

Sistema de Monitoramento de Variações Transitórias de Tensão em Redes de Distribuição de Energia

U. H. Bezerra, Nesc/Ufpa; J. N. Garcez, Nesc/Ufpa; M. N. A. Moscoso, Nesc/Ufpa; J. A. S. Sena, Nesc/Ufpa; K. T. De Souza, Nesc/Ufpa; R. R. Da Silva, Nesc/Ufpa; R. S. Lemos, Nesc/Ufpa; G. P. S. Cavalcante, Nesc/Ufpa; J. S. E Silva, Nesc/Ufpa; A. A. A. Tupiassú, Rede Celpa; J. C. Neto, Rede Celpa E P. S. A. Lima, Rede Celpa

RESUMO

As variações transitórias de tensão, provocadas por defeitos ou manobras que ocorrem nas redes de distribuição são fatores que afetam a qualidade da energia, e podem provocar o mau funcionamento e até a queima de equipamentos em instalações consumidoras, o que gera reclamações dos consumidores junto às concessionárias de energia. Devido à postura dos consumidores e das agências reguladoras em exigir melhor qualidade para o produto energia elétrica, o monitoramento e o registro das ocorrências desses fenômenos hoje assume considerável importância, para prover as empresas distribuidoras com meios adequados para identificar, analisar e encaminhar soluções mitigadoras para problemas causados pela ocorrência desses fenômenos. Neste trabalho apresenta-se um sistema de monitoramento de variações de tensão capaz de identificar e registrar as ocorrências de interrupções de energia, VTCD's (Variações da Tensão de Curta Duração) e os transitórios oscilatórios de baixa frequência (até 5 KHz), que ocorrem nas redes de distribuição. Serão apresentados detalhes do desenvolvimento do instrumento para a aquisição das amostras de tensão nas fases A, B e C, do software para a detecção dos fenômenos e para a gerência da base de dados, e o sistema de comunicação, os quais formam de modo integrado o sistema de monitoramento aqui proposto.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento de tensão; Qualidade de energia; Variações de Tensão de Curta Duração; Transitórios oscilatórios; Sistemas de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

As perturbações que provocam variações no comportamento da onda de tensão, alterando momentaneamente seu valor RMS e/ou a sua frequência, são motivos de grande preocupação por parte das concessionárias de energia elétrica, devido aos problemas que isso pode acarretar para a segurança da operação e para a qualidade de energia suprida.

Este assunto tem assumido considerável importância nos últimos anos, em função da crescente utilização de processos industriais de alta tecnologia, com grande sensibilidade às variações de tensão, o que tem provocado um crescimento do número de interrupções nesses processos, principalmente naqueles que utilizam equipamentos sensíveis aos afundamentos da tensão, como os CLP's (Controladores Lógicos Programáveis); e os ASD's (Adjustable Speed Drivers) [6].

As conseqüências naturais desse fato são os transtornos e prejuízos econômicos impostos aos consumidores, e o crescente número de reclamações que as concessionárias vem recebendo devido às ocorrências dessa natureza.

Estima-se que 87% das falhas no suprimento de energia a consumidores industriais estejam associados às ocorrências de variações de tensão de curta duração (VTCD's) e os prejuízos causados por esses distúrbios podem chegar a cifras bastante elevadas, dependendo da sensibilidade dos equipamentos e dos processos industriais afetados, devido à perda de materiais, custos de reprocessamento e perdas na qualidade dos produtos. Esse fato tem exigido uma atenção especial por parte dos agentes envolvidos, transmissoras, distribuidoras e o próprio usuário de energia elétrica, no sentido de monitorar os seus sistemas. Hoje a instrumentação disponível para o monitoramento dos fenômenos transitórios da onda de tensão, essencialmente as VTCD's e os transitórios oscilatórios, são normalmente de custos elevados, o que inviabiliza financeiramente o uso disseminado deste tipo de instrumentação para uma melhor avaliação da qualidade transitória da tensão nas redes de distribuição.

