

PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ THIẾT BỊ RUNG CẤP PHÔI SỬ DỤNG PHÂN TÍCH HÌNH THÁI DAO ĐỘNG

THE DESIGN METHOD OF THE VIBRATORY BOWL FEEDER USING MODAL ANALYSIS

Nguyễn Văn Mùi

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến tòa soạn ngày 10/12/2020, chấp nhận đăng ngày 08/01/2021

Tóm tắt: Trong công nghiệp hiện nay, thiết bị rung cấp phôi đã được dùng phổ biến để cấp các chi tiết có kích thước và khối lượng nhỏ. Trong phương pháp này rung động của thùng phân loại làm cho phôi di chuyển theo máng dẫn ra ngoài nhờ lực kích rung. Biên độ dao động lớn nhất khi tần số dao động riêng của thùng chứa trùng với tần số dao động của lực kích rung - vùng xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Tuy nhiên, với mỗi loại phôi khác nhau thì kết cấu của thùng phân loại khác nhau làm cho cơ chế dao động của nó cũng phức tạp và khó xác định bằng phương pháp toán học và thường được xác định bằng phương pháp thực nghiệm. Bài báo này trình bày một nghiên cứu bằng mô phỏng số với phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phân tích hình thái trên nền tảng Ansys Workbench, để xác định tần số dao động riêng của cơ hệ và xác nhận các thông số thiết kế, chế tạo của hệ thống cấp phôi bằng rung động. Sau đó tiến hành khảo sát thực nghiệm để kiểm chứng. Mô hình mô phỏng này có thể sử dụng để tìm ra thông số tối ưu cho kết cấu thùng cấp phôi trước khi chế tạo thiết bị.

Từ khóa: Thiết bị rung cấp phôi, phân tích hình thái, tần số dao động riêng, phễu cấp phôi.

Abstract: In the modern industry, vibratory bowl feeders - VBF have been widely used to feed small and light parts such as USB caps. In this method, the bowl's vibration, which caused by forced vibration and the friction between parts and track, helps convey the parts out of the feeder along the track. However, ensuring that the directional requirements before going out works correctly depends entirely on the sorting bowl. For different types of parts, sorting bowl design is different. This paper presents a digital simulation study, using the multibody dynamics analysis on the Adams View platform, to analyze the movements status of parts on the sorting bowl. And it uses modal analysis on the ANSYS Workbench platform to determine the natural-vibration frequency of the system, to determine the specific frequency of the mechanical system and confirm the design and manufacturing configuration of the bowl feeder system by vibration. Then conducting a practical survey to verify the results. This simulation model can be used to find the optimal parameter for the feeder tank structure before producing the devices

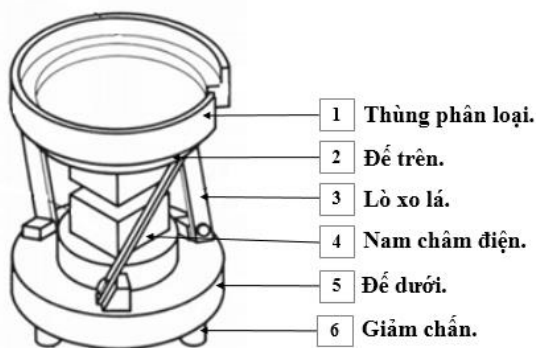
Keywords: Vibratory bowl feeders, modal analysis, natural-vibration frequency, bowl feeders.

1. GIỚI THIỆU

Năng suất cấp phôi phụ thuộc vào tỷ lệ phôi đúng hướng được đưa ra khỏi thùng phân loại trong một đơn vị thời gian. Trong quá trình cấp phôi sẽ di chuyển bên trong thùng phân

loại (1) với các cơ cấp định hướng và đi ra theo hướng yêu cầu [4]. Để làm được điều này, một thiết bị cấp phôi tự động theo nguyên lý rung động được thiết kế như hình 1. Các chi tiết được phân bố ngẫu nhiên trong thùng phân

loại (1) được gắn trên đế (2). Lực hút điện từ giữa cuộn hút gắn cố định vào đế trên (2) và nam châm điện (4) gắn cố định vào đế dưới (5) để cấp rung động cho phễu bằng các chuyển động xoay xung quanh trục thẳng đứng và chuyển động khứ hồi của lò xo lá (3), nhờ đó phôi được phân loại và định theo một hướng cụ thể. Lực tác dụng giữa hai phần của nam châm được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp từ hộp điều khiển. Giảm chấn (6) có tác dụng làm triệt tiêu các rung động của hệ thống ảnh hưởng đến các thiết bị khác. Tuy nhiên quá trình cấp phôi đi đúng hướng và đảm bảo năng suất phụ thuộc vào các yếu tố: tần số, biên độ của nguồn cấp rung và kết cấu phễu rung [1], [3], [5]-[7].



