



Evento: X Seminário de Inovação e Tecnologia

DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE AQUISIÇÃO DE CORRENTE PARA BOBINAS DE ROGOWSKI¹

DEVELOPMENT OF A CURRENT ACQUISITION CIRCUIT FOR ROGOWSKI COILS

Lorenzo Ratzlaff Hermann², Douglas Flores Copetti³, Gustavo Eckhardt⁴, Luís Fernando Sauthier⁵, Paulo Sérgio Sausen⁶, Maurício de Campos⁷

¹ Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) e financiada pela Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE-D).

² Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, lorenzo.hermann@sou.unijui.edu.br

³ Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, douglas.copetti@sou.unijui.edu.br

⁴ Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, gustavo.eckhardt@sou.unijui.edu.br

⁵ Professor Mestre no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí.

⁶ Professor Doutor no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí.

⁷ Professor Doutor no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e os testes iniciais de um circuito de aquisição de corrente para bobinas de Rogowski, o qual será utilizado em um medidor de grandezas elétricas. Os ensaios realizados, referentes a linearidade do sinal de saída e o defasamento causado pelo circuito, apresentaram resultados satisfatórios, validando o funcionamento do sistema.

Palavras-chave: Bobina de Rogowski. Medição. Circuito de Aquisição.

INTRODUÇÃO

Com o avanço das redes elétricas inteligentes, que tem seu funcionamento baseado essencialmente no emprego de tecnologias de automação e informação e no intenso fluxo de dados provenientes de sensores, os equipamentos de monitoramento do sistema elétrico de potência assumiram papel fundamental (GUNGOR et al., 2011). Tais equipamentos são responsáveis por realizar medições de grandezas elétricas como tensão, corrente, potências ativas e reativas e efetuar análises harmônicas da rede.

Relativo aos sensores utilizados para medição de corrente, os mais populares são o resistor shunt, o transformador de corrente, o sensor de efeito Hall e a bobina de Rogowski. Cada tipo de sensor possui características específicas, tornando-se mais adequado para determinadas aplicações. Dentre essas características, pode-se citar o tipo de corrente medida (AC ou DC), o custo econômico, a forma de instalação, entre outros (KARNIKOWSKI, 2013).



As principais vantagens da bobina de Rogowski consistem na capacidade de medir grandes magnitudes de corrente, resposta linear, baixa influência da temperatura (a qual pode ser facilmente corrigida com o uso de um resistor apropriado conectado em paralelo), boa resposta em altas frequências (possibilitando a medição de transitórios) e a sua fácil instalação (RIPKA, 2010).

Nesse sentido, o presente resumo expandido tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um circuito de aquisição de corrente para bobinas de Rogowski. Tal circuito fará parte de um sistema de medição de grandezas elétricas que será instalado na rede elétrica subterrânea da cidade de Porto Alegre.

METODOLOGIA

Uma bobina de Rogowski, apresentada na Figura 1, consiste em um enrolamento toroidal, com núcleo não magnético, colocado ao redor de um condutor. O campo magnético alternado gerado pela corrente circulante no condutor envolto induz uma tensão de saída proporcional à taxa de variação dI/dt nos terminais da bobina. Portanto, para que se possa obter o sinal de corrente deve-se integrar o sinal de saída do sensor (BARBER, 2014).

Figura 1 - Bobina de Rogowski.

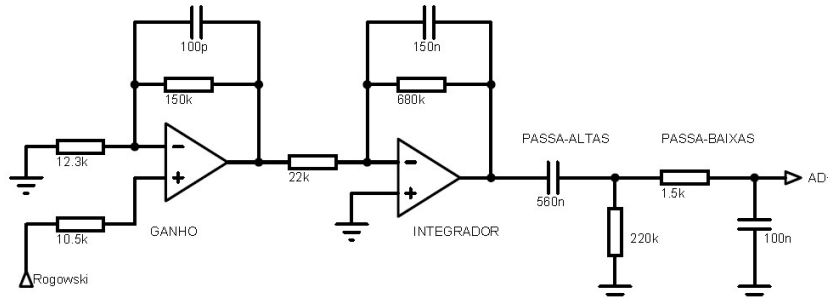


Fonte: accuenergy.com

A integração do sinal pode ser feita de forma analógica, através de um circuito em hardware, ou digital, diretamente no *firmware* do microcontrolador (ZHAO, 2015). No presente trabalho optou-se por realizá-la de forma analógica através de um circuito ativo, utilizando amplificadores operacionais. O circuito de aquisição de corrente desenvolvido é apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Circuito de aquisição de corrente.



Fonte: Os autores.

O circuito é composto basicamente por dois estágios ativos e dois filtros passivos. O primeiro estágio consiste em um amplificador não inversor, o qual é responsável pela maior parcela do ganho do circuito, a malha formada pelos resistores de 150 k Ω e 12,3 k Ω resulta em um ganho de aproximadamente 13,20. O segundo estágio, correspondente ao integrador, foi dimensionado para uma constante de tempo aproximadamente de 100 ms, visando obter um defasamento máximo de 3 $^{\circ}$ entre o sinal original e o integrado (TEXAS INSTRUMENTS, 2016).

Após os estágios ativos, foram implementados filtros passivos. O primeiro filtro, do tipo passa-altas, visa filtrar qualquer *offset* residual que possa ter sido gerado pelos amplificadores operacionais. O capacitor de 560 nF e o resistor de 220 k Ω resultam em uma frequência de corte 1 Hz. Por fim, considerando que a taxa de amostragem do sinal pelo microcontrolador será de 2048 amostras por segundo, foi projetado um filtro passa-baixas para atuar como *anti-aliasing*. O resistor de 1,5 k Ω e o capacitor de 100 nF resultam em uma frequência de corte de 1024 Hz.

