



SISTEMA AUTOMATIZADO DE COLETA E PRÉ-ANÁLISE DE OSCILOGRAFIA DE RELÉS DE PROTEÇÃO DE UNIDADES GERADORAS

JORGE MITSUHIRO OURA (*) **ADRIANO SANTOS MENDES**
CESP – Companhia Energética de São Paulo CESP – Companhia Energética de São Paulo

PAULO K. MAEZONO **POLICARPO BATISTA** **FABIANO DIOGO**
ULIANA **TRUJILLO**
Virtus Consultoria e Serv. Documentta Tecnologia Ltda. ECIL Informática Ltda.
Ltda.

□ **Brasil**

RESUMO

Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema especialista automatizado de coleta e pré-análise de registros de oscilografia provenientes de relés de proteção digitais de unidades geradoras implantado na CESP – Companhia Energética de São Paulo. O sistema efetua a coleta automática de oscilografia de relés de proteção, independente de modelo, fabricante ou protocolo de comunicação. Os dados coletados são analisados por um software desenvolvido exclusivamente para a análise automática de oscilografias em formato COMTRADE, o qual elabora um relatório da ocorrência e transmite através de e-mail, enviando também um SMS resumido para as pessoas cadastradas.

PALAVRAS CHAVE

Coleta automática de oscilografia, Análise automática de oscilografia, Formato COMTRADE.

1. Introdução

O uso de registros oscilográficos para a análise de perturbações visando aquisição de dados de ocorrências em sistemas elétricos de potência está atualmente bastante disseminado nas empresas do setor elétrico. Especificamente nas empresas de transmissão, esta prática operacional tem sido utilizada no Brasil desde o início dos anos 70, sendo que atualmente, além dos registradores digitais de perturbações, os relés digitais de proteção também permitem a geração de registros oscilográficos.

(*) Av. Nossa Senhora do Sabará, n° 5.312 – sala 32 – CEP 04447-011 – São Paulo - SP – Brasil
Tel: (+55 11) 5613-3764 – Fax: (+55 11) 5613-3773 – Email: jorge.oura@cesp.com.br

O uso de registradores oscilográficos para perturbações é relativamente recente na área de geração, pois foi somente impulsionado pelo advento das proteções digitais para máquinas geradoras a partir dos anos 90. O uso de sistemas de proteção e controle digitais em plantas geradoras, associado ao uso de RDP's – Registradores Digitais de Pertubações, oferece uma grande quantidade de dados que, normalmente, não são disponibilizadas de forma rápida e eficiente aos operadores e analistas que as utilizam para análises de eventos. Este atraso ocorre devido a alguns fatores:

- Os equipamentos que geram dados oscilográficos são de diferentes fabricantes e utilizam distintos softwares de gerenciamento e comunicação. Adicionalmente, um eventual software proprietário possui um formato específico de geração e organização de dados.
- Nem todos os equipamentos estão ligados a uma rede de comunicação local que permita a coleta de todos os dados disponíveis.
- Um significativo volume de registros oscilográficos pode ser gerado de forma contínua, sendo que apenas uma pequena parte destes dados é importante.
- Para uma análise minuciosa do oscilograma e interpretação dos eventos, é necessário juntar todos os dados do sistema elétrico, tais como: diagrama unifilar, relação dos transformadores de instrumentos (TP e TC), conexão do transformador elevador, etc.
- A análise de oscilogramas de perturbações é efetuada por especialistas que, raramente, encontram-se no local da perturbação para efetuar uma rápida análise.

2. Concepção do Sistema

A CESP (Companhia Energética de São Paulo) possui 6 usinas hidrelétricas localizadas em diversas regiões, mas que apresentam um aspecto em comum: em todas as unidades geradoras as antigas proteções eletromecânicas ou estáticas de eletrônica convencional, foram substituídas por proteções digitais. Nestas hidrelétricas existem muitos equipamentos gerando registros oscilográficos, sem que os mesmos estejam disponíveis de uma forma otimizada, tanto localmente como na sede da empresa, onde se encontram os profissionais encarregados pelas análises de ocorrências e interação com entidades externas como ANEEL e ONS.

