

Desenvolvimento de Sistema Especialista para Auxílio a Manutenção Preditiva em Compensadores Síncronos

Norberto Bramatti, Luiz Otávio Sinimbu, Roberto Célio Limão de Oliveira, Anderson José Costa Sena, José Marcelo Araújo do Vale, André de Oliveira Ferreira; Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
bramatti@eln.gov.br; Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A sinimbu@eln.gov.br; Universidade Federal do Pará
limao@ufpa.br; Universidade Federal do Pará andersons@eln.gov.br; Universidade Federal do Pará
jmarcelo@eln.gov.br; Universidade Federal do Pará andreferreira@eln.gov.br

RESUMO

O presente trabalho trata do desenvolvimento e implantação de um sistema especialista para auxílio a manutenção preditiva em compensadores síncronos, o qual é composto por dois módulos. O primeiro módulo é o de monitoração on-line responsável pela aquisição, armazenamento e transmissão dos sinais medidos por sensores de vibração, temperatura e pressão. O segundo módulo é o de diagnóstico, que utiliza algoritmos com base na lógica fuzzy, para auxiliarem técnicos e engenheiros na detecção de possíveis defeitos dos compensadores síncronos. As informações são passadas através da rede corporativa de computadores da ELETRONORTE permitindo a análise e visualização dos sinais remotamente em diferentes lugares tornando desnecessário o deslocamento dos especialistas até o local do equipamento, diminuindo custos e possibilitando solucionar o problema rapidamente.

PALAVRAS-CHAVE

Compensador Síncrono, Diagnóstico, Monitoração, Manutenção Preditiva, Sistema Especialista.

I. INTRODUÇÃO

O monitoramento das condições dos equipamentos elétricos tem recebido, nos últimos anos, grande atenção em virtude do crescente consumo de energia, necessitando-se assim, de novos e urgentes investimentos em geração e transmissão, aumentando cada vez mais a importância da manutenção preditiva (procedimentos que visam diminuir as paradas desnecessárias de máquinas geradoras de energia elétrica e equipamentos de transmissão) [1].

Objetivando oferecer instrumentos de alta qualidade e de baixo custo, o Lacen (Laboratório Central da ELETRONORTE) investe em tecnologia e mão de obra no pólo de Desenvolvimento de Instrumentação Virtual (DEIV), consolidando-se como centro de referência na região norte. Os projetos desenvolvidos atualmente pelo DEIV destacam-se pela possibilidade de monitoração contínua, visualização, análise remota dos sinais monitorados localmente e auxílio a diagnóstico. Além destas vantagens, os sinais monitorados

são armazenados automaticamente em banco de dados, de forma periódica ou a partir de eventos ocorridos nos sistemas, sendo estas informações disponibilizadas para futuras análises pelas ferramentas de diagnóstico. Todos os programas oferecidos pelo DEIV são amplamente discutidos com o cliente, desta forma, adequando o software as suas necessidades locais, além de possibilitar a assistência dos especialistas da Eletronorte e de outras empresas.

II. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

As inovações no desenvolvimento dos instrumentos tecnológicos têm apresentado avanços significativos nos últimos anos. Os sistemas digitais têm propiciado recursos jamais imaginados no início deste século, sendo atualmente possível transmitir e receber imagens digitalizadas, monitorar e controlar processos antes realizados apenas pelo homem, assim como diversas outras vantagens. O microcomputador tem sido um bom exemplo da evolução dos instrumentos digitais, passando de um instrumento concebido apenas às grandes empresas para um instrumento doméstico concebido a um grande número da população. Atualmente, diversos instrumentos analógicos podem ser concentrados de maneira virtual em um único instrumento digital, possibilitando redução de espaço e de custo. Por exemplo, em um único computador é possível ter um gerador de funções, um multímetro, um osciloscópio, um analisador de espectro e muitos outros instrumentos.

