



DISPOSITIVO PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS POR MEIO DE CORRENTE PARASITA

Karen A. U. Utiyama^{1*}, Daniel R. de Sousa¹ e Sidney L. da Silva¹

1 – Grupo de Óptica e Aplicações (GOA), Faculdade de Tecnologia de Itaquera. Av. Miguel Ignácio
Curi, 360, Itaquera, CEP 08295-005, SP.

ayumi.iniciacao@gmail.com

RESUMO

Este projeto teve como objetivo a construção de um dispositivo didático para realizar ensaios não destrutivos por meio do método de corrente parasita, capaz de identificar descontinuidades presentes na amostra e apresentar os resultados de forma gráfica. Os ensaios não destrutivos compreendem técnicas de análise das irregularidades contidas em um material, peça ou dispositivo, sem provocar alteração de suas propriedades, seja em um produto final ou semiacabado, equivalendo a uma ferramenta essencial para controle de qualidade, redução de gastos e promoção de maior segurança durante a inspeção. O ensaio por corrente parasita consiste na indução de correntes no material ensaiado, tendo como princípio a geração de um campo magnético primário em uma bobina percorrida por uma corrente elétrica variante no tempo e um campo secundário no material condutor, derivado das correntes parasitas. A aquisição dos equipamentos industriais para realizar o ensaio por corrente parasita apresentam alto custo, de modo que dificultam o acesso das instituições de ensino a este tipo de tecnologia. Observando tal cenário, verifica-se a necessidade de um instrumento de baixo custo para solucionar este obstáculo, à vista disso este projeto propõe a construção de um dispositivo didático que atenda a problemática, auxilie no entendimento do ensaio e que possibilite a análise de superfícies planas condutoras, de modo a obter resultados qualitativos no decorrer da inspeção. Para o desenvolvimento do protótipo, foi utilizado circuitos eletroeletrônicos com componentes analógicos e digitais, a destacar resistores, indutores, potenciômetros, amplificadores operacionais, gerador de função, display gráfico e uma placa de desenvolvimento Arduino que será programada na linguagem Wiring, a qual abrange códigos semelhantes aos vistos na linguagem C. Os ensaios finais foram realizados na amostra com resultados positivos e conforme desejado, de forma que permitiu a comparação entre as imagens retiradas pelo osciloscópio e do display. Como resultado, obteve-se um dispositivo didático, com custo consideravelmente mais baixo do que comparado a um comercial, demonstrando resoluções proveitosas, visto que permitiu a identificação da descontinuidade pela diferença de amplitude da forma de onda da saída observado no display, derivado da alteração do valor de indutância da bobina sensora. Pode-se concluir que a aplicação é viável, dado que permitiu o desenvolvimento de um dispositivo didático por corrente parasita utilizando circuitos eletroeletrônicos e espera-se que futuramente auxilie a área de educação no ensino referente a ensaios não destrutivos.

Palavras-chave: Dispositivo didático, ensaios não destrutivos, corrente parasita, circuitos eletroeletrônicos.

INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos englobam técnicas de análise das irregularidades contidas em um material, peça ou dispositivo, sem provocar alteração de suas propriedades, seja um produto final ou semiacabado, equivalendo a uma ferramenta essencial para controle de qualidade, redução de gastos e promoção de maior segurança durante a inspeção¹. Sendo classificados conforme o princípio físico relativo, aplicação, condição do material e capacidade de detecção, diferindo-se da Avaliação Não Destrutiva (AND), que está relacionada as medições e resultados quantitativos, permitindo analisar e verificar diferenças nos aspectos físicos da amostra estudada². A finalidade da realização, abrange identificar degradações, defeitos, não uniformidades ao longo das dimensões dos materiais ensaiados, inclui avaliação da qualidade do produto, planejamento de futuras manutenções conforme as condições apresentadas, de forma a garantir para o processo em que o elemento a ser examinado está inserido, que ocorra dentro de padrões pré-estabelecidos, não havendo perdas e evitando que ocorram acidentes no ambiente de trabalho¹.

