



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

GPC 15
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT

DESMISTIFICANDO O LIMITE DE COMPRIMENTO DA LINHA PARA A PROTEÇÃO DIFERENCIAL

Ricardo de A. Dutra (*)

**Eduardo de Medeiros Brandi
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

Luiz Fernando Groetaers Vianna

**Arnd Strücker
SIEMENS AG**

Ricardo Martinez Bau

SIEMENS

Sérgio Antezana

RESUMO

As aplicações de bancos de capacitores série aumentam a capacidade de transmissão, melhoram a estabilidade do sistema, promovem, enfim, diversas vantagens sistêmicas inquestionáveis. No entanto, devido a sua reatância capacitiva, em série com a reatância indutiva da linha, uma diversidade de problemas surgem para os sistemas de proteção convencionais da linha. Inversões de tensão, inversões de corrente, entre outros, são alguns dos mais radicais problemas enfrentados pelas proteções de distância e de sobrecorrente direcional, de linhas compensadas.

Nestes casos, a melhor solução é, indubitavelmente, a aplicação de proteção diferencial. No entanto, é comum que este tipo de aplicação seja limitado a um valor pequeno de comprimento de linha, que chega a algumas dezenas de quilômetros, o que reduz bastante a possibilidade de aplicação deste tipo de proteção num sistema com linhas longas, que é típico num país continental como o Brasil.

O trabalho tem como objetivo apresentar as modernas práticas de utilização de proteção diferencial em linhas de transmissão longas, ou seja, linhas com mais de 100 km, utilizando os novos padrões de comunicação através de fibras óticas, e eliminando o mito relativo ao comprimento máximo de até algumas poucas dezenas de quilômetros.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção Diferencial de Linha, Proteção de Linhas Compensadas, Limites de Aplicação de Proteção Diferencial.

1.0 - INTRODUÇÃO

A dinâmica e a forte estrutura do sistema elétrico interligado nacional caminham no sentido de avanços tecnológicos relacionados aos sistemas de transmissão. Entre as técnicas mais evoluídas estão : a transmissão em corrente contínua, a utilização de bancos de capacitores série, compensadores estáticos, e outros FACTS diversos. Dentre estes, o equipamento mais utilizado é o banco de capacitores série (BCS), devido aos aspectos físicos, econômicos e elétricos.

As aplicações de linhas de transmissão com capacitores série melhoram a qualidade e a capacidade do sistema de transmissão mas, criam diversos problemas para os sistemas de proteção convencionais, ou seja, para as proteções de distância e de sobrecorrente. Quando existe apenas um BCS em um sistema malhado de linhas transmissão, com circuitos paralelos inclusive, os problemas dos sistemas de proteção são, quase sempre, contornáveis, mas quando este sistema de transmissão apresenta diversos BCSs distribuídos nas linhas, paralelas e adjacentes, estes sistemas de proteção enfrentam problemas difíceis de serem superados por melhores que sejam as técnicas de desenvolvimento dos relés e suas estratégias de aplicação e de tele-proteção. Estes são os

(*) Rua Real Grandeza, 219 – sala 610 - Bloco B – DAPR.O – CEP 22283-900 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2528-3485 – Fax: (+55 21) 2528-2166 – Email: radutra@furnas.com.br

casos em que a proteção unitária, qual seja a proteção diferencial de linha, seria a melhor solução, não fosse pelo limite de comprimento que a tecnologia deste tipo de proteção apresenta, normalmente na faixa de algumas dezenas de quilômetros, o que reduz sua possibilidade de aplicação.

Modernas práticas de utilização de proteção diferencial em linhas de transmissão longas foram recentemente desenvolvidas, utilizando novos padrões de comunicação através de fibras óticas, eliminando, assim, o mito de que proteções diferenciais somente poderiam ser aplicadas em linhas com comprimentos inferiores a 100 km.

Uma experiência prática foi realizada através da aplicação de uma proteção diferencial em uma linha 70 % compensada, com cerca de 202 km, situada no sistema de abastecimento ao estado do Mato-Grosso, composto por diversas linhas compensadas, paralelas e adjacentes, numa configuração das mais complexas e difíceis para as proteções de distância e de sobrecorrente direcional convencionais.

O trabalho também apresenta as interfaces utilizadas nesta aplicação, com relação aos sistemas de comunicação com fibra-ótica, e ajustes e parâmetros relevantes a serem utilizados para o correto funcionamento do sistema. Adicionalmente, outros fatores importantes, como por exemplo, as estratégias de backup, no caso de perda de comunicação, sincronismo de sinais, correção modular e angular, entre outros são também abordados.

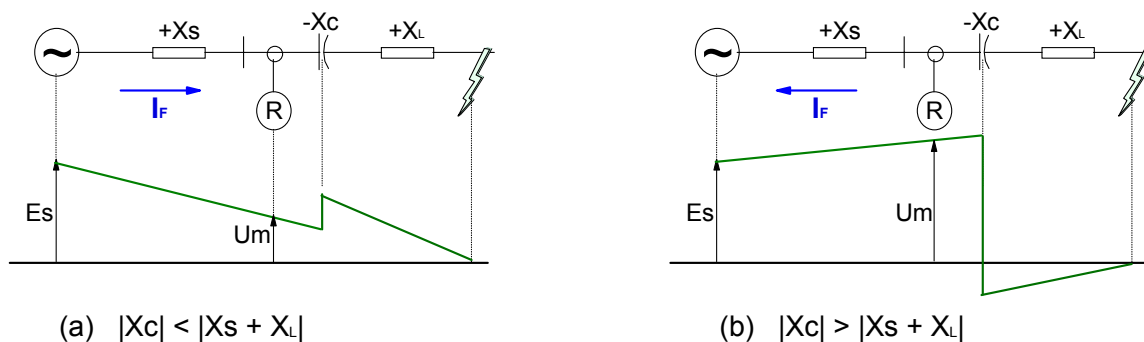
2.0 - PRINCIPAIS PROBLEMAS DE PROTEÇÃO EM LINHAS COMPENSADAS