Visando contribuir neste aspecto, o NESC/UFPA - Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicação do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Pará e a CELPA - Centrais Elétricas do Pará, desenvolveram o protótipo de um instrumento micro-controlado, de baixo custo, para o monitoramento de interrupções de energia, VTCD's, e transitórios oscilatórios de baixa frequência (até 5 kHz), para uso ao nível das subestações de distribuição, transformadores de distribuição e instalações consumidoras industriais. O instrumento monitora continuamente o sinal de tensão nas fases A, B e C, e quando ocorre um evento, este é transmitido para o Centro de Supervisão, onde pode ser visualizado em terminal de vídeo e armazenado em base de dados para posteriores análises. O instrumento tem relógio de tempo real e calendário, de modo que todos os eventos são perfeitamente classificados no tempo.

A comunicação com o Centro de Supervisão se dá via linha telefônica discada, podendo ser requisitado o envio

de dados pelo instrumento, ou programar-se o envio automático, via o sistema de software, que também gerencia a base de dados, a apresentação de relatórios e a comunicação entre o instrumento e o computador.

Este sistema encontra-se em fase de testes na concessionária CELPA, tendo-se instalado duas unidades em duas subestações de 13,8 kV da Empresa.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema de monitoramento foi concebido como uma solução integrada contendo as seguintes partes principais: o instrumento; a comunicação; o sistema de software. A seguir são descritas em maiores detalhes cada uma das partes constituintes.

A. O Princípio de funcionamento

1) Sags e Swells

A detecção de sags e swells é feita através da verificação do valor RMS medido pelo instrumento.

Quando o valor de tensão supera o limite superior, o instrumento passa a registrar os valores de tensão RMS, até que esta tensão volte ao seu valor considerado normal. De forma análoga, quando a tensão é inferior ao limite estabelecido, o instrumento passa a registrar os valores RMS.

2) Oscilações

Considerando que, para um caso idealizado, a forma de onda em uma das fases pode ser representada pela equação:

(1)

A derivada da expressão (1) é dada por:

(2)

Portanto, o maior valor que o módulo da derivada de (1) pode assumir é dado pela expressão:

(3)

Desta forma, se a derivada do sinal adquirido superar de um dado valor ao valor dado pela equação (3), então se pode considerar que houve uma descontinuidade que pode caracterizar uma oscilação, ou um evento impulsivo (caso a taxa de amostragem for muito alta).

B. O Instrumento

O instrumento desenvolvido é trifásico e monitora as tensões nas fases A, B e C. Utiliza uma configuração baseada em dois micro-controladores para a aquisição do sinal de tensão. Como os fenômenos monitorados possuem características diferentes, um micro-controlador monitora os fenômenos transitórios oscilatórios de baixa frequência, de até 5 kHz, enquanto que o outro micro-controlador supervisiona outros tipos de fenômenos, ou sejam, aqueles que alteram momentaneamente os valores RMS das tensões: afundamentos e elevações de tensão. Com o objetivo de facilitar a construção do protótipo e minimizar os efeitos

de interferência eletromagnética sobre a porção analógica do subsistema de aquisição do sinal de tensão, o hardware do instrumento foi dividido em módulos como ilustrado na figura 1, e descritos a seguir.

