

Considerações sobre a Qualidade da Tensão Suprida e o Desempenho dos Acionamentos a Velocidade Variável

Mário Fabiano Alves

Tatiana Nesralla Ribeiro

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG

Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico

30535-610 - Belo Horizonte (MG)

e-mail : siselet@pucminas.br

Resumo : O impacto da qualidade da energia suprida , particularmente as sobre e subtensões de curta duração, sobre a operação dos Acionamentos a Velocidade Variável , é discutida . As razões dos frequentes desligamentos experimentados por estes acionamentos , principalmente aqueles do tipo PWM , são apontadas.

Palavras-chave : Qualidade da Energia Elétrica, Acionamentos a Velocidade Variável

Abstract : The influence of the quality of power supplied , particularly short duration overvoltages and undervoltages , and its influence on the operation of adjustable speed drives (ASD) is discussed . The reasons for the frequent tripping of these drives , mainly those of the PWM type , are indicated.

Keywords : Power Quality, Adjustable Speed Drives,

1 – INTRODUÇÃO

A ocorrência de desligamentos indevidos em acionamentos a velocidade variável do tipo inversor alimentado por fonte de tensão constante, e particularmente naqueles do tipo modulação por largura de pulso (PWM), tem sido motivo de crescente preocupação na indústria [1,2,3,4,5,7], ao mesmo tempo em que consolida-se como uma opção de elevada eficiência e flexibilidade, garantindo uma utilização mais racional da energia.

Sendo esses acionamentos freqüentemente aplicados em processos industriais críticos, que exigem continuidade, os custos decorrentes de uma parada podem, em muitos casos, ser pesadamente onerosos, exigindo portanto que se garanta condições bem estabelecidas da qualidade da energia elétrica suprida.

A utilização crescente de equipamentos microprocessados e de eletrônica de potência, introduziram no sistema uma nova classe de equipamentos a serem protegidos. O baixo nível de suportabilidade dos dispositivos empregados (circuitos integrados, transistores, tiristores, etc.) vem exigindo da comunidade científica o desenvolvimento de técnicas que garantam a compatibilidade eletromagnética de componentes, equipamentos e sistema. A necessidade de normalização é evidente. Exemplo disto é a curva CBEMA [6], mostrada na figura 1, que estabelecida como um guia para projetistas de instalações de computadores tipo “mainframe”, é hoje, por falta de outras referências, amplamente utilizada na

2 – SOBRETENSÕES DE CURTA DURAÇÃO

aplicação de equipamentos eletrônicos em geral. Além disto, nos acionamentos a velocidade variável (AVV), a utilização de semicondutores nos circuitos de potência, torna a questão ainda mais dramática. Enquanto que nos equipamentos eletrônicos de baixa tensão é comum algum tipo de condicionamento de energia suprida, isto não acontece normalmente nos circuitos de potência. Como consequência disto, os acionamentos a velocidade variável podem ser mais sensíveis aos níveis de perturbações na tensão de suprimento da rede, particularmente às solicitações de curta duração (afundamentos e saltos de tensão [1,4,5]), do que outros tipos de equipamentos eletrônicos.

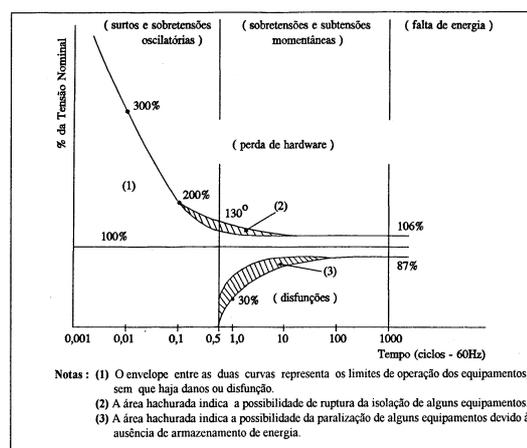


Figura 1

2.1 – A natureza das Sobretensões

Sobretensões de curta duração (saltos de tensão) são definidas como um aumento no valor da tensão eficaz, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto, atingindo valores entre 1,1 e 1,8 pu [10].

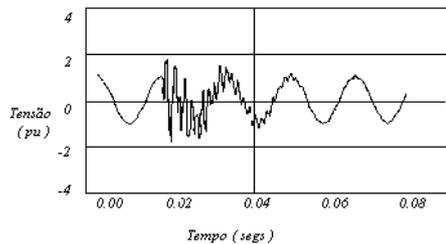


Figura 2 – Salto de tensão devido a energização de um banco de capacitor

Os saltos de tensão são normalmente associados a condições de falta, manobras de cargas e energização de bancos de capacitores, sendo esta última com certeza uma das principais causas de desligamento do AVV registrados pela indústria [1,2,3]. A recente portaria do DNAEE modificando as exigências relativas ao controle do fator de potência tornou este um problema ainda maior, já que além de um considerável aumento no número de bancos de capacitores instalados em média e baixa tensão, passou-se a ter que manobrá-los com uma frequência muito maior do que se exigia anteriormente.

