

UTILIZAÇÃO DE ARQUIVOS COMTRADE PARA TESTES DE RELÉS DE PROTEÇÃO

Jay Gosalia e Dennis Tierney
Doble Engineering Company USA

RESUMO

Desde a inclusão do padrão COMTRADE em 1991 (C37.111), apenas um pequeno número de usuários foram bem sucedidos na utilização de arquivos provenientes de registradores de falta digitais para analisar a resposta do relé mediante distúrbios do sistema de potência. A utilização de arquivos COMTRADE para testes de proteção, de certa forma, ainda é limitada devido a não familiarização com o padrão por parte de alguns usuários. Um completo entendimento do padrão COMTRADE permite ao usuário criar facilmente um novo arquivo, ou modificar um existente, para testes de proteção.

A intenção deste tutorial é explicar a estrutura básica dos arquivos COMTRADE e familiarizar os usuários no processo de edição e criação dos mesmos, para a posterior aplicação em testes de proteção.

INTRODUÇÃO

Os Registradores de Falta Digitais (DFR) capturam os eventos do sistema de potência à medida que os mesmos ocorrem. O dado registrado é então utilizado para a análise desses eventos. Como resultado dessa análise, o usuário pode fazer qualquer modificação necessária aos ajustes dos relés, disjuntores, transformadores, etc. O dado capturado também pode ser utilizado para a análise de operações questionáveis, ou não operações dos esquemas de proteção.

No passado, não era conveniente nem economicamente viável, se reproduzir dados provenientes dos registradores no esquema de proteção, para a avaliação de sua performance. O equipamento de teste e a programação necessária para avaliar a performance da proteção eram de domínio dos fabricantes. O usuário tinha de solicitar um tempo do fabricante para o teste e, muitas vezes, tinha de se dirigir fisicamente ao local do fabricante para realizá-los. Dois fatores principais inibiram os usuários de desenvolverem os testes por conta própria. Primeiro, o equipamento de simulação disponível era complicado e economicamente inviável aos usuários. O segundo fator era a falta de um formato padrão para os dados registrados. Agora existe o formato COMTRADE, um padrão IEEE; e instrumentos de testes microprocessados que possuem recursos necessários a esse tipo de teste. Esses equipamentos fornecem ao usuário uma forma de se reproduzir esses dados com potência suficiente, necessária aos testes. Com o formato padrão dos dados e instrumentos de

testes modernos, o usuário agora é capaz de testar por completo e, in loco, o esquema de proteção através da reprodução de eventos reais do sistema de potência.

TESTE TRANSITÓRIO

Testes transitórios fornecem uma simulação precisa dos eventos do sistema de potência. É uma ferramenta importante para uma completa avaliação da operação do esquema de proteção. Esses testes podem ser realizados utilizando-se os dados criados por programas como o EMTP, ou através dos dados registrados pelos DFRs. Os arquivos gerados pelos registradores geralmente não são utilizados para os testes de calibração da proteção. Eles são normalmente utilizados durante a manutenção, depois de uma operação questionável ou uma não operação. Os Testes Transitórios são comumente usados para:

- Avaliar a performance do esquema, ou como um teste de aplicação, verificar a performance do esquema de proteção sob condições reais e esperadas.
- Analisar operações questionáveis ou não operações do esquema de proteção durante distúrbios do sistema de potência.
- Avaliar várias opções do esquema de proteção para selecionar o esquema apropriado para a aplicação desejada.

Arquivos COMTRADE ajudam os usuários a executar testes transitórios. DFRs modernos e proteções digitais são capazes de gravar eventos do sistema de potência em formato COMTRADE. Também é possível criar arquivos com esse formato através de programas de simulação, tais como EMTP e ATP. Todos os instrumentos de teste digitais modernos são capazes de reproduzir eventos do sistema de potência. O padrão COMTRADE é uma coleção de dados em volta de um ponto do evento, gravado em intervalos de tempo regulares, para definir as características de tensão, corrente e o status dos canais digitais antes, durante e depois de um evento. Estes arquivos podem ser carregados em instrumentos de testes digitais, via PC, para reproduzir fielmente o dado armazenado, ponto a ponto.

