

NHẬN DẠNG TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA KẾT CẤU BẰNG PHƯƠNG PHÁP KÍCH ĐỘNG CƯỜNG BỨC

KS. TẠ ĐỨC TUÂN, TS. LÊ ANH TUẤN, TS. VŨ ĐÌNH HƯƠNG

Học Viện kỹ thuật quân sự

Tóm tắt: Tần số dao động riêng là một đặc trưng động lực học quan trọng của kết cấu công trình. Các kết cấu công trình càng trở nên phức tạp với nhiều loại vật liệu khác nhau làm cho cơ chế dao động của nó cũng phức tạp và khó xác định. Nó có thể bị thay đổi trong quá trình làm việc của kết cấu, do đó để xác định tần số dao động riêng của kết cấu công trình theo đúng thực tế làm việc gặp nhiều khó khăn, thường được xác định theo phương pháp thực nghiệm. Bài báo trình bày cách nhận dạng tần số dao động riêng của kết cấu bằng phương pháp kích động cưỡng bức.

Từ khóa: Kết cấu, tần số dao động riêng, nhận dạng, hàm phản ứng tần số.

Abstract: Natural frequencies are important dynamic characters of the building structures. The building structures nowadays become more complicated with many different types of material. Hence, there vibration mechanisms will also be more complicated and difficult to be determined. The building frequencies can be changed during the time when the structure are in use, thereby determination of the actual natural frequencies of building structure is very difficult and often be determined by experimental methods. This paper presents the method to identify the natural frequencies of the structures by the forcing vibration method.

1. Mở đầu

Các đặc trưng riêng của kết cấu như tần số dao động riêng, dạng dao động riêng và tỷ số cản là ba tham số có ảnh hưởng lớn tới phản ứng động của công trình. Trong đó, tần số dao động riêng của kết cấu là tham số quan trọng trong cả phân tích, thiết kế lẫn kiểm định công trình. Hiện nay, có hai phương pháp để xác định tần số dao động riêng của kết cấu, đó là phương pháp lý thuyết và phương pháp thực nghiệm. Ngoài ra nhiều nghiên cứu ở nước ngoài trên cơ sở các kết quả thực nghiệm tại hiện trường và các kết quả lý thuyết đã đưa ra các công thức kinh nghiệm để xác định chu

kỳ dao động riêng và tần số dao động riêng của công trình [1]. Phương pháp lý thuyết dựa trên cơ sở các tham số về mô hình như ma trận độ cứng $[K]$, ma trận khối lượng $[M]$ của kết cấu. Theo đó, tần số dao động riêng không cản ω của kết cấu được xác định theo phương trình sau [2]:

$$\det([K] - \omega^2[M]) = 0 \quad (1)$$

Phương pháp thực nghiệm dựa trên cơ sở các phép đo dao động, xử lý tín hiệu đo và kỹ thuật nhận dạng để xác định tần số dao động riêng của kết cấu. Phương pháp này không cần sử dụng mô hình lý thuyết với ma trận độ cứng $[K]$, ma trận khối lượng $[M]$ của hệ. Phương pháp thực nghiệm xác định tần số dao động riêng của kết cấu ngày càng trở nên phổ biến, đặc biệt là trong công tác kiểm định và giám sát trạng thái kỹ thuật công trình.

Ngày nay, các kết cấu công trình càng trở nên phức tạp với nhiều loại vật liệu khác nhau làm cho việc mô hình hóa nó cũng khó khăn. Mặt khác, trong quá trình sử dụng, do tác động của tải trọng lặp và môi trường, các đặc trưng của vật liệu, kết cấu có thể bị thay đổi làm suy giảm độ cứng và giảm tuổi thọ của công trình. Do đó, nhận dạng các đặc trưng động lực học của kết cấu trong đó có tần số dao động riêng là một vấn đề nghiên cứu có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Phương pháp thực nghiệm xác định tần số dao động riêng của kết cấu bao gồm nhóm các phương pháp nhận dạng miền thời gian như phương pháp bình phương tối thiểu mũ phức [3] và nhóm các phương pháp nhận dạng miền tần số như phương pháp phân tích miền tần số [4], phương pháp phân thức [7], phương pháp phân thức tổng thể [8]. Trong các phương pháp trên, phương pháp nhận dạng miền tần số thường được sử dụng phổ biến. Do đó, bài báo trình bày thí nghiệm đo dao động cưỡng bức của kết cấu dầm thép và nhận dạng tần số dao động riêng của kết cấu bằng phương pháp miền tần số.

