XI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

RJ/GPC/18

RIO DE JANEIRO-RJ/BRASIL-1991

GRUPO V
PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA (GPC)

" EXPERIÊNCIA EM PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM COMPENSAÇÃO SÉRIE "

Francisco A. Reis Filho - ABB -
Jorge Kotlarewski - FURNAS -
Celso Xavier - ABB -

1. INTRODUÇÃO

Com a grande demanda de energia elétrica sempre crescente no mundo, quantidades cada vez maiores de energia são transmitidas ao longo dos Sistemas de potência. Esta necessidade já impõe como requisito para os principais "corredores" de energia, tensões cada vez mais altas e linhas cada vez mais longas em função das distâncias entre regiões com alto potencial hídrico (a energia hidroelétrica é a que apresenta melhor relação custo-benefício no Brasil), com tensões de trabalho cada vez mais elevadas.
Nessa situação, tem-se tornado uma solução cada vez mais usual o emprego de compensação da reatância indutiva de linhas de transmissão de extra alta tensão através da adição de bancos de capacitores em série com as mesmas(compensação série), para o aumento de eficiência do sistema de transmissão.
Esta configuração mais complexa do sistema de transmissão, traz dois problemas a serem resolvidos pelos engenheiros de proteção: 1.1)a proteção dos bancos de capacitores, muito susceptíveis a sobretensões que ocorrerão durante situações de curto-circuito e 1.2)adaptação da proteção da linha onde temos a compensação série. A proteção principal dos compensadores série é constituída por elementos que em um tempo muito curto desconectam-nos da linha de transmissão em situações de falta ou reduzem a tensão desenvolvida em seus terminais, limitando assim, a quantidade de energia a circular através dos compensadores. A adição de centelhadores ("spark-gaps") em paralelo com os bancos de capacitores é a solução empregada para esse problema e, frequentemente, essa configuração é aprimorada com a adição de varistores ("MOV") de óxido metálico em paralelo.
Essa composição de elementos cria um singular e complexo comportamento da linha de transmissão durante situações de falta, que traz uma série de problemas adicionais à proteção da linha de transmissão, uma vez que sua reatância normalmente atenuada pelos capacitores, será reinserida no circuito de falta, porém, não instantaneamente (uma vez que a atuação tanto dos centelhadores, quanto dos varistores, demandam algum tempo), havendo situações, inclusive, em que poderão, nem mesmo atuar (centelhadores, operam entre duas e três vêzes o valor nominal de tensão e varistores em torno de uma vez e meia) (ver fig's 1.1 e 1.2). Dessa forma, durante a falta e em função da operação dos centelhadores ou MOV's, haverá uma drástica comutação no valor de impedância da linha de transmissão vista por relés de distância (por exemplo).

Além desse problema, MOV's normalmente introduzem subharmônicas durante faltas. Falsos "zeros" de tensão poderão ser criados nas linhas adjacentes; situações de reversão de potencial e mesmo de corrente, poderão ludibriar os sensores direcionais das proteções convencionais. (ver Fig. 1.3).

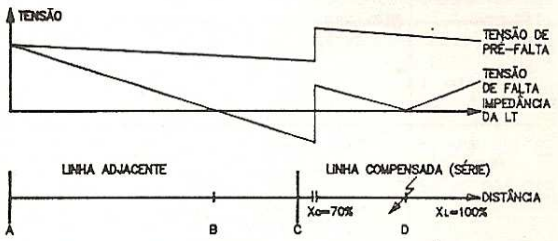
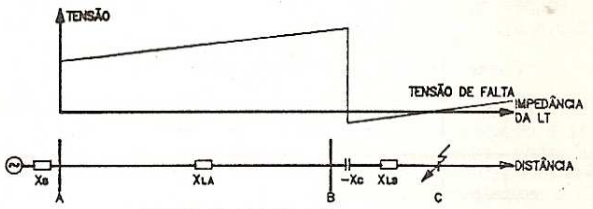


FIGURA 1.1 – REVERSÃO DE TENSÃO (LT COM CAPACITOR SÉRIE, SEM MOV)



CONDIÇÃO: $X_c > X_s + X_{LA} + X_{Ls}$

FIGURA 1.2 – REVERSÃO DE CORRENTE (LT COM CAPACITOR SÉRIE, SEM MOV)

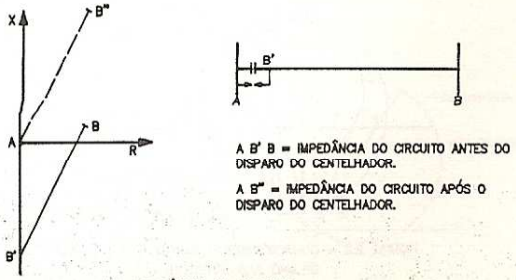


FIGURA 1.3 – IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO

FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO
ASEA BROWN BOVERI (ABB)/Av.Monteiro Lobato,3285 - Guarulhos-SP
CEP 07190 - Tel.:208-9911 Ramal 3142 - FAX: (011)913-5478

