

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

AQUISIÇÃO DE CORRENTES UTILIZANDO BOBINAS DE ROGOWSKI¹ **CURRENTS MEASUREMENTS USING ROGOWSKI COILS**

**Leonardo Sostmeyer Mai², Giordano M. Walker³, Anderson A. Schwertner⁴,
Maurício De Campos⁵, Paulo S. Sausen⁶**

¹ Projeto desenvolvido pelo Grupo de Automação Industrial e Controle do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

² Bolsista PROBIC/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

³ Bolsista PROBIC/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

⁴ Bolsista PROBIC/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

⁵ Professor do curso de Engenharia Elétrica, DCEEng Unijuí.

⁶ Professor do curso de Ciência da Computação, DCEEng Unijuí, Orientador.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por eletricidade cresce a cada dia, para isto novas formas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, são desenvolvidas. Um exemplo disto são as subestações subterrâneas utilizadas em grandes centros urbanos que demandam níveis elevados de potência e apresentam um espaço físico reduzido para instalação de equipamentos. Baseando-se nestes conceitos, o Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da Unijuí, em parceria com a CEEE, desenvolveu um sistema de monitoramento para subestações de energia elétrica subterrâneas, com o intuito de adicionar funções de *Smart Grids* para uma rede já instalada. Entre suas diversas funções, o sistema destaca-se por enviar grandezas mensuradas, como tensão e corrente, via PLC (*Power Line Communications*) a partir de uma placa de monitoramento instalada na parte interna do protetor do transformador. Com o uso desta tecnologia é possível realizar o monitoramento da subestação mantendo o nível de proteção IP68 ao protetor do transformador. Este artigo trata do desenvolvimento de um sistema de aquisição de correntes trifásicas *TrueRMS* de baixo custo, utilizando bobinas de Rogowski como transdutor de corrente. Este sistema terá como função auxiliar no processo de calibração das placas de monitoramento utilizadas pelo projeto de pesquisa. Processo este que, até então, é realizado utilizando um analisador de qualidade de energia Dranetz Power Guide® 4400, um equipamento caro e de baixa disponibilidade no mercado brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 BOBINA DE ROGOWSKI

A fim de realizar a medição de correntes trifásicas RMS, optou-se pela utilização de transdutores de correntes denominados Bobina de Rogowski, apresentada na Figura 1. A bobina de Rogowski 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 (KARNIKOWSKI, 2013).

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

Figura 1 - Bobina de Rogowski utilizada.



Fonte: dos autores.

A maior vantagem da Bobina de Rogowski em relação aos TCs convencionais está relacionada ao tipo de núcleo utilizado pela mesma. Enquanto TCs utilizam núcleos magnéticos, as Bobinas de Rogowski utilizam núcleos de ar. Esta característica possibilita que a bobina de Rogowski não sature sob altas correntes, além de garantir boa resposta em altas frequências, possibilitando a medição em transitórios de corrente (CEPEL, 2012). A tensão no terminal da Bobina, contudo, é diretamente proporcional à derivada da corrente que circula pelo condutor. Sendo assim, no circuito de aquisição é necessário realizar a integração do sinal adquirido pela Bobina de Rogowski para obter-se então um sinal proporcional à corrente no condutor.

2.2 CIRCUITO DE AQUISIÇÃO PROPOSTO

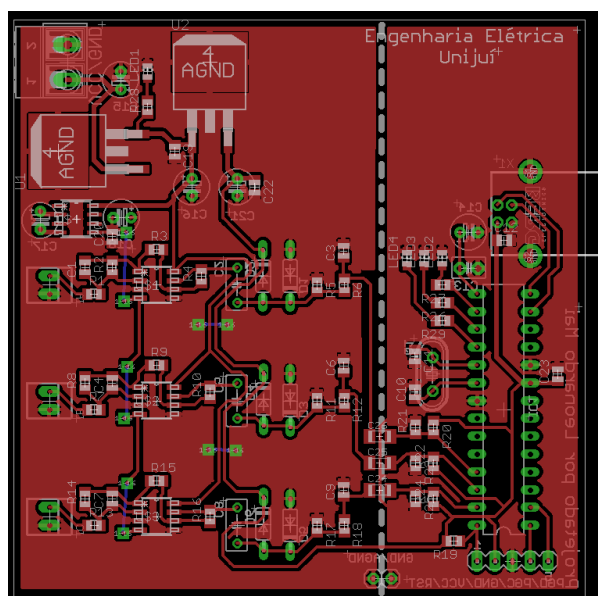
O circuito integrador é formado pela utilização de um amplificador operacional na sua configuração de inversor integrador. Como o integrador possui um ganho inversor (-1) é necessário utilizar, também, um circuito inversor para que o sinal de saída se iguale ao sinal real medido. Optou-se pela utilização de um circuito amplificador inversor com ganho igual a -10, a fim de adequar o nível de tensão do sinal para melhorar a imunidade a ruídos. É este ganho, também, que ditará a máxima corrente que o dispositivo será capaz de adquirir, sem que haja saturação do sinal. Por conta da adição de tensão de *offset* CC pelo amplificador operacional, foi incluído um capacitor em série com o intuito de barrar toda a componente CC do sinal. Desta forma, somente a componente CA será mantida. Por medidas de proteção adicionou-se, também, diodos grampeadores. Estes têm a função de impedir que o nível de tensão do sinal ultrapasse 5 V. Situação esta que resultaria na queima do conversor AD.

