

TRONG SỐ NÀY

TIN TỨC VÀ SỰ KIỆN (4-7)

Trang

Đoàn Công tác của Bộ Công Thương: Đi thăm và làm việc với Bộ Kinh tế Đài Loan... 4

VẤN ĐỀ HỒM NAY (8-12)

- Tăng cường truyền thông cho sản phẩm cơ khí..... 8

NGHIÊN CỨU - TRAO ĐỔI (13-123)

1. **Dương Ngọc Khánh:** Nghiên cứu, khảo sát độ êm dịu của xe buýt đi trong đô thị ở Việt Nam..... 13
2. PGS,TS. **Vũ Quý Đạt**, TS. **Phùng Xuân Sơn**, ThS. **Nguyễn Quốc Hoàn:** Nghiên cứu mối liên hệ của các thông số công nghệ đến chất lượng sản phẩm khi ép nhựa sử dụng kênh dẫn nhựa nóng..... 19
3. **Nguyễn Thế Công**, **Trần Đức Hoàn:** Tính toán lực và độ bền kết cấu nam châm vĩnh cửu – gông rotor của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng trong hệ thống phong điện..... 25
4. TS. **Trần Ngọc Thanh:** Nghiên cứu công nghệ hàn TIG tự động trong thân vỏ khoang chiến đấu tên lửa đối hải..... 31
5. **Tường Ngọc Tú**, TS. **Hoàng Minh Thuận:** Nghiên cứu về lập kế hoạch sản xuất vô điện thoại số lượng lớn..... 36
6. **Lê Thanh Sơn**, **Trần Trung Kiên**, **Nguyễn Thanh Nam:** Ứng dụng phương pháp thiết kế sản phẩm theo mô-đun trong thiết kế máy tạo mẫu nhanh thiếu kết laser..... 43
7. ThS. **Phạm Vũ Dũng**, GS,TS. **Đào Văn Hiệp:** Lựa chọn điều kiện mài cho hợp kim Titan Ti-6AL-4V bằng phương pháp Taguchi..... 50
8. TS. **Lê Văn Sỹ**, PGS,TS. **Nguyễn Thanh Nam:** Nâng cao khả năng tạo hình kim loại tấm không khuôn bằng phương pháp gia nhiệt trực tiếp..... 57
9. **Nguyễn Quốc Uy**, **Nguyễn Nguyên An**, **Tạ Văn Chương:** Nghiên cứu thực nghiệm đặc tính làm việc của bộ thu năng lượng mặt trời để đun nước nóng tại Việt Nam..... 65
10. **Triệu Quý Huy**, **Hoàng Văn Gọt:** Tối ưu hóa lưu lượng dòng khí trong buồng lọc để nâng cao hiệu suất của thiết bị lọc bụi tĩnh điện..... 73
11. TS. **Lê Văn Ngự**, ThS. **Phạm Công Kiên**, ThS. **Nguyễn Văn Huỳnh:** Miền giới hạn chuyển động và quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu của robot công nghiệp..... 76
12. TS. **Lê Văn Sỹ**, ThS. **Bùi Anh Phi:** Khả năng tạo hình kim loại SUS 304 không dùng khuôn ở nhiệt độ cao..... 81
13. **Nguyễn Văn Huân**, PGS,TS. **Phạm Văn Hùng**, TS. **Nguyễn Thị Ngọc Huyền:** Nghiên cứu khảo sát tính năng ma sát của cặp ma sát má phanh xe máy..... 91
14. **Nguyễn Văn Đoàn**, PGS,TS. **Phạm Văn Hùng**, TS. **Nguyễn Thị Ngọc Huyền:** Nghiên cứu mòn và tuổi thọ của cặp ma sát cổ góp chổi than động cơ điện DC..... 97
15. ThS. **Lê Xuân Đoan**, TS. **Trần Thế Văn**, ThS. **Phạm Quốc Hòa:** Phân tích chuyển vị của tấm composite lớp trên nền đàn hồi chịu tải trọng di chuyển bằng phương pháp phân tử hữu hạn..... 106
16. **Hoàng Thanh Thao**, **Nguyễn Thị Hiền:** Research of effects of thread size, length, time to catgut absorbable surgical sutures' strength and elongation..... 111
17. **Lê Thanh Danh**, **Lê Hồng Sơn:** Modeling and simulation of wind energy conversion system using hydrostatic transmission..... 116

