

Gradiômetro GMI para medição de campos magnéticos ultra fracos

GMI gradiometer for measurement of ultra-weak magnetic fields

R B M M Silva ¹, E C Silva ¹, L A P Gusmão ¹, C R H Barbosa ², E C Monteiro ²

¹ Departamento de Engenharia Elétrica; ² Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 22541-900, Brasil

E-mail: beto_bmms@hotmail.com

Resumo: Este artigo apresenta e descreve o projeto de um transdutor magnético de alta resolução, destinado à medição de campos magnéticos ultra fracos por meio da leitura gradiométrica de sensores GMI. Sensores GMI apresentam potencial para medições de campos magnéticos com intensidades ordens de grandeza inferiores ao ruído magnético ambiental. Entretanto, para medição de tais níveis de campo, em ambientes desprovidos de blindagem magnética, é mandatória a utilização de configurações gradiométricas, a fim de aumentar a relação sinal/ruído. Este trabalho discute os aspectos teóricos do sistema proposto e analisa seu desempenho por meio de simulações computacionais.

Palavras-chave: sensores magnéticos; magnetoimpedância gigante; campos magnéticos ultra fracos; gradiômetro.

Abstract: This manuscript presents and describes the project of a high-resolution magnetic transducer, aimed at measuring ultra-weak magnetic fields by gradiometric readings of GMI sensors. GMI sensors show great potential for measuring magnetic fields with intensities orders of magnitude smaller than the environmental magnetic noise. However, to measure such fields, in unshielded environments, the use of gradiometric configurations of the sensing elements is mandatory, in order to increase the signal-to-noise ratio. This work discusses the theoretical aspects of the proposed system and analyses its performance by computational simulations.

Keywords: Magnetic Sensors; Giant Magnetoimpedance; ultra-weak magnetic fields; gradiometer.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem poucos sensores magnéticos capazes de efetuar a medição de campos ultra fracos (abaixo de 1 nanotesla) [1-3]. Sensores GMI (Magnetoimpedância Gigante) são uma das mais recentes famílias de sensores magnéticos, 8º Congresso Brasileiro de Metrologia, Bento Gonçalves/RS, 2015

sendo caracterizados por baixo custo, alta sensibilidade, portabilidade e capacidade de operação à temperatura ambiente [4-5].

A impedância $Z_{sens}(H)$ de amostras GMI varia em função do campo H , quando as mesmas são excitadas por uma corrente alternada I .

Esta impedância pode ser modelada por uma resistência $R_{sens}(H)$ em série com uma reatância $X_{sens}(H)$ [4-5], conforme definido por

$$Z_{sens}(H) = R_{sens}(H) + j \cdot X_{sens}(H). \quad (1)$$

Trabalhos recentes indicam que transdutores GMI baseados na leitura da fase $\theta_{sens}(H)$ das amostras possuem maior sensibilidade do que os baseados em leituras de módulo $|Z_{sens}(H)|$ [6-7].

O presente trabalho foca no desenvolvimento de um dispositivo capaz de medir campos magnéticos ultra fracos. Consequentemente, objetivando a maximização da sensibilidade, optou-se pela leitura da fase dos sensores.

Uma das maiores dificuldades associadas a medições de campos magnéticos ultra fracos é o fato de que suas intensidades são inferiores ao ruído/interferência ambiental. Logo, por mais sensível que um transdutor magnético seja, tais medições serão significativamente afetadas por componentes espúrias [1-3].

O emprego de arranjos gradiométricos é uma alternativa eficaz e de baixo custo, capaz de propiciar a melhoria da relação sinal ruído em muitas das medições de interesse [3, 7-9]. Em um gradiômetro de primeira ordem, dois elementos sensores, G_1 e G_2 , são dispostos com certa distância entre eles. Um deles (G_1) é posicionado próximo à fonte de sinal e o outro (G_2) a uma distância considerável da mesma. Dessa forma, pode-se admitir que G_1 estará submetido tanto ao campo magnético advindo da fonte de sinal quanto à interferência magnética. Por sua vez, G_2 estará submetido quase que somente à interferência. Consequentemente, fazendo-se uma leitura diferencial dos sensores, pode-se cancelar grande parte da interferência [3, 7-9].

2. METODOLOGIA

2.1. Sistema de caracterização

As amostras GMI utilizadas neste trabalho possuem composição química $Co_{70}Fe_5Si_{15}B_{10}$, espessura média de 60 μm , largura de 1,5 mm e comprimento de 3 cm [6]. A sensibilidade destas amostras é afetada por parâmetros da corrente de excitação: amplitude, frequência e nível CC [4].

