistema, outro sistema independente, através da conexão de um conversor CA-CC, ou até uma fonte de armazenagem de energia.

Apesar de existirem poucos estudos publicados, pode-se afirmar que o tipo de topologia de suprimento de energia influi significativamente no desempenho do DVR na compensação de afundamentos e elevações de tensão.

A. Sistema de Controle do DVR

O princípio básico de funcionamento do controle de um restaurador dinâmico de tensão é a medição da grandeza controlada, que, quando comparada com o respectivo valor de

Daniel M. F. de Jesus trabalha na Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A., na Unidade de Negócios da Bahia (e-mail: danielmfs@petrobras.com.br).

Milton I. Samesima é professor titular na Universidade Federal de Uberlândia (e-mail: samesima@ufu.br).

referência, produz um sinal de erro. Através de uma estratégia de compensação específica, esse erro é reduzido até a sua completa extinção. O tempo necessário para a extinção desse erro, ou para a completa mitigação do distúrbio, é o fator que determina a eficiência não só do sistema de controle, mas de todo o conjunto que compõe o DVR.

São várias as filosofias de compensação de distúrbios adotadas para o DVR, sendo que as mais comumente utilizadas exclusivamente para a mitigação de afundamentos e elevações de tensão são as que usam controle vetorial associado a um PLL (*phase locked loop*). A fig. 2 mostra o diagrama de blocos dessa filosofia, correspondendo ao sistema de controle utilizado nas simulações computacionais deste trabalho [1,4].

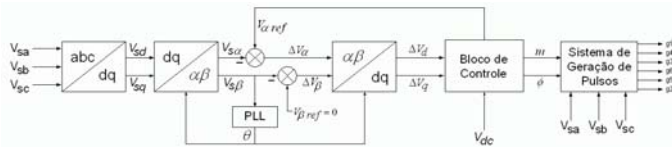


Fig. 2. Diagrama de blocos do sistema de controle do DVR, dotado de PLL (*Phase Locked Loop*).

Para a detecção e a imediata mitigação do distúrbio, o sistema de controle descrito na figura 2 converte as tensões do sistema a montante do transformador série (V_{sa} , V_{sb} e V_{sc}) em componentes estacionárias (V_{sd} e V_{sq}) e depois converte as mesmas em componentes síncronas ($V_{s\alpha}$ e $V_{s\beta}$). Estas últimas são comparadas, respectivamente, com as componentes síncronas de referência da carga ($V_{\alpha ref}$ e $V_{\beta ref}$) e as diferenças entre elas (ΔV_d e ΔV_q) são convertidas em componentes estacionárias (ΔV_d e ΔV_q) e enviadas para o bloco de controle, que também recebe um sinal relativo ao nível de tensão CC do capacitor. De posse dessas informações, o controle calcula um fator de modulação m e um ângulo ϕ e os envia para o sistema de geração de pulsos, de onde saem os pulsos necessários ao disparo das chaves na ponte inversora do DVR, concretizando a mitigação do distúrbio.

III. TIPOS DE TOPOLOGIAS DE DVR

Durante a mitigação do distúrbio elétrico, pode haver a troca tanto de energia ativa quanto reativa do DVR para o sistema. Porém, para que haja fluxo de potência ativa do dispositivo para o sistema, é necessário que o mesmo tenha um suprimento de energia conectado ao capacitor em corrente contínua, como ilustrado na fig. 1. Esse suprimento de energia pode ser feito através de armazenadores de energia, da própria rede sob distúrbio ou, até mesmo, de sistemas elétricos independentes. Tais topologias de suprimento de energia ao DVR variam em desempenho, complexidade, custo de aquisição e custo operacional.

O suprimento de energia ao capacitor CC através da própria rede onde o DVR está instalado, resulta da conexão de um conversor CA/CC, que pode ser ligado a montante do transformador série, ou a jusante do mesmo.

