



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7688
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

PROCEDIMENTOS PARA DIAGNOSTICAR E MITIGAR EFEITOS PROVOCADOS POR VTCDs EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

| | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| KAGAN*, N. ENERQ/USP | CASTELLANO , U.F. ENERQ/USP | VASCONCEL OS, G.F. ENERQ/USP | DUARTE, S.X. ENERQ/USP | MATSUO, N.M. ENERQ/USP | CEBRIAN, J.C. ENERQ/USP |
| GOMES, R.P. LIGHT | | MORAIS, R. LIGHT | | FERRANDIS, A JOULE ENERGY | |

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um projeto de P&D no qual se propõe estudar os efeitos provocados por variações de tensão de curta duração VTCDs em processos industriais e estabelecer procedimentos calcados em experiências obtidas com o desenvolvimento, para suprir a concessionária de ferramentas para a investigação e encaminhamento de soluções relacionadas com a questão.

O projeto de pesquisa ainda está em andamento. Até o momento já foram levantadas informações de históricos de problemas, informações críticas tanto da rede da concessionária como da instalação do cliente, bem como dados das características do processo industrial e equipamentos associados dentro de uma área piloto selecionada.

Em paralelo com a instalação do monitoramento na área piloto, está sendo implementada uma bancada de testes onde serão realizados testes em um painel representativo de uma parte de um processo industrial, com modelos de cargas industriais e dispositivos de automação associados, para caracterizar as curvas de susceptibilidade. Faz parte da realização dos testes estudar as alternativas de melhoria de desempenho do conjunto de equipamentos utilizados no processo frente a VTCDs.

Está, também, em implementação um software de simulação de VTCDs, o mesmo utiliza as curvas de susceptibilidade obtidas nos

testes de laboratório para suporte à equipe da concessionária na análise de impacto nos consumidores frente a este fenômeno. Foi desenvolvido em plataforma C++ aplicado à rede de distribuição da concessionária LIGHT, escolhida como área piloto a subestação de Queimados.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de Energia, Centro Tecnológico, Variação de Tensão de Curta Duração, Equipamentos, Ensaios e serviços.

1.0 INTRODUÇÃO

É cada vez maior o nível de exigência dos consumidores relativos a problemas com a qualidade da energia fornecida pelas concessionárias de distribuição. Este fato deve-se a vários fatores, a saber, a lei de defesa do consumidor, aspectos regulatórios / institucionais e a falta de conhecimento do mercado sobre o nível de sensibilidade dos equipamentos utilizados nas instalações dos consumidores.

Desde 1990, com a edição da lei 8078, mais conhecida como Código de Defesa do

Consumidor, a questão dos danos e falhas na operação de equipamentos causados a clientes em decorrência de distúrbios causados na rede elétrica da concessionária e a montante dessa, vêm causando preocupação às concessionárias, sendo de mais difícil trato os problemas resultantes de fenômenos transitórios, com as VTCDs se destacando dentro do cenário de solicitações de indenizações por danos em equipamentos eletro-eletrônicos e disputas entre clientes e concessionárias devido a conseqüências negativas para a produção causadas por essas perturbações.

No atual cenário do setor elétrico em termos internacionais há o convívio de diferentes modelos ordenadores, com a postura das concessionárias frente a área de qualidade de energia dividida entre duas vertentes: a competitiva e a regulatória.

Na vertente competitiva a concessionária busca oferecer melhores condições de fornecimento para cativar clientes, sendo a qualidade de energia um potencial valor a ser agregado nessa postura. Gerenciar a qualidade implica tanto conhecimento do lado do sistema como da sensibilidade de equipamentos e processos dos consumidores por parte da concessionária.

Na vertente regulatória, a concessionária objetiva evitar violar índices estabelecidos pela legislação, e portanto evitar pagar multas. Conhecer e gerenciar os níveis de qualidade e seus impactos nesses índices é necessário também neste caso.

É nesse contexto que este projeto propõe aprofundar o desenvolvimento de modelos e ferramentas específicas para estudo de VTCDs aplicados a um piloto em consumidor industrial, e utilizando a modelagem dos equipamentos para testes de laboratório de melhoria da compatibilidade / dessensibilização dos mesmos, e com posterior validação dos resultados obtidos com a aplicação de soluções na área piloto, incorporando os resultados na ferramenta de software de apoio.

