



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 11 7608
Tópico: Modelagem e Simulações

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS PARA AUMENTO DE SUPORTABILIDADE DE UM SISTEMA DE ACIONAMENTO À VELOCIDADE VARIÁVEL DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO SOB AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

CLAUDIO M.C. BRITO

UFC

RUTH P.S. LEÃO

RESUMO

Este artigo analisa o efeito de sete diferentes tipos de afundamentos de tensão sobre o sistema de proteção de um acionamento de velocidade variável (AVV) de um motor de indução trifásico. Um programa desenvolvido no MATLAB gera afundamentos de tensão simétricos e assimétricos que são aplicados ao AVV modelado no Simulink/MATLAB. A corrente e a tensão no elo CC do AVV foram analisadas a fim de estabelecer seus limites de tolerância. Técnicas para aumento da tolerância do AVV aos afundamentos de tensão são avaliadas. Resultados de testes em laboratório e de simulação são apresentados.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de energia elétrica, afundamentos de tensão, motor de indução trifásico, acionamento de velocidade variável.

1.0 INTRODUÇÃO

Um afundamento de tensão é uma redução rápida no valor eficaz da tensão, igual ou superior a 10% e inferior a 90%, da tensão nominal, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto [1]. Os afundamentos de tensão estão presentes em qualquer sistema elétrico e em todos os níveis de tensão; seus efeitos podem acarretar desde o mais simples piscar de relógio digital até prejuízos vultosos decorrentes de paralisação de negócios e processos industriais. Os

afundamentos de tensão são, em geral, causados por faltas e partida de grandes motores.

O crescente interesse no estudo de afundamentos de tensão deve-se, principalmente, ao aumento, a partir dos anos 1970, da utilização de equipamentos eletrônicos, a exemplo dos computadores, nos vários setores da economia, e dos acionamentos de velocidade variável (AVV) - no inglês, *Adjustable Speed Drive* (ASD) - no setor industrial, os quais são equipamentos muito sensíveis a variações de tensão de curta duração. Estudos mostram que afundamentos de tensão com magnitude entre 70 e 90% e duração entre 3 e 30 ciclos respondem pela grande maioria dos desligamentos de acionamentos de velocidade variável [2].

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos simplificado de um AVV trifásico. A tensão da fonte trifásica é retificada, em geral, por uma ponte a diodo de seis pulsos; a tensão retificada é mantida praticamente constante, com *ripple* que depende da capacitância C no elo CC, sendo invertida por um conversor CC-CA de ponte completa, com chaves semicondutoras controladas à alta frequência. A indutância L limita as variações abruptas de corrente, decorrentes do carregamento do capacitor, e reduz as distorções harmônicas na corrente de alimentação fornecida pela fonte.

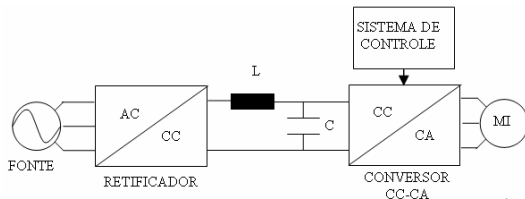


Figura 1- Esquema simplificado de um AVV.

O AVV normalmente não sofre danos ao ser submetido a afundamentos de tensão, no entanto pode sofrer desligamento devido à atuação de relés de subtensão e de sobrecorrente ou à operação indevida de seu sistema de controle, provocando uma interrupção no processo produtivo no qual está inserido.

Este artigo apresenta o resultado de um estudo com testes realizados em laboratório e de simulação. Os parâmetros de um motor de indução de 0,25 hp, 220 V, 60 Hz, 4 pólos foram obtidos em testes de laboratório e utilizados na modelagem do motor do AVV, representado no Simulink/MATLAB. Os testes foram realizados em plena carga, para avaliar o comportamento da tensão no elo CC e da corrente de alimentação do AVV sob afundamentos de tensão e assim permitir um ajuste adequado do seu sistema de proteção contra subtensão e sobrecorrente. Técnicas para elevar a tensão no elo CC, para melhoria da suportabilidade do AVV a afundamentos de tensão, são propostas e analisadas.