Quando o suprimento de energia é feito através de outro sistema elétrico, é preferível que o mesmo seja independente da rede onde se encontra o DVR. Caso contrário, dependendo da origem do afundamento de tensão, o suprimento de energia

poderá sofrer os mesmos efeitos do sistema com DVR. Como é bastante incomum a existência de duas redes elétricas vizinhas completamente independentes entre si, tal configuração de DVR não foi considerada nas simulações computacionais.

Sistemas de armazenamento de energia, tais como as baterias, os volantes de inércia (*flywheel*) e os sistemas supercondutores (SMES), podem ser utilizados no suprimento de energia ao barramento CC de um DVR. Essa topologia apresenta-se bastante eficiente na mitigação de afundamentos de tensão severos. Contudo, apresenta como desvantagem, dentre outras, elevados custos associados à aquisição e à manutenção do sistema de armazenamento de energia. Por isso, essa topologia também não foi abordada nas simulações computacionais.

As três topologias consideradas nas simulações são ilustradas na fig. 3 a seguir.

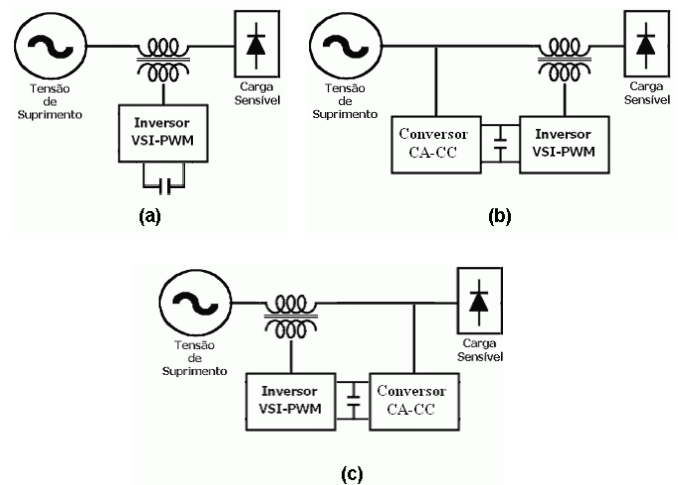


Fig. 3. Topologias de suprimento de energia ao DVR: (a) sem suprimento adicional, (b) com suprimento à montante do transformador série e (c) com suprimento à jusante do transformador série.

A. Suprimento de Energia sem Fonte Adicional

De todas as topologias de DVR, essa pode ser considerada a mais simples, uma vez que não possui sistema auxiliar para fornecimento de energia ao barramento CC, resultando em um menor número de componentes e um princípio de funcionamento de mais fácil compreensão. Como toda a energia necessária à mitigação fica armazenada no capacitor, esse arranjo possui o inconveniente de precisar de valores relativamente maiores de capacitância e/ou de tensão no barramento CC, em decorrência da necessidade de altos níveis de energia armazenada [5].

Logo após o término do distúrbio, o restabelecimento do nível de tensão CC pode ser promovido pelo próprio inversor, através de trocas estratégicas de energia com o sistema ou através de outras fontes de energia.

Considerando a relação $V_{r(pu)}$ entre a tensão remanescente do sistema durante a ocorrência de um afundamento de tensão, V_r , e a tensão nominal da carga sensível, V_{nom} , conforme a equação (1),

$$V_{r(pu)} = \frac{V_r}{V_{nom}} \quad (1)$$

a potência nominal do inversor VSI-PWM para essa topologia, S_{serie} , é expressa pela equação a seguir [3]:

$$S_{serie} = |1 - V_{r(pu)}| \cdot S_L = V_{DVR(pu)} \cdot S_L \quad (2)$$

Onde:

S_L = Potência nominal da carga sensível

$V_{DVR(pu)}$ = Tensão injetada pelo DVR, em pu

B. Suprimento de Energia através da Própria Rede, à Montante do Transformador Série

Pode-se dizer que essa topologia também possui uma tensão CC não-controlável durante o distúrbio, uma vez que, na ocorrência de um afundamento ou elevação de tensão, a tensão do barramento CC varia de acordo com a tensão da rede.

