



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

GPC - 16
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO V

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

UMA PROPOSTA DE MODELO COMPUTACIONAL PARA UM RELÉ DIGITAL DE DISTÂNCIA DO TIPO IMPEDÂNCIA PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS COM O EMPREGO DO ATP

Roberto Feliciano Dias Filho *

ANDESA

Manfredo V. B. Correia Lima

CHESF

RESUMO

É apresentada neste trabalho uma proposta para representação, em linguagem MODELS, dos relés digitais de distância tipo impedância (RDDTI) em estudos de transitórios eletromagnéticos. São descritos os algoritmos de aquisição e condicionamento dos sinais, de processamento digital dos sinais (PDS) e os módulos de identificação da falta, com o objetivo de exemplificar a aplicação da linguagem, estimulando a sua utilização. Para a avaliação do modelo proposto para o RDDTI, são aplicadas faltas de vários tipos nas linhas de transmissão do eixo Boa Esperança – Sobradinho 500kV, horizonte 2006. Os resultados das simulações, efetuadas em ATP, são também apresentados e analisados.

PALAVRAS-CHAVE

Relé digital, proteção de distância, simulação, ATP, MODELS.

1.0 - INTRODUÇÃO

O relé digital de distância do tipo impedância (RDDTI) emula no *firmware* de seus microprocessadores, a operação do seu correspondente eletromecânico. Os sinais de corrente e tensão a serem monitorados no ponto de instalação dos relés e provenientes dos transformadores de instrumentos (TP e TC), são adquiridos nos bornes de entrada, filtrados, processados digitalmente e manipulados como variáveis em seu algoritmo de identificação de faltas que gera sinais disponíveis nos bornes de saída e que são utilizados na coordenação da proteção.

De forma análoga, o modelo proposto em linguagem MODELS do RDDTI para representar as funções do dispositivo citadas acima, consta de três grupos de algoritmos: filtragem analógica, processamento digital dos sinais e identificação de falta.

Nos próximos tópicos serão apresentadas descrições mais detalhadas dos referidos algoritmos, cumprindo o proposto nos objetivos do presente trabalho, dentre os quais a apresentação de uma aplicação da linguagem MODELS, disponível no programa ATP (Alternative Transient Program).

Como forma de validação do modelo proposto para o RDDTI, serão apresentadas simulações de aplicação de defeitos realizadas na área Oeste do sistema CHESF com uso da ferramenta ATP associada à linguagem MODELS, empregando o presente modelo.

1.1 – Modelagem do Relé Digital de Distância do Tipo Impedância em Linguagem MODELS

Alguns dos grupos de algoritmos anteriormente citados se desdobram em módulos (3), que desempenham atividades específicas, como descrito a seguir. O algoritmo de filtragem analógica é subdividido em módulo de remoção de sinais de alta frequência, ou filtragem *anti-aliasing*, e módulo de remoção de componente CC, ou de filtragem *anti-offset*. O algoritmo de processamento digital de sinais é formado por: módulo de conversão

*Av. Engº Domingos Ferreira, 2215, Sala 605 – Boa Viagem - CEP 51020-031 - Recife - PE - BRASIL
Tel.: (81) 3467-5734 - Fax: (81) 3465-2711 - e-mail: roberto@andesa.com.br

analógico-digital e módulo de extração da componente fundamental, ou filtragem digital. O algoritmo de identificação da falta, que não se desdobra em módulos, será denominado, a partir de agora, módulo de identificação de falta. A Figura 1, a seguir, apresenta um diagrama esquemático de como estes módulos estão relacionados no interior da MODELS.

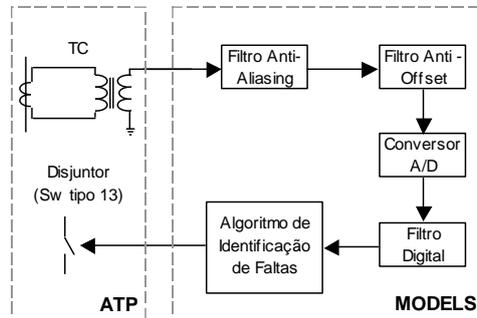


FIGURA 1 - Diagrama Esquemático do Relé Digital de Distância

Antes de uma discussão pormenorizada sobre os algoritmos que integram um RDDTI, é oportuno investigar a necessidade de todo o aparato de filtragem envolvido em relés desse tipo (4). São filtros analógicos, destinados a remover componentes diferentes da de frequência industrial e filtros digitais para converter sinais no domínio do tempo em domínio da frequência, já que os filtros analógicos já garantiram os sinais de 60Hz em sua entrada. Por que um RDDTI precisa disto? Por que não alimentá-lo diretamente do secundário dos transformadores de instrumentos? Porque o RDDTI necessita efetuar a medição da impedância apenas na frequência industrial (60Hz) e não pode ser submetido a *offsets*, harmônicos, saturações e outras distorções, presentes no sistema elétrico (7)?

