

KIỂM TRA ỔN ĐỊNH CỦA MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TREO BÁN TÍCH CỰC VỚI LÝ THUYẾT BỀN VỮNG

EXAMINATION OF STABILITY FOR CONTROL MODEL OF SEMI-ACTIVE SUSPENSION SYSTEM BY THEORY OF ROBUST

ThS. Nguyễn Trịnh Nguyên^{1,2}, PGS.TS. Nguyễn Văn Trà¹

¹Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông lâm TP. Hồ Chí Minh

ÖM TÂM

Khi nghiên cứu và thiết kế các hệ thống điều khiển Cơ – Điện tử, một trong những bước quan trọng là kiểm tra tính ổn định của hệ thống. Nội dung bài báo trình bày khả năng vận dụng lý thuyết điều khiển bền vững để phân tích các yếu tố không ổn định trong mô hình điều khiển hệ thống eo bán tích cực. Hai dạng mô hình không ổn định được đề cập đến là: Mô hình tham số không ổn định và mô hình không ổn định cấu trúc. Trong khuôn khổ bài báo, tác giả xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc của hệ thống treo bán tích cực $\frac{1}{4}$ xe. Kết quả nghiên cứu là cơ sở thiết kế, phát triển và đánh giá bộ điều khiển hệ thống treo bán tích cực theo lý thuyết bền vững ở mô hình $\frac{1}{4}$ xe.

Từ khóa: Hệ thống treo bán tích cực; Mô hình $\frac{1}{4}$ xe; Điều khiển bền vững.

BSTRACT

When researching and designing mechatronics control systems, one of the important steps examination the stability of the system. Content of this article presented applicability robust control theory to analyze unstable factors in the control model of semi-active suspension system. Two types of unstable models are mentioned: parameter not stable model and structure unstable model. Within the framework of this article, authors built unstable structure model of the semi-active suspension system in quarter car model. Research results is the basis of design, development and assess controllers of semi-active suspension system by theory of robust in quarter car model.

Keywords: Semi-active suspension system, quarter car model, robust control.

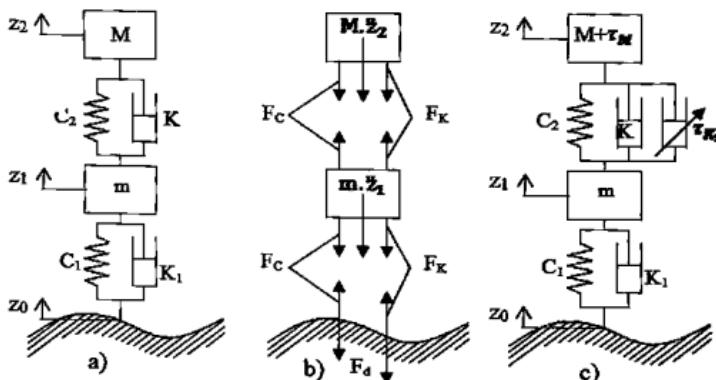
1. ĐẶT VĂN ĐỀ

Khi thiết kế một hệ thống điều khiển, xem xét tính ổn định là một trong những việc quan trọng không thể thiếu. Trong lý thuyết điều khiển hiện đại có nhiều tiêu chuẩn, phương pháp kiểm tra tính ổn định của hệ thống như: Tiêu chuẩn ROUTH và HURWITZ, quỹ đạo nghiệm số, tiêu chuẩn NYQUIST, LYAPUNOV, hoặc sử dụng biểu đồ Bode. Mỗi tiêu chuẩn, phương pháp đều có những ưu, nhược điểm và khả năng áp dụng riêng. Nhóm tác giả chọn giải pháp sử dụng biểu đồ Bode để kiểm tra tính ổn định, kết hợp với lý thuyết điều khiển bền vững trong việc xây dựng và phân tích mô hình không ổn định cấu trúc cho hệ thống treo ở mô hình $\frac{1}{4}$ xe. Các kết quả nghiên cứu có thể sử dụng để phát triển hệ thống điều khiển, so sánh, đánh giá các phương pháp điều khiển khác nhau. Đồng thời là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về thiết kế hệ thống treo bán tách cực áp dụng các phương pháp điều khiển hiện đại.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG MÔ HÌNH

