

UMA APLICAÇÃO DE SENSOR VIRTUAL NA MENSURAÇÃO DE DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO

¹ GUILHERME ISAÍAS DE PAULA, Acadêmico de Eng. Elétrica, gui1304@yahoo.com.br

² SORAIA T. ARRAIS, Acadêmico de Eng. Elétrica, sta.arrais.soraia@gmail.com

³ VINÍCIUS RODRIGUES DE SOUZA, Acadêmico de Eng. Elétrica, viniciusrodriguesouza@hotmail.com

⁴ CIRO JOSÉ EGOAVIL MONTERO, Docente de Eng. Elétrica, ciro.egoavil.professor@ieee.org

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Porto Velho – RO, Brasil.

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015

15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Os sensores são de fundamental importância em sistemas industriais, como sistemas de automação, controle e aquisição de dados, devido à capacidade de medição de grandezas físicas. No presente trabalho será utilizado um sensor virtual para mensurar densidade de fluxo magnético num aparato composto por uma Bobina de Helmholtz. São apresentados os materiais e é demonstrado o método analítico pelo qual se obtém o valor da densidade de fluxo magnético partindo da leitura de corrente. Finalmente apresenta-se os resultados das medições e implementa-se correções para melhorar a precisão do sensor virtual.

Palavras-Chave: Sensor Virtual, Densidade de Fluxo Magnético, Instrumentação.

A SOFT SENSOR APPLICATION ON MEASURING MAGNETIC FLUX DENSITY

Abstract: Sensors are fundamental in industrial applications as they are capable of measuring physical quantities. This paper presents the usage of a soft sensor which measures magnetic flux density in an apparatus composed by a Helmholtz Coil using a current sensor. Here are exposed the materials and the analytic method used to estimate the magnetic flux density is deduced. Finally the results are shown and then some corrections are discussed.

Keywords: Soft sensor, Magnetic Flux Density, Instrumentation.

I. INTRODUÇÃO

O Campo Magnético pode ser produzido de duas formas: da propriedade básica de muitas partículas elementares, como os elétrons, que possuem um campo magnético intrínseco, sendo este associado a outros materiais, interagindo com os mesmos de forma propagativa; a outra forma por indução de corrente elétrica, este último caso é o interesse pra este projeto (Halliday et al., 2006) O Campo magnético gerado por uma corrente pode ser utilizado para diversos fins na indústria, deste de controlar um disco rígido de computador ou para transportar sucata de um lugar para outro (Halliday et al., 2006). Segundo Oliveira (2015), as bobinas de Helmholtz, idealizadas por Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), são amplamente empregadas em situações que requerem a geração de campo magnético de magnitude e direção controladas, e são usualmente empregadas em instrumentação, calibração de sensores, testes de equipamentos e sistemas de desmagnetização (Koizume, 2012).

Normalmente a medição de uma grandeza física é realizada com o uso de um sensor específico. Em geral dispositivos transdutores são escolhidos para transformar a grandeza de interesse em outra mais conveniente, como comprimento de uma coluna de mercúrio ou uma tensão elétrica. Existem ocasiões, contudo, em que um sensor específico é muito dispendioso ou de difícil implementação. Nestes casos a técnica de sensoriamento virtual apresenta-se como uma solução interessante. O sensoriamento virtual faz uso de informações disponíveis para calcular uma estimativa de uma grandeza de interesse. Um sensor virtual (*soft sensor*) que é realizado por métodos analíticos calcula a estimativa baseado em aproximações das leis físicas que governam a relação entre a grandeza de interesse e aquelas que se tem disponíveis (Kabadayi et al., 2006).

Neste trabalho será empregado um sensor monitorando a corrente circulante em duas bobinas de Helmholtz, e calculando a densidade de fluxo Magnético, designado por \vec{B} , gerado pelo arranjo.

II. MATERIAL E MÉTODO

Para desenvolvimento do dispositivo de leitura da densidade de fluxo magnético, que é produzido pela corrente circulante entre duas bobinas, foram utilizados os seguintes componentes: um kit de desenvolvimento de eletrônica embarcada Arduino, um display LCD, um sensor ACS 712 de corrente elétrica, duas bobinas de Helmholtz.

O sensor de corrente empregado é o ACS712 da Allegro, que é baseado em uma pastilha de efeito Hall (Allegro, 2013). As bobinas utilizadas são circulares com raio de 21,5 cm, cada bobina tem 150 espiras, totalizando 300 espiras. O Cabeamento utilizado foi o fio de cobre 20 AWG, onde a corrente máxima suportada pelo condutor é de 9 A. O kit de desenvolvimento tem um microcontrolador Atmega328P (Atmel, 2014), utiliza o conversor analógico-digital de 10 bits periférico do microcontrolador para ler o sinal fornecido pelo sensor de corrente e então aplicar o método analítico que é obtido a seguir.