2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Os afundamentos de tensão considerados no estudo são nomeados de A, B, C, D, E, F, e G cuja disposição fasorial é apresentada na Figura 2. O tipo A é causado por faltas simétricas e partida de grandes motores trifásicos e os demais por faltas assimétricas [3]. A Tabela 1 apresenta as equações das tensões fasoriais em pu para cada tipo de afundamento. O valor assumido por h define a magnitude e o ângulo de abertura das tensões para cada tipo de afundamento e varia entre zero e um (0 ≤ h ≤ 1).

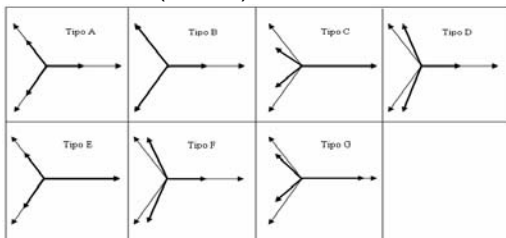


Figura 2. Diferentes Tipos de Afundamentos de Tensão.

TABELA 1. Representação Matemática para cada Tipo de Afundamento de Tensão

<p>Tipo A</p> $V_a = h$ $V_b = -\frac{1}{2}h - j\frac{\sqrt{3}}{2}h$ $V_c = -\frac{1}{2}h + j\frac{\sqrt{3}}{2}h$	<p>Tipo B</p> $V_a = h$ $V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$
<p>Tipo C</p> $V_a = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}h$ $V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}h$	<p>Tipo D</p> $V_a = h$ $V_b = -\frac{1}{2}h - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2}h + j\frac{\sqrt{3}}{2}$
<p>Tipo E</p> $V_a = 1$ $V_b = -\frac{1}{2}h - j\frac{\sqrt{3}}{2}h$ $V_c = -\frac{1}{2}h + j\frac{\sqrt{3}}{2}h$	<p>Tipo F</p> $V_a = h$ $V_b = -\frac{1}{2}h - j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)$ $V_c = -\frac{1}{2}h + j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)$
<p>Tipo G</p> $V_a = \frac{1}{3}(2+h)$ $V_b = -\frac{1}{6}(2+h) - j\frac{\sqrt{3}}{2}h$ $V_c = -\frac{1}{6}(2+h) + j\frac{\sqrt{3}}{2}h$	

3.0 SUPORTABILIDADE DO ACIONAMENTO DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Foram realizados ensaios em laboratório para traçar as curvas de tolerância do AVV para três tipos de afundamentos de tensão, A, B e E, gerados por uma fonte de distúrbio. As curvas foram comparadas à SEMI F47, do instituto norte-americano EPRI, que estabelece, basicamente, para equipamentos eletrônicos com dispositivos semicondutores, uma tolerância a afundamentos de tensão para 50% por 200 ms, 70% por 500 ms e 80% por 1000 ms. O resultado é mostrado na Figura 3.

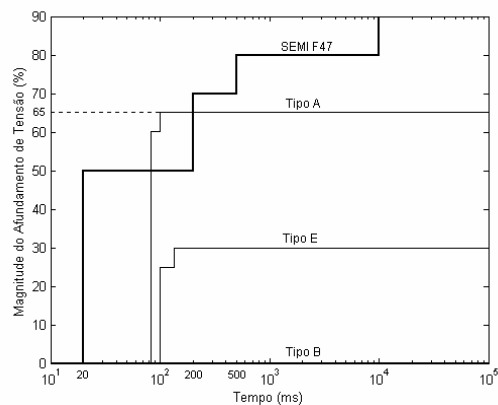


Figura 3. Curvas de tolerância do AVV.

