

ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS À OTIMIZAÇÃO MULTIPARAMÉTRICA DA RESPOSTA DE GRADIÔMETROS GMI

GENETIC ALGORITHMS APPLIED TO THE MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF GMI GRADIOMETERS' RESPONSE

R B M M Silva ¹, A S Soares ¹, E C Silva ¹, L A P Gusmão ¹, C R H Barbosa 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: hall@puc-rio.br

Resumo: O uso de configurações gradiométricas possibilita a otimização da relação sinal-ruído em medições magnéticas. Sensores GMI são utilizados em medições de campos magnéticos ultra-fracos, tipicamente abaixo dos níveis de interferência magnética ambiental, sendo imperativo o uso de gradiômetros para garantir leituras satisfatórias. Deseja-se que estas configurações gradiométricas apresentem alta sensibilidade e linearidade, e que os elementos sensores utilizados apresentem comportamento homogêneo. Tais parâmetros são afetados por características da corrente de excitação e do campo magnético de polarização. Este trabalho foca na implementação de um sistema automatizado, capaz de identificar a combinação de parâmetros responsável por otimizar a resposta de gradiômetros GMI.

Palavras-chave: Magnetoimpedância Gigante, Algoritmos Genéticos, Homogeneização, Linearidade, Sensibilidade.

Abstract: The use of gradiometric configurations allows the optimization of the signal-to-noise ratio in magnetic measurements. GMI sensors are used in measurements of ultra-weak magnetic fields, typically below the environmental interference levels, where gradiometers are mandatory to ensure satisfactory readings. It is intended to implement gradiometric configurations that show high sensitivity, linearity and a homogeneous behavior of their sensing elements. These parameters are affected by the excitation current and the biasing magnetic field of the sensors. This work focuses on the implementation of an automated system, capable of identifying the set of parameters responsible for optimizing the GMI gradiometers' response.

Keywords: Giant Magnetoimpedance, Genetic Algorithms, Homogenization, Linearity, Sensitivity.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem poucos sensores magnéticos capazes de efetuar a medição de campos ultra fracos, com intensidades abaixo de 1 nanotesla. Entretanto, determinadas aplicações requerem medições de campos magnéticos inferiores a este valor, sendo necessário o emprego de magnetômetros de alta sensibilidade.

A principal solução utilizada para tal problema é o uso de sistemas SQUID (*Superconducting Quantum Interference Devices*), que constituem a família de transdutores magnéticos com as mais elevadas sensibilidades na conversão de campos magnéticos em tensões elétricas. Porém, esta tecnologia é muito cara e exige uma complexa infraestrutura para sua instalação e utilização, visto que suas bobinas sensoras devem ser resfriadas a temperaturas criogênicas [1].

Sensores GMI (Magnetoimpedância Gigante) vêm demonstrando ser uma das mais promissoras opções para substituição de SQUIDs, em muitas aplicações. Sensores GMI são uma das mais recentes famílias de sensores magnéticos, sendo caracterizados por baixo custo, alta sensibilidade, portabilidade e capacidade de operação à temperatura ambiente [2].

A medição de campos ultra fracos é consideravelmente afetada pela interferência magnética ambiental, principalmente pelas componentes espectrais de mesma frequência que

os sinais de interesse [3]. Dessa forma, convencionalmente, empregam-se configurações gradiométricas dos sensores, as quais possibilitam a melhoria da relação sinal-ruído.

Este trabalho objetiva implementar um sistema automatizado de otimização multiparamétrica de características de desempenho de gradiômetros baseados nas características de fase da impedância de sensores GMI, destinados à medição de campos magnéticos ultra fracos.

2. METODOLOGIA

O sistema proposto emprega algoritmos genéticos, a fim de identificar qual combinação de variáveis é responsável por otimizar os parâmetros de sensibilidade, homogeneidade e linearidade. A técnica proposta é inspirada em trabalhos anteriores [4], os quais, entretanto, se preocupavam unicamente com a otimização da sensibilidade. O diagrama da figura 1 mostra o esquemático do sistema implementado para avaliação da resposta dos sensores GMI.

2.1. O algoritmo genético

Cada indivíduo da população é composto por 8 genes, sendo os quatro primeiros o nível CC (I_{cc}), amplitude (I_{ca}) e frequência (f) da corrente utilizada para excitar o sensor GMI 1, além do campo magnético de polarização (H_{pol}) ao qual o sensor 1 é submetido. Por outro lado, os quatro últimos genes referem-se a estes mesmos parâmetros, porém para o sensor 2.