2.0 SELEÇÃO DA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL E COMERCIAL

Como critério geral a escolha do consumidor para execução do piloto deve atender os objetivos do projeto, considerando os aspectos do relacionamento concessionária - consumidor e as possibilidades de aplicação futura dos resultados no universo de consumidores de uma forma mais ampla. Alguns fatores considerados:

Concessionária

- Disponibilidade e condições de base de dados e documentação da topologia de rede, consumo, cadastro de consumidores, etc
- Disponibilidade e condições de registros históricos de ocorrência no sistema supridor do cliente
- Disponibilidade e condições de registros de monitoramento de VTCDs
- Acesso a informações de topologia da rede
- Melhores condições de simulação, medições e acompanhamento durante o projeto
- Interesses objetivos e disponibilidade de pessoal técnico e comercial da Light para acompanhamento do projeto.

Consumidor

- Disponibilidade e condições de base de dados e documentação das instalações e equipamentos da planta
- Disponibilidade e condições de registros históricos de ocorrência junto aos processos
- Disponibilidade e condições de registros de monitoramento de VTCDs internamente à planta
- Melhores condições de simulação, medições, acesso a equipamentos e acompanhamento durante o projeto
- Interesses objetivos e disponibilidade de pessoal técnico e administrativo do consumidor

Foram visitadas as instalações de algumas indústrias e a indústria que melhor atendeu os requisitos acima foi uma indústria com processo contínuo de produção de gesso acartonado localizada no interior do estado do Rio de Janeiro.

3.0 MONITORAMENTO DE FENÔMENOS DE PERTURBAÇÃO DE QUALIDADE, COM ÊNFASE EM VTCD'S;

Para realizar o monitoramento completo do processo, é necessário que o mesmo abranja além do processo, também outros pontos da planta, inclusive o seu suprimento de energia principal.

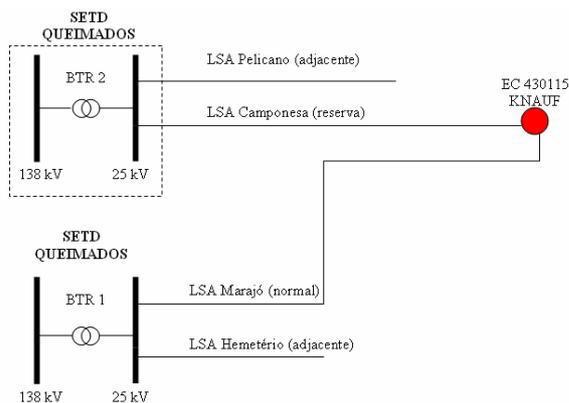


Figura 1 – Suprimento da Indústria – Site Piloto

Nesse sentido, tendo como referência o esquema apresentado na Figura 1, propõem-se também que sejam monitorados os seguintes locais:

- Subestação de distribuição da concessionária, SE Queimados, que alimenta os circuitos que atendem a planta em estudo;
- Secundário do transformador ligado ao processo industrial selecionado.

A Light dispõe atualmente de monitoramento em subestações que atende compartilhadamente às áreas de operação e a qualidade de energia. Isto leva a uma particular configuração dos monitores em que se dispões de registros compactos de VTCD's na barra secundária da SE, restrito a data/hora do evento, duração e valores de tensão RMS máximo e mínimo. Ou seja, não se dispõe de registro oscilográfico (instantâneos ou RMS) da tensão quando de uma ocorrência de VTCD.

Esses registros estão sendo utilizados como dados de entrada para o software de simulação do impacto das VTCDs em consumidores, descrito mais adiante.

A monitoração de tensão secundária internamente à fábrica está sendo realizada, e seus resultados estão servindo para avaliação dos impactos de VTCDs junto ao processo industrial, e também para a validação dos resultados obtidos com o software de simulação.

4.0 MODELO SIMILAR AO PROCESSO PRODUTIVO EM LABORATÓRIO PARA APLICACAO DE VTCDs

O estudo deve possibilitar obter uma análise de sensibilidade de equipamentos industriais selecionados quando submetidos a condições de VTCDs. A partir desse estudo pode-se estabelecer quais os equipamentos mais sensíveis e estudar quais as possíveis formas de torná-los menos sensíveis a essas perturbações.