Dentre os inúmeros ensaios não destrutivos, podem-se destacar os ensaios por emissão acústica, radiografia, ultrassom, líquido penetrante, inspeção visual, termografia e corrente parasita, sendo este último designado para o presente trabalho, como as principais técnicas de identificação de descontinuidades presentes em materiais³.

O ensaio por corrente de *Foucault* (também denominado de corrente parasita) são embasadas por uma lei fundamental do eletromagnetismo, a Lei de *Lenz*, caracterizada pela geração de um campo magnético secundário, oposto ao primário, que contrapõe a mudança nos valores da corrente circulante no indutor⁴. O experimento ocorre a partir de uma bobina atuante como sensor conectada a uma fonte de corrente alternada, a circulação da corrente induzirá um campo magnético ao redor do mesmo, e no momento que a bobina se aproximar da superfície de um material condutor, produzirá correntes parasitas na amostra, esta criará um campo magnético secundário que irá aplicar determinada corrente induzida na bobina⁵. Esse princípio é aplicado na detecção de deformidades superficiais ou mais internas nas peças, equipamentos ou superfícies que possibilitam a condução de cargas elétricas pelas dimensões⁶.

Os custos para aquisição dos equipamentos industriais para realizar o ensaio por corrente de *Foucault* encontram-se em torno de \$ 9.000, de modo que dificultam o acesso das instituições de ensino a este tipo de tecnologia⁷. Observando tal cenário, verifica-se a necessidade de um instrumento de baixo custo para solucionar este obstáculo, à vista disso este projeto propõe a construção de um dispositivo didático que atenda a problemática e auxilia no entendimento do ensaio.

Diante do exposto, a proposta do estudo envolve desenvolver um dispositivo didático de ensaios não destrutivos por corrente parasita, projetado por circuitos eletroeletrônicos com componentes analógicos e digitais, de modo que contribua no aprendizado dos alunos na realização do ensaio em questão, compreendendo a verificação da existência de irregularidades em um material mediante a análise dos resultados obtidos. Este equipamento integra circuitos de geração de forma de onda, subtração e amplificação do sinal, elemento sensor e o tratamento do sinal, dispondo da inspeção por intermédio da verificação da diferença de amplitude e/ou fase do sinal de saída, derivado da alteração do valor de impedância da ponte de Maxwell.

MATERIAIS E MÉTODOS

O funcionamento do dispositivo é derivado da associação de um conjunto de circuitos eletroeletrônicos, de forma a unir a atuação parcial de cada elemento, e como resultado apresentar a capacidade de identificar as descontinuidades nas amostras.

Os materiais, técnicas e métodos a serem aplicados em cada etapa da elaboração do circuito a ser projetado, pode ser entendido como 4 blocos diferentes e complementares observados na Figura 1, o de geração do sinal senoidal, a aquisição do sinal, amplificação e condicionamento do sinal, e pôr fim a visualização dos dados.

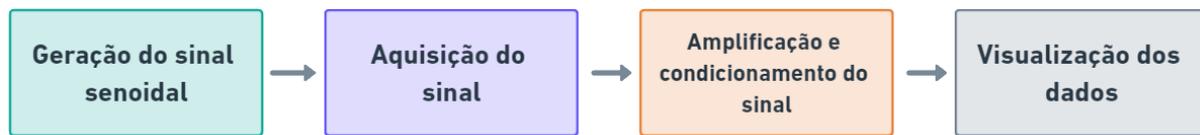


Figura 1 – Diagrama de blocos que compõem o circuito eletroeletrônico do projeto.
Fonte: autoria própria (2021).

A sintetização de sinal senoidal com frequência programável foi realizada por meio do módulo gerador de funções AD9833 da Analog Devices, possibilitando a geração de sinais de na faixa de 0 a 12,5 MHz⁸. Este módulo comunica como a placa de desenvolvimento Arduino por meio da interface de comunicação SPI, gerando um sinal senoidal entre 0 e 3,3 V.

Com o propósito de amplificar e normalizar o sinal senoidal derivado do módulo gerador de funções AD9833, foi utilizado um circuito amplificador inversor tendo como componente principal o amplificador operacional, e componentes eletrônicos passivos auxiliares como capacitor eletrolítico, resistores, potenciômetro e transistores na saída do circuito para o reforço de tensão e corrente do sinal senoidal⁹.