2. PROTEÇÃO DA LT COMPENSADA POR RELÉS DE DISTÂNCIA

(Suplemento para Linhas Compensadas-SLC)

Inúmeros fatores irão afetar a medição no caso de proteções de distância, devendo ser adequadamente tratadas para a correta operação, sendo os mais críticos os seguintes listados abaixo:

2.1 Reversão de tensão e (eventualmente)de corrente, afetando a discriminação direcional dessas proteções.

2.2 Oscilações de baixa frequência (subharmônicas) causadas por varistores(MOV) que poderão afetar significativamente o tempo de operação das proteções de distância envolvidas.

2.3 Operação das proteções do capacitor (sobretensão) alterando a impedância do circuito pela simples eliminação da capacitância, atuação do centelhador ou entrada da resistência do varistor (MOV) em paralelo.

2.4 Pertubações de alta frequência causadas pela operação do centelhador.

2.5 Localização dos transformadores de tensão e corrente(a jusante ou a montante do centelhador).

A eliminação do efeito da reversão de tensão na discriminação direcional, poderá ser obtida em caso de faltas monofásicas por polarização cruzada (tensão da fase sã), mas em caso de faltas trifásicas somente a utilização de memória de tensão será eficaz. Com os recursos atuais pode-se estender o tempo de memória em torno de 100ms com elevada precisão. Sistemas de filtragem deverão ser habilmente empregados para eliminar tanto os transitórios de alta quanto baixa frequência. Tomando-se como a situação mais crítica o item 2.5 acima, o critério para a acomodação do item 2.3 consiste em ajustar o relé de distância para zona 1 (disparo direto) mais curta que a LT compensada e a zona 2 sobrealcançando a LT não compensada (disparo do centelhador) operando em esquema permissivo (POTT). Não é simples obter-se a associação dos requisitos acima para uma proteção de distância, sendo aliás um problema complexo, havendo casos em que normalmente com compensação no início da LT a proteção poderá nem sequer operar (ver Fig. 2.2).

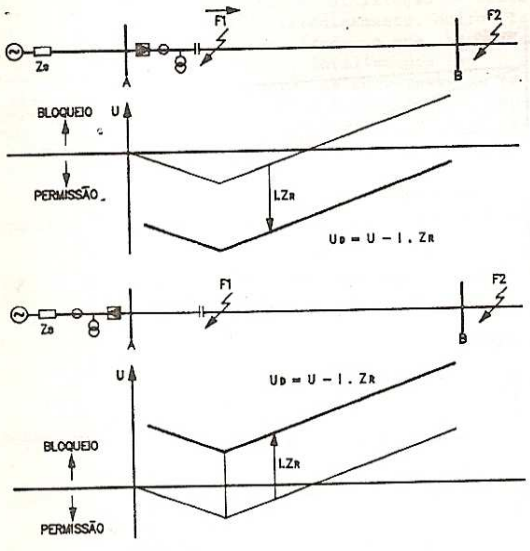


FIGURA 2.1

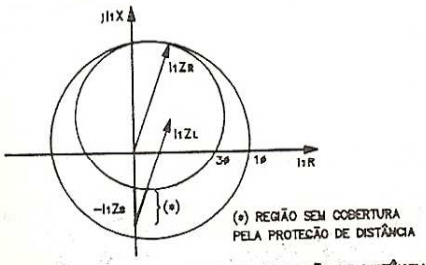


FIGURA 2.2 – COMPORTAMENTO DA PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA (PLANO DAS TENSÕES)

Nesse caso a solução para proteções de distância será difícil, a menos que se adicione um segundo elemento que dará uma condição de permissão de operação ao relé de distância, agindo como critério adicional e sob certas ' circunstâncias, podendo promover o disparo do disjuntor (quando não houver cobertura pela proteção principal).

Chamemos esse dispositivo de suplemento para linhas compensadas SLC, operando em conjunto com a proteção de distância da seguinte maneira:

Disparo = ZM . SLC + SLC6

Onde,
ZM = Medição da proteção de distância
SLC = Permissão do Suplemento para Linhas Compensadas
SLC6 = Operação de todos os comparadores do SLC simultaneamente.

As caracterísiticas básicas do SLC são as seguintes:

2.6 Utiliazação de referência por memória pura da tensão de pré falta.

2.7 Seis comparadores de 90 (Arg (UE)-Arg (UD)) > 90, independentes, onde UE= tensão de fonte; UD=tensão de medida (UR, US, UT, URS, UST e UTR).

