



DOS FASORES À MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA EM GRANDE EMPRESA DE GERAÇÃO DE ENERGIA – A INICIAÇÃO CIENTÍFICA NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

Ricardo B. P. Ribeiro – ricardobpr@hotmail.com

Universidade Federal do Pará – CEAMAZON

Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá – Avenida Perimetral 2651, Prédio 01.
Guamá - Belém/Pará;

CEP: 66077-830.

Maria Emília de L. Tostes – tostes@ufpa.br

Universidade Federal do Pará – CEAMAZON

Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá – Avenida Perimetral 2651, Prédio 01.
Guamá - Belém/Pará;

CEP: 66077-830.

Ubiratan de H. Bezerra – bira@ufpa.br

Universidade Federal do Pará – CEAMAZON

Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá – Avenida Perimetral 2651, Prédio 01.
Guamá - Belém/Pará;

CEP: 66077-830.

Resumo: Objeto de estudo em qualquer curso básico de circuitos elétricos, o conceito de fasores tem se tornado uma importante vertente nas pesquisas científicas de hoje em dia relacionadas à melhoria e expansão do sistema elétrico. O conceito de Sincrofasores, grandezas fasoriais sincronizadas no tempo, vem se mostrando como uma opção bastante válida para o monitoramento da transmissão e distribuição de energia, onde, utilizando-se destes, os operadores do sistema podem obter uma visão em tempo real do que está ocorrendo com as amplitudes e ângulos de fase das tensões e correntes em vários pontos diferentes, obtendo medições sincronizadas em tempo real dos valores destas grandezas. Sendo assim, este conceito técnico obtido nos cursos de graduação pode se tornar cada vez mais importante em pesquisas científicas, muitas das quais em parceria com empresas do setor, aliando cada vez mais o meio acadêmico ao empresarial. Este artigo aborda a importância da iniciação científica na formação do engenheiro eletricista com a união dos conceitos básicos do curso à utilização destes dentro de uma empresa de grande porte na área de Engenharia Elétrica.

Palavras-chave: Medição fasorial sincronizada, Sincrofasores, Iniciação científica, Trabalho de conclusão de curso



1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo apresentar experiência da faculdade de engenharia elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará em utilizar a iniciação científica na formação do engenheiro eletricitista em parceria com uma grande empresa de geração de energia do setor elétrico. A atuação integrada dentro de cursos de engenharia, academia x empresa não é fácil de ser implementada e deve ocorrer desde o planejamento e preparo do PCC (projeto pedagógico do curso) até a realização de convênios e/ou projetos de pesquisa. A importância desta integração é manifestada em fóruns, mesas redondas, palestras, exposições tecnológicas dos conhecimentos e também em premiações e outras práticas na motivação do aluno e do engenheiro-professor no ensino superior e contempla a ideia maior de que o ensino a pesquisa e a extensão são formas indissociáveis para garantir o binômio ensino-aprendizagem.

Na Tese de Doutorado descrita em (Gama, Sinval Zaidan; da Silveira, Marcos Azevedo, 2002) é afirmado que o perfil de formação indicado para o engenheiro eletricitista não se restringe a uma lista de conteúdos, e sim a uma abordagem diferente de transmissão de Saberes, onde um conjunto de conhecimentos, habilidades e atitudes necessários para as competências desejáveis é indicado. Neste trabalho uma conclusão possível é a da existência de sub-carreiras implícitas no setor elétrico, todas exigindo conhecimento técnico. Uma seria mais voltada para a gestão, planejamento geral e projeto inovador, a formação dada nas universidades de pesquisa sendo a mais apropriada. Outra seria mais voltada para o projeto e execução técnicos, com suas peculiaridades (como o trabalho em equipe), sendo uma formação de cunho mais técnico apropriada. Outra conclusão é que algumas habilidades e conhecimentos deveriam ser adquiridos apenas em cursos de pós-graduação, depois de uma boa base técnica adquirida no curso de graduação e de alguma experiência empresarial. Uma terceira conclusão é que a organização dos conteúdos dos cursos deve atender à ordenação sugerida para os conhecimentos, as habilidades e atitudes sendo desenvolvidas pela escola usando outras metodologias.

