



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

REDE DE COMUNICAÇÃO E SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTAS DE GERAÇÃO HIDRÁULICA DE ENERGIA UTILIZANDO PROTOCOLO IEC 61850

**Ângelo Mibielli
ITAIPU BINACIONAL (*)**

**Cláudio Dantas de Oliveira
Consultor**

RESUMO

A introdução dos padrões da norma IEC 61850 aplicadas à proteção e controle de subestação, baseado na tecnologia Ethernet, é uma etapa importante para a simplificação da integração dos sistemas elétricos. A norma IEC 61850 não substitui o barramento de processo da automação, mas pode, no entanto, eliminar muitos diferentes protocolos de comunicação utilizados atualmente nos sistemas elétricos. No futuro, com o padrão IEC 61850, os sistemas de controle de subestação e plantas de geração poderão se basear em dois barramentos de comunicação, sendo o barramento de subestação e o barramento de processo.

A norma IEC 61850 originada para o ambiente de subestação foi expandida em sua parte IEC 61850-7-410, "Hydroelectric power plants Communication for monitoring and control" específica para o ambiente de plantas de geração hidráulica e remete os engenheiros de geração para uma nova realidade neste novo cenário. Funções elétricas, mecânicas, hidráulicas e de instrumentação passam a ser tratadas de forma integrada pela norma. Equipamentos de controle, monitoramento e automação passam a ser tratados de forma integrada como dispositivos físicos e passam a contar com diferentes dispositivos e funções lógicas. Há uma simplificação significativa na engenharia de integração ao mesmo tempo em que visa redução de custos da operação e manutenção.

O objetivo do artigo é fazer uma abordagem da nova norma e as implicações dessas mudanças na tecnologia dos equipamentos e nos recursos humanos envolvidos.

Será abordada as funcionalidades de uma planta de geração hidráulica, seus automatismos de partida e parada, os sistemas de regulação e controle, integração com a proteção, bem como a segurança na atuação dos bloqueios através do protocolo IEC61850. Os princípios do controle elétrico, principalmente voltados à excitação, estabilizador do sistema de potência, controle de velocidade, sincronização, partida e parada da unidade e controle conjunto. Exemplos de aplicação no controle e regulação da planta de geração hidráulica.

O artigo trata da modelagem das funções lógicas e as principais funções a serem utilizadas. Trata também de aspectos de interoperabilidade (habilidade de um ou mais IEDs (*Intelligent Electronic Device*) do mesmo fornecedor, ou diferentes fornecedores, de trocar informação e usar essa informação para a correta execução das funções especificadas) e intercambiabilidade (habilidade de substituir um dispositivo fornecido por um fabricante por outro dispositivo fornecido por outro fabricante, sem ter que modificar outros elementos do sistema).

Não será abordada neste artigo a monitoração das plantas de energia eólica da IEC 61400-25 e para os sistemas de geração distribuídos da IEC 61850-7-240, ainda que sejam assuntos de grande interesse.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850, Sistemas de Controle, Reguladores, Sistemas de Regulação

1.0 - INTRODUÇÃO

Dentre todos os sistemas de automação, controle, monitoração e proteção de uma unidade geradora, os sistemas de regulação de velocidade e o sistema de regulação de tensão são os responsáveis pela geração de energia de qualidade e pela performance da unidade geradora. O gerador, máquina síncrona, e a turbina, máquina primária, somados aos sistemas de regulação de tensão e sistema de regulação de velocidade compõem a parte fundamental da unidade geradora.

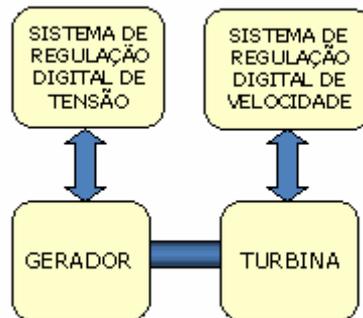


Figure 1 - Sistemas de Regulação

O sistema de regulação de velocidade é responsável pelo controle de velocidade e potência da máquina primária, turbina. Atua diretamente controlando a abertura da adução de água na máquina primária. Importante lembrar que a máquina primária possui diversos formatos, aplicados conforme as diversas quedas d'água existentes, os formatos mais conhecidos são: Turbina Kaplan (baixa queda), Turbina Francis (média queda) e Turbina Pelton (alta queda). O sistema de regulação de velocidade é adequado a cada tipo de turbina, contudo o princípio de controle permanece o mesmo, bem como suas malhas de controle de velocidade e malha de controle de potência. A diferenciação fica por conta da malha de controle de posição (ou malhas) para o controle de adução de água na turbina.