O desempenho dos sistemas de proteção de linhas compensadas depende, quantitativamente e qualitativamente, de uma série de fatores, entre os quais podemos citar : a configuração do sistema, a relação entre a reatância capacitiva do compensador série e a impedância equivalente da fonte no ponto de conexão, o carregamento da linha, a localização da fonte de potencial para o relé, o tipo e a magnitude da polarização do relé, a tecnologia e a integração entre as proteções da linha e do compensador, os esquemas de teleproteção utilizados e o esquema de religamento adotado.

São relacionados a seguir, alguns dos problemas mais comuns, em sistemas de proteção de linhas compensadas:

2.1. Inversão de Corrente

Um problema clássico, para as proteções de linhas compensadas, é a inversão de corrente. Considerando o sistema simplificado, representado na Figura 1, pode ser observado que a inversão de corrente ocorre quando a reatância do capacitor série é maior do que a reatância de fonte do sistema, no caso de faltas internas à linha protegida.



$$I_F = -j \frac{E_s}{|X_s - X_c + X_L|}$$

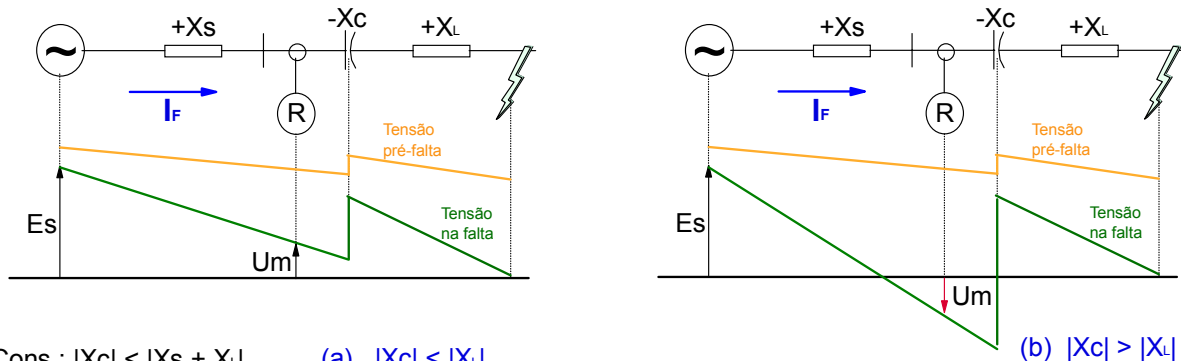
Figura 1 : Sistema com e sem inversão de corrente.

Esta inversão provoca graves problemas para as unidades de distância e direcionais dos relés. Mesmo a utilização de tele-proteção não resolve estes problemas, tendo em vista que os relés das duas extremidades da linha não veriam coerentemente uma falta interna. A única solução proposta para este problema é aplicável por ocasião da fase de especificação e dimensionamento do compensador série, de forma a se evitar que sua reatância seja maior do que a reatância de fonte, no ponto onde o mesmo será instalado. Outra possível solução alternativa pode ser o planejamento da divisão do compensador de uma linha em duas partes, distribuídas em seus dois terminais. Esta alternativa deve também ser analisada sobre a ótica de diversos outros fatores elétricos e econômicos.

Vale ressaltar que, trabalhando favoravelmente para a proteção, nestes casos em que $X_c > X_s$, a corrente de falta deve ser suficientemente elevada para provocar o disparo do gap, eliminando a inversão da corrente, e fazendo com que a proteção opere como nos sistemas puramente indutivos.

2.2. Inversão de Tensão

Outro entre os clássicos problemas, relacionados à proteção de linhas compensadas, é a inversão de tensão. Considerando o sistema simplificado, representado na Figura 2, pode ser observado que a inversão de tensão ocorre quando a reatância do capacitor série é maior do que a reatância da linha até o ponto de falta, ou seja, ocorre para faltas no trecho entre o capacitor e o ponto onde a reatância indutiva da linha se iguala, em módulo, à reatância capacitiva do compensador.



Cons.: $|X_c| < |X_s + X_L|$

(a) $|X_c| < |X_L|$

(b) $|X_c| > |X_L|$

$$I_F = -j \frac{E_s}{|X_s - X_c + X_L|}$$

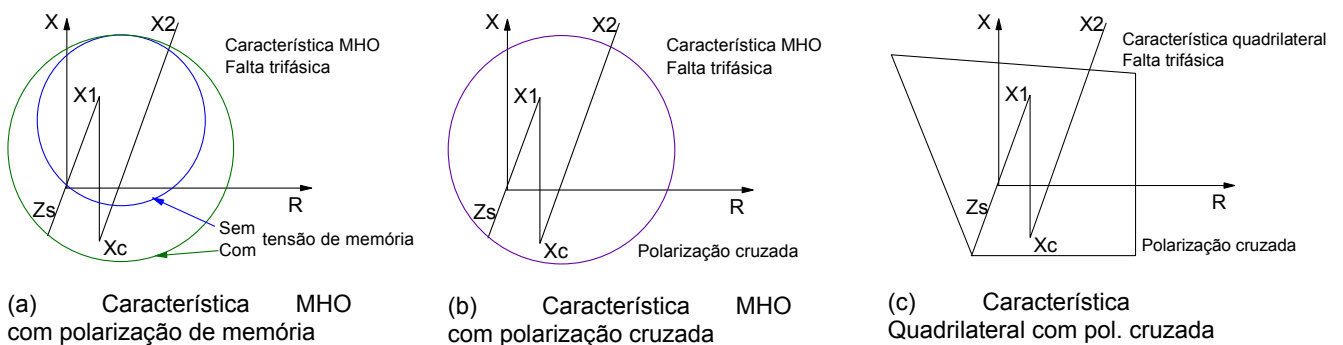
$$V = j(-X_c + X_L) \cdot I_F$$

$$V = \frac{E_s \cdot (-X_c + X_L)}{|X_s - X_c + X_L|}$$

Figura 2 : Sistema com e sem inversão de tensão.