3.1 Limite de tensão suportável

É possível encontrar, baseado nas curvas de tolerância do AVV para os afundamentos de tensão do tipo A e E da Figura 3, e utilizando o diagrama de simulação do AVV, mostrado na Figura 4, o limite de tensão média suportável no

elo CC para o qual a proteção contra subtensão atua, caso o AVV seja submetido aos sete tipos classificados de afundamentos de tensão. Na Figura 3, pode ser verificado que ensaios com afundamentos de tensão do tipo A e E, para 65 e 30%, respectivamente, com duração de 12 ciclos, foram suficientes para estabelecer limites de tensão no elo CC, pois as curvas se mantêm constantes para esses afundamentos com duração de até um minuto.

A modelagem do AVV, mostrada na Figura 4, considerou um retificador de 6 pulsos, um

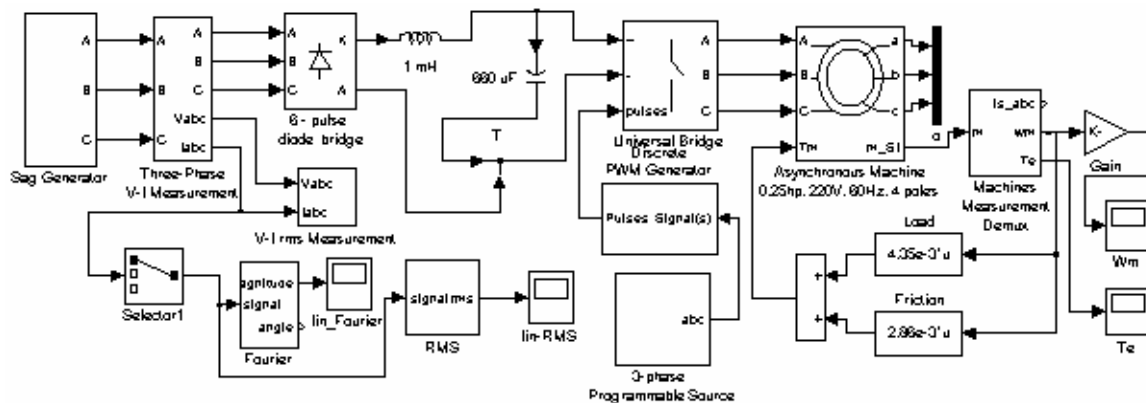


Figura 4. Diagrama de simulação do AVV no Simulink/MATLAB.

O bloco *Sag Generator* captura os sinais de tensão fase-neutro gerados por um programa no MATLAB. Os blocos *Load* e *Friction* referem-se à relação existente entre o torque da carga (um gerador CC com excitação independente alimentando uma carga resistiva de 80 Ω) e o torque associado à fricção do motor, respectivamente. Ambos os torques são proporcionais à velocidade do motor de indução. O bloco *3-phase Programmable Source* define o ganho do sinal da moduladora, enquanto o bloco *Pulses Signal(s)* define a frequência do sinal da portadora do conversor CC-CA representado pelo bloco *Universal Bridge Discrete*. O bloco *Fourier* permite a análise de Fourier do sinal de entrada.

A tensão remanescente no elo CC, após o descarregamento do capacitor, dependerá da característica da curva de maior tensão fase-fase retificada, durante o afundamento de tensão.

A Figura 5 mostra que, para os afundamentos de tensão do tipo A e E para 65 e 30%, respectivamente, com duração de 12 ciclos (200 ms), a tensão média no elo CC é de aproximadamente 0,65 pu, sendo este, portanto, o limite de tensão suportável do AVV, para o qual a proteção contra subtensão atuou no ensaio em laboratório (ver Figura 3). Para o afundamento do

conversor CC-CA com três braços ou ramos, com 6 chaves ideais e frequência de chaveamento de 2,5 kHz, um capacitor de 660 μF e uma indutância de 1 mH. O valor da capacitância foi obtido diretamente do AVV utilizado no laboratório (dois capacitores de 330 μF em paralelo). A indutância e a frequência de chaveamento foram estabelecidas por meio de comparação entre os resultados obtidos por meio de ensaios em laboratório e de simulação.