RESUMO: PADRÃO COMTRADE

O padrão define um formato de arquivo DOS, compatível com PC IBM, para o armazenamento das formas de onda, eventos lógicos e dados descritivos. Um conjunto de arquivos COMTRADE para um dado evento consiste de três arquivos com as seguintes extensões:

*.DAT; arquivo de dados

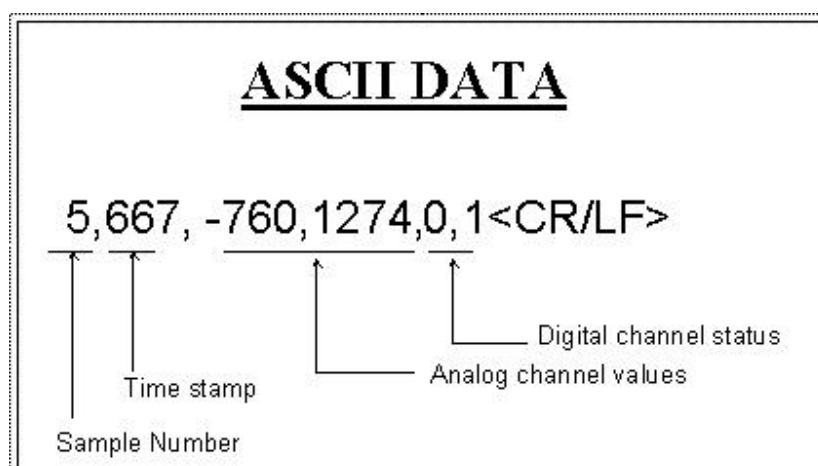
*.CFG; arquivo de configuração

*.HDR (opcional); cabeçalho do arquivo

O arquivo *.DAT é o arquivo de dados que contém as amostras de dados reais do evento registrado ou simulado. Estes são as amostras digitais, estampadas no tempo, dos valores instantâneos dos canais digitais e analógicos. Os canais analógicos são geralmente tensões e correntes, enquanto os canais digitais são tipicamente o status dos contatos do relé. Canais digitais possuem apenas dois estados: ativo ou inativo, onde cada um é representado pelos caracteres "1" (ativo) ou "0" (inativo).

A estrutura dos arquivos de dados é uma série de linhas e colunas, similar a uma planilha. Cada linha representa uma amostra estampada no tempo. O número de colunas no arquivo depende do número de canais analógicos e digitais incluídos na gravação. O número de linhas depende da taxa de amostragem e do comprimento de um registro. Nem todos os valores dos dados podem se encaixar em uma mesma linha. Se os mesmos não cabem em uma mesma linha, então eles continuam sem o caractere de retorno de linha (CR/LF). O último valor do registro é terminado com um caractere de retorno de linha (CR/LF).

Cada linha contém uma coluna separada para o número da amostra, o tempo de início da gravação em microssegundos, e uma coluna para cada canal analógico e digital. Por exemplo, uma linha com seis canais analógicos e um canal digital terá nove colunas. Linhas de amostras sequenciais são separadas por caracteres de retorno de linha. A Figura 1 mostra um exemplo de dados ASCII.



