

## Amperímetro Sem Contato Baseado em Sensores GMR

### Contactless Ammeter Based on GMR Sensors

M. C. Carvalho <sup>1</sup>, C. Schuina <sup>1</sup>, C. R. Hall Barbosa <sup>2</sup>, E C Silva <sup>1</sup>, L A P Gusmão <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Elétrica; <sup>2</sup> 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:** Amperímetros do tipo alicate são tradicionalmente usados em aplicações de engenharia elétrica associadas a medições não invasivas de correntes elétricas. Tais dispositivos inferem a corrente a partir da medição do campo magnético gerado pela mesma. Amperímetros baseados em sensores do tipo bobina são restritos à medição de correntes alternadas. Entretanto, existem versões capazes de medir correntes contínuas, baseadas em sensores de efeito Hall. Este artigo apresenta o projeto e desenvolvimento de um protótipo de amperímetro sem contato baseado em magnetômetros comerciais do tipo magnetorresistência gigante, capaz de medir correntes elétricas alternadas e contínuas e inferir a distância entre o sensor e o condutor.

**Palavras-chave:** amperímetro, sem contato, magnetorresistência gigante, GMR.

**Abstract:** Clamp ammeters are traditionally used in electrical engineering applications associated with non-invasive measurements of electrical currents. Such devices infer the current based on the measurement of the magnetic field that it generates. Ammeters based on coil sensors are restricted to the measurement of alternating currents. However, there are commercial versions able of measuring direct currents, based on Hall effect sensors. This manuscript presents a prototype of a contactless ammeter based on commercial giant magnetoressistance magnetometers, able to measure alternating and direct electrical currents and to infer the distance between the sensor and the electrical current conductor.

**Keywords:** ammeter, contactless, giant magnetoressistance, GMR.

## 1. INTRODUÇÃO

Amperímetros são instrumentos destinados à medição da corrente elétrica em condutores. Tais dispositivos são essenciais em diversas aplicações e possuem características específicas dependentes do princípio físico utilizado para sua

implementação. Amperímetros convencionais devem ser inseridos em série com o elemento em que se deseja medir a corrente, constituindo assim uma forma de medição invasiva [1].

Neste caso, há o problema da falta de praticidade, pois muitas vezes é necessário medir a corrente em um circuito que não é facilmente

alterável. Por exemplo, amperímetros *shunt* requerem que um resistor conhecido seja inserido em série com o condutor, sendo que a diferença de potencial nesse resistor será proporcional à corrente elétrica que flui pelo condutor, conforme definido pela Lei de Ohm. Além da necessidade de interromper o circuito, tal técnica de medição também afeta o valor do mensurando.

Por outro lado, também é possível fazer medições não invasivas de corrente, a fim de superar as desvantagens anteriormente destacadas. Uma corrente elétrica passando por um fio gera um campo magnético circular ao seu redor, cuja intensidade varia com a intensidade da corrente e com a distância do condutor ao ponto de medição [1]. Logo, conhecendo-se o campo magnético gerado pela corrente em um ponto do espaço e a distância desse ponto ao fio pelo qual ela passa, é possível estimar o valor dessa corrente.

Os amperímetros do tipo alicate são baseados neste princípio, sendo tradicionalmente usados em aplicações de engenharia elétrica para medição de correntes alternadas. Tais medições podem ser feitas por meio do posicionamento de uma bobina ao redor do condutor elétrico que, quando percorrido por uma corrente elétrica alternada, produzirá um campo magnético alternado. Por sua vez, este campo induzirá uma tensão elétrica nos terminais da bobina sensora, conforme a lei de *Faraday-Lenz*. Há uma proporcionalidade direta entre a intensidade da corrente e a tensão resultante nos terminais da bobina, sendo possível inferir a corrente elétrica.

Entretanto, no caso de correntes contínuas não há indução de corrente elétrica na bobina, pois o campo magnético circunferencial é contínuo, sendo necessário medir diretamente o campo magnético contínuo, com o auxílio de algum magnetômetro e associar a magnitude deste campo magnético à magnitude da corrente elétrica primária. O magnetômetro tradicionalmente utilizado nesta aplicação é o sensor de

efeito *Hall* que, quando sujeito a um campo magnético, apresenta uma diferença de potencial proporcional a este. Tal sistema pode medir correntes contínuas, mas possui problemas como baixo nível de tensões de saída, pouca estabilidade em relação à temperatura e alta sensibilidade a cargas estáticas [1].

Assim, este artigo apresenta um protótipo de amperímetro sem contato baseado em magnetômetros comerciais do tipo magnetorresistência gigante (GMR). Tal protótipo é implementado com o objetivo de realizar medições de corrente CC e CA com alta resolução, em relação à apresentada por amperímetros alicate *clamp* baseados em bobinas e em sensores Hall. O sistema proposto foi desenvolvido com o intuito de também permitir inferir a distância entre o condutor e o sensor.

