



V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil



Código: AJU 03 142

Tópico: Modelagens e Simulações

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE ESTIMAÇÃO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCDs) PARA REDES DE SUB-TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO

N.	N. M.	E. L.	S. X.	P.	T. P.	W. B.	S.	J. L.	A.	L. R.
Kagan*	Matsuo	Ferrari	Duarte	Rosa	Arango	Santos	Marinho	Cavaretti	Tenório	Souza
USP	USP	USP	USP	USP	USP	CELPE	CELPE	AES	AES	AES
								Eletropaulo	Eletropaulo	Eletropaulo

RESUMO

Este artigo apresenta as metodologias desenvolvidas para a estimação de variações de tensão de curta duração (VTCDs) para aplicação em rede de subtransmissão e rede de distribuição. O objetivo desses estimadores é avaliar o impacto das ocorrências de faltas nas tensões da rede a partir de dados capturados por medidores instalados em pontos específicos, fornecendo avaliação da qualidade em outros pontos.

Após um processamento inicial dos dados de medição, o estimador reúne informações da rede e executa diversos módulos de processamento, realizando localização e caracterização de falta, e avaliação de qualquer ponto da rede, fornecendo as características de VTCDs e indicadores de qualidade relativos ao fenômeno em questão.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de energia, variações de tensão de curta duração, variações momentâneas de tensão, afundamento de tensão, estimador de estado, localização de falta

1.0 - INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade de energia relativa a VTCDs em múltiplos pontos de um sistema elétrico através de medições nos locais é bastante onerosa e praticamente inviável devido

à quantidade de equipamentos necessária para realizar tal tarefa.

Como alternativa mais econômica, têm surgido algumas metodologias de estimação [1] para a determinação dos índices de desempenho de rede relativos à qualidade de energia.

Avaliando as grandezas elétricas em alguns pontos de medição específicos durante as ocorrências de faltas na rede, é possível estimar as VTCDs em outros pontos, evitando custos extras de instalar equipamentos adicionais de medição para essa avaliação.

O método mais adequado para estimação de VTCDs depende do tipo do sistema elétrico e da monitoração disponível das grandezas elétricas.

De uma forma geral, dois tipos distintos de sistemas podem ser destacados sob o aspecto de monitoração e possibilidades de estimação de VTCDs:

a) sistemas em que existem pontos de monitoração espalhados em diferentes barras, como é o caso de sistemas de transmissão ou subtransmissão, com medição nas diferentes subestações conectadas

A grandeza principal para a estimação neste caso é a tensão.

b) sistemas com monitoração apenas em um ponto, como é o caso de alimentadores de distribuição, que geralmente possuem monitoração apenas nas suas origens

* Energ - Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, nº 158. Sala A1-21 - CEP 05508-900 - Cidade Universitária - São Paulo - SP - BRASIL
Tel.: +55 (011) 3091-5404 - FAX: +55 (011) 3032-5820 - E-mail: nelsonk@pea.usp.br

Podem, obviamente, ser disponibilizados outros pontos monitorados, como é o caso de consumidores primários; no entanto, tal situação, não é ainda a mais comum.

Neste caso, tanto a tensão como a corrente constituem informações de primeira importância para a estimação de VTCDs.

2.0 - MODELO BÁSICO

A estrutura do modelo de estimação de VTCDs desenvolvido está ilustrada na Figura 1.

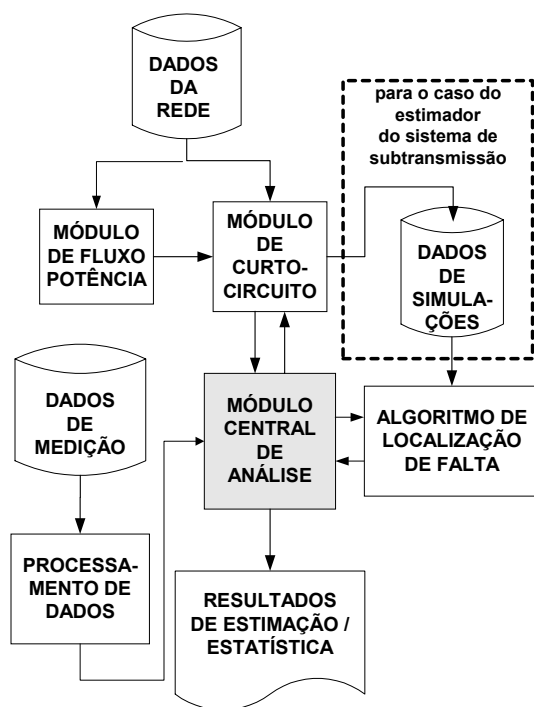


Figura 1 - Estrutura do estimador de VTCDs

A partir de dados de medição de grandezas elétricas em pontos específicos do sistema, é realizado um processamento dos dados de medição, gerando informações que alimentam um sistema informatizado. Este sistema realiza o cálculo das condições na rede a partir da configuração e dos parâmetros da rede, possibilitando a caracterização e a localização da falta.

