



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE DO RUÍDO MAGNÉTICO DE BARKHAUSEN ATRAVÉS DA TRANSFORMADA WAVELET

Monique Pacheco do Amaral, monique.amaral@ifri.edu.br
Marcos Flavio Campos, mfdcampo@uol.com.br

IFRJ - Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rua Antonio Barreiros, 212 Atterrado, Volta Redonda/RJ CEP: 27295-350
UFF - Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, nº420, - Volta Redonda / RJ CEP 27255-250

Resumo:

O desenvolvimento de métodos de ensaios não destrutivos confiáveis para a caracterização de materiais utilizados em componentes estruturais tem se tornado de grande interesse para os programas de avaliação de integridade estrutural e extensão de vida. Recentemente, um dos métodos que tem se destacado para caracterizar o comportamento dos materiais ferromagnéticos como por exemplo aços tem sido a análise do ruído magnético Barkhausen, emitido por materiais ferromagnéticos quando submetidos à influência de um campo magnético em condições específicas, os quais podem ser detectados por sensores eletrônicos. Uma das técnicas mais utilizadas para a análise do ruído magnético Barkhausen é a determinação do valor RMS do ruído, que consiste, matematicamente, no cálculo da raiz quadrada da média dos quadrados de seus valores instantâneos. O desenvolvimento das técnicas de medição, tem tornado possível investigar algumas propriedades dos materiais pela análise RMS do ruído magnético Barkhausen. A transformada Wavelet foi introduzida para superar os problemas encontrados na análise RMS.

Palavras-chave: Barkhausen; ruído; wavelet

1. INTRODUÇÃO

O ruído magnético Barkhausen se origina das interações que ocorrem entre os domínios magnéticos e as heterogeneidades estruturais existentes no interior do material durante o processo de magnetização. Este ruído é sensível a alterações macroestruturais e ao estado de tensões presente no material sendo, por exemplo, utilizado para a determinação do nível de tensões aplicadas em materiais estruturais. Entretanto, a análise baseada no valor RMS do ruído magnético Barkhausen apresenta limitações. A dependência existente entre as características do material e o valor RMS do ruído é evidenciada apenas em alguns casos muito especiais o que significa que pode haver perda de informações pela análise baseada apenas no valor RMS do ruído. Neste trabalho, propõe-se a utilização de uma técnica de processamento de sinais que vem sendo difundida por diversas áreas da ciência nos últimos 10 anos, as transformadas Wavelet, para a análise do ruído magnético Barkhausen. As transformadas Wavelet são uma ferramenta de processamento de sinais que possibilita exibir o comportamento das frequências e a quantidade de informações.

1. RUÍDO DE BARKHAUSEN

A análise espectral constitui uma das ferramentas clássicas mais poderosas e mais utilizadas no estudo e processamento, tanto para sinais determinísticos como para sinais estocásticos. Uma ferramenta muito estudada atualmente é a transformada Wavelet que será abordada, em especial, na análise de sinais do ruído magnético de Barkhausen.

O ruído de Barkhausen é o efeito de re-orientação dos domínios magnéticos causado por um campo magnético gerado por uma corrente elétrica, sobre os diferentes grãos ou cristais num corpo ferromagnético. O efeito Barkhausen ocorre associado às mudanças de magnetização em um ciclo de histerese. É originado pela repentina reordenação dos mesmos domínios magnéticos, que se movem ou rotacionam.

O efeito Barkhausen costuma ser principalmente atribuído ao salto das paredes dos domínios de Weiss, mas pode ter outras origens. Jiles (1988) lista as possíveis razões para ocorrência de ruído Barkhausen:

- i) movimentação irreversível (e descontínua) de paredes de domínio
- ii) rotação irreversível de domínios
- iii) aparecimento e desaparecimento de agulhas (“spikes”) de Neel
- iv) inversão de magnetização em partículas monodomínio
- v) deslocamento de paredes de Bloch ou Neel em duas paredes de 180° com magnetizações opostas.