Em todas as vertentes pesquisadas, a importância de mesclar as atividades acadêmicas com atuações dentro de empresas, sejam estas privadas, públicas ou mistas, é fundamental para a formação do engenheiro. Esta é uma forma de inovação no aprendizado durante a graduação. Este trabalho apresenta uma gama de conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação, com a atuação dentro de uma grande empresa de geração de energia através da iniciação científica, atendendo ao novo perfil de formação dos engenheiros eletricitistas.

No contexto atual do setor elétrico brasileiro, de alta competitividade e busca por melhorias, as empresas tem dado cada vez mais atenção às pesquisas e projetos desenvolvidos nas universidades do país. O meio acadêmico tem se tornado parceiro de toda e qualquer empresa que busque a excelência, através da pesquisa científica e projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento).

Neste cenário, uma das vertentes que tem se destacado nos últimos 20 anos é a Medição Fasorial Sincronizada, objeto de estudo de muitos pesquisadores brasileiros e também ao redor do mundo, o que assegura o assunto como um dos pilares principais do futuro da transmissão e distribuição de energia.



Em relação ao modelo atual, baseado majoritariamente nos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) os SMFS – Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada – apresentam uma significativa melhoria no que diz respeito à observabilidade do sistema elétrico como um todo, devido à capacidade destes de “enxergar” as variáveis presentes no sistema em tempo real, com uma taxa de amostragem de aproximadamente 60 fasores por segundo.

Assim sendo, a proposta deste trabalho é propor uma melhor formação do engenheiro eletricitista, além de apresentar a tecnologia em questão e seu objeto de estudo, os Sincrofasores, além de sugerir o enquadramento deste conhecimento em cursos de graduação de Engenharia Elétrica, aliando o que se aprende em sala de aula com o conhecimento técnico e com a situação real de operação dos sistemas elétricos.

2. DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA DA MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA

2.1 Histórico:

Os primeiros sistemas remotos de medição surgiram na década de 60 com o uso dos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), compostos por sistemas de telemetria, e que realizavam a aquisição em tempo real de medidas de variáveis do sistema elétrico com o objetivo de se obter um melhor gerenciamento dos sistemas de energia elétrica. Os sistemas SCADA foram baseados na aquisição dos módulos das tensões e correntes elétricas, sendo a fase uma grandeza agregada, obtida normalmente pela utilização de modelos matemáticos para a representação dos sistemas elétricos, considerando uma referência comum para todo o sistema. Com o avanço tecnológico hoje é possível a utilização de sistemas de localização por satélite (GPS) de forma que as medidas elétricas realizadas em localidades distantes entre si podem ser feitas de forma sincronizada, e desta forma obtém-se diretamente os fasores de tensão e corrente, com seus respectivos módulos e fases, dando surgimento à tecnologia de medição PMU.

Em 1988, Arun G. Phadke e James S. Thorp, ambos pesquisadores da universidade americana Virginia Tech foram os responsáveis pela invenção da primeira unidade de medição fasorial síncrona, utilizando o conceito matemático de fasor, criado por Charles Proteus Steinmetz em 1893. Após alguns protótipos feitos na universidade mesmo, a empresa Macrodyne construiu o primeiro modelo comercial (modelo 1960) em 1992.

A partir da década de 80 quando o sistema de GPS foi ativado e disponibilizado para uso comercial, medições sincronizadas a longas distâncias foram realizadas. O diferencial da PMU se baseava na capacidade dela de medir tanto a amplitude como o ângulo das tensões e correntes e de sincronizar as medições utilizando um mesmo referencial no tempo, através do sistema GPS.

2.2 Análise Matemática:

Inicialmente, faz-se necessário introduzir o conceito de Fasor. De acordo com BENMOUYAL et al, “um fasor é um número complexo associado a uma onda senoidal. A magnitude do fasor é a mesma que a magnitude da onda senoidal. O ângulo de fase do fasor é a fase da onda para $t = 0$ ”. O termo “fasor” é utilizado no lugar de “vetor” devido ao ângulo relacionado a esta grandeza ter base temporal, e não base espacial.