1.1.1 – Módulo de Remoção de Sinais de Alta Frequência (*Anti-Aliasing*)

Os sinais de correntes e tensões monitorados da rede elétrica simulada no ATP devem ser filtrados de forma a eliminar componentes de alta frequência, pois estas introduzem distorções no processo de amostragem, realizado posteriormente no módulo de conversão analógico-digital. Tais distorções (*aliasing*), se relacionam ao critério de amostragem de Nyquist, que alerta para a ocorrência de *aliasing* quando da presença de componentes, no sinal a ser amostrado, de frequência superior à metade da frequência de amostragem (4).

Com esse propósito, foi modelado na linguagem MODELS, um filtro passa-baixas do tipo *Butterworth* de 4ª ordem e frequência de corte 150Hz. Para seu projeto, foram utilizados os recursos da *toolbox Digital Signal Processing* do programa Matlab™. A implementação do filtro é obtida pelos comandos “*buttord*” e “*butter*”, através dos quais são obtidos o numerador e o denominador do filtro *Butterworth* de 4ª ordem e frequência de corte de 150Hz. Com este resultado, o mesmo filtro pode ser representado em linguagem MODELS por meio do comando “*laplace*”, cuja entrada requer os coeficientes do numerador e do denominador, adequadamente formatados. A Figura 2 apresenta o desempenho do referido filtro na sua ação de remoção das altas frequências indesejáveis.

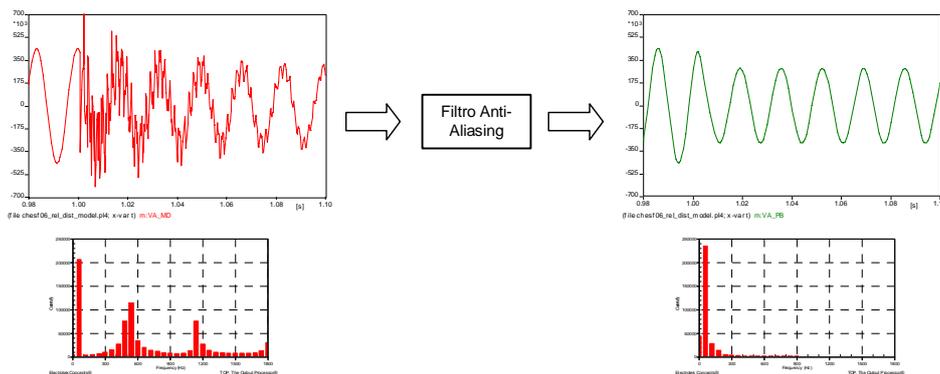


FIGURA 2 – Desempenho do filtro *anti-aliasing* presente no RDDTI

A função de transferência, representada pela expressão abaixo, representa o desempenho do filtro *anti-aliasing*.

$$FT_{ANTI-ALIASING}(s) = \frac{8.26 \cdot 10^{11}}{s^4 + 2.49 \cdot 10^3 \cdot s^3 + 3.10 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 2.26 \cdot 10^9 \cdot s + 8.26 \cdot 10^{11}}$$

1.1.2 – Módulo de Remoção de Componente CC (*Anti-Offset*)

Devido ao ângulo de incidência da falta, podem surgir na sua corrente componentes CC somadas à fundamental, compostas de sinais exponenciais decrescentes no tempo, não eliminadas pelo filtro *anti-aliasing*, já que o mesmo é do tipo passa-baixas. Tais componentes devem ser removidas com o propósito de aumentar a precisão na futura etapa de filtragem digital, onde é extraída, em forma fasorial, a componente fundamental (4). A remoção da componente CC é obtida através de um filtro analógico *anti-offset*, passa altas, tipo Butterworth 4ª ordem e frequência de corte 10Hz. Utilizando metodologia similar à desenvolvida no projeto do filtro anteriormente descrito, foram utilizados os recursos da *toolbox Digital Signal Processing* do Matlab™. A implementação deste filtro é obtida através dos comandos "buttord" e "butter", através dos quais são obtidos o numerador e o denominador do filtro butterworth de 4ª ordem e frequência de corte de 10Hz. Com este resultado, o mesmo filtro pode ser representado em linguagem MODELS por meio do comando "laplace", cuja entrada requer os coeficientes do numerador e do denominador, adequadamente formatados. A função de transferência, representada pela expressão abaixo, representa o desempenho do filtro *anti-offset*.

