

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

---

**HOÀNG NGỌC THIÊN VŨ**

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG  
WAVELET PACKET TRONG CHẨN ĐOÁN  
HƯ HỎNG TRUYỀN ĐỘNG BÁNH RĂNG**

**Chuyên ngành : Công nghệ chế tạo máy  
Mã số : 60.52.04**

**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Đà Nẵng - Năm 2011**

Công trình được hoàn thành tại  
**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

Người hướng dẫn khoa học: **TS. LÊ CUNG**

Phản biện 1: **TS. ĐÌNH MINH DIỆM**

Phản biện 2: **PGS.TS. PHẠM PHÚ LÝ**

Luận văn được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn thạc sĩ kỹ thuật tại Đại học Đà Nẵng vào ngày..... tháng..... năm 2011

*\* Có thể tìm hiểu luận văn tại:*

- Trung tâm Thông tin - Học liệu, Đại học Đà Nẵng
- Trung tâm Học liệu, Đại học Đà Nẵng.

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Trong các cơ cấu truyền động cơ khí, hộp giảm tốc là một bộ phận không thể thiếu. Hộp giảm tốc thường được cấu tạo từ nhiều bộ truyền bánh răng ăn khớp với nhau nhằm thay đổi tỉ số truyền giữa trục ra và trục vào. Trong quá trình làm việc, trong truyền động bánh răng thường xảy ra các dạng hư hỏng: tróc rỗ bề mặt răng, mẻ răng, mài mòn, khe hở quá lớn khi ăn khớp... và nghiêm trọng hơn là gãy răng.

Tín hiệu dao động sinh ra từ hộp giảm tốc có bánh răng bị khuyết tật rất phức tạp, bao gồm tần số điều biến đặc trưng cho khuyết tật trên bánh răng và các thành phần tần số khác do sự quay của ổ lăn, trục, tác động của nhiễu. Do đó, các phương pháp xử lý tín hiệu dao động thông dụng nhiều khi không cho phép nhận dạng chính xác hư hỏng trong truyền động bánh răng.

Chính vì vậy việc “*Nghiên cứu ứng dụng wavelet packet trong chẩn đoán hư hỏng truyền động bánh răng*”, nghiên cứu xây dựng thuật toán và mô đun phần mềm xử lý tín hiệu bằng phương pháp wavelet, wavelet packet, xây dựng mô hình thực nghiệm thu nhận và xử lý tín hiệu là một vấn đề cần quan tâm giải quyết. Đây cũng chính là nội dung để tôi chọn làm đề tài luận văn tốt nghiệp cao học.

### 2. Mục đích của đề tài

- Nghiên cứu ứng dụng phương pháp wavelet, wavelet packet trong chẩn đoán hư hỏng truyền động bánh răng.
- Xây dựng mô đun phần mềm xử lý tín hiệu dao động.
- Xây dựng mô hình thực nghiệm thu nhận tín hiệu dao động phát ra từ hư hỏng trong truyền động bánh răng, phân tích tín hiệu nhận được nhằm chẩn đoán hư hỏng.

### 3. Phạm vi nghiên cứu

Đề tài chỉ giới hạn ở một số dạng hỏng cơ bản như tróc rỗ bề mặt làm việc, gãy răng, mòn răng... trong truyền động bánh răng.

### 4. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết về các dạng hỏng cơ bản trong truyền động bánh răng, về cơ sở lý thuyết, thuật toán lập trình, phạm vi ứng dụng, ưu nhược điểm của các phương pháp sử dụng trong chẩn đoán hư hỏng, đặc biệt là phương pháp wavelet, wavelet packet, từ đó xây dựng mô đun phần mềm sử dụng phương pháp wavelet nhằm chẩn đoán hư hỏng.

- Nghiên cứu thực nghiệm thông qua việc thu nhận và xử lý tín hiệu dao động thu được từ một hệ truyền động cơ khí.

### 5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ứng dụng vào việc chẩn đoán các hư hỏng của bộ truyền bánh răng sử dụng trong thiết bị cơ khí, góp phần vào công tác bảo dưỡng dự phòng thiết bị, nhất là các thiết bị cơ khí sử dụng trong dây chuyền sản xuất tự động.

### 6. Dự kiến kết quả đạt được

- Tổng quan về phương pháp và kỹ thuật chẩn đoán hư hỏng trong truyền động bánh răng, các dạng hỏng trong truyền động bánh răng và dấu hiệu nhận dạng.
- Thuật toán và mô đun phần mềm xử lý tín hiệu dao động sử dụng phương pháp wavelet, wavelet packet.
- Mô hình thí nghiệm thu nhận tín hiệu dao động sinh ra từ các hư hỏng trong truyền động bánh răng.

### 7. Cấu trúc luận văn

Ngoài phần mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo luận văn được chia thành ba chương như sau :

Chương 1. KỸ THUẬT CHẨN ĐOÁN HƯ HỎNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TÍN HIỆU DAO ĐỘNG

Chương 2. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP WAVELET TRONG PHÂN TÍCH TÍN HIỆU DAO ĐỘNG

Chương 3. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM THU NHẬN TÍN HIỆU DAO ĐỘNG VÀ CHẨN ĐOÁN HƯ HỎNG

## Chương 1. KỸ THUẬT CHẨN ĐOÁN HƯ HỎNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TÍN HIỆU DAO ĐỘNG

### 1.1. Tổng quan về truyền động bánh răng và các dạng hư hỏng chủ yếu trong truyền động bánh răng

#### 1.1.1. Giới thiệu về truyền động bánh răng

#### 1.1.2. Phân loại truyền động bánh răng

### 1.2. Các dạng hư hỏng chủ yếu trong truyền động bánh răng

#### 1.2.1. Tróc rỗ bề mặt răng

#### 1.2.2. Gãy răng

#### 1.2.3. Mòn răng

#### 1.2.4. Dính răng

#### 1.2.5. Biến dạng răng

### 1.3. Tổng quan về các phương pháp và kỹ thuật chẩn đoán hư hỏng bằng phân tích dao động

#### 1.3.1 Phương pháp Kurtosis

#### 1.3.2. Phương pháp phân tích phổ

#### 1.3.3. Phương pháp phân tích hình bao

#### 1.3.4. Phương pháp wavelet

### 1.4. Dấu hiệu nhận dạng các hư hỏng bằng phương pháp phân tích dao động

#### 1.4.1. Tín hiệu dao động sinh ra từ truyền động bánh răng

Tín hiệu dao động của hộp số trong thực tế rất phức tạp bao gồm nhiều dao động thành phần như: bánh răng, ổ lăn, trục quay... Do đó, cấu trúc phổ của tín hiệu dao động từ hộp số cũng sẽ xuất hiện các thành phần tần số ăn khớp giữa các răng, các thành phần tần số sinh ra từ ổ lăn, tần số trục quay như là các hài điều hòa.