Com as condições de falta determinadas, efetuam-se os cálculos de VTCDs para quaisquer pontos desejados da rede considerada. Isso possibilita avaliar os indicadores de VTCDs para todo o sistema.

Além disso, o algoritmo que localiza o ponto de falta pode fornecer informações importantes para

os setores de operação do sistema, possibilitando maior eficiência no atendimento de ocorrências e restabelecimento de desligamentos.

3.0 - ESTIMADOR PARA SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO

No sistema de subtransmissão, os pontos de monitoração estão situados nas subestações de distribuição e em alguns consumidores de subtransmissão.

Segue-se uma breve descrição dos processamentos realizados pelo estimador desenvolvido para o sistema de subtransmissão:

a) Processamento dos Dados de Medições

Esta etapa serve como interface entre os medidores e o módulo de estimação, realizando a leitura dos dados de medições. Dos dados de medições, são extraídos os principais parâmetros que serão usados pelo estimador.

A principal fonte de informação, no estimador de subtransmissão, são os registros dos valores instantâneos de tensão. Os registros dos valores eficazes de tensão e os registros de corrente são também usados, para análise complementar.

Esses registros são disparados em função de parâmetros escolhidos, sendo os principais a subtensão e sobretensão.

Os principais parâmetros obtidos neste módulo são:

- fasores de tensão e corrente, para os períodos pré-falta, durante a falta e no fim do registro;
- componentes de seqüência positiva, negativa e zero;
- variação da tensão eficaz entre as situações pré-falta e durante a falta;
- fases envolvidas na falta;
- horário de ocorrência da falta;
- informações quanto à duração do evento;
- informações quanto à operação de disjuntor(es), se disponíveis.

b) Controlador de Transmissão de Dados

Os dados de medições processados são transmitidos ao computador do usuário do sistema de estimação de VTCDs (computador central). Um controlador de transmissão de dados disponibiliza os arquivos produzidos pelo módulo de processamento inicial ao computador onde se encontra o estimador.

c) Base de Dados da Rede e Cálculos Elétricos

A base de dados da rede é formada pelas informações da rede (configuração, dados elétricos, etc.) e é usada pelos módulos de fluxo de potência e de cálculo de curto-circuito. O módulo de fluxo de potência determina as condições de tensão e de corrente na rede em regime permanente e os resultados são utilizados como valores pré-falta pelo módulo de cálculo de curto-circuito. O módulo de curto-circuito é usado para:

- obtenção das condições das tensões durante falta, produzindo dados que são armazenados numa base de dados específica que é acessada pelo módulo de localização de falta;
- estimação das tensões em pontos de selecionados da rede, para a situação de falta determinada.

d) Módulo Central de Análise de Eventos

Este módulo realiza a análise de todas as informações disponíveis e gerencia o uso dos módulos de localização de falta e de cálculo das tensões de VTCDs com a finalidade de efetuar o diagnóstico dos eventos registrados.

As principais tarefas realizadas neste módulo são:

- seleção dos dados de medição, de forma a separar e agrupar as medições originadas por um mesmo evento no sistema;
- análise dos resultados do processamento inicial dos dados de medição, verificando a ocorrência de sobretensão, subtensão e sobrecorrente;
- caracterização de VTCD, incluindo tipo de VTCD (afundamento ou elevação), duração e origem do evento;
- acionamento do módulo localizador de falta;
- análise de informações adicionais disponíveis para determinar partes da rede onde ocorreu a falta, verificando medidores que indicaram interrupção, estado do disjuntor e outras informações;
- verificação se as VTCDs são originárias da própria rede monitorada ou do sistema supridor.

e) Localizador de falta

O método de localização de falta usado para o sistema de subtransmissão é baseado no método de mínimos quadrados.