tipo B, com $h=0$, a tensão média no elo CC permanece próxima ao seu valor de regime permanente, pois existe uma tensão fase-fase (tensão V_{bc} , segundo a Tabela 1) que garante uma tensão de saída no retificador próxima de 1 pu. O aumento do *ripple* da tensão retificada contribui para a diminuição do valor médio da tensão CC durante o afundamento. Para $h=0$, os afundamentos de tensão do tipo C, D e F não provocam o desligamento do AVV pela atuação de sua proteção contra subtensão, pois a magnitude da tensão média no elo CC, em pu, fica acima do limite de tensão suportável. Para $h=0,22$ o afundamento do tipo G reduz a tensão no elo CC para o limite de tensão suportável. Portanto, para o AVV estudado, somente os afundamentos de tensão do tipo A, E e G são capazes de provocar um desligamento por subtensão no elo CC.

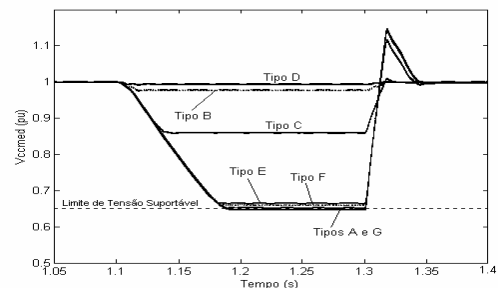


Figura 5. Tensão média no elo CC para afundamentos de tensão do tipo A com $h=0,65$, tipos B, C, D e F com $h=0$, tipo E com $h=0,3$ e tipo G com $h=0,22$, para 65, 0 e 30%, respectivamente, durante 12 ciclos.

A Tabela 2 apresenta o sumário dos valores mínimos de h para os quais existe uma tolerância do AVV ao afundamento de tensão. Para quaisquer valores de h , os afundamentos de tensão do tipo B, C, D e F não causam desligamento do AVV pela atuação do relé de subtensão.

TABELA 2. Afundamentos de tensão com valores mínimos de h suportados pelo AVV.

Tipo	A	B	C	D	E	F	G
h	0,65	0	0	0	0,30	0	0,22

3.2 Limite de corrente suportável

A Figura 6 mostra a maior elevação de corrente do AVV sob afundamentos de tensão de A a G, durante 12 ciclos. O limite de corrente suportável foi considerado igual a 1,5 pu. De uma forma geral, o desligamento do AVV ocorre para uma corrente eficaz acima de 1,2-1,5 pu [4]. Pode ser verificado que, para $h=0$, embora não haja um desligamento pela atuação da proteção contra subtensão, para os afundamentos de tensão do tipo B, C e D, ocorreria a atuação da proteção contra sobrecorrente. Somente o afundamento de tensão do tipo A não faz atuar a proteção contra sobrecorrente. Para evitar um desligamento do AVV para quaisquer severidades de afundamentos de tensão, a proteção contra sobrecorrente deve ser ajustada para 2 pu.

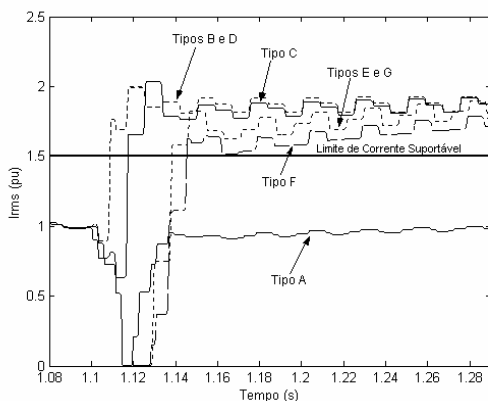


Figura 6. Maior elevação de corrente do AVV para afundamentos de tensão do tipo A com $h=0,9$, tipos B, C e D com $h=0$, tipos E e G com $h=0,7$ e tipo F com $h=0,7$, durante de 12 ciclos.

4.0 MITIGAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

A mitigação de afundamentos de tensão consiste de técnicas utilizadas para reduzir os efeitos dos

afundamentos sobre o AVV. As principais técnicas existentes elevam a tensão no elo CC para valores acima do limite de tensão suportável.