Amostra de um dado ASCII

FIGURA 1

O dado pode ser armazenado em formato ASCII ou Binário. Dados armazenados em formato ASCII permitem que o usuário visualize e analise o dado em um programa de sua escolha. A planilha também pode ser usada para criar arquivos do tipo COMTRADE. Arquivos Binários devem usar a mesma estrutura dos arquivos ASCII. Cada amostra de dado gravada para o formato binário é estruturada como se segue:

- Número da Amostra: 4 bytes
- Tempo da Amostra: 4 bytes
- Canal de Dados: 2 bytes (analógico)
- Canal de Dados: 2 bytes (valores de status das 16 entradas digitais em cada 16 bit-word)

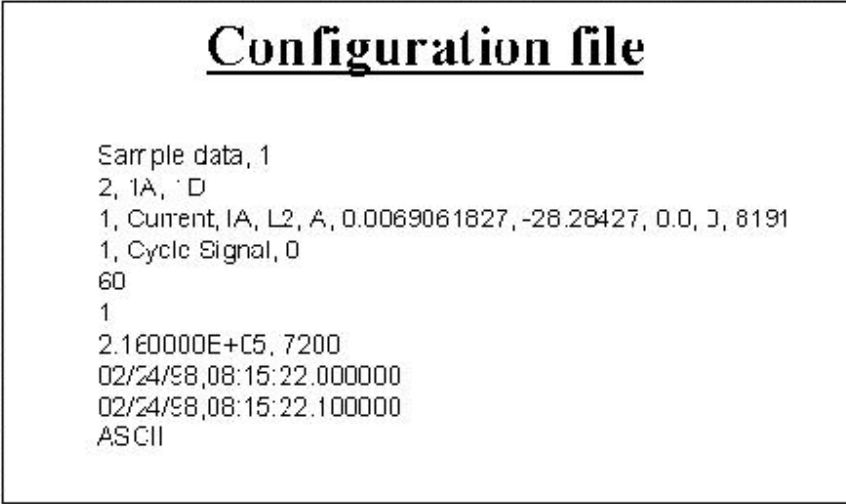
No entanto, não é fácil trabalhar com dados binários. Se um dado binário é utilizado, um programa deve ser empregado para converter dados binários em formato ASCII. Dados do tipo ASCII são legíveis e o usuário pode facilmente visualizá-lo, utilizando qualquer editor de texto como Windows® Notepad ou um programa de planilhas.

O arquivo .CFG atua como um guia de tradução para os arquivos de dados. Ele contém a informação necessária para representar um evento do sistema de potência. O mesmo contém a seguinte informação:

- Nome e identificação da estação
- Número total de canais analógicos
- Número total de canais digitais
- Dados para cada canal analógico em uma linha separada
- Dados para cada canal digital em uma linha separada
- Frequência
- Taxa de amostragem e número de amostras
- Data e tempo do primeiro ponto de dado
- Data e tempo para o ponto de trigger (disparador)

- Tipo do arquivo de dados (ASCII ou Binário)

A Figura 2 mostra um típico arquivo de configuração.



```
Configuration file  
  
Sample data, 1  
2, IA, 'D'  
1, Current, IA, L2, A, 0.0069061827, -28.28427, 0.0, 3, 8191  
1, Cycle Signal, 0  
60  
1  
2.1E0000E+C5, 7200  
02/24/98,08:15:22.000000  
02/24/98,08:15:22.100000  
ASCII
```

Típico Arquivo de Configuração (.CFG)