Visando propor uma solução adequada para o problema descrito, o objetivo principal do projeto de P&D “Sistema Especialista Executivo de Coleta e Pré Análise de Registros Oscilográficos de Curta e Longa Duração Gerados em Usinas Hidroelétricas” foi o desenvolvimento de um sistema de apoio à coleta e pré-análise de registros de oscilografia para as unidades geradoras da CESP. O sistema foi implantado, testado e validado em duas usinas hidrelétricas da CESP (UHE Jupia e UHE Porto Primavera).

O sistema desenvolvido é composto pelos seguintes módulos:

- Sistema de coleta automática de oscilografias: conjunto de hardwares e softwares que são utilizados para a coleta de dados de diversas proteções digitais que geram registros de oscilografia.
- Sistema especialista executivo: software que atua como um autômato, acionando diversas ferramentas de software para a coleta dos dados e extraindo os dados de oscilografia da ocorrência no formato COMTRADE.

- Sistema especialista de análise automático de oscilografias: software que efetua rotinas de pré-análise com base em critérios pré-definidos, diagnosticando as ocorrências e classificando-as em grau de severidade.

- Sistema de comunicação remoto e publicação dos dados: sistema que usa a rede de comunicação da CESP para emissão do relatório automático de diagnósticos da ocorrência através de envio de e-mail e emissão de mensagem resumida em SMS para as pessoas cadastradas.

O sistema especialista desenvolvido ao longo do projeto de P&D é uma evolução dos sistemas tradicionais, que basicamente apóiam os especialistas humanos em tomadas de decisão. O sistema implementado vai um pouco mais além do alcance dos sistemas convencionais, pois executa operacionaliza e controla outros softwares e equipamentos, organiza e analisa dados de oscilografia e emite diagnósticos simplificados através de uma inovadora ferramenta computacional denominada CAL – “COMTRADE Analysis Language”.

2.1 Arquitetura do Sistema de Coleta Automática de Oscilografias

O sistema é composto por três ambientes distintos:

- **CEM - Centro de Engenharia de Manutenção**, onde está instalado o Servidor que hospeda os serviços de Banco de Dados para armazenamento dos registros oscilográficos, Web para acesso ao sistema e Servcom, responsável pelo gerenciamento da comunicação com os softwares distribuídos instalados nos Concentradores de cada Usina.
- **Usinas**, onde estão instalados os computadores Concentradores que executam os softwares distribuídos do sistema e o próprio software do fabricante. Além dos Concentradores, foram instalados nas usinas, equipamentos como “Terminal Servers” que fazem a conversão do padrão de comunicação RS232 para TCP/IP permitindo, assim, a comunicação do Concentrador com os IEDs.
- **Acesso**, onde qualquer computador desktop que possua browser instalado pode servir de terminal de acesso ao sistema, bastando ao usuário ter uma conta de acesso pré-cadastrada pelo administrador do sistema.

A Figura 1 abaixo, exhibe a arquitetura do sistema atualmente instalado.