Tomando os valores de pico das grandezas elétricas da carga como referência e considerando um afundamento de tensão trifásico para um valor $V_{r(pu)}$, os níveis apropriados de potência nominal que os conversores série (inversor VSI-PWM) e shunt (retificador de 6 pulsos) devem possuir são, respectivamente [3]:

$$S_{serie} = |V_{DVR(pu)}| \quad (3)$$

$$S_{shunt} = \frac{|V_{DVR(pu)}|}{|V_{r(pu)}|} \quad (4)$$

As correntes não-senoidais demandadas pelo retificador são capazes de provocar distorções harmônicas de tensão que, dependendo da situação, podem ser prejudiciais ao funcionamento das cargas ligadas ao sistema.

C. Suprimento de Energia através da Própria Rede, à Jusante do Transformador Série

Essa configuração de DVR apresenta muita eficiência na mitigação de afundamentos de tensão [3]. Como o barramento CC desta topologia está conectado entre o transformador série e a carga sensível, a tensão de entrada do retificador é praticamente a mesma daquela dos terminais da carga sensível, o que equivale dizer que se trata de uma tensão constante ou com pequenas variações, uma vez que esta é prontamente restaurada na ocorrência de distúrbios. Como conseqüência, a tensão do barramento CC também será praticamente constante ou terá uma pequena redução do seu valor, representando uma topologia com tensão CC controlável durante o distúrbio. Com isso, os valores de potência nominal a serem adotados pelos conversores série e shunt são idênticos, e expressos pela equação a seguir [3]:

$$S_{serie} = S_{shunt} = \frac{|V_{DVR(pu)}|}{|V_{r(pu)}|} \quad (5)$$

Também análogo à topologia anterior, as correntes não-

senoidais demandadas pelo retificador podem provocar distorções de tensão prejudiciais ao pleno funcionamento das cargas sensíveis.

IV. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Como citado anteriormente, as três topologias simuladas correspondem às descritas na fig. 3. As simulações computacionais utilizaram um sistema elétrico radial e consideraram a ocorrência de afundamentos e elevações de tensão com altos graus de severidade.

O software utilizado nesses estudos é o simulador Saber, que utiliza uma variada biblioteca de componentes elétricos, eletroeletrônicos e eletromecânicos, modelados no domínio do tempo através da linguagem Mast.

Para realização das simulações propostas, utilizou-se o sistema elétrico apresentado na fig. 4, o qual é composto por uma fonte (concessionária) que alimenta dois conjuntos de cargas industriais, possuindo um deles conexão com o restaurador dinâmico de tensão. A concessionária de energia possui uma potência de 300 MVA, a carga industrial, 20 MVA e a carga sensível, 8 MVA. O fator de potência de ambas as cargas foi de 0,92 indutivo.

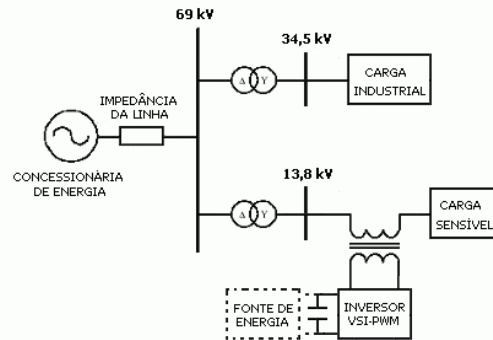


Fig. 4. Diagrama unifilar do sistema elétrico simulado

Apesar da referência [1] demonstrar que, para uma mesma aplicação, cada uma delas pode requisitar dimensionamentos distintos dos seus elementos, tais diferenciações não foram aqui completamente implementadas. Com isso, todas as vantagens e desvantagens relativas das topologias ficam mais evidenciadas, evitando que haja um comprometimento na comparação dos desempenhos. Com isso, certos elementos do DVR apresentaram características idênticas nas três topologias, e outros distintos entre si, como se segue:

- **Barramento CC:** O nível de tensão operacional adotado para o barramento CC nas três topologias, correspondente ao valor de pico da tensão de 13,8 kV, foi de 19,516 kV, e o valor de capacitância, 75 mF.

