



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC 03
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

A EXPERIÊNCIA DE FURNAS NA APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ENSAIOS DE UMA PROTEÇÃO DE BARRAS ADAPTATIVA

Jayme E. Silva Filho - FURNAS *

Walmer Ferreira Soares -FURNAS

Márcio H. A. Wanderley -FURNAS

Denys Lellys - AREVA T&D

RESUMO

Durante o ano de 2005, FURNAS necessitou especificar, projetar, construir e colocar em operação uma nova subestação de transmissão de 345/138kV no Espírito Santo, município de Viana, região metropolitana de Vitória – ES - Brasil. Para isso, foi necessário licitar o fornecimento de equipamentos e serviços e criar procedimentos de validação em curto espaço de tempo.

Dentre esses procedimentos, foi necessário desenvolver metodologias de simulação digital em tempo real para uma proteção numérica adaptativa aplicada aos barramentos de 345 e 138kV da subestação Viana.

A proteção adaptativa objeto dos testes é capaz de se adequar a qualquer configuração de barramento mantendo a seletividade para eliminação de faltas para qualquer trecho de barra em curto tempo de decisão e operação, detectando, ainda, condições especiais tais como saturação de TCs, falha de disjuntores, falta em zona morta e faltas evolutivas.

Para a simulação digital foi utilizado o “RTDS” (Real Time Digital Simulator), localizado na sede de FURNAS, que é uma ferramenta de simulação dinâmica em malha fechada para testes de performance de dispositivos de proteção.

No artigo serão mostradas as principais funcionalidades existentes na proteção de barras utilizada nesta aplicação bem como o modelo utilizado no RTDS com as distintas configurações de barramentos, resultados obtidos e soluções empregadas para a avaliação do desempenho perante as mais abrangentes condições sistêmicas operacionais e diversas condições de faltas.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção de Barras, Digital, Topologia, RTDS, Saturação de TC, Check de Zonas, Zona Morta.

1.0 - INTRODUÇÃO

A aplicação da proteção de barras em subestações de alta e extra-alta tensão tem a finalidade principal proteger o barramento para todos os tipos de faltas, realizando corretamente discriminação entre faltas internas e externas, permitindo eliminar em alta velocidade (inferior a 1 ciclo) defeitos internos na barra protegida, isolando apenas o trecho de barra defeituoso e mantendo as demais barras sãs em operação, influenciando positivamente na manutenção da estabilidade e disponibilidade do sistema elétrico.

Devido principalmente aos fatores citados acima, o operador nacional do sistema elétrico (ONS) estabeleceu que as novas subestações de energia pertencentes à rede básica deverão ser providas de proteção de barras, conforme procedimentos de rede – submódulo 2.5 (Rev. 1).

2.0 - DESCRIÇÃO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE BARRAS

2.1 Introdução

A proteção de barras fornecida para a instalação descrita neste artigo possui o princípio de operação através de corrente diferencial (função ANSI 87) pela lei de Kirchoff, que estabelece que o somatório das correntes que entram e saem da barra é igual a zero em situações normais e ideais. Ao ocorrer uma situação de falta interna, em condições teoricamente ideais, esse somatório será diferente de zero, conforme mostrado na figura 1.

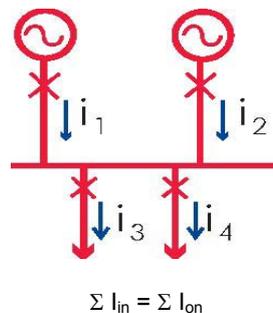


Figura 1 – Princípio Básico de Operação da Proteção de Barras

Na aplicação da lei de Kirchoff, diversos métodos podem ser aplicados para cálculo da corrente diferencial, como, por exemplo: soma vetorial, soma instantânea, etc.

No caso desta proteção é aplicado o método da soma instantânea dos valores de corrente, que possui a vantagem de suprimir, durante o processamento interno do algoritmo, as harmônicas e componentes de corrente contínua (CC) geradas externamente, em particular, correntes de magnetização (“inrush”) de transformadores.

Além da unidade diferencial de barras, o conjunto de proteção ainda conta com as seguintes funções principais:

- Proteção Contra Falha de Disjuntor – 50/62BF;
- Proteção de Zona Morta (para curto-circuito na zona localizada entre o TC e o Disjuntor);
- Check de Zonas (Somatório das correntes que entram e saem das zonas);
- Proteção de Sobrecorrente instantânea e temporizada de Fases e Neutro – 50/51 e 50N/51N.