Tín hiệu dao động sinh ra bởi bánh răng có khuyết tật là tín hiệu điều biến kết hợp,  $x_{\text{gear}}(t)$ , được cho bởi:

$$x_{\text{gear}}(t) = \sum_{i=0}^I X_i \cdot (1 + a_i(t)) \times \cos(2\pi i N f_{\text{rot}} t + \phi_i + p_i(t)) \quad (1.12)$$

$$= \sum_{i=0}^I X_i \cdot (1 + \sum_{j=0}^J A_{ij} \cdot \cos(2\pi j f_{\text{rot}} t + \alpha_{ij})) \times \cos(2\pi i N f_{\text{rot}} t + \phi_i + \sum_{j=0}^J B_{ij} \cdot \cos(2\pi j f_{\text{rot}} t + \beta_{ij}))$$

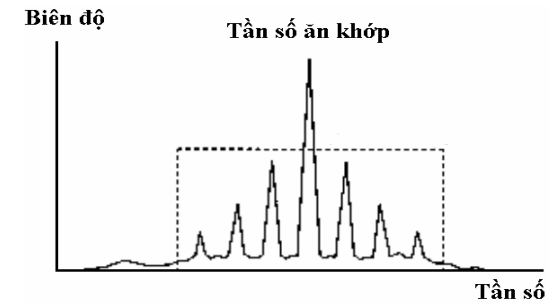
#### 1.4.2. Các đặc trưng động học của truyền động bánh răng

Bộ truyền bánh răng tạo nên một thành phần tần số liên quan đến sự ăn khớp  $F_e$  của bộ truyền:  $F_e = Z_1 f_1 = Z_2 f_2$  (1.13)

Với:  $f_1$ : tần số quay của trục dẫn 1,  $f_2$ : tần số quay của trục bị dẫn 2.

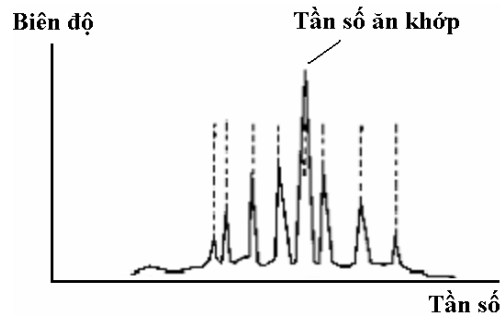
#### 1.4.3. Một vài dạng hư hỏng phân tích tần số (FFT)

*Bộ truyền bánh răng bình thường:* Mỗi dải bên cách nhau một khoảng cách bằng tần số quay  $f_1$  trục vào và đối xứng qua tần số ăn khớp  $F_e$ . Số dải bên luôn là số chẵn và biên độ của mỗi cặp dải bên bằng nhau (Hình 1.17).

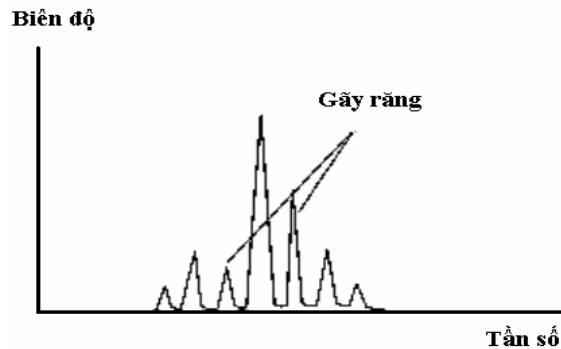


Hình 1.17: Phổ của bánh răng bình thường (đối xứng)

*Bộ truyền bị mài mòn quá mức:* Khoảng cách giữa các dải bên là tần số quay và không còn cách đều nhau một khoảng bằng tần số quay của trục vào nữa. Khoảng cách các dải bên trong bộ truyền trục vít bị mài mòn quá mức nằm giữa tần số quay của trục dẫn và trục bị dẫn, các dải bên không cách đều nhau (Hình 1.19).



Hình 1.19: Khe hở mặt bên quá mức hay biên dạng bị mòn làm thay đổi khoảng cách dải bên



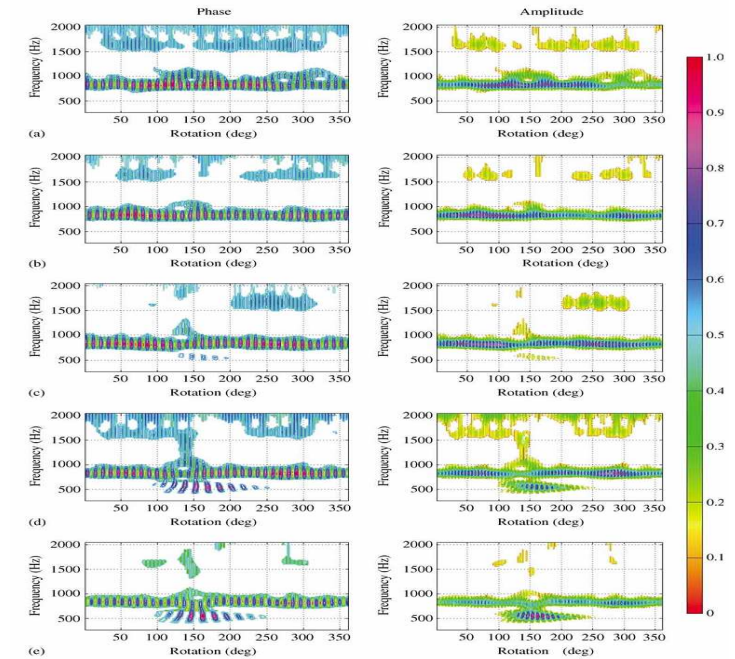
Hình 1.21: Một răng bị gãy sẽ gây nên phổ có dải bên không đối xứng  
Bánh răng có vết nứt hay gãy răng: Phổ của một bộ truyền bánh răng có một răng bị gãy được trình bày trên Hình 1.21. Dải bên bên phải của tần số ăn khớp có biên độ cao hơn nhiều. Do đó, các dải bên ghép cặp có biên độ không đối xứng.

**Khoảng cách trục có sai lệch:** Cùng với độ mòn của răng bánh răng, sự biến thiên của khoảng cách giữa các trục tạo nên khoảng cách và biên độ tán mạn trong phổ tần số. Nếu các trục quá gần nhau, khoảng cách các dải bên có xu hướng tiến về tốc độ trục vào, nhưng biên độ giảm rõ rệt.

#### 1.4.4. Một vài dấu hiệu nhận dạng hư hỏng bằng phân tích wavelet

Hình 1.23 minh họa biến đổi wavelet của tín hiệu rung động trên cơ sở pha và biên độ của wavelet. Cả biểu đồ pha và biên độ wavelet trong hình

1.23 d và hình 1.23 e đều cho thấy rõ ràng sự xuất hiện những trạng thái hư hỏng sớm của hộp giảm tốc.



Hình 1.23: Biến đổi wavelet cho tín hiệu rung động trường hợp gãy răng.  
(a) không có hư hỏng; (b) 10% gãy răng; (c) 20% gãy răng;  
(d) 30% gãy răng; (e) 40% gãy răng.

### 1.5. Hệ thống phân tích phục vụ chẩn đoán hư hỏng

Phần tử cơ bản của hệ thống chẩn đoán hư hỏng bao gồm:

Thiết bị trong dây chuyền sản xuất, các đầu đo tín hiệu, bộ phận thu nhận và xử lý tín hiệu, bộ phận phân tích tín hiệu, bộ phận theo dõi và chẩn đoán tình trạng thiết bị.