2.1. Mô hình hệ thống treo

Trên cơ sở mô hình hệ thống treo bị động $\frac{1}{4}$ xe (hình 1a) có thể xây dựng mô hình $\frac{1}{4}$ xe với giảm chấn bán tích cực (hình 1b) khi thay thế giảm chấn có điều khiển bằng một giảm chấn bị động và điều khiển [1].



Hình 1. Mô hình hệ thống treo $\frac{1}{4}$ xe bị động và bán tích cự

Hệ phương trình vi phân (1) mô tả động lực học hệ thống treo là:

$$\begin{cases} -M \ddot{z}_2 - C_2(z_2 - z_1) - K_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) = 0 \\ -m \ddot{z}_1 + C_2(z_2 - z_1) + K_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - C_1(z_1 - z_n) - K_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_n) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Với M , m là khối lượng phần treo, không treo [kg]; C_2 , C_1 là độ cứng của lò xo giảm chấn và độ cứng lốp; K_2 , K_1 là hệ số cản của giảm chấn và lốp. Thông số vào của hệ (1) là chiều cao mấp ô biên dạng đường z_0 , thông số ra là các chuyển dịch z_2 , z_1 và các đạo hàm của nó theo thời gian. Ứng dụng tính chất đạo hàm gốc biến đổi [1] nhận được hệ phương trình (2).

$$\begin{aligned} z_2(p) \cdot [M \cdot p^2 + K_2 \cdot p + C_2] - z_1(p) \cdot [K_2 \cdot p + C_2] &= 0 \\ -z_2(p) \cdot [C_2 + K_2 \cdot p] + z_1(p) \cdot [m \cdot p^2 + K_2 \cdot p + C_2 + C_1 + p \cdot K_1] &= [C_1 + K_1 \cdot p] \cdot z_0(p) \end{aligned} \quad (2)$$

Hàm truyền từ mặt đường đổi với chuyển dịch thẳng đứng của khối lượng phần treo [3] được xác định bằng biểu thức (3).

$$W_{z_2 z_0} = \frac{B_0 + B_1 \cdot p + B_2 \cdot p^2}{A_0 + A_1 \cdot p + A_2 \cdot p^2 + A_3 \cdot p^3 + A_4 \cdot p^4} \quad (3)$$

Trong đó: $B_0 = C_2 \cdot C_1$; $B_1 = C_2 \cdot K_1 + K_2 \cdot C_1$; $B_2 = K_2 \cdot K_1$; $A_0 = C_2 \cdot C_1$; $A_1 = C_2 \cdot K_1 + K_2 \cdot C_1$; $A_2 = C_2 \cdot m + M \cdot C_1 + K_2 \cdot K_1$; $A_3 = K_2 \cdot (M+m) + M \cdot K_1$; $A_4 = M \cdot m$;

Từ phương trình (3), biểu diễn lại với các tham số không ổn định. Với các tham số không ổn định được biểu diễn lần lượt là τ_M và τ_{K2} . Đây là các tham số thực có giá trị thay đổi của khối lượng và giảm chấn bán tích cực K_2 .

2. Xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc

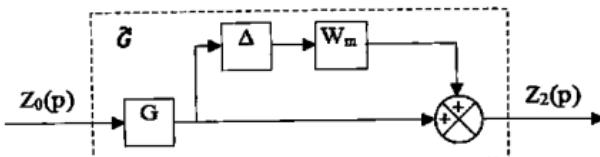
Mô hình không ổn định cấu trúc mô tả yếu tố không ổn định dùng chuẩn hệ thống. Mô hình không ổn định cấu trúc thường dùng hơn vì hai lý do: Tất cả các mô hình dùng trong thiết kế hệ thống điều khiển đều chứa đựng trong đó các yếu tố không ổn định cấu trúc để bao hàm đặc tính ứng học không mô hình hóa, đặc biệt ở miền tần số sao; Dùng mô hình không ổn định cấu trúc để ứng dụng trong việc xây dựng các phương pháp và phân tích thiết kế hệ thống điều khiển bền vững. Để xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc, với các hàm truyền thực và hàm truyền danh định rõ ràng minh, ta sử dụng thông số đầu vào của một xe thực như sau: Khối lượng treo: $M=11580\text{N}$, khối lượng không treo: $m=2600\text{N}$, độ cứng treo: $C_2=98000\text{N/m}$, độ cứng của lốp: $C_1=40000\text{N/m}$, hệ số cản của giảm chấn: $K_2=7800\text{ N.s/m}$, hệ số cản của giảm chấn lốp: $K_1=0\text{N.s/m}$. Tham số không ổn định trình bày ở trên τ_M và τ_{K2} , lần lượt định nghĩa là $\tau_M=[M: M_{max}]=[11580: 12000]$ và $\tau_{K2}=[K_2: K_{2max}]=[7800: 20000]$. Ta có hàm truyền thực:

$$\tilde{x} = \frac{4 \cdot \tau_{K2} \cdot s + 39200}{0.026 \cdot \tau_M \cdot s^4 + \tau_{K2} (\tau_M + 0.026) \cdot s^3 + (254.8 + \tau_M \cdot 0.498) \cdot s^2 + 0.4 \cdot \tau_{K2} \cdot s + 39200} \quad (4)$$

$$\text{Xác định hàm truyền danh định: } G = \frac{31.2 \cdot s + 39.2}{0.3 \cdot s^4 + 0.11 \cdot s^3 + 1.389 \cdot s^2 + 3.12 \cdot s + 39.2} \quad (5)$$

2.2.1. Xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc, nhiễu nhân.

Mô hình nhiễu nhân có thể mô tả theo hàm sơ đồ khối sau:



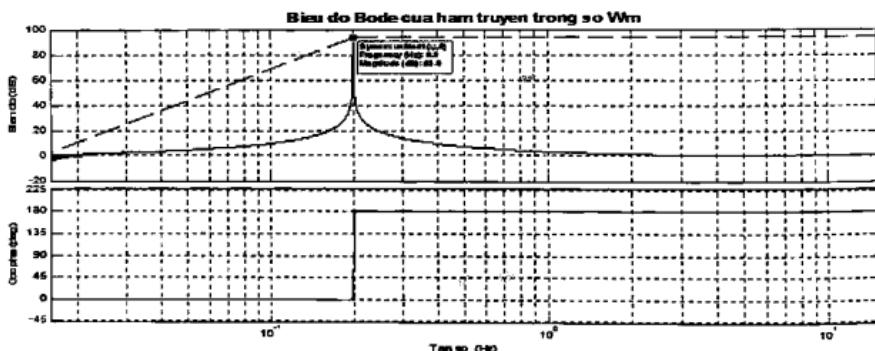
Hình 2. Sơ đồ mô hình nhiễu nhân

Trong đó: W_m là hàm truyền trọng số; Δ : là hàm truyền ổn định, thay đổi bất kỳ thỏa mãn $|\Delta|_{\infty} \leq 1$ dùng mô tả yếu tố không ổn định cấu trúc. Ta xác định W_m bằng cách xem xét sự thỏa mãn điều kiện của các mô hình nhiễu và quan sát trên biểu đồ Bode, thông thường W_m có biên độ tăng dần theo tần số (ở miền tần số càng cao độ bất định càng lớn). Xem xét các mô hình nhiễu [2]:

$$\text{Xét mô hình nhiễu nhân: } G = G(1 + \Delta W_m); \|\Delta\|_{\infty} \leq 1 \quad (6)$$