A inversão de tensão pode trazer graves problemas para as proteções de distância e para os elementos direcionais da linha. No caso da proteção utilizar fonte de tensão localizada no lado da barra, uma falta interna pode ser vista, pelo relé, como externa, e no caso em que sua fonte de tensão está no lado da linha, uma falta externa pode ser vista como interna. Como no exemplo da Figura 2, o relé da linha poderia ver a falta indicada como externa, portanto, não atuando, enquanto o relé de uma linha adjacente poderia ver a falta como interna, desligando incorretamente esta linha sã.

Os relés adequados para aplicação em linhas compensadas utilizam, como solução para este problema, duas alternativas de polarização. A primeira utilizando as tensões das fases sãs como grandeza de referência (polarização cruzada) ou o emprego de polarização por memória da tensão de fase ou de seqüência positiva pré-falta. Outra solução, que pode ser aplicável somente em alguns casos, é a utilização de circuito de polarização por corrente. A Figura 3 abaixo apresenta estas duas principais alternativas de polarização por tensão :



(a) Característica MHO com polarização de memória

(b) Característica MHO com polarização cruzada

(c) Característica Quadrilateral com pol. cruzada

Figura 3 : Alternativas de polarização por tensão.

Outro ponto importante a ser observado é que o pior caso de inversão de tensão, durante faltas internas, ocorre logo após o capacitor, ou seja, na região em que as correntes são as maiores e, portanto, melhores são as possibilidades de atuação do gap, eliminando a inversão de tensão, normalizando as condições de operação das proteções da linha.

Outros problemas, também importantes, relacionados à aplicação de proteções de distância e direcionais, são :

- Não Linearidade da Impedância da Linha : A não linearidade dos MOVs provoca nenhuma condução em condições normais do sistema, enquanto que, na ocorrência de uma falta, aumenta a corrente no capacitor, e conseqüentemente, a tensão no mesmo aumenta, iniciando a condução no MOV, com o objetivo de limitar a tensão no capacitor, em um valor abaixo do limite protetivo, que usualmente, se encontra na faixa de 2 a 3 pu.

Um spark-gap em paralelo é utilizado para proteger o MOV quando o limite de energia for alcançado.

A característica de operação do gap é, portanto, discreta, ou seja, ele está ou não disparado, eliminando totalmente, ou não, a reatância capacitiva do banco. No entanto, o MOV possui uma característica contínua e não linear, conduzindo dentro de sua faixa, valores de corrente que poderiam causar no capacitor tensões superiores às permitidas, até o valor de disparo do gap. Dentro desta faixa, o valor da impedância da linha estará variando num circuito RLC, dependendo, dentre outros fatores, da corrente que estará nela passando. Este inconveniente para os relés de impedância deve ser contornado através de valores de ajustes de alcance que levem em consideração, inclusive, o by-pass total do banco, pelo gap ou pelo disjuntor do compensador.

A Figura 4 (a) ilustra a condição em que o MOV afeta o valor da impedância equivalente vista a partir do ponto de instalação de um terminal de proteção.

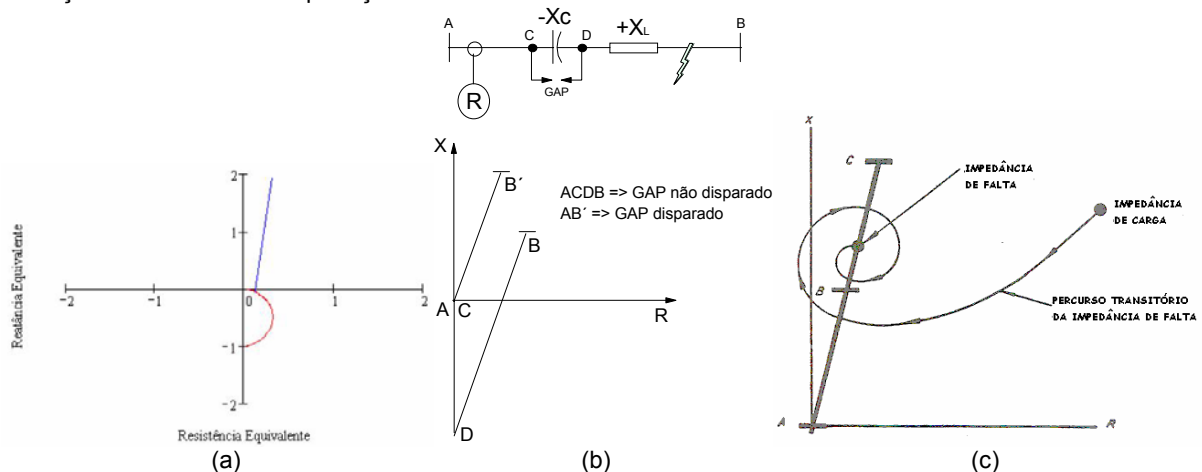


Figura 4: (a) Impedância equivalente – (b) Impedância vista pelos relés de proteção. – (c) Transitório da Z de falta.