O ruído Barkhausen pode ser detectado de um modo muito simples: uma haste de ferro, que atuará como núcleo ferromagnético, é introduzida no interior de uma bobina de carretel isolante; ao aproximarmos a haste de um pólo magnético, cada um dos saltos das paredes de domínio e mudanças de orientação dos domínios gera um aumento instantâneo do campo de indução na bobina, levando a um pulso de tensão induzida na mesma. Essa, por sua vez, num circuito fechado, estimula uma circulação de um pulso de corrente elétrica. Essas correntes são recebidas pelo amplificador de áudio e, variações de indução são ouvidas como um crepitar no alto-falante, como na Fig. (1).

Se a magnetização se efetuar com lentidão suficiente, é realmente possível ouvir distintamente cada salto ou pulso.

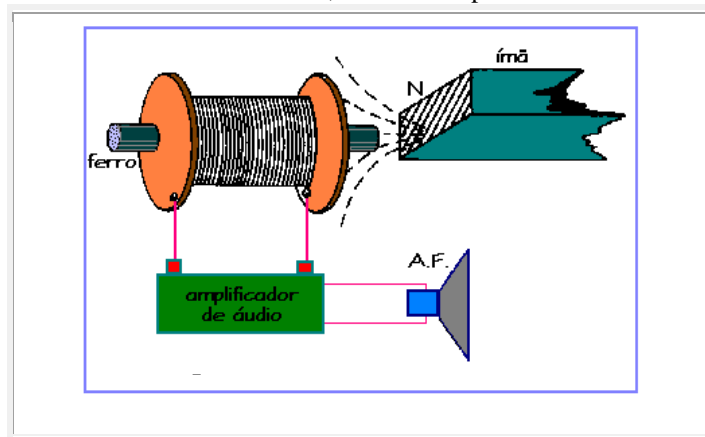


Figura 1 – Demonstração simplificada do aparato para detecção do ruído de Barkhausen. Extraída de <http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto72.asp>

O estudo de sinais não estacionários exige abordagens matemáticas robustas. Uma das ferramentas para a análise destes sinais é a transformada de Wavelet, que tem sido aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento.

Desde 1807, a Análise de Fourier dominou o campo da representação de sinais no domínio da frequência. No entanto, muitos dos sinais analisados (os sinais não periódicos) não tinham uma representação adequada por meio da Transformada de Fourier. Essa representação falha ocorre, principalmente, porque a Transformada de Fourier não fornece uma boa localização das frequências que compõem o sinal no domínio do tempo; a boa localização no domínio do tempo é alcançada com a Transformada de Wavelet. Essa característica das Wavelets tem trazido resultados satisfatórios.

Sinais são quantidades fixas ou variáveis detectáveis por meio das quais informações podem ser transmitidas. Existem duas formas tradicionais de se representar sinais fixos: a primeira é a representação no domínio do tempo, onde a amplitude do sinal é representada como uma função do tempo; a outra é a representação no domínio da frequência, onde a função que representa o sinal mostra a amplitude de cada frequência que o compõe. Para grande parte das aplicações em processamento de sinais, a representação destes no domínio do tempo não é a mais adequada.

Muitas vezes, as informações cruciais estão contidas no chamado espectro em frequência do sinal, que mostra quais frequências existem no sinal que está sendo analisado. Por exemplo, o espectro em frequência de um sinal de eletrocardiograma é de grande valia para que um cardiologista possa saber se o paciente apresenta alguma patologia ou não. Mas de que forma se pode obter a representação de um sinal no domínio da frequência a partir da representação no domínio do tempo?

Existem diversas ferramentas matemáticas que provêm à transformação de uma função (sinal) do domínio do tempo para o domínio da frequência. Sem dúvida a mais conhecida no meio científico é a Transformada de Fourier, desenvolvida pelo matemático Joseph Fourier em 1807. De acordo com Fourier, toda função real periódica, pode ser escrita como uma soma infinita de senos e co-senos.