2.8 Impedância réplica ajustada para $0,3ZS < ZR < 3ZS$ e $ZR > XC$, onde:

ZS = Impedância da fonte
ZR = Impedância réplica
XC = Compensação série

Deverá ainda, ZR ser maior que a zona em sobrealcance (POTT) da prot. de distância.A Figura 2.1 ilustra o princípio de operação do SLC.

3. DETECTOR DE ONDAS DIRECIONAIS (DOD)

A ocorrência de uma falta sobre a Linha de Transmissão pode ser analisada à luz do teorema da superposição de efeitos, com a combinação de duas situações, conforme ilustrado na Fig. 3.1, sendo uma de pré-falta (ver Fig. 3B) e outra de falta (ver Fig. 3C) onde uma fonte imaginária com tensão negativa é fechada sobre o ponto,levando a tensão a praticamente zero e provocando a circulação da corrente. Nessas circunstâncias, e tomando por ilustração novamente a Figura 3, podemos dizer que em uma linha de transmissão com dupla alimentação, dois pares de frentes de onda de corrente e tensão partirão,em direções opostas, do ponto de falta (F) em direção às extremidades da linha (AeB) e à velocidade da luz no meio condutor.

Desta forma, após a chegada das frentes de onda de tensão e corrente nas extremidades A e B os valores de tensão e corrente pré-falta serão afetados por valores incrementais (Δu ΔL).

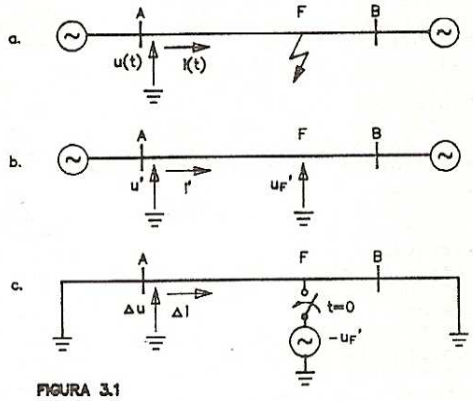


FIGURA 3.1

Dessa forma teremos no tempo:

$u(t) = u' + \Delta u$

$i(t) = i' + \Delta i$

onde, $u(t)$ e $i(t)$ são as funções tensão e corrente (no tempo) e u' e i' os valores de tensão e corrente para a condição de regime. Baseado nesse princípio, o detector de ondas direcionais, é um dispositivo que conectado aos transformadores de tensão e corrente da linha, detectarão a presença das frentes de ondas que provocam as variações Δu Δi.

Para se utilizar esse dispositivo na detectação de faltas, contudo, é necessário discriminar esse fenômeno de inúmeros outros que provocam a propagação de ondas direcionais como manobras de chaveamento, descargas atmosféricas etc.
Essa discriminação entre faltas e outros fenômenos que também geram ondas direcionais, será obtida, principalmente, a partir de uma série de filtros, os quais analisaremos adiante. A determinação de direcionalidade é outro ponto muito importante para aplicação da proteção, e esse problema poderá ser resolvido à partir da comparação de sinais (a partir de uma referência comum) entre as variações Δu Δi correspondentes a um determinado terminal. Se a falta for à frente desse terminal, os sinais serão discordantes, sendo atrás serão concordantes. A Figura 3.2 ilustrará essa situação.
Linhas com compensação reativa por capacitores na própria linha ou em linhas adjacentes não representarão problema para o DOD, uma vez que, tais ondas atravessarão os capacitores, e a detecção de falta será feita em um tempo muito curto, antes de haver variação na energia armazenada nos capacitores.

