XVI SNPTEE
Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

GPC/016

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

O IMPACTO DA TECNOLOGIA DIGITAL NAS USINAS CONVENCIONAIS – O CASO CHESF

Solange Numeriano Nen Tibúrcio *

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO

RESUMO

Este trabalho apresenta a experiência da CHESF no projeto de digitalização de Usinas convencionais, com tecnologia ultrapassada por um sistema digital de grande valor tecnológico agregado, de desempenho impecável e arquitetura aberta. Este novo sistema está sendo implementado na Usina Hidroelétrica de Apolônio Sales, conhecida tambem pelo nome de Usina Moxotó.
Serão abordados as condições atuais da usina e as características do sistema, as quais proporcionam facilidades e flexibilidades de operação, manutenção, integração e ampliação do sistema. Tambem apresenta os impactos causados pela implementação de sua primeira fase.

PALAVRAS-CHAVE : Automação – Controle - Digitalização

1.0 - INTRODUÇÃO

Com mais de 50 anos de atuação, a CHESF é uma das maiores e mais importantes empresas do setor elétrico brasileiro.
A CHESF possui atualmente uma capacidade de geração de energia superior a 10.700 megawatts, com 10.271 megawatts de origem hidráulica, 432 megawatts de origem termelétrica e 0,6 megawatts de origem eólica.
Em 1995, a CHESF elaborou um Plano Diretor de Automação da Operação – PDAO que estabelecia como uma de suas principais diretrizes: “modernizar os meios de operação, através da utilização intensiva de sistemas de informação e de automação de processos, concebidos de maneira integrada”.

O Projeto de Digitalização das Usinas Convencionais da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco visa dar sequência à implantação do PDAO e concentra-se, na sua primeira etapa, na instalação de um sistema digital de medição, controle e supervisão das quatro unidades geradoras da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales.
A Usina Hidrelétrica Apolônio Sales, está situada na margem esquerda do rio São Francisco, no município de Delmiro Gouveia, estado de Alagoas, no nordeste do Brasil. É dotada de quatro unidades geradoras, com 110 MW de potência cada, com tensão de saída de 13.8 kV, acionadas por turbinas Kaplan. Cada par de unidades alimenta um transformador 13.8/230 kV com dois enrolamentos de baixa tensão.
Embora o projeto de digitalização da Usina Hidro Elétrica Apolônio Sales não seja o primeiro na CHESF, ele é pioneiro no sentido de que objetiva digitalizar uma usina antiga e de grande porte, inclusive com problemas de expansão do concreto, fato que, por si só, justificou a implantação de um sistema de supervisão on-line do entreferro nos geradores e da folga do rotor nas turbinas.

2.0 - CONDIÇÕES ATUAIS DE OPERAÇÃO

A operação das unidades geradoras e dos seus serviços auxiliares é executada a partir de uma única sala de comando da usina. A partida, a parada, a sincronização e as tomadas de carga das unidades geradoras são comandadas da sala de comando. Entretanto, em levantamento realizado por uma equipe multifuncional que envolveu recursos humanos das áreas de engenharia, de operação e de manutenção da CHESF, verificou-se que algumas operações, que poderiam ser executadas de forma automática, são realizadas manualmente. Parte destas operações exige o deslocamento de operadores para comandá-las de local próximo aos equipamentos. Algumas dessas operações

que hoje exigem o deslocamento de operadores não faziam parte do projeto original de comando e controle da usina, mas novas rotinas operativas foram implantadas com o decorrer do tempo e com a deterioração do sistema de comando convencional, que trouxe como consequência alguma perda da confiabilidade de determinadas operações. Outras dessas operações locais, no entanto, foram implantadas em consequência de um certo conservadorismo dos órgãos de operação da época da instalação da usina, sendo mantidas até hoje.

3.0 - O SISTEMA DIGITAL

A análise das condições operativas e da situação do atual sistema de comando, controle e supervisão da usina, concluiu pela necessidade de instalação de um novo sistema que, devido ao estado-da-arte, será digital.