- **Inversor de Frequência:** Os valores da potência do inversor para as três topologias foram calculados a partir das equações (2), (3) e (5). A frequência de chaveamento dos inversores das três topologias foi de 6 kHz.

- **Transformador Série:** A relação de transformação adotada nas três topologias foi de 1:1, correspondente à relação considerada mais apropriada e mais freqüentemente referida na literatura técnica. A potência nominal do transformador série de cada topologia foi determinado como o dobro da

potência do respectivo inversor, analogamente ao que ocorre nos projetos de DVRs comercialmente disponíveis [5].

- **Conversor CA-CC:** As duas topologias que necessitam de conversor CA-CC foram simuladas considerando um retificador de 6 pulsos não-controlado com potências nominais calculadas através das equações (4) e (5).

Para avaliar o desempenho relativo das topologias, as simulações foram feitas considerando a ocorrência de afundamentos e elevações de tensão de variadas magnitudes e durações. Serão apresentados os resultados obtidos na mitigação de um afundamento de tensão trifásico equilibrado para 0,5 pu, com 0,5 segundo de duração. Esse distúrbio foi usado como referência para o dimensionamento dos elementos citados anteriormente.

A. Topologia 1: Suprimento Sem Fonte Adicional de Energal

A fig. 5 ilustra o desempenho da topologia 1 na plena restauração da tensão durante o afundamento de tensão, mostrando os níveis de tensão de linha V_{ab} à montante do transformador série (tensão sob distúrbio) e à jusante do mesmo (tensão restaurada), além de ilustrar a variação da tensão V_{cc} do barramento de corrente contínua. No instante de início do distúrbio, a tensão do barramento CC é de aproximadamente 18650 V, reduzindo para o nível aproximado de 10000 V no instante de término do distúrbio.

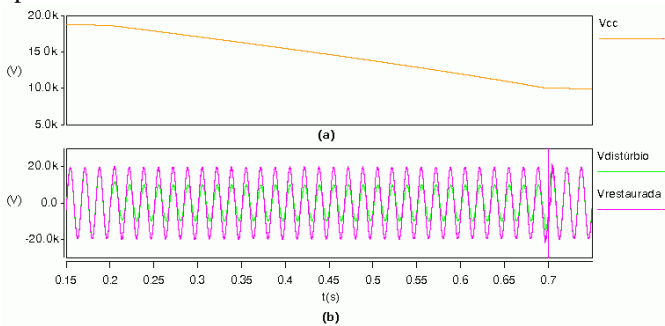


Fig.5. Topologia 1: (a) Tensão no barramento CC e (b) Tensões de linha à montante do transformador série (tensão sob distúrbio) e à jusante do mesmo (tensão restaurada), na ocorrência de um afundamento de tensão

B. Topologia 2: Suprimento à Montante do Transformador Série

A fig. 6 ilustra o desempenho da topologia 2 na plena restauração da tensão durante o afundamento.