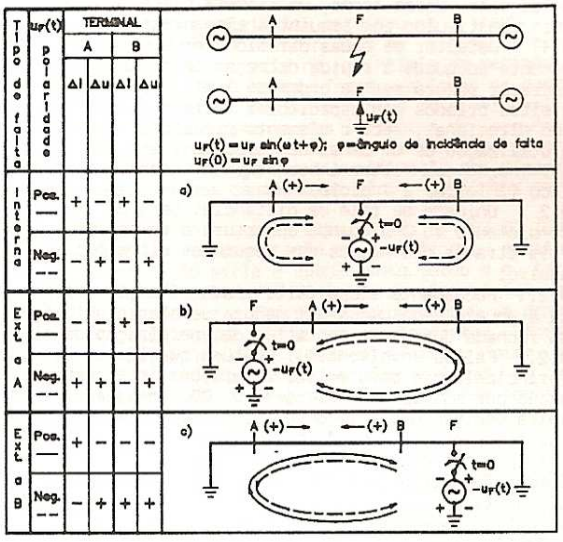


FIGURA 3.2

4. ASPECTOS TRANSITÓRIOS EM LINHAS COMPENSADAS

4.1 Noções básicas

Os bancos de capacitores série são normalmente equipados com "centelhadores" que curto-circuitam o capacitor em situações de sobretensão na rede. Esta situação operativa faz com que a rede retorne a sua condição de natureza indutiva. Esta ocorrência costuma gerar transitórios de altas frequências junto com transitórios subsíncronos nos sinais de corrente e tensão.
O distúrbio causado na proteção por estas altas frequências podem ser eliminados pela instalação apropriada de filtros na entrada. Entretanto, isto não é possível no caso de oscilações subsíncronas desde que esta frequência pode ser bem próxima da frequência da rede. Normalmente, o tempo requerido para estas oscilações decaírem é muito grande comparado com o tempo de atuação das proteções, pois estão diretamente ligados à constante de tempo do sistema. Por outro lado, as correntes de defeito diretamente relacionadas com à constante de tempo citada podem resultar na saturação dos transformadores de corrente e transitórios de altas frequências, já mencionados, nos secundários dos divisores capacitivos de potencial. A seguir, vamos dividir a nossa análise em 05 (cinco) partes distintas a saber: (ver Fig. 4.1).

4.1.1 Regime permanente de pré-falta: Durante este período somente existe a corrente de carga. Entretanto, oscilações de potência podem influenciar a performance de proteção. Se o relé responde para estas condições, deve ser bloqueado. A proteção (DOD) não responde para estas condições e portanto não deve ser bloqueada.

4.1.2 Sub-transitórios: Durante este período a informação real pode ser suprida ao relé. Não ocorre saturação

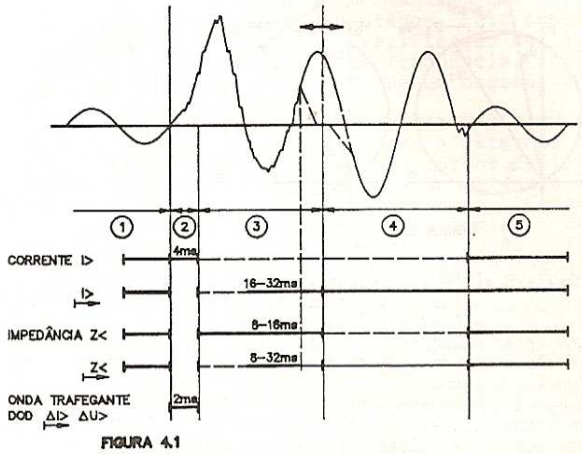


FIGURA 4.1

dos transformadores de corrente ou transitórios nos divisores capacitivos de potencial, bem como tensão ou corrente reversa. Durante este período a proteção (DOD) efetuará a medição.

4.1.3 Transitório: Conforme já citado no item 4.1, podem ocorrer saturação dos TC's e transitórios nos DCP's, inversão de tensão e correntes, bem como, potências reversas em linhas paralelas devido a abertura de disjuntores. Técnicas especiais de medição utilizando a passagem pelo ponto zero em combinação com avançados circuitos de entrada com filtros são as técnicas mais usuais utilizadas nos relés de distância para estas condições.

4.1.4 Pós-transitório: Durante este período a corrente de falta, contém basicamente o componente fundamental da frequência e as situações ocorridas no item 4.1.2, praticamente inexistem. Portanto, é possível se fazer as medições de corrente e tensão baseados no componente fundamental de frequência.

4.1.5 Pós-falta (Regime Permanente): Durante este período somente a corrente de carga existe e o sistema de proteção tem que resetear rapidamente para obter uma performance instantânea em novas condições de defeito.

4.2 Transitórios Sub-síncronos e seus efeitos nas proteções de distância estáticas.

4.2.1 Representação da Linha pelo circuito R.L.C.
Quando a tensão e a corrente recebida pelo relé de distância contém multiplas frequências, a análise convencional por fatores não se aplica. Os efeitos das harmônicas e subharmônicas podem ser analisadas então pelo método das coincidências das ondas. Resolvendo o circuito R.L.C por Fourier obtemos:

$$i = I_1 \sin(w_1 t+\varnothing_1) + I_2 \sin(w_2 t+\varnothing_1) + \ldots + I_n \sin(w_n t+\varnothing_{n-1})$$

onde, In = máximo valor de in
wn = frequência angular de in
$\varnothing n-1$ = ângulo de defasagem de in em relação a il.

Por simplicidade, mas sem perda de generalidade, vamos assumir que a corrente do sistema contenha somente dois componentes, ou seja, il e i2. Após algumas integrações e diferenciações com as condições de contorno consideradas, levando em conta o diagrama da fig. 4.2, onde o princípio básico de medição e operação do relé é a comparação angular entre as duas tensões VR (gerada pelo sistema) com VD que é igual I.ZT-VR, obtemos: (ver Fig. 4.2.1).

