



SIMULAÇÃO DINÂMICA DE UM PAR ENGRENADO E APLICAÇÃO DE REDES NEURAIIS NO DIAGNOSTICO AUTOMÁTICO DE FALHAS

Antonio Eduardo Rodrigues de Mendonça

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica. Av. Brasil Centro 56, Ilha Solteira, SP, Brasil. CEP 15385-000.

e-mail: aerm@dem.feis.unesp.br

Adyles Arato Junior

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica. Av. Brasil Centro 56, Ilha Solteira, SP, Brasil. CEP 15385-000.

e-mail: adyles@dem.feis.unesp.br

Resumo. *Este trabalho apresenta uma metodologia para se automatizar a monitoração e diagnósticos de algumas falhas em redutores mecânicos através da técnica de redes neurais artificiais, utilizando como dados de entrada na rede indicadores extraídos do sinal de vibração. Os sinais analisados foram gerados por um simulador dinâmico que reproduz a resposta às excitações das diversas fontes de vibração decorrentes tanto do funcionamento normal quanto de excitações representando falha no dentado da engrenagem. No modelo mecânico proposto, foi considerado um par de engrenagens de dentes retos com um grau de liberdade e baixa razão de contato. A rigidez de malha e o erro de engrenamento são adotados como sendo funções variantes no tempo. Utilizando os sinais com e sem defeito foi possível montar um sistema automático para avaliar a integridade do redutor através do treinamento de uma rede neural artificial. Concluiu-se então que, o modelo dinâmico considerado foi apropriados para a simulação dos sinais e as técnicas utilizadas no diagnóstico e identificação de falha foram bastante eficientes.*

Palavras-chave: Redutores, Detecção de Falhas, Redes Neurais Artificiais.

1. INTRODUÇÃO

Redutores mecânicos de engrenagens encontraram importantes aplicações em modernos sistemas de transmissão de potência.. A resposta dinâmica em pares engrenados permanece até os dias atuais um assunto de amplos estudos, levado ao desenvolvimento de uma grande variedade de modelos matemáticos destes sistemas(Blankenship e Singh, 1992, Parker et al, 2000, Huang e Liu, 2000, Amabili e Rivola, 1997, Theodossiades e Natsiavas, 2000, Özgüven e Yalçintas, 1991, Özgüven e Houser, 1988). Estes diferentes modelos levaram em conta diferentes reuniões de características, como por exemplo, vibração torcional, vibração lateral, efeito de giroscópio, além de efeitos de montagem, e projeto das engrenagens tais como erros de transmissão. Outro importante fator considerado na construção dos modelos dinâmicos ocorre devido a variação do número de pares de dentes engrenados em relação ao tempo, o que causa uma variação da rigidez de malha do sistema. A união destes fatores no equacionamento matemático além da complexidade de se simular o carregamento dinâmico e fontes de excitação, torna bastante difícil a análise e obscurece a interpretação dos resultados numéricos por ventura obtidos.

Recentemente, o interesse voltado em direção ao desenvolvimento e melhor compreensão da vibração em sistemas engrenados tem se modificado. Esta modificação é mostrado claramente em alguns novos estudos, onde tem-se trabalhado com modelos relativamente simples de engrenamento

mecânico. Um particularmente importante grupo de estudos tem se concentrado em modelos de pares engrenados com um grau de liberdade (Theodossiadis e Natsiavas, 2000, Amabili e Rivola, 1997, Parker et al, 2000). Neste estudo, apenas a rigidez no dente é considerada como o elemento de armazenamento de energia potencial do sistema, negligenciando a flexibilidade dos eixos e mancais. De fato, em alguns sistemas engrenados obtemos bons resultados considerando as vibrações torsionais das duas engrenagens, que ocorre devido a força de malha, desacopladas dos outros modos do sistema. Diferentes modelos com um grau de liberdade foram apresentados em muitos trabalhos, no presente trabalho é considerado um modelo com rigidez de malha variante no tempo e erro de transmissão no engrenamento. A resolução das equações matemáticas foram realizadas de diferentes formas nos vários trabalhos desenvolvidos no passado, dependendo principalmente da complexidade do sistema considerado. Porém, os resultados são geralmente melhores quando a solução é obtida por métodos de integração numérica, utilizamos aqui de um destes métodos.

Juntamente com a resposta dinâmica, as falhas que podem ocorrer em sistemas de pares engrenados são também de grande importância e também tem sido grande os esforços voltados a sua compreensão. A partir da compreensão dos efeitos decorrentes do surgimento de um defeito e consequentemente a alteração no sinal de resposta de um sistema originalmente sem falha, podemos tentar prever com uma certa antecedência o tempo de vida de um equipamento bem como o tipo e a localização de seu defeito. O progresso da falha pode ser interpretada pela variação com o tempo do sinal medido no equipamento. Em redutores de engrenagens, os sinais de vibração são geralmente usados para tentar se diagnosticar a falha.