$$FT_{ANTI-OFFSET}(s) = \frac{s^4}{s^4 + 1.64 \cdot 10^2 \cdot s^3 + 1.35 \cdot 10^4 \cdot s^2 + 6.48 \cdot 10^5 \cdot s + 1.56 \cdot 10^7}$$

Observa-se através da Figura 1 que a entrada do filtro *anti-offset* é igual à saída do filtro *anti-aliasing*, de forma que aquele rejeita as baixas frequências, inclusive a componente CC, permitindo a passagem das componentes de altas frequências, já livres das frequências superiores à frequência de amostragem de Nyquist. Pelo exposto, pode-se concluir que a associação desses dois filtros analógicos constitui um filtro passa-faixa. A Figura 3 apresenta o diagrama ganho versus frequência da referida associação de filtros.

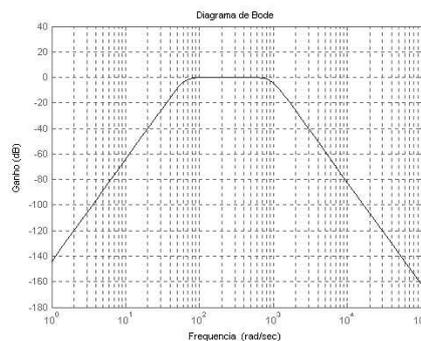


FIGURA 3 – Diagrama de Bode (Ganho versus Frequência) da associação dos filtros *anti-offset* e *anti-aliasing*.

1.1.3 - Módulo de Conversão Analógico-Digital

O algoritmo de conversão analógico-digital realiza a amostragem do sinal monitorado do circuito elétrico, onde um número fixo de amostras instantâneas (janela de amostras) por ciclo é convertido em grandezas digitais, que são processadas posteriormente no algoritmo de extração da componente fundamental. A amostragem foi realizada a uma frequência de 960Hz, resultando em 16 amostras por ciclo (5). Para isso, foi utilizada uma rotina *sample & hold* (1), (2) controlada por um trem de pulsos, disponível na MODELS. A Figura 4 apresenta o desempenho do algoritmo de conversão analógico-digital.

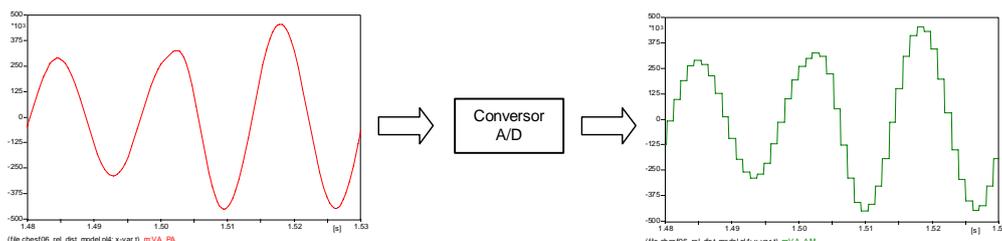


FIGURA 4 – Desempenho do conversor analógico-digital presente no RDDTI

1.1.4 - Módulo de Extração da Componente Fundamental

Nos relés digitais de distância, as componentes na frequência industrial, presentes no sistema de potência, constituem a informação, enquanto que todas as outras superpostas a esta constituem interferência. Portanto, a filtragem deve preservar a fundamental, já que é baseado nesta que o sistema de potência é modelado em estudos de análise de faltas. Um outro ponto não menos importante é a coordenação da proteção, pois se diferentes relés medirem diferentes componentes de corrente, por exemplo, e estes forem ajustados para coordenarem em função da sua performance à frequência fundamental, não há garantia de que os mesmos serão sensibilizados e que coordenarão sob todas as condições projetadas (6). Tais argumentos justificam todo o esforço anteriormente descrito para a implementação de algoritmos de filtragem analógica.

No modelo do RDDTI aqui apresentado, fez-se uso de um filtro de Fourier, obtido pela transformação discreta de Fourier (TDF), constituído por um par de filtros ortogonais, seno e cosseno, que origina duas saídas defasadas em 90°, que constituem as partes real e imaginária de um fasor (5).

