

Experiência no Projeto de Sistemas de Monitoramento em Tempo Real de Disjuntores

L.A.Solis, A.Corvo, ETEO e M. S. Silva, J. A. Jardini, L. C. Magrini, P.D. Kayano, D. Cabrera EPUSP

RESUMO

Este trabalho descreve a experiência obtida no projeto de sistemas de monitoramento para disjuntores e seccionadoras executado para a ETEO. O projeto tem como principal característica o uso de equipamentos de mercado e protocolos padronizados de comunicações, dentro de uma arquitetura aberta e flexível, que permitirá sua aplicação em diferentes tipos de disjuntores.

PALAVRAS CHAVE

Monitoramento de disjuntores, Manutenção e diagnóstico de equipamentos. Sistemas de aquisição de dados.

I. NOMENCLATURA

CB	Circuit Breaker.
CLP	Programmable Logic Controllers.
IED	Intelligent Electronic Devices.
RCM	Reliability Centered Maintenance.

II. INTRODUÇÃO

a concepção e implementação de um sistema de monitoramento mediante a integração de diversos equipamentos para aquisição e posterior processamento dos dados de disjuntores, com uso de protocolos padronizados de comunicação para a transmissão dos dados desde os dispositivos de aquisição até os computadores do sistema de monitoramento é apresentada.

A informação de estado do disjuntor coletada por CLPs pode ser comparada com sua série histórica, possibilitando assim uma melhor caracterização da condição real dos componentes do disjuntor, assim como de seus parâmetros operacionais que permitirão antecipar e prevenir danos - falhas futuras, cujas conseqüências poderiam causar, além das paralisações, elevados custos para reparos. Essa característica preditiva reflete também uma pro-

gramação ótima das equipes de manutenção, correto gerenciamento do estoque, melhor rendimento operacional da subestação, além do prolongamento da vida útil do disjuntor.

Hoje existe uma grande oferta de sistemas para o monitoramento de disjuntores, e este número está crescendo rapidamente, conforme aparecem novos sensores e dispositivos de medição e supervisão tanto de *hardware* como de *software*. Essa diversidade dificulta grandemente a integração, já que muitos são específicos para um determinado fabricante ou para um determinado modelo de disjuntor. Diante desta realidade, torna-se conveniente a implementação de um sistema aberto de monitoramento, baseado no uso de práticas de software e hardware largamente difundidas na automação industrial.

Isso é possível graças ao significativo avanço da tecnologia de sensores e o surgimento de sistemas de aquisição mais econômicos e com maior capacidade de processamento. Um nível aceitável de diagnóstico da condição do disjuntor pode ser alcançado com o uso de sensores e dispositivos de coleta de dados que são instalados de forma menos intrusiva e com um mínimo de tempo de desligamento do disjuntor.

III. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste projeto de sistema de monitoramento de disjuntores são:

1. Constituir-se uma prática de manutenção e padrão para o monitoramento de equipamentos dentro da ETEO;
2. Fomentar a utilização de protocolos de comunicação de dados padronizados, dentro de sistemas de monitoramento;
3. Permitir a integração e desenvolvimento de sensores compatíveis para todo tipo de disjuntores instalados em subestações;
4. Apresentar ferramentas de software (programas) para análise das diferentes grandezas (correntes, pressões, etc.), através da interpretação e avaliação dos dados coletados;

IV. MONITORAMENTO DO DISJUNTOR

O maior desafio dos sistemas de manutenção preditiva (monitoração) de disjuntores é sua aplicação em equipamentos já existentes nas subestações, que utilizam, e que podem fazer uso de diferentes tecnologias de interrupção.