3.1 - Concepção Básica

Conceitualmente, a automação da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales, será contemplada com um Sistema Digital (**SD**) distribuído em rede local, composto de um subsistema de Interface com o Processo, baseado em Controladores Lógicos Programáveis (**CLP**'s), e um subsistema de Interface Homem-Máquina (**IHM**), com características de Sistema Aberto, em que possam ser satisfatoriamente atendidos os requisitos de *portabilidade*, *interoperabilidade*, *escalabilidade*, *modularidade* e *estabilidade*.

O subsistema de Interface com o Processo (**IP**) será instalado em espaço disponível nos painéis existentes na sala de comando da usina.

Os módulos do SD serão dotados de automonitoração e autodiagnose.

3.2 - Arquitetura

Fisicamente, a arquitetura do subsistema de Interface com o Processo do SD utilizará CLP's, distribuídos e instalados ao longo do processo, executando as funções de medição operacional, comando, controle, e supervisão.

Todos os componentes do SD se comunicarão através de uma rede local em fibra óptica.

Este sistema caracteriza-se por ter uma arquitetura com distribuição funcional em ilhas de processamento bem definidas, mantendo os níveis hierárquicos de aquisição, controle e processamento com suas funções preservadas, a saber:

1. A nível de cada unidade geradora (ou nível de processo), haverá um CLP que executará as funções de aquisição de dados para supervisão e medição operacional, efetivação de comando, processamento local (intertravamentos e automatismos), controle e comunicação com o subsistema de Interface Homem-Máquina;
2. A nível da Sala de Comando da usina , o subsistema de Interface Homem-Máquina executará as tarefas de interface com o operador, base de dados histórica e de tempo real, execução de programas aplicativos, gerenciamento do processo, comunicação com os CLP's e comunicação remota.
3. A nível de cada unidade geradora haverá a disponibilidade para realização de funções de parametrização, programação e manutenção conectando-se diretamente um notebook em qualquer um dos CLP's da unidade geradora.

3.3 - Localização e Composição Básica

No nível de máquina, serão alocados os CLP's independentes e exclusivos para cada unidade geradora. Os CLP's se conectarão ao processo através de cabos de controle e medição, para as funções de Comando e Medição Operacional. Neste nível serão instalados os transmissores para controle e supervisão digital das grandezas supervisionadas.

No nível da sala de comando da usina, será instalado um subsistema de Interface Homem-Máquina com dois consoles, um para operação e outro para manutenção e desenvolvimento do sistema, operando como concentrador de dados.

3.4 - Interface com o Processo

Os CLP's executarão as funções de interface com o processo, aquisição de dados, supervisão, medição, processamento local (intertravamentos e automatismos), transmissão de comando para o processo, controle e comunicação com outros componentes do Sistema Digital além das funções inerentes ao funcionamento do equipamento.

A interface com o processo prevê os seguintes tipos de interface:

- medição analógica

A resolução será de 12 bits (11 bits significativos e mais um de sinal).

- entrada digital

As entradas digitais representam os estados de equipamentos e alarmes do processo que serão informados ao SD por meio de contatos com potencial, em uma quantidade prevista em 200 entradas por máquina.

- saída digital

As saídas digitais estão associadas aos comandos para o processo, seja para alterar o estado de algum equipamento, seja para controlar alguma variável ou para algum aplicativo, sujeito aos intertravamentos programados e estão estimadas em 70 saídas, por máquina.

As saídas digitais, em hipótese alguma (inclusive durante a energização e desenergização), podem ativar qualquer de suas saídas, sem que tenham sido comandadas pelo operador ou aplicativo específico.
As funções de parametrização, programação e manutenção dos CLPs são possíveis conectando-se um microcomputador PC (notebook) diretamente ao CLP através de uma interface serial, como também, através de modem via linha discada; a parametrização deve ser possível também a partir do subsistema de Interface Homem-Máquina.
Em caso de perda da alimentação do CLP, o conteúdo da programação e parametrização será mantido.

