

SISTEMA ESPECIALISTA PARA PRÉ-ANÁLISE DE OSCILOGRAFIAS VOLTADO PARA GERAÇÃO

MIGUEL MORETO*, JACQUELINE G. ROLIM*

* *Universidade Federal de Santa Catarina*
CTC - LABSPOT
Florianópolis SC

Emails: moreto@labspot.ufsc.br, jackie@labspot.ufsc.br

Abstract— The development of new data processing and communication systems applied to electrical energy systems has resulted in great amount of information to be analysed in real time as well after some occurrence in the system. One of this situations is the oscillography analysis in power generation units. When the electrical system is perturbed, several oscillographies are generated and they need to be analysed. This work presents a new methodology based on expert systems to assist this analysis. In this article, the pre-analysis module is presented. This module is responsible for determining the operating condition of the generator and the kind of disturbance detected through the analysis of the oscillography register. The main objective of this module is to filter the registers, discarding the irrelevant ones. The use of expert systems has shown promising results and simplifies the implementation efforts.

Keywords— Oscillography, power generation, power systems, expert systems.

Resumo— Com o desenvolvimento das tecnologias de processamento de dados e comunicação em sistemas de energia elétrica, uma grande quantidade de informações tornou-se disponível para análise, tanto em tempo real quanto após uma determinada ocorrência. Um destes casos é a análise de oscilografias de unidades de geração de energia. Após uma perturbação no sistema, diversas oscilografias são geradas e necessitam ser analisadas. Este trabalho apresenta uma nova metodologia baseada em sistemas especialistas para auxiliar na análise de oscilografias de sistemas de geração. Neste artigo será apresentado o módulo de pré-análise, onde busca-se determinar o estado operativo do gerador e o tipo de distúrbio detectado na oscilografia. O principal objetivo deste módulo é filtrar os registros oscilográficos, descartando os casos irrelevantes. O uso de sistemas especialistas para esta tarefa se mostra promissor, apresentando bons resultados e simplificando a implementação.

Palavras-chave— Oscilografias, geração de energia, sistemas de potência, sistemas especialistas.

1 Introdução

Os geradores são componentes essenciais em um sistema elétrico de potência (SEP). Dessa forma, o monitoramento destes equipamentos deve ser constante para assegurar sua correta operação, o fornecimento de energia e minimizar os custos decorrentes de uma eventual parada.

Atualmente, além dos diversos dispositivos de proteção, os geradores são monitorados por registradores digitais de perturbação (RDPs), conhecidos também como oscilógrafos digitais. Estes equipamentos monitoram constantemente grandezas predefinidas do gerador e transformador elevador, como por exemplo as tensões, correntes e frequência, bem como os estados de dispositivos de proteção, chaves seccionadoras e disjuntores. O registro (gravação) dos sinais é feito caso algum deles ultrapasse um limiar pré estabelecido, ou caso ocorra a atuação de funções de proteção ou chaveamentos.

A maioria dos RDPs atuais possuem conexão para sincronismo temporal com sistema de posicionamento global (GPS). Com isso os sinais amostrados são sincronizados em uma base de tempo absoluta, possibilitando a correlação de registros de diferentes RDPs. Interfaces de comunicação também estão presentes, cujos tipos mais comuns são *ethernet*, telefone (modem) e serial.

Os RDPs utilizados atualmente em sistemas de geração permitem então que todos os registros oscilográficos sejam concentrados em um centro de operação. Estes sistemas são chamados de redes de oscilografia e são regulamentados pelos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (ONS, 2002b).

