

AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FALHAS EM METAIS UTILIZANDO CORRENTES PARASITAS.

1 Introdução:

- Acoplamento Eletromagnético;
- Materiais Ferromagnéticos;
- Análise de Falhas;
- Mínimos Quadrados.

Este trabalho consiste na busca por um método de identificação dos parâmetros do circuito equivalente associado a um sistema de inspeção por correntes parasitas. Estas correntes são induzidas em uma peça ferromagnética através de uma bobina controlada por uma fonte senoidal desenvolvida pelo grupo. Sistemas desta natureza são utilizados nas indústrias nuclear, aeroespacial, petroquímica e automotiva devido a sua capacidade de detectar falhas superficiais em ensaios não destrutivos, controles de acesso, entre outros.

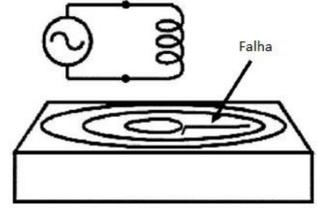
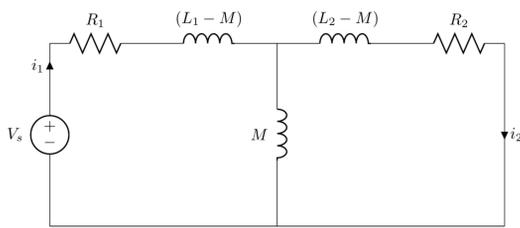


Figura 1. Bobina excitando a peça de metal sobre a falha.

2 Desenvolvimento do projeto:

- Criação de um modelo para representar o sistema formado pela bobina de excitação e corpo de prova.

Pode-se descrever o conjunto bobina, fonte de corrente e corpo de prova como sendo um circuito com acoplamento magnético, e partir deste modelo para montar as equações de malha. Na Figura 2, R1 e L1 são a resistência e indutância da bobina respectivamente e R2 e L2 a da peça a ser testada, temos também que i_2 é a corrente parasita (de Foucault) na peça.



$$\begin{cases} V_s = i_1 R_1 + (L_1 - M) \frac{di_1}{dt} + M \frac{d(i_1 - i_2)}{dt} \\ 0 = i_2 R_2 + (L_2 - M) \frac{di_2}{dt} + M \frac{d(i_2 - i_1)}{dt} \end{cases}$$

Equação 1. Representa as equações de malha do circuito equivalente encontrado na Figura 2.

Figura 2. Circuito equivalente do modelo.

- Equacionamento do Circuito Equivalente.

Tendo encontrado as equações de malha do circuito equivalente, pode-se determinar a função de transferência, fazer uma aproximação numérica e simular o comportamento do sistema. Todos estes passos intermediários serão utilizados mais adiante para estimar os parâmetros do circuito.

- Método de Mínimos Quadrados.

Foi implementado o método de mínimos quadrados (MMQ) para calcular os parâmetros do circuito equivalente a partir da entrada e saída do sistema. Com este método não foi possível determinar os parâmetros de forma independente principalmente devido ao fato de não se possuir o valor da corrente representada por i_2 na Figura 2. Uma forma de se estimar i_2 , utilizando o campo magnético que atravessa bobina está em desenvolvimento como parte do trabalho de mestrado de outro aluno.

- Projeto do Hardware de excitação e medição.

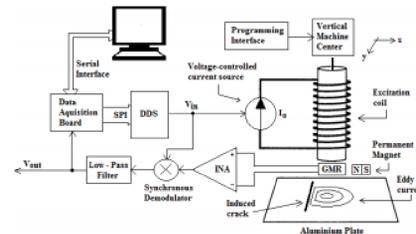


Figura 3. Diagrama de blocos do hardware de aquisição e medição.