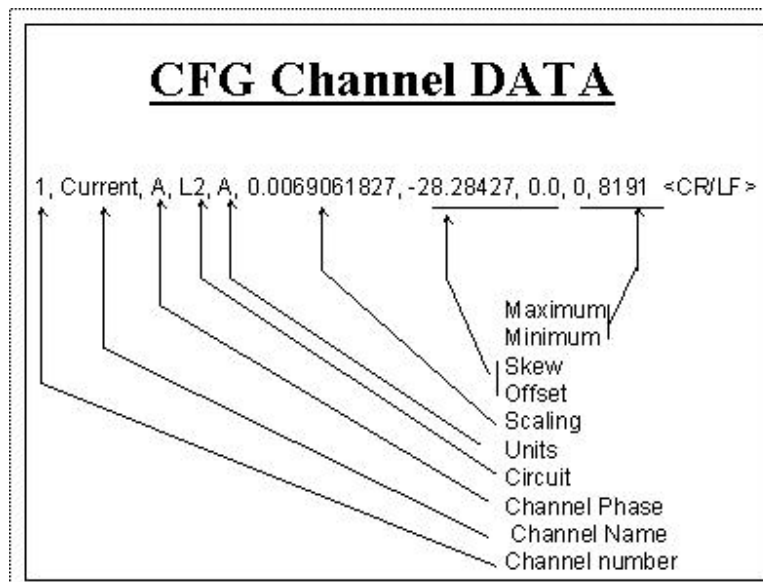
FIGURA 2

Os dados de canais analógicos contêm informações que consideram a escala do dado analógico. Para cada canal analógico, os detalhes contêm a seguinte informação:

- Número do Canal
- Nome do Canal
- Fase do Canal
- Circuito
- Unidades
- Escala (Fator "a")
- Offset (Fator "b")
- Desvio (Skew)
- Valor mínimo do dado para o canal

- Valor máximo do dado para o canal
- <CR/LF>

Um dado típico para o canal analógico é mostrado na Figura 3.



Dado Típico para um Canal Analógico

FIGURA 3

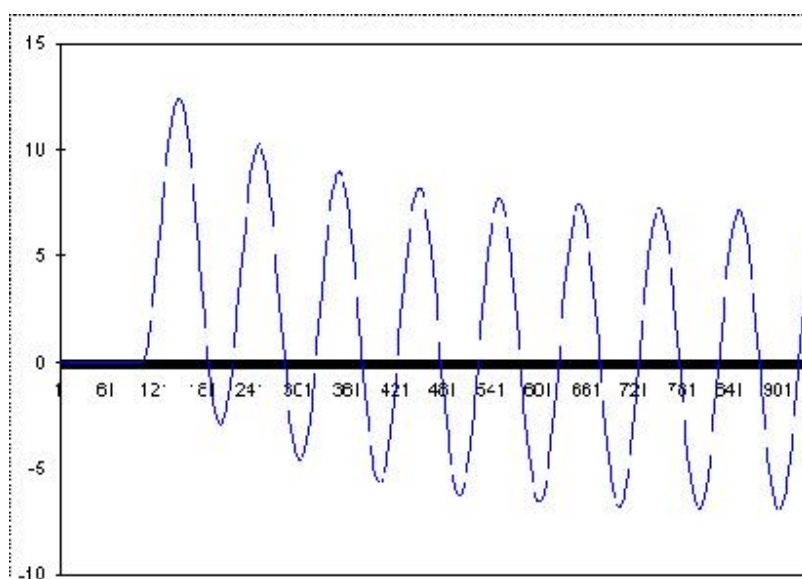
Os arquivos de dados e os arquivos de configuração são os arquivos obrigatórios. O arquivo .HDR é opcional. Este último é um arquivo tipo texto que contém informação do evento que é registrado no arquivo .DAT. Ele pode conter informações como as condições do sistema de potência antes do distúrbio; dados da estação, da linha e da fonte; detalhes do transformador; número de discos necessários para a gravação; etc.

DADOS DO COMTRADE PARA TESTES DE RELÉS

Registradores de Falta Digitais (DFRs), relés digitais modernos, softwares de simulação como o EMTP e o ATP, fornecem dados de simulação de eventos do sistema de potência em formato COMTRADE. Esse dado pode ser utilizado para reproduzir eventos no esquema de proteção, utilizando instrumentos de testes digitais. Neste paper, um caso mostra como um dado COMTRADE pode ser usado para avaliar a performance do relé. Um procedimento passo a passo é descrito para auxiliar o usuário no entendimento do procedimento.

EFEITO DA COMPONENTE DC NO AJUSTE DE UM RELÉ DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADO

Quase todas as faltas do sistema de potência possuem alguma quantidade de componente DC (offset DC) na corrente de falta. Esta componente aumenta o valor de pico da corrente de falta. A quantidade de componente continua na corrente de falta depende do ângulo de inserção de falta. O offset DC decai depois de um período de tempo, comprimento do qual depende de uma constante de tempo do circuito; e que é definida por sua resistência e indutância. Uma forma de onda de uma típica corrente de falta é mostrada na Figura 4.