O ONS também regulamenta a forma como os dados são registrados nos RDPs. São definidos dois tipos de registros: O *Registro de curta duração* (RC) é voltado para a aquisição das formas de onda de tensões e correntes para fins de análises de distúrbios rápidos, como curtos-circuitos. Este registro permite a execução do cálculo de conteúdo harmônico das grandezas registradas bem como a sua decomposição em componentes simétricas. Portanto, a taxa de amostragem do RC normalmente é alta, variando geralmente de 48 a 192 amostras por ciclo de frequência fundamental (2880 a 11520kHz). Normalmente o RC tem duração de alguns segundos. O *Registro de longa duração* ou fasorial (RF) é voltado para o registro dos valores eficazes das tensões e correntes de sequência positiva e dos ângulos relativos para fins de análises de distúrbios lentos (ONS, 2002a). O uso de uma taxa de amostragem elevada neste caso se mostra impraticável devido à duração do RF, que é da ordem de minutos, necessitando de grande quantidade de memória para armazenar cada re-

gistro. Por isso, a taxa de amostragem de um RF é normalmente um fador (amostra) por ciclo (60Hz). Uma taxa de amostragem elevada é utilizada somente para o cálculo do fador.

Após uma perturbação no sistema (faltas, descargas atmosféricas, falhas em equipamentos, etc.) podem ser gerados diversos registros oscilográficos provenientes de diferentes RDPs. Com o intuito de determinar uma possível causa da perturbação e verificar a integridade dos equipamentos após a falta, o analista responsável deve fazer a conferência dos dados provenientes de todos RDPs envolvidos, verificando além das oscilografias, a atuação dos dispositivos de proteção. Este estudo permite também avaliar o desempenho dos dispositivos de proteção, verificando através do registro oscilográfico se a proteção atuou corretamente e no instante adequado. Armazenando os resultados das análises automáticas pode-se obter uma estatística dos registros, norteando, se necessário, o reajuste das proteções e/ou níveis de *trigger* dos RDPs.

Em todo o processo de análise, o tempo de coleta dos dados e filtragem dos registros relevantes pode durar algumas horas. Somado a isto está o fato de que diversas ocorrências podem ser registradas por dia em uma empresa de geração. Como o tempo despendido nas análises é crucial para a diminuição dos custos decorrentes da parada de um gerador, fica evidente a necessidade de uma metodologia capaz de gerar um pré-diagnóstico da perturbação, apontando para uma possível causa do problema e possibilitando priorizar a atenção do engenheiro especialista aos casos mais importantes de forma automática, agilizando o processo de análise de ocorrências e reduzindo o tempo em que o gerador permanece fora de serviço.

Diversos trabalhos relacionados já foram publicados, sendo que a maioria se aplica para diagnóstico de faltas ou análise da qualidade de energia em sistemas de transmissão e faz uso de técnicas de inteligência computacional (IC). As mais utilizadas em sistemas de potência são as redes neurais artificiais (RNA), os sistemas especialistas (SEs), a lógica difusa e os algoritmos genéticos. Diversas são suas aplicações, especialmente no diagnóstico de faltas em equipamentos (Kezunovic, 2004).

No caso de sistemas especialistas, suas aplicações em sistemas de potência apresentam diversas vantagens, como: Facilidade de manutenção, incorporando novas funcionalidades para contemplar mais casos conforme for necessário, rapidez de processamento e apresentação da linha de raciocínio utilizada para se chegar ao resultado. No entanto, os SEs também possuem algumas limitações: abrangência limitada (os melhores resultados são obtidos na solução de problemas específicos) e dificuldade de incorporação de todas as possibilidades de solução nas bases de conhecimento. Em suma, os SEs não substituem o especialista humano, mas possibilitam maior agilidade e pre-

cisão na execução do seu trabalho.

Dentre as aplicações em análise de oscilografias pode-se destacar o trabalho de Davidson e et al. (2006). Nesta aplicação foi desenvolvido um sistema multi-agente para uma empresa de energia elétrica do Reino Unido. Os agentes inteligentes utilizam basicamente sistemas especialistas e raciocínio baseado em modelos.

O trabalho proposto por Luo e Kezunovic (2005) também utiliza um sistema especialista para detectar e classificar faltas utilizando oscilografias e seqüências de eventos de relés digitais de proteção. Styvaktakis et al. (2002b) utiliza método baseado em filtro de Kalman para segmentar o registro oscilográfico em partes pré, pós e durante a falta. O resultado da segmentação é utilizado como entrada para um sistema especialista.

