



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPC/05  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - V**

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

**MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE EM TEMPO REAL E AS NOVAS PERSPECTIVAS E APLICAÇÕES DO USO DO PROTOCOLO IEC61850 90-5, COM A FUNCIONALIDADE DE PMU's, NOS IED'S DE PROTEÇÃO ELÉTRICA**

**Rafael de Oliveira Fernandes\***  
Siemens Brasil

**Leíse Costa de Oliveira**  
Siemens Brasil

**Carlos Alberto Fiori Castelli**  
ISA CTEEP

**Silvio Aparecido Souza**  
ISA CTEEP

**Bruno Giacominni Isolani**  
ISA CTEEP

**RESUMO**

Este trabalho tem por finalidade mostrar a funcionalidade de um simulador de PMU, em tempo real, e os ganhos trazidos por tais simulações. A análise de dados históricos de PMU's também é analisada e simulada, em tempo real. Desta forma, é possível realizar previsões, de possíveis contingências, tais como: Estabilidade de Tensão em Regime Permanente, Estabilidade Angular frente a um Transitório Eletromecânico e outros, através da aquisição de dados de PMU's, de diferentes pontos de medição, e desenvolvimento de algoritmos específicos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Análise de Perturbações, Medição Fasorial Sincronizada, Sistema Interligado Nacional, Simulador de PMU's, Tempo Real, Relés de Proteção

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O aumento da complexidade operacional dos sistemas de energia elétrica tem demandado o aprimoramento constante dos instrumentos de monitoramento e controle em tempo real. Isto tem levado ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, tais como os sistemas de medição fasorial sincronizada (*Synchronized Phasor Measurement Systems* - SPMS). Nestes sistemas, unidades de medição fasorial sincronizada (*Phasor Measurement Unit* – PMU), instaladas em subestações (SEs), são responsáveis pela aquisição sincronizada dos fasores de tensões e correntes, enviando-os continuamente a concentradores de dados (*Phasor Data Concentrators* – PDC) instalados normalmente em Centros de Operação. As PMUs são sincronizadas a partir de uma base de tempo comum a todos os equipamentos, utilizando o sistema GPS (*Global Positioning Systems*), de forma de que os sincrofasores medidos por todos os equipamentos, em um mesmo instante de tempo, refletem um ponto de operação instantâneo do sistema elétrico. A manipulação dos dados dos sincrofasores, nos Centros de Operação, reflete nas análises elaboradas em todas as etapas de operação do sistema elétrico, ou seja, nas atividades de Planejamento da Operação, na Operação em Tempo Real e na Pós-Operação.

Baseado nessas premissas, o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) vem tabalhando em projetos com medição fasorial sincronizada cujo objetivo é a implantação de uma infraestrutura robusta, com disponibilidade adequada e segura e, através de ferramentas desenvolvidas, registrar e analisar o desempenho dinâmico do SIN (Sistema Interligado Nacional) e promover a melhoria ferramental de apoio à tomada de decisões em tempo real.

Inúmeras são as aplicações dos sincrofasores em sistemas elétricos de potência (SEPs), tais como aquelas

(\*)Av. Eng. João F.G. Molina, 1745 - CEP 13113-080 Jundiaí - SP - Brasil  
Tel: (+55 11) 4585-8095 – Fax: (+55 11) 4585-8138 – Email: rafael.fernandes@siemens.com

voltadas a monitoramento, como por exemplo detecção on-line de oscilações de baixa frequência, estimação de estados híbrida, monitoramento de instabilidade de tensão, determinação de parâmetros de linha, etc. No tocante a aplicações de proteção e controle, destacam-se as proteções para linhas compensadas, proteções de linhas de múltiplos terminais, proteções diferenciais, bem como aqueles onde há dificuldade em ajustar a função de perda de sincronismo. Em muitas situações, as medições confiáveis de correntes e tensões de terminais remotos, baseado na mesma referência das variáveis locais, têm melhorado substancialmente as possibilidades de aplicação em funções de proteção (7). Outras aplicações especiais de SPMS podem ser citadas como validações, identificações e simulações de modelos, localização de faltas, dentre outros.

## 2.0 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A UNIDADE DE MEDIÇÃO FASORIAL

As PMUs executam o cálculo dos fasores utilizando a Transformada Discreta de *Fourier* (DFT) através de uma janela móvel de dados amostrados, cuja largura pode variar de frações de ciclos a um ciclo. O GPS envia às estações receptoras o sinal PPS (*Pulse Per Second*), possibilitando que o processo de aquisição seja executado de modo sincronizado em diferentes subestações.

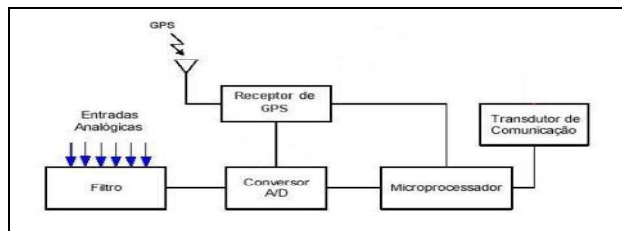


Figura 1 Diagrama simplificado de uma PMU

Frequência Nominal (Hz)	50		60				
Taxa de Exteriorização (F <sub>s</sub> )	10	25	10	12	15	20	30

Figura 2 Taxas de exteriorização ("report rates") de acordo com a norma IEEE C37.118-2005

A Figura 1 ilustra a estrutura básica de uma PMU. Ela é composta por um receptor de sinal GPS, um sistema de aquisição (filtro e módulo de conversão A/D- Analógica Digital) e um microprocessador. O filtro *anti-aliasing* é utilizado para filtrar ruídos no sinal de entrada da PMU. O sinal PPS do GPS é convertido numa sequência de pulsos de temporização de alta velocidade a serem usados na forma de onda do sinal de amostragem. O microprocessador executa os cálculos dos fasores usando a TDF, após a conversão A/D das grandezas de corrente e de tensão. Finalmente, o fasor é estampado em intervalos de tempo e enviado a outro equipamento, o PDC, responsável pela armazenagem e concentração destes dados com os de outras PMUs.