Forma de Onda de uma Típica Corrente de Falta

FIGURA 4

Um elemento de ajuste alto de um relé eletromecânico é susceptível à componente DC. Portanto, o ajuste para um valor alto de pickup necessita ser ajustado levando em consideração o efeito da componente DC. O efeito dessa componente em relés microprocessados depende do design do relé. Se o relé filtra o offset dc e trabalha somente com a frequência fundamental, a componente dc não terá efeito para o ajuste do relé. Para entender como esse fenômeno pode afetar a performance do relé, o usuário deverá estudar o design do relé e avaliá-lo testando como se segue.

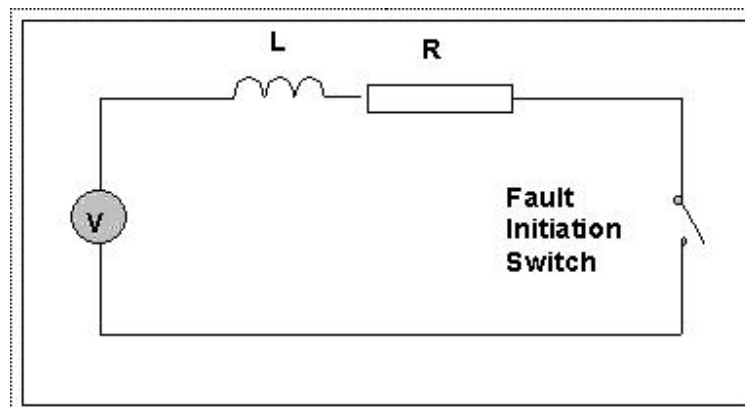


Diagrama do Circuito para o Exemplo de Teste

FIGURA 5

Passo 1

A Corrente que possui um decaimento dc possui duas componentes:

1. A componente dc, I_{dc} , decai de uma taxa que segue a seguinte fórmula: $I_{max} \{e^{-Rt/L} * \text{sen}(\acute{\alpha}-\grave{\epsilon})\}$
2. A componente de freqüência fundamental de estado estável, I_{ac} , igual à: $I_{max} * (\text{sen } \grave{\omega}t + \acute{\alpha} - \grave{\epsilon})$

Note que a corrente total, I , em qualquer tempo t , se comporta como segue a fórmula abaixo:

$$I = I_{max} * \text{sen}(\grave{\omega}t + \acute{\alpha} - \grave{\epsilon}) - e^{-Rt/L} * \text{sen}(\acute{\alpha} - \grave{\epsilon})$$

I_{max} é o valor máximo da corrente. Ele é calculado como se segue:

$I_{max} = V_{max} / |Z|$, onde Z é calculado como:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$
, onde R e L são a resistência e indutância do circuito.

No exemplo acima,

$\acute{\alpha}$ = ângulo de fechamento. É o ângulo da tensão quando a chave é fechada.

$\grave{\epsilon}$ = o ângulo do circuito definido como: $\grave{\epsilon} = \tan^{-1}(\omega L/R)$

Se o valor instantâneo da tensão é zero, e está próximo de se tornar positivo quando a chave é fechada ($t = 0$), então $\acute{\alpha} = 0$.

Se o valor da tensão está no seu valor máximo positivo, então $\acute{\alpha} = 90^\circ$.

Se a chave é fechada no ponto onde $\alpha = +\pi/2$, então a componente dc tem seu valor inicial máximo. Isso é igual ao valor da máxima componente senoidal. A componente dc pode ter qualquer valor, de zero até I_{max} , dependendo do valor instantâneo de tensão quando o circuito é fechado e do fator de potência do circuito.