Adicionalmente aos testes de sensibilidade a VTCDs, serão realizados estudos de procedimentos e técnicas para a melhora do desempenho do conjunto frente às perturbações.

Feito o levantamento no site piloto, para realização dos ensaios relativos a sensibilidade de equipamentos frente a VTCD's, foi especificado e está sendo montado no laboratório do enerq-ct um painel modelo similar a uma parte do conjunto de equipamentos presentes no processo produtivo. Esse painel representa os elementos essenciais do setor de corte de placas de gesso, identificado como o setor mais sensível na linha de produção contínua.

Assim, estão sendo adquiridos para compor este painel, os seguintes equipamentos:

- fonte de corrente contínua,
- acionadores de velocidade variável,
- relês de proteção,
- controlador programável,
- contatores;
- motor com carga acoplada ao eixo.

A figura 2 ilustra o circuito que está sendo modelado no laboratório, onde estão em curso testes com o objetivo de estabelecer quais dos componentes desse painel é mais sensível a eventos de VTCD's.

A determinação das curvas de sensibilidade se faz por meio da monitoração das saídas de todos os componentes envolvidos no painel, durante a aplicação controlada de VTCD's.

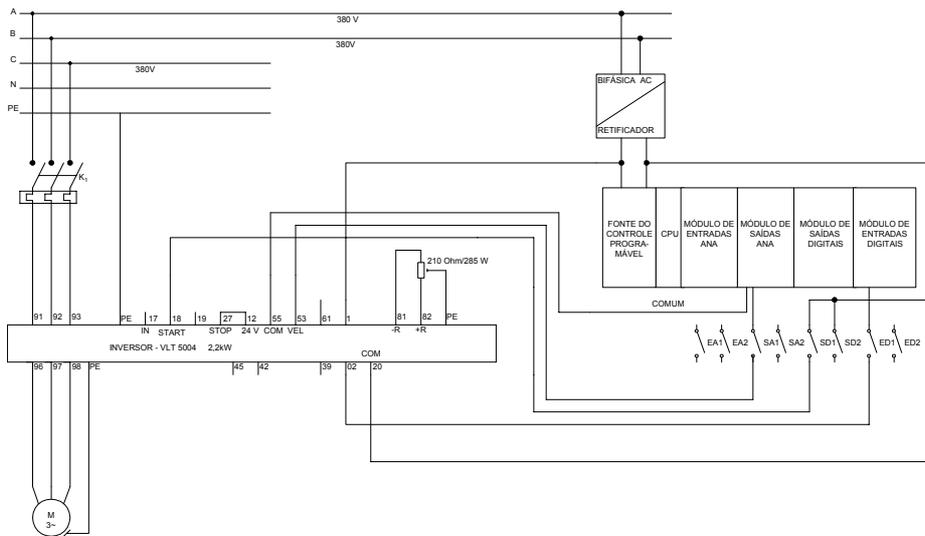


Figura 2 – Diagrama esquemático de painel representando parte de um processo de corte de placas de gesso.

5.0 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE APOIO A DECISÃO

A ferramenta de suporte utiliza os dados de configuração da rede da concessionária, os registros disponíveis de VTCDs na SE supridora e informações complementares dos equipamentos ou processos afetados no cliente.

A metodologia utilizada no desenvolvimento visa identificar aquelas condições de falta (local, tipo da falta, impedância de falta) ocorrida no sistema elétrico que provocariam valores de tensões calculadas que melhor se ajustam aos valores das medições disponíveis.

Para cada condição de falta encontrada, é possível estimar os valores de tensão de VTCD em um determinado consumidor. Comparado esse resultado com a curva de sensibilidade de cada processo ou equipamento, avalia-se a possibilidade de ocorrência ou não de disrupção (parada do processo do consumidor).

A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos da metodologia aplicada neste trabalho.

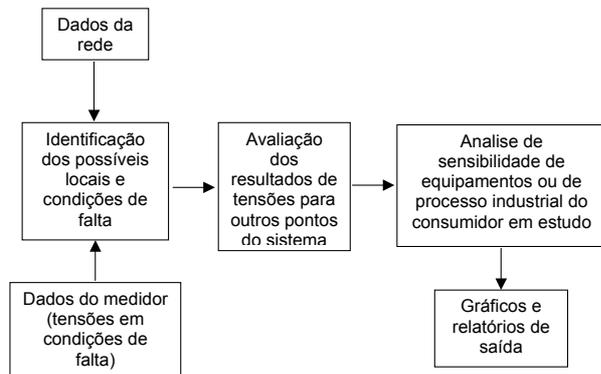


Figura 3 – Diagrama de Blocos da Metodologia Aplicada ao Software

Identificação dos possíveis locais e condições de falta

Utiliza-se o método de Monte Carlo como uma das alternativas para a seleção dos possíveis locais de falta e para estimar os valores de VTCDs no sistema de distribuição primária.