O conceito de instrumentação virtual (IV) consiste em implementar instrumentos digitais utilizando o computador. Seus elementos básicos são:

- Sensores, que convertem grandezas de diversos tipos, tais como vibração, deslocamento, pressão, temperatura, umidade, etc. em sinais elétricos;
- Condicionadores de sinal, utilizados para adequar os sinais provenientes dos sensores às limitações do sistema de aquisição de dados;
- Placa de aquisição de dados;
- Computador;
- Softwares de desenvolvimento;
- Rede de Computadores; (ver Figura. 1).

Este trabalho foi apoiado financeiramente pela Eletronorte/ANEEL via projeto P&D, onde nós agradecemos o total apoio dado pelos mesmos.

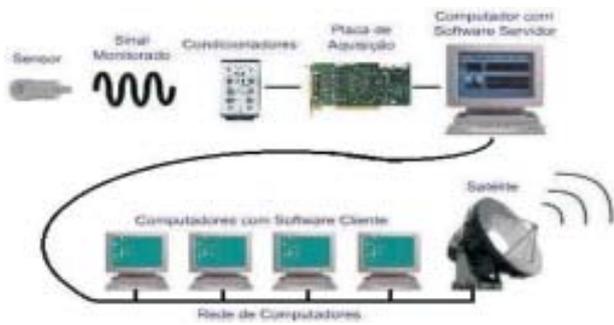


FIGURA 1. Diagrama da IV Remota

Laboratórios e indústrias utilizam computadores equipados com placas de aquisição, portas seriais e paralelas para fazer medições, monitorar e controlar diversos sistemas. Algumas placas podem gerar e transmitir sinais elétricos, permitindo a implementação do controle de equipamentos. Especificamente neste trabalho, além da instrumentação virtual, existe um grande aliado para um melhor aproveitamento da monitoração, que é a utilização de rede. Havendo um ponto de rede é possível fazer com que outro computador que faz parte da rede (cliente) receba as informações geradas pelo computador que está adquirindo os sinais (servidor). Outra opção é utilizar equipamentos de telecomunicações que possam ter sobre eles o protocolo TCP/IP, como o caso de rádios digitais ou Internet.

A. Interligação de Servidores com Estações Remotas

Fisicamente, as estações remotas existentes (clientes) se conectam com as locais através da rede da Eletronorte já existente (ver Figura 2), mas pode ser implementada em qualquer um tipo de rede compatível com Windows 9x/NT, UNIX ou Macintosh. A topologia utilizada na rede Eletronorte é a estrela, na qual o nó central está localizado em Brasília. Os meios por ela utilizados são variados, havendo cabos coaxiais, par trançado, fibra óticas e ainda radio digitais.

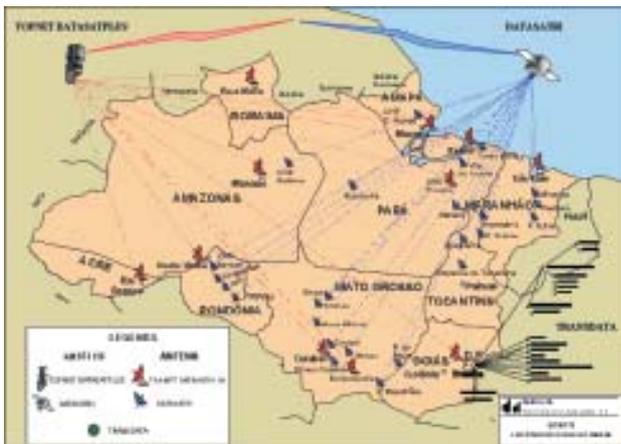


FIGURA 2. Rede Eletronorte

Devido a rede ser de largas dimensões, os pontos principais se conectam ao nó central através de satélites (Topnet DataSatPlus e DataSatBi) onde cada nó da rede possui uma antena que realiza esta comunicação. Cada um desses nós

são compostos por LANs (Local Area Network) os quais tornam possível a intercomunicação em toda a empresa.

Contudo para os microcomputadores poderem se comunicar, as informações são transmitidas entre o aplicativo local e os remotos utilizando-se o protocolo TCP/IP, que possibilita a transferência de dados através de redes de computadores locais e também pela internet. A transferência destes dados pela internet teria como vantagem principal o fato de não ser necessário que o aplicativo cliente se encontre dentro da rede corporativa da Eletronorte, possibilitando que os usuários tenham acesso aos sinais monitorados através de qualquer software de navegação na internet estando em qualquer cidade ou mesmo de sua própria residência por meio de um acesso discado.

III. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema especialista para auxílio à manutenção preditiva em compensadores síncronos foi desenvolvido com o intuito de se obter uma monitoração contínua do estado de operação dos compensadores síncronos da subestação da Eletronorte em Vila do Conde. O sistema faz a monitoração de vibração e temperatura, porém em pouco tempo estará sendo monitorada pressão e potência destes equipamentos (ver Figura. 3). Todos os dados monitorados são transmitidos através da rede de computadores para diversos pontos da empresa, como isso se têm acesso às informações que refletem o estado do equipamento a qualquer momento.



FIGURA 3. Compensador Síncrono

O sistema é composto por dois módulos: monitoração e diagnóstico. O módulo de monitoração é responsável basicamente pela aquisição, análise, transmissão dos sinais proveniente dos sensores e pela armazenagem das informações em banco de dados; e foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação gráfica LABVIEW da National Instruments [2][3][4]. O módulo de diagnóstico é responsável pela análise das informações armazenadas no banco de dados fornecendo para o usuário todos os possíveis defeitos que o equipamento possa estar apresentando, para isso o módulo foi desenvolvido baseado em Lógica Fuzzy, utilizando-se a linguagem de programação C++ Builder 5 da Borland [5] e banco de dados SQL.

A. Módulo de Monitoração

O programa tem o nome de VIBROCOMP e é desenvolvido na plataforma cliente-servidor. O software servidor fica instalado próximo do compensador síncrono, na subestação da Eletronorte em Vila do Conde, Barcarena-PA, e dos sensores, fazendo a aquisição dos sinais e transmitido para os softwares clientes. Atualmente ele faz a monitoração de 6 pontos de vibração e 8 pontos de temperatura (ver Figura. 4) de um, dos dois compensadores síncronos da subestação. Porém o sistema está sendo instalado em outros equipamentos de outras subestações da empresa.



FIGURA 4. Localização dos Sensores

Características do programa:

- Software Cliente/Servidor
- Protocolo TCP/IP
- Filtros Digitais (Butterworth)
- Integração (aceleração, velocidade, deslocamento)
- FFT
- Gravação de Eventos
- Emails de Alarme
- Banco de Dados SQL
- Relatórios

Os sinais provenientes dos sensores de vibração acelerômetros ICP (Integrated Circuit Piezolectric) são recebidos por uma placa condicionadora de sinal (desenvolvida no próprio DEIV) que tem como função alimentar os sensores, amplificar e filtrar os sinais provenientes dos mesmos. Após este tratamento o sinal em tensão (representando a aceleração da vibração) é digitalizado por uma placa A/D (Conversor Analógico Digital) no computador. A partir daí o sinal digitalizado é tratado pelas funções desenvolvidas no programa como: integrações (conversão aceleração-velocidade e velocidade-deslocamento), filtragens digitais e FFT (Fast Fourier Transform). A cada nova aquisição o sinal no domínio do tempo é exibido juntamente com o gráfico de espectro de frequência e o seu valor de amplitude RMS, pico, pico a pico e o próprio valor da frequência atual (ver Figura. 5).



FIGURA.5. Gráficos do Módulo de Monitoração

Os sinais de temperatura são adquiridos através de módulos RTD's (Resistance Temperature Detectors) aproveitando pontos de temperatura utilizado pelo antigo sistema de monitoração que registrava os valores utilizando pequenas penas que deslizavam sobre o papel.

O sistema utiliza LED's que exibem tanto o valor atual do deslocamento pico a pico dos pontos de vibração, em mm, quanto os valores de temperatura em °C. Quando os valores ultrapassam os limites pré-estabelecidos, caracterizando um evento, os sinais são armazenados no banco de dados e também são enviados e-mails de eventos para os usuários cadastrados (ver Figura 6).