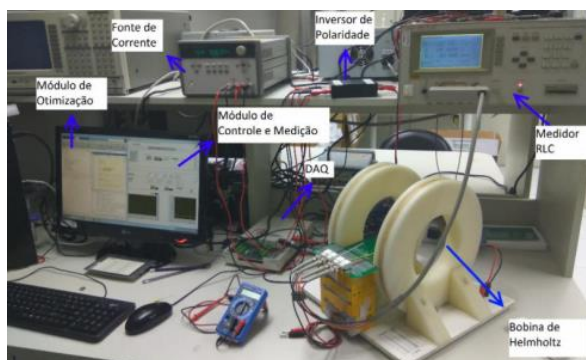
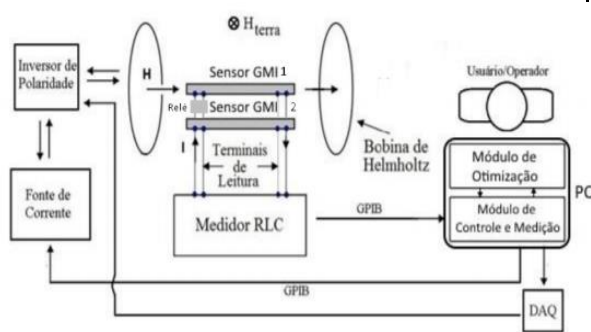


Figura 1. Diagrama do sistema de medição experimental e a bancada de testes utilizada.

Para o problema abordado no presente trabalho, fixou-se o tamanho da população em 100 indivíduos, a fim de possibilitar uma adequada capacidade de exploração do espaço de busca. O número máximo de gerações do algoritmo genético foi ajustado para 100. Além disso, também adotou-se um critério de parada flexível, que interrompe a evolução do algoritmo quando a variação relativa média da função de avaliação, ao longo de 10 de gerações, é menor do que 10^{-3} .

Os operadores genéticos utilizados foram *crossover* uniforme e mutação adaptável. O valor da probabilidade de cruzamento utilizada foi de 0,8% e a taxa de mutação foi de 0,05. O método de seleção escolhido foi o método de Torneio, entre 4 indivíduos.

Para evitar a perda dos melhores indivíduos ao longo do processo evolutivo, empregou-se um critério de elitismo que garante que os 10 melhores indivíduos pertencentes à população de uma dada geração também estejam presentes na geração seguinte. Por sua vez, os limites do espaço de busca foram arbitrados em função das restrições e limitações do sistema de medição. As faixas de variação foram definidas como: $75 \text{ kHz} < f < 30 \text{ MHz}$, $0 < I_{cc} < 100 \text{ mA}$, $1,41 \text{ mA} < I_{ca} < 28,28 \text{ mA}$, $-2,0 \text{ Oe} < H_{pol} < +2,0 \text{ Oe}$.

O algoritmo genético gera indivíduos, que são usados para condicionar os sensores. Por sua vez, para cada indivíduo gerado, o medidor RLC é utilizado para medir a fase ϕ da impedância dos sensores. Para cada sensor, a fase é avaliada em N valores dentro de uma janela, que vai de $H_{pol}-J/2$ até $H_{pol}+J/2$. Consequentemente, a partir das medidas obtidas, é possível obter as curvas de $\phi \times H$, de cada sensor, por meio de uma regressão linear. Na sequência, utilizando-se as curvas de regressão obtidas, pode-se estimar a sensibilidade e a linearidade da resposta de cada sensor, dentro da janela J definida pelo usuário. O coeficiente angular da regressão é a sensibilidade S do indivíduo, e a soma dos resíduos quadráticos

E é a métrica de linearidade, ou seja, quanto maior essa soma, menos linear é a curva $\phi \times H$.

A função objetivo aqui proposta, para avaliação dos indivíduos do AG, é dada por

$$\max(-\gamma_1(E_1 + E_2) + \gamma_2(|S_1| + |S_2|)), \quad (1)$$

sujeita a

$$|S_1 - S_2| < \gamma_3. \quad (2)$$

O termo $(E_1 + E_2)$ aumenta com a não-linearidade da resposta dos sensores. Por outro lado, o termo $(|S_1| + |S_2|)$ aumenta com a sensibilidade dos sensores. Note que estes termos são ponderados respectivamente pelos fatores γ_1 e γ_2 , ambos números reais positivos. Por sua vez, esta equação é sujeita a restrição definida pela Equação (2), que visa garantir a homogeneidade da resposta dos sensores. Observe que, ao se reduzir a diferença entre S_1 e S_2 , aumenta-se a homogeneidade entre estes sensores. Em particular, se os sensores forem perfeitamente homogêneos, tem-se $S_1 - S_2 = 0$.