Existem muitas técnicas de análise de sinal que foram bastante trabalhadas e desenvolvidas nas últimas décadas, visando o processamento e análise do sinal de vibração obtido em sistemas engrenados (Sung et al, 2000, Brennan et al, 1997, Lee e White, 1997, Perret-Liaudet, 1996). Muitas das técnicas estudadas encontraram melhores aplicações em sinais não transientes. Porém neste trabalho o tipo de defeito que foi considerado se comporta como um sinal transiente, perda de rigidez em um único dente do pinhão, para este caso, uma técnica baseada na análise temporal do sinal pode apresentar bons resultados.

A implementação de um sistema que realize automaticamente o diagnóstico de falhas em sistemas mecânicos pode ser realizado utilizando redes neurais artificiais. A rede neural artificial (RNA) é baseada em certas funções elementares do cérebro humano, como a capacidade de aprender a partir de exemplos. Uma aplicação onde ela tem demonstrado grande eficiência é no reconhecimento de padrões, mesmo na presença de imperfeições, como no caso de ruídos aleatórios. Pode-se ainda dizer que a RNA apresenta características desejáveis ao caso, tais como, abstração do modelo matemático do sistema e capacidade de mapear sistemas não-lineares. Em função destas características as RNA apresentam-se como uma solução em potencial para proceder automaticamente as análises e diagnósticos necessários na implantação de um programa de manutenção preditiva (Dellomo, 1999, Demuth e Beale, 2000).

2. MODELO DINÂMICO

O Modelo mecânico do sistema de um par engrenado investigado no presente estudo esta apresentado na Fig. (1), ele é formado por dois discos acoplados pela rigidez de engrenamento, amortecimento de engrenamento e excitação devido à erros no engrenamento.

De acordo com este modelo torcional de dois graus de liberdade não há movimento lateral nos centros das duas engrenagens. Podemos considerar que a rigidez do engrenamento é dependente do número e posição de pares de dentes que estão em contato em um dado instante, sendo portanto uma função periódica da posição angular relativa das engrenagens. Neste modelo ainda é considerado o erro de transmissão, que representa erros geométricos nos perfis dos dentes e erros de montagem do par engrenado, o erro de transmissão é definido como a diferença entre as posições atual e ideal da engrenagem conduzida, e é usualmente expresso como um deslocamento linear ao longo da linha de ação.

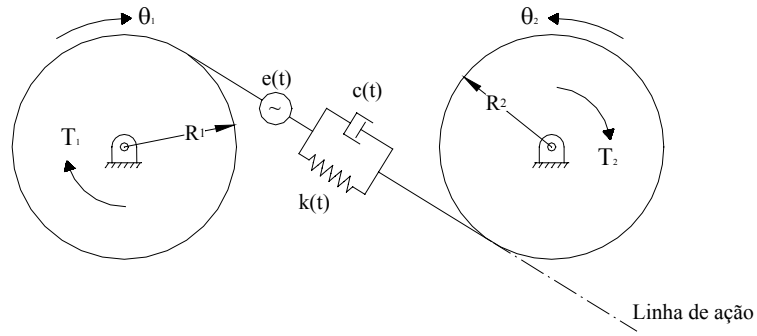


Figura 1. Modelo dinâmico de um par de engrenagens.

Em vez de se trabalhar com o sistema de dois graus inicial, pode-se considerar um sistema de um único grau na direção da linha de ação

$$x(t) = R_1\theta_1 - R_2\theta_2 \quad (1)$$

onde R_1 e R_2 (m) são os raios das engrenagens, e θ_1 e θ_2 (rad) são os deslocamentos angulares das duas engrenagens, podemos portanto escrever a equação do movimento deste sistema como sendo

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + f(x, t) = W_0 \quad (2)$$

onde,

$$m = \frac{I_1 I_2}{(I_1 R_2^2 + I_2 R_1^2)} \quad (3)$$

$$W_0 = \frac{T_1}{R_1} = \frac{T_2}{R_2} \quad (4)$$

$$f(x, t) = \begin{cases} k(t)[x - e(t)] & \text{para } x - e(t) > 0 \\ 0 & \text{para } x - e(t) \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

sendo, W_0 (N) o carregamento estático, m (Kg) a massa de inércia equivalente do par engrenado, T_1 e T_2 (Nm) os torques das engrenagens e I_1 e I_2 os momentos de massa de inércia das duas engrenagens. A função de erro $e(t)$ (m) é a excitação(deslocamento) representando erros relativos aos dentes engrenados.

