IX SIMPASE
Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos

Versão 1.0
14 a 17 de agosto de 2011
Curitiba – Paraná

Investigação do Funcionamento do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2) Uma Abordagem Prática

Paulo Sergio Pereira Junior(*)
Conprove Indústria e Comércio

Rodrigo Ramos
Conprove Indústria e Comércio

Cristiano Moreira Martins
Conprove Indústria e Comércio

Paulo Sergio Pereira
Conprove Engenharia

Gustavo Espinha Lourenço
Conprove Engenharia

RESUMO

Este artigo tem como objetivo explorar a fundo o Barramento de Processos especificando detalhadamente cada um de seus componentes para esclarecer o seu funcionamento, analisando sua estrutura, a composição das mensagens e verificando seu comportamento.

O estudo demonstra experiências práticas através da montagem de um barramento de processos completo, desde a digitalização do sinal, passando pela transmissão, até a chegada ao IED de recebimento, com verificação em laboratório do sistema em ação.

A finalidade deste trabalho é prover informações para que o leitor possa esclarecer suas dúvidas sobre como realmente funciona o Barramento de Processos (Sampled Value) na implementação 9-2LE.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850-9-2; Sampled Measured Values (SMV); Barramento de Processo; Testes; IED´s

1.0 - INTRODUÇÃO

Com a evolução das redes de comunicação nos últimos anos, a Norma IEC 61850 está cada vez mais presente no dia a dia dos envolvidos com automação, proteção e controle das Subestações. A IEC 61850 é o tema que mais se discute nos fóruns da área em todo o mundo.

Este trabalho foca a norma IEC 61850, mais precisamente sua parte 9, no que diz respeito ao barramento de processos e tudo aquilo que o cerca para criar sua condição de funcionamento.

A IEC 61850 é pautada na interoperabilidade entre os dispositivos e abrange os 3 níveis do Sistema de Automação de Subestação (SAS): da Estação, do Bay e do Processo. Isto ocorre por dois barramentos: o barramento da estação e o de processos, com requisitos diferentes para cada tipo de comunicação.

A implementação da norma 61850 traz várias alterações quanto às formas de troca de informações para os processos das subestações, sendo elas:

a) A comunicação vertical com destino ao Supervisório, que era feita por protocolos anteriores a Norma IEC 61850, pode ser realizada com o serviço Cliente-Servidor.

(*) Rua Visconde de Ouro Preto, n˚ 75 – CEP 38.405-202 Uberlândia, MG, – Brasil
Tel: (+55 34) 3218-6800 – Fax: (+55 34) 3218-6810 – Email: conprove@conprove.com.br

b) As trocas de Status entre relés, em que se usava fiação de cobre para interligar as binárias (digital I/O), passaram a ter a opção da troca de mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), utilizada nas lógicas e intertravamentos.

c) O circuito dos secundários dos transformadores de instrumentação que chega aos medidores/relés (IED´s em geral) pode ser substituído pelas mensagens de Sampled Value (SV), com o envio dos valores já digitalizados. Estas mensagens poderiam originar-se de TP´s e TC´s eletrônicos ou de Merging Units.