Hình 1. Hệ thống phễu rung cấp phôi tự động

Trong quá trình hoạt động dưới tác dụng của lực kích rung, cơ hệ có thể dao động ở rất nhiều các tần số khác nhau phụ thuộc vào tần số kích thích, khối lượng và độ cứng của cơ hệ. Đã có các nghiên cứu trước về vấn đề này bằng cách so sánh giữa lý thuyết và mô hình số [5] hay so sánh giữa mô hình số và thực nghiệm [6]. Trong đó tần số vận hành nên thực hiện từ 90 Hz đến 110 Hz để có chế độ hoạt động của thiết bị rung cấp phôi là tốt nhất, nơi mà tần số riêng của cơ hệ cộng hưởng với tần số thích [6] cho loại thiết bị có thể điều chỉnh được tần số. Với dòng thiết bị cố định tần số, bằng phân tích thực nghiệm [2] chỉ ra thiết bị rung cấp phôi hoạt động tốt cho việc cấp phôi

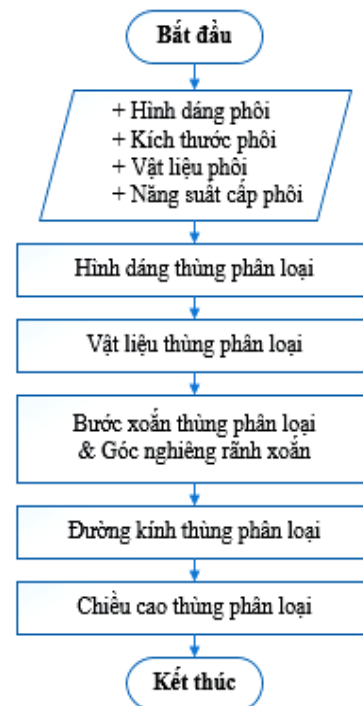
có tần số riêng của cơ hệ bằng hai lần tần số của dòng điện cung cấp cho nguồn rung. Do vậy ứng xử động lực học của cơ hệ thông qua tần số riêng trong mối quan hệ với các thông số đầu vào (tần số dòng điện và điện áp nguồn rung) cần được xác định để xây dựng phương án thiết kế.

Bài báo này, bằng phân tích mô phỏng số đề xuất một phương pháp thiết kế hệ thống rung cấp phôi theo phương án xác định tần số riêng của cơ hệ phù hợp với tần số của dòng điện cung cấp cho nguồn rung. Kết quả phân tích mô phỏng số được tiến hành chế tạo và phân tích thực nghiệm để kiểm chứng.

2. THIẾT KẾ THIẾT BỊ CẤP PHÔI RUNG

Kết cấu của thiết bị cấp phôi rung bao gồm thùng phân loại (phễu rung) dùng để chứa phôi, định hướng phôi theo yêu cầu đầu ra và kết cấu giá treo tạo rung động cho hệ thống.