AN TOÀN LAO ĐỘNG (124-125)

- Công ty TNHH NN MTV Cơ khí Hà Nội làm tốt công tác An toàn vệ sinh lao động.... 124

DOANH NGHIỆP VÀ HỘI NHẬP (126-127)

- Doanh nghiệp cơ khí bị phân biệt đối xử..... 126

CÔNG NGHỆ MỚI VÀ SẢN PHẨM MỚI (128-129)

- Tua bin gió trực đứng công suất nhỏ..... 128

CƠ KHÍ THẾ GIỚI (130)

- Xe mô tô chạy 500 km bằng... 1 lít nước..... 130

VĂN HOÁ XÃ HỘI (131-132)

- Sáng ngời đạo lý đền ơn đáp nghĩa, uống nước nhớ nguồn..... 131

TỔNG BIÊN TẬP
 ThS. **DƯƠNG THANH BÌNH**

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
 PGS,TS. **NGUYỄN CHÍ SÁNG**
 KS. **LÊ VĂN TUẤN**
 PGS,TS. **ĐẶNG VĂN NGHÌN**
 Nhà báo **NGUYỄN TIẾN DŨNG**

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP
 TS. **ĐỖ HỮU HẢO** (Chủ tịch)
 GS,TSKH. **BÀNH TIẾN LONG** (P. Chủ tịch)
 KS. **TẠ QUANG MAI** (P. Chủ tịch)
 TSKH. **PHAN XUÂN DŨNG**
 PGS,TS. **HÀ MINH HÙNG**
 PGS,TS. **TRƯƠNG VIỆT ANH**
 PGS,TS. **ĐINH VĂN CHIẾN**
 GS,TSKH. **PHẠM VĂN LANG**
 TS. **TRẦN ĐỨC QUÝ**
 TS. **LƯƠNG VĂN TIẾN**
 PGS,TS. **VŨ NGỌC PI**
 ThS. **NGUYỄN TIẾN VY**
 GS,TS. **CHU VĂN ĐẠT**
 TS. **NGUYỄN VĂN CHƯƠNG**
 GS,TS. **NGUYỄN TRỌNG GIÁNG**
 PGS,TS. **TRẦN VĂN HÙNG**
 PGS,TS. **ĐÀO QUANG KẾ**
 PGS,TS. **NGUYỄN VĂN BẦY**
 PGS,TS. **ĐÀO DUY TRUNG**
 PGS,TS. **LÊ THU QUÝ**
 TS. **NGUYỄN TIẾN VINH**
 TS. **DƯƠNG VĂN TÀI**
 TS. **LÊ MINH LŨ**

THƯ KÝ TÒA SOẠN
 HÀ DUY KHÁNH

THIẾT KẾ MỸ THUẬT
 ĐÀO NGỌC MY

TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM
 Số 4 Phạm Văn Đồng, P. Mai Dịch,
 Cầu Giấy, Hà Nội
Điện thoại: (04) 37 920 651 – 0904 177 637
Fax: (04) 37 920 650
E – mail: teckvietnam@gmail.com
Văn phòng đại diện:
1. Tại TP. Hồ Chí Minh:
 Số 17/6 Nguyễn Phúc Chu, P.15, Q. Tân Bình,
 TP. Hồ Chí Minh
2. Tại tỉnh Quảng Ninh:
 Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,
 Liên Phường, Phường Đông, Uông Bí, Quảng Ninh
Điện thoại: (033) 6 292 168 – 0904 116 189
E – mail: minhthuan.teckvn@gmail.com
3. Tại Thái Nguyên:
 Số 234 Phú Xá, TP. Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên
Điện thoại: (0280) 3847 110 - 0974 905 578
Fax: (0280) 384 7453
E – mail: teckvn.vpdtdn@gmail.com

Giấy phép xuất bản
 Số 884/GP-BTTTT, ngày 09 tháng 6 năm 2011
In tại: Nhà in Khoa học Công nghệ Hà Nội