- Alteração nos valores de alcance das Zonas : Este é o problema mais evidente, mas que não deve deixar de ser mencionado. Para evitar o sobre-alcance da zona 1 dos relés de proteção, por exemplo, no caso de se utilizar a fonte de tensão do relé no lado da barra, quando houver uma falta além do terminal remoto, com o capacitor inserido, este alcance deve ser reduzido para evitar descoordenação com a proteção da linha adjacente, como pode ser observado na Figura 4 (b) acima. Outras compensações de ajuste devem ser observadas nos sobrealcances do terminal remoto da linha e nos alcances reversos das linhas adjacentes.

- Transitórios Harmônicos : Quando capacitores série são instalados em um sistema, transitórios de freqüência não fundamental são introduzidos nas tensões e correntes durante uma falta, ou durante determinadas condições de energização de transformadores ou reatores. A combinação capacitância e indutância podem estabelecer um circuito ressonante com freqüência na faixa entre 5 e 30Hz. A proteção de corrente sub-harmônica dos capacitores pode vir a atuar e retirar o banco de operação, podendo, ou não, eliminar a ressonância. O efeito deste transitório é causar uma variação não linear, no tempo, da impedância vista pelo relé. A impedância segue um percurso espiral, no diagrama R-X, desde o ponto de carga até a posição final, como observado na Figura 4(c).

- Esquemas de Teleproteção : Para se alcançar uma boa coordenação entre as funções de proteção de distância e de sobrecorrente direcionais de uma linha, é necessária, uma adequação do esquema de tele-proteção, para uma coordenação entre estas funções. Especial atenção deve ser dada nos casos em que houver fonte forte / fonte fraca e se houver linhas paralelas, quando alterações de ajustes, adequação dos esquemas e utilização conjugada dos canais de tele-proteção devem ser analisados.

- Atuação indevida do Falha de Fusível : Devido à dependência das funções distância e direcionais com relação a grandezas de tensão, a atuação da função falha de fusível, indevidamente, causa transtornos e descoordenações. Dependendo do tipo de falta, pode ocorrer a ativação indevida da função falha de fusível em casos específicos, principalmente no caso de linhas, compensadas ou não, adjacentes a linhas paralelas, indicando a necessidade de cuidados especiais na determinação dos ajustes desta função.

- "By-pass", Religamento e Re-inserção : No caso de compensadores série com atuação de proteção e controle por fase, se ocorrer o "bypass" durante uma falta monofásica apenas o grupo de capacitores da fase sob falta será "bypassado". Os capacitores das fases sãs irão permanecer em operação, provocando uma corrente de desequilíbrio durante um curto período de tempo após a falta e quando ambos os terminais de linha tiverem

religado. Cuidados especiais devem ser tomados, para que os relés de linha não atuem durante este período, antes que a fase do compensador série seja re-inserida. Em alguns casos, pode ser necessária uma adequação dos esquemas de religamento automático da linha, seja mono ou tripolar, com os esquemas de by-pass temporário ou definitivo, com re-inserção automática.

3.0 - CASO ESTUDADO E RESULTADOS DOS TESTES DE SIMULAÇÃO

O caso estudado, para demonstração da tese deste trabalho, foi a linha de 230 kV Itumbiara – Rio Verde C2, 70 % compensada, com cerca de 202 km de comprimento, situada no sistema de abastecimento ao estado do Mato-Grosso, composto por diversas linhas compensadas, paralelas e adjacentes, numa configuração das mais complexas e difíceis, para as proteções de distância e de sobrecorrente direcional convencionais.

Esta linha foi selecionada devido ao complexo sistema elétrico em que ela se encontra, considerado-se a diversidade da compensação série aplicada no mesmo. Este sistema de transmissão surgiu no início da década de 70, inicialmente com apenas uma linha de transmissão em 138 kV, interligando subestações da CELG, FURNAS, ELETRONORTE e CEMAT, e foi sendo reforçado ao longo dos anos seguintes, chegando a 3 circuitos de 230 kV e um de 138 kV, no início da década de 90, até que, no final de 2006, entrou em operação uma linha de 500 kV, em paralelo com este tronco, interligando as SEs Itumbiara e Cuiabá.

Para permitir o fluxo de energia nas linhas de 230 kV, mesmo em contingências de perda da linha de 500 kV, foi necessária a aquisição de compensadores série para estas linhas, distribuídos nos diversos trechos. Devido à implantação destes compensadores, as proteções anteriores destes circuitos, compostas por relés que não eram adequados a linhas compensadas, precisaram ser substituídas por sistemas de proteção adequados, conforme apresentados no diagrama da figura 5 abaixo.