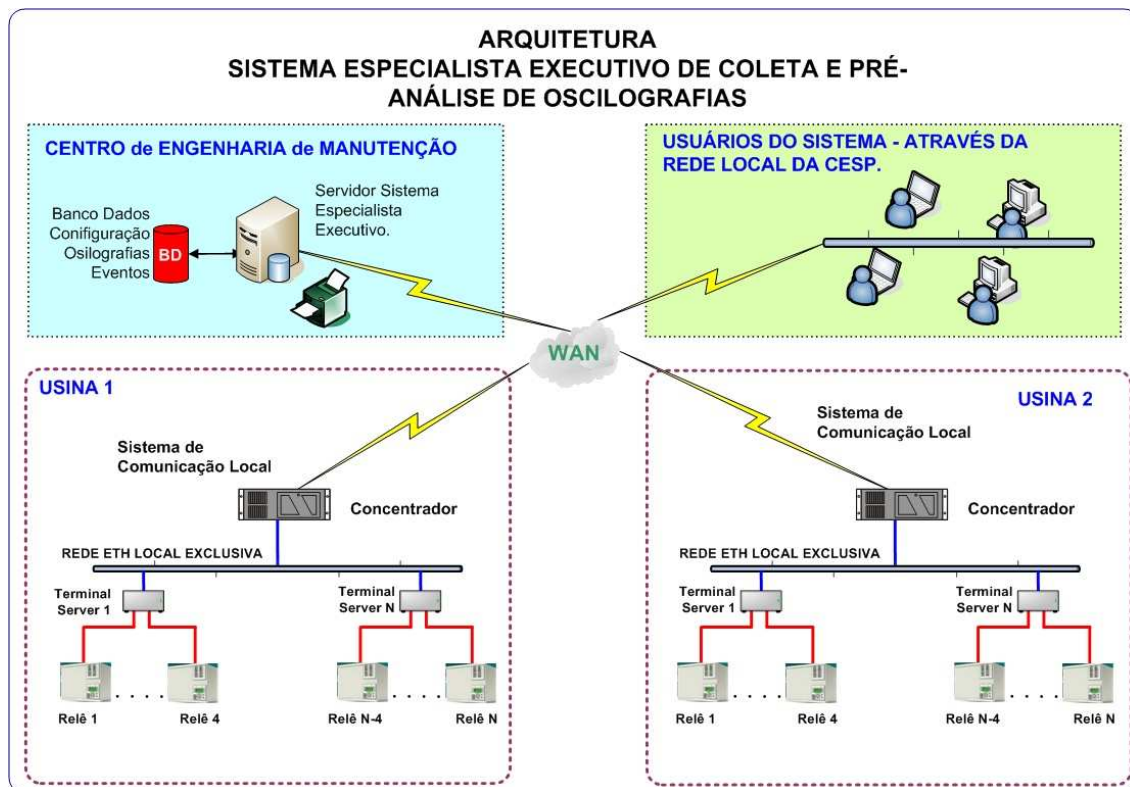


Fig 1

Servidor

O Servidor do SEEC (Sistema Especialista Executivo de Coleta e Pré Análise de Registros Oscilográficos de Curta e Longa Duração) é responsável por hospedar os serviços de Banco de Dados, Web e Servcom.

O Banco de Dados é responsável pelos registros oscilográficos e armazenamento de todas as informações relacionadas ao funcionamento do próprio sistema. Isto é, ele é responsável pelo armazenamento das informações resultantes do cadastro dos IEDs, Concentradores, Usuários, Relatórios, Logs e demais informações. Sua função é ser o repositório principal do sistema, sendo atualizado constantemente com registros pelo Servcom e consultado pelo Servidor Web.

O serviço Web é responsável por fornecer a interface de páginas web, que contém todas as funcionalidades do sistema. Através de qualquer computador na rede Intranet, é possível acessar o sistema através do seu endereço web, bastando, para isso, possuir uma conta de acesso configurada pelo administrador do sistema. Dessa forma, o usuário pode consultar os registros oscilográficos dos IEDs a partir de qualquer computador da empresa, bem como, solicitar uma coleta de oscilografia por demanda.

Servcom, ou Servidor de Comunicação, é o aplicativo central responsável pelo gerenciamento da comunicação entre os aplicativos distribuídos instalados nos Concentradores das Usinas e o Servidor Central. Ele é responsável por abrir o canal de comunicação para transmissão e recepção de comandos, transmissão e recepção de dados (registros oscilográficos). Além disso, o Servcom é responsável por disparar a execução do software de pré-análise automatizada de oscilografia assim que seja identificada uma nova oscilografia.

Com base no resultado da pré-análise realizada, o sistema pode enviar automaticamente alerta via SMS, informando qual problema ocorreu na usina ou apenas enviar email contendo o registro oscilográfico no formato COMTRADE e o seu relatório de pré-análise como anexos da mensagem.