Wavelets formam uma alternativa bastante interessante para análise frequencial de sinais. No mundo das wavelets a decomposição do sinal não será mais feita em termos de senos e co-senos, como acontecia no caso de Fourier, mas em termos de funções localizadas no tempo (funções que assumem valores não em um intervalo de tempo bem definido) e sem escala fixa. Assim parte-se de certa função (que se quer analisar) e obtém-se a base em outra.

O nome Wavelet (em inglês pequena onda) vem do fato de se escolher funções que tenham ainda a propriedade de ser geométrica, ou seja, oscilar em torno do eixo horizontal de modo que a área acima do eixo seja igual à área abaixo, produzindo gráficos que lembram pequenas ondas.

Todo material ferromagnético contém regiões com mesma orientação magnética chamadas domínios magnéticos. Um material está desmagnetizado quando a magnetização resultante, soma dos momentos magnéticos de todos os

domínios, é nula. Assim, no estado desmagnetizado, os vetores de magnetização estão aleatoriamente distribuídos. As fronteiras entre os domínios de diferentes magnetizações são constituídas pelas paredes dos domínios (também chamadas muros de Bloch) que apresentam uma distribuição suave, mas contínua, nas suas direções de magnetização. Quando submetidos a um campo magnético externo, os vetores de magnetização dos domínios tendem a aumentar na direção do campo magnético aplicado causando a aniquilação das fronteiras entre os domínios. No estado de saturação, os vetores de magnetização têm a mesma direção e as paredes dos domínios foram totalmente aniquiladas, formando um único domínio.

O movimento das paredes de domínios é diretamente influenciado por diversas barreiras estruturais presentes no material, que são os defeitos cristalinos. Entre estes defeitos podem ser mencionados inclusões, discordâncias, contorno de grãos. Também a presença de tensões internas no material pode alterar o sinal Barkhausen. À medida que os domínios magnéticos crescem sob a influência de um campo magnético externo, eles encontram estas barreiras que são superadas com o aumento da intensidade do campo magnético aplicado. O movimento dos domínios entre estas barreiras ocorre em saltos e causa mudanças discretas na magnetização do material dando origem ao ruído magnético Barkhausen.

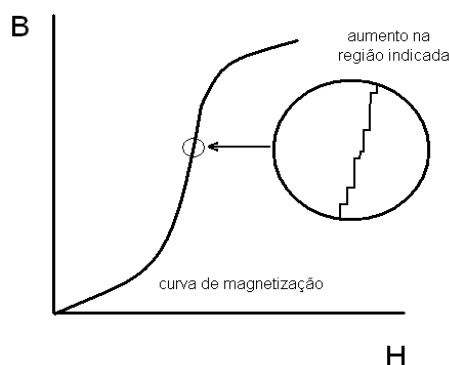


Figura 2. Ilustração do “serrilhado” nas curvas de histerese, o qual indica provavelmente saltos das paredes de domínios. H = intensidade de campo magnético. B = indução magnética.

A interação entre domínios magnéticos e as barreiras estruturais presentes no material dá origem a dois tipos de sinais: acústico e magnético Barkhausen. O sinal acústico origina-se das ondas elásticas emitidas pelo material quando subitamente as fronteiras de domínios se libertam de uma barreira estrutural. O sinal magnético origina-se principalmente do movimento irreversível das paredes de 180° através das barreiras de energia quando um material ferromagnético, por exemplo aço, é submetido a um campo magnético externo variável, ao longo de toda a curva de histerese.

A curva de histerese de uma amostra ferromagnética não é tão regular como parece, uma vez que os movimentos dos domínios pelas barreiras microestruturais causam rápidas mudanças no fluxo magnético e este efeito pode ser detectado quando induzido em uma bobina sensora. Na região aumentada da curva (ver Figura 2), cada linha vertical nos degraus representa o movimento discreto de um conjunto de paredes de domínio e cada linha horizontal representa o tempo de espera antes que o próximo movimento ocorra.

