

ESTUDO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA

AMANDA DE AGUIAR SERRA LIMA^{1*}

¹ Graduanda de Engenharia Elétrica, UFMA, São Luís-MA. Fone: (98) 3301-3326, amandabas18@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo apresentar a tecnologia de medição fasorial sincronizada, enquanto melhor instrumento para medições em sistemas de energia atualmente, principalmente com o advento de novas fontes de energia e a importância de medições precisas para assegurar sua proteção. O diferencial desta tecnologia é o uso do GPS para orientação temporal na aquisição de grandezas e as altas taxas de amostragem para detalhamento. Apresenta alguns experimentos realizados com o intuito de assimilar a tecnologia e torná-la mais viável para uso generalizado.

PALAVRAS-CHAVE: unidades de medição fasorial, fasores, GPS, PIC

EXPERIMENTAL-THEORIC ESTUDY OF SYNCHRONIZED PHASOR MEASUREMENT TECHNOLOGY

ABSTRACT: This work have as subjective presenting synchronized phasorial measurement technology like the best measurement instrument in energy power nowadays, mainly with the advent of new power sources and the importance to accurate measures to ensure their protection. The differential of this technology is using GPS to temporal orientation in acquisitions and high sample rate for detailing. It wants to present some accomplished experiments with the goal to ensure this technology and to become them viable to general use.

KEYWORDS: phasor measurement units, phasors, GPS, PIC.

INTRODUÇÃO

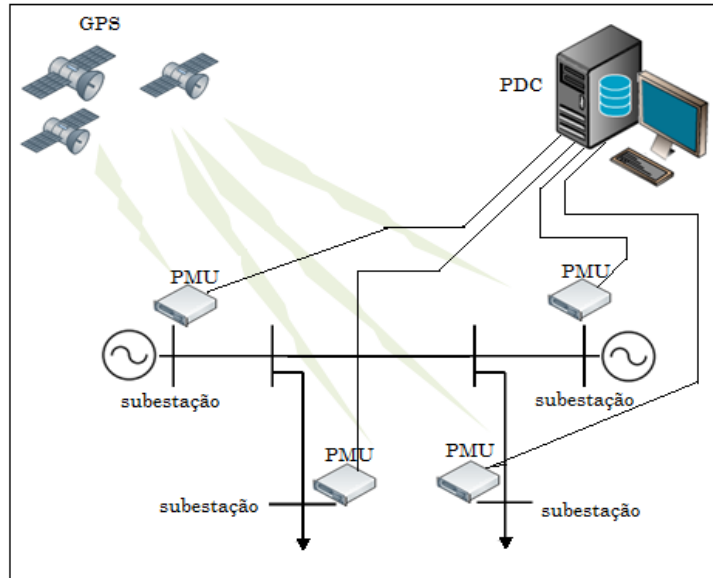
O surgimento da tecnologia de medição fasorial sincronizada foi resultado de um esforço constante pela melhoria da segurança da operação de um sistema elétrico, estimulada principalmente por ocorrências de perturbações e blecautes no mundo inteiro. A tecnologia foi então concebida na década de 80, após o desenvolvimento efetivo do sistema de posicionamento global (GPS), sendo que a primeira unidade de medição fasorial (PMU) foi desenvolvida em 1988 pela *Virginia Polytechnic Institute* nos EUA (Phadke, 2008). Desde então, tem despertado grande interesse em aplicações nos sistemas elétricos de potência, porém, seu efetivo uso é bastante recente. Observando a necessidade atual de crescimento das novas fontes de energia, é urgente a melhoria dos sistemas de medição.

A função deste sistema é realizar várias medições sincronizadas de tensão, corrente e frequência, em diferentes pontos da rede de energia elétrica, e enviá-las a um concentrador de dados a fim de que se realizem análises para o aperfeiçoamento da mesma rede. Cada dado é etiquetado com o horário preciso, e portanto é possível saber as medidas em todos os pontos adquiridas no mesmo horário.

Possibilitam taxa de atualização de 10 a 60 por segundo (contra 2 a 5 por segundo dos sistemas de medição convencionais) e visualização do comportamento dinâmico do sistema (e não apenas o estático, como nos convencionais), segundo Decker (2010).