Assim sendo, para um sinal senoidal:

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi)$$

Onde,

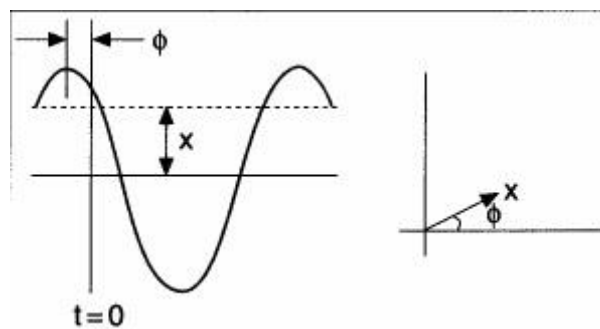
- ω é a frequência do sinal em radianos por segundo,
- ϕ é a fase em radianos,
- X_m é a amplitude máxima do sinal e,
- $X_m/\sqrt{2}$ é o valor RMS (“*Root Mean Square*”) ou valor eficaz do sinal.

Pode-se reescrever a equação como um fasor, um número complexo X , da forma:

$$X = (X_m/\sqrt{2}) [\cos \phi + j \sin \phi]$$

Uma representação gráfica da grandeza é ilustrada pela figura 1:

Figura 1: Onda senoidal e sua representação fasorial.



Fonte: PHADKE, A.G.; THORP, J.S., 2008.



Também se caracteriza fasores pelo fato destes serem normalmente associados a uma única frequência, bem como pelo fato de que para obtê-los todos os parâmetros do sistema devem ser constantes.

No âmbito dos sistemas de potência, os fasores podem ser aplicados em todas as situações onde os parâmetros são constantes e tem-se uma frequência única, ou seja, em sistemas reais, o conceito só pode ser aplicado em condições de regime. Entretanto, estudos afirmam que em condições transitórias, o resultado também é satisfatório (BENMOUYAL et al, 2002).

Para filtrar os dados medidos através da medição fasorial, utiliza-se outra ferramenta matemática, a Transformada Discreta de Fourier (DFT).

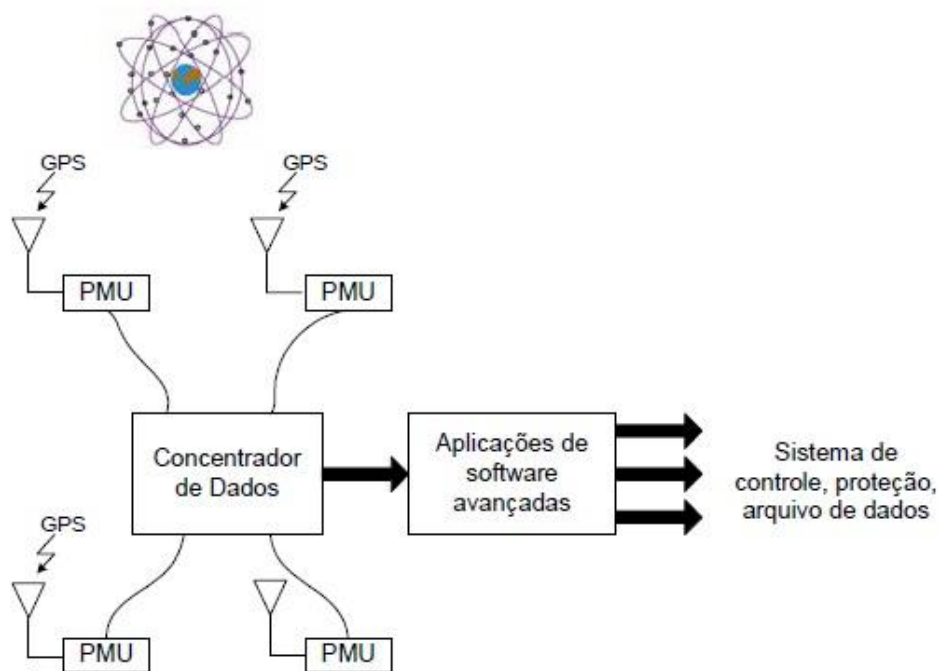
2.3 Definições básicas:

Para se utilizar a tecnologia da Medição Fasorial Sincronizada, faz-se necessário o uso de outros dispositivos auxiliares além do medidor PMU em si. Geralmente, o conjunto é composto ainda por um Concentrador de Dados Fasoriais (*Phasor Data Concentrator* – PDC). Além destes dispositivos, é necessária a presença de canais de comunicação entre eles. Informações sobre cada um dos dispositivos citados são mostradas a seguir:

- PMU – *Phasor Measurement Unit*: equipamento responsável pela medição fasorial síncrona, onde são lidos, em um mesmo instante, os valores de tensão, corrente e respectivos ângulos de fase, tornando possível o cálculo das potências ativa e reativa instantâneas injetadas nos respectivos pontos de medição, sem a necessidade de conhecer outros parâmetros do sistema elétrico. Estes valores, depois de obtidos, são catalogados de acordo com a data de aquisição e então enviados para um concentrador de dados (PDC).
- PDC – *Phasor Data Concentrator*: dispositivo que recebe os dados de cada PMU e os ordena de acordo com a data das medições, de forma a agrupar as informações que correspondem a um mesmo instante de amostragem. É por meio deste dispositivo que futuras consultas aos dados obtidos podem ser efetuadas. O PDC também é capaz de promover a distribuição de dados já sincronizados para outras aplicações, como análise de estabilidade, por exemplo. Essas aplicações são executadas nos sistemas centrais de supervisão.
- Canais de comunicação: geralmente a comunicação entre os dispositivos é feita através da Internet ou rede corporativa da empresa. Essa comunicação é realizada entre os dispositivos e levada até o usuário final. Devido à sua importância, é regulada por normas específicas.

Assim sendo, a estrutura geral de um sistema de medição fasorial é configurada da forma como mostra a figura 2:

Figura 2 – Configuração de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada genérico.



Fonte: EHRENSPERGER, 2003.

2.4 Aplicações da Medição Fasorial Sincronizada na operação dos Sistemas Elétricos de Potência:

Os sistemas que compreendem a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica ao longo de uma região ou país, são comumente denominados como SEPs – Sistemas Elétricos de Potência. Usualmente compreendem um complexo conjunto de variáveis que precisam de constante operação e monitoração. Especificamente, no caso brasileiro, o Sistema Interligado Nacional (SIN), é responsável pela transmissão de energia elétrica ao longo de quase toda a extensão do território do país, o que o coloca na posição de um dos maiores e mais complexos SEPs do mundo. Assim sendo, o SIN também se configura como um sistema de altíssimo potencial para a implantação de novas tecnologias, trazendo maior observabilidade ao sistema, como no caso da medição fasorial sincronizada.

Várias aplicações da tecnologia em questão já estão presentes em outros SEPs ao redor do mundo, mas acredita-se que o potencial da medição fasorial síncrona ainda não foi completamente explorado. Algumas destas aplicações serão brevemente explicadas a seguir:



- Monitoramento do ângulo de fase de tensão: utiliza os fasores de tensão de barramentos oriundos das medições das PMUs no monitoramento das diferenças de ângulo de fase entre dois ou mais barramentos selecionados (KEMA, 2007). Os dados adquiridos por este tipo de monitoramento podem ser utilizados tanto para análises on-line, como por exemplo, monitoramento do estresse do sistema, quanto para análises off-line, no caso, análises de perturbações pós-evento.
- Monitoramento de oscilações do sistema: calcula a potência ativa de uma linha ou corredor de transmissão a partir da medição dos fasores de tensão e corrente em uma base de amostra por amostra e a exibe na forma de uma curva potência-tempo, para um período de tempo predeterminado. A aplicação pode também calcular/identificar a frequência característica e o fator de amortecimento das oscilações de potência, e fornecer tais informações aos operadores do sistema (KEMA, 2007). O funcionamento desta aplicação se dá a partir da leitura dos dados provenientes da aplicação anterior, Monitoração de Ângulo de Fase. A partir desta leitura, é realizado um processo de identificação de parâmetros para estimar o fator de amortecimento e a frequência de oscilação que pode estar presente no sinal.
- Monitoração de harmônicos para grandes áreas: mede, calcula ou estima o estado harmônico de um sistema semelhante para determinar o estado de um sistema na frequência fundamental do sistema de potência. Uma vez que um estado harmônico para o sistema é obtido, os resultados podem ser exibidos para os operadores do sistema para tomada de decisão em tempo real (KEMA, 2007).
- Assistente para conexão de ilhas elétricas: auxilia na reconexão de ilhas elétricas no sistema, monitorando as diferenças de módulo e ângulo da tensão de duas ou mais medidas de PMUs escolhidas, bem como da divergência de frequência dos sistemas selecionados (VOLSKIS et al, 2008). O aplicativo oferece representações gráficas das diferenças em módulo e ângulo das medições entre as duas ilhas, dando mais segurança ao operador no momento de refazer as conexões.

