



GRUPO VIII

GRUPO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS (GSE)

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES:
DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO**

Arnaldo G. Kanashiro(*)

Gervásio L. de Castro Neto

Caius V. S. Malagodi

**Universidade de São Paulo
Instituto de Eletrotécnica e Energia
IEE-USP**

RESUMO

É apresentado neste trabalho um sistema de monitoramento de equipamentos de subestações de alta e extra alta tensão, que tem por objetivo a obtenção do diagnóstico do estado físico de transformadores e disjuntores. As atividades de desenvolvimento e implantação são realizadas dentro de um convênio entre o IEE-USP e as concessionárias de energia elétrica do estado de São Paulo, CESP, CPFL e EPTE.

O novo sistema auxiliará a equipe de manutenção das concessionárias no planejamento dos seus trabalhos. O monitoramento destina-se a diminuir as despesas de manutenção desses equipamentos e melhorar a confiabilidade do sistema elétrico. No momento, já estão em operação protótipos em subestações das concessionárias.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação, Transformador, Disjuntor, Monitoramento, Diagnóstico.

1.0 -INTRODUÇÃO

O monitoramento de equipamentos de subestações tem por objetivo o conhecimento do estado físico do equipamento e o diagnóstico da evolução do desgaste, de forma a ter a informação antecipada de quando o equipamento necessitará de manutenção e/ou informar se alguma condição momentânea operativa deixará seqüelas graves no equipamento.

Vários trabalhos nessa área estão em andamento e tem sido objeto de discussões em congressos (1)(2). Com as informações do sistema de monitoramento são obtidos a redução dos custos de manutenção, o aumento da confiabilidade da rede elétrica, um planejamento mais eficiente da manutenção e o prolongamento da vida útil dos equipamentos monitorados.

Foi com este objetivo que o IEE-USP iniciou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de equipamentos de forma a obter os benefícios citados. Depois de 3 anos de trabalho alguns protótipos estão em operação em subestações das referidas concessionárias.

Sensores instalados nos equipamentos enviam informações a uma unidade de aquisição de dados (UAD) locada em suas proximidades. Os dados são transferidos para um computador na sala de comando da subestação e armazenados no banco de dados para permitir a análise da evolução no tempo das principais grandezas. Por linha telefônica discada esses valores ou algum alarme são enviados diariamente ao escritório central de manutenção.

A principal característica do sistema está no banco de dados, construído com valores reais da condição que o equipamento foi submetido anteriormente para se fazer um diagnóstico do estado físico e situação futura do mesmo.

2.0 - DEFINIÇÃO BÁSICA DO SISTEMA

Depois de uma análise feita pelas concessionárias do estado de São Paulo, sobre a taxa de incidência de manutenção realizada nos equipamentos de subestações, foi decidido que esse sistema de

monitoramento inicialmente irá considerar os transformadores, comutadores e disjuntores.

2.1 - Sensores e subsistemas de monitoramento

Ao longo destes 3 anos de trabalho muitos sensores e subsistemas de monitoramento foram avaliados preliminarmente, para saber se poderiam ser aplicados neste sistema de monitoramento. Desta forma, sensores Pt-100, sensores de pressão, transformadores de corrente, transdutores de corrente, tensão, temperatura, posição de "tap" de transformadores, etc, foram analisados e ensaiados.

As grandezas aquisitionadas para a operação do monitoramento dos transformadores e disjuntores são as seguintes:

- Transformador:

correntes de fase, tensões de fase, temperatura do óleo, nível do óleo, temperaturas dos tanques de óleo do transformador e comutador, forma de onda da corrente do motor do comutador, posição de "tap", operação dos ventiladores ou bombas, instantes de acionamento do motor do comutador.

- Disjuntor:

oscilografia das correntes de fase e das bobinas de abertura e fechamento, oscilografia da pressão do gás do sistema de extinção, oscilografia do percurso do contato principal, pressão e temperatura do gás do sistema de extinção, pressão do sistema de acionamento, forma de onda da corrente do motor do sistema de acionamento, registro dos contatos auxiliares do disjuntor, registro dos comandos de abertura e fechamento do disjuntor, registro dos instantes de operação da proteção.