Introduzindo a frequência circular de malha $\omega = z_1\Omega_1 = z_2\Omega_2$, onde Ω_1 e Ω_2 (rad/s) são as velocidades angulares, e z_1 e z_2 são os números de dentes, a rigidez de engrenamento pode ser considerada como uma função periódica com período $T = 2\pi/\omega$. Pode-se portanto expressar $k(t)$ (N/m) por uma série de Fourier como por exemplo,

$$k(t) = k_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \text{sen}(n\omega t)] \quad (6)$$

onde a_n e b_n são constantes apropriadas para descrever o período desejado.

Vamos considerar neste trabalho apenas quando a função $f(x, t)$ da Eq. (5) pertence ao intervalo $x - e(t) > 0$, ou seja, quando existe contato entre o par engrenado. Neste caso a equação do

movimento, Eq. (2), pode então ser escrita como a seguinte equação diferencial ordinária de segunda ordem.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + k(t)x = W_0 + k(t)e(t) \quad (7)$$

O lado direito da Eq. (7) acima representa a excitação dinâmica do par engrenado devido ao carregamento estático e erro no engrenamento.

Assim como no caso da rigidez de malha, a função de erro $e(t)$ também pode ser suposta periódica com período $T = 2\pi/\omega$, podendo portanto também ser escrita como uma série de Fourier. Para o presente trabalho foi considerado uma função de erro formado por uma soma de senos, Eq. (8), representando erros na frequência de malha $e_{fm}(t)$, frequência de rotação do pinhão $e_{fp}(t)$, frequência de rotação da coroa $e_{fc}(t)$, além de modulações dos sinais nas frequências da coroa e do pinhão pelo sinal na frequência de malha.

$$e(t) = e_{fm}(t) + e_{fp}(t) + e_{fc}(t) + (e_{fc}(t)e_{fm}(t)) + (e_{fp}(t)e_{fm}(t)) \quad (8)$$

No modelo proposto o amortecimento é suposto constante $\zeta=0.07$, este valor já foi utilizado em trabalhos anteriores como por exemplo em Amabili e Rivola (1997). Para um modelo mais refinado poderia ser assumido uma variação no amortecimento em relação a variação da rigidez de malha, ou seja em relação a variação do número de dentes em contato durante o engrenamento.

A variação da rigidez de malha no já foi calculada de várias formas em trabalhos passado, tendo casos onde foi gerado a partir de uma função do erro de transmissão, Parker et al (2000), calculado a partir de estudos do perfil do dente, Huang e Liu (2000), entre outros. No presente trabalho utilizou uma onda periódica calculada como uma série de Fourier. A variação da rigidez e do erro de engrenamento são considerados iguais para cada período T de par de dentes engrenados, o que nos leva a assumir as funções periódicas adotadas.

3. IMPLEMENTAÇÃO

O programa que realiza a simulação dos sinais com e sem defeito foi implementado a partir da teoria matemática apresentada na seção 2, a construção do programa foi realizada mantendo-se como base o período da frequência de malha de tal forma que alterar as propriedades de um único período destes ou seja alterar as características mecânicas de um único dente fosse uma tarefa rápida. Pode-se assim simular com grande eficiência o surgimento de um defeito em um dente apenas pela variação de propriedades tal como rigidez e amortecimento de um dado período T . Neste trabalho levou-se em conta apenas uma diminuição percentual da sua rigidez.

A linguagem computacional Matlab versão 5.2 foi utilizada na implementação do modelo proposto para a simulação do redutor mecânico. A integração numérica da Eq. (2) foi feita utilizando o método de Runge-Kutta com passo variável, sendo que pela grande eficiência deste e pela relativa simplicidade da equação a que foi aplicado conseguiu-se uma resolução bastante rápida da edo.

3.1. Fontes de Excitação

As fontes de excitação consideradas no modelo dinâmico proposto estão representadas pelo lado direito da Eq. (2), o primeiro destes termos representa uma fonte de excitação estática que ocorre devido a ação dos torques nas engrenagens. Considerou-se neste trabalho um torque fixo com amplitude de 2000 N no pinhão, a amplitude deste carregamento foi adotada anteriormente por Parker et al (2000). O segundo termo apresenta uma força gerada pelo erro de engrenamento e rigidez. A simulação da função do erro de engrenamento foi adotada considerando que este deslocamento se dá por uma reunião de senos como mostrado na Eq. (8). As amplitudes dos senos

representando os sinais do pinhão e da coroa são consideradas sendo menores do que a amplitude do sinal na frequência de malha, como mostrado nas equações abaixo.