O filtro TDF é descrito pelas equações a seguir:

$$Ck_n = Ak_n + jBk_n = \left(\frac{2}{N}\right) \cdot \left[\cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot k}{N}\right) + j \operatorname{sen}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot k}{N}\right) \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Y_n(re) = \sum_0^{N-1} A_n \cdot X_n \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Y_n(im) = \sum_0^{N-1} B_n \cdot X_n \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Y_n = Y_n(re) + jY_n(im) \quad (\text{Eq. 4})$$

onde:

Ck_n – coeficiente complexo do filtro TDF;

N - janela de amostras, assim: $n = 0$ até $(N-1)$;

n - amostra corrente;

K - ordem da componente a ser filtrada (considerado $k = 1$, ou seja, componente de 60Hz);

A_n e B_n - coeficientes constantes do filtro TDF;

X_n - valor da janela de amostras, entrada do filtro digital;

Y_n - fasor que representa a componente fundamental, saída do filtro digital.

O algoritmo de filtragem digital, ou de extração da fundamental, consiste na modelagem, em linguagem MODELS, das equações acima. Sua variável de entrada é o sinal de saída do algoritmo de conversão analógico-digital e sua variável de saída, como anteriormente mencionado, é o fasor que representa a componente à frequência fundamental da grandeza monitorada pelo relé, cuja forma polar é dada pelas equações a seguir:

$$Y_n(rms) = \sqrt{Y_n^2(re) + Y_n^2(im)} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\angle Y_n = \arctan\left(\frac{Y_n(im)}{Y_n(re)}\right) \quad (\text{Eq. 5})$$

A Figura 5 apresenta o desempenho do filtro TDF na extração da componente fundamental.

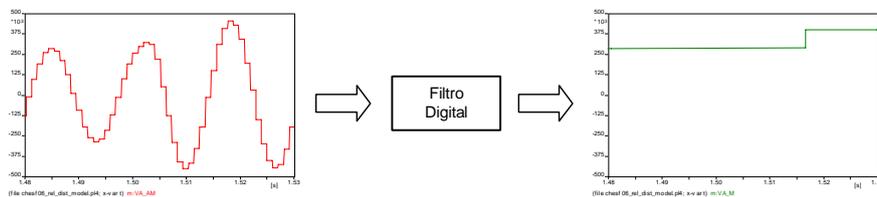


FIGURA 5 – Desempenho do filtro de Fourier presente no RDDTI.

1.1.5 - Módulo de Identificação de Falta

O algoritmo de identificação da falta realiza, preliminarmente, a rotina de cálculo da impedância aparente vista pelo RDDTI (3). Pela análise do desempenho desta impedância, o mesmo toma a decisão de enviar ou não o sinal de *trip* aos disjuntores da linha, representada no ATP. Para a representação dos relés de fase e de neutro, arranjos distintos de ligação dos transformadores de instrumentos foram necessários a fim de obter, de acordo

com a teoria, sempre o valor da impedância de seqüência positiva, bem como para representar, nos relés de neutro, o fator $K0$, ou fator de compensação. A Tabela 1, a seguir, apresenta as equações que calculam a impedância aparente vista pelo RDDTI (8).

TABELA 1 – Equações para cálculo da impedância aparente - Z_1

| Tipos de Falta | Equação da Impedância Aparente (Z_1) |
|----------------|--|
| AT | $V_A / (I_A + k0 \cdot I_R)$ |
| BT | $V_B / (I_B + k0 \cdot I_R)$ |
| CT | $V_C / (I_C + k0 \cdot I_R)$ |
| AB ou ABT | $V_A - V_B / (I_A - I_B)$ |
| BC ou BCT | $V_B - V_C / (I_B - I_C)$ |
| CA ou CAT | $V_C - V_A / (I_C - I_A)$ |
| ABC | Qualquer das anteriores |

onde:

V_A, I_A, V_B, I_B, V_C e I_C – Valores filtrados do circuito elétrico (Saída do filtro de Fourier);

I_R – Corrente residual ($I_A + I_B + I_C$);

$k0$ – Fator de compensação = $(Z_0 + Z_1) / (3 \cdot Z_1)$.