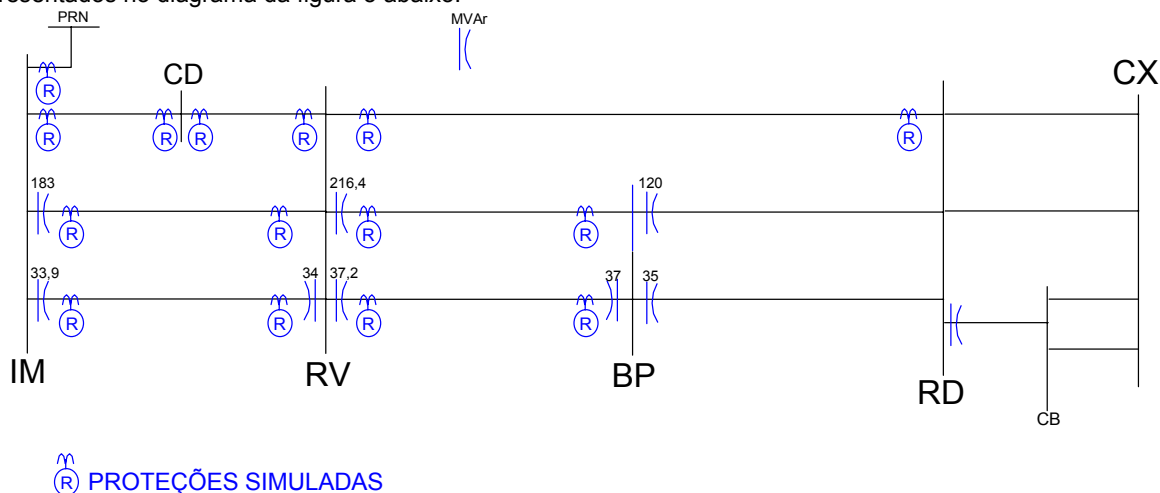


Figura 5 : Tronco de transmissão de 230 kV, com os capacitores série e os novos relés de proteção.

Os novos sistemas de proteção, com as funções de distância e de sobrecorrente direcional de terra, especificados para utilização com linhas compensadas, foram submetidos a um conjunto de testes, para que o desempenho dos mesmos fosse avaliado, antes de entrarem em operação. Estes testes utilizaram uma simulação, em tempo real, do sistema elétrico envolvido, e foram realizados através do RTDS – Real Time Digital Simulator, no laboratório da Siemens, em Erlangen - Alemanha, utilizando as proteções reais de cada circuito avaliado.

A figura 5, acima, indica que a LT 230 kV Itumbiara – Rio Verde C2, possui uma compensação série de 70 % no terminal de Itumbiara. Este elevado grau de compensação, concentrado em apenas um terminal, é uma das causas mais severas de problemas, conforme descrito no item 2 acima. O problema se confirmou, durante a realização dos primeiros testes de modelo. Foi observado que, em alguns casos, o tempo total de eliminação da falta foi superior ao recomendado pelo sub-módulo 2.5, dos Procedimentos de Rede do ONS, que é de 150 ms. O caso exemplificado foi uma falta monofásica próxima, com resistência de 20 ohms e o tempo total de eliminação foi de quase 300 mseg. A Figura 6 (a) abaixo mostra o a oscilografia do caso citado.

Devido ao resultado indesejado, acima descrito, foi acordado, entre a concessionária e o fabricante, a substituição da proteção com concepção distância (7SA6), como havia sido especificado, inicialmente, por uma proteção com a concepção diferencial (7SD5), contando, ainda, com a função distância como retaguarda. Com isso, a disponibilização de um link ótico de comunicação, entre os dois terminais da linha, e a utilização do recurso funcional da última geração de relés diferenciais do fabricante, de permitir a comunicação relé-a-relé, por fibra-ótica, com uma distância acima de 100 km, neste caso 202 km, esta nova arquitetura/concepção será utilizada.

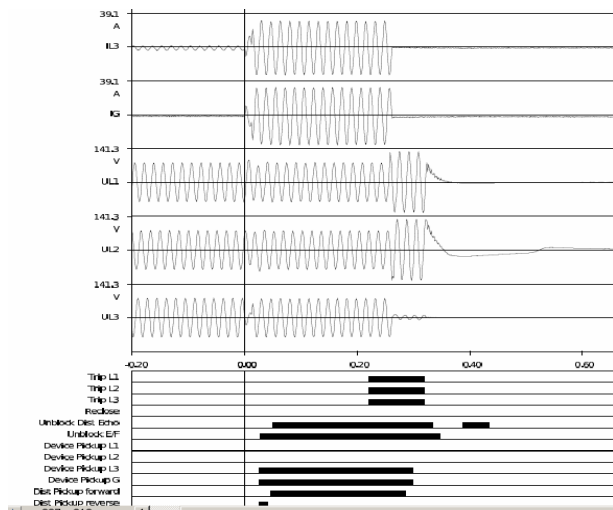
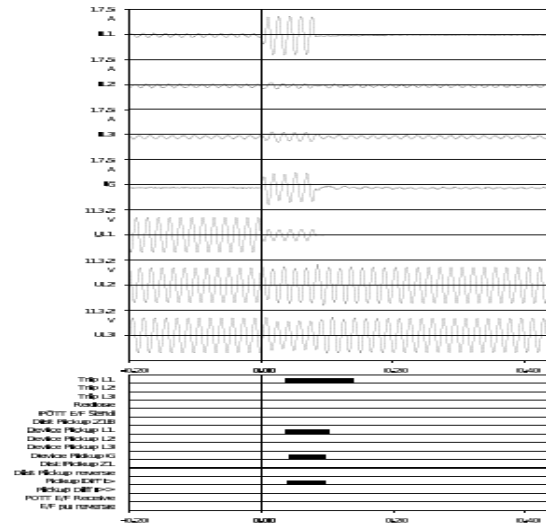


Figura 6 : (a) Oscilografia de um caso simulado de falta monofásica resistiva próxima, com proteção de distância.



(b) Oscilografia de um caso simulado de falta monofásica resistiva próxima, com proteção diferencial.

4.0 - APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL

A solução ao problema encontrado pela proteção de distância, devido à compensação série da linha, foi a aplicação da proteção diferencial, não especificada inicialmente, pelo desconhecimento da maioria das concessionárias de transmissão de energia, de todo o mundo, a respeito das limitações atuais de comprimento das linhas, atingidas pelas últimas gerações destas proteções. A Figura 7, a seguir, apresenta o princípio de operação básico da proteção diferencial de linha.

