

## PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐÁNH GIÁ RUNG ĐỘNG CỦA ROBOT 3-DOF DƯỚI TÁC ĐỘNG DAO ĐỘNG TỪ ĐỘNG CƠ DẪN ĐỘNG

DYNAMIC ANALYSIS AND VIBRATION EVALUATION OF 3-DOF ROBOT UNDER  
THE IMPACT OF OSCILLATION FROM THE DRIVE MOTOR

ThS. Nguyễn Thùy Dung

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Email: [ntdung.kck@uneti.edu.vn](mailto:ntdung.kck@uneti.edu.vn)

### TÓM TẮT

*Nghiên cứu này trình bày mô phỏng động lực học của robot 3 bậc tự do khi chịu dao động cưỡng bức từ ba động cơ dẫn động, với mục tiêu đánh giá chuyển vị, vận tốc và gia tốc đáp ứng theo thời gian. Phân tích được thực hiện trong Abaqus/Standard với mô đun Dynamic–Implicit. Kết quả cho thấy biên độ dao động của robot đều nằm trong vùng vi mô, chứng tỏ robot có độ cứng cao và ít bị ảnh hưởng bởi rung động động cơ trong quá trình vận hành.*

**Từ khóa:** Robot 3 bậc tự do; Dao động cưỡng bức; Động cơ dẫn động; Phân tích động lực học.

### ABSTRACT

*This study presents the dynamic simulation of a 3-degree-of-freedom robot subjected to forced vibrations from three drive motors, with the aim of evaluating the displacement, velocity and acceleration responses over time. The analysis was performed in Abaqus/Standard with the Dynamic–Implicit module. The results show that the robot's vibration amplitudes are all in the micro-range, demonstrating that the robot has high stiffness and is less affected by motor vibrations during operation.*

**Keywords:** 3-degree-of-freedom robot; Forced oscillation; Drive motor; Dynamic analysis.

## 1. GIỚI THIỆU

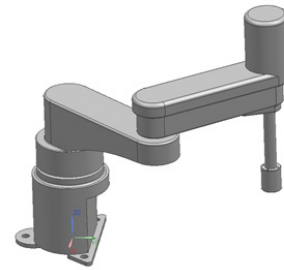
Dao động phát sinh từ động cơ dẫn động là nguyên nhân chính gây sai lệch vị trí, giảm chất lượng thao tác và ảnh hưởng đến độ bền của robot công nghiệp, do đó việc mô phỏng đáp ứng dao động theo miền thời gian có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế và tối ưu hóa hệ thống [1]. Các nghiên cứu quốc tế đã chỉ ra hiệu quả của phân tích phổ tần số, mô phỏng động lực học theo miền thời gian và tối ưu hóa hình học nhằm dự đoán và giảm rung động trong robot công nghiệp [2-4].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu tập trung vào ảnh hưởng của vật liệu và độ cứng khớp nối đến đặc tính dao động và khả năng dịch chuyển tần số cộng hưởng ra khỏi vùng làm việc [5, 6]. Tuy nhiên, các nghiên cứu mô phỏng đáp ứng dao động cưỡng bức theo miền thời gian đối với robot 3 bậc tự do vẫn còn hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Abaqus) để mô phỏng kích thích cưỡng bức tác dụng lên robot, đánh giá các đại lượng chuyển vị, vận tốc, gia tốc và năng lượng biến dạng, nhằm làm rõ ảnh hưởng của dao động động cơ đến độ ổn định và khả năng làm việc của robot.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Mô hình hóa robot

Robot 3 bậc tự do được mô hình hóa gồm ba khâu liên kết bằng các khớp quay, cho phép chuyển động trong mặt phẳng làm việc. Hình học và phân bố khối lượng của từng khâu được xây dựng theo cấu trúc thực tế trên CAD và chuyển sang mô hình phần tử hữu hạn để phân tích. Hình 1 minh họa mô hình 3D cánh tay robot trong NX.



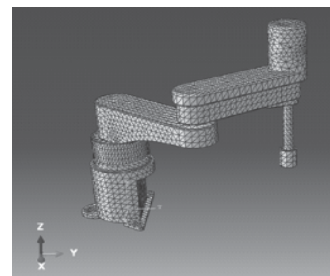
Hình 1. Mô hình hóa cánh tay robot trong phần mềm NX

Mỗi khâu robot được giả thiết là phần tử khối đàn hồi tuyến tính, với các thông số vật liệu gồm mô-đun đàn hồi, hệ số Poisson và mật độ lấy từ dữ liệu thực tế. Các khớp quay được mô phỏng bằng ràng buộc kinematic, cho phép chuyển động quay quanh trục nhưng không dịch chuyển tịnh tiến. Bảng 1 trình bày các thông số vật liệu của cánh tay robot.