Para o cálculo da \vec{B} entre as bobinas se utiliza a modelagem da equação de Biot-Savart apresentada na equação (1):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^2} d\vec{l} \times \left[\frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right] \quad (1)$$

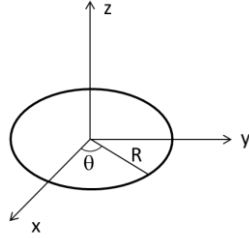


Figura 1: Uma espira de raio R.

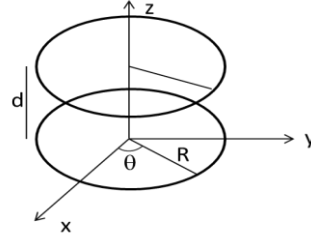


Figura 2: Bobina de Helmholtz com N espiras.

Observando a figura 1 e sendo $d\vec{l} = R d\theta \hat{\theta}$, $\vec{r} = z\hat{k}$ e $\vec{r}' = R\cos\theta\hat{i} + R\sin\theta\hat{j}$ então $|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{z^2 + R^2}$. Escrevendo-se $\hat{\theta}$ em termos de \hat{i} e \hat{j} : $\hat{\theta} = \cos\theta\hat{j} - \sin\theta\hat{i}$, para encontrar $d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}') = R d\theta (z\cos\theta + z\sin\theta\hat{j} + R\hat{k})$. Substituindo essas grandezas na equação de Biot-Savart:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i R d\theta (z\cos\theta + z\sin\theta\hat{j} + R\hat{k})}{4\pi (z^2 + R^2)^{3/2}} \quad (2)$$

O campo magnético da espira é obtido através de integração:

$$\vec{B}_x = 0, \quad \vec{B}_y = 0, \quad \vec{B}_z = \frac{\mu_0 i R^2}{2(Z^2 + R^2)^{3/2}} \hat{k} \quad (3)$$

As componentes x e y se anulam em função da simetria, logo o campo magnético gerado pela espira possui somente a componente z. A equação acima vai dar suporte para a configuração de uma bobina com um arranjo com N espiras, onde vai se assemelhar a um solenoide de comprimento L. O campo gerado por uma bobina é, portanto, o campo de uma espira multiplicado por N, ou seja, a equação acima torna-se:

$$\vec{B}_{bobina} = \frac{N\mu_0 i R^2}{2} \cdot \frac{\hat{k}}{(Z^2 + R^2)^{3/2}} \quad (4)$$

Essa configuração de duas bobinas é chamada de bobina de Helmholtz, que é um experimento importante no estudo experimental, porque produz, para certos valores de R e a, uma região no seu interior em que o campo magnético é constante e uniforme e que pode ser utilizado em experiências envolvendo magnetismo. O \vec{B} gerado pelas bobinas é dado pela equação anterior, onde é adaptado para cada uma delas.

O campo da bobina que está em $z=0$ é $\vec{B}_1 = \frac{N\mu_0 i R^2}{2} \cdot \frac{1}{(z^2 + R^2)^{3/2}} \hat{k}$, enquanto o campo da bobina localizada em $z=d$ é $\vec{B}_2 = \frac{N\mu_0 i R^2}{2} \cdot \frac{1}{((d-z)^2 + R^2)^{3/2}} \hat{k}$. O campo magnético total, então, será:

$$\vec{B} = \frac{N\mu_0 i R^2}{2} \left(\frac{1}{(z^2 + R^2)^{3/2}} + \frac{1}{((d-z)^2 + R^2)^{3/2}} \right) \hat{k} \quad (5)$$

Calculando a primeira derivada para obter o ponto crítico e igualando a zero:

$$\frac{dB}{dz} = \frac{-3N\mu_0 i R^2}{2} \left(\frac{z}{(z^2 + R^2)^{5/2}} - \frac{(d-z)}{((d-z)^2 + R^2)^{5/2}} \right) = 0 \quad (6)$$

Encontra-se o ponto crítico $z = 0,5d$: meia distância entre as bobinas. Calculando a segunda derivada:

$$\frac{d^2B}{dz^2} = \frac{-3N\mu_0 i R^2}{2} \left(\frac{R^2 - 4z^2}{(z^2 + R^2)^{7/2}} + \frac{R^2 - 4(d-z)^2}{((d-z)^2 + R^2)^{7/2}} \right) \quad (7)$$

Avaliando a segunda derivada em $z = 0,5d$ e igualando-a a zero produz como resultado $d = R$, de modo que para que a segunda derivada se anule a distância entre as bobinas deve ser igual ao seu raio. O campo magnético no ponto $z = 0,5d$ é:

$$\vec{B} = \frac{1}{R} 0,7155 \mu_0 N i \hat{k} \quad (8)$$

III. RESULTADOS

Os testes foram realizados alimentando o arranjo com uma fonte alternada (transformador variável). Para aferir a corrente circulante nas Bobinas usou-se um multímetro e um magnetômetro ICEL EM-8000 para mensurar a densidade de fluxo magnético. Na tabela 1 são apresentadas as leituras da corrente.