3.5 - Subsistema de Interface Homem-Máquina
O subsistema de Interface Homem-Máquina será responsável por todo o processamento a nível de instalação, comunicação com o Centro de Operação do Sistema (**COS**), localizado junto à sede da CHESF, em Recife, no estado de Pernambuco, com o Centro de Operação Regional (**COR**), previsto no PDAO, e pelo controle da IHM.
Este subsistema deverá ser composto de dois consoles de operação, sendo um para operação do sistema e o outro para função de manutenção e desenvolvimento do sistema.
Para cada unidade geradora, haverá a disponibilidade para conexão de um console para manutenção (notebook) conectado diretamente em cada CLP da unidade geradora, através de uma interface serial.
O subsistema de Interface Homem-Máquina será alimentado pelo Sistema de Alimentação Ininterrupta – **SAI** da usina.

3.6 - Comunicação
O Sistema Digital permitirá a comunicação em vários níveis, a saber:
3.6.1 - Comunicação Externa
O Sistema Digital de controle da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales deverá comunicar-se com o Centro de Operações do Sistema, com um Centro de Operações Regional e com os centros de manutenção da empresa.

♦ **Comunicação com o COS/COR**

Do ponto de vista do SD , o COR ou o COS apresentam-se como sendo o mesmo sistema.
Para determinar que dados serão transmitidos, deve-se configurar no subsistema de Interface Homem-Máquina da sala de comando da Usina os dados que são importantes para o COS/COR.
Mudanças de estado deverão ser enviadas espontaneamente. Deverá ser possível o envio de todas as informações de estado da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales para os Centros de Operação (COS ou COR).
As medições serão enviadas sob solicitação do COS/COR. Adicionalmente, o COS/COR poderá enviar comandos e ajustes (Set Points).
Durante a inicialização, o computador do COS/COR envia um pedido de inicialização para o SD da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales e o mesmo deverá ser respondido com informações da versão da configuração, para se ter certeza que ambos os lados estão usando a mesma configuração.

♦ **Comunicação com a manutenção**

A comunicação com o setor de manutenção deverá ser feita através de modems que serão conectados através de uma linha telefônica. Deverá ser previsto o acesso remoto para o usuário de manutenção, de forma que ele tenha condições de utilizar todas as ferramentas do sistema digital, tais como parametrização, curvas de tendência, programação de CLP's, atualização de telas, etc. A conexão destes usuários deverá ser controlada por senhas de forma a evitar que o mesmo possa comandar os equipamentos do processo. Deverá ser contemplado um esquema de segurança (call back, ou similar) de forma que somente usuários parametrizados na IHM possam se conectar ao sistema digital.
Todo acesso a manutenção deverá ser feito através de chave seletora, com fechadura, com máquina parada.
3.6.2 - Comunicação Interna
Os CLP’s e o subsistema de Interface Homem-Máquina se comunicarão preferencialmente através de uma rede local de comunicações utilizando como meio físico de interconexão fibra ótica, de forma a obter total imunidade a interferências eletromagnéticas.
Os dois consoles de Interface Homem-Máquina, de operação e de manutenção e desenvolvimento, se comunicarão através de uma outra rede local de comunicação para um perfeito sincronismo de ambas estações de trabalho, conforme mostrado na Figura 1 deste trabalho.

3.7 - Sistema de Medições Operacionais
As medições inclusive a de temperatura da sala de comando da Usina deverão ser adquiridas nos PLC’s e transmitidas ao subsistema de Interface Homem-Máquina.
São as seguintes as grandezas operacionais a serem medidas, para cada máquina :

- Tensão
- Corrente
- Potência ativa (com indicação do sentido)
- Potência reativa (com indicação do sentido)
- Corrente da Excitatriz
- Tensão da Excitatriz
- Velocidade do grupo
- Freqüência da unidade
- Limitador de Abertura
- Abertura do distribuidor e abertura das pás Kaplans