Bảng 1. Thông số vật liệu của thép hợp kim.

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Mô đun đàn hồi (E)          | 200 Gpa                |
| Khối lượng riêng ( $\rho$ ) | 7850 kg/m <sup>3</sup> |
| Hệ số Poisson ( $\nu$ )     | 0.33                   |

Hình học robot được chia lưới bằng phần tử tứ diện, với mật độ lưới tăng cường tại vùng gần khớp để đảm bảo độ chính xác mô phỏng dao động và ứng suất. Tổng số phần tử là 36321, được lựa chọn nhằm cân bằng giữa độ chính xác và thời gian tính toán. Hình 2 minh họa mô hình chia lưới trong Abaqus.



Hình 2. Chia lưới cánh tay robot trong phần mềm Abaqus

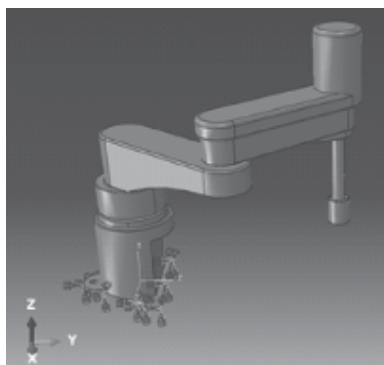
Trong nghiên cứu này, dao động từ động cơ dẫn động được tác dụng lên các khâu robot để khảo sát đáp ứng động lực của toàn hệ. Vì vậy, mô hình hóa hình học đóng vai trò then chốt trong việc mô tả chính xác độ cứng, khối lượng và phân bố quán tính, những yếu tố chi phối khả năng lan truyền dao động trong robot.

## 2.2. Thiết lập mô phỏng

Phân tích dao động cưỡng bức được thực hiện trong Abaqus/Standard bằng bộ giải Dynamic, Implicit để mô tả đáp ứng theo miền thời gian. Thời gian mô phỏng từ 0 đến 0,2 s với bước thời gian tự động, giới hạn cực đại  $1 \times 10^{-4}$  s.

Tải dao động điều hòa được áp lên các khâu robot nhằm mô phỏng tác động từ động cơ dẫn động, với hàm kích thích  $F(t) = F_0 \sin(2\pi ft)$ , trong đó  $F_0 = 10$  N và  $f = 20$  Hz. Các khớp quay được ràng buộc theo đặc trưng động học thực tế, không xét ma sát và khe hở để tập trung vào đáp ứng đàn hồi tuyến tính.

Điều kiện biên được thiết lập bằng cách cố định tuyệt đối đế robot, các khâu còn lại dao động tự do theo các bậc tự do cho phép. Hình 3 minh họa điều kiện ràng buộc trong mô phỏng Abaqus.



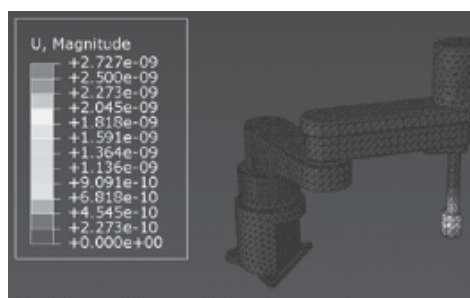
Hình 3. Gán điều kiện ràng buộc cho cánh tay robot trong phần mềm Abaqus

Trong giai đoạn hậu xử lý, các đại lượng được trích xuất theo thời gian bao gồm: chuyển vị (U), vận tốc (V), gia tốc (A). Các phân bố trường theo không gian được sử dụng để đánh giá mức độ tập trung biến dạng và tác động của tải động lên từng khâu.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Trường chuyển vị

Hình 4 trình bày phân bố độ lớn chuyển vị của robot ba bậc tự do trong điều kiện chịu tác động dao động từ các cơ cấu dẫn động. Kết quả cho thấy chuyển vị cực đại đạt khoảng  $2.73 \times 10^{-9}$  m, xuất hiện tại khâu chấp hành cuối. Các khâu gần đế có giá trị nhỏ hơn đáng kể, dao động quanh  $0 - 1.0 \times 10^{-9}$  m.