Eng. L.A. Solis trabalha na ETEO (Empresa de Transmissão de Energia do Oeste Ltda. lsolis@eteo.com.br

Eng. A.Corvo trabalha na ETEO (Empresa de Transmissão de Energia do Oeste Ltda. acorvo@eteo.com.br

Msc. M. S. Silva é pesquisador do Grupo de Automação da Geração, Transmissão e Distribuição da Universidade de São Paulo (GAGTD - EPUSP), SP -BRASIL. milthon.silva@poli.usp.br

PhD. J. A. Jardini é professor titular do departamento de Engenharia Elétrica da USP, SP-BRASIL. jardini@pea.usp.br

PhD. L. C. Magrini é consultor e assessor do Grupo de Automação da Geração, Transmissão e Distribuição da Universidade de São Paulo (GAGTD - EPUSP), SP-BRASIL. magrini@pea.usp.br

A monitoração depende essencialmente da tecnologia utilizada em cada disjuntor de acordo com o meio de extinção do arco (óleo mineral, ar comprimido, SF₆, entre outros); bem como o sistema de acionamento (mola, hidráulico, pneumático, entre outros). Embora os fabricantes de disjuntores já tenham desenvolvido sistemas de monitoramento para os modelos atualmente comercializados, o maior desafio é instalar sistemas de monitoramento em disjuntores já com algum tempo de operação e que possam ser aplicados a disjuntores de várias tecnologias, de uma maneira menos intrusiva, proporcionando a aquisição e o processamento de dados.

Para a implementação deste sistema de monitoramento foi escolhido, um disjuntor (D1) instalado na SE Sumaré de 440 kV, cujo princípio de funcionamento é detalhado:

D1) Disjuntor marca Siemens modelo 3AT4 EI com acionamento monopolar (painel de comando independente para cada fase). Cada polo possui duas colunas polares montadas sobre uma base comum, a cabeça com duplo acionamento e a coluna polar são preenchidas com gás SF₆ usado como meio isolante e extintor. A densidade do gás é controlada através de um densímetro, sendo sua pressão indicada através de um manômetro. A cabeça transforma o movimento vertical da haste de manobra em um movimento horizontal das partes móveis nas unidades interruptoras. A haste de manobra é acionada pelo mecanismo de tipo eletro-hidráulico o qual a movimenta na direção vertical. A energia para acionamento do disjuntor é produzida pelo gás nitrogênio, comprimido no interior do acumulador hidráulico. Tubos saindo deste conduzem o óleo pressurizado ao respectivo acionamento em cada coluna polar, à unidade de válvulas e ao armário de controle, no qual é efetuada a supervisão e controle do meio óleo / N₂.

Sendo as principais características de um disjuntor que devem ser medidos e monitorados em geral são:

A. Correntes dos circuitos de fechamento e disparo

Os circuitos de trip e fechamento podem ser monitorados para detectar o funcionamento das bobinas de abertura e fechamento (continuidade), para isso se precisa conectar resistores (Shunt) em série aos circuitos os quais diminuem a confiabilidade do sistema e geralmente não é uma prática bem aceita pelas concessionárias. Destaca-se que o circuito de abertura é fundamental para a operação do disjuntor, sendo seu tempo de resposta é muito rápido em relação ao circuito de fechamento, cuja resposta é mais lenta e pode ser considerada como elemento secundário para o monitoramento. Neste caso, o disjuntor (D1) possui dois circuitos independentes de abertura Trip1 e Trip2 sendo necessário monitorar ambos.

B. Correntes das fases da linha

O monitoramento das correntes das fases com amostragem de milissegundos permite detectar qualquer

perturbação ou variação dos valores das correntes em cada fase, cuja informação pode ser armazenada tanto antes quanto depois da operação do disjuntor. A oscilografia das correntes permitirá saber o instante aproximado do acontecimento da falta e o tempo total de operação do disjuntor, além da possibilitar calcular o desgaste dos contatos do disjuntor mediante a relação I²T.

C. Tensões de alimentação (CA e CC)

Serão também monitoradas as tensões auxiliares CA e CC no disjuntor, permitindo utilizar seus valores para determinar possíveis alterações decorrentes de algum tipo de falha, assim como supervisionar a adequada tensão de alimentação do mecanismo de acionamento e dos circuitos de controle do painel de comando. Nesta subestação as tensões a serem supervisionadas serão 125 Vcc como tensão de alimentação do painel de comando, e 440 Vca como suprimento do motor de acionamento. Cabe indicar que em geral o motor é universal e que pode trabalhar a diferentes níveis de tensão em Vcc e Vca, cuja seleção depende da padronização da concessionária.