### 1.6. Một số thiết bị cảm tay sử dụng trong chẩn đoán hư hỏng máy móc

### 1.7. Tổng quan về các nghiên cứu trong và ngoài nước về chẩn đoán hư hỏng truyền động bánh răng.

Phân tích rung động đã được sử dụng rộng rãi trong chẩn đoán thiết bị nhằm theo dõi tình trạng máy móc, phát hiện và chẩn đoán hư hỏng truyền

động bánh răng như phân tích phổ, phân tích phổ loga (cepstrum), sử dụng trung bình thời gian của tín hiệu dao động, phân tích giải điều biến,... Trong thời gian gần đây, việc ứng dụng phương pháp phân tích wavelet được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm, đặc biệt phương pháp này tỏ ra hiệu quả đối với các tín hiệu dao động mà tần số thay đổi theo thời gian, các tín hiệu không dừng.

### 1.8. Nhận xét và kết luận

Chương này trình bày tổng quan về các vấn đề cơ bản về các dạng hỏng cơ bản trong truyền động bánh răng, tổng quan về các phương pháp chẩn đoán hư hỏng như phương pháp Kurtosis, phương pháp phân tích tần số (FFT), phương pháp phát hiện hình bao (giải điều biến biên độ), phương pháp phân tích wavelet,... cũng như một số dấu hiệu tiêu biểu nhận dạng hư hỏng tróc rỗ, mòn răng, gãy răng... bằng phương pháp phân tích tần số (FFT), dạng hỏng gãy răng bằng phương pháp phân tích wavelet. Đồng thời cũng trình bày một số hệ thống và thiết bị sử dụng trong chẩn đoán hư hỏng.

Tuy nhiên, trong truyền động bánh răng tín hiệu dao động thu được rất phức tạp, cần tiếp tục nghiên cứu. Phép biến đổi wavelet thực sự rất thích hợp để phân tích các tín hiệu phức tạp trong việc phát hiện sớm hư hỏng bánh răng.

## Chương 2. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP WAVELET TRONG PHÂN TÍCH TÍN HIỆU DAO ĐỘNG

### 2.1. Phép biến đổi Fourier

#### 2.1.1. Cơ sở toán học của phép biến đổi Fourier

Xét một tín hiệu liên tục không tuần hoàn  $x(t)$ , ta có thể coi  $x(t)$  như một tín hiệu tuần hoàn có chu kỳ  $T \rightarrow \infty$  (hay  $\omega_0 \rightarrow 0$ ), khi đó  $x(t)$  có thể được biểu diễn bởi chuỗi  $x(t)$  như sau:

$$x(t) = \lim_{\omega_0 \rightarrow 0} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{jk\omega_0 t} \quad (2.1)$$

$$\text{Trong đó: } C_k = \lim_{\omega_0 \rightarrow 0} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (2.2)$$

Và công thức biến đổi Fourier nghịch:

$$x(t) = f^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.6)$$

#### 2.1.2. Hạn chế đặc trưng của FT

Phép biến đổi FFT được sử dụng khi chỉ quan tâm đến thành phần tần số xuất hiện trong tín hiệu, chứ không quan tâm đến thời điểm xuất hiện tần số đó.

### 2.2. Phép biến đổi wavelet

#### 2.2.1. Mối quan hệ giữa biến đổi wavelet và Fourier

Để khắc phục những hạn chế của biến đổi FT, phép biến đổi Fourier thời gian ngắn – STFT được đề xuất.

Trên cơ sở cách tiếp cận biến đổi STFT, biến đổi Wavelet được phát triển để giải quyết vấn đề về độ phân giải tín hiệu (miền thời gian hoặc tần số) mà STFT vẫn còn hạn chế.

#### 2.2.2. Cơ sở toán học của phép biến đổi wavelet

##### 2.2.2.1. Biến đổi wavelet liên tục

Phép biến đổi wavelet liên tục (Continuous Wavelet Transform - CWT) của một hàm  $x(t)$  dựa trên hàm cơ sở wavelet mẹ  $\psi(t)$

Sau khi đã chọn hàm wavelet  $\psi(t)$ , biến đổi wavelet liên tục của hàm  $x(t)$  là một hàm với hai biến số thực  $s$  và  $\tau$  được cho như sau:

$$W(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi^* \left( \frac{t - \tau}{s} \right) dt \quad (2.25)$$

Trong đó ký hiệu  $\psi^*(t)$  dùng để chỉ là liên hợp phức của  $\psi(t)$ .

Biểu thức (2.25) là tích vô hướng của hai hàm  $x(t)$  và  $\psi_{s,\tau}(t)$ .

Với mỗi giá trị của  $s$ ,  $\psi_{s,\tau}(t)$  có thể xem là bản sao của  $\psi_{s,0}(t)$  được dịch đi  $\tau$  đơn vị trên trục thời gian. Do đó,  $\tau$  được gọi là tham số dịch chuyển.

Khi  $\tau = 0$ , ta có:

$$\psi_{s,0} = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \cdot \psi\left(\frac{t}{s}\right) \quad (2.29)$$

Khi  $s > 1$  thì hàm wavelet sẽ giãn ra, còn khi  $0 < s < 1$  thì hàm wavelet sẽ co lại. Do đó,  $s$  còn được gọi là tham số tỷ lệ.

#### 2.2.2.2. Phép biến đổi wavelet rời rạc.

Để giảm thiểu công việc tính toán người ta chỉ chọn ra một tập nhỏ các giá trị tỷ lệ và các vị trí để tiến hành tính toán. Hơn nữa nếu việc tính toán được tiến hành tại các tỷ lệ và các vị trí trên cơ sở lũy thừa của cơ số 2 theo hướng tiếp cận phép phân tích đa phân giải thì kết quả thu được sẽ chính xác và hiệu quả hơn nhiều. Quá trình chọn các tỷ lệ và các vị trí như trên để tính toán tạo thành một lưới nhị tố.

Do đó, người ta sử dụng phép biến đổi wavelet rời rạc (Discret Wavelet Transform - DWT). Việc tính toán DWT thực chất là sự rời rạc hóa phép biến đổi wavelet liên tục được thực hiện với sự lựa chọn các tham số  $s$  và  $\tau$  như sau:

$$s = 2^i; \tau = 2^j \cdot j \quad (i, j \in \mathbb{Z}) \quad (2.35)$$

Khi đó các hàm cơ sở trực chuẩn wavelet:  $\psi_{i,j}(t) = 2^{-i/2} \cdot \psi(2^{-i}t - j)$

#### 2.2.2.3. Giới thiệu một số họ wavelet

Các dạng của hàm  $\psi(t)$  được sử dụng: Hàm Wavelet Haar, hàm Wavelet Meyer, hàm Wavelet Daubechies, hàm Wavelet Morlet.