4.1 Mitigação regenerativa

A mitigação regenerativa consiste em aproveitar a energia cinética das partes móveis do motor de indução para transformá-la em energia elétrica que será armazenada no capacitor no elo CC. A Figura 7 mostra como funciona o método regenerativo, analisando curvas de torque-velocidade nas frequências de 50 e 60 Hz em regime permanente.

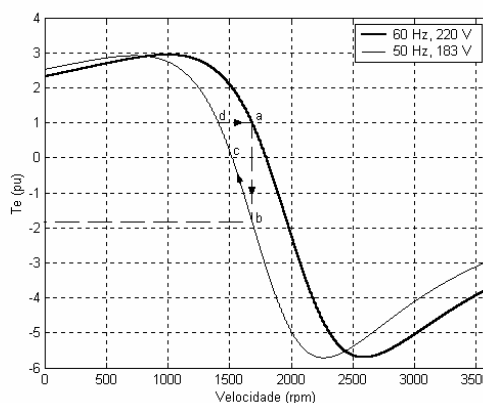


Figura 7. Curvas de torque-velocidade do MI com variação de frequência e tensão de alimentação para manter o fluxo magnético constante.

O motor funciona na frequência de 60 Hz e tensão fase-fase de 220 V e, subitamente, passa a operar com 50 Hz e 183 V. A relação entre tensão e frequência é mantida constante para que o fluxo magnético por pólo não sofra alteração. No ponto "a" da curva de torque-velocidade, o motor opera em regime permanente, alimentado por 220 V e 60 Hz, com velocidade de 1686 rpm e torque eletromagnético de 1 pu (valor de base, 1,36 N.m). Como o motor não pode mudar sua velocidade instantaneamente (devido à inércia), passa então a operar no ponto "b", na nova curva de torque-velocidade, alimentado por uma tensão fase-fase de 183 V e uma frequência de 50 Hz, com um torque negativo de aproximadamente -1,8 pu. Por ser o torque negativo, a velocidade do motor é reduzida muito rapidamente, até atingir o ponto "d", onde novamente o motor passa a operar com o torque de regime permanente de 1 pu. O deslocamento, na curva de torque-velocidade para 50 Hz, do ponto "b" para o ponto "c", constitui o processo regenerativo, em que a energia cinética do motor é convertida em energia elétrica e transferida para o elo CC do

AVV, configurando o funcionamento do motor como um gerador assíncrono [5].

A técnica de mitigação regenerativa é muito útil principalmente em processos produtivos não contínuos, tais como processos que utilizam ventiladores, em que a pequena variação de velocidade não compromete o desempenho da produção na qual estão inseridos. Ações de velocidade variável podem ser encontrados no mercado com capacidade de manter a tensão no elo CC em seu valor de regime permanente por 2 segundos, para afundamentos de tensão com magnitude acima de 80% [4].

Uma pequena modificação no diagrama do AVV da Figura 4 permite que, um ciclo após a aplicação de um afundamento de tensão, quando a tensão média no elo CC atinge 90% de seu valor de regime permanente, a frequência do sinal da moduladora, aplicado ao conversor CC-CA, seja alterada para um valor menor que 60 Hz, reduzindo, desta forma, a velocidade do motor. A Figura 8 mostra o comportamento da tensão no elo CC ao ser o AVV submetido a um afundamento do tipo A para 65% durante 12 ciclos, para 4 diferentes frequências.

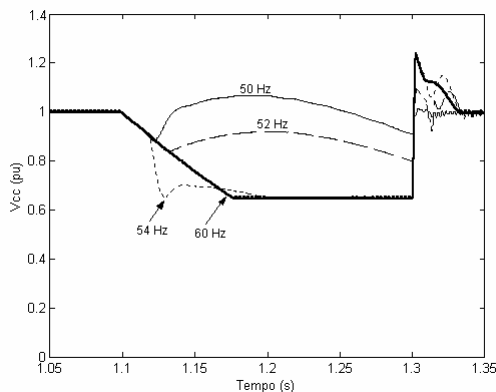


Figura 8. Tensão no elo CC com conversor CC-CA controlado para diferentes frequências, com AVV sob afundamento do tipo A para 65% e duração de 12 ciclos.