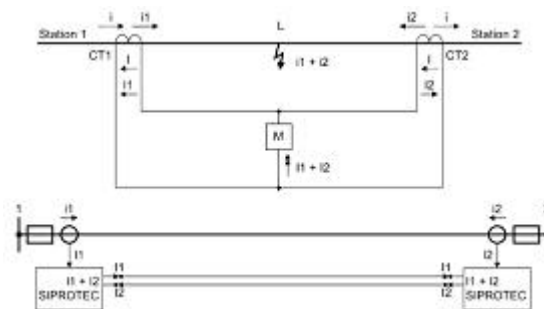


Figura 7 : Princípio básico de operação da proteção diferencial.

As práticas atuais de comunicação ótica desenvolvidas recentemente permitem a utilização de proteção diferencial em linhas de transmissão longas, utilizando novos padrões de comunicação através de fibras óticas, quebrando, assim, o paradigma de que proteções diferenciais somente poderiam ser aplicadas em linhas com comprimentos inferiores a 100 km.

Vale ressaltar que, para se otimizar a confiabilidade do sistema de proteção, as funções de distância e de sobrecorrente direcional de terra foram também colocadas em operação, com zonas que utilizam os esquemas de tele-proteção e com zonas independentes, como backup da função diferencial, no caso de perda de comunicação entre terminais.

A solução do problema de tempos elevados de eliminação da falta foi confirmada pela realização de novos testes de modelo. O tempo total de eliminação da falta foi reduzido para menos de 50 mseg, atendendo, portanto, ao recomendado pelo sub-módulo 2.5, dos Procedimentos de Rede do ONS. O caso exemplificado foi uma falta monofásica próxima, com resistência de 20 ohms. A Figura 6 (b) acima mostra a oscilografia do caso citado, através da qual se pode observar a grande redução do tempo de eliminação da falta.

5.0 - INTERFACES DE COMUNICAÇÃO

As Figuras 8, 9 e 10, abaixo, mostram os links de comunicação de uma conexão genérica entre 2 relés 7SD52. Cada relé é conectado, via fibra-ótica, com um conversor de comunicação (7XV5662), que para se interligar à rede de comunicação pode utilizar um multiplexador (mux). Tipicamente, os 3 esquemas de configuração mais utilizados são :

5.1) Comunicação via fibra-ótica direta

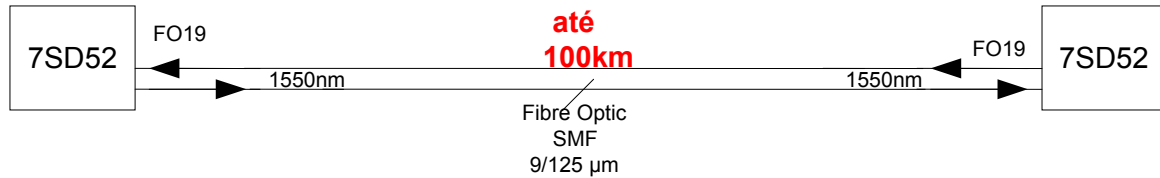


Figura 8 : Comunicação via fibra-ótica direta.

A figura acima mostra uma possibilidade de comunicação com conexão direta utilizando o módulo de fibra-ótica FO19. O FO19 tem a capacidade de cobrir uma distância de comunicação de cerca de 100 km, sem nenhuma repetição de sinal. A distância pode ser maior se houver repetição de sinal. Além disso, existem possibilidades de se dividir a fibra utilizando tecnologia WDM.

5.2) Comunicação via rede de comunicação usando um link E1 ou T1 (E1 = 2,048 kBit/s T1= 1,554 kBit/s)

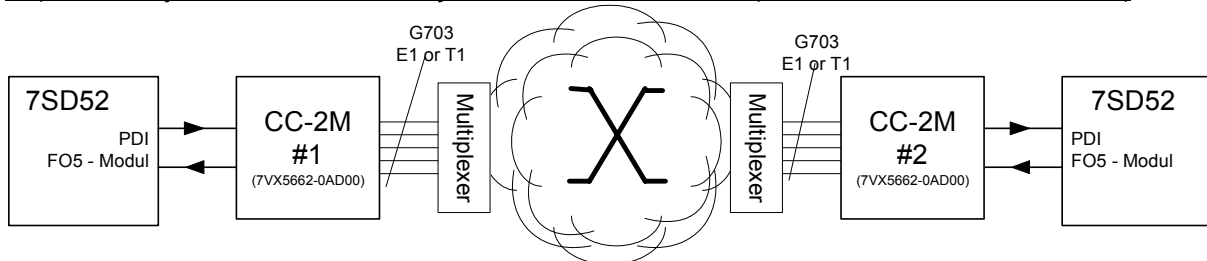


Figura 9 : Comunicação via rede de comunicação usando um link E1 ou T1 (E1 = 2,048 kBit/s T1= 1,554 kBit/s).

A figura acima mostra o esquema geral para comunicação utilizando um conversor de comunicação para 2 MBit (CC-2M, 7XV5662-0AD00). No relé 7SD52, o módulo de fibra-ótica FO5 é utilizado para cobrir a "primeira milha", saindo da sala de relés para a sala de telecomunicação. De um lado, o conversor CC-2M tem uma entrada de fibra-ótica para a Protection Data Interface (PDI) do relé 7SD52 e no outro lado o CC-2M tem uma entrada elétrica E1 ou T1 (selecionável por junper) para conexão à rede de comunicação (SDH - Network). Não existe limitações do comprimento da comunicação ou outras restrições dos multiplexadores para trabalhar junto com os conversores CC-2M, desde que os multiplexadores suportem o link E1/T1.

5.3) Comunicação via rede de comunicação usando um link X.21 ou G703-64kBit/s.