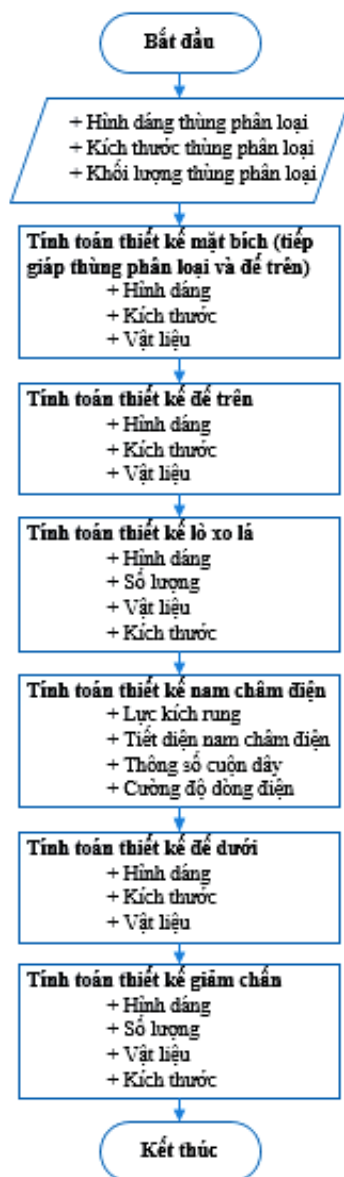
2.1. Thiết kế thùng phân loại phôi



Hình 2. Quy trình thiết kế hệ thùng phân loại

Thùng phân loại (phễu chứa phôi) phôi được

thiết kế trên cơ sở chọn kiểu hình dáng [1]. Quy trình tính toán được thực hiện như hình 2. Với các thông số đầu vào là hình dáng, kích thước, vật liệu phôi và năng suất cần cấp từ đó tính toán thiết kế thùng phân loại (1) hình 1 với vật liệu được lựa chọn phù hợp cho việc bảo quản đối tượng được cấp. Để phôi có thể di chuyển trên máng dẫn, bước xoắn và góc nghiêng của rãnh xoắn được tính toán, từ đó xác định được đường kính thùng phân loại. Với năng suất yêu cầu tính chiều cao thùng phân loại đảm bảo dung tích chứa phôi. Kết quả tính toán thông số thùng phân loại như bảng 1.



Hình 3. Quy trình thiết kế hệ thống treo

Hệ thống treo bao gồm (hình 1): đế trên (2), lò xo lá (3), nam châm điện (4), đế dưới (5) và giảm chấn (6). Hệ thống treo được thiết kế dựa vào phương pháp tính chọn và tra bảng theo tài liệu [1], quy trình tính toán được thực hiện như hình 3. Với thông số đầu vào là kích thước và khối lượng thùng phân loại có phôi (và không phôi) đã được tính từ phần trên, đế trên được tính chọn kích thước phù hợp với thùng phân loại và vật liệu yêu cầu. Lò xo lá được tính toán đảm bảo điều kiện điều chỉnh cơ cấu cấp phôi rung động ở chế độ cộng hưởng [1]. Nam châm điện được tính toán nhằm mục đích xác định lực kéo cần thiết để phôi đi lên cùng với năng suất yêu cầu. Khi đó tiết diện, thông số cũng như điện áp được tính toán. Để đảm bảo độ cứng vững cho hệ thống, đế dưới (5) được tính toán đảm bảo điều kiện khối lượng bên dưới bằng 5-7 lần khối lượng bên trên của lò xo lá. Nhằm tránh rung động của hệ thống đến các thiết bị khác một bộ giảm chấn (6) được xác định với tần số dao động của giảm chấn thấp hơn tần số dao động cộng hưởng để dao động cường bức và dao động riêng của giảm chấn ngược pha nhau. Kết quả của quá trình tính toán được trình bày tại bảng 1.

2.3. Thông số kỹ thuật của thiết bị cấp phôi.

Áp dụng cho phôi cần cấp là các nắp cao su của chai vaccin, kết quả tính toán và thông số kích thước thùng phân loại trình bày trong bảng 1. Vật liệu và thuộc tính cho các chi tiết máy rung được tra cứu và trình bày trong bảng 2. Liên kết ghép nối các chi tiết thành phần sử dụng mối ghép bu lông - đai ốc tiêu chuẩn.

Bảng 1. Bảng thông số thùng cấp phôi nắp chai vaccin

Phễu rung cấp phôi nắp chai vaccin			
TT	Tên chi tiết	Vật liệu	Kích thước (mm)
1	Thùng phân loại	SUS304	Đường kính: 372 Chiều cao: 100 Bước xoắn: 40

Phễu rung cấp phối nắp chai vacxin			
TT	Tên chi tiết	Vật liệu	Kích thước (mm)
2	Mặt bích	Thép 50MnCrVA	Đường kính ngoài: 140 Đường kính trong: 130 Chiều cao: 5.5
3	Đế trên lò xo lá	Gang	Đường kính ngoài: 284 Chiều cao: 110
4	Lò xo lá	Thép 50MnCrVA	Chiều dài: 110 Chiều rộng: 35 Bề dày: 2
5	Đế dưới lò xo lá	Gang	Đường kính: 290 Chiều cao: 140