- Temperatura: Sistema de Regulação do Rotor Kaplan, Mancais Guias da Turbina, Intermediário e Gerador, Mancal Combinado, Sistema de Resfriamento do Óleo dos Mancais Guia da Turbina, Intermediário e Gerador, Mancal de Escora, Sistema de Resfriamento do Gerador.
- Pressão: Caixa Espiral, Sucção, Vedação do Eixo e Selo de Parada, Sistema de Injeção Forçada de Óleo do Mancal de Escora, Sistema de Drenagem da Tampa da Turbina, Sistema de Regulação de Velocidade e Abertura das Pás Kaplans, Sistema de Levantamento e Frenagem, Sistema de Ar Comprimido do Disjuntor de Banco.
- Nível: Sistema de regulação do Rotor Kaplan, Sistema Drenagem e Esgotamento, Mancal Guia Inferior, Sistema de Drenagem da Tampa da Turbina, Mancal Combinado, Acumulador Ar-Óleo do Regulador de Velocidade, Mancal Guia do Gerador, Sistema de Levantamento e Frenagem, Nível de Montante e Jusante,
- Vazão: Sistema de Vedação do Eixo, Sistema de Resfriamento do Óleo do Mancal Combinado, Sistema de resfriamento dos Mancais Guias da Turbina e Gerador.

3.8 - Requisitos de Programação

Toda a programação do sistema a ser fornecido deverá ser projetada e desenvolvida em módulos, de forma a facilitar a manutenção e expansões futuras.

O acesso de usuários se dará por senhas que definem os níveis de acesso aos parâmetros do sistema, exigido no mínimo de cinco níveis.

3.8.1 - Sistema Operacional

O sistema operacional utilizado nos PLC e no subsistema de Interface Homem-Máquina deverá ser eficiente na utilização de recursos e bastante poderoso, fornecendo ferramentas de gerenciamento de funções de tempo real.

O sistema utilizado deverá permitir a inclusão de novas funções sem degradação nos tempos de resposta das funções já implantadas, caso as novas funções tenham menor prioridade.

O sistema deverá possuir um sistema de agendamento flexível que permita a execução de programas em horários programados.

3.8.2 - Banco de Dados

O sistema deverá ser provido de dois banco de dados:

- Banco de Dados de Tempo Real
- Banco de Dados Históricos e de Configurações

Estes bancos de dados deverão estar instalados nas controladoras do subsistema de Interface Homem-Máquina, atendendo ao padrão ODBC.

♦ **Banco de Dados de Tempo Real**

O banco de dados de tempo real armazenará o estado de todas as informações supervisionadas pelo SD.

O banco de dados de tempo real fornecerá as informações para apresentação nas telas da IHM e processamento de automatismos a nível de instalação.

♦ **Banco de Dados Históricos e de Configurações**

O banco de dados histórico e de configurações armazenará toda a configuração do Sistema Digital. Todos os pontos supervisionados, classes de mensagens, telas, relatórios, etc. deverão ser armazenados neste banco de dados.

3.8.3 - Programas de Desenvolvimento e Manutenção

O sistema será dotado de programas que permitam a manutenção e a expansão do sistema. Estes programas incluem editores, compiladores, linkeditores, depuradores, etc.

Permitirá também manutenção e criação de telas em tempo de operação.

Os programas de automonitoração e autodiagnose do SD deverão apresentar todas as informações necessárias à manutenção preventiva e corretiva do SD, apresentando informações detalhadas da parte defeituosa.

Os programas de configuração de banco de dados serão providos de mecanismo de restrição de ações por senha. Além disto, todas as alterações realizadas deverão ser também registradas pelo sistema acompanhadas de data e hora e nome do usuário que executou as alterações.

3.8.4 - Programa de Simulação

O sistema será dotado de uma ferramenta que permitirá a simulação do processo. Esta ferramenta deverá ser totalmente configurável, permitindo a configuração de ações de resposta a comandos do operador e ações espontâneas.

Esta ferramenta será utilizada no treinamento dos operadores.

3.9 - Desempenho

Este item descreve as características de desempenho e as condições utilizadas para medi-lo.

3.9.1 - Condições de Carregamento

Foram definidos basicamente 3 (três) carregamentos para o Sistema Digital:

- Carga normal: Visa estabelecer o carregamento mínimo a que estará submetido o Sistema Digital durante todo o tempo.
- Carga pesada: Visa medir os tempos de resposta do sistema.
- Carga de emergência: Visa verificar que mesmo em condições extremas o sistema não perderá dados.