Manobras de bancos de capacitores de concessionárias, em média ou alta tensão, ocorrem numa frequência, pelo menos, diária. Isto ocorre em virtude da já conhecida carência de reativos dos sistemas elétricos de potência no período de ponta da curva de carga. Pelo motivo inverso, os bancos de capacitores normalmente são desligados nos períodos de baixa demanda de carga.

Sempre que um banco de capacitores é manobrado, um transitório de tensão oscilatória ocorre entre este e a impedância (ou reatância indutiva) equivalente do sistema. Durante a energização de um banco de capacitores isolado pode-se desenvolver na barra sobretensões com valores de pico teórico máximo de 2 pu. Isto ocorreria se não houvesse amortecimento devido às cargas e perdas do sistema elétrico, e ainda, se a energização acontecesse no instante mais crítico. Portanto, na prática estas sobretensões têm valores mais reduzidos, situando-se tipicamente entre 1,10 e 1,80 pu.

Na desenergização de bancos de capacitores isolados, as sobretensões originadas são normalmente bastantes inferiores àquelas verificadas durante a energização. Estas sobretensões dependem da corrente capacitiva a ser manobrada (ou potência do banco de capacitores) e da potência de curto-circuito do sistema na barra. Sistemas elétricos “fracos”, isto é, com baixos níveis de curto-circuito, apresentam maiores sobretensões.

Vários desligamentos involuntários de AVV decorrentes de sobretensões na sua barra de corrente contínua e vinculados a energização de bancos de capacitores nos sistemas das concessionárias de energia elétrica, tem sido reportados.

Alguns destes casos têm sido explicados pela amplificação de tais sobretensões quando da presença de bancos de capacitores para correção de fator de potência nas barras dos consumidores industriais. Esta amplificação é o resultado da excitação do circuito L-C formado pela indutância total entre a barra onde o banco de capacitor foi chaveado (concessionária) e a barra do consumidor industrial, e o banco de capacitores instalado neste para correção do fator de potência (Figura 3).

As sobretensões na barra do consumidor dependerão ainda da quantidade de amortecimentos devido às cargas e perdas do sistema.

Deve-se atentar ainda para o fato de que, mesmo não existindo banco de capacitores para correção do fator de potência, transitórios na barra de baixa tensão podem causar surtos de corrente com frequências relativamente baixas no capacitor da barra CC do AVV's. Esta corrente carregaria este capacitor e causaria uma sobretensão possivelmente superior aos limites permitidos.

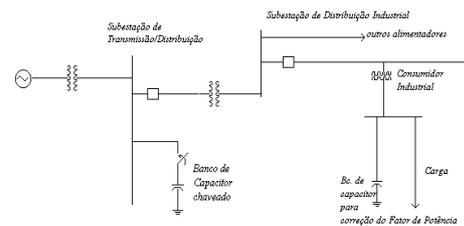


Figura 3 – Sistema de potência típico, com bancos de capacitores manobráveis.

2.2 – A sensibilidade dos acionamentos às Sobretensões

Um acionamento trifásico tipo PWM com fonte de tensão constante típico é mostrado na figura 4, e consiste de uma ponte retificadora não controlada alimentada por uma rede CA, um circuito CC intermediário, a qual inclui um capacitor de certo porte, e um inversor que converte a tensão CC para uma tensão CA variável. Os transistores de potência ou os IGBTs necessários para se realizar a inversão, possuem uma suportabilidade às sobretensões inferior aquela dos antigos SCR's. A tensão de operação máxima com que trabalham os acionamentos tipo PWM, implica numa margem de sobretensão aceitável bastante limitada. Qualquer sobretensão que ultrapasse essa margem irá acionar um circuito de proteção contra sobretensões, de forma a proteger os transistores.

Três parâmetros definem o nível de vulnerabilidade do sistema PWM às sobretensões :

- 1) O tamanho do capacitor da barra CC,

- 2) A presença ou não de reatâncias no circuito CC ou no circuito CA (na interligação com a rede CA), como elemento de amortecimento,
- 3) O nível de disparo do circuito de proteção contra sobretensões.