Na sua utilização em análise de perturbações, as técnicas de IC normalmente vêm acompanhadas por algoritmos de extração de características das grandezas envolvidas. Podem ser encontrados trabalhos que utilizam transformada de Fourier (Chantler et al., 2000), filtros de Kalman (Barros e Pérez, 2006) e transformadas Wavelet (Gaing, 2004).

O sistema a ser apresentado neste artigo constitui uma parte do sistema de análise automática de oscilografias que está sendo desenvolvido. Nesta etapa estão sendo utilizados somente dados do registro fasorial. O intuito é determinar o estado operativo do(s) gerador(es) durante o período de tempo correspondente a duração do registro. Através desta análise fasorial é possível decidir se a oscilografia é importante e deve ser analisada com mais cuidado ou se já pode ser descartada por não ser necessária uma análise posterior. Exemplos destes casos serão vistos na seção de estudos de caso neste artigo.

Após esta introdução e breve revisão bibliográfica, a descrição do sistema proposto é apresentada na seção 2, enquanto que na seção 3 são expostos os detalhes de implementação. A seguir, na seção 4, são apresentados alguns estudos de caso, finalizando com as conclusões na seção 5.

2 O sistema proposto

O sistema proposto pode ser dividido em três partes principais, sendo dois módulos de extração de características e um módulo de tomada de decisão, conforme a Figura 1.

A função de cada módulo é a seguinte:

- Módulo de Análise do Registro Fasorial (MARF): É o módulo de extração de características dos sinais do registro fasorial;
- Módulo de Análise do Registro de Curta (MARC): Responsável pela extração de ca-

racterísticas dos sinais de forma de onda do registro de curta duração;

- Módulo de Tomada de Decisões (MTD): Utiliza os dados de saída dos módulos anteriores para a tomada de decisão acerca da causa da ocorrência e se esta é relevante para uma análise por parte do engenheiro responsável ou não.

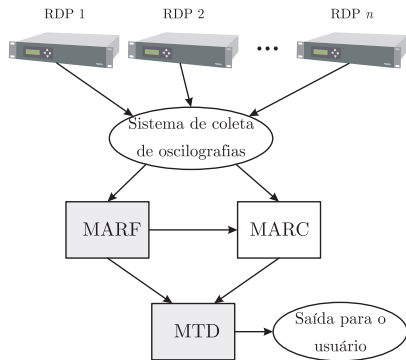


Figura 1: Diagrama de blocos do esquema proposto.

2.1 Módulo de Análise do Registro Fasorial

Para dar subsídios ao Módulo de Tomada de Decisões (MTD), buscou-se extrair características dos sinais do registro fasorial relevantes ao objetivo visado. Esta tarefa consiste basicamente na detecção de variações significativas nas grandezas monitoradas. A taxa de variação nas grandezas vai depender do tipo de transitório a ser detectado: lento (alguns segundos de duração) ou rápido (alguns ciclos de duração). Estes transitórios detectados serão chamados de eventos.

Para esta detecção, foi utilizado um índice de detecção de eventos, originalmente proposto por Styvaktakis et al. (2002a) e modificado para detectar tanto transitórios rápidos quanto lentos. O índice de detecção utilizado no Módulo de Análise do Registro Fasorial (MARF) é apresentado na equação (1). Se este ultrapassar um certo limiar, então um evento foi detectado.

$$id = |x(k + \Delta) - x(k)| \quad (1)$$

Onde id é o índice de detecção, $x(k)$ é o valor da amostra no instante k e Δ é o intervalo de tempo entre as amostras. O parâmetro Δ foi proposto para que o intervalo em que as amostras são comparadas possa ser modificado possibilitando o ajuste do índice para transitórios lentos ou rápidos.

O MARF calcula o id para os sinais amostrados e armazena os resultados em um arquivo de saída. Além do número de eventos detectados, são gravados no arquivo também os valores médios das grandezas monitoradas antes e depois de cada

evento. Se nenhum é detectado, são armazenados os valores médios da primeira e segunda metade do registro.