3.9.2 - Carregamento dos Processadores

A nível de CLP, em carga normal, especificada acima, o carregamento médio dos processadores, numa janela de tempo de 1 (um) segundo, não deverá ser superior a 90% (noventa por cento).

A nível do subsistema de Interface Homem-Máquina, em carga normal especificada acima, o carregamento

médio dos processadores, numa janela de tempo de 5 (cinco) segundos, não deverá ser superior a 40% (quarenta por cento).

3.9.3 - Tempos de Resposta

Será feita medição dos tempos para as situações especificados neste item e deverão ser medidos com o sistema em carga pesada.

- Chamada de Nova Tela:
- Mudança de Sinal:
- Mudança de Medição Analógica:
- Execução de Comandos:
- Solicitação do Operador:

3.10 - Disponibilidade

A disponibilidade do sistema deverá ser maior que 99,9% (noventa e nove e nove décimos por cento) para todas as funções exigidas do sistema.

Toda e qualquer paralisação ou mal funcionamento de qualquer função requerida é contabilizada como interrupção no funcionamento do SD.

O MTTR do sistema não deverá exceder 1 (uma) hora já no primeiro ano de operação, quando executada pela equipe de manutenção da CHESF.

4.0 – IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DIGITAL

Não faz sentido analisar aqui o impacto causado pela instalação de um novo sistema digital comparando seu desempenho com o de um antigo sistema convencional, que está em funcionamento há mais de 20 anos na Usina Hidrelétrica Apolônio Sales. A análise será mais isenta se a comparação for entre as características das duas tecnologias e não entre os dois sistemas.

4.1 - Confiabilidade

Nos sistemas de controle que utilizam a tecnologia digital, um CLP susbtitui uma extensa quantidade de relés. Isto resulta no aumento da confiabilidade, uma vez que os CLPs são equipamento padronizados, cuja alta confiabilidade é comprovada pela sua larga aplicação industrial sob condições severas. É comum se obter informações de MTBF da ordem de 50.000 horas, dadas por fabricantes e fornecedores idôneos.

4.2 - Flexibilidade

A flexibilidade dos sitemas digitais sobre os convencionais a relé é inegavelmente muito maior. É superior à diferença entre a lógica cabeada, da pré-história da computação eletrônica, e a lógica por programa armazenado, usando linguagem de alto nível. A simples possibilidade de mudança das funções por software, sem preocupação com a disponibilidade de contatos de reserva nos relés, ou espaço nos armários dá bem uma idéia da diferença de flexibilidade entre as duas tecnologicas. Sem falar da enorme vantagem das possibilidades oferecidas pelas IHMs baseadas em computadores, quando comparadas com aquelas oferecidas pelos antigos quadros sinópticos.

4.3 - Repetibilidade

Nos sistemas digitais, todos os valores característicos são “abstratos” e livres de influências físicas, ao contrário daqueles dos sistemas convencionais. Isto representa uma sensível vantagem daqueles sobre estes, no que diz respeito a repetibilidade. Os ajustes de temporizadores, por exemplo, baseiam-se em cristais de alta precisão, não em descargas de capacitores, ajustes de potenciômetros ou em furos de passagem de ar, todos sujeitos a mudanças causadas por envelhecimento, variações da temperatura ou, até mesmo, sujeira.

4.4 - Precisão

A precisão que se consegue com 12 bits de resolução na conversão dos valores das entradas analógicas é bem maior do que a precisão que se consegue nos trandutores analógicos encarregados de coletar as informações diretamente no processo. Por outro lado, a precisão dos ajustes e set-points é bem melhor do que aquelas que se consegue por ajustes eletromecânicos e leitura de indicadores, operações características de sistemas convencionais.