O sistema de regulação de tensão é responsável pelo controle de tensão e potência reativa da máquina síncrona, gerador. Atua no enrolamento de campo da máquina síncrona, controlando a corrente e a tensão de campo. O sistema de regulação de tensão pode estar conectado ao campo do gerador através de uma excitatriz auxiliar rotativa, ou diretamente ao campo através de escovas ou mesmo sem escovas (Geradores Brushless).

- O sistema de regulação de velocidade é formado por uma parte de controle e comando, a outra parte é o atuador normalmente eletro-hidráulico. O atuador eletro-hidráulico é o elemento que executa o trabalho necessário para movimentar as partes da máquina primária. A parte de interesse neste estudo serão o controle do sistema onde estão as malhas de controle e as funções do regulador de velocidade.

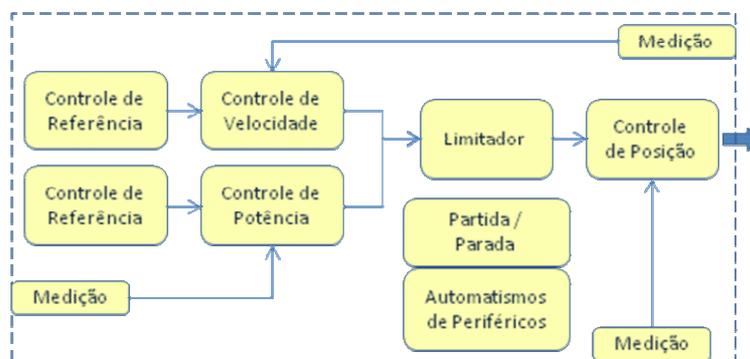


Figure 2 - Diagrama simplificado da Regulação de Velocidade

São funções características do Sistema de Regulação de velocidade:

- Regulação de velocidade/frequência da unidade geradora;
- Regulação de potência elétrica do gerador;
- Regulação de posição do atuador;
- Limitador de abertura potência e posição;
- Controle da referência de velocidade, referência de potência e referência de posição;
- Controle do Processo de Partida e Parada da Unidade Geradora;
- Automatismos de periféricos;

No sistema de regulação de tensão, semelhante ao regulador de velocidade, também é formado por uma parte de controle e outra de potência, na parte de potência está o conversor de potência, elemento esse que de forma controlada aplica a corrente necessária para a excitação do gerador. As malhas de regulação de tensão e as demais funções da regulação de tensão também estão na parte do controle do sistema. São funções do sistema de regulação de tensão:

- Regulação de tensão terminal do gerador;
- Regulação de potência reativa do gerador
- Regulação de fator de potência (pequenas unidades geradoras);
- Regulação de corrente de campo e tensão de campo;
- Limites operativos dinâmicos do gerador;
- Estabilizador de Sistema de Potência, PSS (*Power System Stbalizer*);
- Controle da referência de velocidade, referência de potência e referência de posição;
- Controle do Processo de Excitação e Desexcitação do Gerador;
- Automatismos de periféricos;

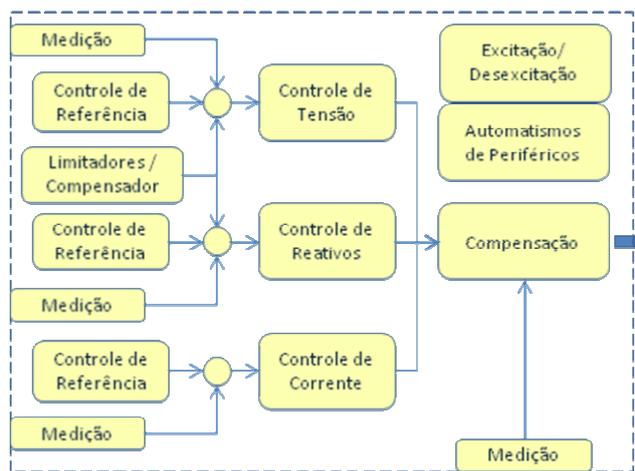


Figure 3 - Diagrama simplificado da Regulação de Tensão

Na evolução natural dos sistemas de regulação em *MIBIELLI, Ângelo – Aplicação de Reguladores Integrados de Tensão e Velocidade*, a integração dos sistemas de regulação sobre uma única plataforma permite vislumbrar um ambiente semelhante a da proteção elétrica que também integrou todas suas funções de proteção em uma arquitetura multifunção onde todas as funções de proteção são executadas sobre uma mesma plataforma de processamento digital.

