

PROJETO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA SUBESTAÇÕES SUBTERRÂNEAS

Douglas de Castro Karnikowski

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

douglas.ege@gmail.com

Alexandre Kunkel da Costa

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Unijuí

alexandre.kunkel@gmail.com

Gabriel Attuati

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

ga_attuati@hotmail.com

Mauricio de Campos

Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

campos@unijui.edu.br

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um medidor de grandezas elétricas utilizando a Bobina de Rogowski como sensor de corrente e um sensor de Efeito Hall para medição de tensão para a supervisão de Subestações de distribuição de energia. O sistema é projetado para aquisição de sinais de um sistema elétrico trifásico, sendo capaz de realizar a medição tensão e corrente eficaz, consumo de energia ativa e reativa, fator de potência, indicação do sentido do fluxo de potência, além da identificação de distúrbios de tensão de curta e longa duração e interrupções de energia. É realizado um estudo do microcontrolador MS430F47197 próprio para o projeto de medição de grandezas elétricas. Como teste de campo, o protótipo do medidor foi instalado para medir as grandezas elétricas de um transformador de 500KVA de uma subestação subterrânea pertencente ao sistema reticulado da CEEE, localizado na região metropolitana de Porto Alegre – RS.*

Palavras-chave: *Medição, Bobina de Rogowski, Monitoramento.*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica possui um papel fundamental para a sociedade moderna, estando presente em praticamente todas as atividades realizadas pelo ser humano. Assim sendo, qualquer distúrbio que ocorra no Sistema Elétrico de Potência (SEP) pode provocar sérios prejuízos à concessionária de energia elétrica e aos consumidores, desde danos aos equipamentos elétricos e até mesmo a interrupção do fornecimento de energia elétrica, proporcionando perdas para a indústria ou ainda de multas às concessionárias.

Desta forma é crescente a busca para melhorar a confiabilidade, a qualidade e a eficiência do SEP. Concebido na década de 40 do século passado, o grande desafio é transformá-lo em um sistema moderno com o emprego das tecnologias de automação, computação e comunicações. Estas tecnologias devem permitir o monitoramento

e controle da rede elétrica, permitindo o estudo de novas estratégias de controle e otimização da mesma. A integração dessas tecnologias ao SEP é o que a literatura denomina de *Smart Grids* (Rede Inteligente, traduzido para o Português).

Além da medição referente à QEE, a utilização de equipamentos de medição é de suma importância para o levantamento da curva de carga dos consumidores de energia elétrica. Este estudo possibilita o desenvolvimento de métodos estatísticos para a previsão de demanda, viabilizando o planejamento do sistema elétrico a curto, médio e longo prazo.

Neste processo, a tendência é que todos os componentes do SEP sejam monitorados e automatizados. Porém, para que isto seja possível, esses equipamentos devem apresentar um baixo custo e atender aos requisitos das normas para tornar viável a sua utilização em larga escala.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um equipamento para a medição das grandezas elétricas de Subestações de Energia Elétrica.

2. METODOLOGIA

O microcontrolador que será utilizado no projeto é o MSP430F47197, que pertence à família MSP430, produzido pela empresa de semicondutores *Texas Instruments*. Este microcontrolador foi escolhido por apresentar conversão analógica para digital (A/D) precisa (16 bits) e 7 amostras simultâneas, ideais para análise de um sistema trifásico e uma entrada de tensão negativa e positiva no conversor A/D que diminuiu os custos do circuito de aquisição. Além disto, apresenta um *Real-Time Clock* (RTC) interno com um calendário de 1901 até 2099 também necessários no projeto de um sistema de medição. Os microcontrolador da família MSP430 também tem a característica de reduzido consumo de energia, graças aos diferentes modos de funcionamento da CPU

(*Central Processing Unit*) que podem ser implementados (PEREIRA, 2005).