D. Tensões nas fases

Podem ser monitoradas as tensões das fases através da oscilografia da informação proporcionada pelos TPs de cada fase da linha, para registrar qualquer perturbação ou sobretensão que possa originar uma operação anormal do disjuntor. Embora este parâmetro não seja imprescindível dentro dos sistemas de monitoramento o uso de medidores digitais permite sua avaliação.

E. Sistema de acionamento

Em disjuntores com mecanismos de atuação pneumáticos ou hidráulicos é importante monitorar a pressão da mola que funciona como acumulador de energia de acionamento, cujo monitoramento permitirá verificar o ciclo de abertura do disjuntor. Além disso, a excessiva compressão ou carga da mola, algumas vezes pode indicar um problema no mecanismo de compressão. Não é recomendável a instalação de forma direta de um sensor de pressão na mola, porque poderia reduzir a confiabilidade no momento de sua operação. Alternativamente pode-se monitorar todos os demais componentes auxiliares do sistema de compressão, permitindo assim estimar de forma indireta a pressão da mola.

F. Deslocamento dos contatos principais no disjuntor

Com o uso de sensores de percurso, quer seja por uma medição direta (instalado na haste da coluna polar do disjuntor) ou indireta (instalado nas alavancas do mecanismo de acionamento), é possível cronometrar o tempo de movimentação dos contatos a cada operação do disjuntor, permitindo obter dados sem a necessidade de desligar o

equipamento. Entretanto a colocação do sensor na haste significaria acrescentar um elemento de risco na operação interna do disjuntor, além do conhecimento que este sensor sofre descalibração a cada operação do disjuntor. Portanto a maneira mais recomendável da medição do deslocamento dos contatos principais é através da cronometragem dos tempos de operação. Por outro lado, a confrontação do tempo gasto nas seqüências do mecanismo de operação, pode identificar um possível problema no mecanismo de atuação.

G. Desgaste dos contatos do interruptor

Baseados na monitoração do número de operações, do tempo de operação e da corrente de interrupção, pode-se aplicar a expressão matemática IT ou I^2T de acordo com o tipo de disjuntor, para se estimar a condição de desgaste dos contatos do disjuntor. Isto permite programar adequadamente sua manutenção.

H. Pressão interna do gás

Nos disjuntores com sistemas de extinção do arco a gás (SF₆), seu monitoramento permite detectar variações na pressão do gás que afetam o isolante diminuindo a capacidade de interrupção do disjuntor. Possibilita também estimar a taxa de diminuição do gás, permitindo, portanto que a equipe de manutenção possa atuar adequadamente antes que seja atingido um nível crítico de pressão. Além da diminuição do isolamento pela queda da pressão do gás, também há preocupação pelo vazamento do gás SF₆ em virtude da eventual contaminação do meio ambiente.

I. Pressão do óleo isolante

Para disjuntores que utilizam sistemas de acionamento baseados na combinação óleo/N₂ (D1) é possível instalar um sensor de pressão que registre a variação do sistema moto-bomba durante a operação, permitindo encontrar algum defeito no momento da atuação. Todas essas informações podem ser usadas para formular um plano de manutenção baseadas na pressão do óleo e não em tempos programados como é feito tradicionalmente.

J. Temperatura

A medição da temperatura ambiente permite corrigir o valor da pressão interna do gás, através do uso das curvas de parametrização de cada disjuntor. Além disso, a supervisão da temperatura do gabinete permite alertar sobre o aumento provável da corrente do motor pelo aumento de temperatura do mecanismo de acionamento fora do limite normal de operação.

K. Sinais Digitais

Diferentes sinais são coletados com a finalidade de serem usadas como alarmes ou eventos dentro do sistema de monitoramento. Esses sinais são informações de estado

das grandezas (valores máximos e mínimos), estágios (alarme ou bloqueio) de algumas grandezas como pressões de óleo e gás. Estes sinais são obtidos do circuito de comando do disjuntor.