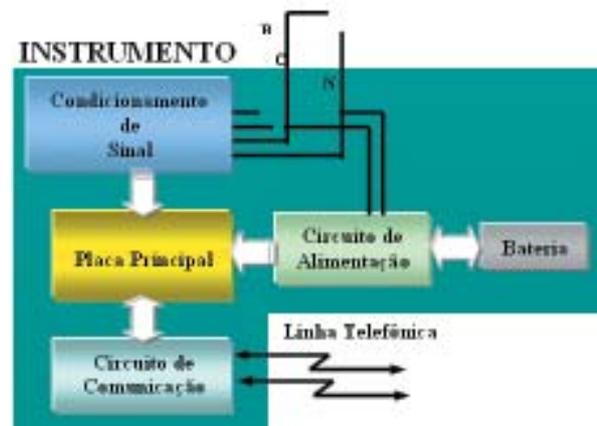


FIGURA 1 - Estruturação do hardware do instrumento

1) Circuito de Condicionamento de Sinal

O circuito de condicionamento de sinal utilizado no instrumento foi projetado para fazer a aquisição de sinais de tensão presentes nos secundários dos TP's das subestações, normalmente com tensões nominais de 69 Volts. Outros valores como 127 V/ 220 V também são suportados pelo instrumento [1,2,3]. Este circuito é responsável pela redução dos níveis de tensão descritos anteriormente para a faixa de operação do conversor Analógico/Digital (A/D) interno de 12 bits do micro-controlador.

Este circuito também utiliza filtros para reduzir o efeito de interferências eletromagnéticas na detecção correta dos fenômenos. A estrutura utilizada pelo condicionamento possibilita ao instrumento detectar, com precisão, oscilações transitórias de tensão com amplitudes de até duas vezes o valor nominal. Para variações acima destes níveis de tensão, um circuito de proteção entra em ação evitando que o instrumento seja danificado.

2) Circuito de Alimentação

O circuito de alimentação foi projetado para suprir os níveis de tensão corretos para o funcionamento do instrumento, tendo como fonte principal a tensão de um dos TP's da subestação. Este circuito alimenta um pequeno banco de baterias recarregável que forma uma fonte auxiliar de alimentação, que atua em casos de interrupção de tensão nos TP's, mantendo o funcionamento normal do instrumento. As baterias garantem autonomia ao instrumento, por um período de 3 horas. A atuação destas duas fontes, ou sejam, a alimentação da própria rede elétrica e do banco de baterias do instrumento, é realizada automaticamente por um circuito de controle que retira a responsabilidade desta tarefa do micro-controlador.

3) Circuito de Comunicação

Constitui-se de um modem para linha telefônica fixa com suporte para o protocolo V23, atualmente utilizado, e Bell 202. Este subsistema permite a comunicação full-duplex, a uma taxa de 1200 bps, para a transmissão de informações entre o instrumento e o computador central. Estas características possibilitam a reconfiguração e autoteste remotos do instrumento e a utilização de uma linha telefônica exclusiva ou compartilhada. Este circuito possui driver constituído de isolamento ótico e outros componentes utilizados em proteção contra surtos de tensão que podem ocorrer no sistema telefônico. Através deste circuito de comunicação, o instrumento pode realizar uma chamada para o computador central utilizando-se de discagem tanto por pulso quanto por tom, selecionados remotamente.

4) Placa Principal

Este sistema tem como elemento principal um micro-controlador RISC de 16 bits responsável pela aquisição e análise dos sinais de tensão em cada fase, armazenamento temporário dos eventos em memória externa não volátil, gerenciamento da transmissão de dados e recebimento de instruções do computador central, além de um relógio em tempo real para o registro do horário (hh/mm/ss) e da data (dd/mm/aaaa) da ocorrência dos eventos.

A aquisição do sinal de tensão em cada fase é realizada por três canais A/D de 12 bits internos ao micro-controlador com taxa de 128 amostras por ciclo. A detecção dos fenômenos de afundamento e elevação de tensão é realizada com base no valor RMS calculado em cada ciclo, enquanto que para a detecção dos fenômenos oscilatórios utiliza uma técnica que avalia as variações bruscas entre uma amostra e a amostra seguinte.

Os eventos detectados são armazenados temporariamente em memória de massa externa não volátil de até 192 Kbytes, entretanto para uma capacidade de armazenamento maior, a placa principal dispõe de espaços para a expansão de memória. O micro-controlador gerencia o espaço de memória reservado a cada uma das fases monitoradas para evitar que ocorra uma subscricção das informações armazenadas. Antes que esta situação ocorra, o instrumento liga para o computador central solicitando ao mesmo o recebimento de todos os registros armazenados.