Assim, no algoritmo de cálculo da impedância aparente, são implementadas as equações relacionadas na Tabela 1. Os valores resultantes, $Z_A, Z_B, Z_C, Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$ e Z_{ABC} , respectivamente, são entradas para a rotina de temporização e comparação, descrita a seguir. O algoritmo de identificação de falta também consiste de uma rotina de temporização e de comparação, ou seja, uma comparação da leitura do RDDTI é feita constantemente e, uma vez atingido o valor de ajuste da impedância aparente, monitorada e proveniente da rotina de cálculo da impedância aparente, um temporizador é inicializado de forma que, quando satisfeitas as condições de valor ajustado atingido e temporização completa, é gerado um sinal de *trip* para os disjuntores da linha. No caso em estudo, o temporizador foi ajustado para temporizar doze ciclos da frequência fundamental, ou seja, 200ms.

É importante destacar que ao longo deste trabalho, foi utilizada uma representação simplificada dos transformadores de instrumentos, apenas por suas relações de transformação, por ser a modelagem de transformadores de medição em programas de transitórios eletromagnéticos uma tarefa árdua e complexa, além dos objetivos do presente trabalho.

2.0 - AVALIAÇÃO DO MODELO

Como forma de avaliar o desempenho do modelo proposto no presente estudo, simulações de aplicação de faltas na área Oeste do sistema CHESF, horizonte 2006, foram realizadas. A Figura 6 apresenta um diagrama unifilar do referido sistema.

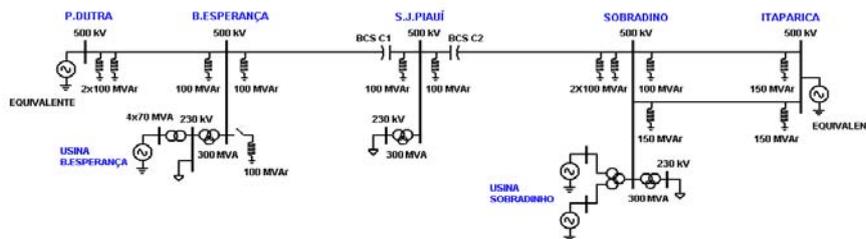


FIGURA 6 - Diagrama unifilar do sistema de 500kV da CHESF (Área Oeste, Horizonte 2006).

Procedeu-se a representação do sistema elétrico no ATP e, incorporado a este, por meio da diretiva \$INCLUDE (1), (2), o modelo em linguagem MODELS do RDDTI. Sugere-se a utilização da diretiva \$INCLUDE como forma de tornar o modelo reutilizável, já encapsulado em um arquivo. Desta forma, o mesmo pode ser incorporado a vários arquivos de entrada de dados do ATP, sem que sua rotina necessite ser descrita explicitamente para cada um destes. Vale ressaltar que o subsistema elétrico utilizado nas simulações contém elementos de compensação série no eixo B. Esperança – S. J. do Piauí – Sobradinho 500kV, o que exige uma adaptação em tempo real dos valores de ajuste do algoritmo de identificação da falta do modelo para situações em que, devido a contingências, os bancos de capacitores série (BCS) necessitem sofrer *by-pass* (9). Tal adaptação, apesar de não contemplada no presente trabalho, pode ser conseguida por integração das sub rotinas MODELS e TACS, quando esta última for a interface empregada para modelagem dos sistemas de proteção e controle dos BCS (10), ou, alternativamente, pelo desenvolvimento futuro de modelos em linguagem MODELS.

Faltas monofásica (CC1F) e bifásica (CC2F), com ângulos de incidência de 90°, foram aplicadas na SE B. Esperança 500kV (BEA), tendo o RDDTI sido instalado na extremidade da SE P. Dutra 500kV (PDD) monitorando, portanto, a LT P. Dutra - B. Esperança 500kV. As Figuras 6 - (b), 6 - (c) e 6 - (d), apresentam, respectivamente, o perfil da tensão, o perfil da corrente e o desempenho da impedância aparente, na ocorrência das citadas faltas.