Além dos sensores foram instalados nos equipamentos alguns subsistemas de monitoramento de determinadas grandezas ou funções, disponíveis comercialmente. Os subsistemas de monitoramento considerados foram os seguintes: total de gases combustíveis dissolvidos no óleo, temperaturas dos enrolamentos. Está também sendo avaliado um subsistema de monitoramento de determinadas grandezas do disjuntor.

2.2 - Sistema de aquisição de dados

As grandezas medidas continuamente pelos sensores e subsistemas de monitoramento, apresentadas no item 2.1, são aquisitionadas e ordenadas no tempo pela UAD em intervalos programados ou registrados no instante da ocorrência de eventos. Esses valores ficam armazenados na UAD, instalada no pátio junto ao equipamento monitorado, e são enviados posteriormente para o computador da subestação.

As UAD's de cada equipamento são interligadas ao computador central da subestação onde, através de software supervisorio, os valores das grandezas aquisitionadas são armazenados sistematicamente em um banco de dados.

O sistema de aquisição de dados conta com dois tipos de UAD's: uma específica para aquisitionar as grandezas do transformador e outra específica para oscilografar a operação e aquisitionar as grandezas do disjuntor.

Em comum elas possuem uma saída serial padrão RS-232 ligada a um conversor óptico para a transmissão dos dados aquisitionados através do pátio da subestação. A Figura 1 mostra a UAD do transformador montada em quadro duplo.



FIGURA 1 – UAD DO TRANSFORMADOR.

2.3 - Banco de dados

Os dados fornecidos pelos sensores são aquisitionados e memorizados temporariamente pela UAD em função do tempo de ocorrência de cada medida. Em seguida, são transferidos para o sistema de supervisão onde são estruturados e definitivamente arquivados no banco de dados, juntamente com os instantes da ocorrência da medição. Estes valores em função do tempo estarão disponíveis para serem utilizados no diagnóstico do equipamento e no planejamento da manutenção.

As interfaces do banco de dados são as seguintes:

- sistema de aquisição de dados
- sistema de exibição de dados
- análise de tendências e diagnóstico
- computador do escritório central

A plataforma Windows NT adotada garante a flexibilidade, facilidade na configuração e manutenção do banco de dados, aliada ao baixo custo relativo para aquisição de software.

O banco de dados do sistema de monitoramento apresentado, permite a visualização das grandezas, curvas e ocorrências armazenadas. Pode-se utilizá-las para o acompanhamento da aquisição de dados, levantamentos históricos, análise de tendências e cálculo estatístico que estão sendo desenvolvidos e definidos.

Há disponibilidade no banco de dados de três tipos de visualização das informações armazenadas sobre um determinado equipamento:

I - Planilha: - Apresentação tabular das informações organizadas em função da natureza das grandezas (tensão, temperatura, operação dos comutadores, etc); ou dos tipos de análise (levantamento histórico, variação média no tempo, etc).

II - Gráfico: - Esta forma de apresentação disponibiliza gráficos a partir dos dados apresentados na planilha.

III - Ocorrência: - Nesta fase existe um visor onde são mostradas as ocorrências e níveis de alarmes, referentes ao sistema de monitoramento de equipamentos e demais parâmetros de funcionamento do sistema de informação.

2.4 - Sistema remoto de informações

No escritório central de manutenção e/ou outro local definido pela manutenção, há uma réplica parcial ou total das principais informações dos equipamentos monitorados de cada subestação.

Através de comunicação por linha telefônica discada, as informações dos equipamentos contidos no computador são enviadas diariamente da subestação ao escritório central.

Quando alguma grandeza monitorada atingir o valor limite de operação ou apresentar desvios e tendências cuja evolução indicar um desempenho insatisfatório, um alarme comunicará imediatamente o escritório central, via linha telefônica, alertando o fato.

3.0 - ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 2 mostra a arquitetura do sistema de monitoramento, identificando-se em blocos os sensores, unidades de aquisição de cada equipamento, computadores das subestações e do escritório central.

