

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ THIẾT BỊ ĐO ĐỘ RUNG CHO CÁC MÁY CÔNG NGHIỆP

A STUDY ON DESIGN OF VIBRATION MEASURING EQUIPMENT FOR INDUSTRIAL MACHINES

Nguyễn Thị Diệu Linh^{1,*},
Bùi Thị Thu Hiền¹, Phan Thị Thu Hằng¹

TÓM TẮT

Thiết bị đo độ rung được sử dụng để đánh giá chất lượng của máy công nghiệp, nhận dạng các hư hỏng và sửa chữa kịp thời. Nội dung bài báo trình bày về việc nghiên cứu và chế tạo thiết bị đo độ rung có cấu tạo đơn giản, kích thước nhỏ gọn, độ chính xác cao với giá thành hợp lý. Thiết bị cho phép người dùng chọn chế độ lưu dữ liệu vào máy tính hay chế độ đo hiển thị phổ tín hiệu và tần số trên màn hình theo thời gian thực.

Từ khóa: Máy đo độ rung; Cảm biến gia tốc; Vi điều khiển.

ABSTRACTS

The vibration measuring equipment is used to evaluate the quality of industrial machinery, identifying defects and repairing them in time. A design of vibration measurement equipment is simple, compact size, high accuracy, and reasonable price are presented in this paper. The device allows choosing to save data to the memory card or to measure the display of the signal spectrum and frequency on the screen in real time.

Keywords: Vibration measurement equipment; acceleration sensor; Microcontroller.

¹Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: Dieulinh79@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 04/4/2018

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Hoàng Mạnh Kha

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong thực tế, phần lớn thiết bị vận hành không như mong muốn do sự liên kết, cân bằng không chính xác và dẫn đến sự chịu lực cao hơn đối với các bộ phận chịu tải như vòng bi, làm gia tăng lực tác động và mài mòn của các bộ phận quan trọng và do đó làm hoạt động không hiệu quả, phát sinh nhiệt và có thể dẫn tới hỏng hóc, sản xuất bị gián đoạn. Rung động tăng làm tăng sự mài mòn và hư hỏng của các bộ phận cơ học trong máy móc. Điều này sẽ làm thiệt hại lớn về kinh tế cho doanh nghiệp sản xuất.

Việc thường xuyên kiểm soát rung động của các bộ phận cơ học, có thể phát hiện sự hư hỏng trước khi chúng gây ra, giúp phòng ngừa thiệt hại do sự cố máy móc, chủ

động lên kế hoạch bảo dưỡng và thay thế các bộ phận một cách kịp thời mang lại lợi ích về kinh tế.

Xây dựng lịch trình bảo trì dự đoán theo các yếu tố quan trọng như rung động được đo thường xuyên không chỉ giúp giảm bớt sự gián đoạn trong sản xuất mà còn làm cho công tác bảo trì hoạt động hiệu quả hơn. Điều này làm tăng chất lượng sản phẩm và năng suất. Nếu các phép đo rung động đã được thực hiện và vẽ đồ thị kết quả trong một khoảng thời gian sẽ cho thấy sự tiến bộ hoặc sự xuống cấp của một máy nào đó.

Ngay sau khi lắp đặt và cho hoạt động đã cao thể thấy mức độ rung khi máy chạy. Khoảng thời gian đầu là thời gian vận hành bình thường của máy, trong đó mức rung động không thay đổi. Giai đoạn tiếp theo sẽ là thời kỳ mà mức rung động sẽ tăng lên do sự mài mòn của các bộ phận máy trước khi máy ngừng hoạt động. Việc dự đoán xu hướng này cho phép kỹ sư dự đoán thời gian chết, lập kế hoạch bảo dưỡng, thay thế và tổ chức sản xuất góp phần tối đa hóa lợi ích của máy.