Bảng 2. Bảng thông số đặc tính vật liệu được sử dụng

TT	Tên vật liệu	Khối lượng riêng (kg/cm ³)	Môđun đàn hồi (x10 ¹¹ Pa)	Hệ số Poisson
1	SUS304	7850	2,1	0,305
2	Gang	8545	1,06	0,324
3	Thép 50CrMnVA	7800	2,1	0,300

2.4. Phương trình dao động của cơ hệ

Phương trình dao động theo phương thẳng đứng (Z) [9]:

$$M \cdot \ddot{Z} + R \cdot \dot{Z} + K \cdot Z = F_0 \cdot (\sin(\omega \cdot t))^2 \quad (1)$$

Trong đó:

M - khối lượng của các thành phần trên lò xo lá (Phôi cấp + thùng phân loại + mặt bích + đế trên).

R - cản nhớt;

K - độ cứng của cơ hệ;

F_0 - cường độ lực điện từ;

ω - tần số góc của dòng điện kích thích.

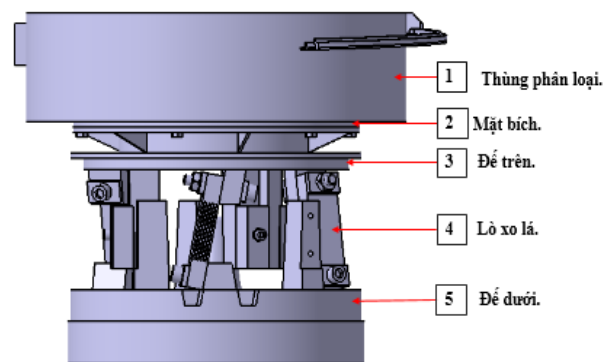
Biến đổi phương trình (1) ta được:

$$M \cdot \ddot{Z} + R \cdot \dot{Z} + K \cdot Z = \frac{F_0}{2} \cdot (1 - \cos(2 \cdot \omega \cdot t)) \quad (2)$$

Từ phương trình (2) ta thấy lực điện từ được chia ra làm 2 thành phần: thành phần không đổi và thành phần biến thiên tuần hoàn với tần số bằng 2 lần tần số của dòng điện kích thích. Do đó hiện tượng dao động xảy ra ở thùng cấp phối là hiện tượng dao động cưỡng bức với lực điện từ kích thích biến thiên tuần hoàn có tần số bằng 2 lần tần số dòng điện [1], [2], [9]. Nên khi cấp dòng điện có tần số 50 Hz thì tần số của lực kích rung là 100 Hz, do vậy cơ hệ thiết kế cần có tần số dao động riêng 100Hz.

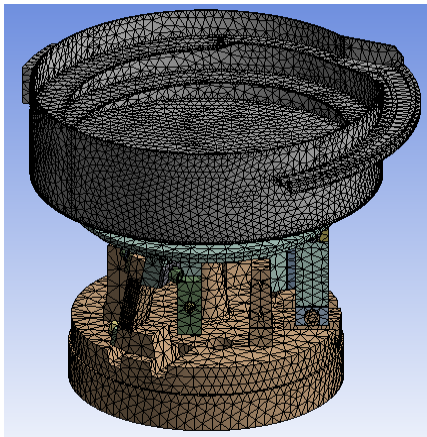
3. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG

3.1. Mô hình hóa thiết bị rung cấp phối



Hình 4. Mô hình hình của thiết bị rung cấp phối

Tần số dao động riêng của cơ hệ chỉ phụ thuộc vào độ cứng K , khối lượng M (gồm lò xo lá, và các chi tiết phía trên lò xo lá) cũng như kiểu tiếp xúc giữa lò xo lá với đế dưới [9]. Do đó từ các thông số đã xác định trong phần 2.3, mô hình hình học của thiết bị rung cấp nắp cao su của chai vacxin được xây dựng như hình 4 và mô hình phần tử hữu hạn hình 5 là đủ để phân tích tìm ra tần số dao động riêng của cơ hệ. Mô hình phần tử hữu hạn, các phần tử được sử dụng cho mô hình là phần tử tứ diện Solid187 và liên kết cứng (Bonded) sử dụng Contac174, Targe170. Mô hình này có tổng số phần tử là 73459 và tổng số nút là 144634. Vật liệu sử dụng cho các chi tiết như mô tả trong bảng 1 và đặc tính vật liệu mô tả trong bảng 2.