2. Phương pháp nhận dạng tần số dao động riêng

2.1 Hàm phản ứng tần số của hệ 1 bậc tự do

Phương trình vi phân dao động của hệ 1 bậc tự do [2] có dạng:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \quad (2)$$

Chuyển sang miền tần số, đặt $x(t) = X(\omega) \cdot e^{i\omega t}$, $f(t) = F(\omega) \cdot e^{i\omega t}$, thay vào công thức trên, thu được:

$$(-M\omega^2 + iC\omega + K) \cdot X(\omega) \cdot e^{i\omega t} = F(\omega) \cdot e^{i\omega t} \quad (3)$$

Suy ra, tỷ số giữa chuyển vị và lực tác dụng trong miền tần số:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} = \frac{1}{K - M\omega^2 + iC\omega} \quad (4)$$

gọi là hàm phản ứng tần số (Frequency Response Function - FRF) của kết cấu [4].

2.2 Ma trận hàm phản ứng tần số của hệ hữu hạn bậc tự do

Phương trình vi phân dao động hệ hữu hạn bậc tự do [1] có dạng:

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (5)$$

Biến đổi phương trình vi phân dao động của hệ hữu hạn bậc tự do (5) sang miền tần số, thay $\{x(t)\} = \{X(\omega)\} \cdot e^{i\omega t}$ và $\{f(t)\} = \{F(\omega)\} \cdot e^{i\omega t}$ vào phương trình vi phân dao động của hệ hữu hạn bậc tự do, thu được:

$$([K] + i\omega[C] - \omega^2[M])\{X(\omega)\} = \{F(\omega)\} \quad (6)$$

Suy ra:

$$\{X(\omega)\} = ([K] + i\omega[C] - \omega^2[M])^{-1} \{F(\omega)\} \quad (7)$$

Đặt:

$$[H] = ([K] + i\omega[C] - \omega^2[M])^{-1} \quad (8)$$

Trong thực nghiệm, khi kích thích và đo lần lượt hoặc đồng thời các tham số đầu vào-đầu ra của tất cả các bậc tự do, sẽ thu được ma trận số liệu đo

FRF thực nghiệm gồm các phần tử $H(\omega)$ được tính theo công thức sau:

$$H_{jk}(\omega) = \frac{X_j(\omega)}{F_k(\omega)} \quad (j, k = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

Với, $X_j(\omega)$ - biến đổi Fourier của tín hiệu đầu ra tương ứng với bậc tự do thứ j ;

$F_k(\omega)$ - biến đổi Fourier của tín hiệu lực tác dụng đầu vào tương ứng với bậc tự do thứ k .

Theo [4], hàm phản ứng tần số FRF có thể được biểu thị dưới dạng như sau:

$$H_{jk}(\omega) = \sum_{s=1}^N \frac{A_s}{\omega_s^2 - \omega^2 + i\eta_s \omega_s^2} \quad (10)$$

trong đó: A_s là các hằng số, η_s là hệ số tiêu tán.

Từ (10) thấy rằng, khi kết cấu có các tần số dao động riêng khá tách biệt và gần nhỏ thì hàm phản ứng tần số FRF đạt cực trị tại các tần số dao động riêng ω_s ($s = 1, 2, \dots, N$). Do đó, các tần số dao động riêng của kết cấu được xác định tại các điểm mà biên độ hàm FRF đạt cực đại [4].

3. Thực nghiệm nhận dạng tần số dao động riêng

3.1 Mục tiêu thí nghiệm

Thí nghiệm nhằm mục tiêu thu được các phản ứng động của kết cấu dầm thép tại các nút theo thời gian. Sử dụng kết quả đo dao động thu được để nhận dạng tần số dao động riêng của kết cấu công trình.