- Biến đổi Wavelet Haar
- Biến đổi Wavelet Meyer
- Biến đổi Wavelet Daubechies
- Biến đổi Wavelet Morlet

### 2.3. Phép biến đổi wavelet packet

Phép biến đổi wavelet packet có thể phân tách tín hiệu thành các thành phần với các dải tần số khác nhau thông qua các họ hàm wavelet packet. Một họ hàm wavelet packet  $w_{i,j}^n(t)$  được định nghĩa bởi:

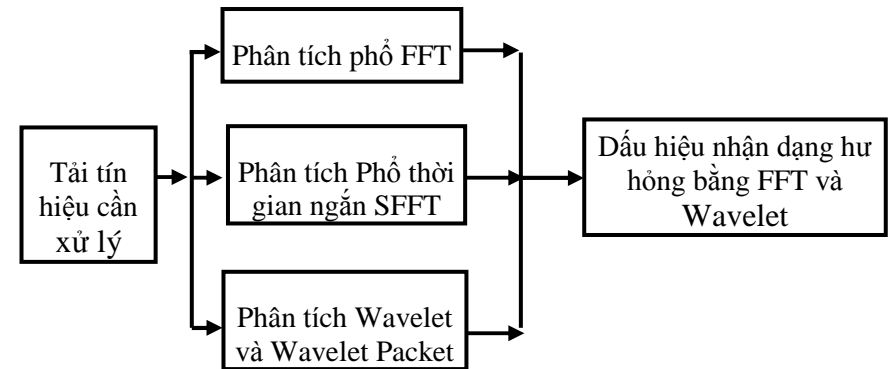
$$w_{i,j}^n(t) = 2^{i/2} \cdot w^n(2^i t - j) \quad (2.40)$$

Trong đó,  $i$  và  $j$  lần lượt là tham số tỷ lệ (định xứ tần số) và tham số dịch chuyển (định xứ thời gian);  $n = 0, 1, 2, \dots$  là tham số dao động.

Một ứng dụng quan trọng của phép biến đổi wavelet packet là khả năng phân tích tín hiệu thành các thành phần với các dải tần số khác nhau và do đó nó giàu thông tin hơn trong việc biểu diễn tín hiệu.

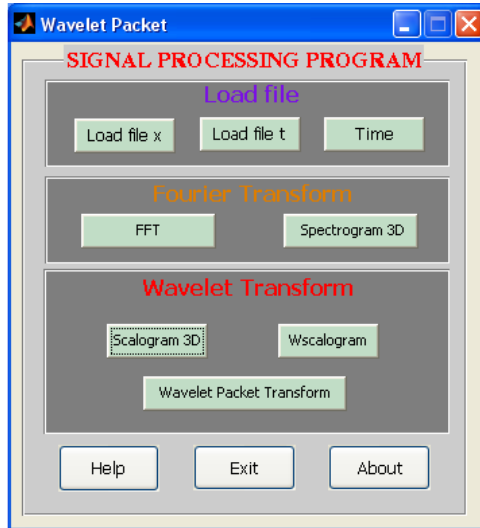
### 2.4. Xây dựng phần mềm tích tín hiệu dao động bằng phương pháp wavelet

#### 2.4.1. Sơ đồ khối chương trình xử lý và phân tích tín hiệu dao động



Hình 2.12: Sơ đồ chương trình phân tích và xử lý tín hiệu

#### 2.4.2. Mô đun phần mềm phân tích tín hiệu dao động



Hình 2.13: Giao diện của phần mềm phân tích tín hiệu dao động bằng phép biến đổi wavelet

Dựa trên cơ sở lý thuyết về các phép biến đổi wavelet trên đây, với sự trợ giúp của công cụ toán học Matlab, chúng tôi tiến hành xây dựng được phần mềm phân tích tín hiệu dao động. Phần mềm bao gồm 03 mô đun:

**Load file:** Tải file dữ liệu tín hiệu dao động như nhận được từ cảm biến -

**Fourier Transform:** Phân tích tín hiệu dao động bằng phương pháp FFT và phương pháp STFT -

**Wavelet and Wavelet Packet:** Phân tích tín hiệu dao động bằng phép biến đổi wavelet và wavelet packet.

#### 2.4.2.1. Mô đun **Load File** (Tải file):

Nút lệnh **Load File x:** Tải file biên độ - Nút **Load File t:** Tải file thời gian - Nút lệnh **Time:** Vẽ biểu đồ tín hiệu dao động  $x(t)$

#### 2.4.2.2. Mô đun **Fourier Transform** (Biến đổi Fourier):

Nút lệnh **FFT:** Fast Fourier Transform - Nút lệnh **Spectrogram 3D:** Vẽ biểu đồ 3D mật độ năng lượng phổ sau khi biến đổi STFT.

#### 2.4.2.3. Mô đun **Wavelet Transform** (Biến đổi Wavelet):

Nút lệnh **Scalogram 3D:** Biểu đồ 3D mật độ năng lượng phổ - Nút lệnh **Wscalogram:** Biểu đồ phần trăm năng lượng phổ - Nút lệnh **Wavelet Packet.**

## 2.5. Nhận xét và kết luận

Qua nghiên cứu cơ sở lý thuyết về biến đổi Fourier, phép biến đổi wavelet và wavelet packet, kết hợp với việc tìm hiểu ứng dụng công cụ toán học Matlab, chúng tôi đã xây dựng được chương trình xử lý tín hiệu.

Chương trình có những tính năng cơ bản sau đây:

- Tải file tín hiệu thu nhận được từ cảm biến
- Phân tích, xử lý tín hiệu và xây dựng được các biểu đồ phổ tần số (FFT), phổ tần số thời gian ngắn (STFT)
- Phân tích, xử lý tín hiệu và xây dựng được biểu đồ 2D mật độ năng lượng phổ tín hiệu sau khi biến đổi Wavelet, biểu đồ 3D mật độ năng lượng phổ tín hiệu sau khi biến đổi Wavelet, biểu đồ phần trăm năng lượng phổ của các hệ số Wavelet sau khi biến đổi Wavelet.

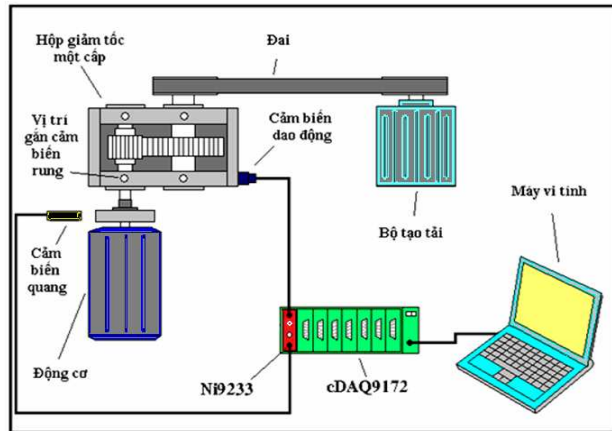
Cơ sở lý thuyết về các phép biến đổi và phần mềm xây dựng được góp một công cụ phân tích và xử lý tín hiệu dao động nhận được, từ đó phát hiện và chẩn đoán hư hỏng, tìm ra các dấu hiệu cơ bản để nhận dạng hư hỏng gãy răng, tróc rỗ bề mặt răng, mòn răng... bằng phương pháp phân tích tần số và phương pháp wavelet và wavelet packet.



### Chương 3. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM THU NHẬN TÍN HIỆU DAO ĐỘNG VÀ CHẨN ĐOÁN HƯ HỎNG

#### 3.1. Xây dựng mô hình thực nghiệm thu nhận tín hiệu dao động

##### 3.1.1. Sơ đồ chung của mô hình thực nghiệm



Hình 3.1: Sơ đồ khối mô hình thực nghiệm thu nhận tín hiệu dao động

Các phần tử cơ bản: Động cơ điện, hộp giảm tốc 1 cấp, máy phát điện, cảm biến gia tốc kế, cảm biến quang.