Esse método é aplicado para os pontos de medição. O local que fornece a menor soma dos

quadrados dos desvios entre os valores medidos e simulados é escolhido. Além da localização do ponto de falta, possibilita a identificação do tipo de falta (trifásica, fase-terra, fase-fase, dupla fase - terra). Considerando uma dada falta (tipo f e local j), o quadrado do desvio para um local de medição i , $[\delta_i]_{f,j}^2$, é obtido com a seguinte equação:

$$[\delta_i]_{f,j}^2 = \left(|V_{a_i}^{med}| - |(V_{a_i}^{calc})_{f,j}| \right)^2 + \left(|V_{b_i}^{med}| - |(V_{b_i}^{calc})_{f,j}| \right)^2 + \left(|V_{c_i}^{med}| - |(V_{c_i}^{calc})_{f,j}| \right)^2 \quad (1)$$

Assim, para cada possível ponto de falta j e tipo de falta f , a soma dos desvios ao quadrado é avaliada para todos os locais monitorados e todos os tipos de falta. O par local/tipo que conduz à mínima soma é tomado como a situação mais provável.

Para faltas que envolvem terra, um conjunto de valores de impedância de defeito é usado.

f) Módulo Estatístico

Para cada evento estimado, o estimador fornece as seguintes informações por fase: data e hora do início do evento deVTCD, o valor da tensão e a duração.

Os eventos estimados podem ser agregados de forma a obter indicadores mais representativos de qualidade, conforme procedimentos usados nas metodologias mais recentes de avaliação do desempenho de sistemas elétricos quanto a VTCDs [5]. São contempladas as seguintes agregações: agregação de fase (eventos ocorridos simultaneamente em diferentes fases) e agregação temporal (eventos ocorridos dentro de um intervalo de tempo relativamente curto, da ordem de 1 minuto). Essas agregações computam como uma única VTCD eventos nessas situações, sendo esse procedimento justificado pelo fato de que os índices assim computados refletem melhor os efeitos prejudiciais das VTCDs aos consumidores (normalmente paradas de equipamentos).

4.0 - ESTIMADOR PARA SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

No sistema de distribuição, a monitoração está situada na subestação de distribuição, nas origens dos alimentadores primários.

Segue-se uma breve descrição dos processamentos realizados pelo estimador desenvolvido para o sistema de distribuição:

a) Processamento dos Dados de Medições

Esse módulo serve de interface para o acesso às informações produzidas pelo medidor e efetua tratamento de dados de medição, produzindo informações que serão utilizadas pelo estimador.

A principal fonte de informação para o processo de estimação de VTCDs é o registro dos valores instantâneos de tensão e de corrente produzidos pelo medidor e capturado em função de um ou mais parâmetros escolhidos para realizar o disparo. Os principais parâmetros de disparo são: subtensão, sobretensão e sobrecorrente.

Os principais parâmetros avaliados neste módulo são:

- fasores das tensões e correntes nos períodos pré-falta e durante falta;
- componentes de seqüência positiva, negativa e zero;
- variação da tensão eficaz entre as situações pré-falta e durante falta;
- componentes de CC (corrente contínua) e harmônicos de ordens inferiores da corrente;
- fases envolvidas na falta;
- horário de ocorrência da falta;
- informações quanto à duração do evento;
- informações quanto à operação de disjuntor(es), se disponíveis.

b) Controlador de transmissão de dados

Este módulo é responsável pela disponibilização dos arquivos produzidos pelos módulos de processamento inicial ao computador onde se encontra o estimador de VTCDs, transmitindo os dados pelos canais de comunicação existentes.

c) Base de dados da rede e cálculos elétricos

A base de dados da rede é formada pelas informações da rede (configuração, dados elétricos, etc.) e é usada pelos módulos de fluxo de potência e de cálculo de curto-circuito.

O módulo de fluxo de potência determina as condições de tensão e de corrente na rede em regime permanente e os resultados são utilizados pelo módulo de localização de falta e pelo módulo de cálculo das tensões de VTCDs. É utilizado um

método de cálculo eficiente e preciso adequado para redes radiais.

O módulo de curto-circuito é usado para a estimação das tensões em pontos selecionados da rede, para a situação de falta determinada.

d) Módulo Central de Análise de Eventos

Este módulo realiza a análise de todas as informações disponíveis e gerencia o uso dos módulos de localização de falta e de cálculo das tensões de VTCDs com a finalidade de efetuar o diagnóstico dos eventos registrados.

As principais tarefas realizadas neste módulo são:

- análise dos resultados do processamento inicial dos dados de medição, verificando a ocorrência de sobretensão, subtensão e sobrecorrente;
- caracterização de VTCD, incluindo tipo de VTCD (afundamento ou elevação), duração e origem do evento (no alimentador ou em outra parte da rede);
- análise da sobrecorrente, que consiste em verificar se a sobrecorrente é devida à falta ou "inrush" de energização, identificação das fases envolvidas e se a falta envolve terra;
- acionamento do módulo localizador de falta no alimentador;
- análise de informações adicionais disponíveis para indicar os pontos mais prováveis de ocorrência de falta, dentre os diversos pontos possíveis apontados pelo módulo de localização;
- análise das possíveis condições resultantes da falta em diferentes pontos do alimentador, a saber: VTCD, interrupção de curta duração, ou interrupção de longa duração;
- análise de outras informações que possibilitarão melhorar o diagnóstico.