3.2 Kết cấu thí nghiệm

Kết cấu thí nghiệm để nhận dạng tần số dao động riêng là dầm thép một đầu ngàm. Thông số vật lý của dầm được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng thuộc tính vật lý của dầm thép

STT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Chiều dài	L	710	mm
2	Khối lượng riêng	γ	7850	kg/m ³
3	Mu đun đàn hồi	E	2.03E5	Mpa
4	Chiều cao	h	8	mm
5	Chiều rộng	b	60	mm

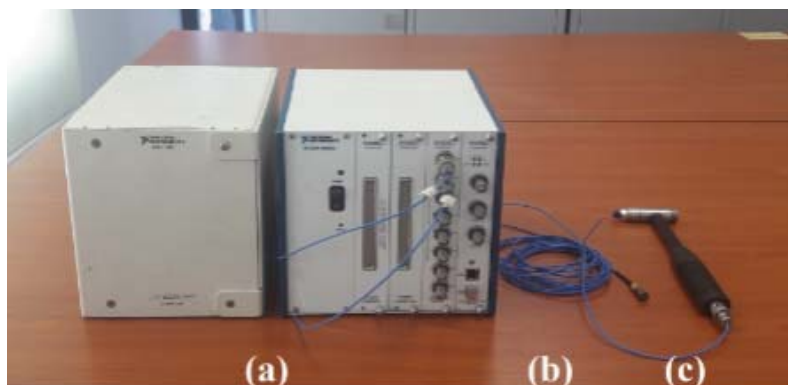
3.3 Thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị dùng trong thí nghiệm được liệt kê trong bảng 2.

Bảng 2. Danh sách các thiết bị thí nghiệm

STT	Tên thiết bị	Mã hiệu	Hãng sản xuất	Dải đo (độ nhạy)
1	Bộ thiết bị đo dao động	NI SCXI-1000DC	National Instrument	Đa kênh

2	Búa tạo xung	PCB 086C03	PCB Group	$\pm 2224\text{N}$ (2.25mV/N)
3	Cảm biến gia tốc	PCB 352C68	PCB Group	$\pm 50\text{g}$ (100mV/g)

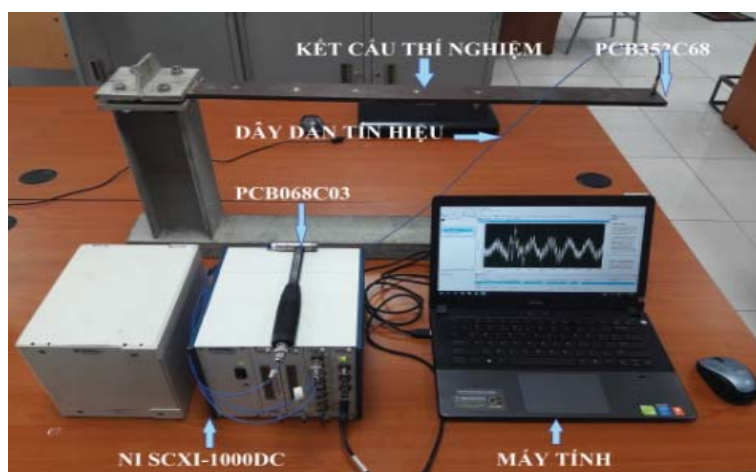


Hình 1. (a) NI SCXI-1000DC, (b) Cảm biến gia tốc PCB352C68 and (c) búa lực PCB086C03

3.4 Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm nhận dạng tần số dao động riêng của dầm thép được bố trí như hình 2. Trong đó, cảm biến gia tốc được gắn vào đầu tự do của

dầm, bộ thiết bị đo NI được kết nối với cảm biến gia tốc, búa lực và máy tính. Số liệu đo được thu thập và hiển thị thông qua phần mềm NI Signal Express.