2.2 Arquitetura e Comunicação

A arquitetura do conjunto de proteção é formada por:

- uma unidade central (UC), onde é processada a função diferencial e, dinamicamente, a topologia da subestação a partir das informações provenientes das unidades periféricas; e
- unidades periféricas (UP), conectadas individualmente a cada um dos vãos da subestação.

A proteção tem capacidade para até 16 zonas de acordo com a configuração da subestação.

O sistema de comunicação entre a unidade central (UC) e as unidades periféricas (UP) é realizado fisicamente através de fibras ópticas (850nm) e conectores padrão ST, convergindo das unidades periféricas para a unidade central todas as informações referentes às correntes, tensões e posição de equipamentos de cada vão para processamento na unidade central. A partir destas informações a unidade central toma a decisão para atuação seletiva e eliminação da falta ou ainda bloquear zonas quando ocorrer anormalidade em qualquer unidade periférica, evitando disparo indevido dos disjuntores.

A unidade central e as unidades periféricas podem ser instaladas tanto de forma distribuída nos painéis de proteção e controle de cada vão ou ainda centralizada em um único painel específico para a função de proteção de barras. No caso de instalação distribuída deverá ter em conta que o comprimento máximo da fibra não deverá ultrapassar mil metros.

2.3 Descrição dos Algoritmos de Proteção

A unidade de proteção diferencial foi desenhada de forma que o tempo global de detecção e atuação da falta seja inferior a 15ms.

A proteção diferencial de barras utiliza múltiplos critérios para desligamento. Sua operação é baseada na curva característica da figura 2, na qual a corrente diferencial (I_{diff}) é comparada com a corrente de restrição (I_{bias}) durante todo o tempo. A técnica de medição da proteção diferencial de corrente é através do método de fases segregadas.

Em regime normal de funcionamento a corrente diferencial será próxima de zero e a de restrição elevada. Durante uma falta interna, a operação só é autorizada quando a corrente diferencial exceder um determinado percentual do valor de restrição, ou seja $I_{diff} > I_s + k I_{bias}$ e $I_{diff} > I_{D2}$, sendo " I_s " a corrente de origem da inclinação da curva, " k " valor da inclinação ("slope") da curva, " I_{D1} " a corrente de supervisão do circuito de corrente e I_{D2} a corrente diferencial mínima de operação controlada pela inclinação da curva de restrição.

Este critério de operação das correntes é confirmado se os valores estiverem coerentes na ocorrência de uma falta na barra na seguinte ordem seqüencial:

$I_{D2} > I_s > I_{D1}$ (critério de coerência).

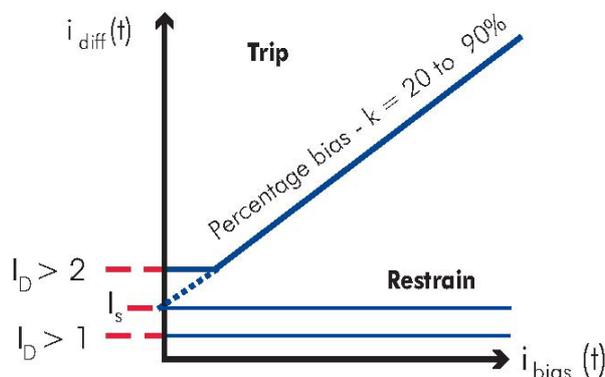


Figura 2 – curva característica de operação da proteção diferencial

Por segurança, antes da liberação do sinal de disparo, para os disjuntores, além dos valores de corrente e coerência das correntes citados anteriormente, a unidade central verifica também os seguintes critérios:

- Qualidade do sinal do TC quanto à saturação e/ou ocorrência de TC aberto;
- Confirmação de operação da unidade de supervisão global ("check zone");

O objetivo do rígido controle de obediência destes multicritérios para decisão do disparo da proteção de barras é garantir alto nível de segurança, confiabilidade e estabilidade sob todas as condições de funcionamento da subestação.

Dentre os algoritmos que formam a proteção diferencial, podemos destacar o algoritmo de detecção (predição) ultra rápida (menor que 3ms) da saturação dos transformadores de corrente, que pode eventualmente ocorrer em falta externas próximas da barra. Este algoritmo é responsável por evitar atuação indevida da proteção. Ele baseia-se na combinação da monitoração do fluxo magnético no núcleo do TC e variação da corrente, evitando atuação indevida da proteção.

Os transformadores de corrente (TCs) convencionais estão sujeitos a condições de saturação, particularmente quando ocorrem faltas externas à zona protegida da proteção de barras. Estas faltas podem provocar a saturação dos TCs e induzir a proteção de barras a operar indevidamente como se o defeito fosse interno a zona protegida, em particular para proteção, com princípio diferencial de corrente baseado na lei de Kirchoff.