Hình 5. Mô hình hình phân tử hữu hạn

3.2. Công cụ mô phỏng

Ansys Workbench là bộ phần mềm thương mại đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới để phân tích giải quyết các bài toán khoa học và kỹ thuật trong đó có phân tích hình thái. Nghiên cứu này sử dụng môđun Modal Analysis của phần mềm Ansys Workbench để mô phỏng và phân tích hình thái dao động tại các giá trị tần số dao động riêng cơ bản của hệ thống. Qua đó xác định được hình thái làm việc thực tế của hệ thống thông qua mô phỏng. Cũng như có phương hướng thiết kế tránh các hình thái phương hại đến hoạt động của cơ hệ khi có phương lực và tần số tác động tương ứng.

3.3. Quy trình mô phỏng trên Ansys Workbench

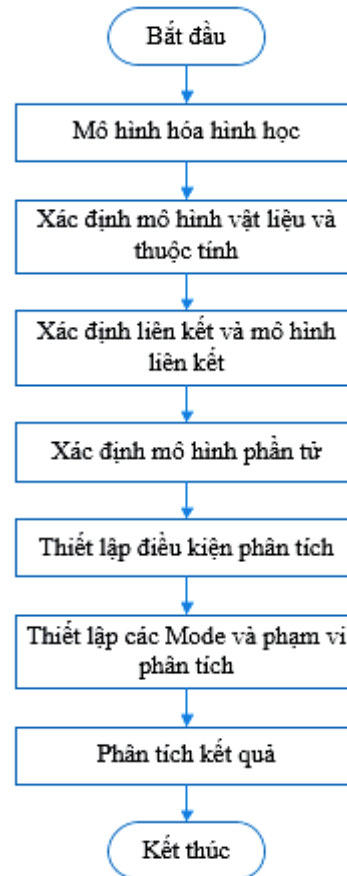
Phân tích hình thái dựa trên phương pháp tính toán lý thuyết, tần số dao động riêng của hệ được xác định bằng phương trình sau:

$$\det([K] - \omega^2[M]) = 0 \quad (3)$$

Trong đó: $[M]$ và $[K]$ là ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của hệ được thành lập từ các đại lượng tương ứng của hệ ở trạng thái kích thích.

Bằng thuật giải theo phương pháp phần tử hữu hạn, phân tích hình thái cho phép xác định các tần số dao động riêng cơ bản và hình thái dao động của cơ hệ tại các giá trị tần số dao động

này với quy trình như hình 6. Trong đó mô hình số thực hiện mô phỏng của hệ thống bao gồm mô hình hình học, mô hình phần tử, liên kết và thuộc tính vật liệu như phần 3.1. Phạm vi phân tích hình thái được lựa chọn từ 6 tần số dao động riêng cơ bản phù hợp với phạm vi hoạt động thực tế hoạt động của loại thiết bị này.



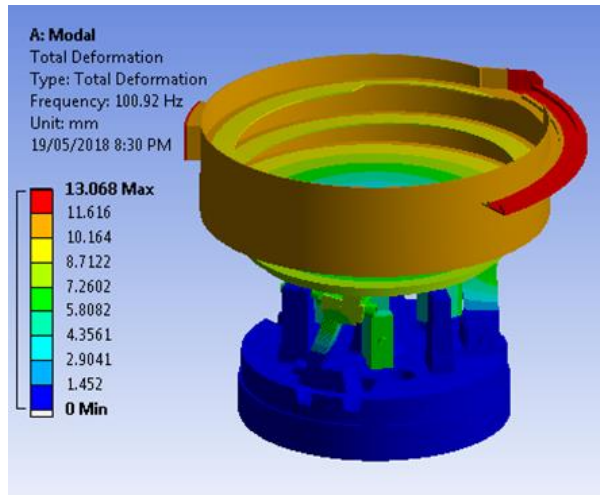
Hình 6. Quy trình phân tích Modal trên Ansys Workbench

3.4. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng cho thấy hình thái chuyển động xoay quanh trục Z của cơ hệ như trong hình 7.

Theo kết quả này hình thái chuyển động tại tần số dao động riêng quay quanh trục Z có tính tương đồng với công bố của A. Kadam và M. Pisotre, 2017 [6]. Tại tần số dao động riêng 100,92 Hz có hình thái chuyển động xoay quay trục đối xứng trùng với hình thái hoạt động của thiết bị rung cấp phối. Từ đó xác nhận được các thông số kết cấu, vật liệu của

thùng phân loại và bích ghép nối giữa thùng phân loại với hệ thống treo sao cho cơ hệ có tần số riêng bằng tần số của lực kích thích và bằng hai lần tần số của dòng điện cấp cho nguồn rung.