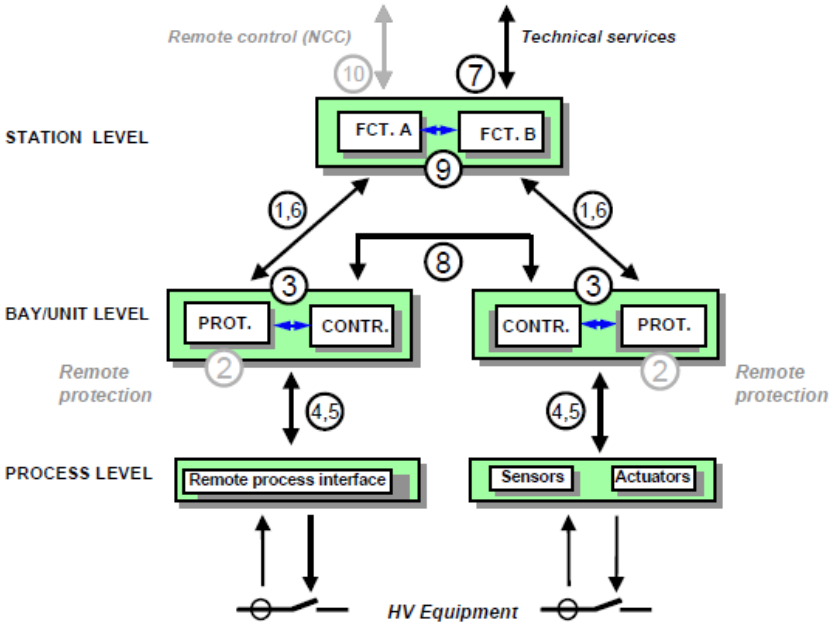

FIGURA 1 – Níveis e Interfaces Lógicas no SAS

Os dados digitalizados provenientes dos TC´s e TP´s são tratados pela Interface Lógica de numero 4, IF4, como mostrado na figura 1, contida na norma. Esta interface lógica faz a conexão entre o nível de processo e o nível de bay.

Uma das mais interessantes formas de comunicação apresentadas pela norma acontece no Barramento de Processos (Process Bus) que é o envio do Sampled Mensured Value (SMV), tratado neste estudo. Até hoje este tópico é relativamente pouco explorado, mas gera um grande interesse e expectativa.

2.0 - A ESSÊNCIA DO BARRAMENTO DE PROCESSOS

Caso pudéssemos definir o SV de uma forma simplória, este poderia ser definido como sendo o deslocamento físico do conversor A/D, hoje localizado na entrada do IED, para o pátio da Subestação, já trazendo assim o sinal digitalizado via rede ethernet, distribuindo aos IEDs na casa de comando.

Um switch distribui as mensagens SV aos IED's e o uso de Virtual LAN evita o carregamento da rede segmentando-a. É importante lembrar que a rede Ethernet, por possuir um chaveamento estatístico, pode criar atrasos não determinísticos na transmissão dos pacotes (conforme a 61850-5 P2/3 se aceita um atraso máximo de 3ms).

Vale lembrar que com o emprego do Barramento de Processos, já não se trabalha mais com potência/energia do secundário de TC´s e TP´s, mas somente com a sua informação na forma digital.

Esta troca de meio de envio da informação pode gerar uma grande economia de cabos, visto que um único cabo de fibra óptica transporta informações do sistema trifásico e neutro. Esta redução de cabos pode gerar uma economia financeira de 25 a 50%, segundo a GE (6). A redução de custos está levando em conta os investimentos em instalação, comissionamento e manutenção, com material e mão de obra.

É importante salientar que o sistema permite o monitoramento online do sinal, identificando se o mesmo está sendo transmitido e os status quanto a sua integridade através dos quality bits presentes na mensagem.

A norma IEC 61850 é uma norma relativamente recente e ainda não há um consenso geral sobre a maneira de implementação do Sampled Value (parte 9). Ela permite interpretações, criando assim duas grandes vertentes: *Process Bus Hard Fiber Brick* e *9-2LE (Light Edition)*. O Brick é utilizado nos IED´s da GE. Já o 9-2LE, segue o guia de implementação da UCA "IMPLEMENTATION GUIDELINE FOR DIGITAL INTERFACE TO INSTRUMENT TRANSFORMERS USING IEC 61850-9-2" escrito no ano de 2004. Neste artigo trataremos a implementação do modo 9-2LE.

Existem várias diferenças entre as duas metodologias e compará-las não é parte do escopo deste estudo. Para maiores informações, favor consultar a bibliografia (2).