Quando o evento não é originário do alimentador (sistema de subtransmissão, outro alimentador ou secundário de outro transformador), as tensões são obtidas simplesmente avaliando-se a propagação de VTCDs na rede.

A informação quanto à abertura do disjuntor do alimentador é importante para o diagnóstico dos eventos. Caso não se tenha disponível a informação do estado do disjuntor no final dos eventos registrados, a abertura do disjuntor pode ser caracterizada pela interrupção total da corrente no alimentador (corrente zero) após a ocorrência de sobrecorrente.

Outra fonte de informação que pode auxiliar no diagnóstico dos eventos é o registro dos valores eficazes de corrente e de tensão computados a intervalos curtos, por exemplo, a cada ciclo. Esse registro pode fornecer informações úteis nos casos em que uma simples análise de oscilografia dos valores instantâneos não permite um diagnóstico, como nos casos em que se dispõe de registro apenas parcial dos eventos, ou nos casos de eventos sucessivos como em situações em que ocorrem religamentos automáticos.

e) Localizador de Falhas

Este módulo é baseado em um método descrito na referência [2], que utiliza uma formulação para tensões e correntes em trechos de alimentador em função do tipo de falta, dos parâmetros de linha e das correntes de carga. A formulação usada no estimador desenvolvido é ligeiramente modificada, utilizando uma representação baseada em componentes simétricas [3], para cada tipo de falta.

A procura do local de falta é iniciada na origem do alimentador, na subestação, onde se encontra o medidor de grandezas elétricas, que fornece as tensões e as correntes. As correntes de carga são calculadas pelo módulo de fluxo de potência.

O algoritmo determina a distância mais provável do ponto de localização de falta no alimentador. Partindo da subestação, o processo é repetido para trechos subseqüentes do alimentador, até determinar o possível ponto de falta. Como os alimentadores primários são usualmente radiais e ramificados, o algoritmo pode achar múltiplos pontos a partir de uma mesma condição de medição. Utilizando informações adicionais, o módulo central de análise de eventos pode escolher um ou mais desses pontos.

f) Módulo estatístico

Este módulo realiza tratamento estatístico de maneira semelhante ao estimador do sistema de subtransmissão.

5.0 - TESTES DE CONSISTÊNCIA

5.1 Estimador de Subtransmissão

Para o estimador desenvolvido para o sistema de subtransmissão há, até o momento, muito poucos dados de medição disponíveis. Assim, vários testes foram realizados utilizando simulações com o programa ATP (Alternative Transients Program), gerando dados de tensões e correntes

dos pontos de medição para diversas faltas no sistema.

Evidentemente, caso os resultados dos cálculos com o ATP fossem exatamente iguais ou muito próximos dos valores calculados pelo estimador, o algoritmo de localização obteria o local de falta correto, uma vez que a condição de mínimos quadrados seria obtida, pois os desvios entre os valores obtidos pelo ATP e os do estimador seriam nulos ou muito pequenos, não sendo, assim, uma boa maneira de testar o desempenho do estimador, pois na prática os valores reais podem apresentar algum desvio em relação aos valores calculados.

Por esse motivo, as simulações com o ATP foram realizadas de forma a gerar valores diferentes daqueles do estimador, sendo isso provocado usando diferente modelamento de rede e das cargas e diferentes condições de carga do sistema.

Com isso, as simulações apresentaram diferenças nos valores de tensão de VTCD de até 12% nos pontos de medição, em relação aos valores do estimador.

Os processamentos do estimador com os dados obtidos de simulações com o ATP apresentaram, apesar das diferenças, resultados satisfatórios, caracterizando corretamente e localizando corretamente as faltas, dentro de um raio de 1 km.

A figura 2 mostra uma tela apresentada pelo estimador, indicando o local e o tipo de falta identificados pelo algoritmo de mínimos quadrados.