Concentrador

A função do Concentrador é servir de repositório temporário dos registros oscilográficos. Ou seja, o Concentrador faz o papel de interface entre o IED e o Servidor instalado na estação central. Ele é responsável por abrir o canal de comunicação com o dispositivo, coletar os arquivos oscilográficos e enviá-los ao Servidor.

Os softwares instalados são demonstrados no diagrama da Fig 2 a seguir.

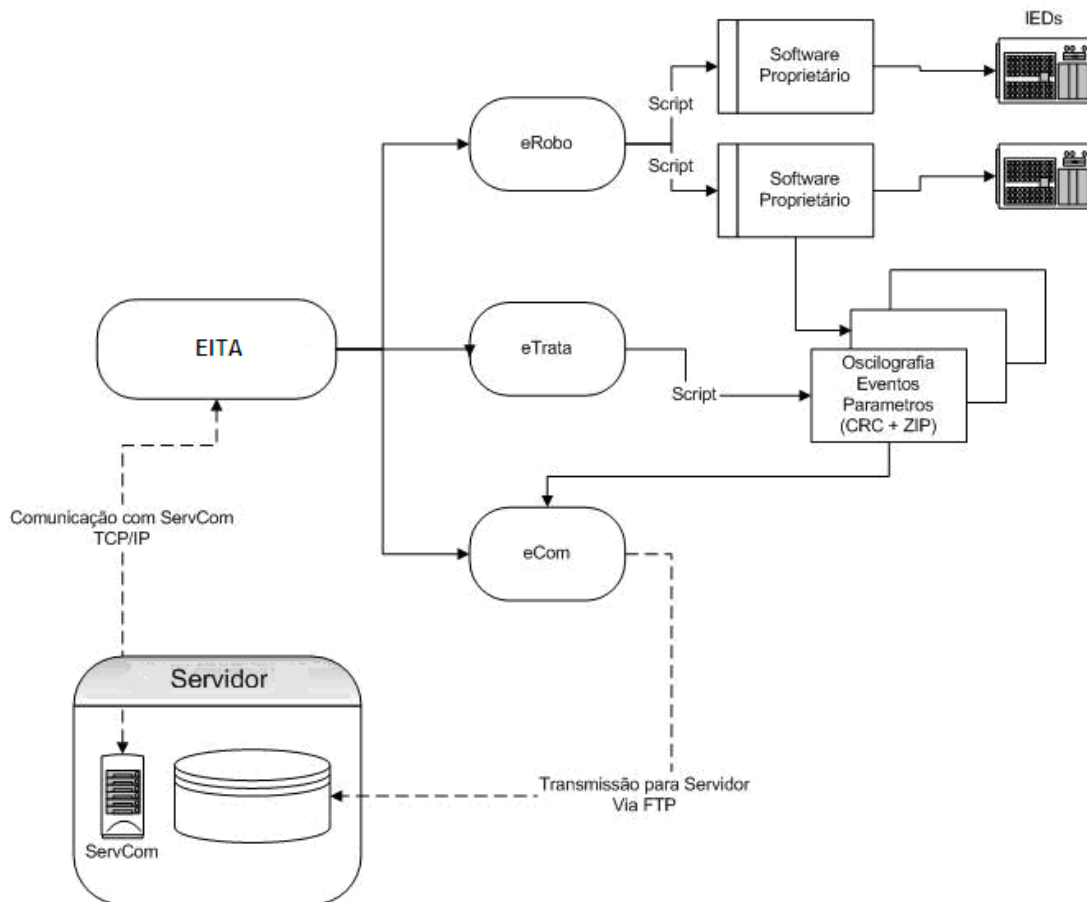


Fig 2

- **EITA:** é o software gerenciador do Concentrador. É responsável por controlar o ciclo de vida dos demais softwares que executam as atividades específicas de coleta, tratamento e envio dos registros ao Servidor. Esses softwares são chamados respectivamente de eRobo, eTrata e eCom. O EITA mantém um canal de comunicação com o Servidor (Servcom) aberto e recebe os comandos executados pelos usuários através das páginas Web. Ou seja, os comandos de coleta de registros por demanda, cadastro de novos IEDs, alteração de periodicidade de varredura são executados pelos usuários nas páginas web e então enviados ao EITA para executar a solicitação.
- **eRobo:** é o aplicativo que manipula o software do fabricante simulando a seqüência de comandos que uma pessoa executa para coletar o registro. A seqüência de comandos

executada é definida no **Script do eRobo**, que automaticamente abre o canal de comunicação com o IED correto e coleta o registro necessário.