De acordo com o guia de implementação da UCA, o 9-2LE deve seguir as seguintes especificações:

Tabela 1 – Especificações do Barramento de Processos segundo a 9-2 Light Edition

Taxas de Amostragem (60Hz)	Proteção utiliza 4800 samples/s 80ppc (pontos por ciclo) e para Medição 15360 samples/s 256ppc
Taxa de Envios	Para Proteção utiliza-se 1ASDU (Application Service Data. Unit) gerando um tráfego de 4800 frames/s e para Medição 8ASDU gerando 1920 frames/s. Observa-se neste quesito que mesmo com uma taxa de amostragem maior, a medição possui uma taxa de envio menor que a da Proteção.
Sincronismo	O mecanismo de sincronização deve ser 1PPS transmitido por fibra óptica e a fonte de sincronismo deve possuir precisão de ±1us. O Sample Count é incrementado a cada amostra e zerado a cada pulso de sincronismo. Este método é utilizado para garantir a sincronização da aquisição entre vários dispositivos sem perda da referência angular.
Concatenação ASDU´s por APDU (Application Protocol Data Unit)	Varia de acordo com a taxa de amostragem: para 80ppc usa-se 1ASDU, já para 256ppc usa-se 8 ASDU´s. Na Proteção utiliza-se uma mensagem de SV para carregar cada amostra, já na medição cada mensagem carrega um conjunto de 8 amostras
Estrutura Quality bits	Indica a confiabilidade do sinal amostrado. O documento do grupo UCA traz 12 status e adiciona mais o derived que indica se a amostra é calculada ou medida
Camada física	Recomenda-se o uso do 100Base-FX com conector ST e como únicas alternativas o uso do 100Base-FX (MT-RJ) ou 100Base-TX (RJ-45). Hoje muito se fala sobre os conectores LC, porém nada é citado no guia.

O guia UCA deixa dois itens em aberto para futuras implementações. O primeiro é a possibilidade de uso do IRIG-B como alternativa ao 1PPS na sincronização e o segundo seria a melhora do status de sincronismo que ao invés de apenas indicar se está ou não sincronizado poderia sinalizar se é um sincronismo local ou global.

2.1 "DISSECANDO" O FRAME SAMPLED VALUE

O Frame SV roda sobre a 2ª Camada OSI de Rede (Camada de Enlace / Ethernet) para conseguir os requisitos de tempo e possuir alta velocidade. A mensagem SV é multicast e trabalha com Priority Tag e V-LAN (podendo ser parametrizado até 4096 V-LAN´s diferentes).

Os quadros ethernet das mensagens de SV utilizam o código Ethertype 88BA e faixa de endereço de multicast de 01-0C-CD-04-00-00 até 01-0C-CD-04-01-FF. O documento do guia de implementação do Light Edition exige o APPID 0x4000 (a norma admite valores de 0x4000 a 0x7FFF).

O APDU (Aplicaton Protocol Data Unit) é estruturado por um ou mais ASDU´s, Cada ASDU contem seu Dataset com os dados digitalizados (Value) e a informação de qualidade destes dados (Quality).

O Value (inteiro de 32 bits) é a amostra digitalizada de uma aquisição instantânea, sendo no 9-2 LE sempre 8 amostras por ASDU, onde as 4 primeiras são informações de corrente (fases A, B, C e Neutro) e as 4 últimas são referentes à tensão (fases A, B, C e Neutro).

O Quality ou Quality Bits é composto por 4 Bytes e informa a qualidade da amostra (existe um para cada Value). Existem três condições para a validade do dado:

Good: Indica que não há nenhuma condição anormal na função de aquisição ou da fonte de informação.

Invalid: Indica que há alguma condição anormal na função de aquisição ou da fonte de informação. O valor não deve ser definido nesta condição. Indica ao cliente que o dado pode estar incorreto e não deve ser usado.

Questionable: Indica que a função de supervisão detectou um comportamento anormal, contudo o valor pode ainda ser válido. Cabe ao cliente decidir se o valor deve ou não ser usado.

A MU constrói o quality de acordo com os status que recebe de seu hardware, indicando ou não, se há alguma inconsistência quanto à confiabilidade das amostras. Porém, cabe ao IED que está recebendo os dados realizar a análise do quality e proceder com a decisão de utilizá-los ou descartá-los.

Uma análise que é interessante ser feita é o espaçamento de tempo que se terá entre amostras. Por exemplo, para proteção (80 ppc) em 60 Hz tem-se:

80 * 60 = 4800
1 / 4800 = 208 micro segundos entre amostras, ou seja entre mensagens.