C. A comunicação

A comunicação entre o instrumento e o computador central é realizada com base no protocolo TCP/IP. A transferência dos dados para o computador central e a re-configuração dos parâmetros internos do instrumento, são realizadas por meio de instruções definidas no protocolo. Dentre as instruções pode-se destacar a retransmissão dos dados caso os mesmos sejam corrompidos durante a trans-

missão; a discagem e transferência dos dados do instrumento para o computador central quando a memória não suportar mais o armazenamento das informações.

D. O sistema de software

O sistema de software aqui desenvolvido completa as aplicações ao nível do instrumento e ao nível do usuário, para a gerência da coleta de dados, armazenamento em banco de dados e a recuperação desses dados como informações formatadas convenientemente e apresentadas em relatórios impressos e relatórios em terminais de vídeo.

O software do instrumento suporta ações para a comunicação com os barramentos e os dispositivos periféricos assim como realiza ações de aquisição de dados. A rotina de aquisição de dados é responsável pelas amostras do sinal de tensão, com taxa de 128 amostras/ciclo, cujos dados são utilizados na detecção dos fenômenos VTCD's e os transitórios oscilatórios de baixa frequência. Para a detecção dos fenômenos VTCD's é calculado o valor RMS de cada ciclo e a partir do momento que ocorrer uma variação maior que 10% acima ou abaixo do valor nominal da tensão o instrumento inicia o registro do fenômeno. Em paralelo, uma outra rotina é executada comparando o valor de uma amostra adquirida com o valor da amostra anterior usando como base a técnica de detecção dos fenômenos transitórios oscilatórios.

Com relação à interface com o usuário [7], estão disponíveis no software algumas facilidades que permitem a realização de diversas ações, tanto ao nível do instrumento como ao nível do banco de dados local. Por meio do sistema de software o usuário pode realizar as tarefas de Configuração do Instrumento, possibilitando uma verificação/alteração remota de alguns de seus parâmetros operacionais como os níveis estabelecidos, por ex, % do valor de tensão nominal para a detecção dos VTCD's, a taxa de amostragem do sinal de tensão e o número de identificação IP do instrumento.

Os cadastros das subestações e dos instrumentos de monitoramento nestas subestações são realizados de maneira simples, através da janela de interface homem - máquina. Cada instrumento deve está associado a um telefone, cujo número é informado, inclusive com o código de área.

Os dados de campo enviados pelos instrumentos são armazenados no banco de dados e acessados diretamente pelo usuário, para a visualização dos relatórios operacionais. Estes relatórios são disponíveis aos usuários na forma de gráficos e tabelas como estão ilustrados na secção resultados obtidos deste trabalho.

Para uma visualização da aparência que resultou para o instrumento após a montagem de todas as placas em uma caixa perfeitamente vedada, resistente a intempéries (classe IP-55), mostra-se uma foto do instrumento na figura 2, com a tampa da caixa aberta.



FIGURA 2 - Protótipo do instrumento.

III. RESULTADOS OBTIDOS

Os testes realizados em laboratório tiveram como objetivo avaliar a técnica de processamento de sinais utilizada para a detecção dos fenômenos de afundamento e elevação de tensão e transitórios oscilatórios de baixa frequência. Desta maneira, procedeu-se inicialmente com a simulação dos eventos. A simulação foi implementada através da utilização de um conversor D/A presente em uma placa de aquisição de sinais. A placa de aquisição foi associada a um computador que possui um sistema de software responsável pela simulação dos eventos. O nível do sinal de tensão na saída do conversor D/A da placa de aquisição é o mesmo presente na saída do circuito de condicionamento dos protótipos que estão operando em testes nas subestações. Sendo assim, o sinal obtido por meio de simulação foi então aplicado diretamente ao conversor A/D de um dos protótipos.

Na figura 3, tem-se a simulação de um sag com duração de 4 ciclos, mostrado na tela de um osciloscópio Tektronix TDS 360 de 200 MHz..