História do IEC61850

Em 1988 o EPRI e o IEEE iniciaram o projeto “*Utility Communications Architecture (UCA)*” sob o projeto “*The Integrated Utility Communication*” (IUC). O objetivo do projeto UCA era fazer a provisão para a interoperabilidade entre os sistemas de controle empregados para monitorar e controlar as utilidades de energia elétrica. Inicialmente o projeto UCA centrou-se sobre comunicações entre centros de controle, e comunicações entre subestações e centros de controle. EPRI e IEEE realizaram o projeto UCA em colaboração com a Pacific Gas and Electric company e Houston Light and Power Company. O resultado desta colaboração era uma arquitetura padrão das comunicações referida como a versão 1.0 do UCA.

A versão 1.0 do UCA não forneceu uma descrição detalhada de como a arquitetura de sua comunicação deveria ser executada e usada de forma prática em dispositivos do campo, conseqüentemente a adoção da arquitetura do UCA na indústria era limitada. EPRI e IEEE continuaram com seus esforços para melhorar a arquitetura do UCA patrocinando um número de projetos de investigação tais como a proteção integrada de subestação, controle, e aquisição de dados, e os grupos de trabalho do fórum do MMS (*Manufacturer Message Specification*). Estes

esforços conduziram às especificações completas de modelos de objeto de dispositivos do campo, isto é definições dos dados e das funções de controle fornecidos por estes dispositivos de campo, em o que se transformou na versão 2.0 do UCA.

Em 1997 EPRI e IEEE juntaram esforços com grupo de trabalho 10 (WG10) do comitê técnico 57 do IEC (TC57) para construir um padrão internacional comum para comunicações do serviço de utilidades elétricas. Estes esforços foram baseados em conceitos e em definições da arquitetura do UCA e conduzem à criação de um padrão nomeado IEC 61850 que foi projetado para prever a interoperabilidade, comunicação rápida entre os dispositivos do campo, garantido tempo de resposta dos dados, e suporte da configuração.

As características do IEC 61850 incluem:

- **Modelagem de dados** – Modelo completo da funcionalidade de plantas elétricas (subestação ou usina), modelado em nós lógicos de diferentes padrões que podem ser agrupados sob dispositivos lógicos diferentes. Existem nós lógicos para dados e funções relativos ao dispositivo lógico (LLNO) e ao dispositivo físico (LPHD).
- **Esquemas de relatório** – Há uns vários esquemas de relatório (& de BRCB - *Buffered Report Control Blocks*; URCB - *Unbuffered Report Control Blocks*) para dados de relatório do usuário com um relacionamento do usuário-cliente que pudesse ser disparado baseado em condições predefinidas do disparador.
- **Transferência Rápida de eventos** – Conhecidos como “*Generic Substation Event*” é definido para rápida transferência de dados do evento através de uma comunicação tipo ponto a ponto virtual na rede. Sendo subdividido em GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) e GSSE (*Generic Substation Event*).
- **Grupos de ajuste** – Os blocos de controle de grupo do ajuste (SGCB - *Setting Group Control Block*) são definidos para assegurar que o usuário possa comutar a qualquer grupo ativo de acordo com a necessidade.
- **Transferência de dados amostrados** -- Os esquemas são definidos igualmente para assegurar transferência de valores amostrados usando os blocos de controle tipo “*Sampled Value Control Blocks* “ (SVCB).
- **Comandos** – Os vários tipos do comando são suportados igualmente pela IEC 61850 que incluem os comandos tipo “selecione antes de operar” (*SBO - select before operate*) com seguranças normais e realçadas.
- **Armazenamento de dados** -- A linguagem de configuração é definida para o armazenamento completo de dados configurados em um formato específico.