As frequências menores (50 e 52 Hz) conseguem uma elevação maior de tensão no elo CC durante o afundamento, sustentando uma tensão maior que 0,65 pu (limite de tensão suportável) durante todo o distúrbio. Uma grande desvantagem da mitigação regenerativa é a ocorrência, no instante da modificação da frequência de alimentação do motor, da inversão do torque, conforme mostra Figura 7, que não somente reduz a velocidade do motor, mas que também pode estressá-lo dinamicamente.

4.2 Mitigação por adição de neutro

A mitigação com adição de neutro, proposta por Raju [6], consiste em conectar, por meio de uma chave controlada, o neutro da fonte de alimentação em estrela (Y) ao ponto em comum existente entre capacitores conectados em série no elo CC do AVV. Esta técnica modifica a configuração existente do retificador de 6 pulsos em uma conexão em série de dois retificadores trifásicos de ponto médio ou meia onda, pois a configuração resultante pode ser considerada como duas associações de três retificadores monofásicos de meia-onda. A Figura 9 ilustra a técnica de mitigação por adição de neutro. O ramo sombreado, com uma chave estática formada por dois tiristores em antiparalelo, representa a conexão com adição de neutro.

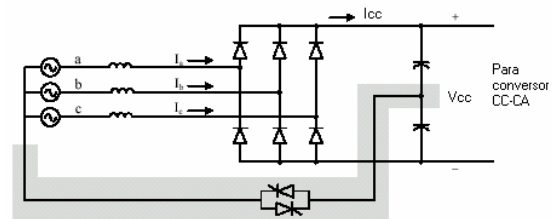


Figura 9. AVV com método de adição de neutro.

Desprezando-se a queda de tensão no filtro indutivo L, o valor médio da tensão no elo CC pode ser determinado aproximadamente como sendo o valor de pico do envelope de 6 pulsos obtido por meio da retificação trifásica. Sendo V a tensão fase-neutro de alimentação do AVV, então:

$$V_{cc} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V \quad (1)$$

Com a mitigação por adição de neutro, a soma dos picos de cada retificação monofásica de meia onda determina a nova tensão média (V_{ccN}) no elo CC:

$$V_{ccN} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot V \quad (2)$$

Portanto, a adição de neutro permite um aumento de aproximadamente 15% da tensão no elo CC.

A mitigação com adição de neutro tem a vantagem da simples implementação, pois praticamente não necessita de adição de novos componentes, e a possibilidade da manutenção da tensão no elo CC muito próxima ao valor de regime permanente para afundamentos de tensão até um minuto. No entanto, possui a desvantagem de gerar, temporariamente, aumento na corrente do neutro e harmônicas triplas. A Figura 10 mostra a aplicação do método de adição de neutro ao diagrama da Figura 4. Os dois capacitores de 330 μ F foram conectados em série, formando uma capacitância equivalente de

165 μ F. Pode ser observado que, com a utilização da técnica, o AVV passa a suportar uma redução em sua tensão média no elo CC até 0,58 pu, ou seja, suporta afundamentos de tensão simétricos com magnitude de até 58%. Portanto, houve um aumento de aproximadamente 11% durante o afundamento de tensão. Este valor poderia ser maior, se for considerado que a redução da capacitância no elo CC para um quarto de seu valor provoca um aumento do *ripple* e, conseqüentemente, uma diminuição da tensão média CC. A Figura 11 mostra as componentes harmônicas no neutro I_n durante a ocorrência do afundamento simétrico para 58% com duração de 12 ciclos. As harmônicas triplas de 3^a e 6^a ordem são as componentes de maior grandeza.