Giá: 30.000 đồng

MIỀN GIỚI HẠN CHUYỂN ĐỘNG VÀ QUỸ ĐẠO TRẠNG THÁI CHUYỂN ĐỘNG TỐI ƯU CỦA ROBOT CÔNG NGHIỆP

THE LIMITED ZONE OF MOTION AND OPTIMAL TRAJECTORY
OF INDUSTRIAL ROBOT

TS. Lê Văn Ngự¹, ThS. Phạm Công Kiên², ThS. Nguyễn Văn Huỳnh³

¹Viện VIELINA

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp xác định quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu, dựa vào điều kiện giới hạn động lực học để xác định miền giới hạn chuyển động và tính chất của tất cả các quỹ đạo trạng thái chuyển động thuộc miền đó. Áp dụng cho việc xác định quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu thời gian và tối ưu năng lượng cho các giai đoạn của một chu trình chuyển động của tay máy có 2 khâu quay.

Từ khóa: Robot; Giới hạn; Chuyển động; Quỹ đạo; Tối ưu; Thời gian; Năng lượng.

ABSTRACT

This paper presents the method for determining the optimal trajectory based on limited condition of dynamics to define the limited motion zone and the characters of all of trajectories in that zone. Its application to determination for the optimal trajectories of time and energy for periods in motion cycle of manipulator with two rotary links.

Keywords: Robot; Limit; Motion; Trajectory; Optimal; Time; Energy.

1. GIỚI THIỆU

Việc điều khiển chuyển động của robot công nghiệp từ trạng thái ban đầu đến trạng thái cuối cho trước có thể được thực hiện theo vô số quỹ đạo chuyển động khác nhau, vì vậy, cần phải chọn quỹ đạo chuyển động tối ưu theo mục tiêu được đặt ra. Việc áp dụng các lý thuyết điều khiển tối ưu kinh điển cho bài toán này còn gặp nhiều khó khăn vì các lý thuyết này chỉ là những điều kiện cần mà không đủ, các kết quả đạt được có tính tương đối, có thể chưa phải là tối ưu. Trong ứng dụng, hiện nay, người ta thường dùng những chương trình phần mềm tính toán để xác định giá trị hàm mục tiêu cho một số lượng hạn chế của các trường hợp có thể xảy ra rồi chọn một giá trị trong đó theo nghĩa tương đối tốt.

Để khắc các phục hạn chế trên đây, bài báo sẽ đề xuất phương pháp xác định quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu dựa vào giới hạn động lực học để xác định miền giới hạn chuyển động và tính chất của tất cả các quỹ đạo trạng thái chuyển động có thể có thuộc miền giới hạn đó.

2. MIỀN GIỚI HẠN CHUYỂN ĐỘNG

Bài toán điều khiển chuyển động của robot được đặt ra như sau.

Cho đối tượng là robot có phương trình động lực học ở dạng tổng quát là:

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q})\dot{q} + C(q) = u \quad (1)$$

Với điều kiện hạn chế là $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$.

Hãy xác định tác động u sao cho trạng thái của đối tượng biến đổi từ điểm trạng thái ban đầu $M(q_M, \dot{q}_M)$ có tọa độ là q_M và tốc độ là \dot{q}_M đến điểm trạng thái cuối $N(q_N, \dot{q}_N)$

có tọa độ là q_N và tốc độ là \dot{q}_N để đạt được mục tiêu định trước.

Sự biến đổi trạng thái chuyển động tại một điểm được biểu thị bởi quan hệ của biến đổi $d\dot{q}$ và dq , ta có:

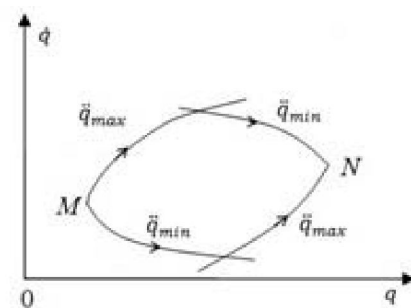
$$\frac{d\dot{q}}{dq} = \frac{d\dot{q}/dt}{dq/dt} = \frac{\ddot{q}}{\dot{q}}$$

$$\text{hoặc } \frac{d\dot{q}}{dq} = \frac{\ddot{q}}{\dot{q}} \quad (2)$$

Ý nghĩa hình học của (2) là độ dốc tại một điểm của quỹ đạo trạng thái chuyển động. Tại mỗi điểm trạng thái cho trước (q, \dot{q}) thì từ (1) ta có $A(q)$, $B(q, \dot{q})\dot{q}$ và $C(q)$ là xác định. Vì u có giới hạn, $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$, do đó cũng có giới hạn, $\ddot{q}_{\min} \leq \ddot{q} \leq \ddot{q}_{\max}$ và độ dốc tại một điểm của quỹ đạo trạng thái chuyển động cũng có giới hạn:

$$\frac{\ddot{q}_{\min}}{\dot{q}} \leq \frac{d\dot{q}}{dq} \leq \frac{\ddot{q}_{\max}}{\dot{q}} \quad (3)$$