Automação da Unidade Geradora

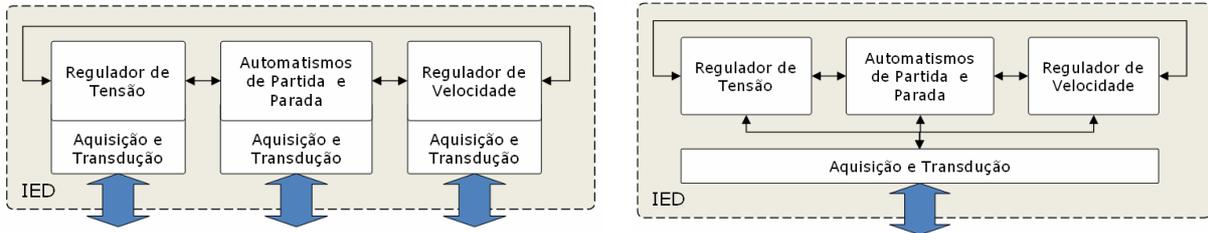
A automação da unidade geradora compreende um conjunto de funcionalidades que são executadas por diversos sub-sistemas acoplados à turbina e ao gerador que permitem promover a partida, início de rotação da turbina, comandando seus periféricos, tais como travas, unidades hidráulicas, freios e outros, bem como atuar no sequenciamento de parada da unidade geradora, com os mesmos periféricos. Estes automatismos em geral são realizados por CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e nos sistemas mais antigos por sistemas convencionais eletromecânicos intertravados. No caso de sistemas digitalizados, utilizando CLPs, estes comandam os automatismos, bem como os sistemas de regulação de tensão e sistema de regulação de velocidade, formando um sistema hierárquico de nível 2 no Sistema SCADA, tal qual apresentado em *MIBIELLI, Ângelo – “Integração de sistemas na pequena central hidrelétrica”*. Contudo a evolução dos sistemas de regulação, integram também estes automatismos de partida e parada em uma mesma plataforma de processamento, veja em *MAZZOLENI, José C. – “Sistema integrado de regulação e automação: sistema integrado versus sistema coordenado”*. Fazendo um paralelo entre as atuais plataformas de proteção de sistemas elétricos, conhecidas como proteções multifunção, onde todas as funções do relé estão sobre um único IED com seus diversos nós lógicos, as funções de regulação e automação seriam outro IED com seus diversos nós lógicos. Neste caso a integração das funções é realizada em hardware, software e protocolo de comunicação. Uma arquitetura com IEDs distribuídos numa rede, cada qual realizando sua função e integrados através do protocolo de comunicação.

Nos dois casos as principais características do protocolo IEC61850 descritas acima são fundamentais, algumas menos ou mais importantes conforme a arquitetura, com o hardware integrado ou com o hardware distribuído.

IEC61850 e Sistemas Integrados de Regulação de Tensão, Velocidade e Automação

O aspecto inovador da IEC 61850 é a abstração da localização física de uma funcionalidade de proteção, controle e automação na rede. Baseado neste conceito, um esquema de proteção, controle ou automação poderia estar distribuído em diferentes dispositivos de hardware conectados pela rede ou concentrados em um único dispositivo de hardware. Com base neste aspecto, se analisarmos os tradicionais sistemas de automação baseados em CLPs e o controle de velocidade e regulação de tensão realizados por dispositivos independentes caracteriza uma aplicação de automação e controle com dispositivos físicos independentes. Entretanto a norma nos permite abstrair para um sistema integrado de automação e controle, com a automação, regulação de tensão e regulação de velocidade de uma unidade geradora, todos executados sobre um mesmo dispositivo físico. A modelagem

deste sistema segundo a IEC61850 seria uma combinação de dispositivos lógicos e físicos que poderiam estar concentrados ou distribuídos. Veja o diagrama abaixo essa filosofia.



Neste primeiro diagrama, mais conservador, cada logical device possui sua aquisição e transdução de dados com todos os seus nós lógicos, o que seria correspondente a ter dispositivos lógicos (*logical device*) separados em dispositivos de hardware (*physical devices*) independentes.

Neste diagrama os dispositivos lógicos otimizam e compartilham os dados de aquisição e transdução em um único dispositivo de hardware. Otimizando também os nós lógicos da modelagem.

Figure 4 – Diagramas de IEDs

A implementação em um mesmo IED com os dispositivos lógicos e seus nós lógicos otimizados, permite vislumbrar um mesmo ambiente já trilhado pela proteção elétrica, a multiproteção.