Passo 2

- Selecione os parâmetros do circuito para a linha sob teste.
- Selecione a resistência e indutância da linha sob teste.
- Selecione o número de amostras.
- Selecione o valor máximo de corrente de falta de estado estável (permanente). Neste caso, 5 ampéres.
- Selecione o ângulo de inserção de falta. Neste caso, -5° para se ter máximo offset.

A Figura 6 mostra uma típica folha de dados:

Frequency =	60
Resistance=	1.117
Inductance=	0.035
Close Angle=	4.84
# PreFault Cycle	1

Típica Folha de Dados

FIGURA 6

Usando a fórmula do Passo 1 e as variáveis definidas acima, o valor de corrente para cada ponto de amostra pode ser calculado. Uma planilha típica é mostrada na Figura 7.

Sample#	Time	Data Value
98	16166.67	0
99	16333.33	0
100	16500	0
101	16666.67	0
102	16833.33	0
103	17000	0.0306
104	17166.67	0.1000
105	17333.33	0.1965
106	17500	0.3195
107	17666.67	0.4684
108	17833.33	0.6425
109	18000	0.8410
110	18166.67	1.0629
111	18333.33	1.3072
112	18500	1.5727
113	18666.67	1.8584

FIGURA 7

Passo 3

Agora o dado para cada ponto amostrado está disponível. Amostras de dados COMTRADE devem ser um número inteiro. O valor do dado deve ter no máximo 6 dígitos inteiros. O dado calculado no Passo 1 deve ser convertido para números inteiros. Para isso, assuma que um conversor analógico de 12-bit é utilizado para converter o sinal analógico em uma amostra digital. Assuma também que o mínimo valor da amostra é 0 e o valor máximo seja 4095 ($2^{12}-1$).

A partir do valor calculado no Passo 2:

1. Calcule a faixa da amostra usando a fórmula ($I_{max} - I_{min}$).
2. Assuma que o valor máximo do dado na faixa é de 4095. (0 é o min. e 4095 é o máx.)
3. O fator de multiplicação para converter um valor analógico em um valor inteiro é $(I_{max} - I_{min})/4095$. Este é o valor "a".

Passo 4

Depois de determinar o valor para o fator de multiplicação "a", o fator de offset "b" precisa ser calculado. O valor de "b" é o valor que deve ser adicionado ao valor de qualquer amostra para retornar ao valor original. O fator "b" pode ser calculado como se segue:

1. O valor instantâneo da amostra no formato COMTRADE é definido em $ax+b$, onde x é o valor do dado em qualquer tempo, t.
2. O mínimo valor de dado assumido (x) é 0. Ex: $x = 0$ e $ax = 0$.
Portanto $b = \text{valor mínimo da amostra analógica (valor da amostra = } ax+b)$.

Passo 5

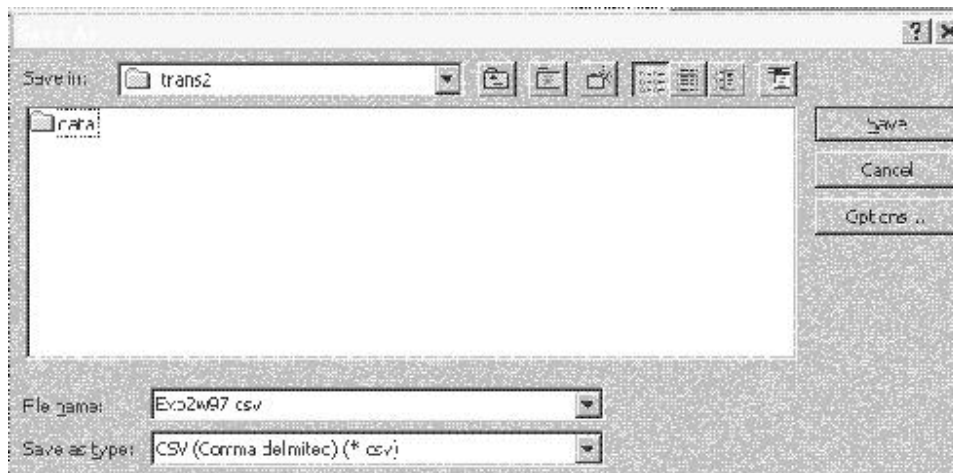
Utilizando o valor "a" e o fator de offset b, uma planilha separada pode ser criada, onde as colunas 1, 2 e 3 são o número da amostra, o tempo da amostra e o valor do sinal, respectivamente. A Figura 8 mostra uma tabela típica contendo essa informação.