4.5 - Velocidade

Não é possível a priori estabelecer uma vantagem incondicional dos sistemas digitais sobre os convencionais a relé, no que se refere a velocidade de resposta, principalmente quendo se imagina as situações de carga mais pesadas dos CLPs. Como estes são equipamentos predominantemente sequenciais, executando uma instução por vez, embora em tempos muito pequenos, pode-se imaginar uma desvantagem filosófica com respeito ao funcionamento intrínsecamente paralelo dos relés dos comandos convencionais, quando muitos eventos estejam ocorrendo simultaneamente. Ainda assim, tendo em vista que mesmo os poucos milissegundos necessários para a operação de um relé rápido constituem muito tempo para um microprocessador dos nossos dias, é razoável esperar uma resposta melhor dessas rápidas máquinas eletrônicas do que das lentas cadeias de relés, principalmente se forem atribuídas as prioridades adequadas aos processos em execução nos CLPs.

5.0 - BENEFÍCIOS ESPERADOS

Com o projeto de digitalização da Usina Hiderétrica Apolônio Sales não há a pretensão de se ter uma desassistência total da usina, mesmo porque esta não é a filosofia da empresa, expressa no PDAO. No entanto

esta digitalização do comando e controle trará benefícios extremamente valiosos para a empresa.
Numa primeira análise pode ser citada, como um extraordinário benefício, a atualização tecnológica do pessoal envolvido no processo, em todos os níveis.
Por outro lado, a operação será simplificada, o que deverá determinar o aumento da disponibilidade das máquinas e a melhoria da qualidade da energia produzida, refletindo-se nos índices de desempenho operacional da usina e da empresa.
Além disso, como consequência da modernização dos equipamentos, da melhor capacitação dos recursos humanos e da simplificação da operação da usina, haverá um melhor aproveitamento das equipes de operação, o que ajudará a equacionar o problema de escassez de operadores por que passa hoje a empresa.

6.0 - CONCLUSÃO

O projeto de digitalização da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales, embora não seja o primeiro na empresa, é pioneiro por digitalizar o comando de uma usina hidrelétrica antiga e de grande porte, com problemas de expanção do concreto. Esta modernização deverá resolver alguns problemas diagnosticados na atual operação da usina, causados em parte pela deterioração do atual sistema de comando.
O novo sistema caracteriza-se por ter uma arquitetura com distribuição funcional em ilhas de processamento bem definidas, mantendo os níveis hierárquicos de aquisição, controle e processamento com suas funções preservadas.
Com o uso da tecnologia digital, espera-se conseguir melhorias significativas nas características do sistema (confiabilidade, repetibilidade, precisão, etc.), que deverão influir na melhoria dos índices de desempenho da usina e da empresa.
O projeto deverá trazer também outros benefícios para a empresa e parte de seu corpo funcional.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

(1) Tibúrcio, S & Viegas, F. The Impact of using digital technology in speed governors for big hydraulic machines; Magazine FORUM – Power Generation. Edition 4/97
(2) PDAO – Plano Diretor de Automação da Operação CHESF. Versão Dez/95
(3) CHESF - Especificação Técnica do Sistema de Medição, Controle e Supervisão Digital da UHE Apolônio Sales. Maio/2000

Sala de Comando da Usina

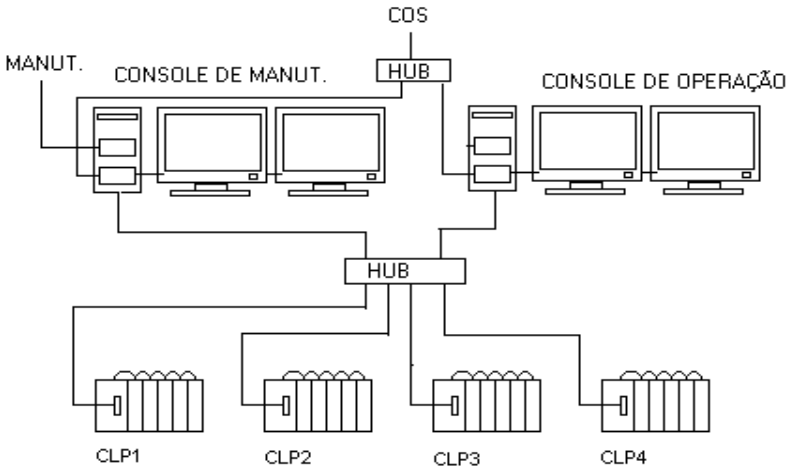

FIGURA 1