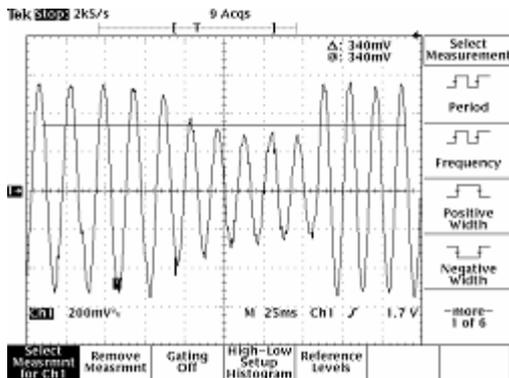


FIGURA 3 - Simulação de Sag.

Este mesmo fenômeno foi também injetado no instrumento, o qual realizou o registro dos valores RMS durante o sag, como está ilustrado na figura 4. Observando a Figura 4, percebe-se que o instrumento detectou perfeitamente o fenômeno ocorrido, apresentando o afundamento e a recuperação do valor RMS da tensão, como ilustrado na figura 3, ou seja, afundando mais suave e retornando abruptamente ao valor RMS nominal. Na figura 4, a escala de tempo corresponde a ciclos ao passo que a escala de tensão fornece valores em Volts, da tensão de alimentação do instrumento.

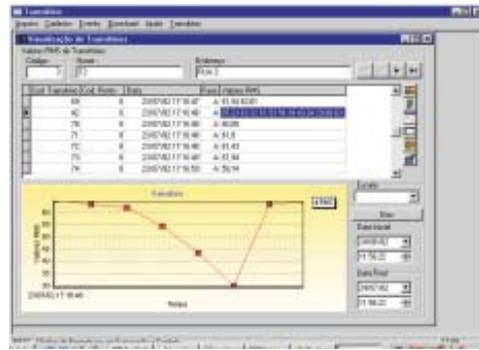


FIGURA 4 - Curva RMS de detecção de sag

A seguir tem-se a simulação de um transitório oscilatório de frequência 1kHz como mostrado na figura 5 em tela do osciloscópio Tektronix.

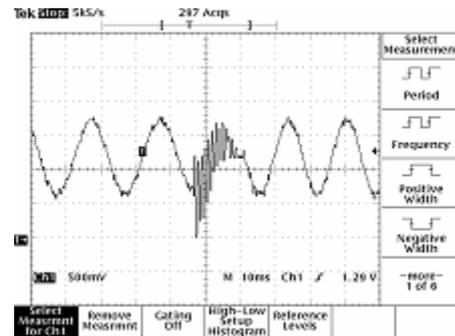


FIGURA 5 - Simulação de transitório oscilatório lento.

Este mesmo fenômeno foi submetido ao instrumento que detectou corretamente, como mostra a figura 6. Observa-se, comparando as figuras 5 e 6 que o instrumento é capaz de detectar com precisão o fenômeno, o que demonstra que a taxa de amostragem empregada para a aquisição do sinal é conveniente para essa classe de frequência.



FIGURA 6 - Detecção de transitório oscilatório lento.

Dos instrumentos que estão em testes nas SE's ainda tem-se disponível poucos registros de campo. Mas já é possível mostrar a detecção de um fenômeno sag ocorrido na SE Guamá, onde se encontra instalado um dos instrumentos em testes. O fenômeno ocorreu no dia 29/06/2002 às 13:02:47 hs e foi registrado pelo sistema de monitoramento, como apresentado na figura 7. Novamente observa-se que o instrumento identificou o fenômeno como previsto pelos resultados em simulação.

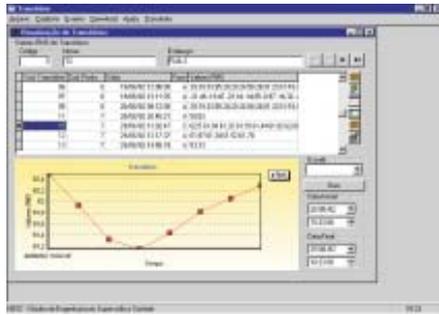


FIGURA 7 - Resultado de Campo (Subestação Guamá).

Deve-se salientar que as telas de resultados aqui apresentadas fazem parte da interface do sistema de software, com o usuário. Pode-se observar que os resultados são listados em forma de tabela e também em forma gráfica.