V. PARÂMETROS DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para a aquisição das grandezas e estados do disjuntor devem ser considerados dois tipos de sinais:

A. Entradas Digitais

São sinais a serem coletados no momento da operação do disjuntor, que dependendo da utilização do sinal, estes podem ser aquisitados com resolução rápida (FR) ou lenta (LR). A FR é usada quando se vai fazer o sequenciamento de eventos, que permite determinar o tempo de operação e uma comparação com valores obtidos de outros sinais do sistema de monitoramento do disjuntor. Os sinais LR são geralmente usados como alarmes, informação do estado dos estágios das pressões e níveis de tensões de alimentação CC e CA, cuja resolução está na ordem de segundos. Na Tabela 1 indica-se a relação de entradas digitais sugeridas para os disjuntores focalizados neste trabalho.

TABELA 1
Entradas Digitais Monitoradas

Sinal	Descrição	Resolução
A	Estado do contato NF do disjuntor (close)	FR
B	Estado do contato NA do disjuntor (open)	FR
CB	Bloqueio geral do disjuntor	LR
Oil-1	Estado do relé de baixa pressão 1º estágio (alarme)	LR
Oil-2	Estado do relé de baixa pressão 2º estágio (bloqueio)	LR
SF6-1	Estado do relé de baixa pressão 1º estágio (alarme)	LR
SF6-2	Estado do relé de baixa pressão 2º estágio (bloqueio)	LR
Vol-1	Estado do relé de falta de tensão do circuito Vcc	LR
Vol-2	Estado do relé de falta de tensão do circuito Vca	LR
M-2	Estado do motor de acionamento eletro-hidráulico	HR
M-FC	Fim de curso do motor	HR
D-P	Discordância de pólos	HR
R	Auto-religamento	LR

B. Entradas Analógicas

O monitoramento de disjuntores também envolve grandezas analógicas de dois tipos: uma com baixa resolução de tempo (LR), sendo necessário e suficiente coletá-la em intervalos de minutos, geralmente usados para grandezas relativas a condições de operação; e a outra com resolução elevada (FR) coletada durante a operação do disjuntor. Esses eventos são rápidos e a alta taxa de amostragem, permite fazer uma correta oscilografia da variável e dessa forma observar qualquer tipo de alteração dentro do padrão normal de operação. A Tabela 2 lista as diferentes entradas analógicas do disjuntor.

TABELA 2

Entradas Analógicas Monitoradas

Sinal	Descrição	Resolução
TA	Temperatura ambiente	LR
TI	Temperatura interna painel de comando	LR
D	Densidade do gás na câmara	LR
P	Pressão do óleo/N2	LR
C	Corrente da bobina de fechamento	HR
T-1	Corrente da bobina de abertura (Trip1)	HR
T-2	Corrente da bobina de abertura (Trip2)	HR
M	Corrente de acionamento do motor	HR
P	Corrente das fases da linha	HR
V	Tensões das fases da linha	HR

A quantidade de entradas analógicas vai depender do tipo de acionamento do disjuntor (monopolar ou tripolar), da necessidade de comparação entre os valores de cada fase, do tipo de mecanismo de acionamento, entre outros.

Neste protótipo de monitoramento, os valores da corrente e tensão das fases serão obtidos através dos TCs e TPs de linha, com saídas de 5A e 115V respectivamente. Digitalmente são amostrados a uma taxa de 128 amostras por ciclo. No monitoramento da corrente do motor serão usados TCs tipo janela, com relação de transformação de 100/0,1 A.

VI. ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O protótipo do sistema de monitoramento será composto por um grupo de equipamentos incluindo um UAC para a coleta e processamento dos dados, módulos de conversão de sinais analógicos e digitais para a aquisição das correntes e tensões das fases com alta taxa de amostragem,

um computador central que processa, armazena os dados e que cumpre a função de interface homem máquina (IHM), protocolos padrões de comunicação, além do conjunto de transdutores e outros dispositivos que enlaçam os diferentes componentes. Sua arquitetura geral encontra-se ilustrada na Figura 1.

A. Módulo de aquisição

Esta unidade está formada por uma UAC que é um PC industrial compatível composto por uma unidade de processamento e módulos de aquisição analógicos e digitais. Estes módulos possuem características próprias e utilizam a filosofia “plug and play”, pois conectados transmitem ao módulo de processamento informações sobre sua configuração e estado de funcionamento. Com 8/12 bits de resolução nas entradas para sinais analógicos permitindo uma taxa de amostragem de 100 kHz no conversor A/D, com memória tipo FIFO e alimentação 120 Vca ou 125 Vcc.