Opcionalmente, as PMUs podem calcular fasores de sequência positiva a cada grupo de três entradas analógicas trifásicas. Todos os canais analógicos devem ser sincronizados em UTC (*Universal Time Coordinated*) e as taxas de exteriorização de dados das PMUs devem atender à norma IEEE C37.118 (2) devendo ser selecionáveis pelo usuário segundo a conveniência da aplicação.

Neste trabalho, foram gerados arquivos de teste já com os fasores de sequência positiva, previamente calculados, e, posteriormente, submetidos ao "PMU Simulator", que monta os quadros ("frames") em formato de PMU, de acordo com a norma. Após isto é realizado uma captura dos frames, pelo "PMU Connection Tester" para permitir transmissão ao PDC, simulado pelo "Open PDC", para posterior traçado dos gráficos através de aplicativos externos que aproximaram suas execuções aos aplicativos desenvolvidos em tempo real.

Recentemente (05/2012) foi publicada, como "Technical Report" a norma: IEC/TR 61850-90-5 (3): "Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-5: Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118", trazendo inúmeras possibilidades de aplicações de PMU's e PDC's via 61850. Os relés de proteção, atualmente, já possuem a parte 90-5 (de acordo com a IEEE C37.118) implementada no protocolo.

### 2.2 DIAGRAMA DE BLOCOS UTILIZADO NA SIMULAÇÃO

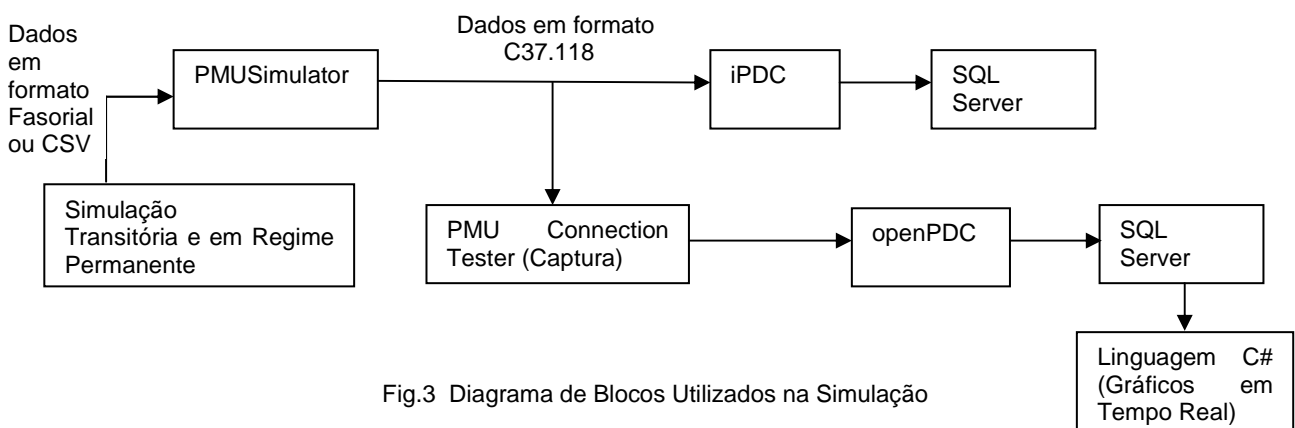


Fig.3 Diagrama de Blocos Utilizados na Simulação

Os *software's* utilizados neste trabalho: *PMUSimulator*, *openPDC* e *iPDC (Free Phasor Data Concentrator)*, são disponibilizados, como plataforma de teste e são administrados pela "Grid Protection Alliance" (GPA) (14).

Após as simulações escolhidas: Estabilidade de Tensão em Regime Permanente e Oscilação Eletromecânica, tem-se um arquivo no formato fasorial. O Simulador de PMU também recebe arquivos de dados no formato CSV (*Comma-Separated Values*), que, posteriormente, efetua o processamento dos mesmos com intuito de incorporar informações adicionais, de modo a adequar a mensagem ao formato C37.118. Após estabelecida a comunicação com o *iPDC* é possível, através do *PMU Connection Tester*, realizar uma captura do *frame*, especificando, inclusive, o tamanho do *frame* à ser capturado. À partir da versão V4.3.10, do *PMU Connection Tester* (13), é possível capturar dados da IEC61850-90-5 (3), pela rede.

Deve-se observar que o intervalo de tempo entre cada amostra, para a simulação, deve estar adequado à taxa de "*frame rate*" ajustada no *PMU Connection Tester*. A amostragem escolhida foi uma amostra a cada 33 *mseg*, para a simulação, e 30 *frames/segundo* no *PMU Connection Tester*.