Hình 7. Hình thái chuyển động quay quanh trục Z (100.92 Hz)

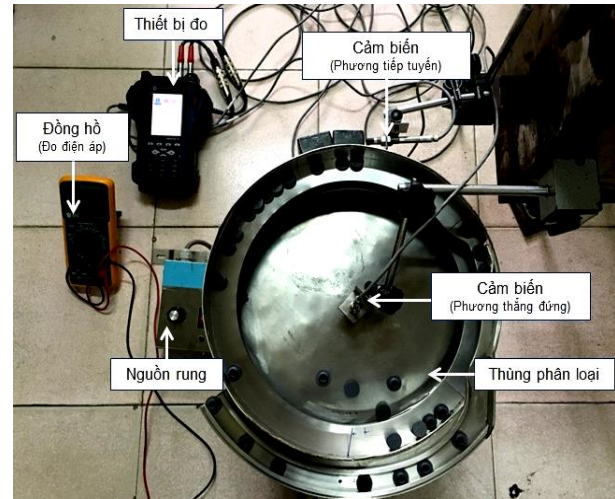
4. CHẾ TẠO VÀ THỰC NGHIỆM

Để kiểm nghiệm kết quả phân tích thiết kế, nhóm tác giả đã tiến hành chế tạo một thiết bị rung cấp phôi nắp cao su của chai vacxin với các thông số đã xác nhận tại phần 2.3. Để xác định tần số dao động riêng của hệ thống, nghiên cứu này sử dụng thiết bị đo VIBROPOST 80- Brüel & Kjær Vibro, sơ đồ bố trí thiết bị cần khảo sát và thiết bị đo như hình 8, phương án này cũng phù hợp với các phương án đã công bố [4]-[6]. Qua đó xác định được tần số riêng của cơ hệ. Kết quả thu được là chuyển vị của các chi tiết theo thời gian và tần số đáp ứng của cơ hệ và tần số dao động riêng của các chi tiết máy.

4.1. Sơ đồ và thiết bị đo

Thiết bị đo sử dụng hai cảm biến tiệm cận, cho phép đo được biên độ cũng như tần số rung mà không cần tiếp xúc. VIBROPOST 80 cho phép kết nối với bốn môđun vì vậy nó có thể đo cùng một lúc cả dao động theo phương đứng và phương tiếp tuyến. Ngoài ra, thiết bị này

còn có thể xác định được tần số riêng của từng chi tiết trong hệ thống. Với thiết bị lưu trữ ngoài, VIBROPOST 80 cho phép lưu trữ và xử lý số liệu ngay trên thiết bị. Thông số kỹ thuật của thiết bị đo như bảng 3.

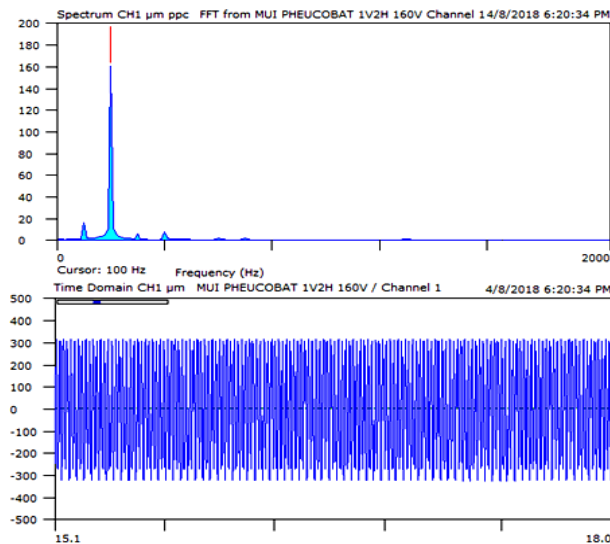


Hình 8. Sơ đồ và thiết bị đo VIBROPOST 80

Bảng 3. Bảng thông số thiết bị đo VIBROPOST 80

Thiết bị VIBROPOST 80- Brüel & Kjær Vibro		
TT	Thông số kỹ thuật	Phạm vi đo
1	Thông số đo	Vận tốc, gia tốc, chuyển vị, tần số
2	Dải tần số đo	0,18 Hz-80 kHz
3	Số modul	4
4	Màn hình hiển thị	Màn hình màu VGA/LCD
5	Kích thước màn hình	220 × 220 × 71 mm
6	Xử lý tín hiệu	Trên màn hình hoặc máy tính
7	Tín hiệu hiển thị	Đồng thời (vt, gt, cv, ts)
8	Đo tần số riêng	Có
9	Bộ nhớ ngoài	16Gb SD/SDHC
10	Bộ nhớ trong	128 Mb
11	Phần mềm kết nối máy tính	ReX PC
12	Cấp độ bảo vệ	IP65