$$e_{fm} = 0.75 * (\text{sen}(\omega T * t)) \quad (9)$$

$$e_{fp} = 0.2 * \left(\text{sen}\left(\frac{\omega T * t}{25}\right) + 120 \right) \quad (10)$$

$$e_{fc} = 0.15 * \left(\text{sen}\left(\frac{\omega T * t}{54}\right) + 120 \right) \quad (11)$$

Considerando que as engrenagens analisadas têm uma baixa razão de contato, $1 < \varepsilon < 2$, então um ou dois pares de dentes estarão em contato simultaneamente. Devido principalmente a esta variação do número de pares de dentes em contato, a função da rigidez de malha $k(t)$ torna-se não linear. Assim como para o erro $e(t)$, esta rigidez é uma função periódica com período T . Na Fig. (2) está demonstrada a função $k(t)$, observe que numa faixa representando um dos períodos temos uma diminuição de 10% na amplitude da rigidez de malha, podemos considerar portanto este período como sendo o de um dente defeituoso. A série de Fourier utilizada contém 25 elementos n , Eq.(6). As amplitudes e formato de onda da rigidez de malha (N/ μm) foram adotadas segundo valores retirados de trabalhos anteriores (Perret-Liaudet, 1996, Parker et al, 2000, Choy et al, 1996).

Foram simulados sinais representando períodos totais de 1 segundo, sendo que a discretização utilizada levou a vetores com 7500 pontos ($\Delta t = 1.33 * 10^{-4}$ s). Foi considerado na simulação um par engrenado composto por um pinhão de 25 dentes e uma coroa de 54 dentes, com frequências de rotação respectivamente de 30 Hz e 14 Hz. Com isso obteve-se sinais com frequência de engrenamento de 750 Hz e uma discretização (Δf) no domínio espectral, após a aplicação da transformada de Fourier, de 1 Hz. Buscando obter sinais simulados mais parecidos com sinais reais, foi acrescentado a estes um ruído aleatório com amplitude de 50% da máxima amplitude do sinal original.

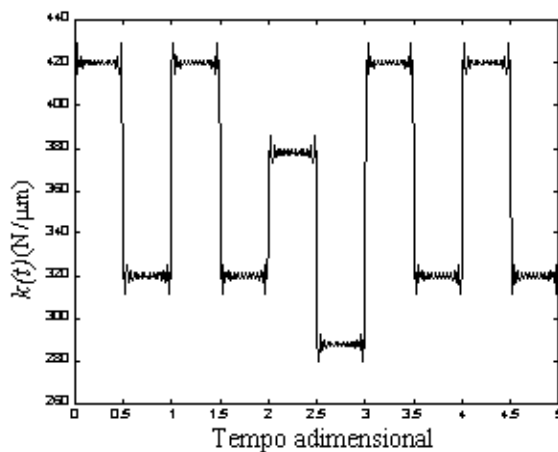


Figura 2. Rigidez de malha

3.2. Defeito no Dentado

Para a simulação do defeito no dentado foi considerado o aparecimento de uma trinca em um dos dentes do pinhão. Como conseqüência do surgimento desta trinca, ocorre neste dente uma perda de rigidez. Esta perda foi simulada através da diminuição de uma percentagem da função $k(t)$ a cada 25 períodos T , ou seja, cada vez que é considerado o dente trincado do pinhão na integração

numérica. Pode-se ainda considerar que a trinca neste dente irá progredir com o passar do tempo, levando com isso à um aumento gradativo na diferença de rigidez entre os dentes sadios e o dente defeituoso, conseguindo assim sinais de vibração representando o progresso do defeito. Os seguintes casos foram gerados:

- Caso A: Redutor sem defeito.
- Caso B: Defeito em um dente do pinhão - perda de 5% de rigidez.
- Caso C: Defeito em um dente do pinhão - perda de 7% de rigidez.
- Caso D: Defeito em um dente do pinhão - perda de 10% de rigidez.

4. RESULTADOS

Após ter sido implementado o programa que resolve o modelo matemático proposto e terem sido definidas e simuladas as funções no tempo representando as fontes de excitação do sistema, as respostas do deslocamento no tempo dos casos A ao E descritos anteriormente foram finalmente simuladas. Foram geradas 80 simulações, sendo 20 para cada caso. A Fig. (3) apresenta uma amostra da simulação para o caso A.