Portanto, verifica-se que a metodologia implementada propicia a busca de máximos de sensibilidade em regiões lineares para ambos os sensores, sujeitos à restrição de homogeneidade. Como trata-se de uma restrição *hard*, o método garante que as soluções encontradas produzirão sensores homogêneos, com uma tolerância menor ou igual a γ_3 .

3. RESULTADOS

As figuras 2 e 3 mostram as curvas de fase da impedância em função do campo magnético, respectivamente para os sensores 1 e 2, condicionados de acordo com os parâmetros do indivíduo ótimo retornado pelo AG, indicados na Tabela 1. Os resultados foram obtidos fazendo-se: $\gamma_1 = 3,0^{\circ 2}$, $\gamma_2 = 0,76^{\circ}/\text{Oe}$, $\gamma_3 = 0,6^{\circ}/\text{Oe}$, $N = 7$ e $J = 0,5 \text{ Oe}$.

Tabela 1. Parâmetros retornados pelo AG.

Variável	Sensor 1	Sensor 2
I_{dc} (mA)	48,56	33,26
I_{ac} (mA)	15,87	6,20
f (kHz)	6686	441
H_{pol} (Oe)	-0,54	0,80

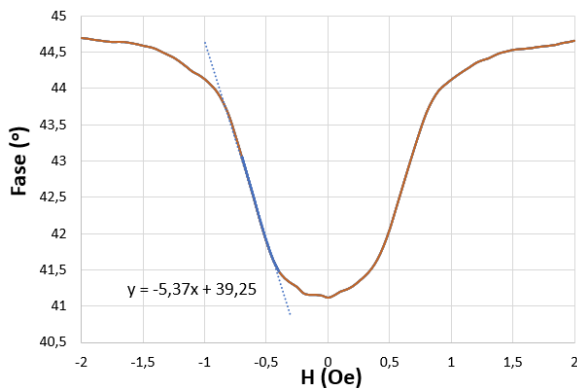


Figura 2. Resposta de fase ótima do sensor 1.

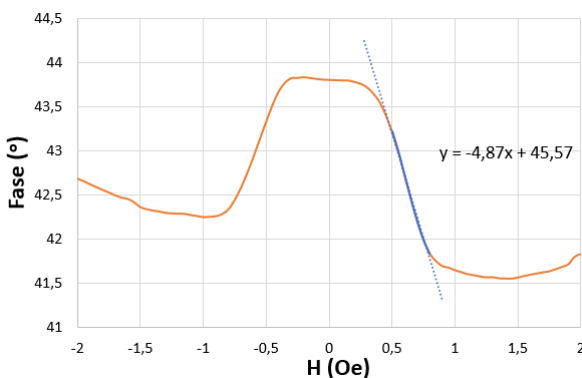


Figura 3. Resposta de fase ótima do sensor 2.

O campo magnético de polarização H_{pol} obtido para o sensor 1 foi de -0,54 Oe e para o sensor 2 de 0,8 Oe. Ademais, é possível perceber que, conforme esperado, estes valores referem-se a aproximadamente a metade das faixas lineares indicadas respectivamente para cada sensor. Por sua vez, a sensibilidade média obtida para o sensor 1 foi 5,37°/Oe, enquanto que para o sensor 2 obteve-se 4,88°/Oe. Note também que as regiões indicadas aparentam ser extremamente lineares e

satisfatoriamente homogêneas entre si.

4. CONCLUSÃO

O uso da técnica desenvolvida neste trabalho possibilita a identificação dos parâmetros ótimos de condicionamento (nível CC, amplitude e frequência da corrente de excitação, além do campo magnético de polarização) de duas amostras sensoras GMI, considerando aspectos inerentes à sensibilidade, linearidade e homogeneidade. O sistema desenvolvido evoluiu de forma automatizada em direção ao ponto ótimo, utilizando-se de um algoritmo de otimização baseado em algoritmos genéticos, que avalia a aptidão dos indivíduos gerados a partir de medições feitas diretamente em *hardware*.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- [1] Andrä W and Nowak H 2007 *Magnetism in Medicine: A Handbook* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [2] Phan M H and Peng H X 2008 Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications *Prog. Mater. Sci.* **53**(2) 323–420
- [3] Silva R B M M, Silva E C, Gusmão L A P, Barbosa C R H and Monteiro E C 2015 Gradiômetro GMI para medição de campos magnéticos ultra fracos *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Metrologia* 4 pp.
- [4] Mora J D B and Silva E C 2017 Development of an automated system based on the concept of evolutionary hardware to determine the optimal operating point of GMI sensors *Proceedings of the 2017 Joint IMEKO TC1-TC7-TC13 Symposium* 6 pp.