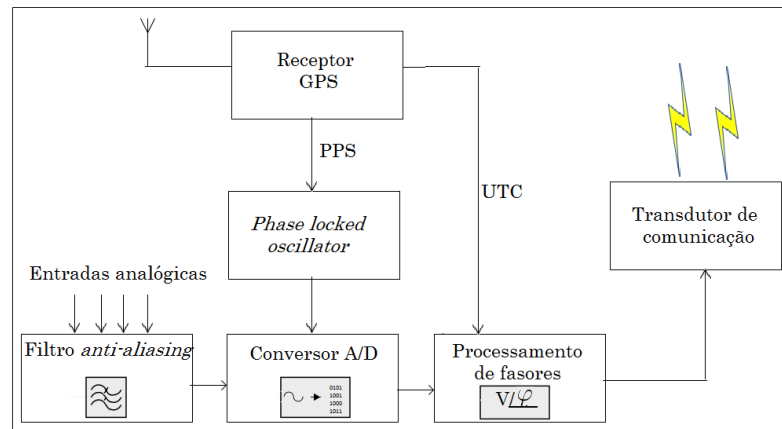
O sistema está ligado a uma rede elétrica a ser monitorada, e os elementos que o constituem, basicamente, são: os sinais enviados pelo GPS, as PMUs, e um ou mais concentradores de dados fasoriais (PDCs). Atualmente, o custo de produção e instalação de um sistema de medição fasorial sincronizada, principalmente das PMUs, é relativamente elevado, e constitui uma preocupação importante.

Figura 1. Esquema de funcionamento de um sistema de medição fasorial sincronizada



As PMUs (ou Sincrofasores) são o diferencial dos sistemas de medição fasorial sincronizada, e cada uma é composta por um sistema de aquisição de dados, formado por filtros anti-aliasing, um oscilador responsável por determinar a frequência de amostragem, um módulo de conversão Analógico-Digital (AD), e por um microprocessador que realiza o processamento matemático das amostras (Figura 2). Cada PMU deve estar associada a um receptor de sinal de GPS, o qual provê o sincronismo a partir do sinal PPS (pulso por segundo) e envia dados de tempo para a PMU.

Figura 2. Esquema de funcionamento de uma unidade de medição fasorial.



Fonte: adaptado de Phadke (2008).

Os fasores são comumente utilizados na análise de circuitos excitados por fontes senoidais, devido à facilidade que proporcionam nos cálculos. Consistem em uma representação em número complexo para uma onda senoidal simples. Então, para uma função cossenoidal:

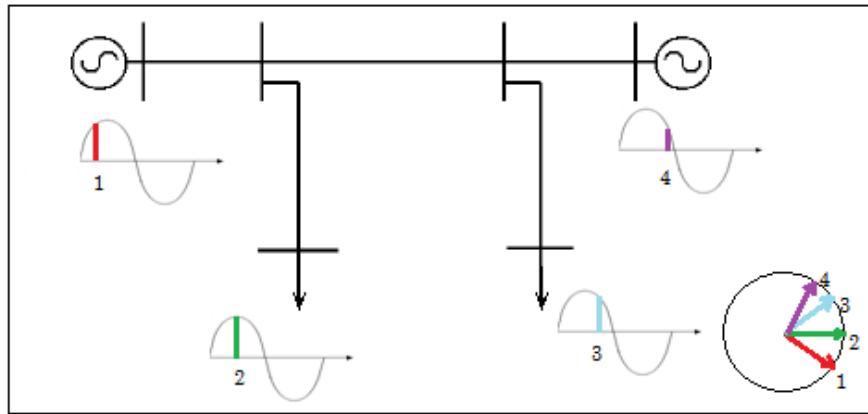
$$V(t) = V_{\text{rms}} \cdot \cos(\omega t + \alpha),$$

o fasor correspondente é:

$$V = V_{\text{rms}} / \underline{\alpha} \quad (\text{forma polar})$$

Na medição fasorial sincronizada, é estabelecido pela norma C37.118 da IEEE a utilização de sincrofasores (IEEE, 2011), que são semelhantes aos fasores, com a diferença de que possuem uma referência temporal para os ângulos de todas as grandezas elétricas envolvidas, para assim ser possível análise comparativa das defasagens, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Sincrofasores em vários pontos dos sistema.



A literatura mostra que a melhor forma de calcular os fasores é pela utilização da Transformada Discreta de Fourier, e tal cálculo deve ser paralelo à medição da frequência, pois o mesmo cálculo considera a frequência constante, situação que nem sempre ocorre devido à presença de perturbações no sistema.