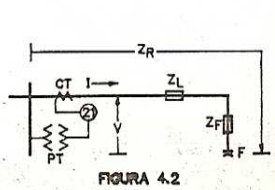
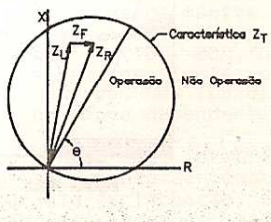


FIGURA 4.2



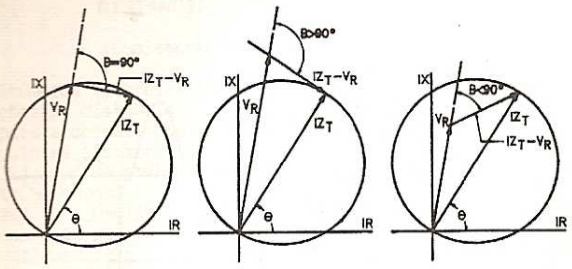


FIGURA 4.2.1

$$VD=VT-VR=[LT-L].(Il\,wl\cos wlt+I2\,w2\cos(w2t+\emptyset1))+[RT-R].(Il\sin wlt+I2\sin(w2t+\emptyset1))+1/C.(Il/wl(\cos wlt)+I2/w2(w2t+\emptyset1))$$

Com estas equações os valores instantâneos das ondas de tensão e corrente devem ser computados e plotados como função do tempo.

A modulação causada pela corrente subsíncrona pode inadvertidamente, alterar o alcance do relé, podendo causar operação para faltas externas ou inibir o trip durante faltas internas.Observando a equação acima, notamos que a tensão gerada associada à indutância é proporcional à frequência, e o efeito da corrente subsíncrona é atenuado pela relação w2/wl. O oposto se dá com relação a tensão produzida pela falta através da capacitância. Portanto, quanto menor a frequência subsíncrona, maior o efeito de modulação nas tensões VR e VD. Podemos verificar através das fig's 4.2.1 e 4.2.2, que para o mesmo ponto de localização da falta temos para a Fig.4.2.1, uma alta modulação de VR, uma baixa modulação de VT e a curva de VD dominada pelo sinal subharmônico em magnitude e frequência.

Podemos dizer portanto, que a coincidência de aproximadamente 5,3 ms se dará somente 27 ms após a incidência da falta. Para a Fig.4.2.2. temos uma baixa modulação de VR e consequentemente de VD o que proporciona uma coincidência por um tempo maior, ou num espaço pequeno em relação à incidência do defeito.

4.3.2 Considerações gerais

Durante a falta o componente da corrente subsíncrona é usualmente uma pequena porcentagem da corrente total da falta.

Para sistemas com problemas de ressonância subsíncrona , filtros adaptados são instalados nas usinas para bloquear correntes subsíncronas dos geradores.

Para Proteções de linhas usando proteções de distância , as entradas de corrente e tensão são usualmente filtradas.

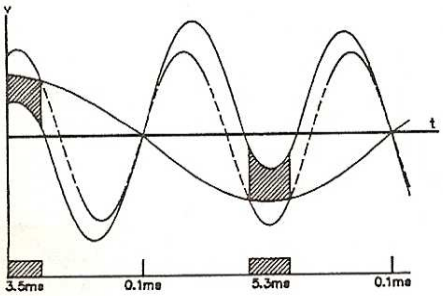


FIGURA 4.2.2

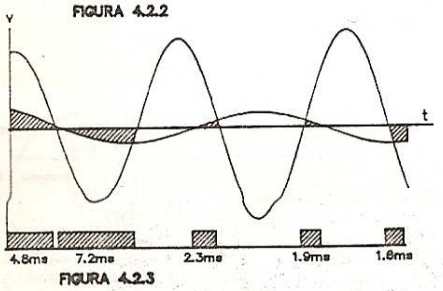


FIGURA 4.2.3

As proteções com efetivos filtros de baixa frequência não são afetados pela modulação subharmônica.Entretanto, os filtros são projetados com ênfase nos ruídos e transitórios de alta frequências.

Uma filtragem efetiva das correntes acima de 50 hz sem afetar a faixa de medição de 55 a 60 hz, poderia ser um desafio a ser implementado.

A característica dinâmica do relé é pretendida para assegurar certas condições do sistema que podem fazer com que a tensão de polarização do relé torne-se nula ou reversa. A característica MHO pode se expandir e conter a origem sem realmente mudar o alcance no sentido do trecho a ser protegido. Entretanto, se estas condições reduzem a probabilidade de uma atuação incorreta, não evitam a operação indevida quando o defeito é próximo ao ponto de ajuste da proteção ou quando a corrente de defeito contém componentes subsíncronos.

5. TERMINAL DE LINHA COM COMPENSAÇÃO SÉRIE - RALZA

Os elementos analisados acima como SLC para proteção de distância e o detector de ondas direcionais poderão isoladamente dar cobertura a um grande número de faltas.Contudo, somente a ação combinada e integrada na forma de terminal de um conjunto de detetores de diferentes naturezas poderá dar a melhor cobertura (para todos os tipos de defeito. Dessa forma, um sistema bastante eficiente será constituído dos seguintes elementos:

5.1 Detector de ondas direcionais: Como elemento plenamente adequado à rápida detecção de faltas o tempo de operação poderá ser da ordem de 2 ms, insensível aos efeitos criados por capacitores série e, com discriminação direcional, será o elemento principal de medida.