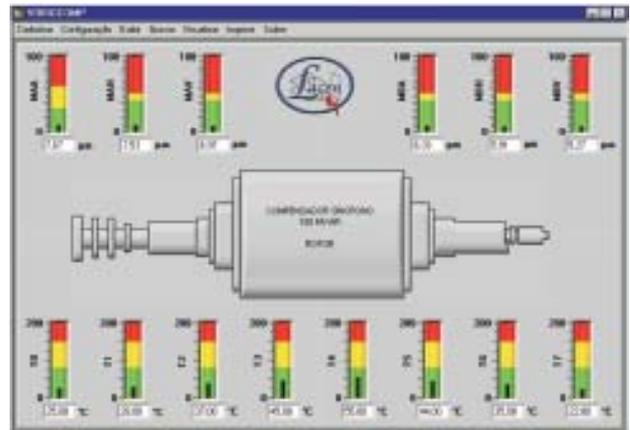


FIGURA 6. Módulo de Monitoração

O banco de dados armazena ainda amostras solicitadas pelo usuário, e também armazena periodicamente os valores correntes dentro de um intervalo de tempo estipulado pelo usuário para se projetar curvas de tendência, onde todos estes dados podem ser visualizados posteriormente por meio de gráfico no programa cliente ou através de relatórios gerados pelo sistema. Todas as informações adquiridas e armazenadas podem ser visualizadas pelo usuário através do software cliente. Além disso, o sistema mantém o cadastro dos usuários dando-lhes a possibilidade de alterar (através de uma permissão de acesso) a configuração do software servidor, como: taxa de aquisição, número de pontos adquiridos, nome dos canais, habilitar/desabilitar canais, valores para limites de alarme, etc.

B. Lógica Fuzzy

Os sistemas com lógica fuzzy são baseados na experiência dos especialistas, sendo que esses conhecimentos são representados em forma de regras aplicadas na lógica fuzzy [6].

Enquanto a lógica clássica é bivalente, isto é, reconhece apenas dois valores: verdadeiro ou falso. A lógica fuzzy é multivalente, ou seja, reconhece uma faixa contínua de valores definindo o grau de veracidade dentro do intervalo numérico de 0 a 1. Em função disso, a lógica fuzzy consegue suportar os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos, representando uma forma de gerenciamento de incertezas, através da expressão de termos com um grau de certeza no intervalo [0,1], onde a

certeza absoluta é representada pelo valor 1. Com essas características, a lógica fuzzy, manuseia perfeitamente as expressões verbais, imprecisas, qualitativas e inerentes da comunicação humana. A Figura 7 exemplifica de forma comparativa a aplicação da lógica binária e da lógica fuzzy, na caracterização de indivíduos quanto a sua altura.

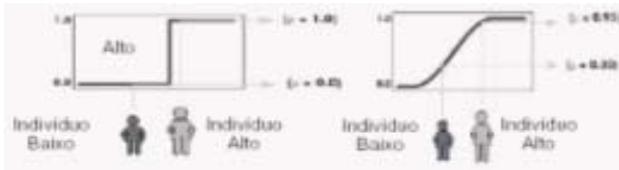


FIGURA 7. Conjunto Clássico e Conjunto Difuso

A lógica fuzzy é bastante conveniente no que diz respeito a mapear um espaço de entradas para um espaço de saídas. A teoria dos conjuntos difusos é baseada na idéia de que em diversas situações o importante é dispor de resultados com razoável precisão, mas principalmente dispor de resultados de grande significância. A comunicação humana contém diversas incertezas, na forma de expressões verbais, que são vagas, imprecisas e com pouca resolução mas geralmente apresentam a significância ou relevância adequada a situação. As palavras, em geral não representam uma única idéia (ou único valor), mas representam um conjunto de idéias (um intervalo), onde através de um julgamento intuitivo cada ser humano tem sua própria concepção quanto a interpretação da palavra (grau de pertinência). As palavras são variáveis lingüísticas que traduzem informação qualitativa e são representadas pelos conjuntos fuzzy [7].

O conjunto fuzzy introduz uma suavidade na transição entre os conceitos que não se identificam com ele e os conceitos que se identificam. Para traduzir essa transição de forma mais quantitativa, são utilizadas funções de pertinência.