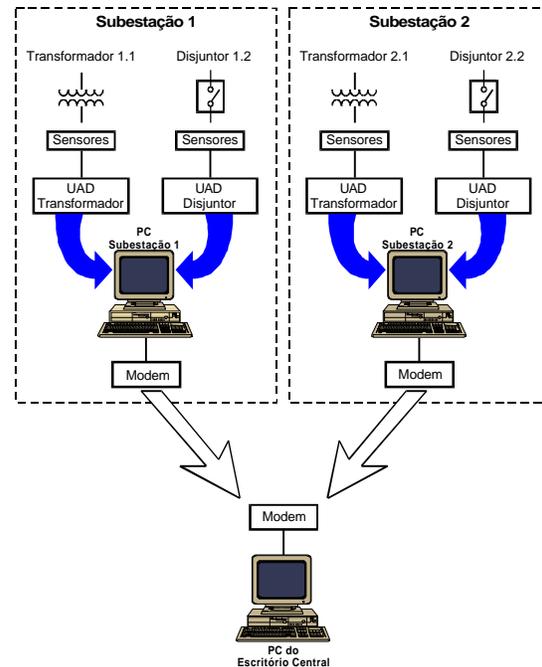


FIGURA 2 – ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.

4.0 - PROTÓTIPO

Para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento concebido, foram colocados em operação vários protótipos.

4.1 - Monitoramento de transformadores

As grandezas relacionadas no item 2.1 são monitoradas para cada transformador e sistematicamente inseridas no banco de dados pelo software supervisor do sistema de aquisição.

A UAD transformador deve adquirir 3 tipos de grandezas diferentes. São elas apresentadas a seguir:

4.1.1 Grandezas analógicas

De um modo geral, essas grandezas tem constante de tempo elevada sendo necessário e suficiente adquiri-las a cada minuto:

- tensões trifásicas (valor eficaz) – 3 canais
- correntes trifásicas (valor eficaz) – 3 canais
- corrente do neutro (valor eficaz) – 1 canal
- temperatura dos enrolamentos (alta, baixa e terciário quando houver) – 3 canais
- temperatura do óleo do transformador – 1 canal
- total de gases dissolvidos no óleo – 1 canal
- nível do óleo – 1 canal
- temperatura ambiente – 1 canal
- diferencial de temperatura do óleo do transformador e do comutador) – 1 canal

- posição do "tap" do comutador (se o transdutor é analógico) – 1 canal
- qualquer outra grandeza com constante de tempo lenta e que possa ser aquisitada a cada minuto.

Com relação ao diferencial de temperatura do óleo do transformador e comutador, os valores são aquisitados por sensores de temperatura instalados externamente nos tanques do transformador e comutador.

4.1.2 Grandezas digitais

Devem ser aquisitadas no instante do evento com precisão mínima de segundo. Não existe aqui o interesse de se fazer seqüenciamento de eventos, mas apenas verificar qual alarme ou proteção atuou para facilidade na identificação do tipo de falha que o equipamento ou o sistema foi submetido:

- atuação de ventiladores
- alarmes
- proteção
- comutação/posição do "tap" (se a posição for indicada por coroa de contatos)

4.1.3 Grandeza oscilografada

A corrente do motor do comutador deve ser aquisitada durante o funcionamento do motor que varia de aproximadamente 2 segundos até pouco mais que 10 segundos, no caso do "tap" central. Essa corrente é senoidal, 60Hz e trifásica. Através de um transdutor, um valor de tensão proporcional é gerado e aquisitado a uma taxa de 100 Hz, obtendo-se assim a corrente do motor do comutador (valor médio retificado).

O software de supervisão varre o PLC, periodicamente, numa taxa igual a 15 minutos. Supondo que haja algum problema de comunicação, o PLC deve armazenar as grandezas aquisitadas por um tempo suficiente para que o problema seja identificado e corrigido. Este tempo é limitado pela capacidade de memória do PLC. As figuras 3 e 4 mostram detalhes de instalação dos sensores para obtenção do diferencial de temperatura dos tanques do comutador e transformador, e o subsistema de monitoramento da temperatura do transformador, respectivamente.

A seguir são apresentados alguns exemplos de valores de grandezas aquisitadas e arquivadas no banco de dados do transformador TR-6 da subestação de Cabreúva da CESP.

As Figuras 5 e 6 mostram a mudança de "tap" e a forma de onda das correntes de fase do motor do comutador, respectivamente.