- **eTrata:** é o aplicativo que manipula o registro após término da coleta do dispositivo. É responsabilidade do eTrata compactar o registro e prover mecanismo de validação e consistência para transferência do registro ao servidor.
- **eCom:** é o aplicativo responsável por transferir os registros ao servidor. A transferência dos registros ao Servcom é realizada utilizando o protocolo FTP.

2.2 Sistema de Análise Automático de Oscilografias

A ferramenta de análise automática de oscilografias foi desenvolvida para tratar e analisar os registros oscilográficos gerados pelos relés de proteção que monitoram os geradores das usinas da CESP. Mais especificamente, o sistema está atualmente configurado para interagir com todos os relés de proteção associados aos geradores das usinas de Porto Primavera e Jupia.

Como base para o desenvolvimento do sistema especialista que é o motor de inferência do sistema computacional, foi elaborado um relatório que descreve as características de todas as eventuais condições de defeito no sistema elétrico associadas aos grupos geradores-transformadores das usinas Porto Primavera e Jupia. Com base neste documento técnico, foram escritas várias rotinas utilizando a linguagem CAL (Comtrade Analysis Language), um interpretador de comandos, o qual é explicado abaixo.

Linguagem CAL

A linguagem CAL, criado por um dos autores deste artigo, é um interpretador de comandos específicos que associa recursos de programação convencional com ferramentas de manipulação de arquivos COMTRADE e cálculos de fasores extraídos desses arquivos, incluindo amplos recursos de manipulação de componentes simétricas.

Reunindo algumas características interessantes das linguagens de programação C, PASCAL e MATLAB, a linguagem permite a manipulação dos dados gerados no formato COMTRADE de forma bastante simples, possibilitando que um programador pouco experiente obtenha informações de dados oscilográficos, sem precisar conhecer profundamente este tipo de formato de dados. Ao contrário das outras linguagens de programação, a linguagem CAL permite a geração de um código mais compacto em aplicações que manipulam dados no formato COMTRADE, permitindo uma significativa redução do grau de complexidade de programação.

A linguagem CAL manipula dados sob a forma de arquivos de texto. Ela possui uma série de funções dedicadas, de forma que o código gerado se torna muito menor e mais simples do que se for escrito em uma linguagem convencional de programação. Este aspecto possibilita que o analista de sistemas de potência possa compreender completamente os programas desenvolvidos e interagir facilmente com o programador.

A Tabela I mostra vários tipos de variáveis da linguagem CAL que permitem a manipulação de números inteiros, reais e complexos e também “objetos” (variáveis com múltiplas propriedades e funções associadas), associando variáveis analógicas a circuitos trifásicos de corrente e tensão.

TABELA I
TIPOS DE VARIÁVEIS E OBJETOS DA LINGUAGEM CAL

| Tipo | Função |
|--------------|---|
| Integer | Número inteiro de 32 bits |
| Real | Número real de 64 bits |
| Boolean | Variável lógica que assume apenas dois valores: True ou False |
| Char | Variável caractere |
| Text | Linha de texto |
| Complex | Objeto para manipulação de números complexos |
| Time | Objeto para manipulação de base de tempo relacionado com um arquivo COMTRADE |
| ComtradeFile | Objeto relacionado com um arquivo COMTRADE |
| Analog | Objeto para manipulação de um sinal analógico relacionado com um arquivo COMTRADE |
| Current | Objeto para manipulação de um circuito trifásico de corrente relacionado com um arquivo COMTRADE |
| Voltage | Objeto para manipulação de um circuito trifásico de tensão relacionado com um arquivo COMTRADE |
| Circuit | Objeto para manipulação de um circuito trifásico de corrente e tensão relacionado com um arquivo COMTRADE |
| Digital | Objeto para manipulação de um sinal digital relacionado com um arquivo COMTRADE |
| TextFile | Objeto relacionado com um arquivo de texto |
| FileConfig | Arquivo de texto usado para configuração |