Việc nghiên cứu giám sát độ rung đối với các máy công nghiệp đang là vấn đề cấp thiết đối với các nhà máy ở Việt Nam hiện nay. Trên thực tế các nhà máy ở Việt Nam đều được trang bị hệ thống giám sát độ rung cho hệ thống máy móc nhưng đại đa số các hệ thống này đều chỉ được trang bị ở mức tối thiểu. Vì vậy khi hệ thống máy móc làm việc ở chế độ không bình thường tức là độ rung vượt quá mức độ cho phép ở thời gian dài mà hệ thống giám sát được trang bị không phát hiện kịp thời sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới toàn bộ hệ thống máy móc. Do đó đã và đang có nhiều công trình nghiên cứu để giám sát và đo độ rung động áp dụng cho các máy công nghiệp tại Việt Nam. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ dừng lại ở các sản phẩm thử nghiệm, dựa trên các mô đun thiết bị sẵn có, nên hạn chế trong việc thương mại hóa sản phẩm.

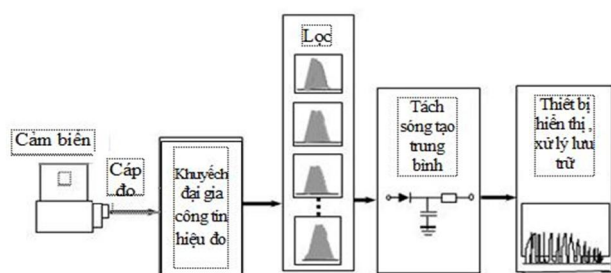
Hệ thống đo và phân tích độ rung tại thị trường Việt Nam rất đa dạng và phong phú, các sản phẩm thương mại đó đều có xuất xứ từ nước ngoài. Nhu cầu cần trang bị các thiết bị này trong các doanh nghiệp ở Việt Nam ngày càng tăng nhưng giá thành hệ thống đo rung khá cao. Hơn nữa một số thiết bị cần phải kết nối với máy tính trong quá trình phân tích độ rung của máy móc, việc mang theo máy tính

cổng kênh đôi khi lại không an toàn và giảm hiệu suất làm việc dẫn đến việc đầu tư trang bị tại các doanh nghiệp nhất là các doanh nghiệp quy mô vừa và nhỏ gặp nhiều khó khăn. Chính vì vậy việc nghiên cứu, thiết kế thiết bị đo độ rung cho các máy công nghiệp đã được thực hiện. Thiết bị cần đảm bảo nhỏ gọn về kích thước, dễ sử dụng, giá thành hạ mà độ chính xác cao.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên lý cấu tạo của hệ thống đo rung

Một hệ thống đo rung với 5 bộ phận chính gồm cảm biến, khuếch đại gia công tín hiệu (phù hợp với cảm biến), lọc, tách sóng trung bình và thiết bị hiển thị, xử lý lưu trữ (thiết bị đầu ra) như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thống đo rung

Kết quả phân tích tần số của một tín hiệu sẽ cho ra một phổ của tín hiệu. Phổ tần tín hiệu đưa vào hệ thống phân tích tần số, qua cảm biến tín hiệu đi đến khuếch đại, qua bộ lọc, đến tách sóng và đưa ra bộ chỉ thị.

2.2. Xác định yêu cầu của thiết bị chế tạo đo độ rung

Qua nghiên cứu và rà soát các thông số của thiết bị đo rung thực tế cho thấy các yêu cầu quan trọng khi thiết kế thiết bị đo rung gồm yêu cầu về truyền thông, yêu cầu về chế độ hoạt động, yêu cầu về quá trình xử lý dữ liệu, yêu cầu kỹ thuật và yêu cầu hiển thị...

a) Yêu cầu về truyền thông

Thiết bị cho phép kết nối, đọc dữ liệu từ cảm biến đo đại lượng gia tốc và tần số; gửi thông tin trở lại cảm biến. Thiết bị kết nối với nguồn nuôi 12V-2A adapter, kết nối thẻ nhớ để lưu dữ liệu; kết nối gửi thông tin lên máy tính và giao tiếp với CPU.

b) Yêu cầu về chế độ hoạt động

Thiết bị có chế độ lưu dữ liệu hay chế độ tự động.