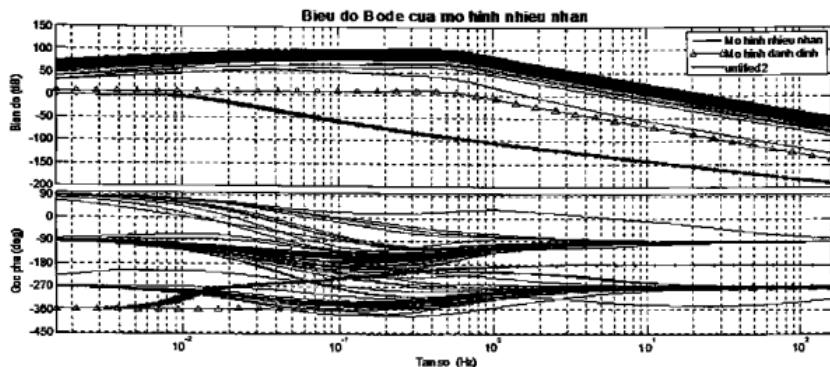
$$\text{Xác định } W_m \text{ với điều kiện: } |W_m(j\omega)| > \left| \frac{\tilde{G}(j\omega)}{G(j\omega)} - 1 \right|, \forall \omega \quad (7)$$

$$\text{Chọn } W_m \text{ theo điều kiện mô hình: } W_m(s) = \frac{247730s}{5s+1} \quad (8)$$



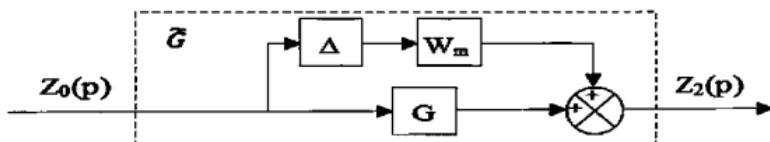
Hình 3. Biểu đồ Bode xác định hàm truyền trọng số W_m

Và Δ là hàm truyền ổn định thay đổi bất kỳ thỏa mãn $|\Delta|_{\infty} \leq 1$ dùng để mô tả yếu tố không ổn định cấu trúc. Biểu đồ Bode được vẽ ra như sau:



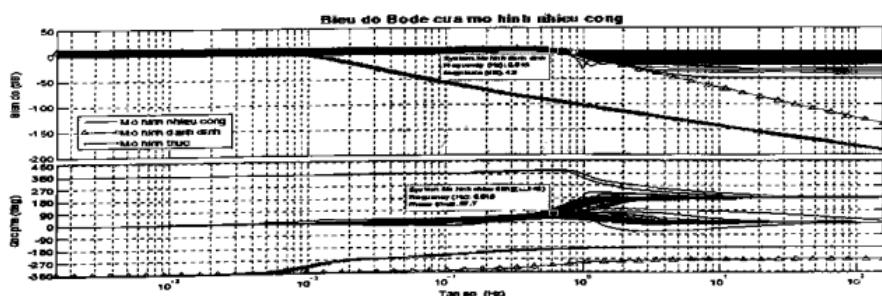
Hình 4. Biểu đồ Bode mô hình không ổn định cấu trúc nhiễu nhàn

2.2. Xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc, nhiễu cộng



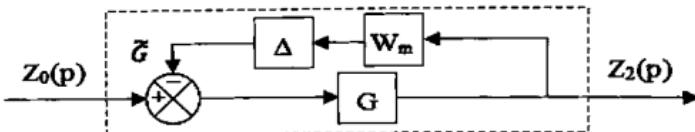
Hình 5. Sơ đồ mô hình nhiễu cộng

Mô hình nhiễu cộng: $\tilde{G} = G + \Delta W_m$; $\|\Delta\|_\infty \leq 1$ có hàm truyền trọng số W_m thỏa: $|W_m(j\omega)| \geq |\tilde{G}(j\omega) - G(j\omega)|, \forall \omega$. Ta được $W_m(s) = 1,4842$.