O sensor utilizado para a medição de corrente é a Bobina de Rogowski, que consiste em um núcleo toroidal, não magnético, colocado ao redor de um condutor. Desta forma, quando é gerado um campo magnético por uma corrente alternada que percorre o condutor é induzido uma tensão nos terminais da bobina. O valor da tensão terminal da bobina é proporcional à derivada da corrente que circula pelo condutor. Desta forma, é necessária a utilização de um circuito integrador (Figura 1) para a aquisição de corrente (HIGASHI, 2006)

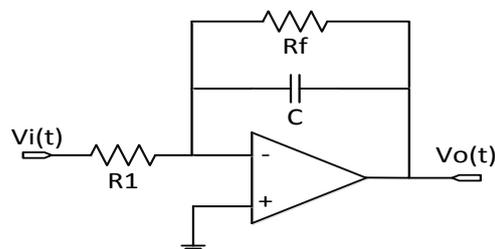


Figura 1 - Integrador utilizado para aquisição de corrente.

O sensor utilizado para medição de tensão *LEM*[®] LV 25-P, baseado no Efeito Hall, suporta uma tensão de entrada alternada ou contínua de até 500 Volts, possui isolamento galvânico entre o circuito primário e o circuito secundário, linearidade, excelente precisão e imunidade a interferências externas.

Para medir todas as distorções de corrente e tensão é necessário representar os sinais no mínimo até a 25ª ordem harmônica, como no Brasil o padrão da frequência da rede é de 60 Hz, temos que a frequência dos sinais a serem medidos é de 1500 Hz. Portanto, a frequência de amostragem deve ser maior que 3000 Hz. Para o projeto foi definido uma amostragem de 4096 Hz.

Para a identificação dos distúrbios de tensão de curta duração utilizou-se o método

do cálculo do valor eficaz a cada ciclo da onda senoidal da rede elétrica.

3. RESULTADOS

De modo a validar o protótipo foram realizados testes com o circuito de aquisição de corrente, com a variação da frequência do sinal de corrente. Através de uma fonte de frequência variável alterou-se a faixa de frequência da corrente de 60Hz à 4999Hz, onde o sinal foi comparado com o sinal de saída de um resistor shunt de 1Ω. Os sinais não apresentaram atraso de fase até a frequência de 1490Hz, validando o circuito de aquisição, projetado para medir até a 25ª harmônica. Em frequências maiores que 1500Hz a forma de onda de saída apresentou um ruído e um atraso de fase de cerca de 4°.

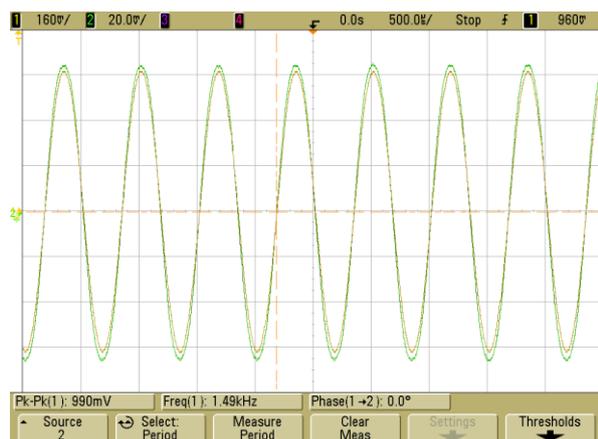


Figura 2 - Rogowski (verde) e Resistor shunt (amarelo) - 1490Hz - 0°.

Para validar o protótipo as medições foram comparadas com as medições do analisador de QEE DRANETZ[®] do modelo PowerGuide 4400. Na Tabela 1 são mostrados os erros relativos percentuais obtidos no ensaio.