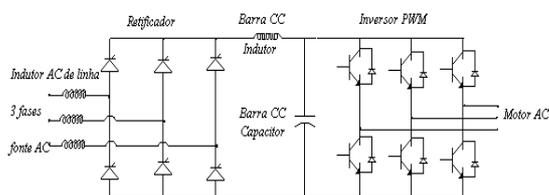


Figura 4 – Acionamento a Velocidade Variável tipo PWM.

O tamanho do capacitor define a quantidade de energia que pode ser absorvida do transitório. Seu dimensionamento é uma questão de natureza técnica e econômica. O maior capacitor economicamente aceitável deve ser utilizado, já que além de limitar o nível de ripple da corrente no capacitor, irá garantir também uma maior capacidade do inversor PWM em suportar os transitórios. Além disso, seu dimensionamento implica na maior ou menor capacidade do inversor suportar os afundamentos de tensão, já que ele é a fonte de energia que garante a manutenção do nível de tensão na barra CC durante essas perturbações.

Embora nem todos os sistemas PWM os utilize, tanto o reator CC como o reator CA (Figura 4), proporcionam uma considerável melhora na capacidade destes em suportar as tensões transitórias, limitando a taxa de crescimento da corrente, e reduzindo o nível da sobretensão ao barramento CC.

Os acionamentos alimentados por sistemas de 460 Volts- CA, utilizam transistores com tensões nominais tipicamente na faixa de 1000V a 1200 V, com sua barra CC possuindo tensão nominal de 650 Volts. Para proteger os transistores do módulo inversor contra sobretensões, o nível de disparo do circuito de proteção da barra CC, é normalmente ajustado na faixa de 750 a 845 Volts [1,2,3,12]. Isto nos dá uma margem de 1,15 a 1,30 pu acima da tensão nominal da barra. Considerando que qualquer sobretensão ocorrendo na rede CA reflete diretamente no nível da tensão CC do conversor, fica evidente que a margem acima indicada é ainda mais reduzida se considerarmos os 5 % de sobretensão de regime permanente (acima da nominal) normalmente praticado.

A utilização de níveis mais elevados de tensão para o circuito CC, permitindo consequentemente uma maior margem de sobretensão admissível, tem impacto direto no custo do equipamento. Maiores tensões implicam em capacitores e tiristores mais caros, além de maiores perdas no circuito de comutação.

3 – SUBTENSÕES DE CURTA DURAÇÃO

3.1 – A natureza das subtensões

As subtensões são classificadas como de curta duração (afundamento de tensão) se possuem duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto, com o valor eficaz da tensão reduzindo-se tipicamente para algo entre 10 % e 90 % da tensão pré-perturbação [10].

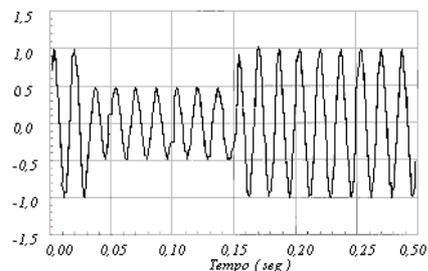


Figura 5 – Afundamento de tensão típico devido a uma falta fase - terra no sistema.

As causas principais dos afundamentos de tensão são as faltas que ocorrem no sistema de potência e as partidas de motores. Estas faltas podem ocorrer tanto na planta industrial quanto no Sistema da Concessionária.

Quando ocorre uma falta no Sistema Elétrico de Distribuição, a tentativa de sua eliminação através dos dispositivos de proteção das linhas, poderá resultar em um afundamentos de tensão sucessivos em todos os sistemas interligados, devido ao número de religamentos do dispositivo de proteção. O afundamento durará enquanto durar a falta, ou até a sua eliminação pelo dispositivo de proteção. A tensão no ponto de falta chega a zero, enquanto que na subestação e nos alimentadores paralelos a tensão dependerá da distância da falta para a subestação. O mesmo ocorre para as faltas de origem no sistema de Transmissão, e a magnitude do afundamento dependerá também da impedância do sistema.

A probabilidade relativa de ocorrerem afundamentos nos sistemas para valores tensão de 90 % até 70 % é predominante; e algumas estatísticas indicam que os afundamentos na faixa de 0-85 % da tensão são 2,9 vezes maiores prováveis de acontecer relativamente do que para a faixa de 0-70 % [4,5,7,8].

3.2 - A sensibilidade dos Acionamentos

O impacto de uma afundamento de tensão sobre um AVV tipo PWM se manifesta de duas maneiras, ambas podendo levar ao desligamento do acionamento:

- 1) A capacidade do capacitor do barramento CC em suportar a tensão nos terminais do inversor durante o período de ocorrência do afundamento;

- 2) A capacidade da eletrônica do controle, que é comumente um Controlador Lógico Programável (CLP), de operar com níveis reduzidos de tensão.