2.2 Módulo de Tomada de Decisões

O MTD é constituído de um sistema especialista (SE). A saída do MARF são os fatos de entrada do SE, armazenados em uma estrutura de objetos onde as instâncias são constituídas de unidades de geração. Desta forma é possível a implementação de regras aplicáveis a toda classe de objetos, ou seja, as mesmas regras podem ser aplicadas a todas as unidades de geração sob análise.

As conclusões obtidas pelo SE são expostas ao usuário através de mensagens na tela do computador.

3 Implementação

Nesta seção são apresentados alguns detalhes de implementação dos módulos desenvolvidos para pré-análise de registros oscilográficos de longa duração, ou fasoriais. Esta tarefa é desempenhada pelo MARF e parte do MTD, destacados na 1. Assim, é feita a identificação do estado operativo do gerador durante o registro. Em grande parte dos casos, apenas com a informação de que o gerador estava desligado ou em processo de energização/desenergização já é possível eliminar o registro do RDP da lista de ocorrências a serem analisadas pelo engenheiro especialista.

Para a implementação do MARF, foi utilizado o software Matlab. Um fluxograma do módulo é apresentado na Figura 2. Este mesmo fluxograma é executado para cada uma das grandezas sob análise. Os arquivos dos registros fasoriais são convertidos do formato proprietário do fabricante dos RDPs para um arquivo texto de dados separados por vírgula que pode ser interpretado pelo Matlab. Na seqüência, o id é calculado através de uma varredura no sinal da grandeza que está sendo analisada. Se o id exceder um certo limiar, então um evento foi detectado e as médias dos valores da grandeza antes e depois deste evento são armazenados. Caso nenhum evento seja detectado, o sinal é dividido em duas partes iguais das quais são armazenadas as médias correspondentes. A saída de dados do MARF se dá também através de um arquivo texto.

Na implementação do MTD foi utilizado o *shell* KAPPA-PC para sistemas especialistas. O *shell* faz a leitura do arquivo de saída do MARF a com estes dados, preenche sua base de fatos. A seguir, executa o mecanismo de inferência com encadeamento para frente.

Os registros oscilográficos utilizados nos testes foram obtidos junto a uma empresa do setor elétrico, sendo constituídos, portanto, de casos reais.

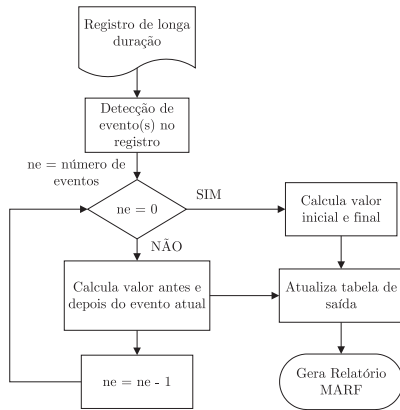


Figura 2: Diagrama de blocos do MARF.

3.1 Regras

De modo a esclarecer o funcionamento da metodologia, são apresentadas abaixo, de forma descritiva, algumas regras utilizadas no MTD para classificar eventos. Estas regras foram formuladas com o auxílio de um engenheiro especialista em análise de oscilografias de sistemas de geração.

Energização: Se um evento foi detectado, a tensão terminal antes do evento é nula e a tensão terminal depois do evento é nominal ($1pu$), então a unidade se encontra em processo de energização.

Desenergização: Se um evento foi detectado, a tensão terminal antes do evento é nominal, a tensão terminal depois do evento é nula e a corrente de carga antes do evento é baixa ou nula, então a unidade se encontra em processo de desenergização.

Corte de carga: Se um evento foi detectado, a tensão terminal se manteve nominal e houve um decréscimo significativo na corrente, então houve um corte de carga (perda de uma linha de transmissão, por exemplo).

Desligamento forçado: Se um evento foi detectado, a tensão terminal passou de nominal para nula, a corrente era significativa e passou para nula, então houve um desligamento forçado.

Transitório rápido: Se um evento foi detectado e não houve mudanças na tensão terminal e na corrente de carga, então houve um transitório rápido (uma falta em um ponto distante, por exemplo). Neste caso, faz-se necessário analisar o registro de curta duração, se estiver disponível.