As funções de pertinência são curvas que definem o grau de pertinência de cada valor (entrada ou saída) em relação a um determinado conjunto fuzzy. A configuração básica de um sistema de inferência Fuzzy é composta dos blocos funcionais mostrados na Figura 8.

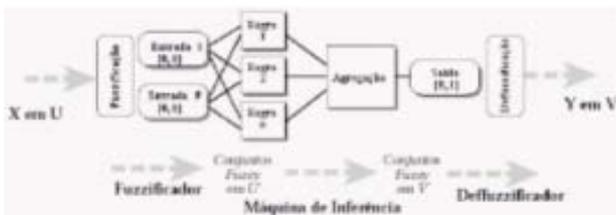


FIGURA 8. Blocos Funcionais de um Sistema Fuzzy

As variáveis de entrada discretas, não fuzzy, provenientes de sensores, chegam no fuzzificador onde, um fator de escala pode ser usado para converter os valores reais de entrada em U, para outros que sejam cobertos pelos universos de discurso U*, pré-definido para cada variável de

entrada. Em seguida, funções de pertinência contidas em uma base de conhecimento convertem os sinais de entrada em um intervalo [0, 1], que pode estar associado a rótulos lingüísticos. Esse processo é denominado de Fuzzificação. A base de conhecimento mencionada anteriormente consiste de uma base de dados contendo as funções de pertinência lingüísticas, tanto das variáveis de entrada como da variável de saída, e de uma base de regras que caracteriza os objetivos estratégicos do sistema. A regra fuzzy apresenta a seguinte forma geral: IF (antecedente ou condição) THEN (Conseqüente ou conclusão) [8]. O sistema Fuzzy idealizado nesse trabalho utilizou as seguintes especificações de operadores e métodos:

- T- Norma ou AND = operador min (mínimo)
- Implicação = Método min (mínimo)
- Agregação = Método max (máximo)
- Defuzzificação = Centróide

O sistema fuzzy implementado é do tipo Mandani, possui 14 saídas e 11 entradas definidas.

C. Módulo de Diagnóstico

O Software tem o nome de VIBROCOMP – MÓDULO DIAGNÓSTICO e é responsável pela análise das informações armazenadas em um servidor de Banco de Dados, onde essas informações são coletadas através de sensores de temperatura e vibração que são tratados pelo módulo de monitoração (ver Figura 9).



FIGURA 9. Módulo de Monitoração

Com base nos conjuntos fuzzy definidos para as entradas e os defeitos, foram utilizadas 20 regras que mostram irregularidades na operação do compensador síncrono das quais duas são apresentadas abaixo [9].

Se A^{-1} e A^{-2} e A^{-3} e A^{-4} e A^{-5} e A^{-6} , então (F^{11} é A) e (F^9 é B).

Se A^{-1} e A^{-2} e A^{-3} e A^{-4} e A^{-5} e A^{-6} , então (F^6 é M) e (F^{12} é M) e (F^{13} é B).

O software será instalado em vários computadores clientes, onde fornecerá para o especialista todos os possíveis defeitos que o equipamento (Compensador Síncrono) possa estar apresentando. Para isso o módulo

foi desenvolvido baseado em Lógica Fuzzy, utilizando a Linguagem de programação C++ Builder 5 da Borland e banco de dados SQL.

O Sistema é composto de onze entradas, cinco de temperatura e seis de vibração, sendo três funções de pertinência para cada entrada (ver Figura 10) e quatorze saídas, possíveis defeitos, contendo também três funções de pertinência cada (ver Figura 11), sendo que no momento apenas seis entradas são manipuladas, cinco de temperatura e uma de vibração.