- Chế độ lưu dữ liệu cho phép lưu các file theo thời gian thực vào thẻ nhớ, dùng cho mục đích phân tích chuyên sâu.
- Chế độ tự động (thu thập dữ liệu và tự động phân tích tại chỗ hoặc có thể quan sát đồng thời kết quả trên phần mềm mô phỏng trên máy tính).

c) Yêu cầu về quá trình xử lý dữ liệu

Bao gồm các tính toán cần thiết xử lý dữ liệu thô trước khi hiển thị như thông tin calib cảm biến để hiệu chuẩn dữ liệu; Lọc một chiều để loại bỏ tác động trọng lực lên phương cảm biến, lọc rơ phổ tín hiệu; Xử lý tín hiệu theo

phương pháp biến đổi Fourier nhanh (FFT) để chuyển sang phân tích tín hiệu trong miền tần số; Tính giá trị tần số max và gia tốc tương ứng.

d) Yêu cầu về kỹ thuật

Thiết bị cho phép lưu dữ liệu thô theo thời gian thực; có khả năng lưu dữ liệu thành các file riêng trong thẻ nhớ, lựa chọn thời điểm bắt đầu kết thúc quá trình lưu với sai lệch kết quả đo trong dải cho phép $< \pm 5\%$.

e) Yêu cầu hiển thị

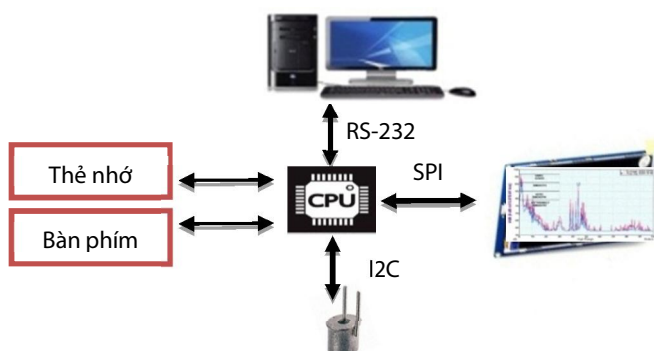
Thiết bị hiển thị giá trị đo dạng số và đồ thị trên màn hình hiển thị tại chỗ TFT (TFT - Thin Film Transistor - màn hình bóng bán dẫn dạng phim mỏng) hoặc trên máy tính bằng phần mềm mô phỏng. Người dùng có thể lựa chọn thang hiển thị, cài đặt chế độ và thông số thiết bị thông qua giao diện phím ấn.

g) Các yêu cầu khác (độ tin cậy, vận hành và bảo trì dễ dàng, tính an toàn khi sử dụng) được tính đến trong quá trình thực hiện.

Dựa vào các yêu cầu trên, ta xây dựng sơ đồ cấu trúc hệ thống đo như hình 2.

Với sơ đồ cấu trúc hình 2, hệ thống sẽ hoạt động như sau: Thiết bị đo sẽ đo các thông số cần đo (gia tốc, tần số). Các giá trị đo được sẽ truyền về bộ vi xử lý trung tâm thông qua chuẩn I²C. Tại bộ điều khiển, các giá trị đo nhận được sẽ được các bộ điều khiển phân tích, xử lý, đồng thời các giá trị đo này sẽ được hiển thị trên màn hình TFT và được lưu trữ trong thẻ nhớ theo thời gian thực.

Thiết bị cũng có khả năng giao tiếp với máy tính thông qua giao thức truyền thông RS-232. Việc cấu hình hệ thống đo được thiết lập thông qua các phím bấm.