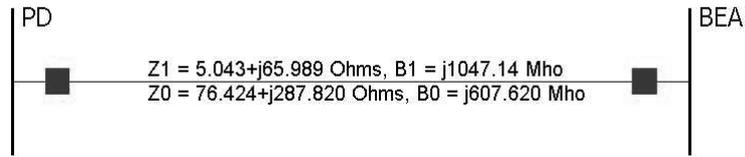


FIGURA 7 – (a) - Dados da LT P. Dutra – B. Esperança 500kV

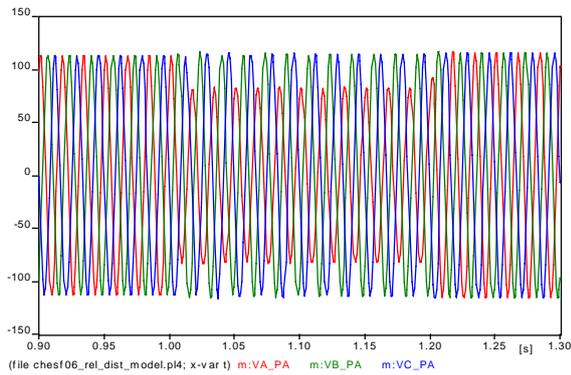


FIGURA 7 – (b) - Perfil das Tensões no CC1F na SE PDD

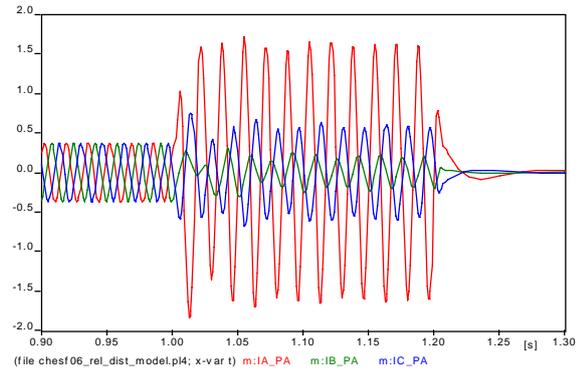


FIGURA 7 – (c) - Perfil das Correntes no CC1F na SE PDD

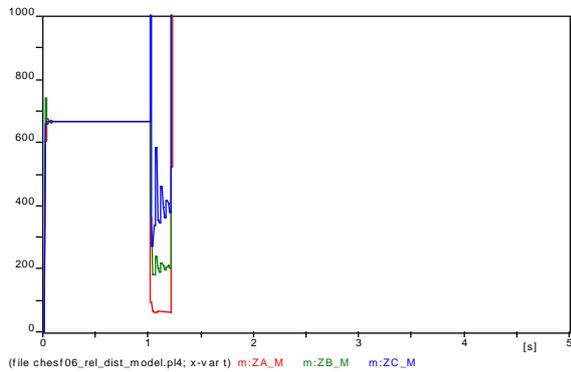


FIGURA 7 – (d) - Impedância Aparente no CC1F na SE PDD

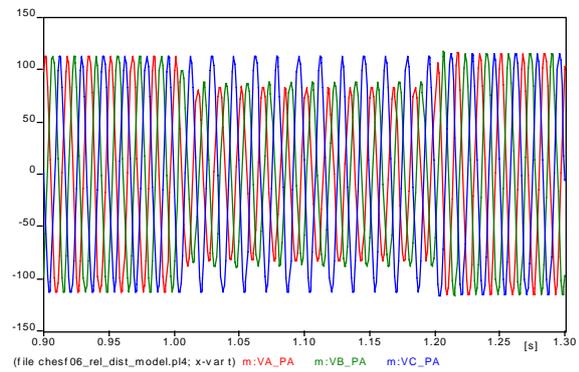


FIGURA 7 – (e) - Perfil das Tensões no CC2F na SE PDD

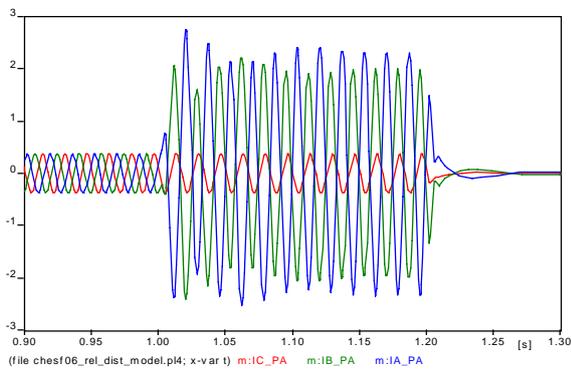


FIGURA 7 – (f) - Perfil das Correntes no CC2F na SE PDD

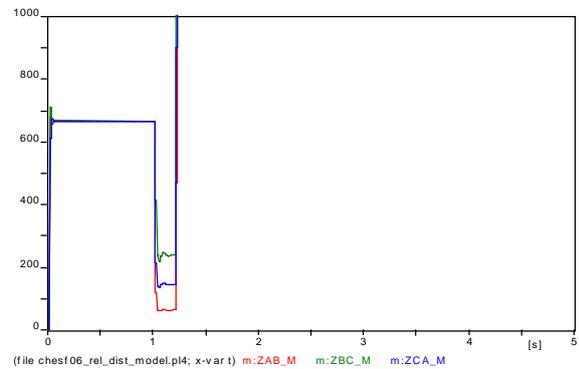


FIGURA 7 – (g) - Impedância Aparente no CC2F na SE PDD

3.0 - ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

O algoritmo de identificação de faltas, como já abordado, é implementado por uma lógica de detecção de nível associada a uma temporização; assim, o valor monitorado da impedância aparente é, a cada passo de integração, comparado com um valor de ajuste do algoritmo de identificação de faltas, de modo a gerar um sinal de *trip* uma vez atingido o valor de 75 Ohms por 200ms.

No módulo de identificação de faltas, em particular através da rotina de cálculo da impedância aparente, são implementados os relés de fase e de neutro, de acordo com as equações apresentadas na Tabela 1. Ambos os relés realizam simultaneamente seus cálculos; entretanto, quando da ocorrência de faltas entre fases apenas o primeiro atua, enquanto que para faltas envolvendo a terra, somente o último o faz.

O desempenho do RDDTI devido à ocorrência de faltas monofásicas foi analisado e seus resultados apresentados nas Figuras 7 - (b), 7 - (c) e 7 - (d). Como se trata de falta tipo fase-terra, conforme o comportamento das tensões e correntes durante o defeito apresentado nas Figuras 7 - (b) e 7 - (c), ocorre sensibilização do relé de neutro referente à fase A. Assim, a impedância aparente, Z_A , vista por este, ingressa na região de *trip* já mencionada. A Figura 7 - (d) respalda tal afirmação, pois apresenta o valor da impedância aparente medida pelos três relés de neutro. Observa-se que no período pré-falta o valor medido pelos relés reflete os fluxos de potência em regime permanente no ponto de instalação, sendo, portanto, da ordem de 700 Ohms e, assim, incapaz de sensibilizar os relés de neutro. Durante o defeito, entretanto, há um afundamento do valor da impedância aparente monitorada pelos relés de neutro, porém apenas o relé associado à fase A é sensibilizado, pois atinge valor inferior a 75 Ohms durante 200ms, enquanto nas demais fases, valores de aproximadamente 200 e 400 Ohms, respectivamente para as fases B e C, são obtidos.