Sample #	Time	Value
97	17167	471
98	17333	451
100	17500	451
101	17667	451
102	17833	451
103	17999	471
104	17167	455
105	17333	518
106	17500	541
107	17667	573
108	17833	679
109	18000	651
110	18167	637
111	18333	748
112	18500	824
113	18667	874

Tabela mostrando Número da amostra, Tempo, e Valor

FIGURA 8

Uma vez que o dado é calculado, a planilha é salva como um arquivo texto delimitado por vírgula. A caixa de diálogo para a opção "Salvar Como" é mostrada na Figura 9.



Caixa de diálogo para a opção "Salvar Como"

FIGURA 9

Passo 6

O arquivo irá ser salvo como extensão .CSV. A extensão do arquivo pode ser trocada manualmente no Windows Explorer para uma extensão .DAT.

Passo 7

Agora o dado está pronto. O próximo passo é criar um arquivo do tipo .CFG. Será mais fácil utilizar um arquivo de configuração existente e modificá-lo para adequar o dado no arquivo de dado. A Figura 10 mostra a tabela do arquivo de configuração para um canal de corrente.

Doble	1998								
-	1A								
-	Phase Current	A	A	4.774E-03	-7.069E+00	0	0	4095	
NI									
:									
6000	2099								
07:02:78	10:20:20.0								
07:02:78	10:20:20.0								
ASCII									

Tabela do Arquivo de Configuração para um Canal de Corrente

FIGURA 10

- **Primeira Linha, Doble, 1998:** indica o nome da estação a identificação (ID) do equipamento de gravação.
- **Segunda Linha, 1, 1A:** indica o número total de canais; canais analógicos.
- **Terceira Linha, 1, Phase Current, A, A, 4.774E-03, -7.069E+00, 0, 0, 4095:** indica os detalhes do canal analógico. Alguns dos itens dessa linha são calculados dos valores dos dados, onde $4.774E-03$ é o fator (a) de multiplicação do canal e $-7.069E+00$ é o fator de offset (b) do canal.
- **Quarta Linha, 60:** indica a frequência.
- **Quinta Linha, 1:** indica a taxa da amostra.
- **Sexta Linha, 6000, 2099:** indica a taxa de amostragem e o último número da amostra.
- **Sétima e Oitava Linha** indicam a data e o tempo para os pontos e para o trigger inicial.
- **Nona Linha, ASCII:** indica o tipo de arquivo.

A tabela para o dado configurado deverá ser armazenada como um arquivo ASCII com extensão .CFG. Salve a folha de configuração como um arquivo delimitado por vírgula (.CSV) no MS-Excel. Então renome-o com uma extensão .CFG usando o mesmo nome do arquivo de dados. Agora os arquivos .DAT e .CFG estão prontos. Os mesmos podem ser reproduzidos nos relés de proteção através de programas, e de Simuladores de Sistema de Potência, para avaliar a resposta da proteção.

Trocando os valores dos parâmetros da linha (indutância e resistência), o ângulo de inserção de falta, uma série de arquivos COMTRADE pode ser criada. Reproduzindo esse arquivo nos relés com um Simulador de Sistema de Potência, a resposta dos relés à componente dc pode ser avaliada. Este exercício é muito útil quando um novo relé de sobrecorrente precisa ser coordenado com um relé downstream de um tipo diferente.