Com relação à apresentação gráfica, merece destacar que a escala de tempo permite o efeito de zoom. Também é permitido pelo sistema que o usuário faça buscas na base de dados por fenômenos que ocorreram em um dado intervalo de tempo, delimitado por data e hora iniciais e data e hora finais, especificados como (dd/mm/aaaa) e (hh/mm/ss).

IV. CONCLUSÕES

Apresentou-se neste trabalho a descrição e alguns resultados preliminares, obtidos com o sistema de monitoramento de variações transitórias de tensão, desenvolvido pelo NESC/UFPA em parceria com a concessionária CELPA.

O sistema desenvolvido caracteriza-se como uma solução de monitoramento distribuído de fenômenos transitórios de tensão, podendo ser os instrumentos de aquisição de dados instalados nas SE's, transformadores, consumidores industriais e outros, e os dados coletados transmitidos, via linha telefônica (solução atual), para o Centro de Operação do Sistema (COS).

O sistema aqui proposto apresenta grande potencial de uso por ser uma solução especializada que contempla o monitoramento dos principais fenômenos transitórios que ocorrem nas redes de distribuição, como os sags, swells e transitórios oscilatórios de baixa frequência, fenômenos que estão em vias de regulamentação pelas agências reguladoras dos serviços de energia elétrica.

Os resultados preliminares obtidos até o momento têm comprovado a eficácia do sistema e encorajado a equipe de desenvolvimento em novos avanços, porém testes exaustivos devem ser continuados no sistema real, para a perfeita avaliação das interferências do ambiente real sobre as características levantadas em laboratório.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U. H. Bezerra, J. N. Garcez, M. N. A. Moscoso, J. A. S. Sena, K. T. Souza, R. R. Silva, R. S. Lemos, A. A. A. Tupiassu, J. E. Mesquita, "Desenvolvimento de protótipo de um instrumento para monitoramento da qualidade de energia de uma concessionária de distribuição de energia elétrica". In I CITNEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Brasília - DF, 2001.
- [2] U. H. Castro, R. N. C. Alves, M. N. A. Moscoso, J. A. S. Sena, K. T. Souza, A. G. Castro Bezerra, J. N. Garcez, W. J. F. Lima, J. H. M. Maciel, A. L. S., E. M. Amazonas, A. A. A. Tupiassu, J. E. Mesquita, "Instrumento para monitoramento da qualidade da energia em rede de distribuição elétrica". In IV SBQEE - Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica, Porto Alegre - RS, 2001.
- [3] U. H. Bezerra, J. N. Garcez, W. J. F. Lima, J. H. M. Maciel, A. L. S. Castro, R. N. C. Alves, M. N. A. Moscoso, J. A. S. Sena, K. T. Souza, A. G. Castro, A. A. A. Tupiassu, J. E. Mesquita, "Power quality monitoring instrument for energy distribution feeder". In 11th IMEKO TC - 4 Symposium - Trends in Electrical Measurement Instrumentation, Lisboa - PT, 2001.
- [4] U. H. Bezerra, J. N. Garcez, W. J. F. Lima, J. H. M. Maciel, A. L. S. Castro, R. N. C. Alves, M. N. A. Moscoso, J. A. S. Sena, K. T. Souza, A. G. Castro, A. A. A. Tupiassu, J. E. Mesquita, "Integrating a power quality monitoring system in a distribution control center". In IEEE Porto Power Tech, Porto - PT, 2001.
- [5] U. H. Bezerra, J. N. Garcez, M. N. A. Moscoso, J. A. S. Sena, K. T. Souza, R. R. Silva, R. S. Lemos, A. A. A. Tupiassu, J. E. Mesquita, "Sistema para o monitoramento da qualidade de energia elétrica de um conjunto de consumidores em baixa tensão". In CITNEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Brasília - DF, 2001.
- [6] R. C. Dugan, M. F. Mcgranaghan, H. W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw - Hill, 1996.
- [7] Borland, C++ Builder 5 for Windows 2000/98/95/NT: Developer's Guide. New York, 2000