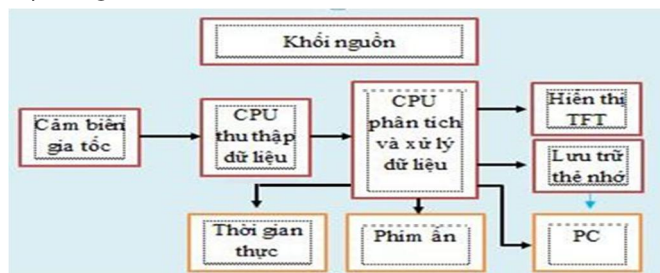


Hình 2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo độ rung các máy công nghiệp

2.3. Xác định tính năng sản phẩm

Sản phẩm đo gia tốc và tần số với dải tần: $0 \div < 1000\text{Hz}$; độ chính xác $\pm 5\%$, hiển thị trực tiếp gia tốc, tần số và phổ tần theo thời gian thực bằng màn hình TFT. Thiết bị có thể giao tiếp máy tính theo chuẩn RS-232; Cho phép phân tích, hiển thị, lưu trữ dữ liệu theo thời gian thực trực tiếp từ thiết bị đo trên thẻ nhớ và cài đặt được thời gian thực, ngưỡng cảnh báo, chế độ calibration. Các dữ liệu sau khi được lưu vào thẻ nhớ có thể được phân tích và xử lý, in ấn bằng phần mềm mô phỏng phân tích dữ liệu trên máy tính.

Từ các yêu cầu trên, sơ đồ khối chính của thiết bị được xây dựng như hình 3.

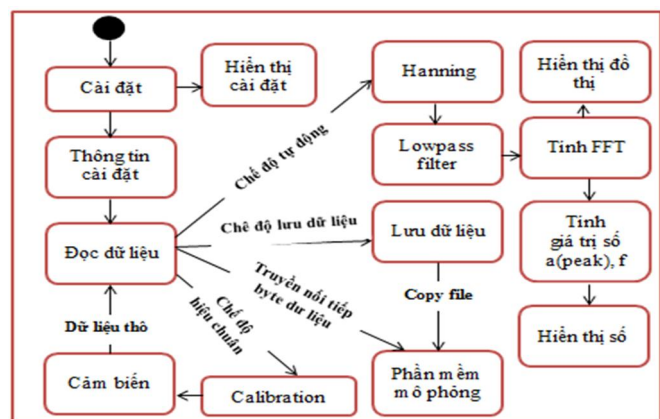


Hình 3. Sơ đồ khối chính của thiết bị đo độ rung

2.4. Xác định nhiệm vụ của hệ thống

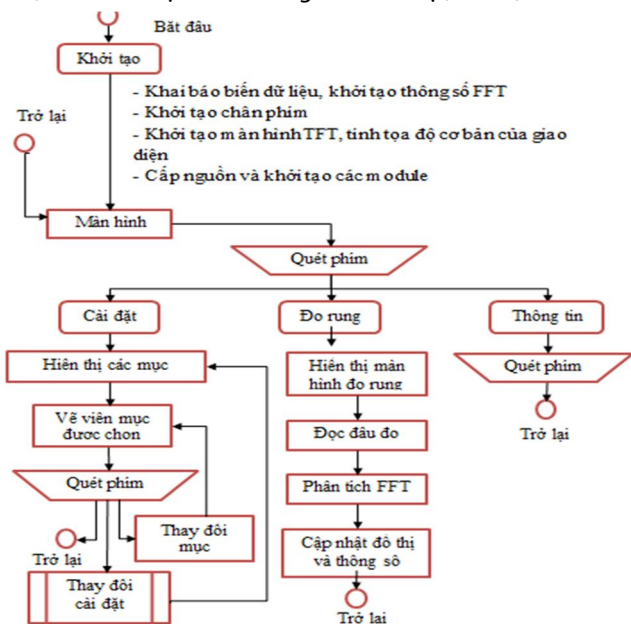
a) Xây dựng sơ đồ dòng chảy thông tin

Xây dựng thuật toán chương trình là quá trình quan trọng giúp người kiểm soát các mã chương trình theo đúng mục tiêu xác định. Xác định nhiệm vụ của hệ thống bằng xây dựng sơ đồ dòng chảy thông tin. Sơ đồ luồng thông tin trong hệ thống như thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Sơ đồ luồng thông tin trong hệ thống

b) Lưu đồ thuật toán chung cho thiết bị (hình 5)