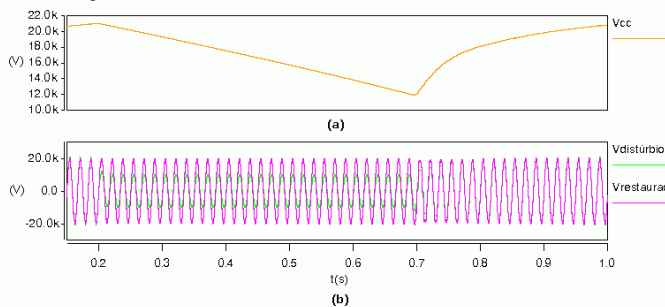


Fig.6. Topologia 2: (a) Tensão no barramento CC e (b) Tensões de linha à montante do transformador série (tensão sob distúrbio) e à jusante do mesmo (tensão restaurada), na ocorrência de um afundamento de tensão

Comparando a fig. 5 com a fig. 6, nota-se que na topologia 2 não houve transitório oscilatório de tensão ao término do afundamento. Tal situação foi proporcionada pela conexão do

capacitor CC ao sistema CA, através do retificador, acarretando em um amortecimento desse transitório.

A fig. 7 mostra as correntes da linha “a” do alimentador de 13,8 kV que vem da fonte, à montante do retificador, que entra no retificador e que chega à carga protegida.

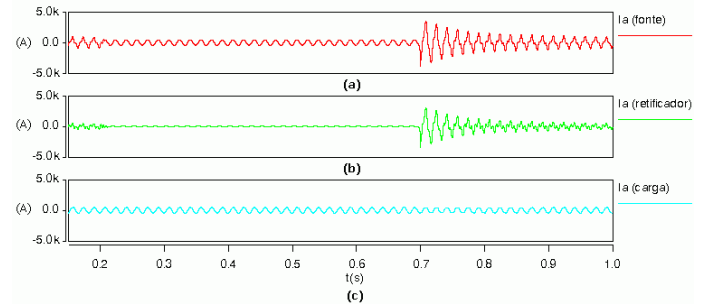


Fig. 7. Topologia 2: Correntes da linha “a” que: (a) vem da fonte a montante do retificador, (b) que entra no retificador não-controlado de 6 pulsos e (c) que chega na carga, na ocorrência de um afundamento de tensão

A fig. 7(b) mostra que, durante toda a ocorrência do afundamento de tensão, a corrente de entrada do retificador é praticamente nula. A partir do início do afundamento, a tensão do barramento CC passa a ter um nível inferior à tensão de pico remanescente do sistema (tensão sob distúrbio), fazendo com que os diodos do retificador fiquem inversamente polarizados, bloqueando assim a passagem de corrente através deles e evitando que o barramento CC seja prontamente re-carregado. No instante de término do distúrbio, correspondente ao instante em que as tensões de pico do sistema à montante do transformador série ficam maiores do que a tensão no barramento CC, as correntes na entrada do retificador se elevam devido ao re-carregamento do capacitor CC. Com o passar do tempo, as amplitudes das correntes na entrada do retificador se reduzem gradativamente, estabilizando os seus níveis no momento em que o capacitor se carrega completamente.

C. Topologia 3: Suprimento à Jusante do Transformador Série

A fig. 8 ilustra o desempenho da topologia 3 na plena restauração da tensão durante o afundamento.

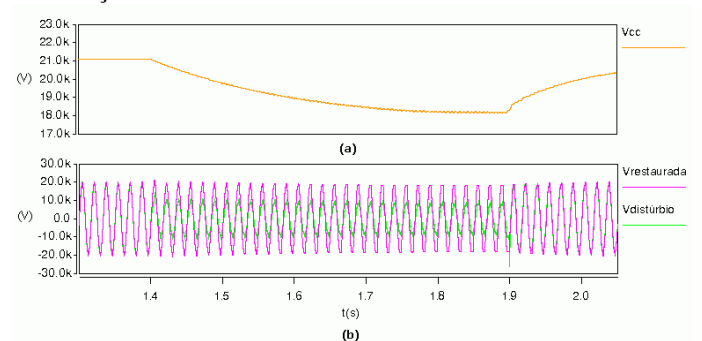


Fig.8. Topologia 3: (a) Tensão no barramento CC e (b) Tensões de linha à montante do transformador série (tensão sob distúrbio) e à jusante do mesmo (tensão restaurada), na ocorrência de um afundamento de tensão

A fig. 8 mostra que, apesar do barramento CC estar conectado ao sistema sob distúrbio à jusante do transformador série, essa condição não foi suficiente para garantir uma completa estabilização da tensão CC, já que houve uma

redução do seu nível durante a mitigação do distúrbio. Entretanto, essa variação de tensão foi significativamente inferior às variações apresentadas pelas topologias 1 e 2 na compensação desse mesmo distúrbio elétrico. A conexão do barramento CC ao sistema oportunizou o re-carregamento imediato do capacitor CC ao término do distúrbio.