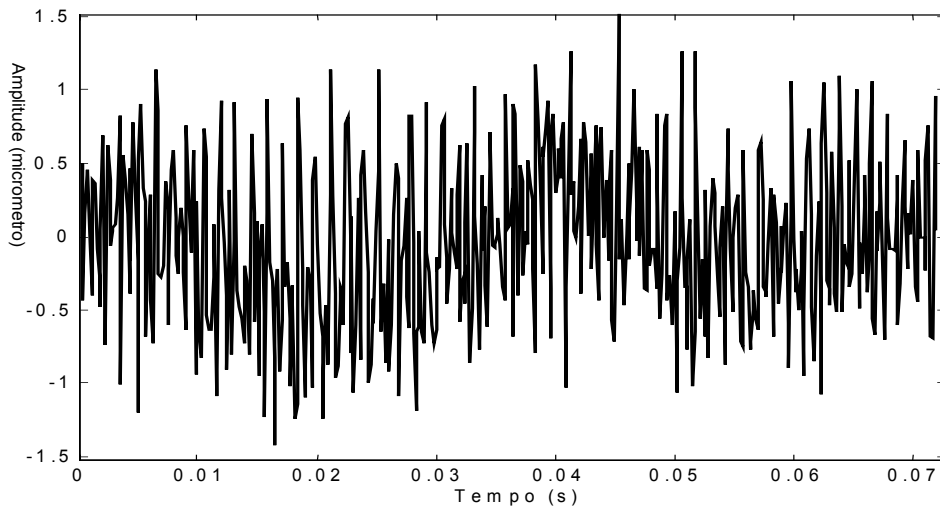


Figura 3. Sinal simulado – Caso-A

4.1. Processamento dos Sinais

De posse dos sinais simulados foi necessário, primeiramente, processá-los visando a extração de características que representem claramente cada situação e com isso obter os vetores de entrada utilizados no treinamento e identificação de falhas pela RN. A implementação deste algoritmo de processamento esta descrita na Fig. (4) a seguir.

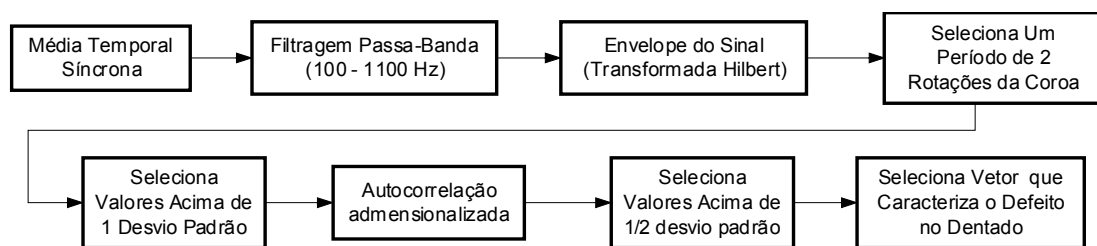


Figura 4. Caracterização do defeito no dentado

A seguir estão apresentadas amostras dos resultados obtidos para os casos A e D após a autocorrelação e após a seleção do vetor que caracteriza o defeito.

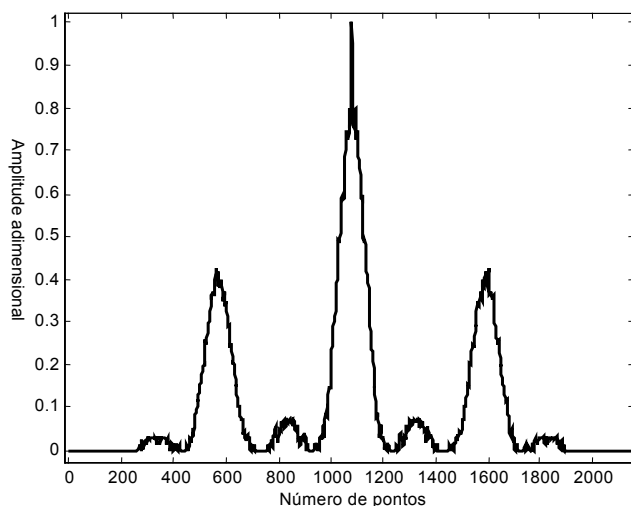


Figura 5. Autocorrelação - Caso A.