Hình 5. Lưu đồ thuật toán chung cho thiết bị

2.5. Lựa chọn thiết bị

- Phần đầu đo: Cảm biến MMA8451Q được lựa chọn có độ phân giải 14 bit, có khả năng đo gia tốc theo 3 hướng. Có tích hợp bộ lọc nhiễu, giảm khối lượng dữ liệu cần phân tích, giúp truyền dữ liệu với tốc độ cao.

- Vi điều khiển thu thập dữ liệu: Atmega328 được sản xuất bởi hãng Atmel thuộc họ MegaAVR. Atmega 328 là bộ vi điều khiển 8 bit dựa trên kiến trúc RISC bộ nhớ chương trình 32KB ISP flash, 1KB EEPROM.

- Vi điều khiển phân tích và xử lý dữ liệu: AT91SAM3X8E là vi điều khiển dựa trên ARM Cortex-M3 RISC hiệu năng cao bộ vi xử lý 32-bit, hoạt động ở tốc độ tối đa là 84 MHz; 512 Kbytes Flash; 100 Kbyte SRAM.

- Hiển thị: Màn hình TFT LCD 3.2 inch, tấm cảm ứng điện trở sử dụng chip điều khiển chính là ILI9341, có 40 chân được đưa ra ngoài để kết nối với vi điều khiển.

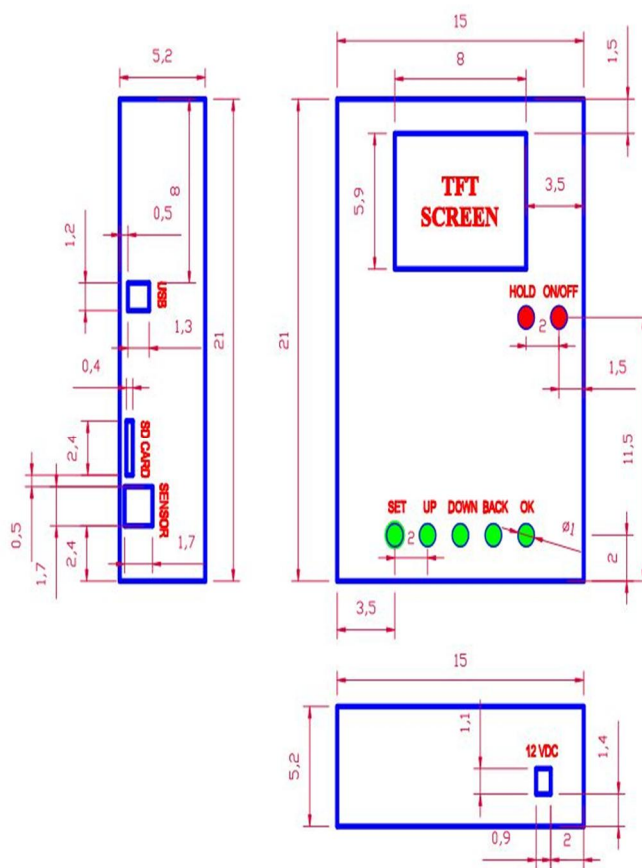
2.6. Lập trình trên vi điều khiển và mô phỏng phân tích dữ liệu trên máy tính

Dùng trình biên dịch DS-5 Community Edition để viết chương trình cho vi xử lý và phần mềm matlab để lập trình mô phỏng phân tích dữ liệu trên máy tính.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Mô hình thiết bị đo độ rung

Trên cơ sở tính toán và thiết kế, mô hình thiết bị đo độ rung cho các máy công nghiệp được thực hiện như hình 6.