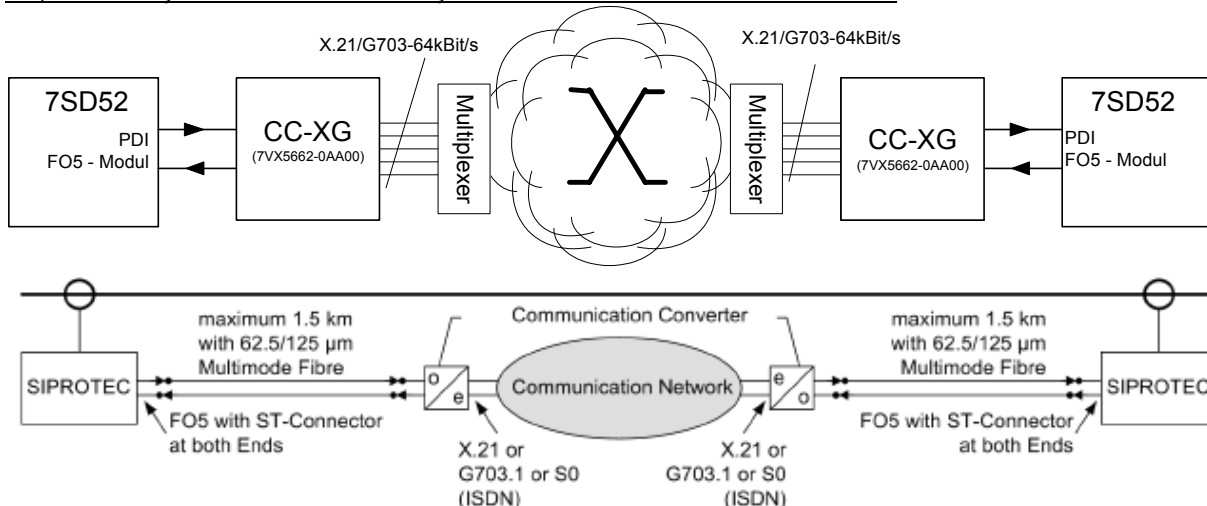


Figura 10 : Comunicação via rede de comunicação usando um link X.21 ou G703-64kBit/s.

O esquema de utilização do conversor de comunicação X.21/G703-64kBit/s CC-XG é, em princípio, idêntico ao esquema (2) anterior. A diferença é apenas a utilização de uma outra interface para a rede de comunicação (X.21 ou G703-64kBit/s selecionável por junper). A vantagem da solução (2), em relação à (3), é que pode ser eliminado o Multiplexador PDH, reduzindo-se custos, reduzindo-se os tempos de transmissão, e simplificando o enlace.

No caso da linha Itumbiara – Rio Verde C2, o sistema de telecomunicações compreende os seguintes componentes : via óptica OPGW, sub-sistema de transporte, sub-sistema de acesso, sub-sistema ATM, sub-sistema de gerenciamento, sub-sistema de comunicação de dados, sub-sistema de teleproteção e sub-sistema de energia. Ressaltam-se algumas características importantes de seus componentes :

A via ótica é de fornecimento ProCable, constituída por um cabo óptico OPGW, composto por 24 (vinte e quatro) fibras do tipo monomodo, entre as SE's de Itumbiara e Rio Verde, além de respectivos cabos dielétricos.

O sub-sistema de transporte é composto por equipamentos ópticos SDH de hierarquia STM-4 com proteção 1+1 MSP, modelo 1660SM da Alcatel. Face à distância entre as estações de SE Itumbiara e SE Rio Verde (202 km), o enlace óptico opera com pré-amplificadores de forma a atender aos requisitos mínimos previstos no cálculo de desempenho da rota . O equipamento SDH das SE's Rio Verde e Itumbiara prove interfaces 2 Mbit/s G.703 para transporte dos feixes da Proteção Diferencial, conforme requer esta aplicação.

Ressalta-se a necessidade de se verificar possíveis retardos de tempo que os dispositivos de interface, como os mux, possam acarretar no tempo total de transmissão de sinal. A Figura 11, a seguir apresenta as interfaces utilizadas nesta aplicação, com relação aos sistemas de comunicação com fibra-ótica.