A medição fasorial sincronizada ainda não está majoritariamente presente no sistema elétrico brasileiro, porém, nos últimos 10 anos houve grandes avanços no que se refere à implementação deste novo tipo de tecnologia.

Inicialmente, faz-se necessário analisar o contexto em que o sistema elétrico brasileiro se encontra. Após o fim do modelo vertical, nos anos 90, onde o governo controlava quase todas as empresas de geração, transmissão e distribuição, o Brasil começou a possuir um mercado energético mais ativo e, por consequência, mais competitivo. Com a descentralização, as empresas do setor começaram a investir em pesquisas a fim de não só melhorar a qualidade de seu “produto” (a energia elétrica) bem como se adequar às regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão do governo, criado em 1996, exatamente com a missão de se tornar o agente regulador do sistema elétrico brasileiro.

Neste novo contexto competitivo do setor elétrico brasileiro, se fazia necessário um aprimoramento do sistema elétrico brasileiro como um todo. Como existem restrições à expansão dos sistemas, tanto de ordem econômica quanto ambientais, os investimentos do setor se direcionaram à melhor qualidade da energia elétrica transmitida. Assim, algumas empresas do setor já começaram a direcionar seus esforços em pesquisa à medição fasorial sincronizada, desenvolvendo aplicações próprias como a consulta de dados das PMUs via



internet, consulta de histórico de dados e visualização on-line dos ângulos de fase das barras das subestações.

No lado comercial, o Operador Nacional do Sistema (ONS), órgão governamental, responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, é quem tem dado atenção à questão da medição fasorial sincronizada no Brasil. Após receber a autorização da ANEEL, o ONS tem direcionado seus esforços para a implementação de um Sistema de Medição Sincronizada de Fasores (SMSF) no SIN, visando à melhoria na monitoração e operação do sistema elétrico brasileiro (RIBEIRO, 2014).

3. A INICIAÇÃO CIENTÍFICA COMO MEIO DE INSERÇÃO AO MERCADO DE TRABALHO

Os conceitos acima apresentados, de fasores e de sua representação são objeto de estudo de qualquer curso básico de circuitos elétricos em cursos de graduação em Engenharia Elétrica ou até mesmo em outras Engenharias. É sempre interessante ao aluno de graduação descobrir como serão usadas as ferramentas que ele está aprendendo na vida profissional, e sendo assim, o tópico mais específico da Medição Fasorial Sincronizada pode ser tratado em disciplinas como Análise de Sistemas de Potência, Distribuição de Energia ou Estabilidade de Sistemas de Potência, na forma de seminários, palestras ou tópicos especiais. Neste trabalho, a importância de se unir a iniciação científica, unindo conhecimentos da academia com a aplicação dentro da indústria de eletricidade proporcionou a sequência de aprendizados referentes ao tema, primeiramente na forma puramente matemática dos fasores, em seguida em seminários já abordando a questão dos Sincrofasores e por fim na Iniciação Científica, onde se tornou objeto de estudo principal e trabalho de conclusão de curso. Aliado a estes estudos, a vivência, em período de estágio, em uma grande empresa do setor elétrico proporcionou o que muitas vezes se discute que falta aos cursos de Engenharia e graduação em geral, a relação do que se aprende em sala de aula com o que deverá ser feito futuramente na carreira profissional. Trabalhando em meio a uma grande empresa, que por sua vez, investe bastante em pesquisa, o tema da Medição Fasorial saiu do papel e se tornou realidade, na forma de projetos já implantando ou em implantação, equipamentos de medição instalados e em funcionamento na rede elétrica e uma infinidade de aplicações e medições referentes ao sistema elétrico da região Norte e do Sistema Interligado Nacional.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da iniciação científica e do trabalho de conclusão de curso que deu origem a este artigo verificou-se que a implantação da medição fasorial sincronizada, através do uso das PMUs, está desenvolvendo um novo horizonte no âmbito da operação e monitoramento dos sistemas elétricos de potência. A precisão e o grande volume de dados fornecidos por esta nova tecnologia traz aos operadores do sistema, e também aos estudiosos do meio acadêmico, várias oportunidades de melhorias para os sistemas. Vários países do mundo já vêm implantando PMUs em suas redes de transmissão há alguns anos e na última década o Brasil