Com o *PMU Connection Tester* é possível verificar se a captura foi realizada com sucesso. Em caso positivo é necessário exportar o arquivo para o *openPDC*.

O *software openPDC* possui uma interface para facilitar a inserção de cálculos e lógicas computacionais que podem ser executadas dentro do concentrador de dados. A biblioteca "*ActionAdapter.dll*" possibilita essa funcionalidade, tornando o *openPDC*, um *software* flexível e interoperável. Neste ambiente, utilizando a biblioteca "*ActionAdapter.dll*" foi possível realizar os cálculos de potência Ativa, para a Curva PV e também de diferença angular, para verificar a instabilidade angular direto do concentrador de dados *openPDC*.

As medidas fasoriais obtidas das PMUs, utilizando-se os *softwares* concentradores de dados PDC, são armazenadas em base de dados e são disponibilizadas dinamicamente através das interfaces de programações API (*Application Programming Language*). Desta forma, é possível acessar as informações das PMUs de forma próxima à situação em tempo real.

Os aplicativos externos foram desenvolvidos utilizando-se os dados dinâmicos disponibilizados pelas APIs e os dados armazenados em base de dados históricos.

### 2.3 ANÁLISE DE DADOS EM TEMPO REAL

Sistemas de tempo real são aqueles que conseguem responder aos estímulos externos em um prazo determinado, sem o acúmulo de *buffer* de dados durante o processamento (14). Em consequência, em cada novo dado ou estímulo, o sistema de tempo real deve entregar um resultado correto dentro de um prazo específico, sob pena de ocorrer uma falha temporal. O comportamento correto de um sistema de tempo real, portanto, não depende só da integridade dos resultados obtidos, mas também dos valores de tempo em que são produzidos.

Para atingir determinados requisitos temporais, utilizam-se sistemas operacionais capazes de priorizar aplicativos em tempo real e garantir a demanda de tempo conhecida. No módulo de tratamento de dados em tempo real, foram desenvolvidos aplicativos em linguagem C#, plataforma *Windows*, que conseguiram responder satisfatoriamente à demanda de tempo necessária. Esses aplicativos utilizaram as APIs disponíveis no concentrador de dados para acessar as informações, e os recursos disponíveis pela própria linguagem para plotar os gráficos.

Apesar dos aplicativos externos desenvolvidos basearem-se em um limite de tempo de processamento de cada dado de entrada, eles estão susceptíveis às contingências de execução gerenciada pelo sistema operacional já que este não é capaz de priorizar a execução de aplicativos em tempo real. Uma evolução futura para os aplicativos desenvolvidos neste trabalho é adaptá-los aos recursos computacionais que permitam maior controle de tempo.

### 2.4 ANÁLISE DE DADOS HISTÓRICOS

Este módulo permite realizar buscas de dados históricos no PDC e gerar gráficos das grandezas fasoriais, com o objetivo de analisar o comportamento do sistema elétrico em um determinado período de tempo e também de modo instantâneo. Têm-se inúmeras vantagens nisso, pois é possível verificar, em relação à um *buffer* pré-determinado, o comportamento de um evento e/ou fenômeno em tempo real.

Foram realizadas consultas na base de dados históricos acessando as tabelas utilizadas pelo concentrador de dados. Ambos os PDCs (*iPDC* e *openPDC*) utilizados na simulação foram configurados com a base de dados MySQL. As informações extraídas da base de dados podem ser exibidas de forma tabular ou gráficas. Os gráficos disponíveis são os mesmos utilizados na simulação em tempo real.

### 3.0 - SIMULAÇÕES

#### 3.1 SIMULAÇÃO DE ESTABILIDADE DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

Foi simulado um sistema simplificado composto por um equivalente de Thevenin alimentando uma carga (modelo ZIP - Impedância, Corrente e Potência constantes), conforme Figuras 4 e 5 abaixo.

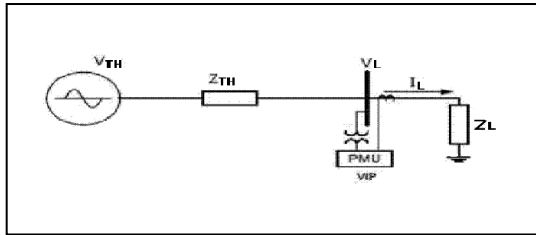


Fig.4 Estabilidade de Tensão

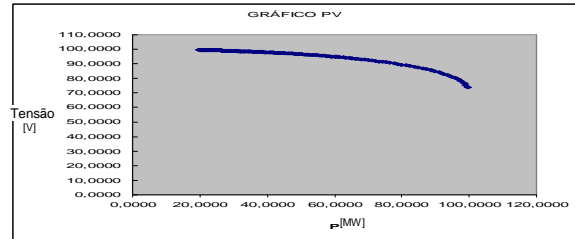


Fig.5 Curva PV gerada

Os resultados correspondem aos fasores de tensão e corrente de sequência positiva, além da frequência, todos referentes ao mesmo terminal. A simulação total compreende 80s, observando-se um período no qual se verifica a redução da correspondente margem de estabilidade, à medida que o carregamento aumenta. O tempo entre resultados adotado foi de 33mseg, para simular uma taxa de exteriorização de 30 quadros/seg de uma PMU.