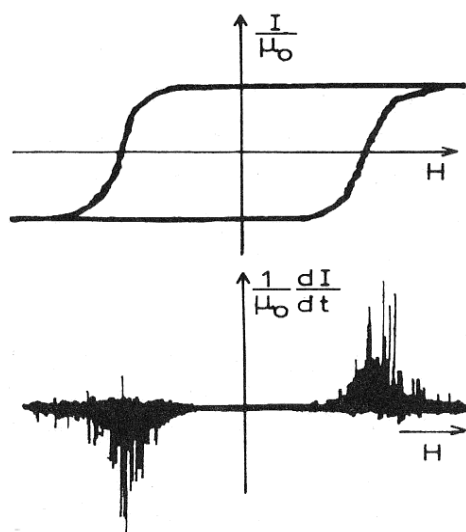


Figura 3. Curva de histerese, acima, e correspondente ruído Barkhausen (abaixo). Notar que o máximo ruído Barkhausen ocorre próximo ao campo coercivo H_c . Figura adaptada de Wiegman (1979).

Em outras palavras, a curva de histerese não é tão contínua quanto pode parecer à primeira vista. Se a curva de histerese for vista com aumento, perceberemos um “serrilhado”, o qual está associado ao ruído Barkhausen.

O espectro de frequências apresentado pelo ruído magnético Barkhausen pode variar de alguns Hz até valores como 100 kHz ou mesmo centenas de kHz. O valor máximo do ruído magnético Barkhausen ocorre quando a densidade de fluxo no material é zero, ou seja, no ponto de coercividade H_c (Costa, 2009), ver figura 3.

O que torna útil o uso do ruído magnético Barkhausen na caracterização, classificação e identificação de amostras de materiais ferromagnéticos é a sua sensibilidade quanto às variações nas propriedades mecânicas, variações microestruturais e estado de tensões presentes no material.

Quando uma amostra de material ferromagnético é submetida a uma deformação elástica, as configurações dos domínios rearranjam-se energeticamente para uma configuração mais favorável. No caso de aços, quando há um campo magnético externo e de tensões de tração, a amplitude do ruído magnético Barkhausen aumenta até atingir o limite elástico do material. Caso as tensões presentes sejam de compressão, o efeito é contrário, ou seja, a amplitude do ruído magnético Barkhausen diminui. Este efeito está relacionado a magnetostricção (Stewart et al, 2004). Assim, tensões elásticas podem ser estudadas pelo método de análise do ruído magnético Barkhausen (Farias, 2005)

As alterações do ruído magnético Barkhausen podem ser analisadas de várias maneiras, como através da área da envoltória do ruído, de seu valor RMS, do espectro de Fourier e da densidade de amplitudes. Um dos métodos mais utilizados é a análise da distribuição de amplitude do sinal para a determinação do seu valor médio ou RMS (Franco, Padovese, 2007). O valor RMS representa a raiz quadrada do valor quadrático médio em volts dos sinais Barkhausen ao longo do tempo.

Para materiais isotrópicos, os quais apresentam propriedades magnéticas independentes da direção em que são medidas, o valor do ruído magnético Barkhausen emitido em qualquer direção é o mesmo, considerando-se uma amostra isenta de tensões aplicadas. Entretanto, a anisotropia magneto cristalina implica em eixos de fácil e de difícil magnetização. Devido principalmente à existência de textura cristalográfica, as propriedades magnéticas dos materiais ferromagnéticos variam, dependendo da direção em que são medidas. Em outras palavras, dependendo da direção em que for medido, o ruído magnético Barkhausen apresenta valores diferentes, independente de haver ou não tensão aplicada. Portanto, para que se possa utilizar o efeito Barkhausen para caracterizar amostras de materiais ferromagnéticos é necessário definir uma ou mais direções para a realização das medições. Por exemplo, uma dessas direções, no caso de chapas, é a direção de laminação, e outra é a direção transversal à de laminação.