Hình 6. Bản vẽ thiết kế vỏ thiết bị và thiết bị chế tạo

3.2. Thử nghiệm, đánh giá khả năng hoạt động của thiết bị

Thiết bị được thử nghiệm, so sánh với thiết bị chuẩn Type 3160-B-042 của hãng Brüel & Kjær với 4 kênh vào, 2 kênh ra, tích hợp cổng SD card để đánh giá. Cảm biến của hai thiết bị được đặt sát nhau trên cùng mặt phẳng. Động cơ được điều chỉnh ở các tốc độ khác nhau. Kết quả như sau:

a) Về tần số và gia tốc (bảng 1)

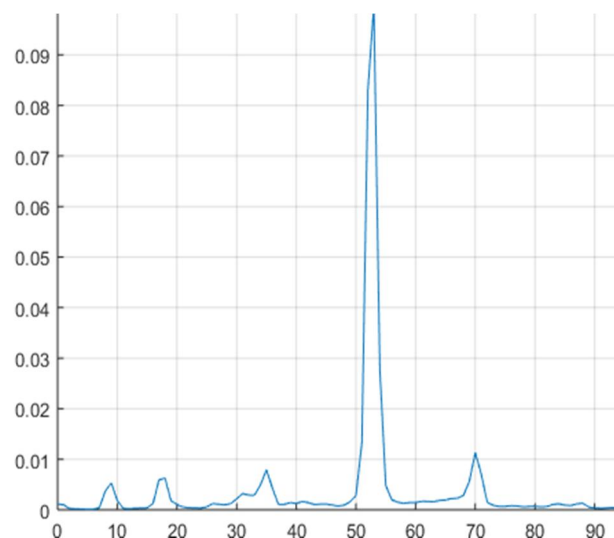
Bảng 1. Kết quả thử nghiệm tại các tốc độ động cơ khác nhau

Tốc độ đặt của động cơ	Đỉnh	Độ rung đo được từ thiết bị chế tạo		Độ rung đo được từ thiết bị chuẩn		Sai số (%)	
		Tần số	Gia tốc	Tần số	Gia tốc	Tần số	Gia tốc
500rpm	1	52,34	0,0980	53	0,09900	1.25	1
	2	18.9	0,0064	18	0,00624	5	4.07
	3	71,88	0,0118	70	0,01130	2.69	4.53
600rpm	1	62,5	0,1295	63	0,12500	0.79	3.40
	2	42,2	0,0174	42	0,01670	0.48	4.57
	3	84,38	0,0060	84	0,00585	0.45	3.16
800rpm	1	82,81	0,1178	84	0,11700	1.42	0.49
	2	28,12	0,0202	28	0,02000	0.43	1.39
	3	55,47	0,0140	56	0,01390	0.95	1.38

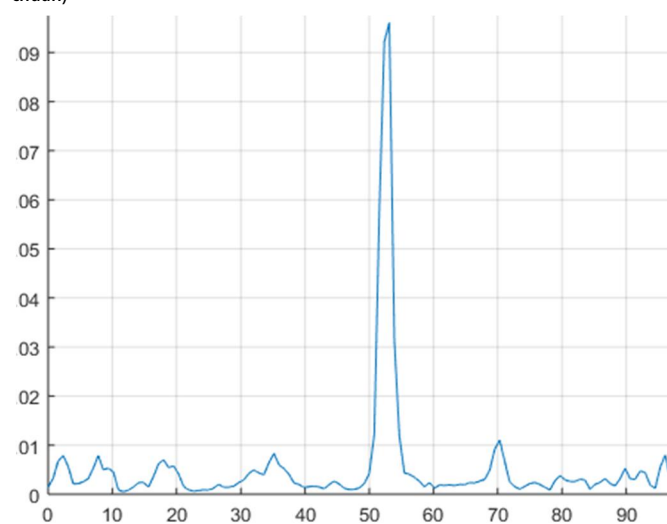
Ở các tốc độ động cơ khác nhau, sai số của thiết bị đều nằm trong dải thấp hơn sai số yêu cầu ($\pm 5\%$)