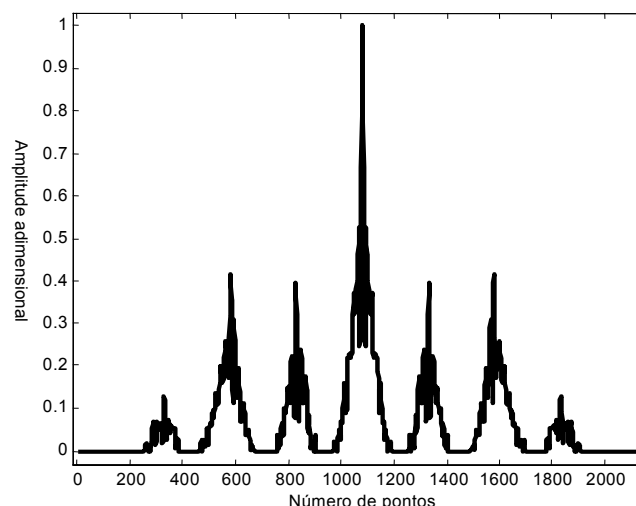


Figura 6. Autocorrelação - Caso D.

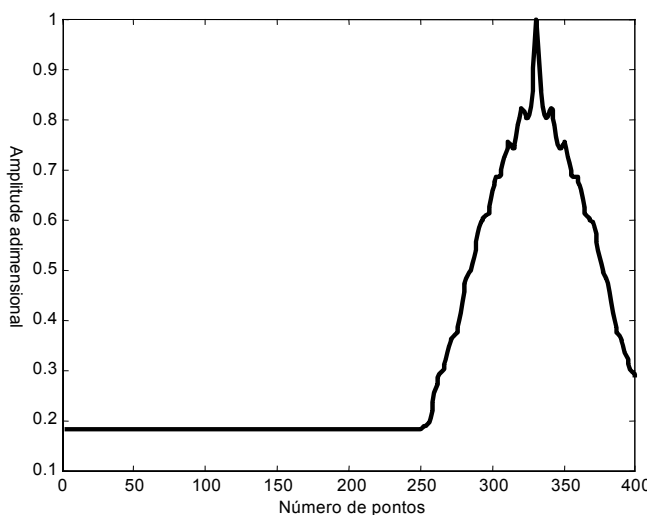


Figura 7. Vetor selecionado - Caso A.

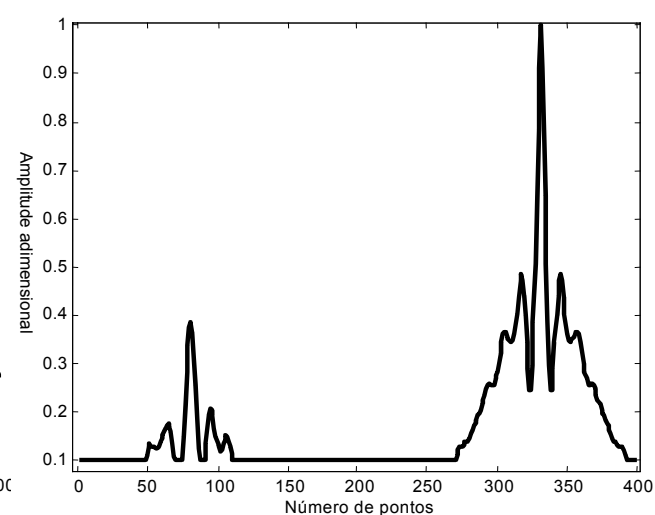


Figura 8. Vetor selecionado - Caso D.

Sendo a autocorrelação do sinal uma função simétrica em relação ao pico central, como pode ser observado nas Fig. (5) e (6), a análise pode ser realizada em apenas um dos lados. Como foi selecionado um período de duas rotações da coroa antes de se fazer a autocorrelação, o pico próximo ao ponto 600 representa o início da segunda rotação, ou seja, uma alta correlação em relação a primeira rotação. Através do aumento de energia nos picos menores é que se pode constatar a presença de um forte transiente no sinal original, sendo neste caso o dente defeituoso.

4.2. Redes Neurais Artificiais

Objetivando obter um banco de sinais com dados suficientes para se treinar e testar a rede foram montadas quatro matrizes, uma para cada um dos casos A ao D, sendo cada uma destas matrizes composta por 10 colunas e cada uma destas colunas formada por um vetor já devidamente pré-processado. A dimensão de cada matriz é portanto de 10 x 400. Montou-se então uma nova matriz composta de 10 vetores, destinada ao treinamento da rede. Foram utilizados na montagem desta matriz, 5 vetores do caso A e 5 vetores do caso D intercalados. Considerando-se como sendo P a matriz de dados de entrada para a RN e T a matriz de dados de saída (vetores desejados ou alvos)

representando a existência ou não de falha no sinal. Podemos então montar as equações abaixo onde esta demonstrada a organização do banco de dados utilizado no treinamento.