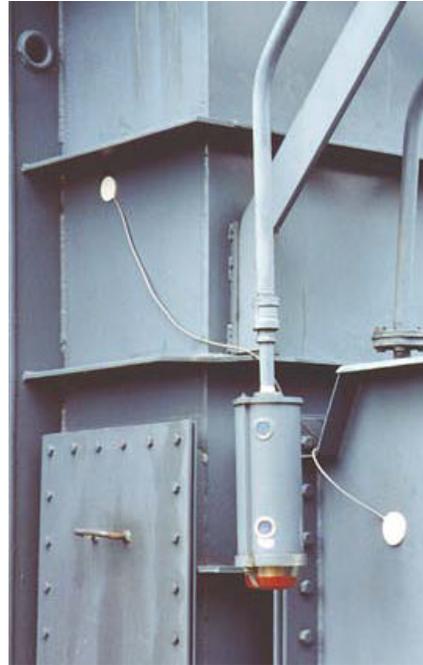


FIGURA 3 – SENSOR DO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA



FIGURA 4 – SUB-SISTEMA DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

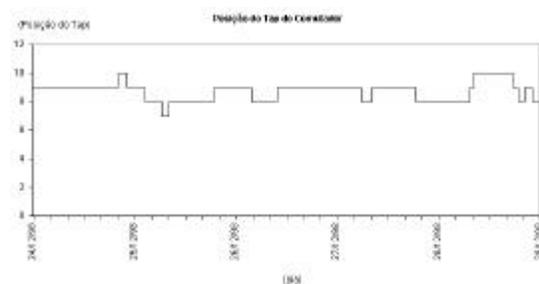


FIGURA 5 - MUDANÇA DE "TAP".

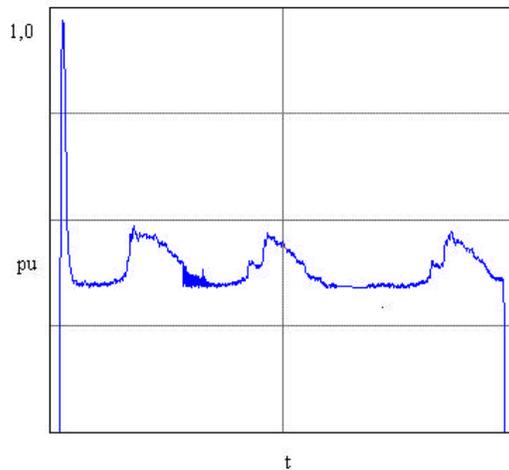


FIGURA 6 - FORMA DE ONDA DA CORRENTE DO MOTOR DO COMUTADOR.

4.2 - Monitoramento de disjuntores

A UAD disjuntor também é composta por um painel duplo e o software da remota gerencia a aquisição dos sinais fornecidos pelos diversos sensores instalados no disjuntor. O software desenvolvido para a remota, em linguagem C, tem a mesma filosofia que o software da remota do transformador, exceto para as grandezas oscilografadas com taxa de 6 kHz. Podemos dividir as grandezas aquisitadas do disjuntor em quatro grupos:

4.2.1 Grandezas analógicas

- temperatura ambiente
- pressão (ar comprimido, sistema hidráulico, SF6)

4.2.2 Grandezas digitais

- contatos NA do disjuntor polo A
- contatos NA do disjuntor polo B
- contatos NA do disjuntor polo V
- contatos NF do disjuntor polo A
- contatos NF do disjuntor polo B
- contatos NF do disjuntor polo V
- contato NA do comando de fechamento
- contato NA do comando de abertura principal
- contato NA do comando de abertura secundária
- contato de pressão mínima do ar comprimido
- contato de pressão mínima do sistema de alimentação do ar comprimido
- contato NA da eletroválvula de recarga
- contato NA do relé de discordância
- contato NA do relé de bloqueio de abertura

4.2.3 Oscilografia lenta

- corrente do motor do sistema de acionamento

4.2.4 Oscilografia rápida

- correntes fases A, B, V
- bobinas de abertura (polos A, B, V)
- bobinas de fechamento (polos A, B, V)
- bobina de segurança
- pressão (polos A, B, V)
- percurso dos contatos do polo A
- percurso dos contatos do polo B
- percurso dos contatos do polo V

As grandezas citadas nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 têm as mesmas características de aquisição daqueles descritos para o monitoramento do transformador. O item 4.2.4 referente à oscilografia rápida cita as grandezas aquisitadas no instante de abertura e fechamento do disjuntor e, portanto, são eventos de curta duração com taxa de aquisição elevada. A figura 7 mostra detalhes de instalação do sensor do sistema de ar comprimido. A seguir são apresentados nas Figuras 8 e 9, para um dos polos do disjuntor, a oscilografia da corrente de fase durante a abertura e a forma de onda da corrente da bobina de abertura, respectivamente.