No segmento da aquisição do sinal, está presente a detecção das descontinuidades presentes no material, as quais serão verificadas por intermédio de um circuito eletrônico conhecido como ponte de reatância ou ponte de Maxwell. Este circuito é composto por resistores e indutores na sua configuração, sendo que uma das indutâncias é o sensor de detecção da descontinuidade no metal. Na condição de equilíbrio da ponte, o circuito permite as medições das indutâncias desconhecidas. Havendo a alteração da indutância que corresponde ao sensor, ocorre o desequilíbrio na ponte, possibilitando a determinação da intensidade do sinal resultante^{10,11}.

A ponte de Maxwell foi conectada ao amplificador operacional na configuração diferencial, desta forma assim que houver presença de falhas na amostra, o sinal de saída será proporcional a diferença entre os sinais aplicados nas duas entradas do componente¹².

Como a variação do sinal é muito pequena, houve a necessidade de utilizar-se um retificador precisão para processar e retificar este sinal de baixa magnitude, de modo a evitar grandes distorções na saída, este circuito ainda proporciona baixa impedância de entrada e alta impedância de saída, características desejáveis a aplicação^{13,14}.

O retificador de precisão está acoplado a um detector de pico controlado pelo Arduino, com o propósito de memorizar o valor mais elevado de tensão em um determinado período e permitir a identificação das irregularidades de forma mais simplificada¹⁵.

Por último, a visualização do sinal de saída do circuito eletroeletrônico é conectada a entrada analógica do Arduino, de modo a processar o sinal e posteriormente apresentá-lo de forma gráfica no LCD TFT 2,4 polegadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta de dados foi realizada em uma amostra de aço carbono com cortes de jato d'água, havendo dimensões de 250 mm de largura, 400 mm de altura e 5 mm de espessura, que contém além duas irregularidades, no sentido horizontal e vertical. Os resultados apresentaram-se apropriados e conforme desejado, de forma que permitiu a comparação entre as imagens retiradas pelo osciloscópio e do *display*. A Figura 2-1 ilustra a forma de onda da saída do seguidor de tensão com o sensor em uma posição fora da descontinuidade observada pelo

osciloscópio, enquanto na Figura 2-2 apresenta o mesmo ponto, mas com o sinal verificado no *display*.

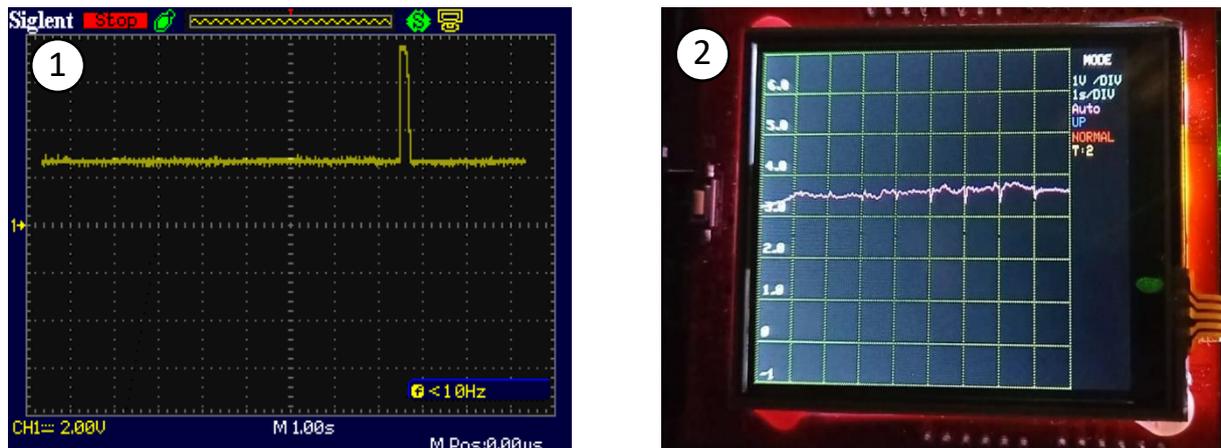


Figura 2 – Formas de onda retiradas do osciloscópio e no *display* em ausência de descontinuidade.
Fonte: autoria própria (2021).