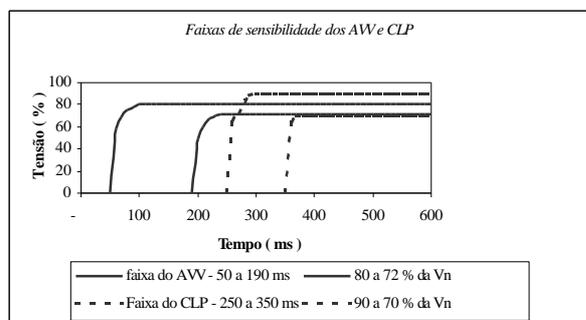
Os problemas mais comuns, para os controles dos acionamentos, são as alterações na memória RAM, com modificações na seqüência de programação, perda da memória dos registradores ou parada da programação; um valor diferente de saída que pode produzir conseqüências diferentes no processo de produção; e o desligamento dos relógios digitais internos.

Quanto a sensibilidade dos Acionamentos como um todo, é difícil estabelecer um padrão, visto que esta varia conforme o modelo e fabricante. Diferentes marcas podem produzir diferentes graus de sensibilidade aos afundamentos. Conforme referência [3], onde foi apresentada uma enquete feita junto a alguns fabricantes de acionamentos Norte Americanos confirmando que alguns modelos destes dispositivos são mais sensíveis que outros.

Desta forma estabeleceu-se uma faixa de sensibilidade para os acionamentos e controles a partir de medições e pesquisas das referências bibliográficas [4,5,7,9,11]. Estas faixas, ilustradas na figura 6, são :

- Para os acionamentos, eles podem apresentar problemas a partir de 50 ms até 190 ms de afundamentos para 80 a 72 % da tensão eficaz.
- Enquanto os controles podem apresentar problemas a partir de 250 ms até 350 ms de afundamentos para 90 a 70 % da tensão eficaz.

Desta forma pode-se verificar que os acionamentos podem falhar tanto devido a dimensão



do capacitor como por falhas nos controles (CLP)

Figura 6

Mesmo protegendo os Controladores (CLP) contra os afundamentos durante as ocorrências, estes últimos podem se tornar mais lentos, conforme a severidade do afundamento. As conseqüências serão danosas ao processo e aos Acionamentos tanto quanto eram antes da instalação dos dispositivos de proteção nos controles. Portanto é necessário também dotar os Acionamentos de proteções mais específica.

4 – ALGUMAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

As medidas possíveis de serem tomadas para a prevenção de desligamentos involuntários dos AVV's podem abranger implementações no sistema elétrico industrial, junto ao próprio acionamento, ou no sistema elétrico da concessionária.

A instalação de uma reatância série no circuito CA(Figura 4), na entrada do retificador, atuando como um limitador da taxa de crescimento da corrente transitória, retarda o carregamento do capacitor CC, limitando o nível da sobretensão resultante. Um valor de reatância na faixa de 1,5 % a 5 % (utilizando a potência nominal do acionamento como base), é normalmente suficiente para evitar os desligamentos involuntários causados por transitórios oscilatórios provenientes da rede CA[1].

Deve-se notar ainda que alguns projetos de AVV, utilizam uma indutância limitadora na barra de CC, com valor típico da ordem de 2%. Normalmente, esta prática elimina a necessidade de se utilizar os indutores limitadores de CA.

Por último, observa-se que em aplicações nas quais existe banco de capacitores na barra que atende ao AVV, com possibilidade de ampliações das sobretensões transitórias, as técnicas descritas acima podem não ser completamente satisfatórias.

Outra maneira de evitar os desligamentos involuntários dos AVV's devido às sobretensões transitórias é intervir na principal causa destas, ou seja, implementar medidas para a redução das sobretensões na energização de bancos de capacitores.

A utilização de disjuntores com dispositivos de pré-inserção (resistor ou indutor) é uma solução clássica para o problema, entretanto, seu uso só é pratica comum em disjuntores de grandes bancos de capacitores, a nível de sistema de transmissão. Mais recentemente, a manobra sincronizada, utilizando-se disjuntores com sistema de detecção eletrônico que permite manobrar no momento mais propício da onda de tensão (no zero de tensão), é uma solução que deverá tornar-se economicamente atraente a nível dos sistemas de distribuição[3].