A metodologia faz uso também do método de Mínimos Quadrados, utilizando medições na origem do alimentador, e valores calculados para diversos locais e condições de falta na rede primária. Para esta aplicação optou-se pela utilização das tensões como grandezas a serem consideradas. A aplicação deste modelo é possível tanto na situação em que as tensões medidas são as tensões de fase, quanto naquela em que se dispõe das tensões de linha.

No método de Monte Carlo um grande número de simulações é efetuado valendo-se de sorteios que consideram determinadas distribuições de probabilidade. Simula diferentes condições de curto-circuito para diferentes pontos do sistema.

Neste trabalho o número de simulações pelo método de Monte Carlo é considerado suficiente quando o resultado obtido pelo método de mínimos quadrados atinge valores inferiores a uma tolerância pré-estabelecida, mesmo com um incremento grande nesse número.

O método de mínimos quadrados é aplicado considerando as grandezas calculadas e medidas na origem do alimentador. Toma-se a situação (o local, tipo de falta, e impedância de

falta) que resulte na menor soma dos quadrados dos desvios entre os valores medidos e calculados.

Tendo em vista as condições de medição existentes na área piloto, onde está sendo aplicado esse sistema, são considerados somente os valores de tensão em cada fase.

Procedimento para sorteio de faltas

Para cada sorteio, procede-se o seguinte:

- Sorteio do ponto de defeito, são considerados todos os pontos do sistema;
- Sorteio do tipo de falta, considerando a distribuição da Figura 4;
- Sorteio das resistências de defeito.

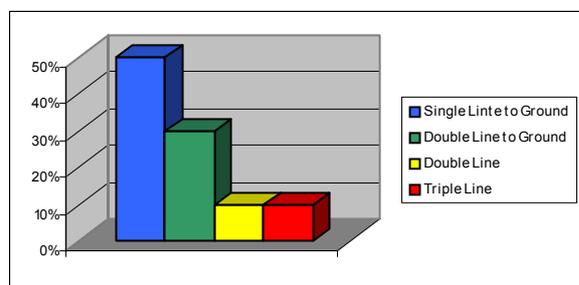


Figura 4 Distribuição de probabilidade de tipo de falta

Tabela 1 Valor Máximo de impedâncias de defeito

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Trifásico | 10 Ω |
| Bifásico | 20 Ω |
| Bifásico a terra (para terra) | 20 Ω |
| Bifásico a terra (entre fases) | 10 Ω |
| Monofásico | 30 Ω |

Na ausência de dados estatísticos mais precisos sobre os valores de resistência de defeito, são usadas inicialmente as faixas de variação indicadas na Tabela 1, adotando uma função densidade de distribuição uniforme. O sorteio será de um valor dentro destas faixas.

Gráfico e relatórios de saída

Para uma determinada topologia de rede de distribuição, considerando-se que a medição seja realizada na subestação, o algoritmo de localização de falta pode indicar vários possíveis pontos de defeito. Isso ocorre porque numa rede com várias ramificações faltas em pontos com a mesma distancia elétrica de subestação produzem os mesmos valores de tensão e corrente na origem do alimentador. Por esse motivo, quando se deseja avaliar VTCD's num determinado ponto da rede a partir de medição na subestação, podem resultar um conjunto de

possíveis valores de tensão, como mostrados na Figura 5.

O conjunto de pontos assim determinados poderá ser representado junto com a curva de sensibilidade do equipamento ou processo do consumidor analisado (Figura 5). Como forma alternativa poderão ser mostradas as duas situações extremas: a mais critica e a menos critica.

A duração do evento é estimada a partir de medições.