1. EFEITO BARKHAUSEN

Os domínios magnéticos constituem a microestrutura dos materiais ferromagnéticos e no estado desmagnetizado encontram-se com a direção dos vetores de magnetização aleatoriamente distribuídos. As fronteiras entre os domínios de diferentes magnetizações são constituídas pelas paredes dos domínios que apresentam uma distribuição suave nas suas direções de magnetização. Quando submetidos a um campo magnético externo, os vetores de magnetização dos domínios tendem a aumentar na direção do campo magnético aplicado causando a aniquilação das fronteiras entre os domínios. No estado de saturação, os vetores de magnetização têm a mesma direção e as paredes dos domínios tornam-se mais simples formando um único domínio. (Farias, 2005)

O movimento das fronteiras dos domínios é diretamente influenciado por diversas barreiras estruturais presentes no material. Entre estas barreiras podem-se citar inclusões, discordâncias, contorno de grãos e a presença de tensões internas ao material. À medida que os domínios magnéticos crescem sob a influência de um campo magnético externo, eles encontram estas barreiras que são vencidas com o aumento da intensidade do campo magnético aplicado. O movimento dos domínios por estas barreiras ocorre em saltos e causa mudanças discretas na magnetização do material dando origem ao ruído magnético Barkhausen.

A interação entre domínios magnéticos e as barreiras estruturais presentes no material dá origem a dois tipos de sinais: acústico e magnético Barkhausen. O sinal acústico origina-se das ondas elásticas emitidas pelo material quando subitamente as fronteiras de domínios se libertam de uma barreira estrutural. O sinal magnético origina-se principalmente do movimento irreversível das fronteiras de 180° através das barreiras de energia quando um material ferromagnético é submetido a um campo magnético externo variável que percorre toda a sua curva de histerese.

A curva de histerese de uma amostra ferromagnética não é tão regular como aparenta, uma vez que os movimentos dos domínios pelas barreiras estruturais causam rápidas mudanças no fluxo magnético e este efeito pode ser detectado quando induzido em uma bobina sensora. Na região aumentada da curva, cada linha vertical nos degraus representa o movimento discreto de um conjunto de fronteiras e cada linha horizontal representa o tempo de espera antes que o próximo movimento ocorra.

O espectro de frequências apresentado pelo ruído magnético Barkhausen pode variar de alguns Hz até valores como 100 kHz ou mesmo centenas de kHz. O valor máximo do ruído magnético Barkhausen ocorre quando a densidade de fluxo no material é zero, ou seja, no ponto de coercividade H_c (Costa, 2009).

O que torna útil o uso do ruído magnético Barkhausen na caracterização, classificação e identificação de amostras de materiais ferromagnéticos é a sua sensibilidade quanto às variações nas propriedades mecânicas, variações microestruturais e estado de tensões presentes no material.

Quando uma amostra de material ferromagnético é submetida a uma deformação elástica, as configurações dos domínios rearranjam-se energeticamente para uma configuração mais favorável. Na presença de um campo magnético

externo e de tensões de tração, a amplitude do ruído magnético Barkhausen aumenta até atingir o limite elástico do material. Caso as tensões presentes sejam de compressão, o efeito é contrário, ou seja, a amplitude do ruído magnético Barkhausen diminui. Esta é a base para caracterização de tensões elásticas pelo método de análise do ruído magnético Barkhausen, sendo a interação entre a estrutura dos domínios e a presença de tensões no material. (Farias, 2005)

As alterações do ruído magnético Barkhausen podem ser analisadas de várias maneiras, como através da área da envoltória do ruído, de seu valor RMS, do espectro de Fourier e da densidade de amplitudes. Um dos métodos mais utilizados é a análise da distribuição de amplitude do sinal para a determinação do seu valor médio ou RMS. O valor RMS representa a raiz quadrada do valor quadrático médio em volts dos sinais Barkhausen ao longo do tempo.