CONCLUSÃO

A utilização de dados no formato COMTRADE permite ao usuário simular eventos reais do sistema de potência utilizando simuladores digitais para avaliar a performance da proteção. A utilização de

planilha padrão simplifica a geração de dados COMTRADE. A planilha também pode ser utilizada para analisar os dados. Isto facilita a compreensão da operação da proteção diante de um evento do sistema de potência. Quando a seletividade de vários esquemas de proteção precisa ser examinada, arquivos de dados COMTRADE simplificam o teste de cenários do tipo "imprevistos" nos esquemas. Isto ajuda o usuário a selecionar o melhor esquema de proteção para a aplicação específica.

A coordenação entre relés de upstream e downstream de diferentes fabricantes ou tipos é crítica nos circuitos de distribuição quando modificações são feitas no sistema. Arquivos COMTRADE dão suporte ao usuário para analisar a resposta da proteção através de simulação de eventos do sistema de potência. No passado, fabricantes eram capazes de realizar testes simulados utilizando programas como o EMTP e um analisador de rede transitório para uma aplicação particular. No entanto, eram realizadas de acordo com a solicitação do cliente. Tais simulações eram apenas realizadas para aplicações críticas.

Nem todas as aplicações poderiam ser simuladas devido a restrições de tempo e custo. Agora, com a disponibilidade de Simuladores de Sistema de Potência portátil e arquivos COMTRADE, o usuário pode simular facilmente eventos do sistema de potência, in loco.

A disponibilidade de se ter simuladores de sistema de potência permite ao usuário reproduzir os arquivos provenientes dos registradores de faltas (DFRs), nos dois terminais da linha, utilizando sincronização por satélite. Tal teste permite ao usuário analisar o comportamento dos esquemas de proteção para os eventos do sistema de potência.

REFERÊNCIAS

1. ANSI/IEEE C37.111.1991 Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems.
2. IEEE Special Publication # 96TP115-0 Relay Performance Testing, Power System Relaying Committee, Report of Working Group I 13.
3. Giuliani, A.T., Using COMTRADE for Relay Testing and Fault Analysis Seminar.
4. Jodice, J.A. and Giuliani A.T., A New Philosophy for Protection Diagnostics, Proceedings of the Sixty-Third Annual International Conference of Doble Clients, 1996, Sec.6-7.
5. Jodice, J.A. and Giuliani A.T., A New Philosophy for Protection Diagnostics, Pennsylvania Electric Association Relay Committee, September 18, 1996.
6. Tienken, C., Gosalia, J., and Giuliani, A.T., End-to-End Testing for Routine Maintenance, 1997 Annual Western Protective Relay Conference, October 21-23, 1997.

BIOGRAFIAS

Jay Gosalia é funcionário da Doble Engineering Company e atua como Gerente de Produto na área de Proteção. Ele possui 22 anos de experiência na área de engenharia de potência, 17 dos quais foram dedicados ao desenvolvimento e marketing de Relés de Proteção. Antes de se juntar à Doble Engineering, Jay atuou como Gerente de Marketing e Vendas dos U.S. para a GEC Alstom T&D, divisão de Proteção e Controle, durante 13 anos. Também trabalhou na ABB, na divisão de Disjuntores como engenheiro de desenvolvimento.

Jay é membro ativo do IEEE Power System Relaying Committee e possui vários papers técnicos sobre relés de proteção.

Dennis Tierney se juntou à Doble Engineering Company como Engenheiro de Aplicação Senior para a linha de produtos de equipamentos de testes de relés em 1997. Ele possui mais de 15 anos de experiência no campo de Engenharia de Potência, cinco dos quais foram dedicados à Relés de Proteção. Antes de se juntar à Doble Engineering ele trabalhou para o Projeto de Salt River (SRP) no Arizona. Dennis é membro do IEEE.

Copyright, 1999 Doble Engineering Company

Todos Direitos Reservados

Este paper foi preparado e apresentado para Conferência Anual Internacional dos Clientes Doble