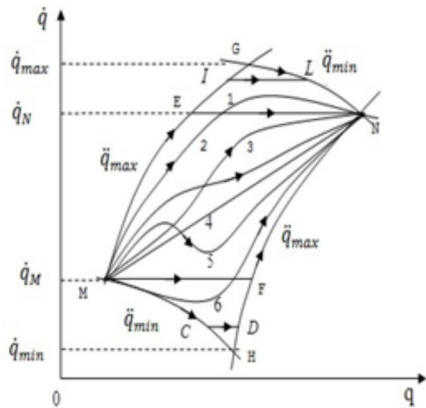
Do đó, miền giới hạn trạng thái chuyển động giữa hai điểm từ M đến N được giới hạn bởi các quỹ đạo trạng thái chuyển động có \ddot{q}_{\max} và \ddot{q}_{\min} đi qua 2 điểm đó, hình 2.



Hình 2: Miền giới hạn của các quỹ đạo trạng thái chuyển động từ M đến N

3. TÍNH CHẤT CỦA CÁC QUỸ ĐẠO TRẠNG THÁI CHUYỂN ĐỘNG VÀ QUỸ ĐẠO TRẠNG THÁI CHUYỂN ĐỘNG TỐI ƯU

3.1 . Các quỹ đạo trạng thái



Hình 3: Miền giới hạn và các quỹ đạo trạng thái chuyển động từ M đến N

Có vô số quỹ đạo trạng thái chuyển động từ M đến N trong miền giới hạn bởi các quỹ đạo trạng thái chuyển động có \ddot{q}_{max} và \ddot{q}_{min} đi qua hai điểm đó, hình 3. Đặc tính của các quỹ đạo trạng thái chuyển động là khác nhau. Dưới đây ta sẽ xét hai tính chất quan trọng là sự tiêu hao thời gian và năng lượng của các quỹ đạo trạng thái chuyển động.

3.2. Thời gian của quá trình và quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu thời gian

Thời gian của quá trình chuyển động từ điểm trạng thái đầu (q_0, \dot{q}_0) đến điểm trạng thái cuối được xác định từ biểu thức:

$$T = \int_{q_0}^q \frac{dq}{\dot{q}} = \int_{\dot{q}_0}^{\dot{q}} \frac{d\dot{q}}{\ddot{q}} \quad (4)$$

Từ (4) ta thấy rằng, quỹ đạo trạng thái chuyển động có tốc độ \dot{q} hoặc gia tốc \ddot{q} lớn hơn

thì tiêu hao thời gian là nhỏ hơn. Từ hình 3 ta thấy rằng, quỹ đạo trạng thái chuyển động ở cao hơn thì thời gian ngắn hơn. Quỹ đạo trạng thái chuyển động có thời gian ngắn nhất là MGN và là giới hạn phía trên của miền giới hạn chuyển

động, có gia tốc là \ddot{q}_{max} rồi đến \ddot{q}_{min} có thời gian lớn nhất là MHG và là giới hạn phía dưới của miền giới hạn chuyển động, có gia tốc là \ddot{q}_{min} rồi đến \ddot{q}_{max} . Các quỹ đạo ở bên trong miền giới hạn chuyển động (như là 1, 2, 3, 4,5) có tiêu hao thời gian ở trong khoảng các giá trị giới hạn nhỏ nhất và lớn nhất.