FIGURA 7 – SENSOR DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

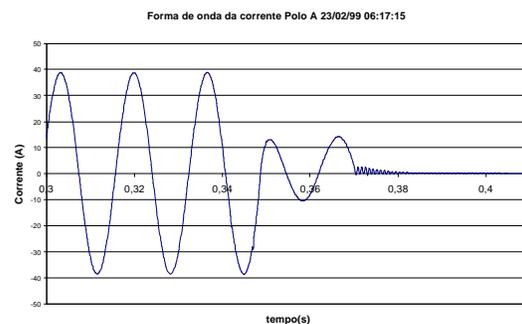


FIGURA 8 - FORMA DE ONDA DA CORRENTE - POLO A

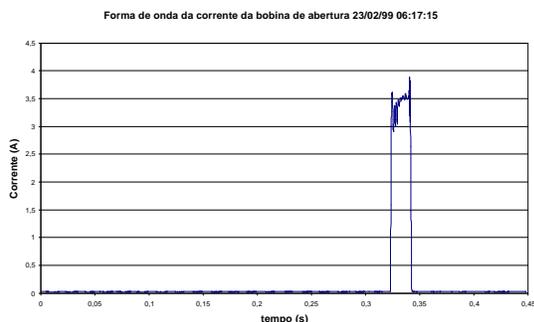


FIGURA 9 - FORMA DE ONDA DA CORRENTE DA BOBINA DE ABERTURA - POLO A

No computador da subestação pode-se visualizar as grandezas aquisitadas através da interface desenvolvida no programa de supervisão. A Figura 10 mostra a sala de comando da subestação Cabreúva com o monitor ao fundo.



FIGURA 10 – SALA DE COMANDO DA SE CABREÚVA, COM O MONITOR AO FUNDO

5.0 - COMENTÁRIOS SOBRE OS PROTÓTIPOS

Foram instalados protótipos nas seguintes subestações:

- SE Cabreúva - CESP
 - . transformador TR-6, 138/13,8kV, 12,5MVA
 - . disjuntor 440 kV do reator 2
- SE Campinas-Centro - CPFL
 - . transformador 22610, 138/11,95kV, 50MVA
 - . disjuntor 138 kV do transformador
- ETT Nordeste- EPTE
 - . unidade do banco de transformadores nº 3, Fase A, 345/138 kV, 133,3 MVA
 - . disjuntor 138 kV do banco de capacitores BCA-2.

Nos transformadores citados foram adotadas diferentes alternativas de aquisição para as seguintes grandezas: nível de óleo, diferencial de temperatura do óleo, posição do "tap", temperatura dos enrolamentos e total de gás combustível.

Para os disjuntores as variações foram relativas à quantidade de pontos de aquisição.

O desenvolvimento da UAD de transformador teve como base uma remota existente no mercado e utilizada em outras aplicações. No entanto, a UAD de disjuntor foi totalmente desenvolvida no IEE-USP, utilizando-se uma remota com PC industrial.

6.0 - SISTEMA ESPECIALISTA

Nesta etapa do projeto estão sendo desenvolvidos sistemas especialistas para diagnóstico de transformadores e disjuntores.

7.0 - CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento apresentado deverá ser uma ótima ferramenta para as equipes de manutenção das concessionárias de energia elétrica. Trata-se de um sistema aberto que permitirá ao usuário também desenvolver suas próprias ferramentas para adequá-lo ao parque de equipamentos.

A vantagem principal do produto será o custo, pois boa parte dos sensores e software são encontrados no mercado nacional. O IEE - USP desenvolveu os seguintes sensores:

- percurso dos contatos principais dos disjuntores
- transdutor I/V para corrente do motor do comutador ou disjuntor
- transdutor codificador de "tap's"
- placas de isolamento e condicionamento de sinal
- sistema de oscilografia rápida de 10 kHz para os disjuntores.

O sistema de monitoramento de transformadores e disjuntores já está em operação nas subestações de Cabreúva – CESP, Campinas – Centro da CPFL e ETT – Nordeste da EPTE.

8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) CIGRÉ SYMPOSIUM. Diagnostic and maintenance techniques. Proceedings. 1993.
- (2) EPRI. Substation equipment diagnostics conference. Proceedings. 1994.