Operação normal: Se nenhum evento foi detectado, a tensão terminal se manteve nominal e a corrente de carga se manteve constante, então o gerador está operando normalmente.

Fora de serviço: Se nenhum evento foi detectado, a tensão terminal e a corrente de carga são nulas, então o gerador encontra-se fora de serviço.

A forma como estas e outras regras foram implementadas no software Kappa-PC pode ser vista na Figura 3. A regra apresentada é aplicada a todas as instâncias da classe USINAS, sendo que

cada instância corresponde a uma unidade de geração. Esta regra verifica se houve desligamento forçado através dos valores de corrente antes e depois do evento detectado. O estado PD indica uma provável desenergização que foi previamente detectada por outra regra, através das tensões de terminal. Ao todo, foram implementadas 12 regras no sistema.

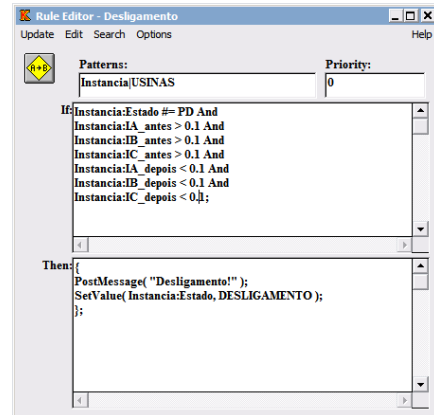


Figura 3: Exemplo de regra no Kappa-PC.

Diversos outros casos podem ser contemplados com a atual estrutura de dados do SE. Ao acrescentar mais elementos à base de fatos, como os valores de potência ativa e reativa, componentes simétricas, o estado dos dispositivos de proteção e as variáveis de outras unidades, pode-se chegar a uma grande quantidade de regras e conclusões.

Os eventos identificados na sua maioria não são decorrentes de faltas no sistema, mas de casos diversos como energização/desenergização, testes de proteção, acréscimo de cargas ou variações bruscas de potência ativa/reactiva gerada. Isto acontece porque os RDPs apenas monitoram o sistema, sua operação não é bloqueada pelo sistema de proteção ou supervisorio da usina. Com isso, mesmo com o gerador fora de serviço o RDP continua operando e gerando novos registros. Nos casos de testes de proteção, por exemplo, dezenas de registros podem ser gerados em apenas algumas horas. Em uma grande empresa de geração, onde normalmente são monitoradas diversas usinas, a quantidade de novos registros oscilográficos pode chegar a dezenas por dia. Cada registro deve ser verificado e na maioria dos casos é descartada uma análise mais detalhada pois trata-se de um caso diverso, como mencionado anteriormente.

3.2 Limiares

A partir de diversos testes, percebeu-se que a adoção de $id = 0,1pu$ como limiar de detecção de eventos (valor correspondente a uma variação de 10% nas grandezas medidas) resultou em um bom desempenho da metodologia. Quando em operação normal, um gerador não apresenta variações

bruscas nesta ordem de grandeza. Já em casos de falta, acréscimo de carga não programado ou corte de carga as variações nas grandezas podem facilmente superar este limiar.

Os limites mínimos de corrente de carga são calculados a partir das especificações dos geradores, que na maioria dos casos possuem uma capacidade mínima de geração. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) fornece estes dados nos arquivos de simulação do programa de análise de transitórios eletromecânicos (ANATEM).

O valor de Δ adotado no cálculo do *id* foi de 10 amostras, ou seja, 10 ciclos. Este valor foi suficiente para detectar a maioria dos casos, como energização e faltas. Em alguns casos, onde o transitório é mais rápido do que Δ , este valor pode não ser suficiente. Distúrbios eletromagnéticos como faltas e descargas atmosféricas podem levar a esta condição. De acordo com o tipo de perturbação que se deseja analisar, o valor de Δ deve ser escolhido adequadamente.