3.3. Năng lượng của quá trình và quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu năng lượng

Biểu thức năng lượng tiêu hao của quá trình chuyển động từ điểm trạng thái đầu (q_0, \dot{q}_0) đến điểm trạng thái cuối (q, \dot{q}) được xác định như sau. Thay \ddot{q} từ (2) vào (1) và tích phân, ta có:

$$\int_{\dot{q}_0}^{\dot{q}} A(q) \dot{q} d\dot{q} = \int_{q_0}^q (u - B(q, \dot{q}) - C(q)) dq \quad (5)$$

Vế trái của (5) là biến đổi động năng giữa hai điểm trạng thái, vế phải là công của các ngoại lực tác động (đây là nội dung định lý về biến đổi động năng). Dựa vào (5), ta tính được năng lượng tiêu hao giữa hai điểm trạng thái của quá trình chuyển động.

Từ đó hình 3 ta có các kết luận quan trọng sau đây:

- Tất cả các quỹ đạo biến đổi đơn điệu (quỹ đạo 1, 3, 4), có tiêu hao năng lượng là bằng nhau và bằng biến đổi động năng giữa M và N.
- Các đoạn quỹ đạo nằm ngang (các đoạn

IL, EN, MF, CD) có tiêu hao năng lượng bằng không vì biến đổi động năng bằng không. Từ đó, ta có kết luận rằng, tiêu hao năng lượng nhỏ nhất bằng biến đổi động năng (của quá trình đơn điệu) giữa hai điểm trạng thái và có thể có vô số quỹ đạo có cùng tiêu hao năng lượng như thế. Do đó, để có được quỹ đạo tiêu hao năng lượng là nhỏ nhất và duy nhất thì phải có thêm các điều kiện ràng buộc nữa, ví dụ, về thời gian tiêu hao.

Tuy nhiên, tùy thuộc vào trị số của thời gian T cho trước ở khoảng nào mà số lượng của quỹ đạo tối ưu năng lượng là duy nhất hoặc là vô số.

4. ÁP DỤNG

Ta sẽ xét một ví dụ cụ thể sau đây.

Ví dụ: Cho robot có 2 khâu quay trong mặt phẳng nằm ngang, hình 4, với các thông số sau đây. Chiều dài các khâu, mm, $l_1=600, l_2=400$. Khối lượng, kg, $m_1=10, m_2=6$. Khoảng cách

khối tâm, mm, $l_{c1}=400, l_{c2}=300$. Mô men quán tính đối với trục quán tính chính (đi qua khối tâm c), $kg.m^2, J_{c1}=0.3, J_{c2}=0.13$. Mô men quay giới hạn, Nm, $\tau_1 = \pm 0.4, \tau_2 = \pm 0.2$. Giới hạn chuyển động $\theta_1 = \pm 152^\circ, \theta_2 = \pm 152^\circ$.

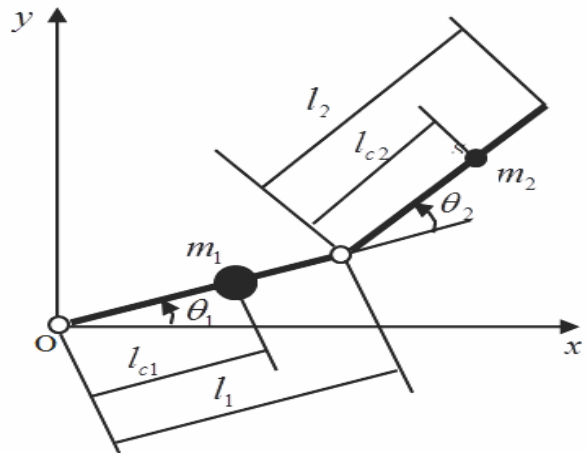
Hãy xác định quỹ đạo trạng thái chuyển động để điểm tác động cuối của robot chuyển động theo chu trình khép kín gồm 3 giai đoạn như sau: Từ điểm M có tọa độ $x=1000, y=0$ và vận tốc $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$ đến điểm N có tọa độ $x = 775, y = -36$ và vận tốc $\dot{x} = -0.1550 \text{ m/s}, \dot{y} = 0.0452 \text{ m/s}$ với thời gian tiêu hao là nhỏ nhất; Từ N chuyển động đều với tốc độ trên theo đường thẳng đến điểm H có tọa độ $x = 447, y = 45$; Từ H trở về điểm M với trạng thái ban đầu trong khoảng thời gian $T=10s$ sao cho tiêu hao năng lượng là nhỏ nhất.