3 Ensaio com o Hardware:

Uma peça de aço 1020 com ranhuras superficiais de aproximadamente 1mm de raio foi preparada para se testar o sistema. Os ensaios foram realizados a uma frequência de 1kHz, passando o sensor manualmente sobre as falhas. As primeiras quatro medidas foram horizontais e feitas sobre as linhas 1, 2, 3 e 4 encontradas na Figura 4. As medidas verticais foram feitas sobre as linhas 5-9. Pode-se observar o ensaio correspondente as linhas 1 e 5 na figura 5.

Esta etapa do projeto foi desenvolvida por um outro aluno do grupo como parte de um TCC.

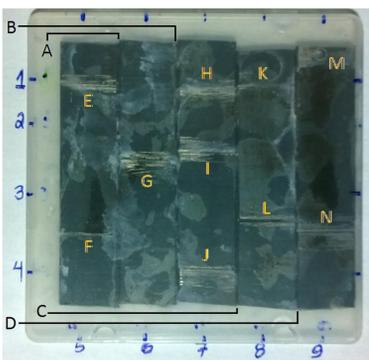


Figura 4. Peça de aço onde o campo foi medido.

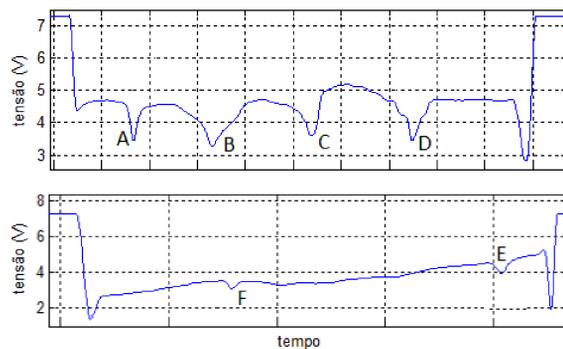


Figura 5. Resultado da primeira medição horizontal e vertical, respectivamente.

Resultados para a simulação do MMQ:

Um programa em Matlab foi implementado para simular o comportamento do circuito baseado na equação do sistema (equação 1). Os valores gerados por este programa foram utilizados como entrada para o rotina de MMQ. Obtendo-se os seguintes resultados:

Parâmetro do circuito equivalente.	Valor do parâmetro original.	Parâmetro obtido pelo MMQ.	Erro relativo
R2	2 Ω	1,6038 Ω	19,819 %
L2	200 μH	148,74 μH	25,625 %
M	161,66 μH	129,28 μH	20,032 %

Podemos também aplicar o MMQ para a situação real em que não se possui o valor da corrente i_2 através da identificação da função de transferência, porém neste caso não temos como isolar os parâmetros individualmente.

Parâmetro da função de transferência.	Valor do parâmetro original.	Parâmetro obtido pelo MMQ.	Erro relativo
$\frac{L2}{L1 \cdot L2 - M^2}$	935,1733	947,6	1,32 %
$\frac{R2}{L1 \cdot L2 - M^2}$	$9,3517 \cdot 10^6$	$1,03 \cdot 10^7$	10,14 %
$\frac{(R1 \cdot L2 + R2 \cdot L1)}{L1 \cdot L2 - M^2}$	$1,7955 \cdot 10^4$	$1,913 \cdot 10^4$	6,542 %
$\frac{R1 \cdot R2}{L1 \cdot L2 - M^2}$	$6,7332 \cdot 10^7$	$7,422 \cdot 10^7$	10,22 %

4 Conclusão:

Este trabalho apresenta um sistema baseado em correntes de Foucault, dentre outras aplicações, para detectar falhas em materiais ferromagnéticos. A abordagem adotada consiste em identificar os parâmetros do circuito equivalente utilizando o método de mínimos quadrados. Com esse método foi possível obter-se uma relação dos parâmetros e por isso a continuidade do trabalho prevê a utilização da informação medida com o GMR para estimar a corrente induzida i_2 . Também será identificado o comportamento do circuito como sistema e utilizar essa informação na estimativa dos parâmetros.

O trabalho se encontra em andamento, sendo o tema da dissertação de um aluno de mestrado.