Este é o tempo (sem atrasos) que o sistema (MU - IED) teria para amostrar o sinal, gerar a mensagem no formato SV e enviar o frame.

2.2 O SISTEMA DESENVOLVIDO

Este tópico do artigo aborda a avaliação de um sistema de transmissão e recebimento de dados de acordo com a 61850-9-2 (Barramento de Processos). Vale destacar que este sistema é um projeto com tecnologia / know how nacional.

Para a realização dos testes foram utilizados uma Mala de Testes CE6006, um sincronizador via satélite modelo CE-GPS - ambos de fabricação da Conprove -, um Switch RuggedCom, um hardware desenvolvido para digitalizar e enviar o SV (Merging Unit), além de outro hardware para receber e reconstruir a forma de onda.

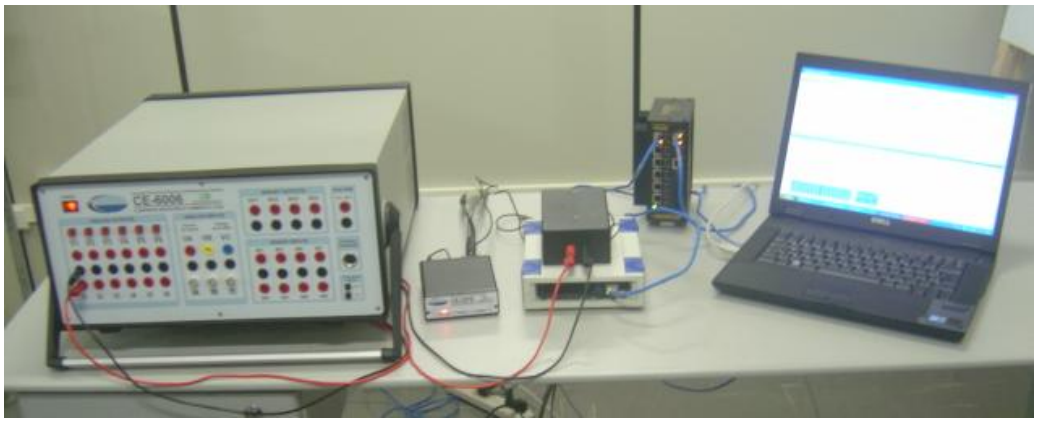

FIGURA 2 – Primeiro sistema montado realizando a digitalização e o envio

A princípio foi montado um sistema de envio, via rede ethernet, dos valores amostrados (SV) de acordo com o formato da norma IEC 61850-9-2 LE, simulando assim uma Merging Unit.

Os dados enviados pelo modelo foram inicialmente analisados através de um analisador de protocolo. Posteriormente um hardware de recebimento foi inserido ao sistema com a função de decompor o tráfego da rede

fazendo a verificação de cada pacote SV, extraindo os parâmetros de qualidade (qualitybits) e as amostras dos valores de tensão / corrente e assim recriando a forma de onda original.