#### 3.2 CASOS SIMULADOS E SUBMETIDOS AO AMBIENTE DE TESTE

Os dois casos descritos foram submetidos ao sistema de teste. Cada um deles é transmitido ao "Open-PDC", sendo que ao fim da simulação retorna-se ao começo mantendo-se um fluxo contínuo de informações, as quais podem ser visualizadas e também ser utilizadas para o desenvolvimento de aplicativos.

Para a simulação de transitório eletromecânico, os arquivos simulados foram preparados em arquivo de texto, em relação aos dados obtidos das duas barras, referentes a duas PMU's distintas, de acordo com as Figuras 6 e 7, abaixo.

TIME	FREQ	VOLTBA	ANGLEV
0,000000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,033000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,066000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,099000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,132000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,165000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,198000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,231000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,264000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,297000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,330000	60,000000	142,972140	-32,377900
0,363000	60,000000	142,972140	-32,377900

Fig.6 Dados Simulados para a PMU1

TIME	FREQ	VOLTBB	ANGLEV
0,000000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,033000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,066000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,099000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,132000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,165000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,198000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,231000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,264000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,297000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,330000	60,000000	140,090700	-33,020300
0,363000	60,000000	140,090700	-33,020300

Fig.7 Dados Simulados para a PMU2

Já para a simulação de Estabilidade de Tensão, o arquivo utilizado foi de acordo com a Figura 8, abaixo.

TIME	FREQ	VOLTBA	ANGLEV	CURRBA	ANGLEI
0,000000	60,000000	138,310169	-5,710593	41,632356	-5,710593
0,033000	60,000000	138,308798	-5,716272	41,673617	-5,716272
0,066000	60,000000	138,307422	-5,721961	41,714959	-5,721961
0,099000	60,000000	138,306043	-5,727662	41,756383	-5,727662
0,132000	60,000000	138,304659	-5,733375	41,797889	-5,733375
0,165000	60,000000	138,303277	-5,739098	41,839477	-5,739098
0,198000	60,000000	138,301879	-5,744834	41,881148	-5,744834
0,231000	60,000000	138,300484	-5,750580	41,922901	-5,750580
0,264000	60,000000	138,299083	-5,756338	41,964737	-5,756338
0,297000	60,000000	138,297678	-5,762108	42,006656	-5,762108
0,330000	60,000000	138,296269	-5,767889	42,048659	-5,767889
0,363000	60,000000	138,294856	-5,773682	42,090745	-5,773682

Fig.8 Dados Simulados para o PMU da Estabilidade de Tensão

Os softwares iPDC e PMUSim, utilizados na simulação, utilizam a plataforma Linux. Para os testes, esses softwares foram instalados no Ubuntu versão 12.04. As figuras abaixo mostram a conexão entre o simulador de PMU e o concentrador de dados, e também o acesso ao banco de dados MySQL para obtenção dos dados simulados.

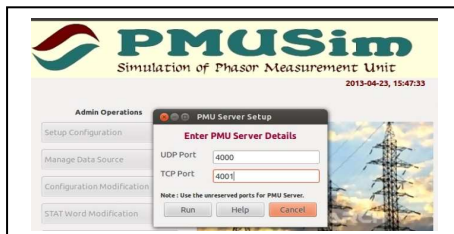


Fig.9 Configuração PMUSim



Fig.10 Configuração PMUSim



Fig.11 Configuração do iPDC

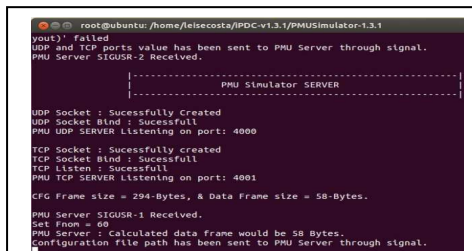


Fig.12 Início da comunicação

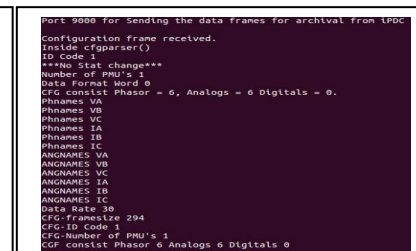


Fig.13 Frames criados

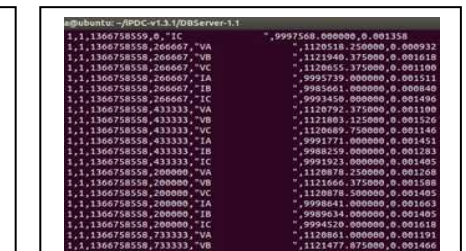


Fig.14 Dados no banco de dados SQL, no formato CSV

#### 4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Devido à praticidade e facilidade no traçado dos gráficos utilizou-se, para este trabalho, o PDC virtual "openPDC". Através do acesso ao seu banco de dados, também em SQL, utilizou-se a linguagem de programação C#, com o recurso "Windows Form Application" para o traçado das curvas em tempo real (*buffer*). Para tanto, utilizou-se a ferramenta "PMU Connection Tester", instalado em Windows, para a captura dos *frames*, os quais trafegam entre o PMUSimulator e o iPDC. Após a captura, este arquivo é aberto no openPDC, como abaixo.