Na maioria dos casos, as medidas mais viáveis e eficazes para a redução de desligamentos involuntários do AVV devido a subtensões transitórias e ou interrupções rápidas, têm sido implementações no sistema elétrico do consumidor e até mesmo no próprio projeto do acionamento.

Nos sistemas elétricos de concessionárias, principalmente naqueles onde predominam as rede aéreas, os fenômenos supracitados lhes são inerentes, e a redução da incidência destes normalmente implicam em custos elevados e necessidade de adoção de filosofias operativas e de projeto.

Em várias situações, pode ocorrer que as medidas tomadas pelas concessionárias necessitem ser acompanhadas por medidas a serem tomadas

pelo consumidor, em sua planta, para se ter uma solução efetiva dos problemas verificados.

As medidas de mitigação a serem efetuadas na planta industrial normalmente significam a instalação de condicionadores de energia na alimentação dos AVV, ou a adequação dos projetos destes, a fim de reduzir a sua susceptibilidade a variações de tensão.

Para acionamentos de potência elevada, tipicamente na faixa acima de algumas centenas de kVA, a utilização de condicionadores não é usual e, se necessário, ainda é cara. Nestes casos é mais conveniente atuar no equipamento, melhorando sua capacidade de suportar as solicitações de tensão. Isto em geral, exige ações ainda a nível de especificação, antes da compra do equipamento.

Dentre os condicionadores de energia, menciona-se :

- a) Transformador com tensão constante (Ferroressonante) – CVT; é utilizado pelas cargas de baixa potência e consumo constante. A sua aplicação em cargas com consumo variável, principalmente com altas correntes de energização, é problemática, devido ao circuito sintonizado de saída. Basicamente, o CVT é um transformador de relação 1:1 que trabalha saturado, donde a tensão de saída não é afetada por variações na tensão de entrada.
- b) Conjunto motor-gerador; alguns modelos podem garantir um suprimento adequado ($\Delta V \leq 1\%$), com afundamento de tensão de até 60 % da tensão nominal e com duração de até 30s. Portanto é uma solução eficiente, com a desvantagem do espaço físico requerido.
- c) UPS (Uninterruptible Power Supplier); utiliza baterias para armazenar energia a qual é convertida para utilização durante interrupções rápidas ou afundamentos de tensão.
- d) SSD (Superconducting Storage Device); funciona de forma análoga ao UPS, porém utiliza um magneto supercondutor para armazenamento da energia. Apresenta algumas vantagens em relação ao UPS, como espaço físico requerido e menor manutenção. Existe a expectativa de um custo competitivo no futuro. Outros condicionadores de energia são encontrados no mercado, porém, a maioria dos modelos são apropriados para equipamentos de baixa potência e monofásicos.

5 - REFERÊNCIAS

- [1] – T.Bellei, R.P.O’Leary, E.H.Camm, “Evaluating Capacitor-Switching Devices for Preventing Nuisance Tripping of Adjustable-Speed Drives Due to Voltage Magnification” , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No. 3, July 1996.
- [2] – V.E.Wagner, J.P.Staniak, T.L.Orloff, “ Utility Capacitor Switching and Adjustable- Speed Drives”,

IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 27 No. 4, July/August 1991.

[3] – E.P.Dick, D.Fischer, R. Martila, C. Mulkins, “Point-On-Wave Capacitor Switching and Adjustable Speed Drives”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, July 1996.

[4] – M.McGranaghan, D.Mueller, M.Samotyj, “Voltage Sags in Industrial Systems”, IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 29, No. 2, March/April 1993.

[5] – J.Lamore, D.Mueller, P.Vinett, W.Jones, M.Samotyj, “Voltage Sag Analysis Case Studies”, IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 30, No. 4, July/August 1994.

[6] - ANSI/IEEE Std 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power.

[7] – L.Conrad, K.Little, C.Grigg, “Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-Clearing Voltage Dips”, IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 27, No. 1, January/February 1991.

[8] – H.Sarmiento, E.Estrada, “A Voltage Sag Study in an Industry with Adjustable Speed Drives”, IEEE Industry Applications Magazine, January/February 1996.

[9] – V.Galdi, L.Ippolito, A.Piccolo, D.Villacci, “Study of EMC Problems on Programmable Logic Controllers”, Internacional Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 17 - 20, 1996, Rome, Italy.

[10] - ANSI/IEEE Std 1159-1995, “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

[11] R.Caldon, M.Fauri, L.Fellin, “Voltage Sag Effects on Continuous Industrial Processes: Desensitizing Study for Textile Manufacture.

[12] – Catálogo ABB – SAMI STAR Frequency Converter for Speed Control of 18,5 to to 1500 Squirrel Cage Motors.