Constata-se que o modelo em linguagem MODELS do RDDTI apresenta desempenho semelhante ao equipamento real na ocorrência de faltas tipo fase-terra, já que são insensíveis às impedâncias vistas em pré-falta bem como às impedâncias das fases não envolvidas no defeito, o que é um comportamento desejável para os relé de neutro.

A respeito das faltas tipo fase-fase, as quais são monitoradas pelos relés de fase, foram observados comportamentos similares. Uma falta bifásica entre as fases A e B foi simulada e o desempenho das tensões, correntes e da impedância aparente está apresentado nas Figuras 7 - (e), 7 - (f) e 7 - (g). Também é observado um desempenho satisfatório do modelo em linguagem MODELS do RDDTI em faltas tipo fase-fase, ver Figura 7 - (g). Pelos resultados apresentados, constata-se que a modelagem do RDDTI pode ser realizada por meio da linguagem MODELS, pois os resultados obtidos guardam fidelidade com os valores calculados, como pode ser constatado quando comparado o valor da impedância aparente visto pelo relé, Figura 7 - (d) e Figura 7 - (g) com os valores calculados analiticamente, baseados nos dados de linha (Figura 7 - (a)).

4.0 - CONCLUSÕES

- A flexibilidade oferecida pela linguagem MODELS, que resulta de sua semelhança a uma linguagem de programação estruturada, possibilita ao usuário a utilização das mesmas técnicas e estruturas condicionais empregadas na elaboração de algoritmos sofisticados, cujas variáveis que figuram em seu interior são grandezas capturadas do sistema elétrico.
- A possibilidade de troca bidirecional de informações entre o modelo do dispositivo em linguagem MODELS e o sistema elétrico simulado permite simulações computacionais em microcomputador em tempo real, dispensando quaisquer pós-processamentos de arquivos, por linguagens não dedicadas a simulações de sistemas elétricos (C/C++, Fortran, etc) bem como é uma alternativa às simulações em RTDS, que exigem emprego de hardware específico e possuem elevado custo.
- A utilização da linguagem MODELS para a simulação de dispositivos não-convencionais, destinados a interagir com sistemas elétricos, apresenta-se como uma ferramenta adequada para desenvolvimento e teste de novas lógicas de controle.
- O emprego da linguagem MODELS na modelagem do RDDTI aqui analisado, apresenta comportamento satisfatório na monitoração da impedância aparente devido à ocorrência de faltas entre fases e entre fase e terra, que apresentam maior grau de assimetria que a falta trifásica.
- Devido aos resultados satisfatórios obtidos, o modelo em linguagem MODELS do RDDTI, aqui analisado, conseguiu, de forma adequada, traduzir para esta linguagem uma versão da programação implementada nos *firmwares* dos microprocessadores dos dispositivos físicos reais.
- Maior precisão na medição da impedância aparente pode ser conseguida pelo modelo em linguagem MODELS do RDDTI, se os sinais de corrente e tensão capturados do sistema, forem acondicionado por filtros *anti-aliasing* e *anti-offset*.