Fig.15 Curva PV gerada pelo openPDC após a captura dos *frames* dos dados simulados

Foi desenvolvido um componente de *software* em linguagem C# ,plataforma Windows, para calcular a potência ativa. Esse componente foi adicionado ao concentrador de dados openPDC utilizando a interface disponível "ActionAdapter.dll". Para plotar o gráfico, o aplicativo externo acessa as informações do openPDC com o valores já calculados e utiliza as bibliotecas e controles gráficos padrões da linguagem C# para traçar os gráficos. A curva PV também pôde ser obtida utilizando-se os valores das grandezas disponíveis pelo concentrador openPDC sem a adição do componente de *software* mencionado acima. O cálculo foi feito em um aplicativo desenvolvido em linguagem C# e utilizando os recursos gráficos disponíveis nessa linguagem.

A conexão entre o openPDC e a aplicação em C# foi realizada através de duas máquinas, estando as mesmas em rede e também em redes distintas-neste caso através de conexão VPN (*Virtual Private Networking*), com o uso do software "Team Viewer" versão 8.0. O openPDC publica as medições, obtidas da gravação do PMUCaptureTester, na porta '6165', pré-definida. Os endereços de IP, para esta simulação foram: 192.168.1.8 (máquina utilizando o openPDC) e 192.168.1.6 (máquina utilizando o C#). Foi realizado desta forma, com o intuito de se mostrar a possibilidade de acessar o PDC, e para o traçado dos gráficos, com os dados do *buffer*, também em tempo real.

```

public RealTimeData()
{
    InitializeComponent();
    m_activeThreads = new List<Thread>();
}

private void StartProcessing_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        subscriber = new DataSubscriber();
        // Attach to subscriber events
        subscriber.StatusMessage += subscriber_StatusMessage;
        subscriber.ProcessException += subscriber_ProcessException;
        subscriber.ConnectionEstablished += subscriber_ConnectionEstablished;
        subscriber.ConnectionTerminated += subscriber_ConnectionTerminated;
        subscriber.NewMeasurements += subscriber_NewMeasurements;
        subscriber.Initialize();

        // Initialize subscriber
        subscriber.ConnectionString = "server=192.168.1.8:6165;interface=0.0.0.0";
        subscriber.Start();

        // Start subscriber connection cycle
        subscriber.Start();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        ShowUpdateMessage("Error starting processing - {0}", ex.Message);
    }
    finally
    {
        //StartProcessing.Enabled = true;
    }
}

```

Fig.16 Endereço de IP da Máquina- Servidor

```

private void StartProcessing_Click(object sender, EventArgs e)
{
    private void subscriber_NewMeasurements(object sender, EventArgs e)
    {
        dataCount += e.Argument.Count;

        foreach (Measurement measurement in e.Argument)
        {
            string id = measurement.Key.ID.ToString();
            switch (id)
            {
                case "59":
                    #region [PV]
                    power = measurement.AdjustedValue;
                    //ShowUpdateMessage("Power = {0}", power);
                    break;
                case "41":
                    voltage = measurement.AdjustedValue;
                    //ShowUpdateMessage("Voltage = {0}", voltage);
            }
        }
    }
}

```

Fig.17 Dados a serem publicados pelo openPDC

Na figura 16 é possível verificar o endereço de IP do servidor e a porta aonde serão publicados os dados. Na figura 17, verificam-se os respectivos "cases". Os mesmos são inicialmente endereçados no openPDC, depois publicados na porta '6165' e posteriormente são acessados pelo cliente. O aplicativo desenvolvido apresentou o gráfico mostrado na Figura 18, abaixo.

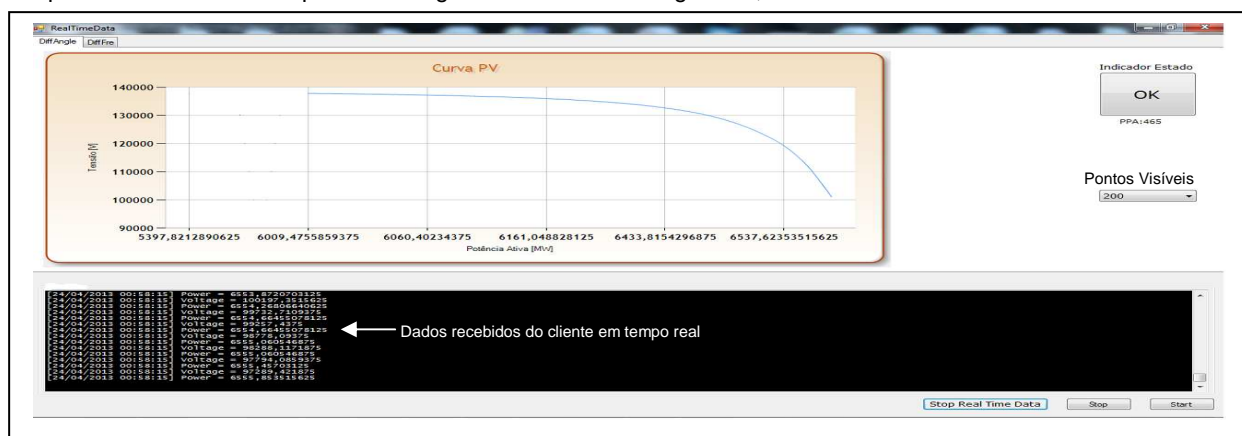


Fig.18 Gráfico PV obtido da execução do aplicativo que foi integrado ao openPDC com os dados simulados

#### 4.1 SIMULAÇÃO DE TRANSITÓRIOS ELETROMECÂNICOS

Para as simulações foi adotado o programa ANATEM – Análise de Transitórios Eletromecânicos - do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) “, adotado por concessionárias de energia elétrica para este tipo de estudo, contando com base de dados do “SIN - Sistema Interligado Nacional Brasileiro”, continuamente atualizada pelos respectivos agentes com modelos de máquinas, reguladores de velocidade e sinais estabilizantes.