Na etapa seguinte, é aplicado um filtro *anti-aliasing* ao circuito com a finalidade de filtrar ruídos de alta frequência. Este filtro atua na configuração de passa-baixa calculado para 3 kHz, permitindo que a frequência fundamental e suas harmônicas sejam preservadas, enquanto, frequências consideradas ruídos, acima da frequência de corte serão atenuadas. Este, foi calculado de forma a permitir que sejam preservadas as frequências harmônicas da rede até sua 25ª ordem, como determinado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para sistemas de medições de energia. Desta forma, a frequência de corte deve ser acima de 1500 Hz (ANEEL, 2012). A última etapa de adequação do sinal é composta por um circuito divisor de tensão com o

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

propósito de criar um ponto médio de tensão de 2,5 V que será utilizado como *offset* para o sinal senoidal. Este passo é necessário para elevar toda a faixa de tensão a níveis positivos, por conta da incapacidade do microcontrolador utilizado realizar leitura de tensões negativas. Desta forma, o sinal irá oscilar entre os níveis de tensão 0 V - 5 V. A placa de circuito impresso desenvolvida para este equipamento de medição é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - PCI aquisição de correntes.



Fonte: dos autores.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A fim de comprovar a funcionalidade do circuito, o mesmo foi utilizado para realizar a aquisição de uma corrente alternada RMS. Os valores de referência foram obtidos utilizando o analisador de energia Dranetz Power Guide® 4400 que apresenta erro relativo máximo de 0,1% para leitura de correntes (DRANETZ, 2014). O erro relativo é representado pela Equação 1, e na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos pelo sistema proposto.

$$ER(\%) = \frac{C_{Observado} - C_{Verdadeiro}}{C_{Verdadeiro}} * 100 \quad (1)$$

Tabela 1 - Resultados obtidos

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

Corrente Medida RMS (A)	Tensão Pico-a-Pico entrada AD (V)	Corrente de referência RMS (A)	Erro (%)
3,03	0,048	3,07	1,32
10,13	0,156	10,02	1,09
28,04	0,440	28	0,15
56,06	0,780	56	0,107
84,22	1,11	83,9	0,3814
112,14	1,43	111,9	0,2144
139,64	1,75	139,4	0,1721
166,7	2,05	166,6	0,06
223,5	2,74	223,2	0,1344
299,8	3,66	298,7	0,368

Com base nestes valores percebe-se uma tendência da precisão do dispositivo diminuir conforme a corrente medida também diminui. Isso pode ser corrigido com a utilização de seletores de ganho para determinadas faixas de operação. Para uma faixa de corrente de 30 A a 300 A, o circuito proposto apresentou uma taxa de erro inferior a 1% conforme pode-se observar na Tabela 1. Devido ao conversor A/D do microcontrolador possuir 10 bits, define-se que a classe do equipamento é de 0,3 (300 A / 1024). Desta forma é possível calcular a classe de exatidão do equipamento por meio da equação 2.

$$\xi = \frac{\text{classe} \cdot \text{fundodeesc}}{100} = \frac{0,3 \cdot 300}{100} = 0,9 \quad (2)$$

Este valor define que qualquer leitura de corrente está sujeita a um erro de $\pm 0,9\%$ intrínseca ao conversor analógico digital. Um dispositivo com classe de exatidão 0,9 é dito como sendo um instrumento de ensaio (FRANK, 1997). Por conta de o sistema de monitoramento de subestações desenvolvido caracterizar-se como sendo um equipamento de serviço, é aceitável a utilização de um instrumento de ensaio para sua calibração.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um circuito de aquisição de correntes utilizando o transdutor de corrente do tipo Bobina de Rogowski. Para o correto funcionamento da Bobina de Rogowski foi apresentado um circuito de condicionamento do sinal que tem como principal função realizar a integração do sinal de saída do sensor e sua adequação para realizar a aquisição pelo conversor AD do microcontrolador. Calculou-se o erro relativo apresentado pelo instrumento, considerando a faixa de leitura entre 30 A e 300 A, o erro foi menor que 1% caracterizando o equipamento como próprio para utilização como instrumento de ensaio. Embora o analisador de

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

qualidade de energia, utilizado anteriormente para a tarefa de calibração, apresente diversas funções, além da aquisição de correntes, seu preço o torna proibitivo e tais funções extras não são utilizadas pelo projeto de pesquisa. Desta forma, o dispositivo desenvolvido apresenta-se como uma solução viável para um problema específico, uma vez que seu erro relativo se manteve em margens aceitáveis durante a faixa de variação de corrente desejada.

Palavras-chave:

Bobina de Rogowski, Medição, Corrente RMS.

Agradecimentos:

Os autores agradecem o apoio da Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE, e a FAPERGS pela bolsa de inovação tecnológica.

Referências Bibliográficas:

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** - PRODIST - Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica. 2012. Disponível em: <
http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf > Acesso em: 05 de jun. de 2017.

BRASIL. Ministério de minas e energia. Grupo de trabalho de redes elétricas inteligentes. Smart Grid. 2010. Disponível em: <
http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf > Acesso em: 24 de maio de 2017.

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Bobinas de Rogowski**. 2012. Disponível em: <
ftp://ftp.cepel.br/upload/Curso_Descargas_Parciais/Tomaz/1_Rogowski2012.pdf > Acesso em: 06 de jun. de 2017.

FRANK, E. **Electrical Measurement Analysis**. Editora Robert E. Krieger, New York. 1977.

KARNIKOWSKI, D. C. **Desenvolvimento de um sistema de medição de sinais elétricos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI. Ijuí/RS.