Esta UAC esta preparada para trabalhar em ambientes com alto nível de ruído provocado pelos campos eletromagnéticos e suporte temperaturas ambiente adequadas ao histórico de temperaturas da subestação.

B. Módulos de sinais analógicos e digitais

Estes módulos têm a finalidade de compatibilizar os sinais provenientes dos sensores e transdutores a serem instalados no disjuntor com as entradas do módulo de aquisição outorgando-lhe proteção contra surtos ou alterações na linha. Estes módulos são específicos para correntes e tensões da linha, assim como para sinais digitais (de estado), tendo saídas compatíveis com as faixas de operação dos cartões de aquisição da UAC.

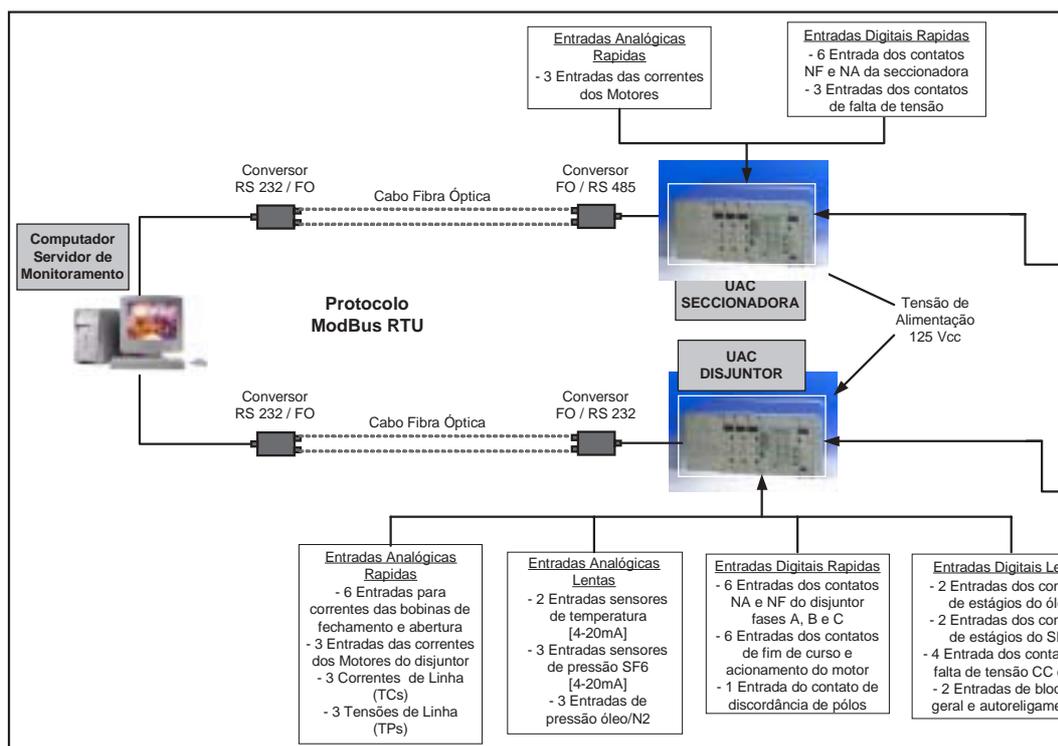


FIGURA 1. Arquitetura geral do Sistema de Monitoramento de Disjuntores.

C. Especificação de Sensores

- Sensor de Temperatura.- Modelo digital Pt-100 classe B / RTD, este sensor geralmente é fixado no próprio painel de comando do disjuntor com transmissor de temperatura com saída de 4 a 20mA, alimentação 10 a 30 Vcc, ligação a dois fios com tubo de proteção em aço inoxidável, faixa de medição de 0°C a +85°C e uma precisão de $\pm 0,5\%$. Um outro sensor com as mesmas características é usado para medição da temperatura ambiente e será instalado na proximidade de um dos pólos.
- Sensores de Densidade.- Modelo digital, com variação da pressão de 0 a 10 bar, sistema de dois fios, alimentação 10 a 30 Vcc, sinal de saída de 4 a 20 mA, conexão de pressão 1/2" BSP, com precisão de $\pm 0,5\%$ e tempo de resposta menor que 1s.
- Sensores de Pressão.- Modelo digital, com variação da pressão de 0 a 400 bar, sistema de dois fios, alimentação 10 a 30 Vcc, sinal de saída de 4 a 20 mA, conexão de pressão 1/2" BSP, com precisão de $\pm 0,5\%$ e tempo de resposta menor que 1s.