Este programa permite simulações referentes às oscilações subsíncronas, estabilidade entre áreas, avaliação de limites de transferência de potência entre áreas, impactos de energizações, fechamentos de anéis, religamento automático, entre outras. Desta forma, foi efetuado um caso de religamento automático com sucesso após curto-circuito no meio de uma linha de transmissão de 138kV. A sequência de eventos da simulação foi através:

- Curto-circuito no meio da linha;
- Após 200mseg atuação da proteção com abertura dos disjuntores das duas extremidades;
- Extinção do curto circuito 50mseg após atuação da proteção;
- Religamento do terminal líder após tempo morto (500mseg);
- Fechamento do terminal seguidor 150mseg após terminal líder, concluindo religamento com sucesso.

Esta ocorrência provoca uma oscilação de frequência amortecida, estabilizando-se após aproximadamente sete segundos, conforme oscilografia da Figura 19 abaixo, observado em um dos terminais da linha.

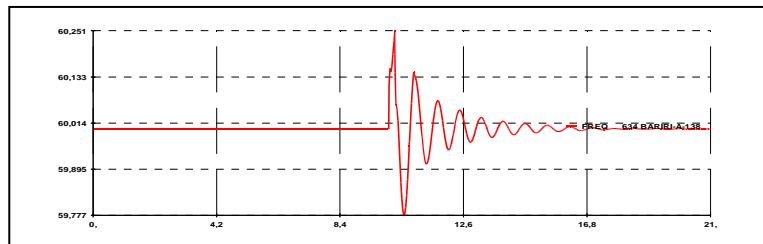


Fig.19 Oscilação eletromecânica de baixa frequência

O arquivo de saída do ANATEM foi configurado para fornecer fasores das tensões e frequências nas duas barras terminais. O passo de integração adotado foi de 3mseg, com plotagem de um resultado a cada 11mseg, o que fornece saída compatível com uma saída de 30 quadros (“frames”) por segundo de um PMU, isto é, 33mseg entre quadros. O tempo total de simulação foi de 21seg. Na Figura 20, é possível verificar o endereçamento dos dados que serão publicados na porta '6165' pelo openPDC. Uma observação importante é que foram obtidos dados simulados e após isto foram capturados os frames de PMU, relativos a dois PMU's distintos, por exemplo: vindo de duas barras distintas. Os resultados foram satisfatórios e se mostraram próximos da realidade.

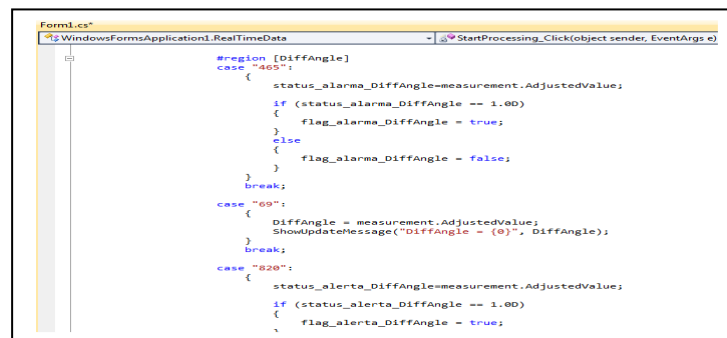


Fig.20 Dados a serem publicados pelo openPDC

Foi desenvolvido um componente de software em linguagem C#, plataforma Windows, para calcular a diferença angular. Esse componente foi adicionado ao concentrador de dados openPDC utilizando a interface disponível “ActionAdapter.dll”. Para plotar o gráfico, o aplicativo externo acessa as informações do openPDC com o valores já calculados e utiliza as bibliotecas e controles gráficos padrões da linguagem C# para traçar os gráficos.

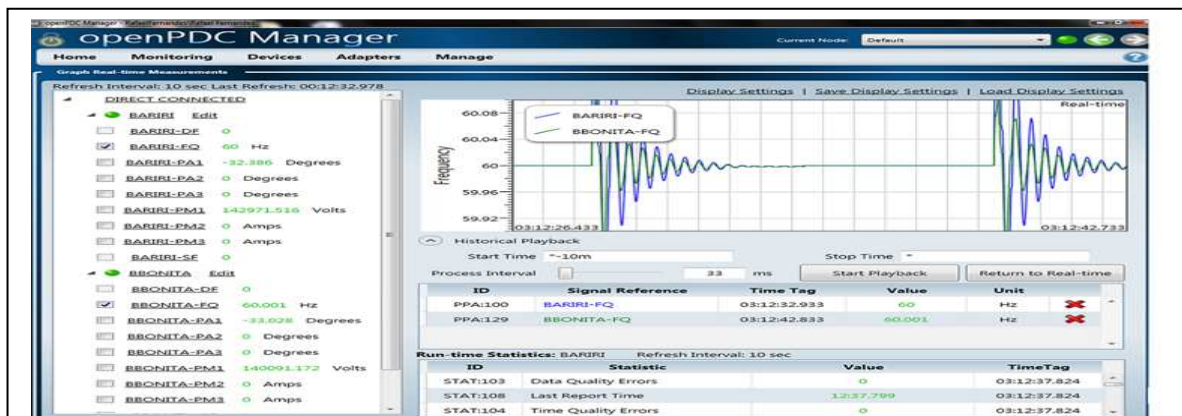


Fig.21 Curva Diferença de Frequência gerada pelo openPDC após a captura dos frames dos dados simulados