A utilização de um canal de telecomunicação permitirá a eliminação das faltas internas em um tempo bastante reduzido (inferior a 1 ciclo).

5.2 Unidade de relé de distância: Será um importante complemento ao DOD, dando cobertura a faltas não detectáveis através dos mesmos nas seguintes situações listadas abaixo:

5.2.1 Fechamento sobre falta : Uma situação muito típica é aquela onde uma seccionadora de aterramento é mantida fechada durante a tentativa de energização da linha.

5.2.2 Faltas envolventes : Por uma questão de segurança (principalmente para evitar alterações intempestivas causadas por múltiplas reflexões) o DOD trava após a primeira medição não levando em conta sinais subsequentes até o seu rearme. Uma falta envolvente ocorrida durante esse período não seria detectada.

Outras funções serão ainda exercidas pelo elemento de distância:

- Partida por subimpedância
- Participação em lógicas de fraca alimentação.
- Retaguarda em terceira zona para todo o esquema

5.3 Unidade de medição de corrente de neutro: A função desta unidade será a detecção de faltas altamente resistivas e é obtida pela adição de um elemento de medição de sobrecorrente. Caso um sinal de envio de canal seja gerado e recebido e, durante 20 a 35 ms haja a presença constante de sobrecorrente no sensor de neutro, um sinal de disparo será gerado. Caso o sensor de neutro mantenha-se operado por um tempo muito maior (1,5 - 5s) um sinal de disparo independente será gerado.

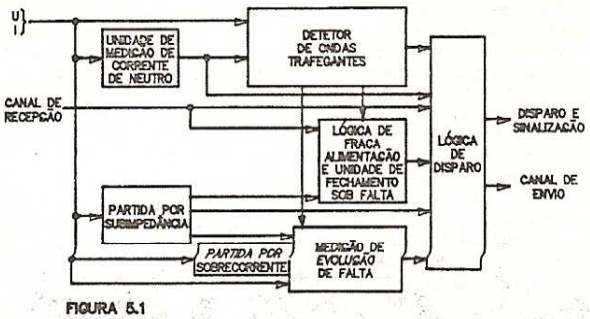


FIGURA 5.1

Este conjunto de elementos operará de maneira coesa e conforme o diagrama de blocos da figura 5.1. Outros elementos serão necessários ainda para se compor um sistema de proteções de linha de transmissão completo,conforme veremos a seguir.

6. ESQUEMAS DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE 765 KV FURNAS

6.1 Introdução

O esquema de proteção utilizado por FURNAS foi testado durante a fase de projeto no simulador da ABB-RELAYS na Suécia. O simulador utilizado permite a modelagem de linhas através de parâmetros distribuidos, com os diversos equipamentos componentes do sistema de potência modelados através de circuitos eletrônicos, interligados por chaves eletrônicas controladas por computador,o que permite rápidas mudanças de configuração da rede (ver Fig. 6.1).

O teste de modelo visou comprovar que o esquema de proteção adotado teria um desempenho adequado quando submetido aos diversos fenômenos elétricos que ocorrem no Sistema de Transmissão de Itaipu 750 kV CA com compensação série (ver Fig. 6.2).

A partir de estudos digitais, escolheu-se o trecho de linha que apresentava o maior número de fenômenos elétricos capazes de interferir no princípio de medição da proteção RALZA. Para tanto, foram avaliadas as condições de curto- circuito máximo e mínimo possíveis(reais) no sistema, o comportamento das correntes de sequência zero, a análise de perfis de tensão, forma/tempo de propagação das ondas trafegantes e verificação do disparo dos centelhadores dos capacitores série nas linhas paralelas.

Simulou-se o trecho entre as subestações de FOZ DO IGUAÇU e IVAIPORÃ com representação de duas linhas paralelas com compensação série e acoplamento mútuo e a terceira linha não acoplada. O restante do sistema foi reduzido a equivalentes e fontes, considerando-o em condições de operação normal. Todos os equipamentos foram modelados a partir de dados reais do sistema. Foram monitorados sinais analógicos de corrente e tensão em ambas as estações e sinais digitais das proteções acessíveis normalmente.