Para materiais que apresentam propriedades magnéticas independentes da direção em que são medidas, o valor do ruído magnético Barkhausen emitido em qualquer direção é o mesmo, considerando-se uma amostra isenta de tensões aplicadas. Entretanto, em função da anisotropia magneto cristalina exibida pela maioria dos materiais, devida, principalmente, ao seu processo de fabricação, as propriedades magnéticas dos materiais ferromagnéticos variam, dependendo da direção em que são medidas. Assim, dependendo da direção em que for medido, o ruído magnético Barkhausen apresenta valores diferentes, independente de haver ou não tensão aplicada. Portanto, para que se possa utilizar o efeito Barkhausen para caracterizar amostras de materiais ferromagnéticos é necessário, inicialmente, que se padronizem as direções para a realização das medições

2. TRANSFORMADA WAVELET

Inicialmente, define-se a Transformada Wavelet (TW) considerando um sinal contínuo Eq. (1), porém a generalização para sinais ou imagens bidimensionais Eq. (2), também pode ser obtida. A transformada Wavelet continua Eq. (1) é dada pela equação Eq. (3)

$$f(t) \tag{1}$$

$$f(x, y) \tag{2}$$

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{a,b}(t) e^{-i2\pi ut} dt \tag{3}$$

Nesta equação, os parâmetros a e b variam continuamente em \mathfrak{R} e são a fator de escala e b a variável de deslocamento, sendo que a função Eq. (4) ($a = 1$ e $b = 1$) é denominada Wavelet mãe e definida da seguinte na forma Eq. 5.

$$\Psi_{a,b} \tag{4}$$

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{5}$$

Variando-se apropriadamente os termos a e b construiu-se a base de funções da transformada Wavelet.

A constante Eq. (6) é usada para normalização da energia da função Wavelet em diferentes escalas, tal que Eq. (7) para qualquer nível de dilatação:

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \tag{6}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}(t)^2 dt = 1 \tag{7}$$

É importante ressaltar que, tendo em vista a propriedade de representação em tempo-frequência, variações no índice a relacionam-se às medidas dos intervalos nos quais as ondeletas concentram maior parte de sua oscilação, de forma a se referir a tal índice como sendo relativo ao nível de resolução (Parraga, 2002).

Uma maneira eficiente de aplicar a transformada Wavelet é através de filtros, técnica desenvolvida por Mallat, onde se tem a decomposição da Wavelet implementando a análise de multiresolução. A análise multiresolução é uma técnica que permite analisar sinais em múltiplas bandas de frequência.

A transformada Wavelet multiresolução pode ser considerada como um filtro passa-baixa e outro passa - alta. A função Wavelet Eq. (12) está relacionada a um filtro passa - alta, a qual produz os coeficientes de detalhes da decomposição Wavelet. Na análise multiresolução, há uma função adicional que está relacionada ao filtro passa-baixa. Esta é chamada de função de escalonamento $\phi(t)$, e está associada com coeficientes de aproximação da decomposição da Wavelet. O processo de filtragem de decomposição está na figura2.