Bộ tiếp nhận và chuyển đổi tín hiệu cDAQ9172 và NI9233.

##### 3.1.2. Thiết bị và phần mềm thu nhận tín hiệu

###### 3.1.2.1. NI compact DAQ 9172

NI cDAQ 9172 là một khung USB 8 khe cắm, được thiết kế cho việc sử dụng các module C series. NI cDAQ 9172 có khả năng đo lường trong phạm vi rộng của các đầu vào ra analog và digital của tín hiệu và cảm biến với giao diện USB tốc độ cao 2.0.

###### 3.1.2.2. NI 9233

NI 9233 là một module 4 kênh thu tín hiệu năng động và tích hợp các điều kiện tín hiệu trong IEPE cho cảm biến gia tốc. Bốn kênh đầu vào đồng thời số hóa ở mức 2-50kHz trên mỗi kênh, và tích hợp bộ lọc khử nhiễu răng cưa tự động điều chỉnh tốc độ lấy mẫu.

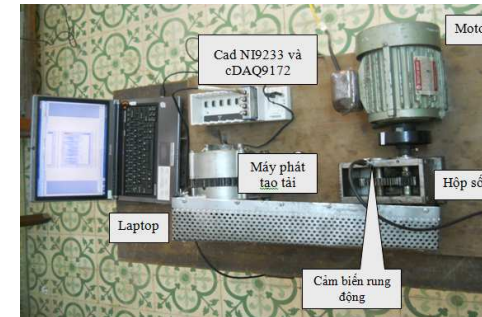
###### 3.1.2.3. Cảm biến quang

###### 3.1.2.4. Cảm biến rung động

###### 3.1.2.5. Phần mềm thu nhận tín hiệu (Labview)

Là phần mềm kèm theo của thiết bị NI cDAQ9172, giúp kết nối thiết bị và giao tiếp với máy tính, thực hiện việc lưu trữ dữ liệu thu được một cách trực quan và dễ dàng.

##### 3.1.3. Mô hình thực nghiệm xây dựng được



Hình 3.13: Mô hình thực nghiệm.

Tốc độ động cơ : 1420 (v/p)

Thông số hộp số : Bánh răng nhỏ: 17 răng. Bánh răng lớn: 43 răng. Tần số ăn khớp: 402,3Hz. Tần số trục vào: 23,7Hz. Tần số trục ra: 9,4Hz

#### 3.2. Phương pháp thu nhận tín hiệu

Sau khi gắn cảm biến gia tốc với NI 9233, sử dụng phần mềm Labview signal express để thu tín hiệu.

Trình tự tiến hành như sau:

**Add step** (Tạo bước) ⇒ Chọn **Acquire Signal** trong hộp thoại **Add Step** ⇒ Nhấp **DAQmx Acquire** ⇒ Chọn **Analog Input** ⇒ Chọn **Acceleration** (để thu tín hiệu dao động) ⇒ Chọn kênh tương ứng (hộp thoại **Add Channels to Task**) ⇒ Thiết lập thông số theo yêu cầu tín hiệu thu được ⇒ Chọn nút **Run**, chọn nút **Recorrd** (để lưu trữ) ⇒ Chọn nút **Stop** để dừng việc thu tín hiệu.

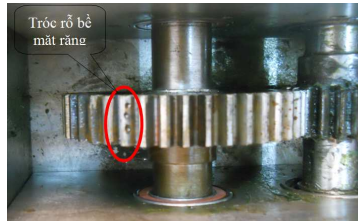
#### 3.3. Mô phỏng các dạng hỏng trên cặp bánh răng



Nhằm nghiên cứu thực nghiệm các dạng hỏng cơ bản trong truyền động bánh răng trên hộp giảm tốc bánh răng, chúng tôi tiến hành tạo ba dạng hỏng cơ bản trong truyền động bánh răng: gãy răng, tróc rỗ bề mặt răng và mòn răng.

### 3.3.1 Mô phỏng dạng hỏng tróc rỗ bề mặt răng

Tiến hành tạo vết tróc rỗ trên bề mặt răng bằng cách nung nóng răng, sau đó dùng mũi đột tạo các vết lõm trên bề mặt răng của bánh răng bị dẫn. Kích thước vết lõm có đường kính lớn nhất bằng 1,5mm.



Hình 316: Bánh răng bị tróc rỗ bề mặt



Hình 316: Bánh răng bị gãy 20%

### 3.3.2. Mô phỏng dạng hỏng gãy răng

Để tạo các bánh răng có dạng hư hỏng gãy răng, ta cố định bánh răng chưa hỏng bằng ê-tô, sau đó sử dụng máy mài cầm tay mài mòn một răng: mức độ gãy răng được mô phỏng là 20% và 40%

### 3.3.3. Mô phỏng dạng hỏng mòn răng

Để tạo bánh răng có dạng hư hỏng mòn răng, ta cũng tiến hành tương tự như tạo bánh răng bị gãy, nhưng khi mài thì mài đều tất cả các bề mặt của các răng ở vùng đỉnh răng và ở vùng chân răng (răng chủ yếu bị mòn ở phần đỉnh và phần chân răng)

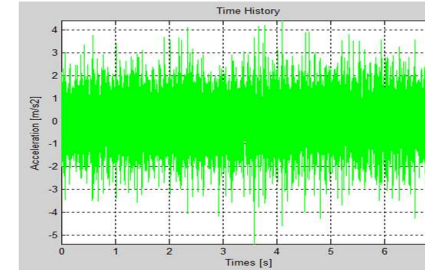


Hình 318: Bánh răng bị mòn bề mặt

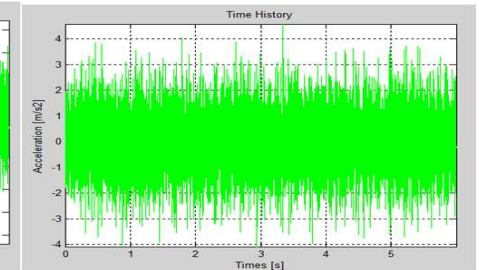
## 3.4. Bố trí cảm biến gia tốc kế và thu nhận tín hiệu dao động

## 3.5. Xử lý tín hiệu thực nghiệm và kết quả chẩn đoán

### 3.5.1. Xử lý tín hiệu thực nghiệm và dấu hiệu nhận dạng hư hỏng gãy răng



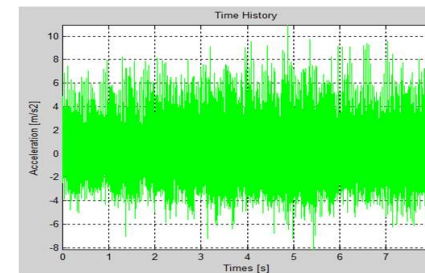
Hình 3.25: Tín hiệu dao động  $x(t)$  của bánh răng bình thường



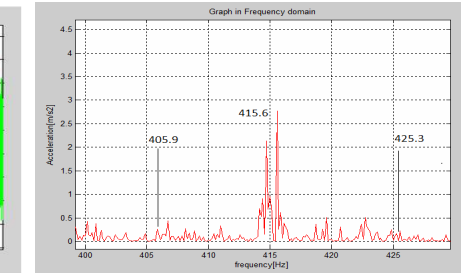
Hình 3.26: Tín hiệu dao động  $x(t)$  của răng bị gãy 20%