Tabela 1: Valores de corrente elétrica e densidade de Fluxo Magnético.

Amperímetro	Sensor de Corrente	Magnetômetro	\vec{B} Calculado
0,230 A	0,315 A	290 μ T	197 μ T
0,386 A	0,475 A	396 μ T	297 μ T
0,412 A	0,493 A	438 μ T	309 μ T
0,877 A	0,948 A	842 μ T	600 μ T
1,362 A	1,400 A	1221 μ T	878 μ T
1,650 A	1,693 A	1400 μ T	1061 μ T
1,823 A	1,870 A	1579 μ T	1113 μ T
2,341 A	2,422 A	1973 μ T	1519 μ T

Observa-se uma diferença entre a corrente obtida pelo multímetro e a corrente mensurada pelo sensor, sendo que esta diferença permanece na densidade de campo magnético, devendo ser atribuída a sensibilidade do sensor. Para corrigir o desvio tomou-se diversas medições e utilizando uma regressão polinomial encontrou-se um polinômio de terceira ordem:

$$i(x) = -0,0294x^3 + 0,088x^2 + 0,9584x - 0,0799 \quad (9)$$

A qual produz uma melhoria significativa nos resultados:

Tabela 2: Valores corrigidos de corrente elétrica e densidade de fluxo magnético.

Amperímetro	Sensor de Corrente	Magnetômetro	\vec{B} Calculado
0,100 A	0,130 A	200 μ T	150 μ T
0,230 A	0,260 A	290 μ T	163 μ T
0,412 A	0,440 A	438 μ T	275 μ T

0,637 A	0,666 A	630 μ T	410 μ T
0,877 A	0,900 A	842 μ T	560 μ T
1,362 A	1,387 A	1221 μ T	869 μ T
1,823 A	1,847 A	1579 μ T	1158 μ T
2,341 A	2,363 A	1973 μ T	1481 μ T

Como ainda não houvesse concordância entre os valores medidos e aqueles adquiridos com o magnetômetro, encontrou-se uma função de primeiro grau para ajustar a medição, corrigindo um offset e um ganho. Deste modo:

$$\vec{B}(i) = (797,920i + 112,69)\hat{k} \quad (8)$$

Tabela 3: Valores ajustados de corrente elétrica e densidade de fluxo magnético.

Amperímetro	Sensor de Corrente	Magnetômetro	\vec{B} Calculado
0,100 A	0,115 A	200 μ T	100 μ T
0,386 A	0,398 A	396 μ T	249 μ T
0,637 A	0,648 A	630 μ T	406 μ T
0,877 A	0,886 A	842 μ T	555 μ T
1,362 A	1,379 A	1221 μ T	864 μ T
1,650 A	1,661 A	1400 μ T	1041 μ T
1,823 A	1,837 A	1579 μ T	1151 μ T
2,341 A	2,353 A	1973 μ T	1475 μ T

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sensores virtuais estimam valores de determinadas grandezas físicas baseados em outras grandezas físicas cujo valor é conhecido. Neste projeto desenvolveu-se um sensor virtual para, estimar o valor da densidade de fluxo magnético, através da leitura da corrente elétrica. O resultado obtido foi possível por meio de uma aproximação entre os valores estimados e aqueles medidos por instrumentos próprios, como se observa na Tabela 3, com o uso de fatores de correção. Os desvios dos valores obtidos são atribuídos às imprecisões dos instrumentos bem como aos ruídos externos. Assim, a aplicação viabiliza o uso das bobinas de Helmholtz para experimentos didáticos realizados nos laboratórios e deve-se trabalhar, futuramente, em seu aprimoramento.

V. REFERÊNCIAS

- [1] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., Fundamentos de Física. 7ª edição, vol. 3, Editora LTC, Rio de Janeiro 2006,
- [2] KOISUME, M. T. Desenvolvimento de Sensores e Instrumentação Aplicados no Projeto de Equipamentos Analisadores de Qualidade de Energia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Dissertação de Mestrado. Curitiba, 2012.
- [3] OLIVEIRA, D.A. Calibração e Controle de Bobinas de Helmholtz para Aplicação Espacial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Tecnologia Espaciais, Mecânica, Espacial e Controle. São José dos Campos, 2014.
- [4] OLIVEIRA, D.A; CARRARA, V. KUGA, H. K. Calibração de Bobinas de Helmholtz para Aplicação Espacial utilizando filtragem com mínimos quadrados. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.16.12.45/doc/1007.pdf?ibiurl.language=en>>. Acesso: fevereiro de 2015.
- [5] ALLEGRO. ACS712 – Datasheet, Rev. 15. Massachusetts: Allegro MicroSystems, LLC, 2013.
- [6] KABADAYI, S.; PRIDGEN, A.; JULIEN, C. **Virtual Sensors: Abstracting Data from Physical Sensors**. Texas: The University of Texas at Austin, 2006.
- [7] ATMEL. ATmega328P – Datasheet. San José: Atmel Corporation, 2014.