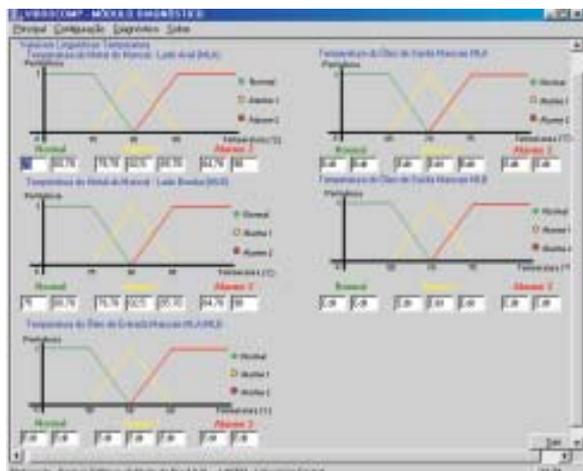


FIGURA 10. Ajuste das Funções de Pertinência de Temperatura

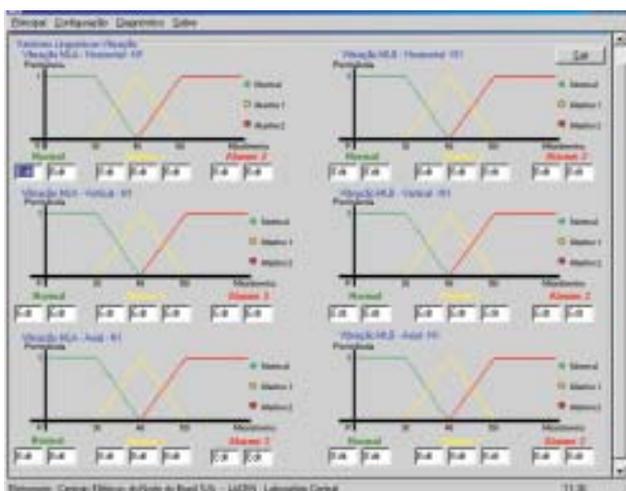


FIGURA 11. Ajuste das Funções de Pertinência de Vibração

IV. CONCLUSÃO

As vantagens da utilização da instrumentação virtual são enormes, permitindo um acompanhamento contínuo do estado operativo dos equipamentos a um custo relativamente baixo.

Toda informação captada por meio de sensores pode ser digitalizada, tratada, analisada, armazenada e transmitida para os mais remotos pontos da empresa, com isso evita-se o deslocamento de equipes de técnicos para a coleta de dados a respeito dos equipamentos, diminuindo as despesas e agilizando no diagnóstico de possíveis problemas que o equipamento possa apresentar. O sistema especialista como um todo representa uma grande ferramenta de apoio à implantação da manutenção preditiva e na diminuição do tempo de indisponibilidade de equipamentos, aumentando assim a confiabilidade dos sistemas elétricos.

V. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Gerente da Regional de Comercialização do Pará (CPA), Eng. Francisco Roberto Reis França e ao Gerente do Laboratório Central da Eletronorte (Lacen), Eng. Luis Cláudio da Silva Frade pelo incentivo e disponibilização dos recursos humanos e materiais necessários para a realização deste projeto, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Ripper, "Monitoração e Diagnóstico de Máquinas", Apostila do Curso "Técnicas Modernas de Manutenção", COPPETEC, UFRJ, 2001.
- [2] JAMAL, R., PICHLIK, H. LabVIEW applications and solutions. National Instruments. Estados Unidos, 2001.
- [3] National Instruments. G programming reference manual; Estados Unidos, 2001.
- [4] National Instruments. LabVIEW Version 5.1 Addendum; Estados Unidos, 2001.
- [5] César Augusto Mateus. C++ Builder 5: Guia Prático /. – São Paulo: Érica, 2000.
- [6] BARRETO, Jorge Muniz, Inteligência Artificial no limiar do século XXI, 2ª Ed. Florianópolis, 1999.
- [7] Shaw, Ian S., Simões, Marcelo Godoy –Controle e Modelagem Fuzzy – ed. Edgard Blucher – FAPESP,1999.
- [8] Controle & Automação - Revista da Sociedade Brasileira de Automação Set/Out 1994 – Número Especial: Sistemas Nebulosos, Vol.4/Nº3 (02-09).
- [9] Zindeluk, M., "Análise de Vibração", Apostila do Curso "Técnicas Modernas de Manutenção", COPPETEC, UFRJ, 2001.