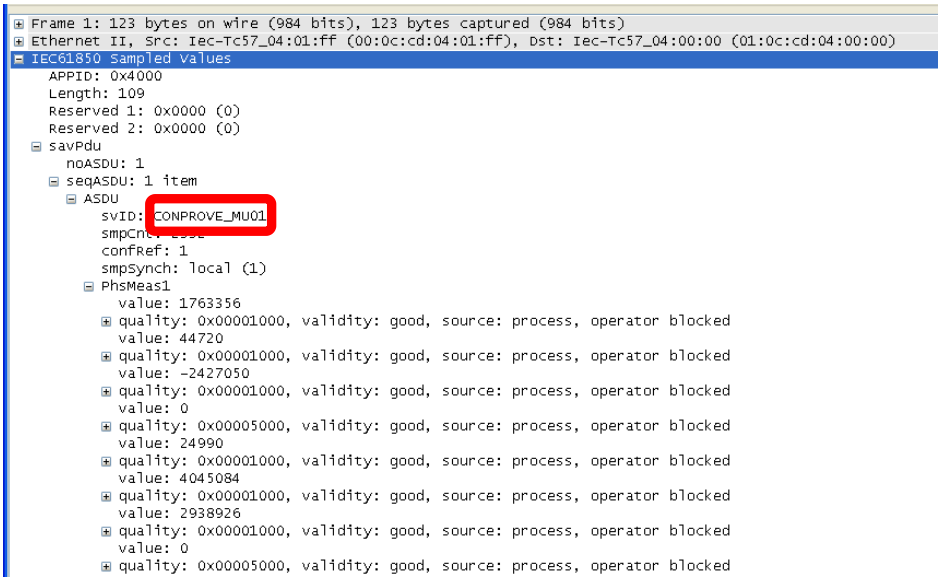

FIGURA 3 – Exemplo do frame SV capturado pelo analisador de protocolos com svID CONPROVE_MU

Foram realizados testes em uma rede com 10 MU´s, com um tráfego de 48000 pacotes por segundo. Se analisarmos em largura de banda obteríamos aproximadamente 47 Mbps, de um tráfego contínuo para uma mensagem de 123 Bytes de tamanho.

123 Bytes * 8 = 984 bits
984 bits * 80PPC * 60Hz = 4,72 Mbps, taxa esta por Merging Unit
Considerando 10 MU tem-se: 10 * 4,72 = 47,2 Mbps

Nos testes com as 10 MU´s não houve perdas de pacotes no hardware desenvolvido.

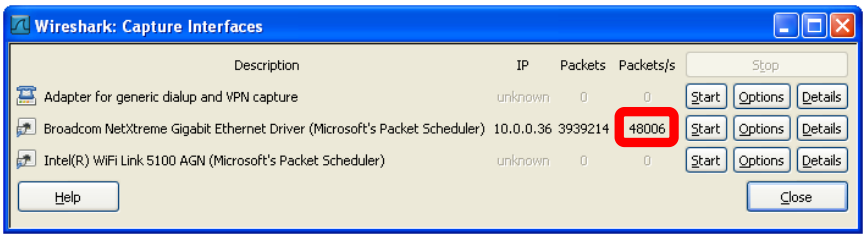

FIGURA 4 – Avaliação do Tráfego na Rede exibindo a taxa de 48.000 Frames por segundo, taxa de dez MU´s

2.3 Testes no Sistema Completo

O sistema desenvolvido representa um ciclo completo, trabalhando com duas partes: uma responsável pelo envio e a outra pelo recebimento das mensagens de Sampled Mensured Value.

A etapa de envio consiste em um condicionador de sinal de entrada, seguido de um filtro, que alimenta o conversor A/D, digitalizando e enviando a um processador que formata o dado na estrutura do frame SV. Este frame é enviado para o controlador de rede onde a mensagem é disparada via rede ethernet.

O sistema montado usa a taxa de amostragem para proteção de 80 ppc, totalizando 4800 frames/segundo. Hoje a maioria dos relés comerciais trabalha com a taxa de 32 ppc para realizar as tarefas de proteção, ou seja, o sistema estará trabalhando em uma taxa superior, porém como o mecanismo do SV não permite reenvio, caso um pacote seja perdido, uma amostra deixará de chegar ao IED que está recebendo o sinal.

Um pulso de 1PPS vindo de um sistema de precisão de GPS do equipamento CE-GPS de fabricação da Conprove gera a base de sincronismo para a aquisição. No estouro de 1 segundo é sincronizada a amostra e o Samplecount é zerado.

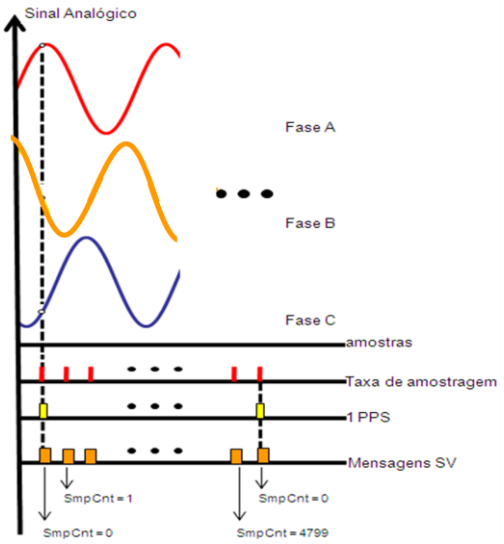

FIGURA 5 – Mecanismo de Atualização do SampleCount

Já a etapa de recebimento é formada por um controlador de rede que recebe a mensagem SV e passa ao processador que interpreta o dado. Este dado é por sua vez entregue ao conversor D/A juntamente com um filtro (com atraso de 103 micro segundos na frequência fundamental), retornando assim o sinal da forma original, analógico.