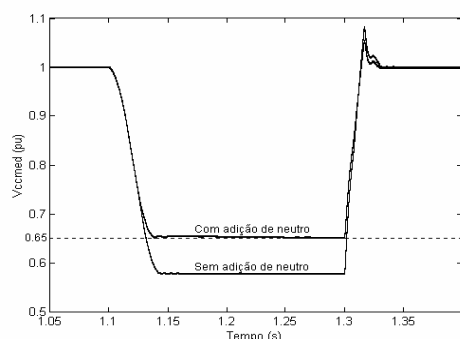


Figura 10. Tensão no elo CC do AVV sob afundamento de tensão simétrico para 58% durante 12 ciclos, com e sem a mitigação por adição de neutro.

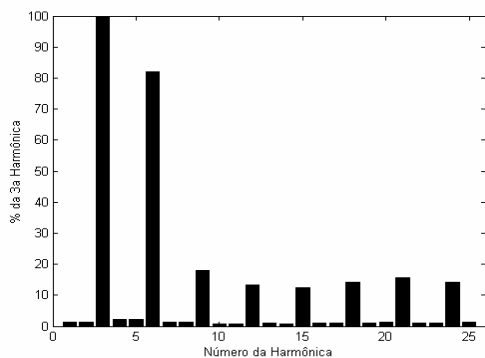


Figura 11. Componentes harmônicas da corrente de neutro durante o afundamento de tensão ($I_{3rms}=2,8A$).

4.3 Mitigação com conversor Boost

A mitigação com conversor *Boost* permite manter a tensão no elo CC praticamente em seu valor de regime permanente, mesmo sendo o AVV submetido a afundamentos de tensão para 50% por até um minuto[4]. O conversor *Boost* é conectado à mesma linha de alimentação do AVV e sua tensão de saída CC é aplicada diretamente ao elo CC do AVV, como mostra a Figura 12. O conversor *Boost* começa a atuar no momento em que sensores percebem que a magnitude da

tensão no elo CC atingiu um determinado valor pré-estabelecido (em geral, 90% da tensão de regime permanente), sendo a sua razão cíclica determinada de acordo com a severidade do afundamento [4]. Como o conversor *Boost* é colocado em paralelo ao elo CC, seu projeto é independente do AVV, logo pode ser adquirido a partir da especificação da potência do motor e da tensão CC de regime permanente. Por isso, a mitigação com conversor *Boost* é uma das mais interessantes aplicadas a AVV.

O projeto do conversor *Boost* utilizado na simulação considerou uma frequência de comutação de 5 kHz e razão cíclica de 50%. A Figura 13 mostra a tensão no elo CC durante um afundamento simétrico para 50% durante 12 ciclos. A Figura 13 mostra a tensão no elo CC após aplicação da mitigação com conversor *Boost* no AVV sob afundamento simétrico para 50%, durante 12 ciclos.

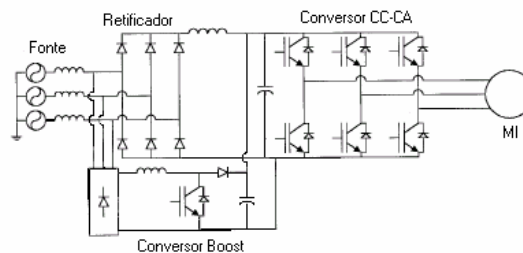


Figura 12. AVV com técnica de mitigação utilizando conversor *Boost*.

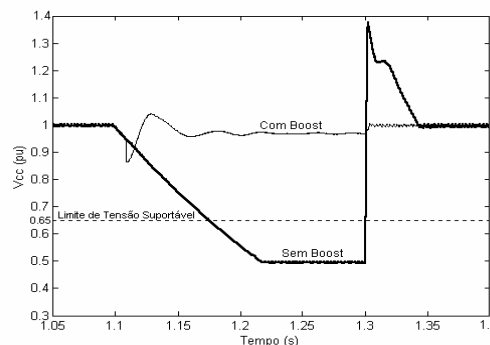


Figura 13. Tensão no elo CC do AVV sob afundamento simétrico para 50% durante 12 ciclos com e sem utilização do conversor *Boost*.