Fig.22 Diferença Angular, plotado em tempo real após a conexão entre o cliente e o servidor

Em comparação com a curva da Figura 19, gerada pelo arquivo ANATEM, verifica-se que a curva da Figura 21, ficou muito próxima, o que mostra ser um recurso muito interessante para a análise dos dados. Adicionalmente, a aplicação demonstrou que há a possibilidade de se obter informações, em tempo real, de dois ou mais PMU's e combiná-los, em tempo real, para ter uma leitura e para realizar cálculos de interesse, como por exemplo: margem de estabilidade, cálculo de parâmetros de linha, diferença angular, etc.

## 5.0 - PERSPECTIVAS FUTURAS COM O USO DA IEC/TR 61850 90-5

Com a publicação da norma IEC/TR 61850 90-5 (3), em 05/2012, verifica-se a possibilidade de transmissão de informações de sincrofasores de acordo com a IEEE C37.118, com isto os relés de proteção trocarão informações de PMU's, entre relés e entre PDC's. Dois casos possíveis de aplicação são vistos nas figuras 23 e 24, abaixo.

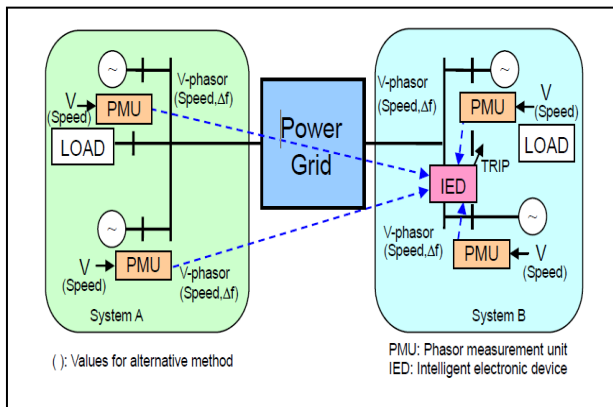


Fig. 23 Predição de Estabilidade Dinâmica

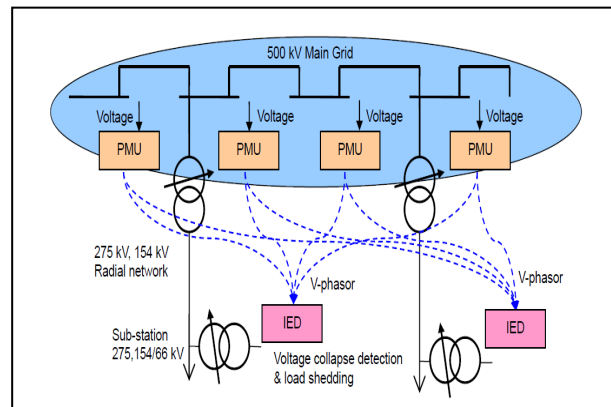


Fig. 24 Rejeição de Carga por Subtensão

As PMU's computam os sincrofasores, os IED's recebem os dados fasoriais, via IEC61850 90-5 e realizam a predição da estabilidade dinâmica e controle do sistema de potência. O processo se define como sendo: A PMU amostra as correntes e tensões e estima os valores dos sincrofasores, após isso ela envia os valores, que são recebidos pelo IED.

Na figura 23, o relé de proteção compara os dados de todos os PMU's e, com isso, está apto a determinar uma "perda de sincronismo", por exemplo. O IED determina a divisão de parte da rede A ou B, de modo a prevenir que não tenha uma perda de sincronismo entre as áreas.

Na figura 24, o IED detecta o colapso de tensão usando dados de todos os PMU's. Se ocorrer a detecção, carga é rejeitada até que a tensão se recupere e retorne ao seu estado operativo normal.

## 6.0 - CONCLUSÃO

As simulações de PMU's e a possibilidade de se ter gráficos plotados em tempo real, são formas efetivas de predição de contingências no sistema elétrico de potência. Neste trabalho mostrou-se uma detecção de Estabilidade de Tensão e de Oscilação Eletromecânica-através de instabilidade angular.

A possibilidade de verificação e monitoramento do comportamento do sistema elétrico de potência, em tempo real, traz ganhos em escala, principalmente em função de um melhor suporte a tomada de decisão, também em tempo real, pela equipe de operação das empresas do setor elétrico.

Em relação aos aplicativos, as possíveis melhorias futuras são adaptá-los aos recursos computacionais que viabilizam execução em tempo real, adequando o sistema operacional, e utilizando bibliotecas de tempo real mais robustas.