D. Servidor central de monitoramento

Consiste em um microcomputador compatível com IBM PC, um localizado na subestação com frequência de clock de 2 GHz, memória RAM de 256MB, unidade de armazenamento física de 40GB, monitor 17" com cartão AGP de interface gráfica e cartões de comunicação com saída RS-232. Nos computadores será instalado o sistema operacional Windows NT, um sistema SCADA, uma base de dados relacional, assim como um programa para análise dos dados e apresentação dos resultados em forma de gráficos, tabelas, curvas, entre outros.

E. Comunicação

As necessidades de comunicação de dados do sistema de monitoramento de disjuntores, embora não envolvam um grande volume de dados, apresenta algumas peculiaridades, tais como:

- Diferentes tempos de varreduras, a maior parte dos sinais digitais e analógicos são coletados a cada segundo, enquanto que alguns poucos exigem resolução de milissegundos.
- O volume de dados a ser transmitido é na maior parte do tempo pequeno, exceto quando ocorre uma manobra do equipamento.
- Os equipamentos que coletam os dados necessitam estar sincronizados.

Fabricantes oferecem uma grande variedade de protocolos de comunicação de dados com suporte as essas funcionalidades, mas muitas delas são soluções apenas suportadas pelas linhas de produtos da empresa, o que dificulta, ou mesmo, impede a sua integração com outros equipamentos ou mesmo com o sistema e SCADA.

A filosofia de sistemas abertos valoriza a adoção de interfaces e protocolos padronizados, tais como o IEC 60870-5, o DNP 3 e mais recentemente, o IEC 61850, que é também conhecido como uma extensão do UCA 2.

Equipamentos mais econômicos usualmente oferecem como alternativa o protocolo ModBus, que embora não seja um padrão amparado por uma norma, é amplamente documentado e extremamente popular na área de automação industrial, o que o transformou num padrão informal. O problema é que o ModBus foi concebido para CLP não suportando portanto muitas funcionalidades típicas do setor elétrico, tais como sequenciamento de eventos e oscilografia.

Alguns fabricantes chegam a implementar adaptações no Modbus para que ele passe a suportar essas novas funcionalidades, dando origem a particularidades nem sempre compatíveis com equipamentos de outros fabricantes.

Por outro lado, equipamentos com suporte a protocolos específicos do setor elétrico tais como o IEC 60870-5 e o DNP 3, enquadram-se num outro nível de preços mais elevado, o que restringe sua aplicação.

Além disso, a norma IEC 61850 ainda encontra-se ainda em fase de discussão e, portanto, somente uns poucos equipamentos são comercializados seguindo a filosofia de objetos, e na sua maioria ainda seguem o protocolo UCA2 sugerido pelo EPRI e não a versão mais abrangente estabelecida por esse padrão IEC.

F. Outros Dispositivos

Considerando-se as distâncias consideráveis entre os equipamentos de campo e o edifício de controle, serão usados cabos de fibra óptica, com seus respectivos conversores F.O./RS-232. No caso do disjuntor (D1) por ser de acionamento monopolar será necessário o uso de uma boa quantidade de sensores pelo que se precisará de uma fonte de alimentação de 125 / 24 Vcc; transdutores, TCs para medição das correntes dos motores e resistores (shunts) para medição da corrente dos circuitos de comando de abertura e de fechamento.