O sistema de caracterização utilizado possui um medidor RLC de precisão, capaz de excitar a amostra com a corrente desejada, e realizar medições de módulo e fase da impedância. O sistema conta ainda com uma bobina de Helmholtz, que gera os campos magnéticos destinados à excitação da amostra. Tal sistema possibilita a identificação do conjunto de parâmetros da corrente de excitação, que maximiza a sensibilidade de fase das amostras [6-7].

2.2. Projeto do gradiômetro

A figura 1 apresenta o diagrama de blocos do circuito eletrônico de transdução proposto. O oscilador senoidal tem por função gerar uma tensão CA com a frequência desejada. Este sinal é diretamente conectado à entrada do primeiro conversor V/I e, após ser defasado em 90°, é conectado também à entrada do segundo.

Os conversores V/I recebem a tensão gerada pelo oscilador, além de uma tensão CC, e as transformam em correntes de saída, utilizadas para excitar os sensores GMI. Por meio destes conversores é possível ajustar independentemente a amplitude da componente CA da corrente de excitação e seu nível CC.

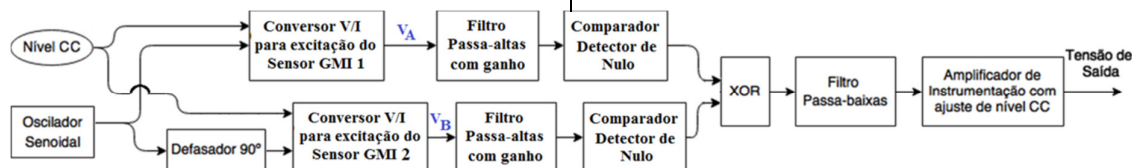


Figura 1. Diagrama de blocos do gradiômetro GMI.

Na sequência, devido à dependência da fase das amostras GMI com o campo magnético, as tensões V_A e V_B estarão defasadas por ϕ graus em relação ao sinal do oscilador. Supondo que as amostras tenham comportamentos de fase homogêneos e que estejam submetidas ao mesmo campo H , a tensão V_A estará 90° defasada em relação à tensão V_B , devido ao defasador. Por sua vez, se o campo magnético aplicado a uma das amostras for diferente do aplicado a outra, a defasagem entre estas tensões irá variar.

Os sinais V_A e V_B são compostos por uma componente senoidal superposta a um nível CC. A componente CC é indesejável para o estágio de leitura de fase, sendo eliminada por meio dos filtros passa-altas. Estes filtros amplificam as componentes CA, a fim de se fornecerem níveis de tensão adequados aos comparadores.

Na sequência, estes sinais são conectados às entradas de comparadores, configurados como detectores de nulo. Dessa forma, os comparadores transformam os sinais senoidais em ondas quadradas com níveis de tensão compatíveis com as entradas de uma porta lógica do tipo XOR. A diferença de fase entre os sinais de entrada dos comparadores será idealmente a mesma daquela medida entre suas saídas.

Tal arranjo eletrônico propicia que a saída do XOR seja uma onda quadrada com *duty cycle* variável, proporcional à diferença de fase entre os sinais conectados às suas entradas. O sinal de saída do XOR é conectado à entrada de um filtro passa-baixas, com frequência de corte consideravelmente inferior à frequência do sinal de saída do XOR. Dessa forma, o filtro extrai o nível CC do sinal, o qual é proporcional ao gradiente de campo (ΔH) entre os sensores GMI.

Logo, tem-se que para $\Delta H = 0$, o nível CC de saída do filtro será fixo. Entretanto, variações em ΔH implicarão em alterações na tensão de saída do filtro, sendo possível se associar este nível CC de saída com o ΔH correspondente.

O estágio de saída é composto por um amplificador de instrumentação, que amplifica o nível CC de saída do filtro e possibilita que se obtenha uma tensão de saída nula para $\Delta H = 0$.

Ressalta-se que o desempenho do gradiômetro é fortemente relacionado à homogeneidade das amostras GMI utilizadas. Por exemplo, caso as características de fase da impedância não sejam exatamente iguais, o sinal de saída do transdutor pode ser diferente de zero, mesmo para $\Delta H = 0$.

3. RESULTADOS

3.1. Curvas de caracterização

Tendo em vista a maximização da sensibilidade de fase, a análise dos resultados advindos da caracterização experimental das amostras indica que a corrente de excitação ótima é dada por um nível CC de 80 mA, 15 mA de amplitude, e frequência de 100 kHz. A figura 2 apresenta as características de fase das amostras sensoras utilizadas, em função do campo magnético.