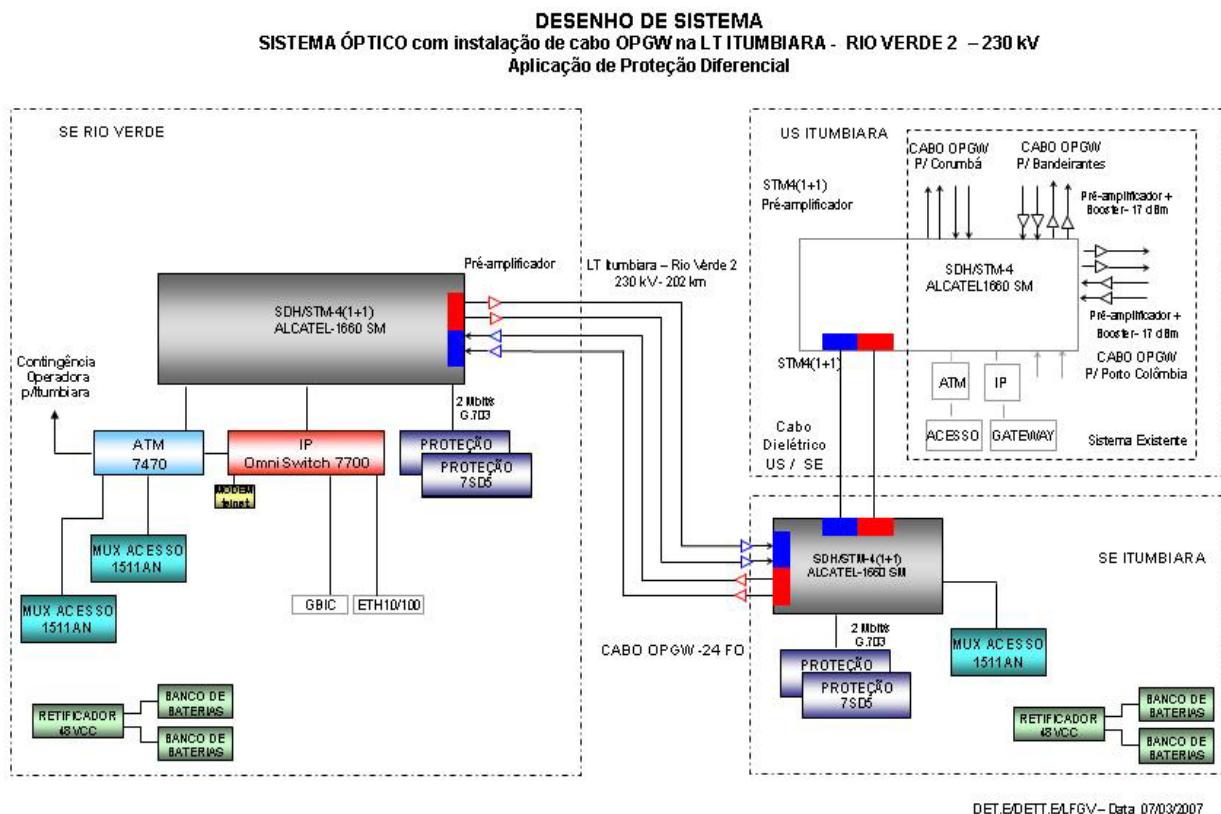


Figura 11 : Sistema de Comunicação com Via Ótica.

6.0 - CONCLUSÕES

Embora a maioria das concessionárias de transmissão de energia ainda não estejam habituadas ao emprego da proteção diferencial em linhas longas, novas técnicas têm sido cada vez mais aplicadas, em todo o mundo, no sentido de viabilizar esta aplicação.

O binômio proteção de distância/sobrecorrente direcional de terra continuará preservado com seus valores e suas vantagens e aplicações, por muito tempo ainda, mas não se pode negar a crescente possibilidade de aplicação das proteções diferenciais, antes aplicável apenas a alguns casos de linhas curtas.

O trabalho sugere uma nova abordagem na especificação da proteção de uma linha, permitindo a possibilidade de aplicação da proteção diferencial, não apenas nos casos em que este princípio possa ser a única solução para problemas específicos, mas também nos demais casos, considerando, inclusive, que poderá ser uma opção do usuário a aplicação das funções de distância e sobrecorrente direcional de terra, em conjunto com a função diferencial. Outra análise convencional também passa a ser empregada neste caso, abrangendo desempenho dos sistemas de proteção e possível redução de custo que esta aplicação pode promover, quando comparadas às aplicações convencionais, considerando todos os demais dispositivos associados.

Outras referências de aplicação bem sucedida da proteção diferencial 7SD5, em linhas com mais de 100 km são :

País	Cliente	Tensão	Linha	Distancia	Operação
Alemanha	EON	500 kV	Germany 3 Terminal Line	102 km	2006
Rússia	MES Zentr	750 kV	AkW Kalininskaya - UW Belosorskaya	275 km	2005
		500 kV	UW Wologodskaya - UW Belosorskaya	120 km	2005
Rússia	Ceversapad	330 kV	UW Knjaschegubskaya - AkW Kolskaya	100 km	2007
		750 kV	UW Leningradskaya - AkW Kalininskaya	>200 km	2007
Brasil	Eletronorte	230 kV	LT Ji-Paraná – Pimenta Bueno C1 e C2	118 km	2007
		230 kV	LT Pimenta Bueno - Vilhena C1 e C2	160 km	2007
	FURNAS	230 kV	LT Rio Verde – Barra do Peixe C2	241 km	2007

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.Dutra, L.F.Santos, G.C.Júnior, - "Soluções de Aplicações de Sistemas de Proteção de Distância em Linhas com Compensação Série " – VIII STPC – Rio de Janeiro – 2005.
- [2] R.Dutra, et al, "Adaptive Distance Protection for Series Compensated Transmission Lines", *IEEE T&D Latin America*, São Paulo, Brazil, 2004.
- [3] W.Elmore, Protective Relaying: Theory and Applications, ABB Power T&D Company, Florida.
- [4] G. Ziegler, "Numerical Distance Protection - Principles and Applications", SIEMENS, Publicis – MCD – Verl., 1999
- [5] J. M. Ordacgi Fo, R.M.Moraes, R.B. Sollero, "Efeitos de Diferentes Polarizações no Comportamento das Proteções de Distância de Linhas Compensadas por Capacitores Série", Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005.
- [6] V. Henn, R. Krebs, R. Dutra, G. Arruda – "Limits and Advantages of Different Protection Principles on Series Compensated Lines", CIGRE, STUDY COMMITTEE B5 - Annual Meeting & Colloquium - Madrid - 2007
- [7] CIGRE, "Application Guide on Protection of Complex Transmission Network Configurations", SC34-WG04, May-1991.
- [8] S.Wilkinson, "Series Compensated Line Protection Issues", GE Power Management.
- [9] "Protection of Network with Series Compensated Lines", ASEA Relay Division, RFA-1981
- [10] R.J.Marttila, "Performance of Distance Relay MHO Elements on MOV Protected Series Compensated Transmission Lines", Ontario Hydro Research, IEEE, Canada-1992.
- [11] G.E.Alexander, J.G.Andrichak, S.D.Rowe, S.B.Wilkinson, "Series Compensated Line Protections : Evaluation & Solutions, Western Protective Relay Conference, October-1988.