Từ những điều kiện đã cho, ta thiết lập được hệ phương trình động lực học của robot là:

$$\tau_1 = [m_1 l_{c1}^2 + m_2 (l_1^2 + l_{c1}^2 + 2l_1 l_{c2} \cos \theta_2) + (J_{c1} + J_{c2})] \ddot{\theta}_1 + [m_2 (l_{c2}^2 + l_1 l_{c2} \cos \theta_2) + J_{c2}] \ddot{\theta}_2 - m_2 l_1 l_{c2} \sin \theta_2 (\dot{\theta}_2^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \quad (6)$$

$$\tau_2 = [m_2 (l_{c2}^2 + l_1 l_{c2} \cos \theta_2) + J_{c2}] \ddot{\theta}_1 + (m_2 l_{c2}^2 + J_{c2}) \ddot{\theta}_2 + m_2 l_1 l_{c2} \sin \theta_2 \dot{\theta}_1^2 \quad (7)$$

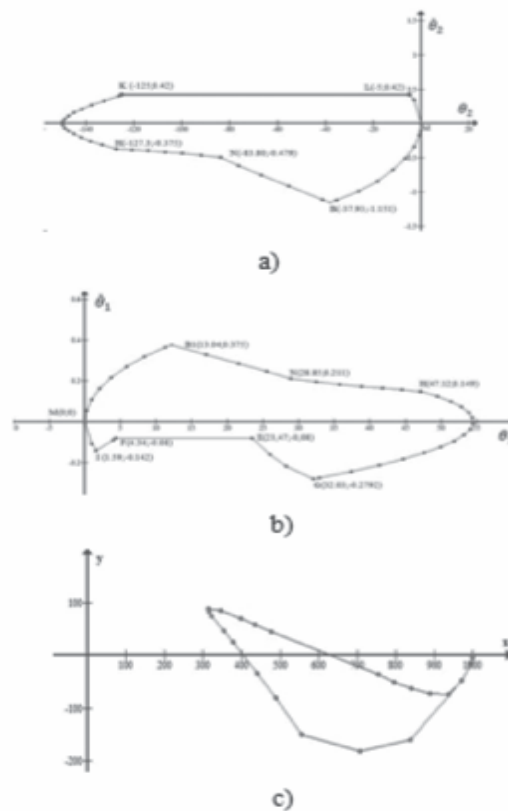
Trong đó, τ_1, τ_2 là mô men lực tác động ở các khớp. Giải hệ phương trình trên ta được gia tốc góc của các khâu là hàm của tác động điều khiển τ_1 và τ_2 và xác định được giá trị lớn nhất, nhỏ nhất và các giá trị cụ thể khác nhau của $\ddot{\theta}_1$ và $\ddot{\theta}_2$ tại mỗi điểm trạng thái. Vì vậy, ta xác định được một cách liên tiếp các điểm trạng thái lân cận ở thời điểm trước và sau đó để được quỹ đạo trạng thái của quá trình chuyển động.



Hình 4: Mô hình robot có 2 khâu



Kết quả các quỹ đạo chuyển động được biểu thị ở hình 5.



Hình 5: Quỹ đạo trạng thái chuyển động của các khâu: a), b) và quỹ đạo hình học của điểm cuối: c).

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp xác định quỹ đạo trạng thái chuyển động tối ưu dựa vào miền giới hạn trạng thái chuyển động và tính chất của các quỹ đạo trong miền giới hạn đó. Từ đó, khẳng định rằng, giá trị tối ưu của quỹ đạo là lớn nhất hoặc nhỏ nhất so với tất cả các quỹ đạo có thể có ở những điều kiện giới hạn của bài toán. ❖

Ngày nhận bài: 04/6/2015

Ngày phản biện: 14/7/2015

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Dieter Grass, Jonathan, Caulkins,... *Optimal Control of Nonlinear Processes*. Springer 2008.
- [2]. Hector J. Sussmann and Jan C. Willems. 300 Years of Optimal Control: *From the Brachystochrone to the Maximum Principle*. This article was presented in the history session of the 35th Conference on Decision and Control in Kobe, Japan, on Dec. 11, 1996.
- [3]. Lê Văn Ngự; *Đề xuất mới về cơ sở thống nhất của lý thuyết điều khiển và điều khiển tối ưu, áp dụng cho các hệ cơ điện tử*. Tuyển tập các báo cáo tại Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Cơ điện tử, Hà Nội, 2006.