A Figura 3-1 descreve a forma de onda da saída do seguidor de tensão com o sensor sobre o corte na amostra visto pelo osciloscópio, ao mesmo tempo que a Figura 3-2 mostra o mesmo teste, mas com o sinal analisado no *display*.

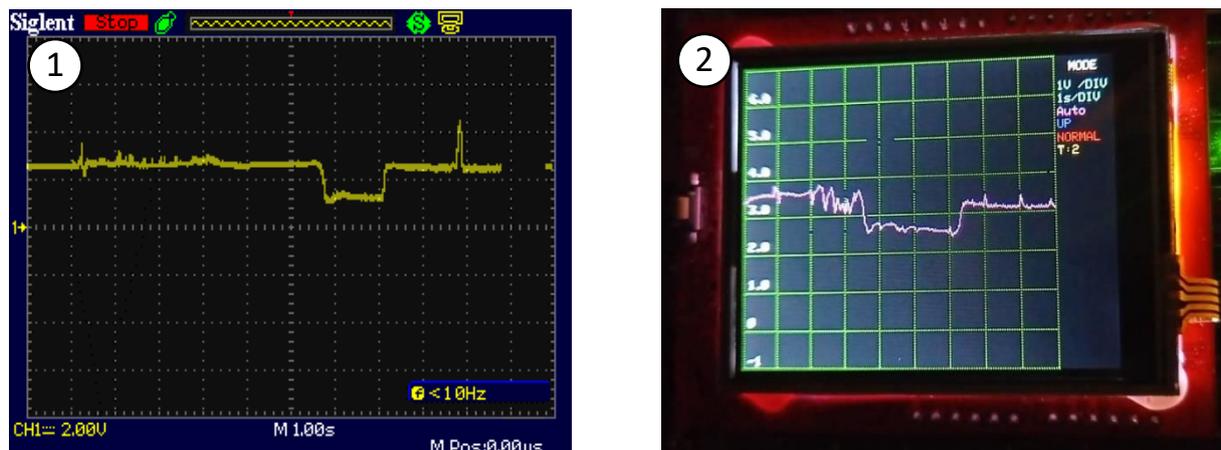


Figura 3 – Formas de onda retiradas do osciloscópio e no *display* na presença da descontinuidade.
Fonte: autoria própria (2021).

CONCLUSÕES

Analisando a simulação e os ensaios finais com o dispositivo, observa-se que a aplicação é totalmente viável e apresenta resoluções proveitosas, visto que permitiu a identificação da descontinuidade pela diferença de amplitude da forma de onda da saída, derivado da alteração do valor de indutância da bobina sensora.

O dispositivo auxiliará no aprendizado de ensaios não destrutivos, em especial o de corrente parasita, ensinando os fenômenos associados, calibração do equipamento, modo de funcionamento, como proceder o ensaio e a análise das formas de onda de saída, apresentadas no *display*.