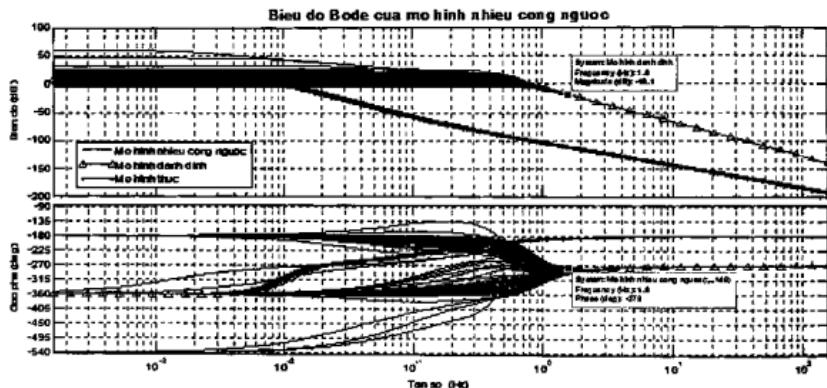
Hình 6. Biểu đồ Bode mô hình không ổn định cấu trúc nhiễu cộng

2.2.3. Xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc, nhiễu cộng ngược



Hình 7. Sơ đồ mô hình nhiễu nhân

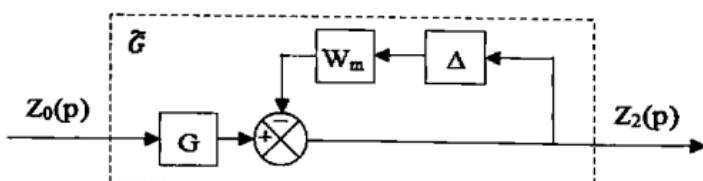
$$\text{Mô hình nhiễu cộng ngược: } \tilde{G} = \frac{G}{1 + \Delta W_m G}; \|\Delta\|_{\infty} \leq 1, \text{ với } W_m(s) = 1,4842$$



Hình 8. Biểu đồ Bode mô hình không ổn định cấu trúc nhiễu cộng ngược

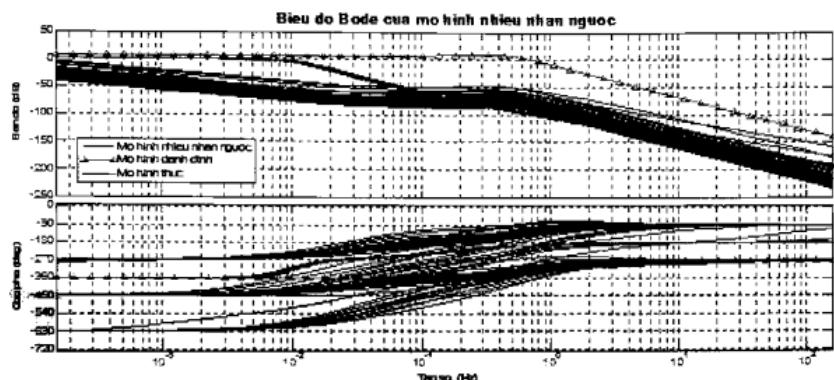
3.4. Xây dựng mô hình không ổn định cấu trúc, nhiễu nhân ngược

Mô hình nhiễu nhân ngược có thể mô tả theo hàm sơ đồ khôi sau:



Hình 9. Sơ đồ mô hình nhiễu nhân

Mô hình nhiễu nhân ngược: $G = \frac{G}{1+\Delta W_m}$; $\|\Delta\|_\infty \leq 1$. Với $W_m(s) = \frac{247730s}{5s+1}$