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm

3.5 Phương pháp thí nghiệm

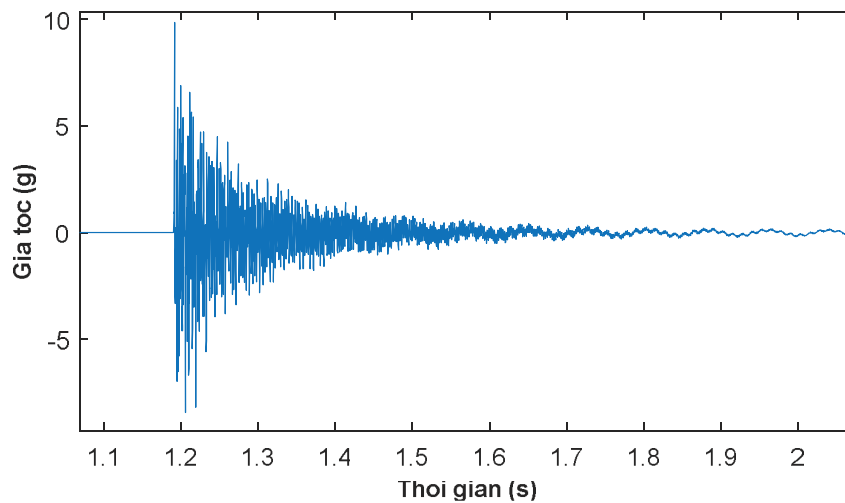
Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm thuộc bộ môn Cơ sở Kỹ thuật công trình thuộc Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt – Học viện Kỹ thuật quân sự.

Tạo dao động cho kết cấu bằng cách sử dụng búa lực kích động lên dầm theo phương thẳng đứng. Số liệu đo được ghi lại bao gồm lực tác dụng đầu vào và phản ứng gia tốc đầu ra tại nút theo thời gian.

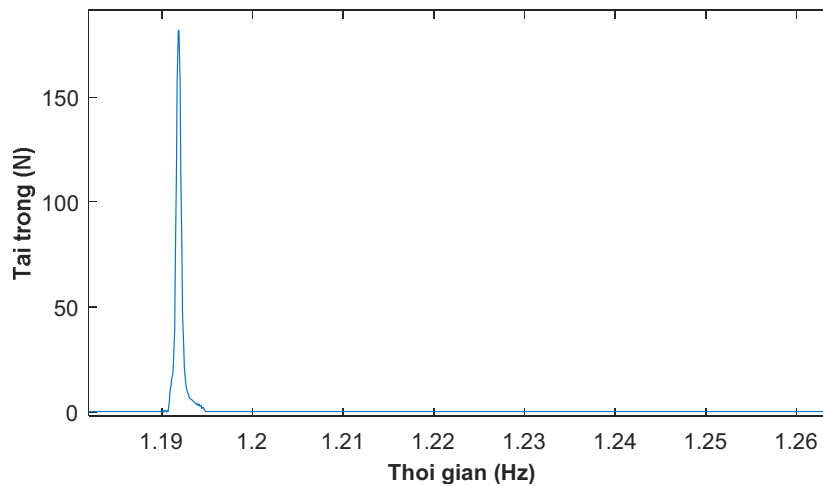
Thực hiện nhiều lần đo tương tự như trên thu được bộ số liệu đo lực tác dụng và gia tốc tương ứng của dầm.

3.6 Kết quả thí nghiệm

Thí nghiệm đo dao động của kết cấu thu được lực tác dụng đầu vào và gia tốc tại các nút trên kết cấu dầm thép theo thời gian. Số liệu của một lần đo được thể hiện như trên hình 3, hình 4.



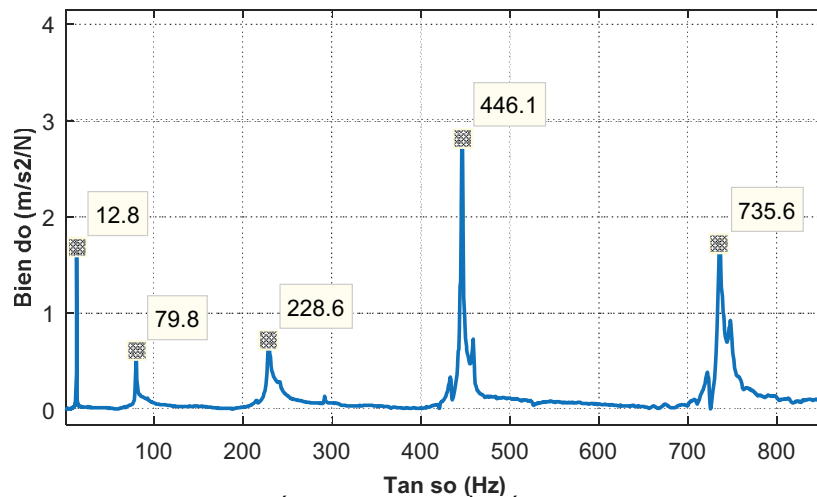
Hình 3. Gia tốc thu được từ dầm



Hình 4. Tải trọng từ búa lực tác dụng lên dầm

Với mỗi số liệu đo gia tốc và lực tương ứng thu được từ thí nghiệm, thực hiện biến đổi Fourier sang miền tần số và sử dụng công thức (9) để thu được hàm FRF tương ứng. Lấy trung bình các