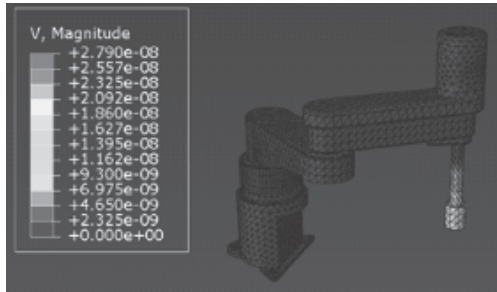
Hình 4. Độ lớn chuyển vị của robot ba bậc tự do trong điều kiện chịu tác động dao động từ các cơ cấu dẫn động

Biên độ chuyển vị rất nhỏ chứng tỏ hệ kết cấu có độ cứng cao và khả năng hạn chế biến dạng tốt. Phân bố chuyển vị tăng dần theo chiều dài chuỗi khâu là phù hợp với đặc trưng động lực học của robot có cấu trúc nối tiếp, nơi các bậc xa đế tích lũy biến dạng từ các bậc phía trước.

### 3.2. Trường vận tốc

Hình 5 thể hiện trường vận tốc của hệ thống, với vận tốc cực đại đạt  $2.79 \times 10^{-8}$  m/s

tại khâu cuối, lớn hơn khoảng một bậc so với chuyển vị tương ứng. Phần đế gần như đứng yên ( $\approx 0$  m/s), trong khi vận tốc tăng dần theo hướng truyền chuyển động.

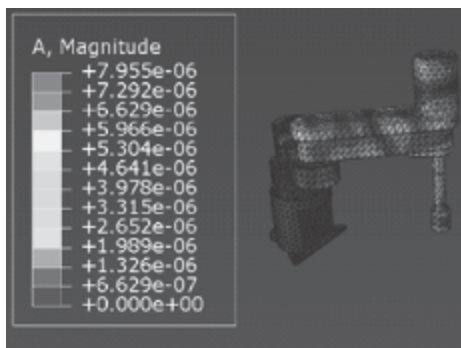


Hình 5. Trường vận tốc của cánh tay robot

Kết quả này phản ánh rõ ảnh hưởng của dao động cưỡng bức từ các cơ cấu dẫn động như sau. Các khâu càng xa gối cố định càng dễ bị kích thích dao động. Phân bố vận tốc mượt và không xuất hiện giá trị đột biến, cho thấy mô hình động lực học và điều kiện biên được thiết lập ổn định.

### 3.3. Trường gia tốc

Hình 6 cho thấy gia tốc tập trung chủ yếu tại khâu cuối của robot, trong khi các khâu gần đế có giá trị gần bằng không. Gia tốc cực đại đạt khoảng  $3.16 \times 10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>, phản ánh xu hướng gia tăng dao động theo khoảng cách đến gối cố định trong chuỗi khâu nối tiếp.



Hình 6. Gia tốc của cánh tay robot dưới tác dụng của tần số dao động.

Giá trị gia tốc nhỏ cho thấy dao động kích thích chỉ ở mức vi dao động, phản ánh độ cứng tổng thể cao và khả năng giảm dao động tốt của kết cấu robot.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình phân tử hữu hạn cho robot 3 bậc tự do và mô phỏng dao động cưỡng bức theo miền thời gian dưới tác động của lực tuần hoàn từ cơ cấu dẫn động. Kết quả cho thấy chuyển vị, vận tốc và gia tốc đạt giá trị lớn nhất tại khâu cuối, phù hợp với quy luật lan truyền dao động trong chuỗi khâu robot. Biên độ dao động rất nhỏ, chứng tỏ kết cấu có độ cứng vững cao và ảnh hưởng dao động đến sai số định vị là không đáng kể. Các kết quả này là cơ sở cho việc đánh giá đáp ứng động, tối ưu hóa thiết kế và cải thiện chiến lược điều khiển; các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng sang phân tích phổ tần, đa tải trọng và xét đến ma sát, độ rơ khớp. ♦

Ngày nhận bài: 09/3/2026

Ngày phản biện: 19/3/2026

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Gupta, S. K. (2020), “Structural optimization to suppress vibration in articulated robotic arms”. International Journal of Robotics and Automation, 35(2), 145-158.
- [2]. Pritz, R. A. (2018), “The necessity of frequency analysis in robot design and control”. Journal of Mechanical Systems, 12(4), 101-115.
- [3]. Ma, H. B., & Chen, S. B. (2019), “Time-domain vibration response analysis of servo-driven robot manipulators”. Mechanical Engineering Research, 27(1), 33-47.
- [4]. Kim, G. L., Park, J. S., & Lee, H. W. (2021), “Separation of control-induced and structural vibration in industrial robots”. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 68, 102-118.
- [5]. Nguyễn, V. T., Lê, A. Q., & Phạm, N. D. (2021), “Ảnh hưởng của vật liệu và cấu hình đến đáp ứng động lực học của robot công nghiệp”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 45(6), 55-62.
- [6]. Trần, M. H. (2022), “Phân tích độ cứng khớp nối và sai số chuyển động của robot nhiều bậc tự do”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 26(3), 112-120.