b) Phổ tín hiệu

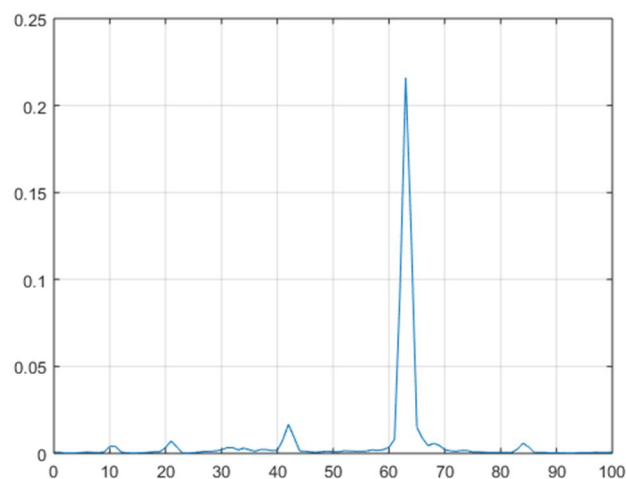
Phổ tín hiệu thu được từ hai thiết bị đo tương tự nhau. Tuy nhiên, thiết bị chế tạo vẫn còn một số xung râm khác. Hình 7 ÷ 12 mô tả phổ tín hiệu rung trên thang đo tuyến tính thu được từ hai thiết bị đo (thiết bị chuẩn và thiết bị chế tạo) tại các động cơ khác nhau. Trục tung thể hiện giá trị gia tốc rung (m/s^2), trục hoành thể hiện tần số rung (Hz).



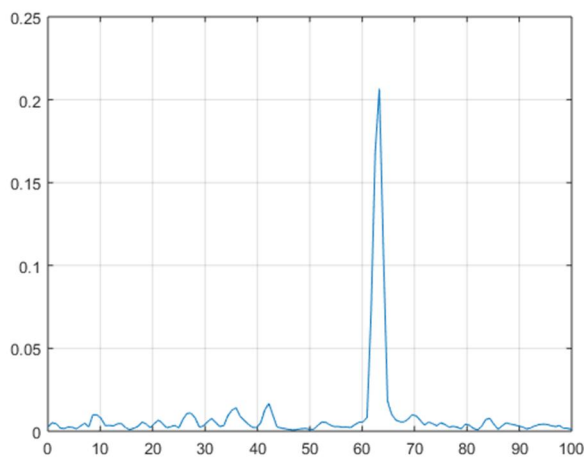
Hình 7. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 500rpm (đo từ thiết bị chuẩn)



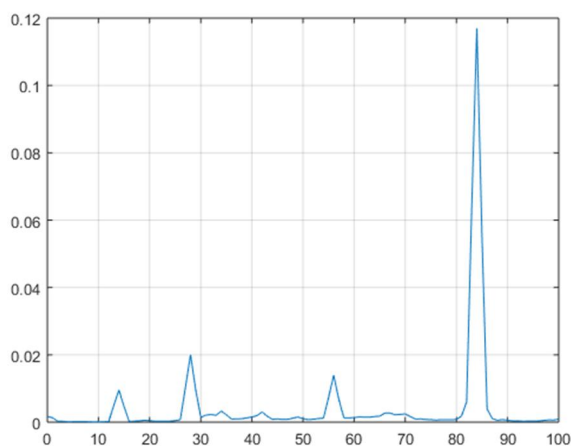
Hình 8. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 500rpm (đo từ thiết bị chế tạo)



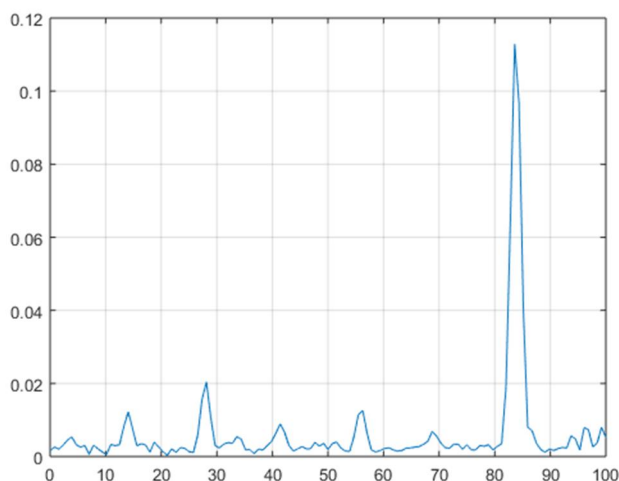
Hình 9. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 600rpm (đo từ thiết bị chuẩn)