hàm FRF cho cả bộ số liệu đo thu được đồ biên độ thị hàm FRF trung bình và kết quả nhận dạng 5 tần số dao động riêng đầu tiên được thể hiện như hình 5.



Hình 5. Kết quả nhận dạng tần số dao động riêng

So sánh các tần số dao động riêng thu được theo phương pháp thử nghiệm động và kết quả tính toán tần số dao động riêng theo lý thuyết được thể hiện trong bảng 3.

Trong đó, độ sai lệch trong kết quả nhận dạng tần số dao động riêng của kết cấu bằng phương pháp kích động cưỡng bức so với với phương pháp tính toán bằng giải tích được thể hiện ở công thức sau:

$$\Delta(\%) = \frac{f_a - f_t}{f_t} \times 100 \quad (11)$$

Với, f_a - tần số dao động riêng của kết cấu được nhận dạng bằng phương pháp kích động cưỡng bức;

f_t - tần số dao động riêng của kết cấu được tính toán bằng phương pháp giải tích 0.

Bảng 3. So sánh giá trị tần số dao động riêng giữa thực nghiệm và lý thuyết

Mode	Theo thực nghiệm (Hz)	Theo giải tích (Hz)	Sai lệch (%)
1	12.8	12.9	0.8
2	79.8	80.9	1.4
3	228.6	226.5	0.9
4	446.1	443.8	0.5
5	735.6	733.6	0.3

Từ bảng 3 thấy rằng, kết quả nhận dạng tần số dao động theo phương pháp thực nghiệm rất gần so với kết quả tính toán bằng giải tích và có sai lệch nhỏ.

4. Kết luận

Bài báo đã thực hiện thí nghiệm đo dao động của kết cấu dầm thép bằng phương pháp kích động cưỡng bức và sử dụng kỹ thuật phân tích miền tần số để nhận dạng các tần số dao động riêng của kết cấu.

Các kết quả nhận dạng tần số dao động riêng từ thực nghiệm phù hợp với tần số dao động riêng thu được từ lý thuyết và có sai số khá nhỏ. Điều đó cho thấy độ tin cậy của phương pháp thí nghiệm và phương pháp nhận dạng.

Phương pháp thực nghiệm có thể được ứng dụng để nhận dạng các đặc trưng dao động riêng của kết cấu, công trình trong quá trình khai thác, sử dụng hoặc khi có sự cố xảy ra nhằm kiểm soát và đánh giá trạng thái kỹ thuật công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng(2012), Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012, Bộ Xây dựng.

- [2] Phạm Đình Ba, Nguyễn Tài Trung (2010), Động lực học công trình, Nhà Xuất bản Xây Dựng.
- [3] Rown D. L., Allemang R. J., Zimmerman R., Mergeay M.(1979), "Parameter Estimation Techniques For Modal Analysis", SAE Technical Paper Series, No. 790221.
- [4] D. J. Ewins (2000), Modal Testing: Theory, Practice and Application, Imperial College of Science, technology and Medicine London.
- [5] Ibrahim S. R. and Mikulcik E. C.(1977), "A Method for the direct identification of vibration parameters from free response", Shock and Vibration Bulletin, 47, Part 4, pp. 183-198.
- [6] Allan Piersol, Thomas Paez (2009), Harris' Shock and Vibration Handbook, Mcgraw-hill.
- [7] Richardson M. H. & Formenti D. L.(1982), "Parameter Estimation from Frequency Response Measurements using Rational Fraction Polynomials", Proceedings of the 1st IMAC, Orlando, Florida, pp. 1-15.
- [8] Richardson M. H. & Formenti D. L.(1986), "Global Frequency and Damping from Frequency Response Measurements", Proceedings of the 4th IMAC, California, pp. 1-7.

Ngày nhận bài: 19/2/2017.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 22/3/2017.