VII. RESULTADOS DE DIAGNÓSTICOS ESPERADOS

- Curvas de evolução da pressão dos gases (SF_6 e N_2), da pressão do óleo, da variação da temperatura, mediante os dados proporcionados pelos sensores instalados no disjuntor;
- Oscilografia das correntes e tensões de linha proporcionada pela UAC, que permita calcular de forma aproximada o desgaste dos contatos usando a relação I^2T ou IT ;
- Evolução dos tempos de fechamento e abertura, através das medições dos tempos de operação, assim como pela posição dos contatos auxiliares;
- Análise dos tempos de fechamento ou abertura dos disjuntores, através da oscilografia das correntes de fa

ses, correntes das bobinas de fechamento ou abertura e percurso dos contatos principais;

- Análise da forma de onda das correntes de fase de fechamento ou abertura dos disjuntores, detectando possíveis faltas no circuito onde se encontra o disjuntor;
- Evolução das formas de onda das correntes das bobinas de fechamento ou abertura dos disjuntores;
- Evolução da forma de onda da corrente do motor de acionamento do disjuntor;
- Evolução na discordância de tempo de abertura e fechamento dos contatos principais.

VIII. CONCLUSÕES

- O monitoramento em tempo real de disjuntores é uma tecnologia emergente que está desenvolvendo-se rapidamente com a participação de concessionárias, fabricantes de equipamentos, provedores de sistemas e dispositivos de monitoramento e por grupos de pesquisa de universidades.
- Outras informações importantes ao sistema de monitoramento de disjuntores provêm de uma variedade de IEDs já existentes na subestação incluindo relés de proteção, sistemas de oscilopertubografia, seqüenciadores de eventos e outros dispositivos. Para tanto se faz necessário um dispositivo especial que sirva como intérprete, pois estes equipamentos trabalham com protocolos de comunicação particulares e geralmente proprietários.
- A padronização dos protocolos de comunicação para os sistemas de monitoramento permitirá alcançar benefícios, tais como melhor interconexão entre equipamentos, maior confiabilidade na administração dos dados, menor tempo de resposta do sistema ante uma falta, entre outros.
- Como tendências futuras dentro da área de monitoramento de sistemas elétricos estão o monitoramento de subestações compactas, a integração

de todos os sistemas de monitoramento dos diversos equipamentos (transformador, disjuntor, pára-raios, entre outros) dentro de uma plataforma comum e a aparição de novos serviços, como ferramentas para gerenciamento da manutenção.

IX. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição de Lucas Neto da Siemens e Miguel Alexopoulos da Schneider, por sua participação na execução do projeto.

X. REFERENCIAS

- [1] A. Poeltl and M. Haines, "Experiences with condition monitoring of HV Circuit Breaker," in *Proc. 2001 Transmission and Distribution Conf., IEEE/PES, V.2* pp. 1077-1082.
- [2] Catalogs Circuit Breaker of Siemens and Schneider.
- [3] CEA Canadian Electricity Association, "On-line Condition Monitoring of Substation Power Equipment Utility Needs, Dec. 1996.
- [4] IEEE "Guide for the selection of monitoring for Circuit Breaker" IEEE Std. C37.10.1-2000.
- [5] J. Corbett and A. Higgins and C. Kelleher, "A procedure for allocating limited resources to Circuit Breaker planned maintenance," in *Session 2002 CIGRE Conf.*, v.13-303.
- [6] J. H. Nelson, "Electric utility considerations for Circuit Breaker Monitoring," in *Proc. 2001 Transmission and Distribution Conf., IEEE/PES, V.2* pp. 1094-1097.
- [7] J. P. Dupraz and A. Schiemann, "Design Objectives of new digital control and monitoring of High Voltage Circuit Breaker," in *Proc. 2001 Transmission and Distribution Conf., IEEE/PES, V.2* pp. 1088-1093.
- [8] K. Lehman and L. Zehnder and M. Chapman, "A novel arcing monitoring system for SF6 Circuit Breaker," in *Session 2002 CIGRE Conf.*, v. 13-301.
- [9] M. Landry and G. Diagneault and S. Zelingher, "Benefits of On-line monitoring for High Voltage Circuit Breaker," in *Session 2000 CIGRE Conf.*, pp. 358-364.
- [10] O. S. Lobosco and H. P. Silva, "Monitoring systems for failure detection and location in Substations Strategic Apparatus," in *Proc. 2002 Latin America Transmission and Distribution Conf., IEEE/PES, V.3* pp. 317-322.
- [11] W. J. Bergman, "Selecting Circuit Breaker Monitoring," in *Proc. 2001 Transmission and Distribution Conf., IEEE/PES, V.2* pp. 1071-1076.