Tabela 1: Erros de medição

Grandeza elétrica	Erro de medição
Tensão eficaz	0,34%
Corrente eficaz	0,43%
Potência Ativa	0,61%
Fator de Potência	0,62%

O protótipo foi instalado na subestação subterrânea de distribuição da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE) na região metropolitana de Porto Alegre, que possui tensões primárias de 13,8kV e tensões secundárias de 127/220V e com um transformador de 500kVA. A rede de comunicação em que o sistema de medição foi conectado é composta por uma rede CAN (*Controller Area Network*), um dispositivo de comunicação por rádio frequência (módulo TRF-2,4G), um modem *Power Line Communication* do modelo Echelon e um modem GPRS (*General Packet Radio Service*). A partir desta rede de comunicação as medições são enviadas para um servidor central para armazenamento das informações (GIACOMINI, et al., 2012).

Na Figura 3 é mostrado o protótipo do sistema de medição que foi instalado na subestação.

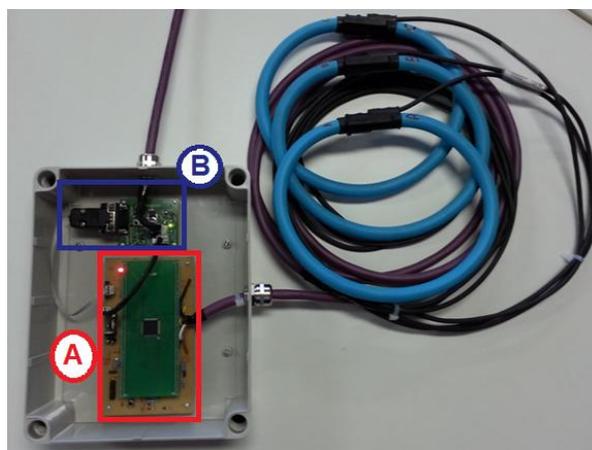


Figura 3 - (A) Placa de aquisição e o MSP430F47197; (B) Placa - comunicação CAN e módulo TRF-24G.

Na Figura 4 é mostrada a instalação da Bobina de Rogowski nos cabos de média tensão no primário do transformador.



Figura 4 - Bobinas de Rogowski instaladas nos cabos isolados 15kV do primário do transformador.

Na Figura 5 é apresentado o gráfico das medições de corrente do primário uma das fases do transformador de 500KVA no dia 01 de junho de 2013, num intervalo de tempo de 2 horas.



Figura 5 - Gráfico dos valores medidos - Corrente primária A – dia 01/06/2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento de medição de grandezas elétricas de baixo custo, fácil instalação e que envie as medições para um sistema de armazenamento de dados e desta forma possibilitar a análise do comportamento do Sistema Elétrico.

A Bobina de Rogowski mostrou-se um sensor de corrente bastante eficaz, possuindo diversas vantagens em relação aos demais sensores encontrados no mercado, como por

exemplo, isolamento galvânica, boa resposta em altas frequências (medição de transitórios), não possui núcleo ferromagnético, resposta linear, capacidade de medição de grandes magnitudes de corrente e é segura, diferentemente do TC que pode proporcionar acidentes caso seu secundário fique em aberto. Além da fácil instalação sem interferir no sistema que é conectada.

Uma forma de diminuir o custo da Bobina de Rogowski foi a aquisição apenas do sensor, sem seu circuito de aquisição e assim projetar o circuito integrador, que se mostrou eficiente em relação a altas frequências e a linearidade, desta forma reduziu-se o custo em cerca 70%.

Agradecimentos

Os autores desse projeto agradecem a colaboração da Instituição UNIJUI, bem como ao apoio financeiro tanto da Instituição, como do FAPERGS e da CEEE.

REFERÊNCIAS

GIACOMINI, Julian, et al. **Monitoramento de uma Subestação Subterrânea de Distribuição de Energia Elétrica utilizando uma Rede de Sensores Inteligentes Híbrida e PLC (Power Line Communication)**. Congresso Brasileiro de Automatica. 2012.

HIGASHI, E. M. **Modelagem da bobina de Rogowski para medidas de pulsos de corrente elétrica**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 82. 2006.

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2ª. s.l. : Bookman®, 2007. p. 856.

PEREIRA, F. **Microcontroladores MSP430 – Teoria e Prática**. s.l. : Érica Ltda, 2005.