Como os circuitos analógicos são sensíveis a fatores externos como temperatura e umidade, optou-se por utilizar o amplificador operacional OPA2188, fabricado pela Texas Instruments $^{\circ}$. As principais características do componente são a baixa tensão de *offset*, a variação à temperatura quase nula, o baixo ruído e a saída *rail-to-rail*, tornando-o ideal para esta aplicação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

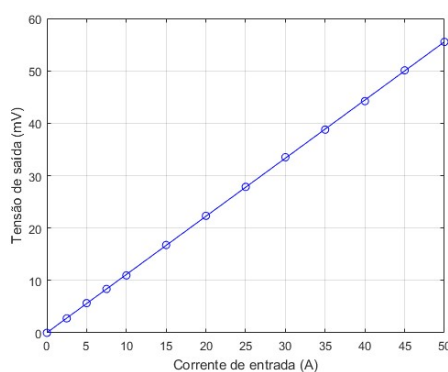
Com o objetivo de verificar a linearidade e o defasamento do sinal de saída do circuito de aquisição, foram realizados ensaios variando-se a amplitude da corrente de entrada com diferentes tipos de carga. Para tal, utilizou-se uma fonte de tensão senoidal ajustável, de modo



a simular a tensão da rede, e o analisador de energia PowerGuide 4400, fabricado pela empresa DRANETZ©, para monitorar os valores de corrente injetados.

No ensaio referente a linearidade da tensão de saída, utilizou-se uma carga puramente resistiva e variou-se a corrente de entrada numa faixa de 0 A a 50 A. Através da análise do gráfico apresentado na Figura 3, pode-se concluir que a resposta do circuito é linear.

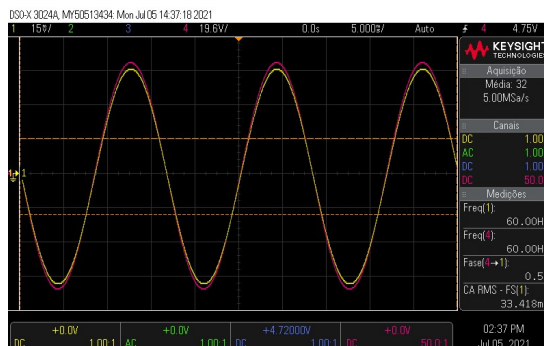
Figura 3 - Relação entre corrente de entrada e tensão de saída do circuito.



Fonte: Os autores.

Para que se possa medir grandezas como potência ativa e reativa, fator de potência e efetuar a análise harmônica da rede, é necessário que o sinal de saída do circuito de aquisição esteja em fase com a corrente circulante no condutor. Nesse sentido, os testes de defasamento foram feitos com cargas puramente resistivas, indutivas e capacitivas, mantendo-se a corrente de entrada fixa em 30 A.

Figura 4 - Formas de onda medidas para a carga puramente resistiva.



Fonte: Os autores.

Os valores médios obtidos no ensaio foram de +0,5°, +84,1° e -90,3° respectivamente para as cargas supracitadas. O sinal positivo indica um atraso do sinal de corrente em relação a tensão, enquanto o sinal negativo indica um adiantamento. Na Figura 4 são apresentadas as



formas de onda para a carga resistiva, o sinal em rosa é a tensão da fonte e o sinal em amarelo é a saída do circuito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O circuito de aquisição de corrente apresentado opera de maneira satisfatória. Em ambos os ensaios realizados obteve-se resultados dentro da faixa de tolerância, dispensando a necessidade da implementação de rotinas de correção no *firmware* do microcontrolador. Além disso, o circuito apresenta um baixo custo econômico quando comparado ao acréscimo sofrido pelas bobinas que já apresentam seu sistema de condicionamento de fábrica. Como trabalhos futuros, será adicionado no circuito uma etapa de proteção contra sobretensões e recalculado o ganho do primeiro estágio do sistema, de modo a adequar os níveis de tensão do sinal de saída aos limites suportados pelos canais AD do microcontrolador.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIJUÍ e a CEEE pela bolsa de iniciação científica e ao GAIC pela disponibilização dos laboratórios para desenvolvimento do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, John P. **The use of rogowski coils in current measurement**. 17th International Symposium On Electromagnetic Launch Technology, p. 33-34, jul. 2014. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/eml.2014.6920689>

GUNGOR, Vehbi C. et al. **Smart Grid Technologies: communication technologies and standards**. IEEE Transactions On Industrial Informatics, v. 7, n. 4, p. 529-539, nov. 2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tii.2011.2166794>

KARNIKOWSKI, Douglas de Castro. **Desenvolvimento de um Sistema de Medição de Sinais Elétricos**. 2013. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

RIPKA, Pavel. **Electric current sensors: a review**. Measurement Science And Technology, v. 21, n. 11, set. 2010. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/21/11/112001>.

TEXAS INSTRUMENTS. **Active Integrator for Rogowski Coil Reference Design With Improved Accuracy for Relays and Breakers**. Application Report (TIDUBY4A), 2016.

ZHAO, Miao. **Design of Digital Integrator for Rogowski Coil Sensor**. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia da Informação, Tampere University Of Technology, Tampere, 2015.