Contudo integrar em um mesmo IED a proteção, o bloco de automação com regulação, não parece ser uma tendência, mas sim manter dois blocos de hardwares distintos com uma integração através do protocolo IEC 61850, com iteração entre as partes e troca de dados.

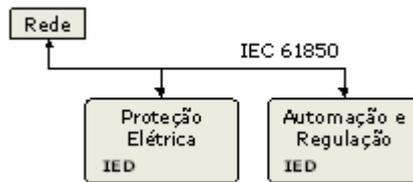


Figure 5 - Blocos de Função

Um ponto fundamental a ser comentado é a plataforma de hardware e a plataforma de software do IED. Ambas devem dar suporte à necessidades a serem implementadas, seja esse um sistema distribuído ou um sistema integrado. O hardware deve atender aos requisitos específicos destes sistemas bem como os requisitos técnicos de uma subestação ou usina. Muitos são os sistemas adaptados a estes meios que sequer atendem ao requisito de isolamento das centrais. Um hardware de um IED com requisitos para operar como sistema de regulação de tensão, sistema de regulação de velocidade e sistema de automação deve atender as necessidades de tempo de resposta, precisão e resolução adequados a cada um destes sistemas.

O software base do sistema onde devem estar construídos os algoritmos de controle, regulação e automação deverá permitir a programabilidade para facilitar a adequação as outras camadas de software que são implementadas no IED.

A utilização de programação baseada em IEC1131C permite facilidades extras na conexão com a camada de software que modela a IEC61850. Observe no diagrama abaixo as características das camadas de software.



Figure 6 - Software em Camadas

Podemos observar que o IED deve possuir uma arquitetura que permita implementar as malhas de controle para formar o IED com funções integradas de automação e regulação, garantindo a performance necessária para estes sistemas e para a camada de comunicação. A camada de comunicação também deve ser modelada e relacionada a camada aplicativo, veja a modelagem exemplo da camada de comunicação IEC61850, apresentada abaixo até o nível do dado.

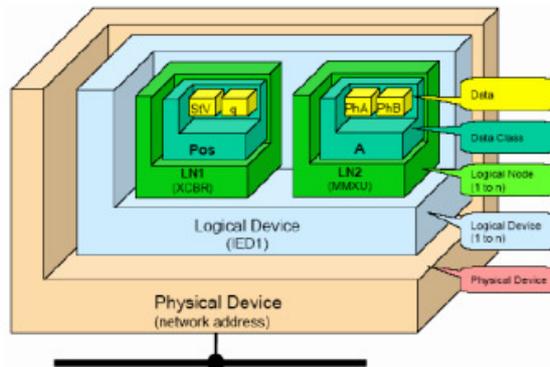
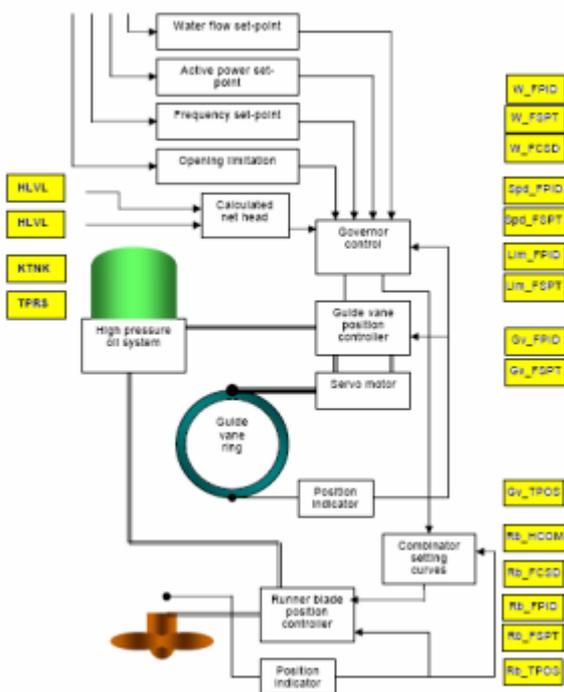