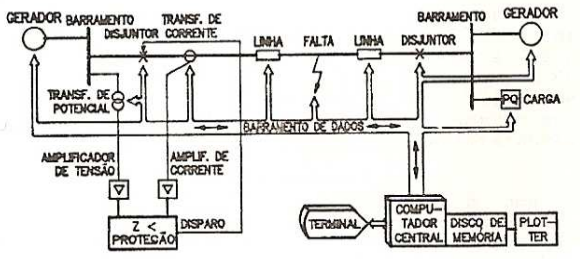


FIGURA 6.1 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SIMULADOR ABB – VÄSTERÅS

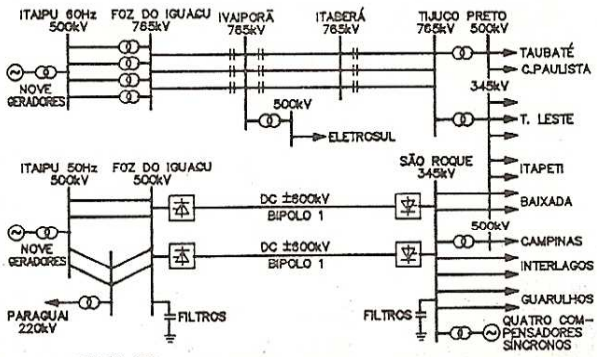


FIGURA 6.2

Inicialmente procederam-se testes de verificação do modelo, os quais foram comparados com resultados dos estudos digitais préviamente executados, tais como: níveis de corrente e tensão, verificação da impedância da linha em função de frequência, verificação da propagação/reflexão de um degrau de tensão.

Foram feitos testes de curto-circuito 1Ø-T,2Ø-T 2Ø, 3Ø em diversos pontos internos e externos à linha protegida, com inserção dos curtos,controlados em diversos ângulos em relação a tensão V (0°, 60°, 90°, 150° graus elétricos). Foram ainda determinadas as máximas resistências de falta detectáveis pelo esquema de proteção fechamento sobre falta, abertura de fase e faltas envolventes.

Para testar a insensibilidade a surtos da proteção, foram feitos chaveamentos internos e externos, manobras dos capacitores série, oscilação de potência e perda de sincronismo.

Para as condições testadas a proteção apresentou um desempenho satisfatório com os seguintes pontos a destacar:

- Tempo de atuação de 10 ms para faltas próximas a um dos terminais com transferência de disparo e comando de abertura do terminal remoto em 30 ms, considerando o tempo de canal 15 ms.
- Tempo de atuação, para faltas com baixa resistência no meio da linha, variando de 35 a 48ms.
- Resistência para terra máxima acomodável para curtos:
  - . próximos a um dos terminais - 100 a 150 ohms primários (atuação das unidades de ondas)
  - . no meio da linha - 40 a 60 ohms primários (atuação da unidade de ondas).
  - . *no meio da linha - 100 a 110 ohms primários* (atuação do relé RAEPA).
- Fechamento sobre falta - operação em 22ms.
- Para abertura de fase e faltas próximas a um terminal já aberto, dependendo do ângulo de incidência, estes fenômenos não são detectáveis pelas unidades de ondas, devido a pequena variação de tensão, porém estas ocorrências são detectadas e eliminadas pelas unidades de distância da proteção, em tempo de segunda zona.
- Para curtos trifásicos externos mantidos, próximos aos capacitores série, ocorre reversão de tensão.

Caso a falta não seja eliminada antes do tempo de atuação das unidades de distância, poderá ocorrer atuação indevida destas unidades.

Entretanto, considerando que são utilizadas duas proteções redundantes em cada linha, a probabilidade de operação errônea acima somente é considerável com ocorrência de falha de disjuntor o que indica a necessidade de coordenação das unidades de distância com as proteções de falha de disjuntor.

- Todos os testes de insensibilidade e surtos tiveram resultado satisfatório.

7. EXPERIÊNCIA OPERATIVA DE FURNAS COM A PROTEÇÃO RALZA (ABB)

7.1 Introdução

O teste de modelo indicou que o esquema adotado atendia as exigências da especificação de FURNAS. Porém, devido à importância do sistema decidiu-se fazer testes complementares, mais completos, de duração de aproximadamente 10 meses, no TNA do CEPEL, onde foi testado o desempenho da proteção para todos os trechos FOZ-IVAIPORÃ-ITABERÁ-T.PRETO , para as condições limites de máxima e mínima impedância de fonte para cada trecho.

Foram monitorados sinais internos (TDN, BDN,TDD BDD), que possibilitaram analisar os níveis de disparo e bloqueio de cada unidade, NCM (unidade de neutro controlada) e DM (modo dependente) da proteção RALZA.