Diversas são as aplicações para esta tecnologia. Devido ao detalhamento e precisão de suas saídas, pode ser usada para avaliações do desempenho de esquemas de controle e de proteção de sistemas, para análise de perturbações causadas por oscilações eletromecânicas, predição de colapsos de tensão e medição de frequência. Também usado para localização de faltas, de forma direta ou indireta, quando as PMUs estão localizadas em pontos estratégicos do sistema. Diversos países têm adotado esta tecnologia de maneira generalizada para medições em geral do sistema elétrico. No Brasil, em 2009, iniciou-se a implantação no Sistema Interligado Nacional (SIN), como parte das ações de melhoria dos processos relacionados à segurança eletroenergética, comprovado seu potencial em monitoramento de sistemas em outros países.

MATERIAL E MÉTODOS

Atualmente, o custo de produção e instalação de um SPMS, principalmente das PMUs, é relativamente elevado, e constitui uma preocupação importante. No ano de 2014 foi realizado pelos EUA um estudo de custo de PMUs comerciais, e verificou-se que o custo médio por PMU (para aquisição e instalação) é de \$40.000,00 a \$180.000,00, variando de acordo com o número de funcionalidades e com as tecnologias empregadas (NASPI, 2015).

Propõe-se então a possibilidade de utilizar um microcontrolador PIC 18F452 para tal aplicação, com o mínimo necessário de instruções para a aquisição do sinal de sincronização, das amostras e horários UTC (Tempo Universal Coordenado), deixando as demais tarefas de tratamento das amostras para um software computacional executado em um servidor caso o PIC não suporte o processamento mínimo. Tal proposta é um grande desafio, visto as dificuldades tecnológicas na construção de PMUs que necessitam de análise aprofundada.

O protótipo consiste basicamente em uma unidade de medição fasorial (PMU) com funções simplificadas, que mede duas entradas de tensão, de maneira sincronizada à base de tempo do GPS, e envia frequência, módulo e ângulo das tensões para um concentrador de dados no computador, juntamente com uma etiqueta de tempo. Este envio é feito via controlador de ethernet. As taxas de aquisição e de envio da saída iniciais são, respectivamente, 2880 amostras por segundo, e uma estimativa por segundo. Isso é equivalente a 48 amostras por ciclo de frequência fundamental.

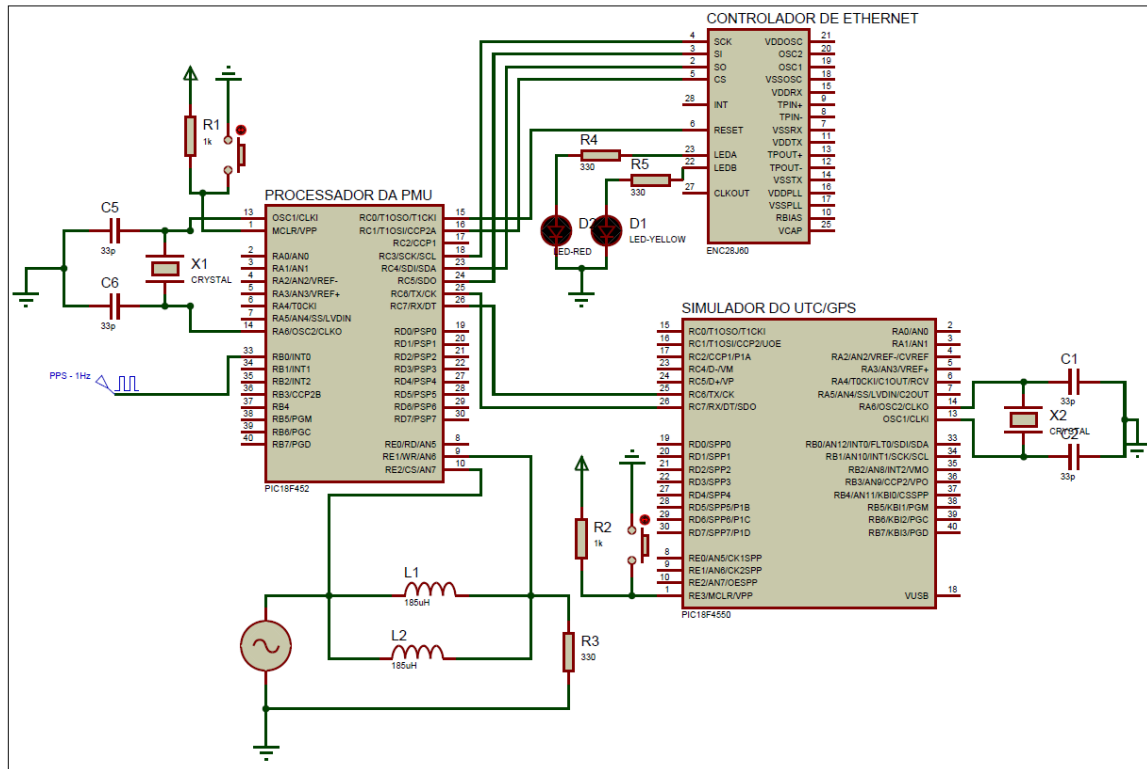
Os principais elementos utilizados para o teste foram o PIC, um receptor GPS da Ublox (NEO 6M), e uma placa de rede ENC28J60. O filtro anti-aliasing utilizado foi um filtro passa baixa com dois estágios RC.