Figure 7 - Modelagem IEC61850

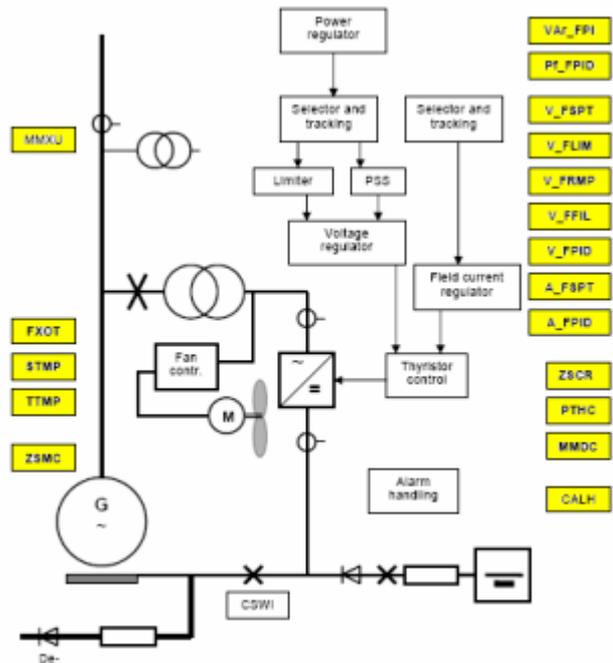
No passado implementações de integração da automação com regulação e utilizando uma camada de comunicação em IEC61850 foram feitas em hardwares separados tal qual citado em LIDÉN, Jonas - Design and Implementation of an IEC 61850 gateway for PLC Systems. Atualmente as plataformas de hardware e software já permitem processar todas essas funções em um mesmo IED, graças aos constantes evoluções em poder de processamento, armazenamento e expansão de I/Os.

A proposição da norma IEC61850 apresentada abaixo é um modelo genérico, cada fabricante tem sua modelagem na camada do aplicativo com suas características de implementação da malha de controle e automatismos, cada qual gerando seu diferencial para o mercado. Contudo o conjunto de Nós Lógicos padronizados pela IEC61850 será aplicado na modelagem da camada de comunicação.

Veja abaixo a modelagem classica para os reguladores de tensão e velocidade segundo a norma IEC61850-7-410 Hydroelectric power plants – Communication for monitoring and control.



Modelagem IEC61850 para Regulador de Velocidade



Modelagem IEC61850 para Regulador de Tensão

Figure 8 - Modelagens Exemplo do IEC61850

A nova extensão da norma, IEC 61850-7-410 estabelece as classes de dados, nós lógicos e objetos de dados adicionais para o uso da IEC 61850 em plantas hidrelétricas. Essas novas extensões estão relacionadas a quatro grandes grupos de aplicação:

- Funções elétricas
- Funções mecânicas
- Funções hidrológicas
- Sensores

Na IEC61850-7-410 foram adicionadas diversas nós lógicos para as plantas hidrelétricas. Algo similar foi realizado inicialmente com plantas eólicas, referenciada na norma IEC 61400-25, ainda que este tema não será tratado neste artigo. O intuito da norma é agregar os diversos modelos de dados para as distintas aplicações de instalações de utilidades elétricas.

Para uma modelagem de um sistema integrado de automação e regulação, observada a tabela acima, otimizada os diversos Nós Lógicos serão combinados para se obter uma modelagem da camada de comunicação, contudo é possível que nem toda a informação das malhas de controle e automatismos possam ser representadas nestes nós lógicos, casos por exemplo de estruturas mais complexas de controle onde não existam correspondentes nós lógicos. Contudo as aproximações realizadas hoje em diversas implementações atendem as necessidades da maioria dos projetos.

Uma equipe utilizando as mesmas ferramentas de desenvolvimento e implementação do projeto, sobre um IED Integrado utilizando protocolo IEC61850 na camada de comunicação, permite uma iteração muito maior que equipes específicas para a implementação em cada IED e na camada de comunicação. A otimização do hardware e a otimização do software, acabam otimizando também os recursos humanos. Essa integração nos recursos geram uma maior padronização do projeto e também uma mesma linguagem de programação em sistemas distintos. Isto é, mesmo que o especialista na programação de um regulador de tensão esteja envolvido somente com a programação de suas funções do sistema, poderá acessar as funções da regulação de velocidade e dos automatismos uma vez que foram construídos dentro do mesmo IED e também utilizando as mesmas linguagens e padronizações da programação.