5.0 CONCLUSÃO

Nos testes com um acionamento de velocidade variável, foi verificado que a proteção contra subtensão não atua para afundamentos do tipo B, C, D e F, pois a mínima tensão fase-fase no intervalo de duração do distúrbio é suficiente para manter a tensão no elo CC acima do limite de tensão suportável (0,65 pu). No entanto, os afundamentos do tipo A, E e G, para valores de h menores que 0,65, 0,30 e 0,22, respectivamente,

são capazes de desligar o AVV pela atuação da proteção contra subtensão. Quanto aos afundamentos de tensão do tipo B e D, por sempre apresentarem tensões fase-fase de magnitude igual a 1 pu, não são capazes de fazer atuar a proteção contra subtensão.

Quanto ao limite de corrente suportável do AVV, as simulações mostraram que, para qualquer magnitude do afundamento do tipo A, não ocorre desligamento do AVV pela atuação da proteção contra sobrecorrente. No entanto, os afundamentos do tipo B, C, D e F provocam desligamento por sobrecorrente para qualquer magnitude, se o limite de atuação do relé contra sobrecorrente for ajustado para 1,5 pu. Os afundamentos do tipo E e G somente não provocam desligamento por sobrecorrente para $h=0$. As simulações mostraram também que os afundamentos de tensão do tipo B e D não sofrem alteração em sua fase com maior elevação de corrente, pois apresentam uma tensão fase-fase de magnitude 1 pu que define a fase de maior corrente, independentemente de h . Os resultados mostraram que, se a proteção contra sobrecorrente do AVV for ajustada para 2 pu, o AVV será tolerante a qualquer tipo de afundamento de tensão, independente de sua magnitude e duração.

Três técnicas de mitigação de afundamentos de tensão foram aplicadas ao AVV para verificar as suas vantagens e desvantagens. A mitigação regenerativa pode ser utilizada para aumentar a suportabilidade do AVV durante alguns ciclos, no entanto provoca alto torque negativo e variação de velocidade. Quanto menor a potência do motor, menor a sua inércia e, portanto, a energia cinética disponível para a realização da mitigação é somente suficiente para a manutenção da tensão no elo CC por uns poucos ciclos. A mitigação por adição de neutro, possível de ser realizada para afundamentos que estejam aproximadamente 15% abaixo do limite de tensão

suportável no elo CC do AVV, é um método eficiente, de custo praticamente nulo, que garante uma tolerância para afundamentos de tensão de duração até um minuto. No entanto, sua implementação depende de uma avaliação da influência das harmônicas geradas pela corrente no neutro no elo em que está conectado o AVV. A mitigação utilizando conversor *Boost* independente, conectado em paralelo com o elo capacitivo, mostrou ser o método mais interessante, pois permite uma tolerância a afundamentos de tensão com severidade relativamente alta e duração até um minuto, sem necessidade de modificação da estrutura do AVV.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DUGAN, R.C.; McGRANAGHAN, M.F.; BEATY, H.W. *Electrical Power Systems Quality*. New York: McGraw-Hill. 1996. p. 19.
- [2] JOUANNE, A. von; ENJETI, P; BANERJEE, B. Assessment of Ride-Through Alternatives for Adjustable Speed Drives, *IEEE Transactions on Industry Application*, v. 35, n. 2, p. 980-916, Jul./Aug., 1999.
- [3] BOLLEN, M.H.J. *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. New York: IEEE Press, 2000.
- [4] DURAN-GÓMEZ, J.L.; ENJETI, P.N.; WOO, B.O. Effect of Voltage Sags on Adjustable-Speed Drives: A Critical Evaluation and an Approach to Improve Performance, *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 35, n.6, Nov/Dec., 1999.
- [5] WILDI, Theodore. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1997, p. 258.
- [6] RAJU, N.R. Improving Voltage Sag Tolerance of Three-Phase ASDs Through Addition of a Neutral Connection, *IEEE 37th Industry Application Conference*, 2002.