$$P = [\{\text{Caso A}\}_{400 \times 1} \{\text{Caso B}\}_{400 \times 1} \{\text{Caso A}\}_{400 \times 1} \dots]_{400 \times 10} \quad (12)$$

$$T = [\{0\} \{1\} \{0\} \dots]_{1 \times 10} \quad (13)$$

Apesar da camada de entrada na RN conter 400 elementos em paralelo por onde entram os vetores da matriz P , esta camada não efetua operação matemática, ou seja, não contém funções de ativação. A camada de saída da RN é composta por apenas 1 neurônio, onde foi definido sendo a saída igual a $\{0\}$ para o caso da entrada de um sinal que não apresenta defeito (caso A) e igual a $\{1\}$ para o caso de um sinal com defeito (caso D). O erro admitido no treinamento da rede foi obtido após 75 interações, um resultado que pode ser considerado rápido para as grandes dimensões dos vetores de entrada usados neste treinamento. A arquitetura básica da rede e valores dos parâmetros de treinamento utilizados na sua implementação foram:

- tipo da rede: back-propagation
- taxa de aprendizado: 0.05
- erro total admissível: 0.000001
- configuração das camadas: 40x60x10x5x1
- função de ativação das camadas ocultas: tangente-sigmoidal
- função de ativação da camada de saída: linear
- método de otimização: método do gradiente conjugado escalado

Após o treinamento montou-se uma nova matriz com 30 colunas. Utilizou-se para isso os 5 vetores do caso A e 5 do caso D que não haviam sido usados no treinamento, utilizou-se ainda 10 vetores representando o caso B e 10 representado o caso C. Esta nova matriz foi utilizada no teste da rede buscando determinar a sua eficiência tanto em classificar os tipos de sinais para que foi treinada quanto na sua capacidade de fazer generalizações e classificar tipos de sinais para que não foi treinada. Obteve-se o resultado mostrado na figura abaixo.

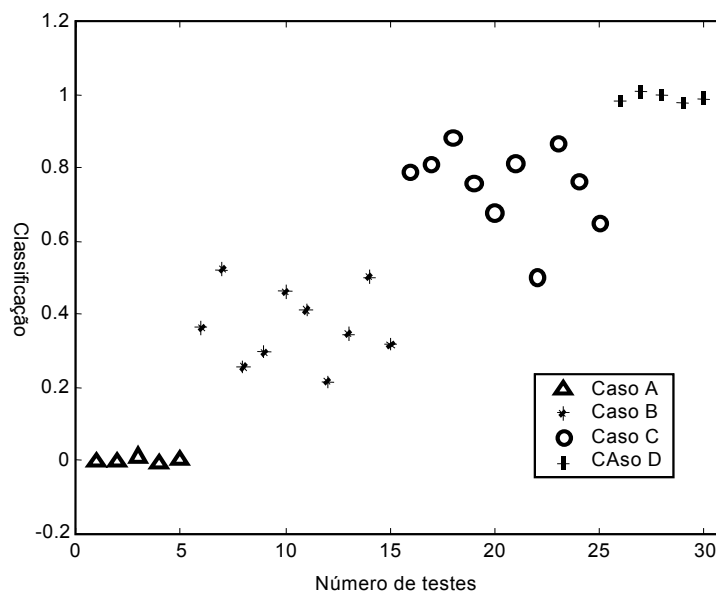


Figura 9. Classificação efetuada pela RN.

Observando a figura acima pode-se concluir que a RN funcionou satisfatoriamente. Os cinco primeiros pontos na figura acima representam o caso A, observe que ela classificou de forma

aceitável esta situação. Nos pontos de 6 a 15 a entrada era formada pelo caso B, sendo esta uma situação intermediária (perda de 5%) entre os casos A (perda de 0%) e D (perda de 10%), o resultado foi aceitável estando numa região próxima ao meio do intervalo de classificação. A classificação dos pontos 16 a 25 representam respostas a vetores de entrada formados pelo caso C, sendo esta também bastante satisfatória por se encontrar no intervalo entre os casos B e D. Por fim, os pontos de 26 a 30 foram classificados tão bem quanto os cinco primeiros.

5. CONCLUSÃO

Apesar do modelo dinâmico considerado ser bastante simples, ele mostra ser adequado para o estudo em questão. O método de geração do defeito pontual apresentado neste trabalho, não somou simplesmente um sinal tipo impulso ao sinal original mas alterou características das entradas já existentes, valendo-se de uma forma mais realística para a geração desse defeito.

O método utilizado na classificação da falha obteve resultados bastante bons, identificando claramente tanto o seu surgimento quanto a sua evolução.