Em conjunto com a aplicação da lei de Kirchoff, a proteção realiza processamento específico para detecção da saturação do TC e decisão de bloqueio da proteção até que o TC retorne a região linear de funcionamento. Baseado neste fato, o algoritmo foi desenvolvido tomando como base a característica de funcionamento do TC (região linear e estado de saturação) realizando a modelação e memorização do TC a partir dos dados de placa e curvas de saturação ensaiadas.

O princípio deste algoritmo consiste então em comparar o sinal do TC medido em tempo real com o sinal modelado e memorizado no relé, denominado de valores de predição, sendo que em condições normais de operação, este algoritmo resulta em nenhuma variação do sinal de detecção de saturação e durante a saturação do TC é gerado sinal de saturação cuja função é bloquear a proteção evitando sua atuação indevida, retirando o bloqueio após o retorno à região linear de funcionamento do TC. Com esta técnica e seu reduzido tempo para o processamento, o algoritmo pode detectar condições de saturação com tempo inferior a 2ms. Esta técnica pode ser aplicada a todas as classes de TC (5P, X, TPX, TPY, etc.). A taxa de amostragem utilizada é 2400 Hz que equivale a 40 amostras/ciclo em 60 Hz ou 0.4166ms por amostras.

Funcionando em paralelo com a detecção da saturação e complementando esta técnica, um segundo algoritmo é processado tomando como base o fluxo magnético remanente presente no circuito secundário do TC. Uma condição de saturação é detectada quando o fluxo magnético presente no circuito secundário do TC exceder o valor máximo absoluto ajustado.

Este algoritmo inovador de detecção de saturação com valores preditos somente pôde ser desenvolvido através da tecnologia numérica, com o objetivo de permitir em especial a memorização das características do TC para a realização da comparação com a resposta do TC em tempo real.

Também se destacam os algoritmos de processamento dinâmico e de pesquisa da topologia da subestação, que refletem automaticamente, com máxima fidelidade e em tempo real, a mudança da configuração a partir da manobra dos equipamentos de pátio (disjuntores e seccionadoras) e gera dinamicamente novas zonas de proteção para atuação seletiva da proteção em caso de faltas na barra da subestação, cuja topologia global da subestação é atualizada a cada 33ms.

A partir do diagrama unililar da subestação, a topologia é inicialmente gerada “off-line” através de programa gráfico onde são representadas e conectadas todas as seccionadoras, disjuntores, TC e Barras existentes na subestação (Figura 3).

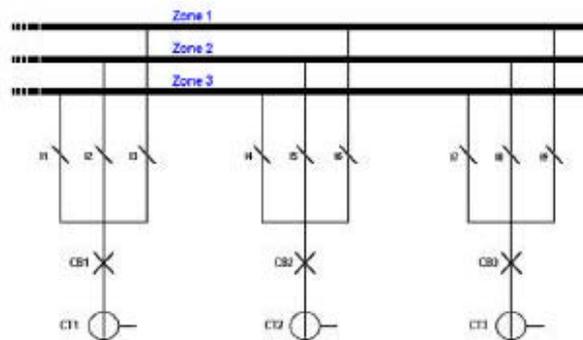


Figura 3 – Exemplo de topologia de subestação

Após a compilação e finalização deste processo gráfico são gerados automaticamente os arquivos que serão carregados diretamente na porta frontal de comunicação das unidades periféricas e unidade central da proteção de barras (Figura 4).

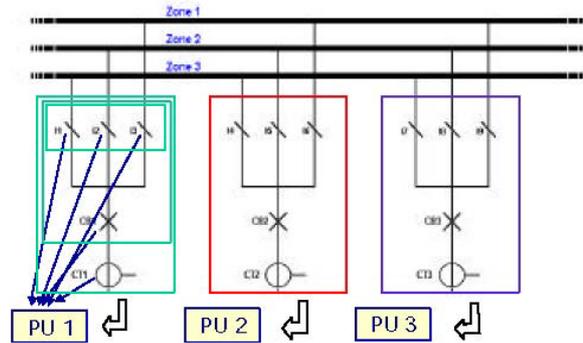


Figura 4 – Compilação e representação de equipamentos nas unidades de posição

O processamento e análise da topologia da configuração da subestação em tempo real é um dos principais fatores da confiabilidade desta proteção.