Através da monitoração dos pontos de inversão desses sinais, ao deslocar-se o ponto de curto -circuito pela linha e o ângulo de incepção de falta, foi possível detectar as situações mais críticas para a proteção, para cada configura-

ção do sistema. Estes testes complementares indicaram a instabilidade da proteção para alguns curtos 10-T e 20-T externos, o que levou à necessidade de alteração de alguns níveis de comparação de sinais internos da proteção RALZA. Alterando-se estes níveis dos 4.5 originais para 3.5 , a proteção tornou-se mais sensível a primeira onda trafegante. Além disto, ainda para curtos externos observou-se a necessidade de manter o ajuste "a" das unidades NCM e DM com uma diferença mínima do dobro("a" DM > 2"a"NCM). Para algumas configurações foi necessário insensibilizar a unidade de supervisão de 3Io(RXIB) que trabalha juntamente com a unidade NCM.
Estes procedimentos solucionaram todos os casos de instabilidade para curtos externos.
Para curtos internos, foram localizadas algumas regiões que, para um número muito limitado de ângulos de incepção de falta 10-T e 20 internas a unidade de ondas de um dos terminais bloqueava indevidamente, por não obter nível suficiente de sinal de disparo.
Esta situação, entretanto, é perfeitamente aceitável, considerando as configurações limite de sistema em que a proteção estava sendo testada, a pequena região de bloqueio, com ângulos de incidência de falta pouco prováveis de ocorrerem e considerando ainda que em todos os casos, houve a isolação correta da linha pelas unidades de distância do RALZA.
Em FURNAS estão em operação 12 proteções RALZA, protegendo 900 km de linhas com compensação série, divididas em três trechos de aproximadamente 300 km cada um.
De AGO/89 até MAR/91 ocorreram 25 operações da proteção RALZA, com desligamento de linha, sendo que destas, 21 foram satisfatórias, 3 incorretas devidas a erros de fiação e 1 incorreta devida a subtensão, problemas estes corrigidos com o acerto da fiação e modificação do esquema de fechamento sobre falta.

8. O SISTEMA DE PROTEÇÃO NAS LINHAS DE 765KV DO SISTEMA DE FURNAS NO TRECHO FOZ-IVAIPORÃ-ITABERÁ-T.PRETO

8.1 Cada terminal de linha do segundo circuito do Sistema de Transmissão de Itaipu-750kV CA é composto de 2 proteções redundantes denominadas primária e alternada.
8.1.1 Proteção primária: Este esquema é formado pelas seguintes proteções listadas abaixo:
8.1.1.1 Proteção de linha RALZA que é composto das seguintes funções básicas:

- modo independente (ondas trafegantes)
- modo dependente (ondas trafegantes+reverso)
- modo neutro controlado (ondas trafegantes+ 3I0+reverso)
- modo de sub-impedância(RAZOA)

8.1.1.2 Proteção de sobrecorrente direcional de terra (RAEPA)
Esta função tem por principal objetivo melhorar a cobertura para faltas com alta resistência de terra no meio das linhas, principalmente no trecho Foz-Ivaiporã.
Esta condição será devida à pequena variação de tensão (AV) que pode ocorrer durante a situação operativa citada acima.
8.1.1.3 Proteção de abertura e bloqueio por oscilação de potência.
Função efetuada por unidades de impedância tipo RXZD-4.
8.1.1.4 Proteção de falha de disjuntor (50/62-BF)
Função composta por unidade de sobrecorrente com temporizador contendo supervisão contínua através dos contatos do disjuntor.
8.1.1.5 Relé de religamento + Check de Sincronismo.
Função acentuada pelos relés RAAAE(religamento) e RASC (sincronismo) com programação para tentativas de religamento trifásico.
8.1.1.6 Esquemas de teleproteção.
Consiste de duplo canal por proteção (primária carrier e alternada micro ondas) com as funções 21 e 67 operando em disparo permissivo e abertura direta (transfer-trip) dependendo da condição operativa do sistema.
Existe também uma lógica de transferência para mono canal para perda de um dos canais em caso de ruído ou frequências espúrias geradas pelo defeito.

9. CONCLUSÕES

A proteção RALZA utilizada por FURNAS atende a todas as necessidades do sistema.
Os testes mostraram que a utilização desta proteção requer um eficiente sistema de comunicação entre as proteções e um completo conhecimento das possíveis condições de operação do sistema.
Os ajustes da proteção, utilizando-se o Programa de Ajuste do fabricante são conservativos.
Ajustes ótimos da proteção são possíveis ao longo do tempo, ou através de um teste completo, simulando-se todas as condições limite de máxima e mínima impedância de fonte e estudando-se o desempenho da proteção nos pontos críticos, conforme acima mencionado.

10. BIBLIOGRAFIA.

(1) GILLIES, J.M/ÖHLÉM, C.(ABB)"The protection of heavy loaded transmission lines"-1986 Western P.Relay conference-Spokane, Washington

(2) ABB/1985- "Ultra high speed line protection type RALZA" - RF 619 001E

(3) LECTURE 610-911E/1981/ABB.-"Protection of network with series compensated lines"

(4) WERNER, ODD / NIMMERSJO, G. / ROCKFELLER, G. D. /1986/ABB/IEEE-PAS. - "Digitally-controlled, real-time analog power system for closed-loop protective relaying testing"