Com os IED's de proteção elétrica, tendo agora a funcionalidade de PMU, surgem novas perspectivas de tratamento dos dados, monitoramento e de aplicação pelos mesmos. Desta forma o sistema de proteção elétrica estará cada vez mais próximo do sistema de controle, monitoramento e supervisão.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems. IEEE Standard C37.118-2005 (Revision of IEEE Std. 1344-1995), 22 March 2006
- (2) IEEE C37.118.2:2011, Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems
- (3) IEC/TR 61850-90-5 Edition 1.0 2012-05 "Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-5. Use of IEC61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118"
- (4) Nitesh Pandit, Kedar Khandeparkar "Design and Implementation of IEEE C37.118 based Phasor Data Concentrator&PMU Simulator for Wide Area Measurement System", Indian Institute of Technology, Bombay. Mumbai, India. May 2012
- (5) Rui M. Moraes, Yilky "Desafios na utilização de PMU's para proteção e controle em sistemas de potência", ONS, Quanta Technology, X STPC-ST-37, 17-20 Outubro
- (6) A.G. Phadke and J.S.Thorp (2008). Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer Science ++ Bussiness Media, LCC.
- (7) Phadke, A.G., Thorp, J. S. , History and Applications of Phasor Measurements. IEEE, pp.331-335, 2006.
- (8) Phadke, A. G., Synchronized Phasor Measurements~A Historical Overview. IEEE, pp. 476-479, 2002.
- (9) Thomas, M. K. Implementation of the Security-Dependability Adaptive Voting Scheme, in ECE 2011, Virginia Polytechnic Institute and State University: Blacksburg
- (10) Hydro Quebec – Special Protections  
[http://cigre2008.ece.umanitoba.ca/Session3BSubstation\\_Automation\\_&\\_Communication/562%20-%20Tholomier%20-%20The%20Future%20of%20Substation%20Automation.pdf](http://cigre2008.ece.umanitoba.ca/Session3BSubstation_Automation_&_Communication/562%20-%20Tholomier%20-%20The%20Future%20of%20Substation%20Automation.pdf)
- (11) Brazil – Analysis of Events using Phasor Measurement - special protection schema & islanding  
[http://www.naspi.org/meetings/workgroup/2009\\_october/presentations/zimath\\_reason\\_analysis\\_events\\_20091008.pdf](http://www.naspi.org/meetings/workgroup/2009_october/presentations/zimath_reason_analysis_events_20091008.pdf)
- (12) BPA – real-time stability controls  
[http://www.naspi.org/meetings/workgroup/2008\\_october/presentations/13\\_bpa\\_voltage\\_stability\\_kosterev\\_20081016.pdf](http://www.naspi.org/meetings/workgroup/2008_october/presentations/13_bpa_voltage_stability_kosterev_20081016.pdf)
- (13) PMU Connection Tester, <http://www.pmuconnectiontester.codeplex.com>
- (14) iPDC/PMUSimulator, <http://ipdc.codeplex.com>.
- (15) N. Audsley, A. Burns, Real-Time System Scheduling, on First Year Report Task B of the Esprit BRA Project 3092: Predictably Dependable Computing Systems, Chapter 2, vol2. of 3, May 1990

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Rafael de Oliveira Fernandes**, nasceu em Florianópolis (SC) em agosto de 1977. Graduiu-se em Engenharia Elétrica/Sistemas de Potência em 2001, pela Universidade Federal de Itajubá/MG, aonde foi monitor de Cálculo I e II. Atualmente é Engenheiro de Aplicação/Suporte Técnico na área de Proteção Elétrica e de Estudos Elétricos da Siemens, em Jundiaí/SP e também é coordenador da comissão de estudos da IEC TC95-MT04 (Funções de Proteção e Guias de Aplicação), junto ao Cobei. Email de contato: raf.f@bol.com.br

**Leise Costa de Oliveira**, nasceu em Pedralva (MG) em junho de 1988. Graduada em Engenharia da Computação pela Universidade Federal de Itajubá em dezembro de 2010. Trabalha, desde janeiro de 2010, do departamento de SCADA da Siemens Ltda, atuando com Engenheira de Desenvolvimento de Sistemas. Email de contato: oliveira.leise@siemens.com

**Silvio Aparecido de Souza**, nasceu em Goiânia (GO) em Novembro de 1976. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2001). Mestre em Qualidade da Energia Elétrica (2004) e Doutor em Proteção de Sistemas Elétricos, todos pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Possui 10 anos de experiência em temas relacionados a sistemas elétricos de Potência. Trabalha, desde Dezembro de 2008, na área de estudos de sistemas de proteção, no Departamento de Operações da CTEEP. Email de contato: sasouza@ctEEP.com.br

**Bruno Giacomini Isolani**, nasceu em Sorocaba (SP) em maio de 1983. Formado em Engenharia Elétrica pela Faculdade Politécnica de Engenharia em dezembro de 2009. Trabalha, desde janeiro de 2008, no Departamento de Operações da CTEEP e atualmente é Engenheiro de Análise da Operação. Email de contato: bisolani@ctEEP.com.br

**Carlos Alberto Fiori Castelli**, graduado em 1979 em Engenharia Elétrica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde também concluiu o mestrado em 1993. Trabalhou na CESP/CTEEP de 1982 a 1997 na diretoria de engenharia e de 1997 a 2007 na diretoria de operação, atuando nas áreas de tempo real, pós-operação e estudos de curto prazo. De 2007 até a presente data é consultor pela empresa Castelli Consultoria e Serviços Ltda, atuando em estudos elétricos de regime permanente, curto-circuito, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos, compatibilidade eletromagnética e configuração de sistemas "EMS – Energy Management Systems" e "OTS – Operator's Training System". Email de contato: cfcastelli@gmail.com