A RN funcionou satisfatoriamente quando testada a sua capacidade de generalização, já que ela obteve uma classificação média no valor de 0.36 para o caso de perda de 5% de rigidez e 0.76 para o caso de perda de 7%. Deve-se ressaltar que apesar das classificações obtidas estarem contidas em largas faixas de valores, na média geral a RN conseguiu identificar com bastante clareza a evolução da falha para situações em que ela não havia sido treinada para reconhecer.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à agência Capes pela bolsa de pesquisa que possibilitou o presente estudo.

7. REFERÊNCIAS

- Amabili, M. and Rivola, A. 1997. "Dynamic analysis of spur gear pairs: steady-state response and stability of the sdof model with time-varying meshing damping". *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 11(3). pp. 375-390.
- Blankenship, G.W. and Singh, R. 1992. "A comparative study of selected gear mesh force interface dynamic Models". *Power Transmission and Gearing Conference Phoenix – ASME*. DE 43-1. pp. 137-146.
- Brennan, M.J., Chen, M.H. and Reynolds, A.G. 1997. "Use of vibration measurements to detect local tooth defects in gears". *Sound and Vibration*. November. pp. 12-17.
- Choy, F.K., Polyshchuk, V., Zakrajsek, J.J., Handschuh, R.F. and Townsend, D.P. 1996. "Analysis of the effects of surface pitting and wear on the vibration of a gear transmission system". *Tribology International*. Vol. 29 (1). pp. 77-83.
- Dellomo, M.R. 1999. "Helicopter gearbox fault detection: um neural network based approach". *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 121. pp. 265-272.
- Demuth, H. & Beale, M. 2000. *Neural Network Toolbox: For Use with MATLAB*. The Math Works.
- Huang, K.J. and Liu, T.S. 2000. "Dynamic analysis of a spur gear by the dynamic stiffness method". *Journal of Sound and Vibration*. Vol.234(2). pp. 311-329.
- Lee, S-K. and White, P.R. 1997. "Fault identification for rotating machinery using adaptive signal processing and time-Frequency Analysis". *Proceedings of Design Engineering Technical Conference*. VIB-4236.
- Özgülven, H.N. and Yalçintas, M. 1991. "Effect of operating speed in diagnosis of gear faults". *Modal Analysis, Modeling, Diagnostics and Control – ASME*. Vol. 38. pp 169-173.
- Özgülven, H.N. and Houser, D.M. 1988. "Mathematical models used in gear dynamics". *Journal of Sound and Vibration*. Vol.121. pp 383-411.

- Parker, R.G., Vijayakar, S.M. and Imajo, T. 2000. "Non-linear dynamic response of a spur gear pair: modelling and experimental comparisons". Journal of Sound and Vibration. Vol.237(3). pp. 435-455.
- Paya, B.A., Esat, I.I. and Badi, M.N.M. 1997. "Artificial neural network based fault diagnostic of rotating machinery using wavelet transforms as a preprocessor". Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 11(5). pp.751-765.
- Perret-Liaudet, J. 1996. "An original method for computing the response of a parametrically excited forced system". Journal of Sound and Vibration. Vol.196(2). pp. 165-177.
- Sung, C.K., Tai, H.M. and Chen, C.W. 2000. "Locating defects of gear system by the technique of wavelet transform". Mechanism and Machine Theory. Vol. 35. pp. 1169-1182.
- Theodossiades, S. and Natsiavas, S. 2000. "Non-linear dynamics of gear-pair systems with periodic stiffness and backlash". Journal of Sound and Vibration. Vol.229(2). pp. 287-310.

DYNAMIC SIMULATION OF A GEAR-PAIR AND APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK IN THE AUTOMATIC FAULT DIAGNOSTIC

Antonio Eduardo Rodrigues de Mendonça

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica. Av. Brasil Centro 56, Ilha Solteira, SP, Brasil. CEP 15385-000.
e-mail: aerm@dem.feis.unesp.br

Adyles Arato Junior

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica. Av. Brasil Centro 56, Ilha Solteira, SP, Brasil. CEP 15385-000.
e-mail: adyles@dem.feis.unesp.br

***Abstract.** This work presents a methodology to automate the diagnostics of some faults in gear systems through the technique of neural networks, using as input data in the net characteristics extracted of the vibration sign. The analyzed signs were generated by dynamic simulator that reproduces the response to excitations of several vibration sources due to normal operation and with fault in the teeth of the gear-pair. In the proposed mechanical model, a single degree of freedom model of a pair spur gears with low contact ratio was considered. The meshing stiffness and the gear error are adopted as being time-varying functions. Using the signs with and without defect it was possible to set up an automatic system to evaluate the integrity of the gear-pair by the training of a neural network. In conclusion, the considered dynamic model was appropriate for simulation of the signs and the techniques used in fault identification they were efficient.*

***keywords:** Geared System, Fault Detection, Neural Network*