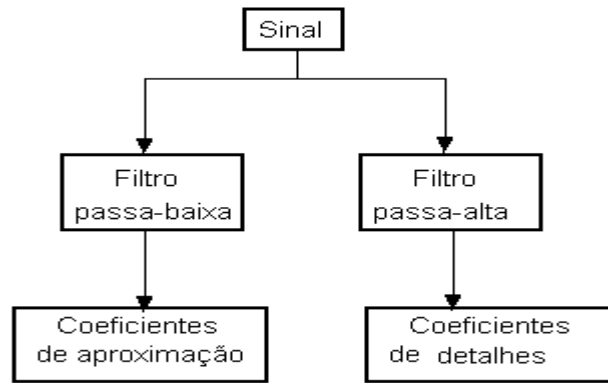


Figura2 - processo de decomposição do sinal

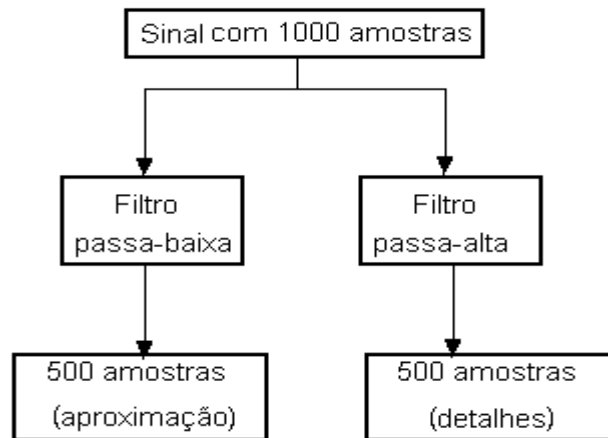


Figura4 - processo de decomposição do sinal em amostras

Para muitos sinais, as componentes de baixa frequência são aquela que contem maior informação. Já nas componentes de alta frequência da voz, são encontrados detalhes que, se removidos. (Parraga, 2002).

A representação de multiresolução fornece uma moldura hierárquica simples para interpretação da formação do sinal. As diferentes resoluções, os detalhes de um sinal geralmente caracterizam diferentes estruturas físicas do mesmo. A uma resolução mais grosseira, estes detalhes geralmente caracterizam as grandes estruturas que fornecem o contexto. Com o aumento da resolução, obtemos detalhes mais finos. O processo de decomposição ocorre da seguinte maneira.

Considere inicialmente uma função f contida no espaço das funções quadraticamente integráveis Eq. (8). Portanto, a energia da função f é limitada ao longo de todo eixo dos reais, isto é Eq. (9):

$$\ell_2 \mathcal{R} \tag{8}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)^2 dt < \infty \tag{9}$$

O produto escalar ou produto interno, denotado pelo símbolo \bullet , é a norma para o espaço Eq. (8) são definidos como Eq. (10) e Eq. (11).

$$f \bullet g = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t).g(t)dt \tag{10}$$

$$|f| = \sqrt{f \bullet f} \tag{11}$$

Se a função g possuir norma unitária, então o resultado do produto escalar entre f e g corresponderá a operação de projeção de f sobre g . Considere, agora, um conjunto de funções ortonormais Eq. (12), ou seja, ortogonais e de módulo um, formando uma base para o espaço Eq. (8). Pela condição de ortogonalidade Eq. (13), para todo m diferente de n .

$$\Psi_k(t), k \in N \tag{12}$$

$$\Psi_m \bullet \Psi_n = |\Psi_m| |\Psi_n| \cos \phi = 0 \quad (13)$$

No entanto, se a base possuir suporte limitado, decaindo para zero muito rapidamente, então a melhor maneira desta base cobrir todo o eixo dos reais será através de translação do tipo Eq. (14).

$$\Psi_{k,l}(t) = \Psi_k(t-l), l \in N \quad (14)$$

Da mesma maneira, observando a base da transformada de Fourier, pode-se constatar que cada função base (as exponenciais complexas) é obtida a partir de simples dilatações na frequência. Reunindo estas duas propriedades, dilatação e translação, em um único protótipo de função base, obtemos as chamadas funções de ondeletas, onde as dilatações e as translações são dadas por duas variáveis nomeadas a e b , respectivamente. Portanto, o termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações, Eq. (15), e translações $\Psi(t) \rightarrow \Psi(t+1)$, de uma função base geradora simples Eq. (12), a ondeleta-mãe. Esta deve ser quadraticamente integrável dentro de um intervalo de tempo real ou espaço Eq. (8), isto é apresentar energia finita. A imposição de que a sua energia média seja zero, constitui a condição de admissibilidade da função Eq. (16), de forma que a expansão em série de ondeletas e a transformada são definidas como Eq. (17).

$$\Psi(t) \rightarrow \Psi(2t) \quad (15)$$

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (16)$$

$$\langle f, \Psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (17)$$

Há dois tipos de funções ondeletas, as Contínuas e as Discretas, cada qual útil para determinadas aplicações.