REFERÊNCIAS

1. BARBOZA, Klevson Ranniet Almeida. **Avaliação da Técnica de Inspeção por Correntes Parasitas em Tubos de Permutador de Calor**. 2009. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Inspeção de Equipamentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
2. PEREIRA, João Adriano Vieira. **Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos**. 2013. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade do Porto, Porto, 2013.
3. ABENDI. **Guia Abendi 2018**. São Paulo: Abendi, 2018. Disponível em: http://abendici.org.br/download/GUIA_ABENDI_2018.pdf. Acesso em: 2 set. 2020.
4. ALVES, B. M. M.; FERRAREZI, R. **Eletromagnetismo: Uma revisão sobre conceitos e aplicação de indutores**. In: BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 2., 2017, Campinas. Anais [...]. São Paulo: [s. n.], 2017. p. 1-11.
5. GONZALES, João Guilherme Fonseca Cal. **Desenvolvimento e Aplicação de Sondas Inovadoras de Correntes Induzidas Para Ensaios Não Destrutivos**. 2011. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
6. MACHADO, Miguel Araújo. **Conceção, Simulação e Validação Experimental de Sondas de Correntes Induzidas para Ensaios Não Destrutivos de Geometrias Tubulares**. 2014. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
7. GP TECHNICAL. **OLMPUS NORTEC 600D EDDY CURRENT INSTRUMENT**. Savannah: GP TECHNICAL, 2020. Disponível em: <https://gp-technical.com/product/olympus-nortec-600d-eddy-current-instrument/>. Acesso em: 11 set. 2021.
8. ANALOG DEVICES. **Data Sheet AD9833**. Norwood: Analog Devices, 2008. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9833.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.
9. DEBOO, Gordon J.; HEDLUND, Roger C. **Precision Rectifiers with FET Switching Means** Depósito: 24 jan. 1969. Concessão: 28 jun. 1971.
10. KADU, Shrutika; AHIRWAR, Shrikant; RAMALAKMI, Gudla. **Measurement of Unknown Inductance and Capacitance by A.C.** International Journal of Computer Application, New York, v. 5, n. 6, p. 1-4, 2015.
11. BANSAL, Malti; CHAUDHARY, Nishu; MALIK, Nipun. Maxwell Bridge: Past & Present. **Journal of Electronics and Informatics**, Delhi, v. 2, n. 4, p. 1-5, 2020.
12. OLIVEIRA, Paulo Sérgio Pereira de. **Implementação Eletrônica do Amplificador Paramétrico**. 2012. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
13. NAGANO, Katsumi. **Full wave rectifier** Depósito: 19 set. 1980. Concessão: 1 jun. 1982.
14. DIODES INCORPORATED. **AN55 ZXCT1041 as a precision full wave rectifier**. Dallas: Diodes Incorporated, 2008. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/App-Note-Files/an55.pdf>. Acesso em: 14 out. 2020.
15. HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The Art of Electronics**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2015.

DEVICE FOR NON-DESTRUCTIVE TESTS THROUGH EDDY CURRENT

ABSTRACT

This project aimed to build a didactic device to perform non-destructive tests using the eddy current method, capable of identifying discontinuities present in the sample and presenting the results graphically. Non-destructive testing comprises techniques for analyzing irregularities contained in a material, part or device, without causing any change in its properties, whether in a final or semi-finished product, equivalent to an essential tool for quality control, cost reduction and promotion of increased safety during inspection. The eddy current test consists of the induction of currents in the material tested, having as principle the generation of a primary magnetic field in a coil traversed by a time-varying electric current and a secondary field in the conductive material, derived from the eddy currents. The acquisition of industrial equipment to carry out the eddy current test is expensive, making it difficult for educational institutions to access this type of technology. Observing this scenario, there is a need for a low-cost instrument to solve this obstacle, in view of this, a project of construction project of a didactic device that meets problems, assists in the understanding of the test and that it is possible to analyze Conductor flat surfaces, to qualitative in the guaranteed result. For the development of the prototype, electronic circuits with analog and digital components were used, highlighting resistors, inductors, potentiometers, operational amplifiers, function generator, graphic display and an Arduino development board that will be programmed in the Wiring language, which covers codes similar to those seen in the C language. The final tests were performed on the sample with positive results and as desired, in a way that allowed the comparison between the images taken by the oscilloscope and the display. As a result, a didactic device was obtained, with a considerably lower cost than compared to a commercial one, demonstrating useful resolutions, since it allowed the identification of the discontinuity by the difference in amplitude of the output waveform observed on the display, derived from the alteration of the inductance value of the sensing coil. The final tests were performed on the sample with positive results and as desired, in a way that allowed the comparison between the images taken by the oscilloscope and the display. As a result, a didactic device was obtained, with a considerably lower cost than compared to a commercial one, demonstrating useful resolutions, since it allowed the identification of the discontinuity by the difference in amplitude of the output waveform observed on the display, derived from the alteration of the inductance value of the sensing coil. It can be concluded that the application is viable, since it allowed the development of a didactic device by eddy current using electronic circuits and it is expected that in the future it will help the education area in teaching regarding non-destructive testing.

Keywords: *Didactic device, non-destructive tests, eddy current, electronic circuits.*