2.0 - CONCLUSÃO

A implementação de um sistema integrado de regulação e automação com uma modelagem IEC 61850 tende a simplificar tanto a modelagem do aplicativo, como a modelagem da camada de comunicação IEC 61850. Uma modelagem eficaz e simplificada permite um aumento da facilidade de testes e ensaios.

Importante salientar que à medida que novas estruturas de controle e novas arquiteturas de sistemas são criadas devem ser criados novos nós lógicos padronizados para atender essas necessidades. Ponto importante é que implementações em IEC 61850 para Usinas Hidrelétricas são muito recentes. Novos desafios estão por vir e muitos serão percebidos durante as implementações dos projetos.

A integração de sistemas de automação e regulação já é uma realidade no mercado, veja as referências apresentadas. A evolução dos sistemas digitais com cada vez maior capacidade de processamento, maior memória, maior capacidade de armazenamento de dados, bem como a capacidade de se comunicar através de protocolo IEC 61850 e tudo isso processando sobre o mesmo hardware e software base. Com a comunicação em IEC 61850 integrando outras funções de outros IEDs, com maior confiabilidade. Podemos dizer que os fabricantes num futuro possam a vir a padronizar o hardware de aplicação industrial, gerando assim uma maior interoperabilidade entre os sistemas das plantas de geração. IEDs de qualquer fabricante padronizado executando o aplicativo integrado e com comunicação padronizada IEC61850, parece ser uma boa tendência.

3.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MAZZOLENI, José C. e MIBIELLI, Angelo, PAIVA, Paulo M., “Sistema Integrado de Regulação e Automação: Sistema Coordenado versus Sistema Integrado”, XIX SNPTEE, GGH – Grupo de Geração Hidráulica, Rio de Janeiro, Outubro de 2007.
- (2) MIBIELLI, Angelo, et alli, “Aplicação de Reguladores Integrados de Tensão e Velocidade” , XIX SNPTEE, GGH – Grupo de Geração Hidráulica, Rio de Janeiro, Outubro de 2007.
- (3) LIDÉN, Jonas - Design and Implementation of an IEC 61850 gateway for PLC Systems, Master Thesis Stockholm, Sweden 2006 - XR-EE-ICS 2006:021
- (4) MIBIELLI, Angelo, PAIVA, Paulo M., ZENI Junior, Nelson, “Integração de sistemas na pequena central hidrelétrica”, XIX comitê brasileiro de barragens - VI seminário brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas - Belo Horizonte – MG, 21 a 25 de abril de 2008.
- (5) NORMA IEC61850-7- 410, Edition 1.0 2007-08 - Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-410: Hydroelectric power plants – Communication for monitoring and control
- (6) IEC 61850. Disponível em < <http://en.wikipedia.org/wiki/IEC61850> >, acessado em 04/03/2009.
- (7) IEC 61850. Disponível em < http://www.digitalbond.com/wiki/index.php/IEC_61850 >, acessado em 05/03/2009.
- (8) ZEL, L. van der, EPRI, 2004. Guidelines for Implementing Substation Automation Using IEC61850, the International Power System Information Modeling Standard, EPRI.

DADOS BIOGRÁFICOS

Ângelo Mibielli

Nascido no Rio de Janeiro em 06 de junho de 1967.

Graduação em Engenharia Elétrica: Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis (1992).

Empresas: Itaipu Binacional desde Agosto 2008

É engenheiro do departamento de engenharia, divisão eletromecânica da diretoria técnica da ITAIPU Binacional, atua por muitos anos na automação de centrais hidrelétricas e na modernização. Atualmente cursa Pós-graduação Lato Sensu em Automação Controle e Supervisão do Processo Elétrico Baseado na Norma IEC 61850, através do ITAI – Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação no Parque Tecnológico de ITAIPU.

Cláudio Dantas de Oliveira

Nascido em Apucarana, Paraná, em 13 de setembro de 1969.

Graduação em Engenharia Elétrica: UFTPR - Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba (1993).

Empresas: Consultor

É graduado em Engenharia elétrica pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná – UFTPR (1993); Mestre em Gestão da Tecnologia e da Inovação pela Université de Technologie de Compiègne, França (1995) e diploma de Especialização em Administração Industrial pela Universidade Federal do Paraná UFPR (1996) e Teleinformática e Redes de Computadores pela UFTPR (2001). Atualmente cursando MBA em Marketing pela FGV-SP (2009).