Assim o sinal analógico é convertido em digital e encapsulado de acordo com a estrutura do pacote SV. Após esta etapa é enviado pela rede ethernet. Ao chegar ao destinatário o frame é desencapsulado e seu valor interpretado. Após esta interpretação o dado é passado a um conversor D/A que novamente gera o sinal analógico, reconstruindo-o.

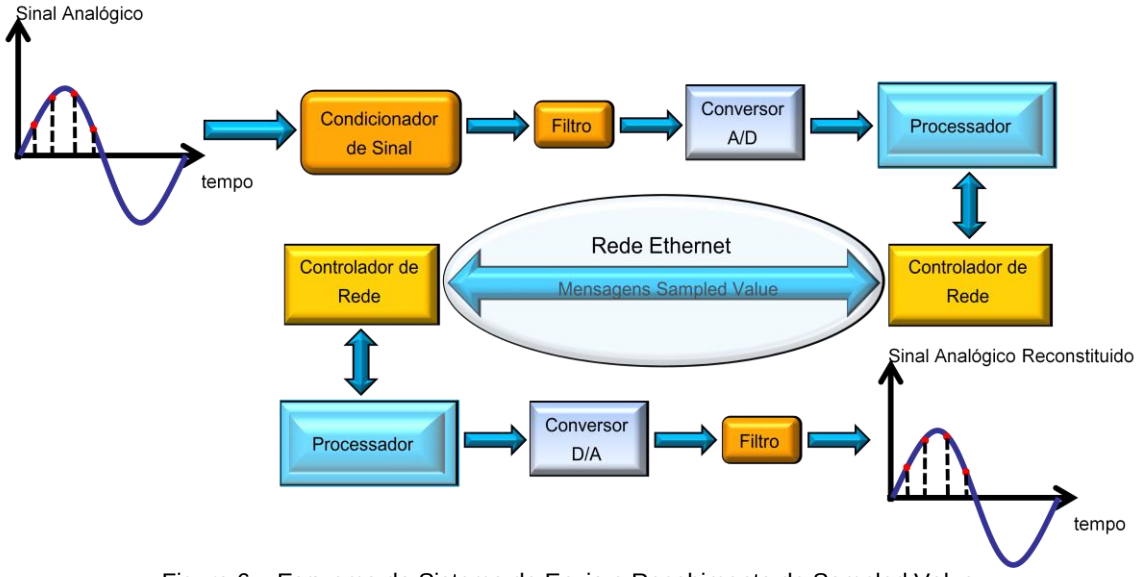

Figura 6 – Esquema do Sistema de Envio e Recebimento de Sampled Value

Na geração do stream de SV há dois tipos diferentes de fonte de atraso: a conversão A/D + Processamento Digital e posteriormente o atraso de transmissão. Portanto é importante que se distinga um atraso de outro.

O atraso de digitalização / processamento digital é um atraso relativamente pequeno (cerca de poucos micros segundos). Já o atraso de transmissão pode ser um atraso maior, porém de acordo com o método da sincronização com 1PPS o atraso de transmissão não afeta o ângulo de fase, visto que o momento da amostragem é controlado por um *clock* que é reajustado a cada segundo.

Consideremos uma proteção que possui um tempo de atuação de 20ms. Ela pode ter o seu tempo aumentado, por exemplo, para 23ms (sendo 3ms de atraso máximo da transmissão), quando utilizado o stream de SV ao invés de

utilizar o sinal V/I analógico. Nas figuras 7 e 8, pode-se ver a entrada e a saída do sistema, recordando que a diferença dos sinais não se trata somente de uma diferença de fase, e sim do tempo despendido para digitalizar, processar, transmitir e reconstruir o sinal, que foi realizado em menos de 300 micro segundos somados aos 100 micro segundos inseridos pelo filtro. Ou seja, no caso, o sistema testado geraria uma diferença no tempo de atuação de um relé de proteção de apenas 0,4 ms.