4 Estudos de caso

A seguir são apresentados dois casos exemplo. Em cada caso são apresentados os registros fasoriais de uma das fases da tensão terminal, corrente do gerador e corrente do lado de alta tensão do transformador elevador da unidade. Nenhum dos casos estudados aqui apresenta mais do que um evento distinto. Em ambos os casos apresentados, o MTD foi capaz de concluir corretamente acerca da condição operativa do gerador.

4.1 Caso 1: Desenergização

O primeiro caso mostra um gerador em processo de desligamento. O disparo do oscilógrafo se deu por um *trigger* interno de subtensão. O registro fasorial da fase A é apresentado na Figura 4, onde o traço vertical indica o instante do evento detectado. Nota-se que nas correntes não foram detectados eventos e seus valores são bastante baixos, indicando que o gerador está sem carga.

Na Tabela 1 é apresentado o conteúdo do arquivo de saída do MARF, contendo o nome da unidade na primeira linha. Nas linhas seguintes, o nome do canal seguido do número de eventos detectados. Na linha abaixo de cada canal, o número do evento e o valor das grandezas antes e depois de cada um. O número 0 indica que nenhum evento foi detectado. Por questões de visualização, o arquivo foi mostrado em duas colunas.

O sistema especialista verificou que um evento foi detectado nas três fases de tensão e também que as correntes se mantiveram nulas durante o registro. Com isso, a regra de desenergização foi disparada.

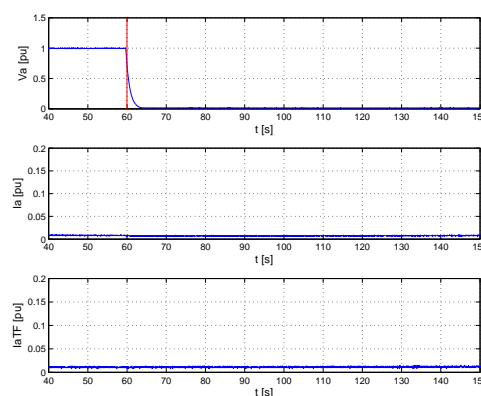


Figura 4: Oscilografias do caso 1.

Tabela 1: Arquivo de saída do MARF. Caso 1.

NOME	UNIDADE	IB	0
VtA	1	0	0.006 0.006
1	0.995 0.018	IC	0
VtB	1	0	0.005 0.005
1	0.987 0.018	ItrA	0
VtC	1	0	0.010 0.011
1	0.987 0.018	ItrB	0
IA	0	0	0.005 0.006
0	0.007 0.007	ItrC	0
		0	0.006 0.006

4.2 Caso 2: Desligamento forçado

Neste segundo caso, há atuação da proteção, devido a uma falha no regulador de tensão do gerador. Na Figura 5 pode-se perceber claramente o momento de atuação dos disjuntores, interrompendo a corrente de carga e abrindo o circuito de excitação, de tal forma que tensão e corrente são nulas após a atuação. Com isso, eventos foram detectados em todos os canais.

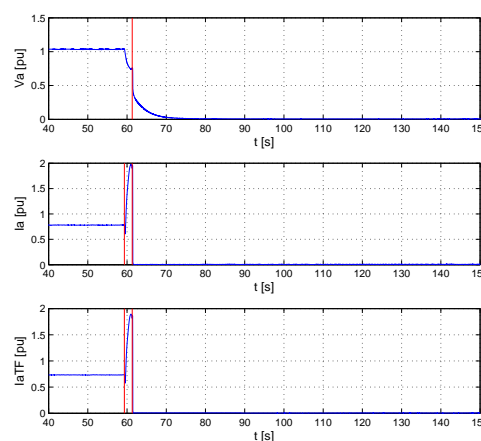


Figura 5: Oscilografias do caso 2.

Devido ao tipo de transitório, que possui um grande acréscimo de corrente seguido por um desligamento abrupto, o índice de detecção do MARF ultrapassou o limiar em mais de um momento.

Como todas as violações deste limiar ocorreram em seqüência, conclui-se que o evento detectado é apenas um, correspondente ao desligamento do gerador. Na Figura 5, as barras verticais indicam o instante inicial e final do evento detectado pelo MARF.