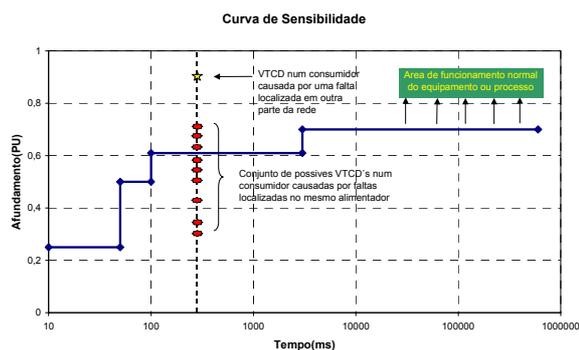


Figura 5 – Gráfico de saída do software

Foi feita uma primeira implementação do software, e os resultados obtidos nos testes foram satisfatórios. No entanto verificou-se que em redes com configuração de grande porte, o tempo de processamento se tornaria um fator limitante.

Isto levou a decisão de melhorar a ferramenta implementando técnicas de otimização, sendo escolhido o uso de algoritmos genéticos para tal. Essa etapa dos trabalhos está em andamento, e os primeiros resultados mostram efetiva redução do tempo de processamento e maior eficiência na localização da falta.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto está em andamento, os resultados parciais estão de acordo com as expectativas propostas e no momento da preparação deste artigo o mesmo está entrando em sua fase final, onde convergem os trabalhos desenvolvidos no site piloto, no laboratório e no desenvolvimento do software.

Estão em curso a realização dos ensaios de sensibilidade em laboratório, o painel de teste está montado, com parte dos componentes já ensaiados.

O monitoramento em campo, tanto na subestação supridora, quanto nos painéis de energia da fábrica, está em curso e provendo

registros de ocorrências de VTCDs para análise e validação dos resultados de simulação.

O software de análise e suporte teve desempenho satisfatório em sua primeira implementação, sendo que para atingir maior eficiência nas simulações está em desenvolvimento uma segunda versão que utiliza técnicas de otimização, cujos primeiros testes mostram uma significativa melhora no tempo computacional bem como na qualidade dos resultados.

O acompanhamento, pelas equipes da Light e da Indústria selecionada para piloto, das diversas etapas do desenvolvimento tem promovido o processo de transferência dos resultados obtidos até o momento.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bollen, M.H.J.: Understanding Power Quality: Voltages sags and Interruptions - IEE Press Series on Power Engineering- 1999
- [2] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Beaty, H.W., Electric Power Systems Quality- Mc Graw Hill, NY 1996
- [3] Bollen, M.; Zhang, L. - A Method for Characterisation of Three-Phase Unbalanced Dips from Recorded Voltage Waveshapes - Feb./99 - www.PQNET.ELECTROTEK.com
- [4] N. Kagan, E.L. Ferrari, N.M. Matsuo, S.X. Duarte, J. L. Cavaretti, A. Tenório, L. R. Souza - A Methodology for the Assessment of Short Duration Voltage Variations in Electric Power Distribution Systems, Submetido ao ICHQP 2002, Rio de Janeiro.
- [5] N. Kagan, E.L. Ferrari, N.M. Matsuo, S.X. Duarte, C.A.S. Penin, A.J. Monteiro, I.T. Domingues - Methodology for Support and Analysis of Indemnity Requests due to Electrical Equipment Damaged in Eletropaulo Customers, Submetido ao ICHQP 2002, Rio de Janeiro.
- [6] Brooks, D. L.; Gunther, E. W.; Sundaram, A.; Cigré 36.05/CIREN 2 CC02 Voltage Quality Working Group - "Recommendations for Tabulation RMS Variation Disturbances with Specific Reference to Utility Power Contracts" - Draft - www.pqnet.electrotek.com
- [7] Estimadores de variações de tensão de curta duração para redes de distribuição e subtransmissão - SENDI 2002
- [8] Martinon, J; Poisson, O.; DeChateaufieux - "A Project about Voltage Dips and Short Interruptions to Meet Customers' Requirements" - CIREN 99, Nice, França
- [9] Kagan, N. et al. - "Metodologia de Avaliação da Qualidade de Energia e Padrões de Qualidade" - Projeto de Mapeamento de Fenômenos Relativos à Qualidade do Produto no Sistema Elétrico - Parte II - USP/Eletropaulo - Relatório R8 - Setembro/2001
- [10] Galijasevic, Z., Abur, A. Fault Location Using Voltage Measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, n. 2, April 2002.