A variada possibilidade de mudança da topologia é dinamicamente processada em tempo real através de um algoritmo de pesquisa visando determinar e atualizar esta topologia em tempo real. No caso de uma falta interna, o algoritmo de processamento da topologia tem a capacidade de identificar qualquer seção física da subestação e determinar as seções de barras a serem retiradas de serviço.

2.4 Funções de Supervisão:

- Supervisão Global de Zona (“Check Zone”) - tem a função de calcular o somatório global de todas as correntes que entram e saem da barra. O somatório das correntes será nulo se não houver falta na barra protegida, independente da ocorrência de discrepância de posição dos equipamentos durante e após as manobras de fechamento e abertura.
- Supervisão dos transformadores de corrente internos de cada uma das unidades periféricas em caso de circuito aberto.
- Supervisão de posição (aberto/fechado) e monitoração dos equipamentos, em particular as condições dos disjuntores quanto à soma de correntes interrompidas, número e tempo de operação e quantidade de disparos executados.

2.5 Funções de Controle, Medição e Registros

- Esquema lógico programável

O programa lógico é uma poderosa ferramenta incluída na proteção que permite customizar graficamente qualquer esquema lógico de controle e proteção, em face de disponibilizar portas lógicas, temporizadores e todas as variáveis internas de proteção e controle. O esquema lógico programável é configurado através do programa de parametrização, edição de lógicas e análise de faltas e é usado também para definir toda a funcionalidade dos relés auxiliares de saída, LED de sinalização frontal e entradas digitais. Através deste recurso é implementado um esquema lógico de discrepância para cada seccionadora e disjuntor de forma a supervisionar a posição do equipamento e os contatos auxiliares.

- Medição

Os valores instantâneos medidos em amperes (A) são:

- Corrente Diferencial – I diff;
- Corrente de Restrição - I_{bias};
- Correntes de Fases – I_A, I_B, I_C;
- Corrente de Neutro- I_N;
- Frequência - Hz

Este recurso é importante para aferir a correta ligação dos TC que alimenta a proteção de barras, devendo o valor medido da corrente diferencial na condição de regime permanente ser mínima e o valor da corrente de restrição alto.

- Registros de oscilografia e eventos

Os registros de oscilografia e sequência de eventos são ferramentas de grande valor durante uma análise pois

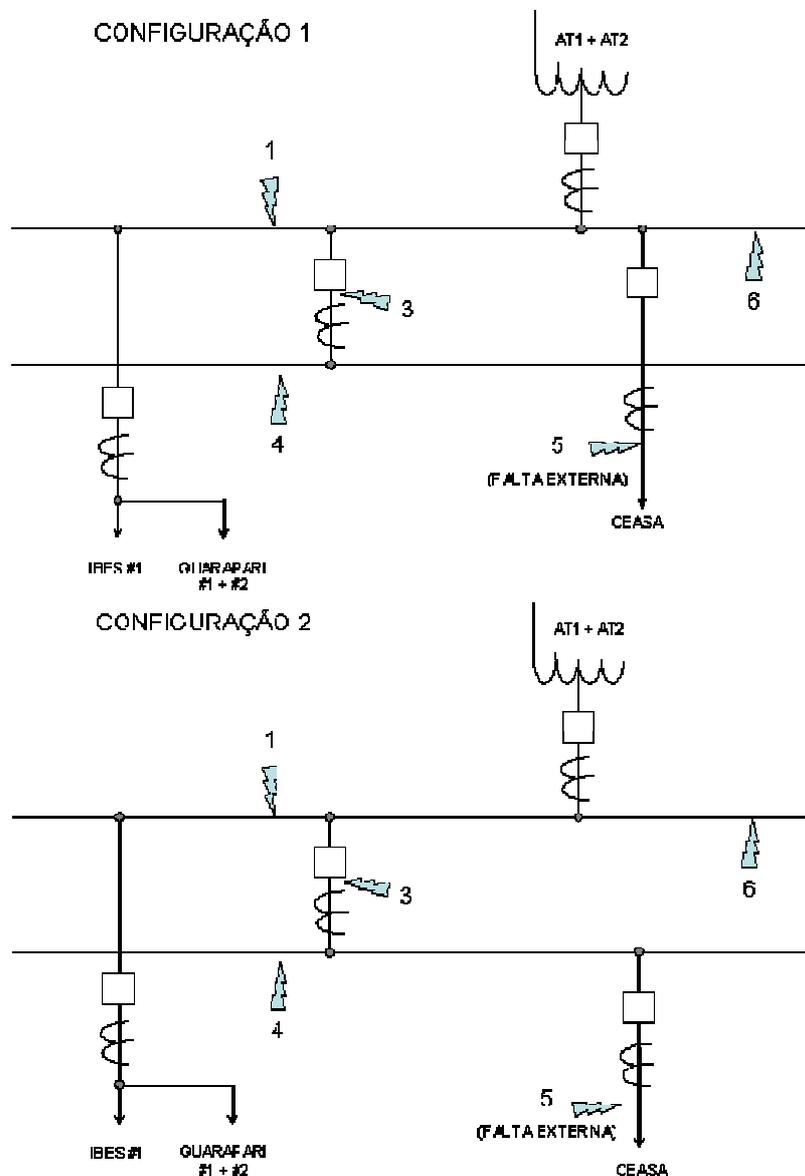
concentra as informações dos vão da subestação onde é possível verificar distorções harmônicas, saturação de TC, corrente de restrição e operação da proteção diferencial, ligação de TC invertida e fazer a avaliação dos sinais internos da proteção dando direcionamento a uma conclusão mais precisa.