O arquivo de saída do MARF é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Arquivo de saída do MARF. Caso 2.

NOME	UNIDADE	IB	0
VtA	1	0	0.770 0.008
1	1.028 0.014	IC	0
VtB	1	0	0.776 0.008
1	1.033 0.014	ItrA	0
VtC	1	0	0.733 0.006
1	1.025 0.014	ItrB	0
IA	1	0	0.750 0.005
1	0.781 0.007	ItrC	0
		0	0.746 0.004

O SE verifica que eventos foram detectados em todos os canais. Neste caso, houve o disparo de duas regras, inicialmente apontando uma provável desenergização e em seguida é obtida a conclusão sobre desligamento forçado, já que após o evento as correntes de carga foram zeradas.

5 Conclusões

Neste trabalho foi proposta uma nova metodologia de análise automática de oscilografias. Apesar de ser um assunto bastante comum no âmbito dos sistemas de transmissão de energia, o estudo destas metodologias para aplicação específica em centros de operação de geração ainda não foi realizado.

Os resultados apresentados mostram que mesmo fazendo uso apenas do registro fasorial, um sistema especialista, se bem estruturado, pode ser utilizado com sucesso na solução do problema, ajudando o engenheiro responsável principalmente na filtragem dos registros oscilográficos que não necessitam de análise, como o caso 1 apresentado anteriormente.

Novas informações acrescentadas ao sistema, como os valores de ângulo do registro fasorial, as seqüências de eventos de atuação das proteções e os limites operativos dos geradores e equipamentos, permitirão que o sistema como foi proposto possa chegar também a conclusão da origem da perturbação registrada. Por exemplo, identificar se ocorreu ou não uma falta e se esta tem origem interna ou externa a um dos geradores monitorados. Através da análise fasorial, incluindo cálculo de componentes simétricas, estas conclusões podem ser obtidas automaticamente.

A estrutura de objetos utilizada na implementação do sistema especialista permite facilmente o acréscimo de novas informações e novas regras. A disponibilidade de dados reais permitiu que os testes fossem realizados sem o auxílio de simulações, tornando a implementação mais realista.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao engenheiro Fernando Varela pelos conhecimentos em análise de oscilografias de geradores.

Referências

- Barros, J. e Pérez, E. (2006). Automatic detection and analysis of voltage events in power systems, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* **55**(5): 1487–1493.
- Chantler, M., Pogliano, P., Aldea, A., Tornielli, G., Wyatt, T. e Jolley, A. (2000). The use of fault-recorder data for diagnosing timing and other related faults in electricity transmission networks, *IEEE Transactions on Power Systems* **15**(4): 1388–1393.
- Davidson, E. M. e et al. (2006). Applying multi-agent system technology in practice: Automated management and analysis of scada and digital fault recorder data, *IEEE Transactions on Power Systems* **21**(2): 559–567.
- Gaing, Z.-L. (2004). Wavelet-based neural network for power disturbance recognition and classification, *IEEE Transactions on Power Delivery* **19**(4): 1560–1568.
- Kezunovic, M. (2004). Intelligent applications in substations: Disturbance analysis, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Vol. 1, IEEE PES, Denver, USA, pp. 719–723.
- Luo, X. e Kezunovic, M. (2005). Fault analysis based on integration of digital relay and DFR data, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Vol. 1, IEEE PES, San Francisco, CA, USA, pp. 746–751.
- ONS (2002a). *Oscilografia de Curta e Longa Duração*, Brasília, Brasil. Procedimentos de Rede, Submodulo 11.6.
- ONS (2002b). *Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações*, Brasília, Brasil. Procedimentos de Rede, Submodulo 2.5.
- Styvaktakis, E., Bollen, M. H. J. e Gu, I. Y. H. (2002a). Automatic classification of power system events using rms voltage measurements, *Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 2, IEEE, pp. 824–829.
- Styvaktakis, E., Bollen, M. H. J. e Gu, I. Y. H. (2002b). Expert system for classification and analysis of power system events, *IEEE Transactions on Power Delivery* **17**(2): 423–428.