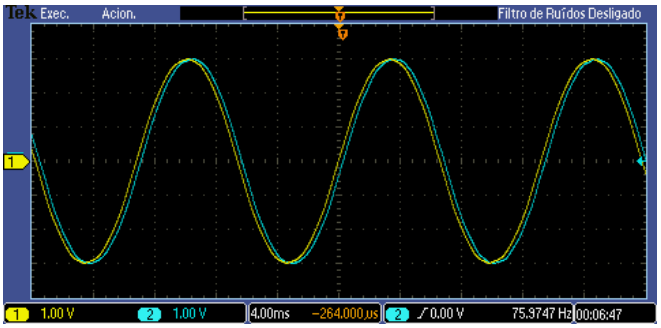

Figura 7 – Formas de onda do osciloscópio sobrepondo entrada e saída do sistema

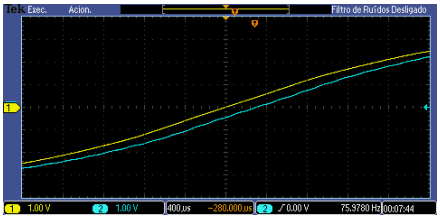

Figura 8 – Detalhe do tempo do sistema

Em uma situação mais complexa, pode ser que a decisão do IED seja formada por sinais que venham de duas ou mais Merging Units diferentes, por exemplo, em uma proteção de barra. Para comparações de sinais de diferentes MU´s o IED deverá verificar o SampleCount de cada um dos sinais e comparar o mesmo Sample Count, garantindo assim que estará confrontando o mesmo sinal no tempo.

Uma questão muito crítica que não foi tratada na norma é quanto à perda de pacotes (amostras) SV. Um pacote pode ser perdido, por exemplo, por sobrecarga excessiva da rede. Mas como tratar esta perda de pacote?

Como ainda não há um consenso geral, pode ser que o IED de recebimento venha a ter a responsabilidade de reconstruir este sinal, porém qual técnica deveria ser utilizada? Há varias opções tais como: manter a amostra anterior para a próxima, linearizar, interpolar, entre outras.

A possibilidade de uso da tecnologia é vasta. Ao alterar o paradigma, abre-se um universo de possibilidades. Com o uso das Merging Units e diminuindo-se a carga no secundário dos TC´s, por exemplo, poderiam diminuir as saturações o que evitaria várias atuações equivocadas dos dispositivos de proteção, dispensando o uso de algoritmos de detecção de saturação de TC´s.

2.4 INOVAÇÕES PARA A IEC 61850

Existem alguns desenvolvimentos a caminho que se relacionam com a norma IEC 61850 e com o Barramento de Processos sendo elas: norma de sincronização de tempo via Rede IEEE 1588, a tecnologia de rede ethernet em tempo real IRT (deixando um caminho livre para mensagens críticas), além da norma IEEE 802.1 AV que trata de transmissão de áudio e vídeo por ethernet.

A adoção da Ethernet em Tempo Real (IRT), tratada na norma IEC 61784-2 CP 3/6, permite a criação de um “caminho livre” para as mensagens de alta prioridade como uma mensagem GOOSE de trip ou mensagens de SV. Esta alteração ocorre no nível da camada de enlace, não afetando as definições de alto nível da IEC 61850.

Quanto à norma de sincronização temporal via rede, IEEE1588 (PTP), esta pode vir a alterar o modo como hoje se utiliza o sincronismo na Subestação, alterar o cabeamento do sinal do GPS, sendo que o 1PPS ou o IRG-B, poderá ser substituído, não havendo mais a necessidade de um cabeamento exclusivo para este propósito.