Podem ser armazenados nesta proteção até 250 registros de eventos com resolução de 1ms e registro das 05 últimas faltas, além de 20 últimos registros de perturbações ou oscilografia, cada um com duração máxima de 10,5 segundos para as unidades periféricas e 1,2 segundos na unidade central e ainda registro gráfico de até 32 canais digitais configuráveis e 08 analógicos que podem ser visualizados através do software de análise do fabricante.

Dos recursos citados anteriormente, destacamos as grandezas analógicas registradas referente a corrente diferencial produzida durante a falta versus a corrente de restrição que são armazenadas na unidade central, bem como a corrente de saturação e distorções harmônicas que podem ser geradas pelo TC e registradas na unidade periférica de cada vão da subestação.

3.0 - SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL NO RTDS DE FURNAS

Diversos casos de faltas foram verificados no simulador em tempo real de FURNAS contemplando as etapas de modelagem, pré-testes e testes com a participação do fabricante. Os ensaios foram realizados considerando as configurações modeladas conforme documento de procedimentos de testes acertado com o fabricante, sendo contempladas 03 configurações básicas (Figura 5).



O desenvolvimento da tecnologia digital permitiu desenvolver novas técnicas que asseguram níveis elevados de segurança, confiabilidade e estabilidade da proteção de barras.

A aplicação desta proteção em subestações de FURNAS permitirá em uma contingência, eliminar a falta seletivamente e em alta velocidade, com a vantagem de influenciar positivamente na estabilidade do sistema interligado e contribuirá para análise das perturbações com registro de oscilografia, verificando o comportamento das correntes por vão, e sequência de eventos dos sinais internos da proteção auxiliando o analista em conclusões mais precisas.

Os ensaios realizados no sistema de proteção de barras no simulador em tempo real (RTDS) de FURNAS, complementados pelos testes de campo na subestação de Viana permitiram aferir a performance do sistema e também capacitar as equipes técnicas no referido sistema.

6.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) Numerical Busbar Protection benefits of numerical technology in electrical substation – D. Tholomier, A. Varghese – AREVA T&D – Lattes, France;
- (2) MiCOM P740, Numerical Busbar Protection Technical and Operation Guide P740/EN/B11 –site www.aveva-td.com.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Jayme E. Silva Filho

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 16 de agosto de 1964.

Graduação (1988) em Engenharia Elétrica: Universidade do Estado do Rio de Janeiro -UERJ

Empresa: FURNAS Centrais Elétricas, desde 2004

Função: Engenheiro do Departamento de Estudos Elétricos – Divisão de Análise da Proteção

Walmer Ferreira Soares

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 18 de julho de 1969.

Especialização (2003) em Proteção de Sistemas Elétricos: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Graduação (1993) em Engenharia Elétrica: Universidade Santa Úrsula - USU

Empresa: FURNAS Centrais Elétricas, desde 1993

Função: Engenheiro do Departamento de Estudos Elétricos – Divisão de Análise da Proteção

Márcio Henrique Alves Wanderley

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 01 de Agosto de 1971.

Mestrado (2004) em Computação Aplicada a Sistemas de Potência: Universidade Federal Fluminense – UFF

Especialização (Em curso) em Proteção de Sistemas Elétricos: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Graduação (1998) em Engenharia Elétrica: Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Função: Engenheiro do Departamento de Engenharia Elétrica – Divisão de Proteção, Controle e Supervisão.

Denys Lellys

Nascido em Campina Grande, PB, em 26 de Junho de 1958.

Especialização (1983): UFPB-PB e Graduação (1981) em Engenharia Elétrica: UFPB-PB

Empresa: AREVA T&D desde 2000

Função: Engenheiro de Aplicação