Mostra-se a seguir um exemplo de programa utilizando a linguagem CAL que, contendo apenas oito linhas de programação, abre um arquivo no padrão COMTRADE e informa alguns dados relativos ao mesmo (frequência de amostragem, número de sinais analógicos e digitais, data e duração do registro). Destaca-se que, para se fazer a mesma tarefa utilizando-se outra linguagem de programação, o código final teria entre 100 e 200 linhas de programação, além de requerer um conhecimento profundo sobre o formato COMTRADE para o seu desenvolvimento.

PROGRAMA EXEMPLO:

```
var cf:Comtradedfile;
cf.name="C:\cal\Oscilos\exemplo\exp1";
cf.open;
writeln("Frequência do amostragem =",cf.FreqSample,"Hz");
writeln("Número de sinais analógicos=",cf.NumAnalog);
writeln("Número de sinais digitais=",cf.NumDigital);
writeln("Data de inicio=",cf.Time_Init.DateHour);
writeln("Duração do registro=",cf.Duration," s");
```

Módulo de Pré-Análise de Oscilografia

Este módulo, desenvolvido em linguagem CAL, analisa os arquivos COMTRADE coletados, enviando uma mensagem SMS e/ou e-mail de alerta com os resultados sucintos de análise, de acordo com a severidade do problema ocorrido. Isso permite maior agilidade na tomada de decisão quanto ao eventual problema ocorrido no grupo gerador ou associado ao grupo gerador.

Ele faz análise das condições operativas de pré-falta e da falta em si, separando a corrente pura de curto-circuito (corrente de Thèvenin) da corrente total registrada pelo sistema de oscilografia. Através de rotinas desenvolvidas para essa finalidade, identifica o tipo de falta e sua localização (falta no gerador ou terminais do gerador, ou ainda falta no lado de alta tensão do transformador elevador). Para efetuar adequadamente esta tarefa, são utilizados critérios de corrente para os TCs do lado do neutro do gerador, critérios de tensão para os TPs dos terminais do gerador e critérios de corrente para os TCs do lado de alta tensão do grupo gerador-transformador.

Foi inserida uma configuração no sistema que permite adequar a estrutura da pré-análise à topologia de cada relé de proteção, considerando a existência ou não de entradas de corrente ou tensão, bem como a origem desses sinais. O sistema também utiliza dados de entrada relacionados às características básicas do grupo gerador como as correntes nominais nos lados de alta e baixa tensão, a corrente máxima esperada de curto-circuito trifásico nos terminais do gerador, o grupo de conexão do transformador elevador e outros parâmetros de controle como a indicação de polaridade do TC.

Os conceitos matemáticos associados às teorias de cálculo de curto-circuito e componentes simétricas são intensamente aplicados nas rotinas de identificação de faltas. Desta forma, o trabalho tornou-se mais complexo, uma vez que, através dos TCs do lado do gerador, há necessidade de se identificar a possibilidade de vários tipos de curtos-circuitos no lado da AT do grupo gerador, através da conexão delta/estrela-aterrada do transformador elevador.

Sistema Computacional

Todas as rotinas do sistema de análise automática de oscilografias foram desenvolvidas na linguagem CAL, sendo que o código gerado tem aproximadamente 8.000 linhas de programação. Destaca-se que, caso o sistema fosse desenvolvido em uma linguagem de programação como C ou Pascal, estima-se que código gerado teria entre 40.000 a 80.000 linhas de código.

A base do sistema de análise automática de oscilografias é suprida pelo programa **AnaOscCESP.cal** que, basicamente, recebe três parâmetros de entrada e chama rotinas específicas para a geração dos relatórios de resumo e de análise.

Relatórios de Saída do Sistema

O sistema de análise automática de oscilografias, através do programa AnaOscCESP.cal, gera três relatórios de saída para cada registro oscilográfico analisado, os quais são descritos a seguir.