Đồ thị tín hiệu dao động theo thời gian  $x(t)$  thu được từ cảm biến gia tốc cho trường hợp bộ truyền bánh răng bình thường, chưa có hư hỏng như trên Hình 3.25. Hình 3.26 và Hình 3.27 lần lượt mô tả tín hiệu dao động trong miền thời gian  $x(t)$  cho hai trường hợp gãy răng 20% và gãy răng 40%. Có thể phát hiện được hư hỏng trong bộ truyền khi quan sát sự thay đổi của biên độ dao động tổng thể. Với bộ truyền chưa hư hỏng, biên độ dao động lớn nhất khoảng  $4,2\text{m/s}^2$ , khi răng bị gãy biên độ dao động tăng lên ứng với khi răng gãy 20% ( $4,5\text{m/s}^2$ ) và tăng lên rõ rệt khi răng gãy 40% ( $10,5\text{m/s}^2$ ).

Tuy nhiên để nhận dạng chính xác nguồn gốc hư hỏng, cần tiếp tục thực hiện các phân tích và xử lý tín hiệu dao động.



Hình 3.27: Tín hiệu rung động  $x(t)$  của răng bị gãy 40%



Hình 3.28: Phân tích Fourier của tín hiệu rung động bình thường

### 3.5.1.1. Phân tích tín hiệu dao động bằng Fourier

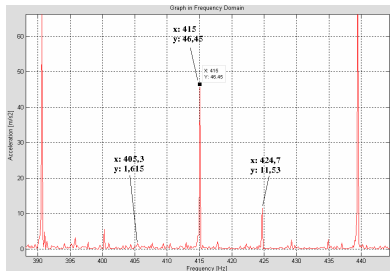
Trước hết, chúng tôi sử dụng phép biến đổi Fourier để xử lý tín hiệu dao động đã thu và nhận dạng hư hỏng trong hộp giảm tốc.

Hình 3.28 là phổ tần số của tín hiệu rung động của cặp bánh răng bình thường sau khi biến đổi Fourier. Trục hoành là tần số, đơn vị là Hz, trục tung là biên độ với đơn vị  $\text{m/s}^2$ . Sau khi đã phóng to xung quanh vùng tần số ăn khớp  $\text{GMF} = 415\text{Hz}$ , ta thấy rõ ràng một vạch phổ có biên độ lớn bằng 2,8dBg, đây là vạch năng lượng tại tần số ăn khớp là 415Hz. Trên phổ tần số Hình 3.28, ta cũng thấy các dải bên cách tần số ăn khớp một khoảng bằng tần số trục ra và có biên độ gần như là bằng nhau.

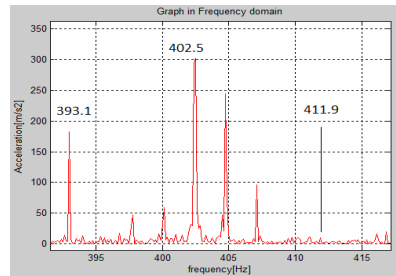
Trên (20% gãy răng), ta thấy có sự khác biệt, vạch phổ ứng với tần số ăn khớp  $\text{GMF} = 415\text{Hz}$  cũng như các dải bên có biên độ tăng lên rõ rệt (tương ứng 47dBg), đồng thời hai dải bên xung quanh tần số ăn khớp này không bằng nhau. Đây là dấu hiệu cơ bản của hiện tượng gãy răng. Trên Hình 3.29, sự chênh lệch về biên độ của các dải bên không cao lắm, đây là dạng răng mới bị gãy khoảng 20% một răng.

Tuy nhiên, trên Hình 3.30 (ứng với 40% gãy răng), biên độ của vạch phổ tại tần số ăn khớp  $\text{GMF} = 415\text{Hz}$  và biên độ của các dải bên tăng lên rất mạnh, sự chênh lệch về biên độ của các dải bên lúc này cao hơn nhiều, lúc này răng bị gãy nhiều hơn, khoảng 40%.

Như vậy, khi sử dụng phổ tần số, có thể xác định được bánh răng bị dẫn đã bị hư hỏng ở dạng gãy răng.



Hình 3.29: Phân tích Fourier của tín hiệu 20% gãy răng.



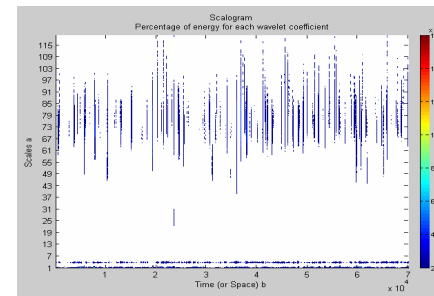
Hình 3.30: Phân tích Fourier của tín hiệu 40% gãy răng.

### 3.5.1.2. Phân tích tín hiệu rung động dùng wavelet

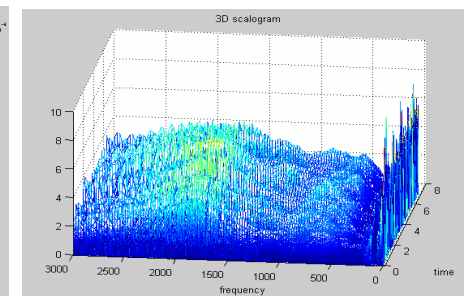
Ta thực hiện biến đổi wavelet cho tín hiệu rung động thu được trên ứng với các trường hợp bộ truyền bánh răng bình thường, có gãy răng 20% và gãy răng 40%.

Hình 3.31 mô tả biến đổi wavelet của tín hiệu dao động ứng với bộ truyền bánh răng chưa có hư hỏng. Trục hoành là trục thời gian, đơn vị là 1/10 ms. Trục tung là scale, đại lượng này quan hệ với tần số theo công thức:  $\text{scale} = 5 \cdot \text{sf} / (2 \cdot \pi \cdot \text{freq})$ . Ở đây sf là tần số lấy mẫu có giá trị 10kHz. Do đó đơn vị của scale là 1/rad. Với tần số ăn khớp của cặp bánh răng là  $\text{GMF} = 402,3\text{Hz}$ , từ công thức trên, sẽ tương ứng với mức scale là  $\text{SCALE} = 19,79$ .

Trên biểu đồ năng lượng của tín hiệu dao động đối với răng bình thường (Hình 3.31), ở vùng tần số ăn khớp chưa thấy xuất hiện năng lượng, trên biểu đồ lúc này chỉ có năng lượng ở vùng scale cao và thấp, mức năng lượng ở đây cũng thấp (hầu như màu xanh đậm).

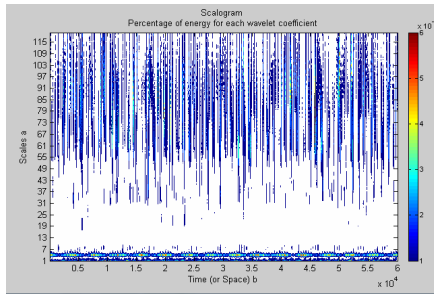


Hình 3.31: Biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu bình thường.