Hình 10. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 600rpm (đo từ thiết bị chế tạo)



Hình 11. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 800rpm (đo từ thiết bị chuẩn)



Hình 12. Phổ tần của tín hiệu rung tại tốc độ động cơ 800rpm (đo từ thiết bị chế tạo)

3.3. Đánh giá sai số hệ thống đo

Thiết bị đo hoạt động ổn định. Khi so sánh giá trị đo tại cùng thời điểm cho thấy sai số của thiết bị so với thiết bị chế tạo chuẩn là $< \pm 5\%$. So sánh phổ tín hiệu rung đo được từ thiết bị chuẩn và thiết bị chế tạo: tín hiệu mẫu phổ vẫn còn xuất hiện một số nhiễu. Do đó, cần cải thiện bộ lọc nhiễu cho thiết bị. Tốc độ cập nhập dữ liệu hiển thị khi chuyển chế độ đo giữa các mức tốc độ động cơ khác nhau còn hơi chậm do giới hạn của chip vi xử lý.

4. KẾT LUẬN

Trọng tâm của nghiên cứu này là chế tạo thiết bị đo độ rung cho các máy công nghiệp. Thiết bị sử dụng chip vi điều khiển kết nối độc lập với cảm biến gia tốc để thu thập dữ liệu giúp việc truyền thông dữ liệu ổn định, theo thời gian thực. Thuật toán FFT được sử dụng để phân tích dữ liệu trong miền tần số cho kết quả đáp ứng nhanh. Trong thiết bị có gắn thẻ nhớ cho phép dữ liệu được lưu lại với dung lượng tùy biến, phục vụ cho việc phân tích về sau.

So sánh với nhiều thiết bị đo rung cầm tay trên thị trường, đặc điểm nổi bật của thiết bị này là có phần mềm đi kèm được phát triển trên nền Matlab nên dữ liệu được phân tích chính xác, tốc độ cao và sâu hơn. Do đó giúp người dùng dễ dàng và chủ động thực hiện phân tích dữ liệu. Ngoài ra thiết bị chế tạo có sử dụng màn hình màu hiển thị phổ tần và hiển thị số, dễ quan sát, dễ vận hành. Cuối cùng, thiết bị đo này khi hoàn thiện sẽ có giá thành thấp góp phần quan trọng trong công tác giám sát tín hiệu rung để điều chỉnh chế độ hoạt động máy móc, giúp tăng tuổi thọ thiết bị và giảm chi phí đầu tư cho doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Song, Yong Sheng, and You Liang Ding, 2013. "Fatigue monitoring and analysis of orthotropic steel deck considering traffic volume and ambient temperature". Science China Technological Sciences 56.7: 1758-1766.
- [2]. Benjamin, Jack R., and C. Allin Cornell, 2014. *Probability, statistics, and decision for civil engineers*. Courier Corporation.
- [3]. Ko, Hyoungcho, 2012. "Highly configurable capacitive interface circuit for tri-axial MEMS micro-accelerometer". International Journal of Electronics 99.7: 945-955.
- [4]. Hayes M., 1996. "Statistical Digital Signal Processing and Modeling". John Wiley & Sons.
- [5]. Rulph Chassaing, 2005. "Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK". Wiley-Interscience.
- [6]. Tretter Steven A., 2008. *Communication System Design Using DSP Algorithms: With Laboratory Experiments for the TMS320C6713™ DSK*. Springer Science & Business Media.