Apesar de ocorrer um pequeno transitório na tensão à montante do transformador série ao término do afundamento de tensão, o mesmo não foi transferido para a tensão restaurada. Tal situação foi proporcionada pela conexão do capacitor do barramento CC ao sistema CA, através do retificador, acarretando em um amortecimento da oscilação transitória da tensão ao término do distúrbio.

A fig. 9 mostra as correntes da fase “a”, da linha de 13,8 kV, que vem da fonte, à montante do retificador de 6 pulsos, que entra no retificador de 6 pulsos não-controlado e que chega na carga protegida.

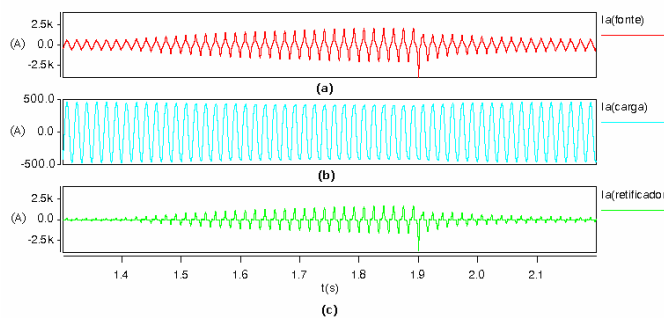


Fig. 9. Topologia 3: Correntes da linha “a” que: (a) vem da fonte a montante do retificador, (b) que chega na carga, na ocorrência de um afundamento de tensão e (c) que entra no retificador não-controlado de 6 pulsos

Através da análise do gráfico 9(c), conclui-se que, a partir do início do afundamento de tensão, o barramento CC passa a demandar maiores níveis de correntes na rede, necessários ao suprimento de energia ao inversor de frequência para que haja a sintetização e injeção das tensões complementares da restauração. Como o nível da tensão de pico remanescente do sistema (tensão sob distúrbio) é sempre inferior ao nível de tensão CC, o suprimento de energia ao capacitor é sempre contínuo e crescente durante a compensação do distúrbio.

D. Comparação de Desempenho das Topologias

Através da análise do desempenho das três topologias consideradas, é possível se fazer uma comparação entre as mesmas, avaliando diferentes características e parâmetros operativos do DVR, como descrito na tabela 1.

TABELA I
COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS TOPOLOGIAS DE DVR:
(1°) MELHOR DESEMPENHO, (2°) DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO E (3°)
DESEMPENHO INFERIOR.

Parâmetro	Topologia 1	Topologia 2	Topologia 3
Afundamentos de tensão duradouros	3°	2°	1°
Afundamentos de tensão severos	3°	2°	1°
Elevações de tensão	3°	2°	1°
Variação de tensão no	3°	2°	1°

barramento CC			
Geração de distorção harmônica de tensão	1°	2°	3°
Oscilação transitória na tensão restaurada	3°	2°	1°
Picos de correntes no retificador	NA*	2°	1°
Potências nominais do inversor e transformador	1°	1°	3°
Potência nominal do retificador	NA*	1°	2°

* Não se aplica a essa topologia de DVR

Baseando-se apenas na tabela 1, conclui-se que a melhor topologia não poder ser completamente determinada. Mas muitas diferenças podem ser notadas entre as três configurações de DVR consideradas.