também vem se inserindo neste contexto. Há de se acreditar que em futuro próximo, a medição fasorial será um dos principais componentes dos sistemas, trazendo mais confiabilidade e segurança, tanto para operadores quanto para os clientes, sejam eles do meio industrial, comercial ou residencial. O Sistema Interligado Nacional, pelo seu tamanho e complexidade, é um ótimo campo de pesquisas para o assunto, unindo o setor industrial, universidades e concessionárias de energia com o objetivo de desenvolver e evoluir o sistema de transmissão do país. A utilização desta nova tecnologia trará ganhos à operação em tempo real e também à identificação de possíveis problemas que possam ocorrer, através de análises e estudos aprofundados do comportamento do sistema, podendo vir a evitar faltas de energia temporárias ou até mesmo blecautes generalizados.

O trabalho descreveu a utilização de conceitos básicos de disciplinas da graduação em um arco evolutivo que passou por seminários, Iniciação Científica, estágio em uma grande empresa e finalmente um trabalho de conclusão de curso. A importância de se aliar à sala de aula à pesquisa científica e ao meio profissional é cada vez maior, em grande parte devido a crescente competição que temos no mercado, onde, muitas vezes, é importante que o aluno recém-formado já tenha tido uma vivência da sua profissão ou ao menos já tenha trabalhado em parcerias com empresas de pequeno, médio e grande porte.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENMOUYAL et al, **Medição Fasorial Sincronizada dos Relés de Proteção para Controle, Proteção e Análise de Sistemas Elétricos de Potência**, 29th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 2002.

EHRENSPERGER, J. G., **Relatório Técnico Interno**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

GAMA, S. Z.; DA SILVEIRA, M. A. (Orientador). **Novo Perfil do Engenheiro Eletricista no Início do Século XXI**. Rio de Janeiro, 2002, 631p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

KEMA, **Projeto ESTAL: Utilização pelo NOS de Fasores no Sistema Interligado Nacional – Relatório 3 – Aplicações das PMU e seus Requisitos**, 2007.

PHADKE, A.G.; THORP, J.S. **Synchronized Phasor Measurements and Their Applications**, Springer, 2008.

RIBEIRO, R. B. P.; BEZERRA, U. de H. (Orientador). **Medição Fasorial Sincronizada: Um Novo Paradigma na Operação em Tempo Real de Sistemas Elétricos de Potência**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Faculdade de Engenharia Elétrica, ITEC/UFGA. Belém, 2014.



VOLSKIS ET AL, **Aplicações de PMU e seu Impacto na Operação do SIN**, X EDAO – Encontro para Debates de Assuntos de Operação, 2008.

FROM PHASORS TO SYNCHRONIZED PHASOR MEASUREMENT IN LARGE SCALE ENERGY GENERATION COMPANY – CIENTIFIC INICIATION IN AN ENGINEER’S EDUCATION

Abstract: *object of study in any basic electric circuits course, the concept of phasors has become an important matter on scientific research related to the improvement and expansion of electrical systems nowadays. The concept of Synchrophasors, phasors synchronized in time, have been showing themselves as a rather valid option for the monitoring of transmission and distribution of energy, where, by using these, system operators may have a real-time view of what is happening with the amplitudes and phase angles of voltage and currents in different points, obtaining real-time synchronized measurements of these values. Being so, this technical concept obtained in graduation courses may become more important in scientific researches, many of which are born in partnership with companies of this sector, increasingly combining universities and companies. This paper addresses the importance of scientific initiation in the shaping of an electrical engineer with the union of basic concepts of the course and the utilization of those inside a large scale Electrical Generation utility.*

Key-words: *Synchronized phasor measurement, Synchrophasors, Cientific initiation*