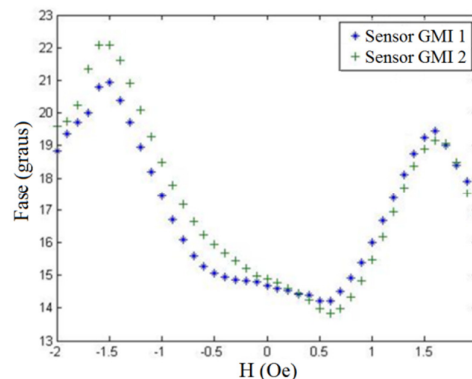


Figura 2. Fase da impedância dos sensores GMI utilizados em função do campo magnético.

A figura 2 indica a existência, em torno de $H = 1,1$ Oe, de uma região linear com sensibilidade elevada – cerca de $6,7^\circ/\text{Oe}$. Também é perceptível que, na vizinhança deste campo, o comportamento de fase de ambas as amostras é satisfatoriamente similar, o que é importante para o funcionamento do gradiômetro. Dessa forma, ambas as amostras GMI podem ser

polarizadas em $H = 1,1 \text{ Oe}$, por meio de solenoides, arbitrando-se a região de operação do transdutor para a faixa de $0,8 \text{ Oe}$ até $1,4 \text{ Oe}$.

3.2. Simulações computacionais

O circuito eletrônico do transdutor projetado, cujo diagrama de blocos é apresentado na figura 1, foi avaliado por meio de simulações SPICE. Nestas simulações os sensores foram modelados por resistências em série com indutâncias, eq. (1), com base nos resultados obtidos por meio da caracterização experimental das amostras. A figura 3 apresenta os resultados obtidos, indicando as tensões de saída do circuito para diferentes gradientes CC de campo ΔH .

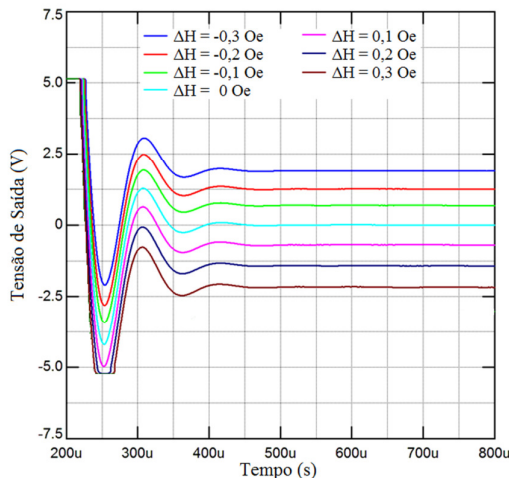


Figura 3. Resultados Computacionais.

Observando-se a figura 3, verifica-se a presença de um transitório inicial associado majoritariamente ao tempo de estabilização do filtro passa-baixas. Percebe-se que em aproximadamente $450 \mu\text{s}$ a tensão de saída atinge seu valor de regime permanente.

Também, conclui-se que o circuito é satisfatoriamente linear para a faixa de campos analisada, visto que, para uma mesma variação de ΔH , obtêm-se variações aproximadamente constantes de tensão. A sensibilidade média do circuito é aproximadamente 6 V/Oe , ou, equivalentemente, $60 \text{ mV}/\mu\text{T}$.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou e discutiu aspectos inerentes ao projeto de um gradiômetro GMI de alta sensibilidade, com potencial para emprego em medições de campos magnéticos ultra fracos.

Os resultados obtidos indicam a viabilidade do circuito eletrônico projetado. Em trabalhos futuros, o desempenho experimental do mesmo será avaliado e comparado com as projeções teórico-computacionais aqui discutidas.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro fornecido por FINEP, CNPq e FAPERJ.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Robbes D 2006 *Sens. Actuators A* **129** (1-2) 86-93
- [2] Mahdi A E, Panina L and Mapps D 2003 *Sens. Actuators A* **105** 271–285
- [3] Andrä W and Nowak H *Magnetism in Medicine: A Handbook* (2nd Ed., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007)
- [4] Phan M H and Peng H X 2008 *Progress in Materials Science* **53** 323-420
- [5] Hauser H, Kraus L and Ripka P *IEEE Instrum. Meas. Mag.* **4** (2) 28–32
- [6] Silva E C, Gusmão L A P, Barbosa C R H and Monteiro E C 2014 *Meas. Sci. Technol.* **25** 115010
- [7] Silva E C, Barbosa C R H, Gusmão L A P, Leipner Y, Fortaleza L G S and Monteiro E C 2014 *Rev. Sci. Instrum.* **85** 084708
- [8] Bick M, Sternickel K, Panaitov G, Efferen A, Zhang Y and Krause H J 2001 *IEEE Trans. on Applied Superconductivity* **11** 673-676
- [9] Zhang Y, Panaitov G and Wang S G 2000 *Chinese Journal of Physics* **38** 330-338