- **Relatório Resumo:** Este relatório contém um resumo numérico dos valores fasoriais de corrente e tensão e dos valores de seqüência para diversos instantes importantes dentro do registro oscilográfico. Contém também um resumo dos sinais digitais e dos tempos de variação dos mesmos. Com base neste relatório, o usuário obtém todos os dados numéricos importantes de um registro, sem necessitar abrir o mesmo em um software específico de análise gráfica.

- **Relatório de Análise:** Este relatório contém um texto descritivo sobre a ocorrência da falta, mostrando os sinais analógicos e digitais, além de fornecer uma análise das condições pré-falta e de falta, indicando o provável local do defeito.
- **Relatório para Mensagens SMS:** Este relatório contém a indicação de prioridade do registro (que pode ser alta, média, baixa ou muito baixa) e alguns dados a serem utilizados para o envio de email e mensagem SMS.

Quando um registro oscilográfico é considerado importante (prioridades alta ou média), o sistema de coleta gera uma mensagem de e-mail para os usuários cadastrados, contendo os dois relatórios acima citados. Para um registro oscilográfico de alta prioridade, o sistema de coleta também gera uma mensagem SMS para os celulares configurados. Um registro é considerado de alta prioridade quando se configura a atuação (“trip”) de proteção e desligamento do disjuntor do grupo.

3. Teste de Desempenho do Sistema

O desempenho do sistema desenvolvido (precisão, robustez e tempo de processamento) foi testado em 17 registros de oscilografias reais obtidos nas unidades geradoras da CESP. Para estas oscilografias, os resultados fornecidos pelo sistema foram comparados com os resultados obtidos através de análises manuais efetuadas por especialistas da empresa, permitindo verificar a configuração final dos parâmetros e a consistência dos resultados.

Para a comparação dos resultados, foi utilizado o software de análise gráfica SIGRA (Siemens), sendo que os mesmos resultados finais foram obtidos em ambas as abordagens, validando a robustez e precisão do sistema desenvolvido.

A Tabela II mostra alguns dos casos utilizados para os testes de desempenho do sistema, para os quais pôde ser observada uma total convergência com a análise realizada manualmente. Nesta tabela são apresentados os conteúdos das mensagens SMS geradas para cada caso sob análise. Nota-se que estas mensagens são bastante completas e contém importantes informações sobre os registros oscilográficos analisados pelo sistema.

TABELA II
TESTES DE DESEMPENHO DO SISTEMA COM OSCILOGRAFIAS REAIS

| Tipo de Defeito | Resumo da Análise | Mensagem SMS |
|--|--|---|
| Três Irmãos – UG04 – 28/11/2006 - CC Fase B terra no lado de AT. | Provável curto-circuito da Fase B para terra no lado AT. O relé GPU2000R não ocasionou trip. Disjuntor do grupo abriu no instante 164 ms. | Em 28/11/2006 01:00:00.010, no gerador TRI-04, o relé GPU2000R não deu trip. O Dj abriu. CC MONO B em AT. |
| Ilha Solteira TPU2000 - 20/9/2006 – Curto Bifásico BC lado AT. | Corrente do lado AT indica provável CC BIF-Terra BC no lado AT. Obs: Sem pré-falta na oscilografia, a análise ficou prejudicada. O relé TPU200R deu trip no instante 9 ms. | Em 20/9/2006 02:12:00.000, no gerador ILS-04, o relé TPU200R deu trip. CC BI BC em AT (visto pela AT). |
| Jupia – 28/11/2006 7UT513 – | Possibilidade de CC BIF-CA ou BIF-CA-Terra nos terminais da máquina. Obs: Tensão não | Em 28/11/2006 14:22:58.739, no gerador JUP-09, o relé 7UT513 deu trip. CC MONO A em AT lado |

| | | |
|--|--|------------------------|
| Curto-circuito monofásico fase A após o transformador da SE. | monitorada no relé. Possibilidade de curto-circuito da Fase A para terra no lado AT (sem tensão monitorada). Corrente do lado AT indica CC Fase A-Terra no lado do trafo. O relé 7UT513 deu trip no instante 169 ms. | trafo (visto pela AT). |
|--|--|------------------------|