- O presente estudo pode ser tomado como referência para o desenvolvimento de outros modelos de dispositivos não-convencionais em linguagem MODELS que exijam algoritmos semelhantes aos desenvolvidos no modelo do RDDTI aqui proposto, como o de acondicionamento de sinais capturados do sistema elétrico (filtragem analógica), o de filtragem digital para extração da componente fundamental e, com algumas adaptações, para o desenvolvimento de outros modelos de relés digitais com princípios de funcionamento diferentes deste (relés diferenciais, de sobrecorrente, etc).

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Laurent Dubé, "MODELS IN ATP - RULE BOOK", August 1995.
- (2) Laurent Dubé, "USER GUIDE TO MODELS IN ATP", April 1996.
- (3) J.Y. Heo, C.H. Kim, "Realization of Distance Relay Algorithm Using EMTP MODELS", IPST Proceedings, New Orleans, USA, 2003.
- (4) C.H. Kim, M.H. Lee, "Educational Use of EMTP MODELS for the Study of a Distance Relaying Algorithm for Protecting Transmission Lines", IEEE Transactions on Power System, February, 2000.
- (5) Richard W. Wall, "DSP and Power System Protection", Publicação do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Idaho, Moscow, USA, Janeiro de 2000.
- (6) E. O Schweitzer, D. Hou, "Filtering for Protective Relays", 47ª Conferência Anual de Proteção por Relés da Georgia Tech, Atlanta GA, USA, April 1993.
- (7) S. E. Zocholl, "How Microprocessor Relays Respond to Harmonics, Saturation, and Other Wave Distortions", Publicação da Schweitzer Engineering Laboratories Incorporated, 1998.
- (8) J. Roberts, A. Guzman, E. O. Schweitzer III, "Z=V/I Does Not Make a Distance Relay", 20ª WPRC, Spokane WA, USA, October 1993.
- (9) Manfredo C. Lima, Joaquim Fernandes, Lutz Kirschner, Rudolf Münchmeier, "Aspectos Relevantes de Projeto e Benefícios Introduzidos pelos Bancos de Capacitores Série em 500kV Instalados na SE São João do Piauí" Anais do XI ERIAC, Ciudad del Este, Paraguay, Maio de 2005.
- (10) Manfredo C. Lima, Fernando R. Alves, José T. Honda, "Uma Proposta de Modelo de Bancos de Capacitores Série com Gap Ativo para Estudos de Transitórios eletromagnéticos em ATP", Anais do XI ERIAC, Ciudad del Este, Paraguay, Maio de 2005.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Roberto Feliciano Dias Filho nasceu em Timbaúba, PE, em 1979. Recebeu seu diploma de graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco (UPE) em 2003. Ingressou na ANDESA - Consultoria em Sistemas de Energia Elétrica Ltda. em 2003, onde desenvolve atividades relacionadas à modelagem e simulação computacional de sistemas elétricos para estudos de fluxo de carga, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos.

Manfredo V. B. Correia Lima nasceu em Recife, PE, em 1957. Recebeu seu diploma de graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco em 1979 e o título de Mestre em Engenharia Elétrica em 1997 através da mesma instituição. Ingressou na CHESF em 1978, onde desenvolveu experiência em eletrônica de potência, equipamentos FACTS, qualidade de energia, sistemas de controle e transitórios eletromagnéticos. Desde 1992, é professor da Universidade de Pernambuco (UPE), onde desenvolve atividades ligadas ao ensino e pesquisas na área de eletrônica de potência. Atualmente desenvolve trabalho de doutoramento, baseado no emprego de controle adaptativo para dispositivos FACTS junto à Universidade Federal da Paraíba.