Apesar da topologia 3 gerar maiores custos referentes à aquisição de elementos de maiores potências, tal configuração apresenta o melhor desempenho na compensação de afundamentos e elevações de tensão.

A conexão do barramento CC da topologia 2 com o sistema sob distúrbio só servirá para que haja o imediato re-carregamento do capacitor CC ao término do distúrbio, não auxiliando portanto no aprimoramento da capacidade da topologia durante a compensação.

Apesar da topologia 1 ser a configuração de DVR com menos elementos associados, ela nem sempre representa a opção menos onerosa. Segundo as referências [3, 5], como a topologia 1 pode requerer níveis de tensão e capacitância CC relativamente altos, tal característica pode representar maiores custos de aquisição.

Os níveis de distorção harmônica de tensão gerados pelas topologias 2 e 3 não foram significativos ao ponto de comprometer a aplicabilidade dessas configurações [1].

O desempenho geral das topologias na compensação das elevações de tensão foi bastante elevado. Como durante a ocorrência da elevação de tensão há o carregamento do barramento CC, independente do tipo de topologia, a compensação desse distúrbio não chega a ser crítica para o restaurador dinâmico de tensão. Contudo, o desempenho da topologia 3 foi ligeiramente superior ao da topologia 2, que por sua vez foi ligeiramente superior ao da topologia 1. Maiores detalhes destas simulações estão descritos na referência [1].

V. CONCLUSÕES

A análise comparativa do desempenho das topologias de DVR deve ser feita considerando não somente a habilidade na compensação dos distúrbios elétricos, mas também suas características operativas e seus custos de aquisição e manutenção.

Dessa forma, a configuração de DVR a ser adotada corresponderá à que apresentar a menor relação custo/benefício, apesar de nem todos os parâmetros poderem ser facilmente mensurados do ponto de vista econômico. Essa análise deve ser feita considerando também as características da rede elétrica e dos distúrbios ocorridos e os impactos que causam em equipamentos e processos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jesus, D. M. F. “Avaliação de Desempenho do Restaurador Dinâmico de Tensão Frentes aos Afundamentos e Elevações de Tensão”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Agosto, 2006.
- [2] *IEEE Recommended Practice on Monitoring Electric Power, IEEE Standard 1159*, 1995.
- [3] Nielsen, J. G., Blaabjerg, F., “A Detailed Comparison of System Topologies for Dynamic Voltage Restorers”, IEEE Transaction of Industry Applications, September/October 2005.
- [4] Martins, W. K. A. G., “Modelagem e Análise de Desempenho de Compensadores Estáticos Avançados no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Julho, 2002.
- [5] SILVA, S. M., “Estudo e Projeto de um Restaurador Dinâmico de Tensão”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.

VII. BIOGRAFIA



Daniel Maia Fonseca de Jesus nasceu em Salvador, Bahia, Brasil em 29 de março de 1979.

Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal da Bahia em 2002.

Concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica, com linha de pesquisa voltada para Qualidade da Energia Elétrica, na Universidade Federal de Uberlândia, em 2006.

Atuou em diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados para as concessionárias de energia e em alguns projetos de eficiência energética.

Atualmente trabalha na Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A., atuando na Divisão de Construção e Montagem do Ativo de Produção Norte da Unidade de Negócios da Bahia.



Milton Itsuo Samesima nasceu em Ipuã, São Paulo, Brasil em 18 de agosto de 1952.

Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia em 1977.

Concluiu a Especialização (1980), o Mestrado (1984) e o Doutorado (1990) em Engenharia Elétrica, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP.

Tem experiência nas áreas da Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: Qualidade da Energia Elétrica, Harmônicas em sistemas elétricos, Variações de Tensões de Curta Duração.

Atua e atuou em diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento(P&D) para diversas concessionárias de energia e em projetos de eficiência energética. Possui inúmeras publicações em congressos e revistas nacionais e internacionais.

Atualmente é professor titular da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.