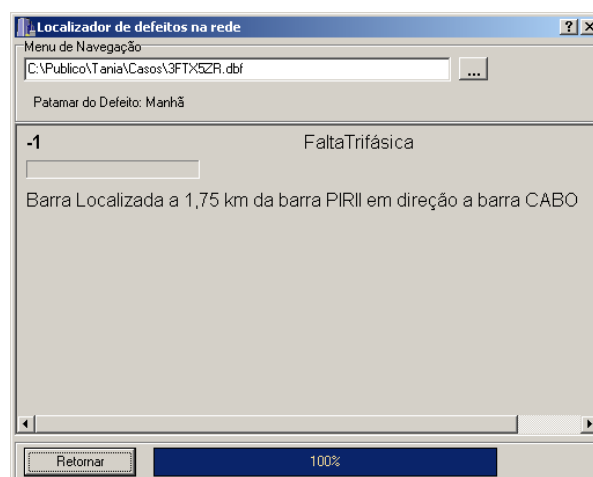


Figura 2 – Tela apresentada pelo estimador de VTCDs para sistema de subtransmissão, mostrando o local de falta encontrado e o tipo de falta

Para eventos reais, a exatidão da localização de falta e da estimação de VTCDs dependerá da proximidade entre os valores das tensões calculadas pelo estimador e os valores que se apresentarão na rede real. Essa avaliação só será possível após a obtenção de dados de medições de eventos reais na rede.

5.2 Estimador de Distribuição

Foram realizados alguns testes utilizando dados de medições reais, verificando os dados do setor de operação da distribuição sobre a localização real das faltas ocorridas, quando disponíveis.

Em geral o localizador do estimador indicou algum ponto de falta nas proximidades do local onde a falta realmente ocorreu.

A Figura 3 mostra um exemplo de localização dos possíveis pontos de falta em um alimentador de distribuição realizada pelo estimador de VTCDs a partir dos dados de registros no início do alimentador. Nesta figura são mostrados os pontos indicados pelo localizador, bem como o ponto onde realmente ocorreu a falta.

As tensões no início do alimentador calculadas pelo estimador foram comparadas com as medições e os resultados apresentaram diferenças pequenas.

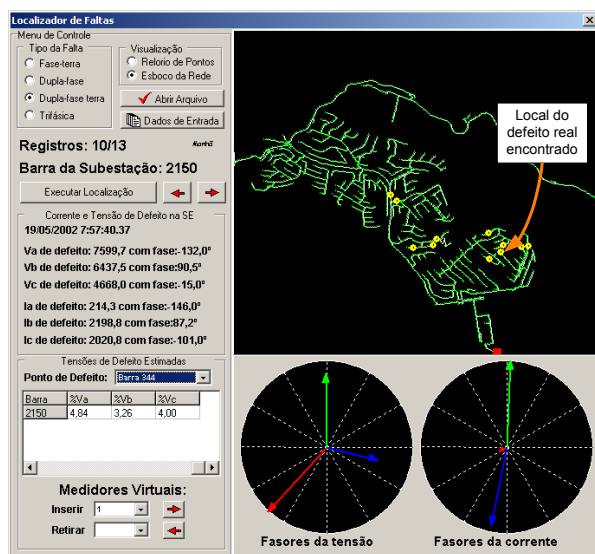


Figura 3 - Exemplo de localização de falta realizado pelo estimador de VTCDs para sistema de distribuição e o ponto de ocorrência real da falta

6.0 - CONCLUSÕES

Este artigo apresentou dois métodos de estimação de VTCDs desenvolvidos, sendo um para sistema de subtransmissão e outro para sistema de distribuição.

Esses estimadores possibilitam avaliar os indicadores de VTCDs em qualquer ponto da rede a partir dos dados de medição em pontos específicos do sistema.

Alguns testes iniciais realizados com os estimadores desenvolvidos indicaram possibilidades de obtenção de bons resultados.

Além disso, os dados sobre os possíveis pontos de falta, que fazem parte dos estimadores, podem constituir informações importantes para os setores de operação do sistema, para uma maior eficiência no atendimento de ocorrências e restabelecimento de desligamentos.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPRI - Reliability Benchmarking Methodology – RBM Software Tools User's Guide - RBM Index Calculation Module and Power Quality State Estimation Manager - Version 2.0 - February/1998
- [2] Zhu, J.; Lubkeman, D. L.; Girgis, A. A. - Automated fault location and diagnosis on electrical power distribution feeders. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, Nº 2, April 1997
- [3] Kagan, N.; Matsuo, N. M. - Estimation of Short Duration Voltage Variations in Medium Voltage and Subtransmission Networks - 17th International Conference on Electricity Distribution - CIRED - Barcelona, 12-15 May 2003
- [4] Senger, E. C.; Goldemberg, C.; Manassero Jr, G. - Automated Fault Locations System for Primary Distribution Feeders - Power Quality 2000 Proceedings, Power Systems World 2000 Conference & Exhibit - Boston - October 2000
- [5] Brooks, C. L.; Dugan, R. C.; Wacławiak, M.; Sundaram, A. - Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance - www.PQNET.ELECTROTEK.com