Recentemente a RuggedCom, fabricante de switchs industriais, lançou o modelo RSG2288 que já trabalha com o IEEE1588 em sua versão 2, podendo distribuir o sinal de sincronismo sob a rede ethernet. Para tanto os IED´s

devem estar aptos para isto. Para migração para esta nova tecnologia haverá a necessidade de alteração no hardware dos IEDs já instalados. A Conprove já possui linhas de pesquisas nesta área e já conta com switchs RGS2288 em seu laboratório.

Existem também pesquisas quanto à transmissão de áudio e vídeo através da IEEE 802.1 AV. Se pensarmos que um sinal de áudio ou vídeo é uma forma de onda de alto conteúdo harmônico, essas evoluções da rede ethernet sucedidas desta norma citada podem criar novas propostas para o envio do sinal digitalizado, pois outros grupos enfrentam problemas semelhantes.

3.0 - CONCLUSÃO

O teste desenvolvido contempla um sistema completo baseado em SV LE (80PPC), desde a digitalização do sinal, passando pela criação dos frames SV, envio pela rede, recebimento, interpretação da mensagem até a “volta” ao valor analógico. Verificou-se que a transmissão do sinal digital dos valores de tensão e corrente poderá substituir o tradicional cabeamento de secundário dos transformadores de instrumentação no futuro. Não foi avaliado o Stream SV para medição / qualidade de energia, que trabalha, pela 9-2LE com 256 ppc.

Haverá novidades que poderão vir a impactar o barramento de processos, como a possibilidade da adoção da sincronização por IEEE1588 ser a nova forma de sincronismo para a amostragem, além da Ethernet em Tempo Real (IRT) que poderá vir a ser implantada futuramente.

O SV mostrou que possui vantagens ligadas à economia e simplicidade no cabeamento, pois com um único cabo de fibra óptica pode-se carregar todos os sinais de tensão e corrente.

Conclui-se que o fluxo dos dados do barramento de processos é unidirecional seguindo sempre a direção da MU para os IED´s. Não há nenhum mecanismo de controle de confirmação da chegada dos dados (feedback), portanto caso algum pacote seja extraviado, o mesmo não será enviado novamente. Seguindo este raciocínio o IED passa a incorporar uma grande responsabilidade quanto à chegada dos pacotes fora de ordem, eventuais falhas na transmissão e perdas de pacotes. Cabe ao próprio IED tomar a decisão de como reconstruir o sinal com as amostras faltantes.

Algumas dúvidas ainda persistem, pois não foram tratadas na norma, como: Qual a quantidade máxima de amostras sequenciais perdidas que seria aceitável? Qual a quantidade máxima de amostras perdidas em um determinado tempo que podem ser aceitas? Espera-se que na revisão da norma sejam solucionados estes tópicos.

A instalação do barramento de processos ainda é algo recente, apesar de já ter sido contemplado na norma desde sua publicação, há alguns anos, porém ainda faltam no mercado opções de equipamentos adaptados a esta tecnologia. É inegável que a ideia da digitalização das amostras é algo que chama a atenção dos usuários pelo que propõe. Caso haja boa aceitação das subestações pioneiras, com o passar dos anos poderemos observar o crescimento na utilização desta tecnologia.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Norma IEC 61850– Communication networks and systems in substation – Todas as Partes - Primeira Edição.

(2) IEC 61850-9-2 Avaliação e Testes De Um Barramento De Processos - Pereira Junior, P. S,; Ramos, R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. – Seminário Técnico de Proteção e Controle, X SPTC de 2010.

(3) Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 – UCA International Users Group – Datada de 01/03/2004.

(4) Experimento de Sobre Carga com 15.000 Mensagens GOOSE por Segundo em uma Rede IEC 61850, e a Investigação de suas Conseqüências – Pereira Junior, P. S,; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XX SNPTEE de 2009.

(5) Testes de Performance em IED’s Através de Ensaios Utilizando Mensagens GOOSE (IEC 61850) – Pereira Junior, P. S,; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. – Seminário Técnico de Proteção e Controle, IX SPTC de 2008.

(6) HardFiber: Process Bus System Reference Manual – GE Publication Code: GEK-113500B de 2009.

(7) Next step in IEC 61850: Large applications and process bus applications – Hoga, C.; Rodrigues, J. R. M. – Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, VIII SIMPASE de 2009.