4.2. Kết quả thực nghiệm và xử lý số liệu



Hình 9. Tần số riêng và biên độ dao động

Thực nghiệm cho thấy phôi đã di chuyển tốt trên các kênh phân loại. Để thuận tiện cho công việc nghiên cứu, nhóm tác giả đã lấy dữ liệu chuyển vị theo phương thẳng đứng và góc xoay theo thời gian và xử lý dữ liệu trên phần mềm ReX - đây là phần mềm được phát triển riêng cho VP80. Sau khi xử lý, kết quả cho ra là tần số đáp ứng của cơ hệ cũng như biên độ dao động như hình 9.

Kết quả thực nghiệm (hình 9) cho thấy điện áp đầu là dòng xoay chiều có tần số 50 Hz, thì tần

số lực kích rung là 100 Hz. Biên độ dao động của hệ thống phụ thuộc vào điện áp. Điện áp càng tăng thì biên độ tăng. Tuy nhiên, tần số dao động riêng của cơ hệ ở mọi mức điện áp đều là 100 Hz. Điều này cho thấy hệ số làm việc ở chế độ cộng hưởng, tần số dao động riêng của hệ thống bằng tần số lực kích rung.

5. KẾT LUẬN

Đáp ứng động lực học chỉ ra tần số làm việc của cơ hệ là 100 Hz tương ứng với tần số lực kích thích (100 Hz). Đây là hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi dao động cưỡng bức trùng với tần số dao động riêng của cơ hệ. Qua đó xác nhận phương án thiết kế và mô phỏng là tương đồng với thực nghiệm. Đồng thời xác nhận phương án thiết kế thiết bị rung cấp phôi với đề xuất cố định tần số dòng điện cấp cho nguồn rung và thiết kế kết cấu để cơ hệ có tần số dao động riêng trùng với tần số của lực kích thích bằng phân tích hình thái là khả thi. Phương án này nên được sử dụng cho thiết kế thiết bị rung cấp phôi với các loại phôi rời rạc có kích thước và khối lượng nhỏ khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.V. Địch, *Tự động hóa sản xuất*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, (2006).
- [2] L.G. Nam and N. V. Mui, *Một phương pháp khảo sát bằng thực nghiệm thiết bị rung cấp phôi*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, (6), (2018).
- [3] L.G. Nam and N.V. Mui, *Ứng dụng mô phỏng số trong đánh giá sự ảnh hưởng của tần số rung đến các thông số động học của phôi trong hệ thống cấp phôi tự động theo nguyên lý kích rung*. Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, (1), p.149–154, (2014).
- [4] E. Mucchi, R. Di Gregorio, and G. Dalpiaz, *Elastodynamic analysis of vibratory bowl feeders: Modeling and experimental validation*. Mech. Mach. Theory, 60, p.60–72, (2013).
- [5] S.B. Choi and D.H. Lee, *Modal analysis and control of a bowl parts feeder activated by piezoceramic actuators*. J. Sound Vib, 275, (1–2), p.452–458, (2004).
- [6] A. Kadam and M. Pisotre, *Modal Analysis of Vibratory Bowl Feeder Machine*. IJRMEE, 4, (12), p.5–10, (2017).
- [7] Y.M. Park et al., *Design, fabrication and commissioning of the KSTAR TF current feeder system*. Fusion Eng. Des, 86, (6–8), p.1440–1444, (2011).
- [8] G. Boothroyd, *Assembly automation and product design*, (1992).
- [9] J.A. Vilán Vilán, A. Segade Robleda, P.J. García Nieto, and C. Casqueiro Placer, *Approximation to the dynamics of transported parts in a vibratory bowl feeder*. Mech. Mach. Theory, 44, (12), p.2217–2235, (2009).

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Văn Mùi**

Điện thoại: 0912878799 - Email: nvmui@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