4. Conclusões

Os resultados preliminares do sistema automático de análise de oscilografias desenvolvido ao projeto de P&D “Sistema Especialista Executivo de Coleta e Pré Análise de Registros Oscilográficos de Curta e Longa Duração Gerados em Usinas Hidroelétricas” mostraram seu grande potencial de aplicação prática, permitindo rápidas e precisas tomadas de decisão pelos usuários, constituindo-se numa boa base de apoio para o analista do sistema de potência.

A importância deste sistema tem um significado maior quando se observa que a frequência de ocorrências de geração de oscilogramas nos relés de proteção de unidades geradoras é estatisticamente baixa. Assim sendo, a prática e a familiaridade necessárias à interpretação destes oscilogramas tende a se diluir ao longo do tempo. O sistema computacional desenvolvido supre essa lacuna através da base de conhecimentos embutida no mesmo.

O Relatório de Análise apresenta uma descrição em linguagem amigável e indica o possível tipo de defeito ocorrido, assim como o local em que mesmo ocorreu, servindo, desta forma, como um bom ponto de partida para uma análise técnica mais aprofundada. Além disso, a mensagem SMS que é gerada sem intervenção humana traz um resumo bastante significativo e notifica os usuários cadastrados quando da ocorrência de eventos que sejam classificados pelo sistema como de alta prioridade.

O sistema computacional apresenta uma abrangência técnica com características inéditas, o que é significativo como resultado final de um projeto de P&D.

Finalmente, deve-se observar que este tipo de sistema não dispensa o trabalho posterior de análise por um analista humano, servindo apenas como ferramenta de apoio à decisão. Entretanto, a ferramenta colabora para diminuir consideravelmente o esforço e o tempo necessários para tomadas urgentes de decisão após ocorrências de faltas envolvendo um grupo gerador.

Destaca-se que o sistema deve ser realimentado cumulativamente pelo uso em oscilogramas resultantes de faltas envolvendo grupos geradores com o objetivo de aferir e aperfeiçoar os parâmetros e critérios utilizados para a interpretação dos oscilogramas até o momento da finalização do projeto de P&D.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Uliana, P. B. "Contribuições para a Área de Inteligência Artificial Baseadas em uma Abordagem Holística", Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina – 2002.
- [2] Uliana, P. B., Seara, R., Bermudez, J. C. M. "Treinamento Condicionado Através de Esquemas de Transição" IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais, 1999, São José dos Campos, SP.
- [3] Junior, G. C.; Rolim, J. G.; Zürn, H. H. "Diagnóstico de Falhas em Sistemas de Potência: Definição do Problema e Abordagens via Inteligência Artificial". Revista Controle e Automação, Vol. 15, nº2, Abril, Maio e Junho de 2004.
- [4] Couto Filho, M. B. do; Rodrigues, M. A. P.; Souza, J. C. S.; Schilling, M. Th. "Localização de Defeitos em Sistemas de Energia Elétrica Utilizando Sistemas Inteligentes". XV SNTPEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GOP/11. (Outubro de 1999: Paraná, Brasil)
- [5] Yong, H.; Yi-Dan, B., Lei, F. "Engine Real-Time Fault Diagnosis Expert System Using Neural Networks". Zhejiang Province Science Technology Committee, China.
www.paper.edu.cn.
- [6] Rahman, S. "Artificial Intelligence in Electric Power Systems a Survey of the Japanese Industry". IEEE, Transactions on Power Systems, Vol. 8, Nº3, August 1993.
- [7] Vaahead, E.; Kundur, P.; Wang, L.; Pavella, M.; Scarpellini, P.; Cheung, K.; Taylor, C. W. "State-of-the-Art in Intelligent Controls". In: Advanced Angle Stability Controls (CIGRÉ Technical Brochure); December 1999; chapter 4, p. 2-25.