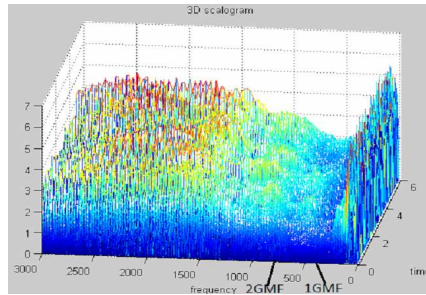


Hình 3.32: Biểu đồ độ lớn tín hiệu bình thường.

Khi có hư hỏng xảy ra, với 20% răng bị gãy, trên biểu đồ năng lượng đã có những dấu hiệu khác biệt. (Hình 3.33).



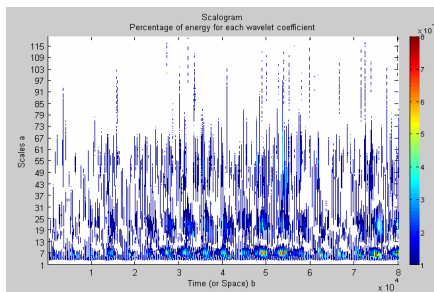
Hình 3.33: Biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu 20% gãy răng.



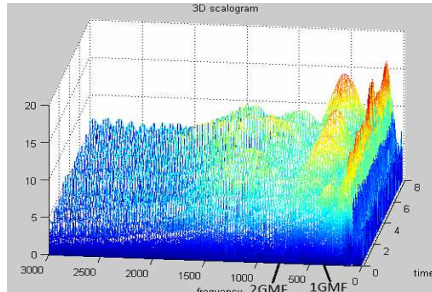
Hình 3.34: Biểu đồ độ lớn tín hiệu 20% gãy răng

Trên biểu đồ độ lớn tín hiệu dao động (Hình 3.34), ta thấy biên độ ở vùng 4\*GMF (hài bậc 4 của tần số ăn khớp) tăng lên nhiều so với bộ truyền bánh răng bình thường. Đây là những dấu hiệu cho thấy xuất hiện hiện tượng gãy răng trong bộ truyền.

Với 40% răng bị gãy, khi va đập, bánh răng sẽ tạo ra những rung động lớn hơn nhiều. Lúc này, trên biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu dao động (Hình 3.35), tại vùng tần số ăn khớp GMF, năng lượng xuất hiện nhiều, dày đặc hơn, phân bố thành cụm rời rạc. Mức scale nhỏ hơn 7 năng lượng tạo thành những cụm riêng biệt tách rời nhau. Với các màu thể hiện năng lượng tại vùng tần số ăn khớp GMF, ta thấy năng lượng ở đây là trung bình. Trên biểu đồ độ lớn tín hiệu dao động (Hình 3.36), ta thấy xung quanh tần số ăn khớp GMF và hài bậc hai 2\*GMF, biên độ lớn hơn nhiều so với trường hợp bánh răng bình thường và trường hợp gãy răng 20%.



Hình 3.30: Biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu 40% gãy răng.

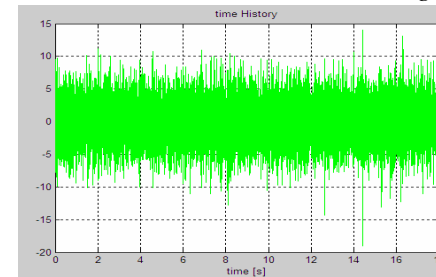


Hình 3.31: Biểu đồ độ lớn tín hiệu 40% gãy răng

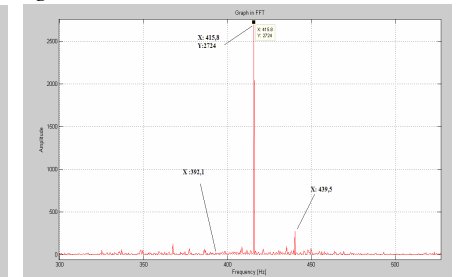
### 3.5.2. Xử lý tín hiệu thực nghiệm và dấu hiệu nhận dạng hỏng mòn răng

Đồ thị tín hiệu dao động theo thời gian  $x(t)$  thu được từ cảm biến gia tốc cho trường hợp bộ truyền bánh răng bị mòn các răng như trên Hình 3.37. Quan sát dao động tổng thể, ta cũng thấy biên độ dao động cũng biến thiên mạnh so với trường hợp bánh răng bình thường, chưa hư hỏng. Biên độ dao động trong trường hợp này khoảng  $14\text{m/s}^2$ , so với  $4,2\text{m/s}^2$  trường hợp bộ truyền bánh răng bình thường.

#### 3.5.2.1. Phân tích tín hiệu dao động bằng Fourier



Hình 3.37: Tín hiệu rung động  $x(t)$  của răng bị mòn răng



Hình 3.38: Phân tích Fourier của tín hiệu mòn răng

Trên phổ tần số của tín hiệu dao động trong trường hợp răng bị mòn (Hình 3.38), ta cũng nhận thấy rõ biên độ tại tần số ăn khớp lớn hơn nhiều so với trường hợp bộ truyền bánh răng bình thường (2,8dGb). Các dải bên tần mạn hơn, không cách đều nhau, và không đối xứng qua tần số ăn khớp. Đây là dấu hiệu của hư hỏng mòn răng.

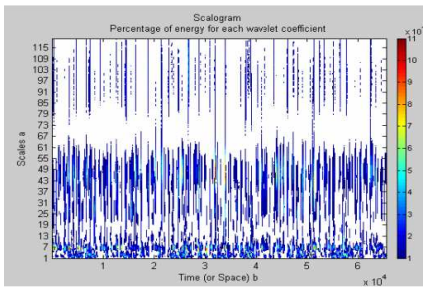
#### 3.5.2.2. Phân tích tín hiệu rung động dùng wavelet

Trường hợp bánh răng bị mòn, biểu đồ năng lượng có những dấu hiệu khác biệt so với trường hợp bánh răng bình thường. Mức năng lượng tại vùng scale thấp lúc này phân bố thành nhiều cụm nhỏ (tuy nhiên sự phân cụm rời rạc và tần mạn hơn so với trường hợp tróc rỗ (hình 3.42).

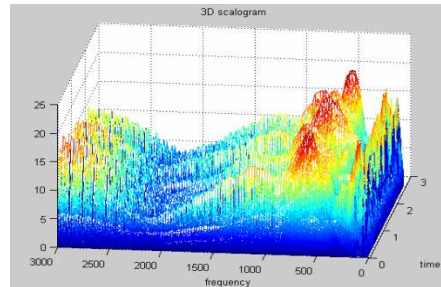
Mức độ năng lượng tập trung tại mỗi cụm cũng tương đối cao. Tại vùng scale cao, mật độ năng lượng cũng dày hơn (Hình 3.39). Xung quanh vùng 2\*GMF (hài bậc hai của tần số ăn khớp), mức năng



lượng cao hơn và dày đặc hơn so với trường hợp bộ truyền bình thường, tróc rỗ, gãy răng.