O projeto foi simulado no Proteus®, conforme a Figura 4, que foi testado medindo um circuito simples que simula uma linha de transmissão. O principal código é o do PIC 18F452, implementado em C no compilador MikroC, e tem as seguintes partes:

- Sincronização das amostras pelo PPS (dividido em 2880 pulsos por um temporizador do PIC);
- Conversão A/D das entradas de tensão;
- Cálculo da frequência por cruzamento por zero (um dos métodos mais apropriados para

- estimação de frequência);
- d. Estimação dos fasores por cruzamento por zero (método simples para cálculo do ângulo de defasagem, para fins de teste);
- e. “Tagueamento” das saídas com o UTC;
- f. Envio das saídas para a Ethernet.

Figura 4. Simulação da PMU simples



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados têm alcançado resultados satisfatórios, apesar de estarem ainda em desenvolvimento objetivando um trabalho de conclusão de curso. As medidas foram realizadas e os defasamentos previstos por cálculos foram alcançados com boa precisão. O fasores foram enviados para o computador com as respectivas “tags” de tempo, através da placa de rede, que foi conectada a um modem para alocar um endereço IP, e acessada pelo *prompt* de comando do sistema operacional.

Foi possível, portanto, fazer uma unidade de medição fasorial simples, com a utilização de um microcontrolador PIC, embora ainda não tenham sido feitos testes para consonância do protótipo com a norma do IEEE para estes equipamentos. Na continuação deste trabalho, o protótipo será observado quanto ao preço de custo, quanto às suas aplicações e quanto à sua validade diante da norma.

CONCLUSÕES

O estudo realizado, bem como as simulações e os experimentos, permitiram observar a eficácia da tecnologia de medição fasorial sincronizada, bem como a assimilação de várias tecnologias que ela pode envolver. Destaca-se que no contexto das novas fontes de energia, os sistemas de medição possuem sincronizada possuem grande importância para a correta medição, principalmente a longas distâncias, pois fornece referência temporal única. O protótipo em desenvolvimento também tem o objetivo de ser utilizado para esta aplicação.

REFERÊNCIAS

- Chaves, I. de B.; Francisco, P. R. M.; Lima, E. R. V. de. Classificação das terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o estado da Paraíba. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, Teresina, 2010. Anais...Teresina: SBCS, 2010.
- IEEE. Norma IEEE de Sincrofasores para Sistemas de Potência – C37-118. Revisão da Norma IEEE 1344-1995. 2011.
- Centeno, Vigílio. Projeto de SMF do NOS – Especificações das nidades de Medição Fasorial. KEMA Brasil/ONS, 2006.
- Decker, Ildemar. Experiências do Projeto MedFasee. Workshop sobre soluções de Medição Fasorial Sincronizada. Florianópolis, SC, 2010.
- Moreto, M., Bolzan, R., Denardin, G. Desenvolvimento de uma PMU de baixo custo para aplicação em redes elétricas inteligentes. Anais do Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte, MG, 2014.
- Phadke, A. G., Thorp, J. S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer. Virginia-EUA, 2008.
- Microchip Technology. ENC18J60 Data Sheet. Estados Unidos, 2008.
- Microchip Technology. PIC 18F452 Data Sheet. Estados Unidos, 2006.
- NASPI – North American Synchrophasor Initiative (Online).
Disponível em: <https://www.naspi.org/documents>. Acesso em junho de 2015.
- Ublox. Data Sheet ublox 6 GPS Modules. Estados Unidos, 2011.