## 2. SENSOR GMR

Magnetômetros GMR são baseados em elementos sensores cuja resistência elétrica varia consideravelmente com o campo magnético ao qual são submetidos [2-4]. Conseqüentemente, é possível estimar o campo por meio da resistência do elemento GMR.

Um circuito integrado GMR comercial do fabricante NVE (modelo AA005-02) é composto por quatro sensores GMR, configurados em meia ponte de *Wheatstone*, sendo dois destes sensores blindados magneticamente. Alimentando-se esta ponte por tensão ou corrente contínua, produzem-se diferentes tensões de saída de acordo com a variação de resistência dos dois sensores GMR que não são blindados. O modelo de sensor GMR utilizado apresenta menor variação com a temperatura quando alimentado por corrente, o que levou à seleção desta técnica de excitação.

Cada sensor tem valor nominal de 5 k $\Omega$  e a configuração em ponte possui uma sensibilidade de 4,5 mV/Oe para uma corrente de alimentação de 2 mA. A faixa de medição situa-se entre 0 e

80 Oe, sendo que a região linear estende-se de 10 Oe a 70 Oe. Assim, deve-se idealmente polarizar os sensores GMR no ponto médio desta região (40 Oe), por exemplo com um ímã permanente, de modo a se maximizar a excursão linear. Dessa forma, quando apenas o campo de polarização atua sobre os sensores, a saída da ponte será um nível CC de 180 mV.

### 3. PROJETO DO AMPERÍMETRO

Aplicando-se a lei de Biot-Savart a um condutor retilíneo percorrido por uma corrente  $I$ , tem-se que o campo magnético  $H$ , medido a uma distância  $r$  do condutor, é dado por

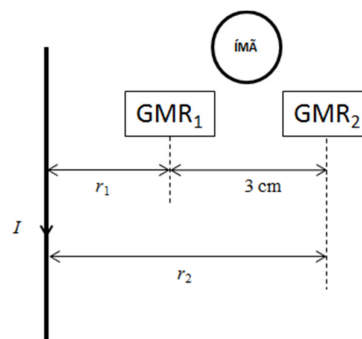
$$H = \frac{I}{500r}, \quad (1)$$

onde  $I$  é a corrente elétrica em amperes,  $r$  é a distância entre o condutor e o sensor em metros e  $H$  é o campo magnético em oersteds (1 Oe = 1000/4π A/m).

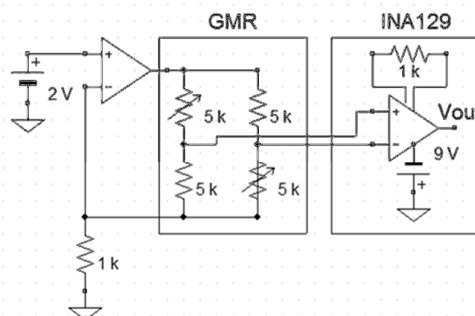
Percebe-se de (1) que a utilização de somente um sensor GMR não é suficiente, pois é necessário conhecer a distância  $r$  para estimar a corrente elétrica  $I$ . Assim, foi proposta uma configuração com dois sensores GMRs [5], mantidos a uma distância fixa e conhecida um do outro ( $d = 3$  cm), além de um ímã permanente que gera o campo magnético de 40 Oe, conforme ilustrado na figura 1. Medindo-se a tensão gerada por ambos os sensores GMR é possível estimar a corrente  $I$ , independentemente da distância do condutor aos sensores, e também estimar a própria distância  $r_1$  até o condutor.

Projetou-se e implementou-se o circuito eletrônico de condicionamento e leitura apresentado na figura 2, o qual foi duplicado de modo a atender a ambos os sensores GMR empregados no amperímetro, GMR<sub>1</sub> e GMR<sub>2</sub>. O circuito eletrônico tem as funções de alimentar o sensor GMR com uma corrente contínua de 2 mA (fonte de corrente baseada no amplificador operacional LM741), bem como de ler a tensão

diferencial de saída da ponte e amplificá-la em 50 vezes (amplificador de instrumentação INA129, com ganho definido pelo resistor de 1 kΩ). O nível de tensão de -9 V permite obter uma tensão de saída  $V_{out}$  nula, quando  $H = 40$  Oe (campo de polarização). Assim, para uma corrente de 0 A no fio, haverá uma saída de 0 V.