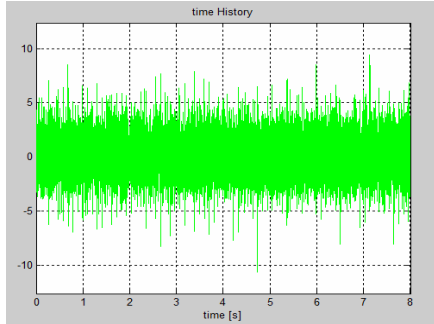
Hình 3.39: Biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu mòn răng.



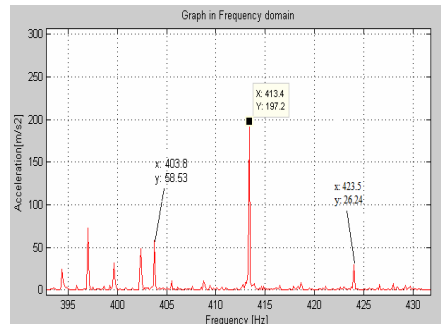
Hình 3.40: Biểu đồ độ lớn tín hiệu mòn răng

### 3.5.3. Xử lý tín hiệu thực nghiệm và dấu hiệu nhận dạng hỏng tróc rỗ bề mặt răng

#### 3.5.3.1. Phân tích tín hiệu dao động bằng Fourier



Hình 3.41: Tín hiệu rung động  $x(t)$  của răng bị tróc rỗ



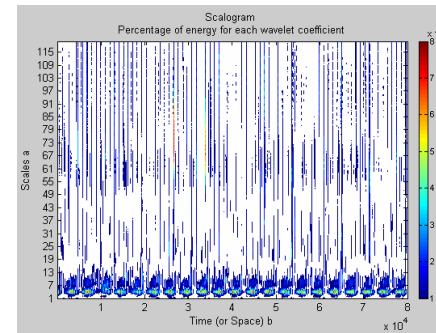
Hình 3.42: Phân tích Fourier của tín hiệu tróc rỗ răng.

Hình 3.42 trình bày đồ thị phổ tần số FFT cho trường hợp tróc rỗ bề mặt răng. Ta thấy biên độ tại tần số ăn khớp GMF cũng như biên độ các dải bên ứng với tần số này cũng lớn hơn nhiều so với bộ truyền bánh răng bình thường (200dBg). Các dải bên cách đều nhau và các tần số ăn khớp GMF một khoảng bằng tần số quay của trục bánh răng bị dẫn ( $\sim 10\text{Hz}$ ). Như vậy

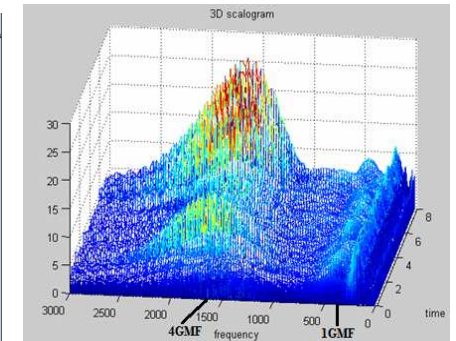
ta có thể nhận dạng rằng bánh răng bị động đã xuất hiện hiện tróc rỗ bề mặt răng. Đây là dấu hiệu tiêu biểu nhận dạng hiện tượng tróc rỗ bề mặt răng.

#### 3.5.3.2. Phân tích tín hiệu dao động dùng wavelet

Trường hợp răng bị tróc rỗ, biểu đồ năng lượng có những dấu hiệu khác biệt so với trường hợp bộ truyền bánh răng chưa hư hỏng, gãy răng và mòn răng. Mức năng lượng tại vùng scale thấp phân bố thành rất rõ rệt từng cụm riêng biệt và đều nhau, mức độ năng lượng tập trung tại mỗi cụm cũng cao hơn so với trường hợp bộ truyền không hư hỏng. Tại vùng scale cao, mật độ năng lượng dày hơn so với bình thường (Hình 3.42). Trên biểu đồ độ lớn tín hiệu dao động (Hình 3.43), biên độ dao động xung quanh hài bậc 4 của tần số ăn khớp lớn hơn nhiều so với trường hợp gãy răng và mòn răng.



Hình 3.43: Biểu đồ phần trăm năng lượng tín hiệu mòn răng.



Hình 3.44: Biểu đồ độ lớn tín hiệu mòn răng

Trường hợp răng bị tróc rỗ, biểu đồ năng lượng có những dấu hiệu khác biệt so với trường hợp bộ truyền bánh răng chưa hư hỏng, gãy răng và mòn răng.

### 3.6. Nhận xét và kết luận

Qua chương này, chúng tôi đã trình bày cơ sở lý thuyết của một số phép biến đổi: phép biến đổi Fourier, phép biến đổi wavelet và wavelet packet. Trên cơ sở đó đã xây dựng được chương trình phân tích và xử lý tín hiệu dao động sử dụng các phép biến đổi nói trên. Bên cạnh đó, chúng tôi đã xây

được mô hình thu nhận tín hiệu dao động, mô phỏng các dạng hỏng mài mòn, tróc rỗ, thu nhận tín hiệu thực nghiệm đo các hư hỏng của bộ truyền gây nên, xử lý tín hiệu và nhận dạng được hư hỏng trong bộ truyền.

## KẾT LUẬN VÀ TRIỂN VỌNG

### 1. KẾT LUẬN

Sau thời gian thực hiện, luận văn đã hoàn thành được các công việc sau đây:

- Tìm hiểu tổng quan về các dạng hỏng trong truyền động bánh răng các phương pháp chẩn đoán hư hỏng truyền động bánh răng.
- Tìm hiểu tổng quan về phép biến đổi Fourier, phương pháp wavelet và wavelet packet, tạo nền tảng cho việc xây dựng phần mềm xử lý tín hiệu dao động phục vụ chẩn đoán hư hỏng
- Xây dựng được chương trình phân tích tín hiệu bằng các phép biến đổi Fourier, wavelet và wavelet packet
- Xây dựng được mô hình thực nghiệm thu nhận tín hiệu dao động, mô phỏng các dạng hỏng gãy răng, mòn răng và tróc rỗ bề mặt răng.
- Phân tích, xử lý tín hiệu dao động nhận được, nhận dạng được các dạng hỏng gãy răng, tróc rỗ bề mặt răng, mòn răng bằng phương pháp FFT và WT.

Tổ hợp phần mềm-thiết bị thu nhận và xử lý tín hiệu dao động cũng như một số dấu hiệu nhận dạng hư hỏng bằng phân tích FFT và WP đóng góp một công cụ hữu ích cho việc chẩn đoán hư hỏng bánh răng.

### 2. TRIỂN VỌNG CỦA ĐỀ TÀI

Do thời gian và kiến thức còn hạn chế, đề tài cần tiếp tục hoàn thiện:

Nghiên cứu phân tích và xử lý tín hiệu dao động để xây dựng biểu đồ pha của tín hiệu dao động bằng phương pháp wavelet, nghiên cứu xác định chính xác hư hỏng trên bánh răng nào thông qua phương pháp WT và WPT.

Thu nhận tín hiệu dao động từ hộp giảm tốc nhiều cấp, trong đó tổ hợp các dạng hỏng đến từ nhiều nguồn khác nhau như hư hỏng trong ổ lăn, trong truyền động bánh răng, do khớp nối không đồng trục, hư hỏng từ bộ truyền đai..., nhận dạng và phân loại chính xác nguồn gốc hư hỏng khác nhau...