Hình 10. Biểu đồ Bode mô hình không ổn định cấu trúc nhiễu nhân ngược

KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

Từ biểu đồ Bode, giàn đồ gồm hai đồ thị: Đồ thị logarithm biên độ của hàm truyền và góc pha eo logarithm tần số (Một đơn vị ở trục hoành gọi là một decade) [6]. Ta có thể tiến hành nhận xét và tóm tắt được số khâu khuếch đại, khâu quán tính bậc 1, khâu vi phân bậc 1, khâu tích phân, khâu lọc 2 thông qua việc quan sát các tần số gãy và biên dạng của giàn đồ Bode. Thông qua các biểu đồ có thể thấy một cái nhìn tổng quát về mô hình không ổn định cấu trúc của mô hình $\frac{1}{s}$ xe ở bốn ô hình nhiễu khác nhau:

- Mô hình nhiễu nhân cho thấy, sự biến động về biên độ và pha của hàm truyền, biến động trên toàn dải tần số và luôn nằm trên so với mô hình danh định, chênh lệch cực đại xấp xỉ 100dB.

- Ở mô hình nhiễu cộng, sau tần số 0,615 Hz thể hiện rõ sự không ổn định cả về biên độ và pha. Biến động về biên độ và góc pha tăng dần, tại tần số 100hz sự chênh lệch lên đến 150dB.

- Đối với mô hình nhiễu cộng ngược thì sự không ổn định cả về biên độ và pha nằm trước n số 1,6Hz.

- Ở mô hình nhiễu nhân ngược, sự không ổn định thể hiện trên toàn dải nhưng khác với mô hình nhiễu nhân là các biến động có xu hướng nằm dưới mô hình danh định, chênh lệch cực đại xấp xỉ 80dB.

KẾT LUẬN

Quan nghiên cứu đã trình bày, kết quả đạt được của bài báo đã cho thấy ứng dụng lý thuyết điều khiển bền vững để phân tích tính ổn định của mô hình điều khiển hệ thống treo bán tách cực đã

chi ra khái quát đặc tính của một hệ điều khiển bán tích cực theo mô hình không ổn định cấu trúc. Việc phân tích mô hình không ổn định cấu trúc của mô hình hệ thống treo $\frac{1}{4}$ xe với giảm chấn bán tích cực, tạo cơ sở để thiết kế và kiểm nghiệm phương pháp điều khiển hệ thống treo bán tích cực với các phương pháp điều khiển hiện đại.♦

Ngày nhận bài: 02/5/2018

Ngày phản biện: 19/5/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Đức Lập (2011); *Đạo động ô tô*, NXB. Quân đội Nhân dân, Hà Nội.
- [2]. Huỳnh Thái Hoàng (2014); *Bài giảng lý thuyết điều khiển nâng cao*, Bộ môn Điều khiển Tự động, Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
- [3]. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà, Đỗ Văn Dũng (2016); *Nghiên cứu và chế tạo mô hình hệ thống treo $\frac{1}{4}$ xe phục vụ cho nghiên cứu và thử nghiệm*; Kỳ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về cơ khí - Động lực, 2016; NXB. Bách khoa Hà Nội; ISBN: 978-604-95-0040-4.
- [4]. Nguyễn Văn Trà, Nguyễn Trịnh Nguyên (2015); *Nghiên cứu giải pháp điều khiển dập tắt dao động trong hệ thống treo ô tô*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ số 27 (04/2015) – ISSN 1859-3585.
- [5]. Nguyễn Văn Trà, Nguyễn Trịnh Nguyên (2015); *Một số định hướng điều khiển hệ thống treo bán tích cực*, Kỳ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về cơ khí-Lâm thứ IV. NXB. Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh; ISBN: 978-604-73-3690-6.
- [6]. D.-W. Gu, P. Hr. Petkov and M. M. Konstantinov (2005) Robust Control Design with MATLAB, Springer-Verlag London Limited, ISSN 1439-2232.