**Figura 1.** Diagrama esquemático do amperímetro sem contato baseado em 2 sensores GMR.



**Figura 2.** Diagrama esquemático do circuito eletrônico de condicionamento do sensor GMR.

Considerando a corrente elétrica  $I$  que se deseja medir e a presença do ímã permanente, tem-se que o campo magnético  $H_n$  resultante em oersteds aplicado aos 2 sensores GMR, dispostos a distâncias  $r_n$  do condutor, pode ser escrito como

$$H_n = \frac{I}{500r_n} + 40, \quad (2)$$

onde  $n = 1$  ou  $2$  indica a qual sensor (GMR<sub>1</sub> ou GMR<sub>2</sub>) a expressão se refere. Considerando a sensibilidade dos GMR, a tensão de saída de cada sensor em volts será

$$V_{GMRn} = 4,5 \times 10^{-3} H_n. \quad (3)$$

As tensões de saída em volts dos circuitos de condicionamento podem ser escritas como

$$V_{outn} = 50V_{GMRn} - 9. \quad (4)$$

Assim, pode-se obter a tensão de saída de cada circuito em função da corrente elétrica  $I$ ,

$$V_{outn} = \frac{0,45 \times 10^{-3} I}{r_n} = \frac{kI}{r_n}. \quad (5)$$

Considerando que  $r_2 = r_1 + d$ , pode-se obter estimativas para a corrente elétrica  $I$  e para a distância  $r_1$  de acordo com

$$I = \frac{V_{out1}V_{out2}d}{k(V_{out1}-V_{out2})} \text{ e } r_1 = \frac{V_{out2}d}{(V_{out1}-V_{out2})}. \quad (6)$$

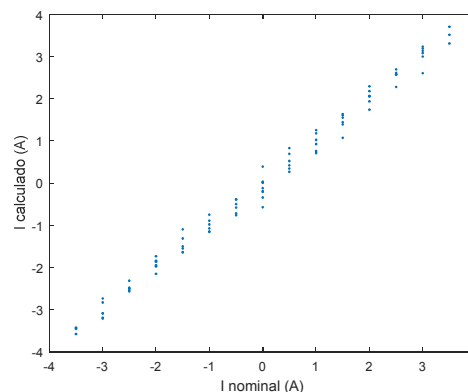
#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Aplicaram-se correntes  $I$  conhecidas ( $I_{nominal}$ ) e mediram-se as saídas  $V_{out1}$  e  $V_{out2}$  dos circuitos desenvolvidos, a partir das quais se calculou a corrente correspondente  $I_{calculada}$ . Para estudar o efeito da histerese e eventuais outras flutuações, foram feitos três ciclos de medição, com a corrente elétrica inicialmente em 0 A, na sequência aumentada até 3,5 A, posteriormente reduzida até -3,5 A e por fim aumentada até 0 A, em passos de 0,5 A. A figura 3 apresenta o resultado da estimativa da corrente  $I_{calculada}$  a partir das tensões  $V_{out1}$  e  $V_{out2}$ , em função de seus respectivos valores nominais  $I_{nominal}$ .

Os resultados obtidos indicam que os valores calculados são satisfatoriamente próximos dos nominais, com incerteza expandida de  $\pm 0,53$  A (95,45% de confiança). Por sua vez, o valor médio estimado para a distância  $r_1$  foi 1,04 cm  $\pm$  0,05 cm, consistente com o ensaio realizado.

#### 5. CONCLUSÕES

O protótipo de amperímetro CC sem contato apresentado e testado neste artigo corroborou a viabilidade da utilização de sensores GMR, embora ainda sejam necessários aperfeiçoamentos no circuito eletrônico de condicionamento.



**Figura 3.** Resultados experimentais do amperímetro sem contato, mostrando o espalhamento devido à histerese dos sensores GMR e a outros fatores.

Este amperímetro tornará possível medir a corrente elétrica em condutores de maneira mais prática que os amperímetros comerciais, convencionais ou do tipo alicate. O amperímetro GMR necessita simplesmente ser aproximado do condutor, estimando simultaneamente a corrente elétrica e a distância. Futuramente, utilizar-se-ão sensores GMR de maior sensibilidade, para melhorar a resolução do sistema. Além disso, os circuitos eletrônicos serão aperfeiçoados para minimizar as flutuações ainda existentes.

#### 6. AGRADECIMENTOS

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

#### 7. REFERÊNCIAS

- [1] Ripka P 2010 *Meas. Sci. Technology* **21** 1-23
- [2] Ripka P and Janošek M 2010 *IEEE Sens. J.* **10(6)** 1108-16
- [3] Robbes D 2006 *Sens. Actuators A* **129(1-2)** 86-93
- [4] Tian Y and Yan S 2013 *Science China: Physics, Mechanics & Astronomy* **56(1)** 2-14
- [5] Stefani Filho C L and Barbeta V B 2001 *Revista Pesquisa & Tecnologia FEI* **21** 14-18