As ondeletas discretas são utilizadas para decomposição e filtragem de qualquer série-temporal. A sua aplicabilidade neste aspecto advém do fato de que estas ondeletas não provocam redundâncias de coeficientes entre as escalas (frequências).

As ondeletas contínuas são comumente utilizadas para visualiza, em um diagrama tridimensional, a relação existente entre as componentes de diferentes frequências em função da escala temporal do sinal estudado, onde estas relações são comumente categorizadas como não lineares.

Fisicamente, em um sistema natural qualquer, é importante tentar buscar relações entre os diversos fenômenos físicos atuantes no sistema natural. Por isso, as ondeletas contínuas propiciam um meio matemático adequado. As ondeletas contínuas mais comuns são: a Morlet e a Chapéu Mexicano, dentre outras.

3. ANÁLISE

É interessante notar que se considerou apenas um aço e sobre ele aplicou diferentes tratamentos, o que levou a diferentes microestruturas onde foi analisado o sinal de ruído de Barkhausen.

A amplitude máxima do sinal de Barkhausen é uma função do tamanho do pulso das paredes do domínio, e o campo magnético correspondente representa o campo magnético resistente requerido para o movimento das paredes de domínio a partir dos locais de ancoramento. Assim através da transformada wavelet e seus filtros pode se identificar as variações nos pulsos das paredes de domínio e identificar o tipo de tratamento dado.

Portanto, são vários fatores que influenciam os sinais de Barkhausen, como por exemplo, diferentes tratamentos térmicos, diferentes quantidades de carbono e elementos de liga entre outros. De um modo geral, o aumento dos locais de ancoramento resulta em altos valores do ruído de Barkhausen, porém uma análise mais robusta é necessária.

4. REFERÊNCIAS

Parraga A. "Aplicação da Transformada Wavelet Packet na Análise e Classificação de Sinais de Vozes Patológicas". Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação de Mestrado, pp 44 – 46 e pp 51 – 52.

Farias, Alexandre R., "Caracterização do Ruído Magnético Barkhausen em Materiais Estruturais utilizando Transformada Wavelet". Belo Horizonte: CDTN, 2005. Dissertação de Mestrado, pp 22, 27-29

Costa, Leonardo Fellipe T., Caracterização Microestrutural de aços Hipoeuteutóides, Bifásicos, com Auxílio de Medidas Magnéticas. Volta Redonda: UFF, 2009, pp 83 - 85

ANALYSIS OF THE MAGNETIC NOISE OF BARKHAUSEN THROUGH TRANSFORMED IT WAVELET

Monique Pacheco do Amaral, monique.amaral@ifrj.edu.br

Marcos Flavio Campos, mfdcampo@uol.com.br

IFRJ - Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rua Antonio Barreiros, 212 - Atterrado, Volta Redonda/RJ CEP: 27295-350

UFF - Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, nº420, - Volta Redonda / RJ CEP 27255-250

The development of nondestructive testing methods reliable for the characterization of materials used in structural components has become of great interest for the genetic evaluation of structural integrity and life span. Recently, one method that has stood out to characterize the behavior of ferromagnetic materials such as steels has been the analysis of magnetic Barkhausen noise, emitted by ferromagnetic materials when subjected to the influence of a magnetic field on specific conditions, which can be detected by electronic sensors. One of the most widely used techniques for analyzing the magnetic Barkhausen noise is determining the RMS value of noise, that is, mathematically, when calculating the root mean square of the square of its instantaneous values. The development of measurement techniques, it has become possible to investigate some properties of materials by analysis of the RMS magnetic Barkhausen noise. The wavelet transform has been introduced to overcome the problems encountered in the analysis RMS.