

BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN TRỊNH NGUYỄN

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TREO
BÁN TÍCH CỤC BẰNG ẢNH XẠ BẰNG**

Chuyên ngành: cơ khí động lực

Mã số: 9.52.02.16

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

HÀ NỘI – 2022

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI HỌC VIỆN KỸ
THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS NGUYỄN VĂN TRÀ
PGS.TS ĐỖ VĂN DŨNG

Phản biện 1: PGS. TS TRẦN VĂN NHƯ

Phản biện 2: PGS. TS NGUYỄN TRỌNG HOAN

Phản biện 3: PGS. TS NGUYỄN THANH TIỀN

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số 2232/QĐ-HV, ngày 13 tháng 6 năm 2022 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự. Theo đề nghị của phòng Sau đại học tại tờ trình số 221/TTr-SĐH ngày 06/6/2022.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

Hệ thống treo (HTT) là một hệ thống quan trọng vì sự ảnh hưởng của nó trực tiếp đến độ êm dịu, tính an toàn và tiện nghi khi di chuyển. Luận án “Nghiên cứu giải pháp điều khiển HTT bán tích cực ứng dụng ánh xạ bảng” thiết thực, có ý nghĩa thực tiễn, khoa học.

Mục tiêu luận án:

Nghiên cứu, mô hình hóa và điều khiển HTT bán tích cực ứng dụng bộ điều khiển ánh xạ bảng với các tham số được tối ưu theo điều kiện bền vững, nâng cao hiệu quả làm việc của HTT bán tích cực.

Phương pháp nghiên cứu:

Kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm

Áp dụng phần mềm LabVIEW trong tính toán, mô phỏng lý thuyết, đo lường thực nghiệm và chế tạo bộ điều khiển.

Đối tượng nghiên cứu:

Là HTT có điều khiển của xe BMW 1 Series (E38).

Phạm vi nghiên cứu

Luận án nghiên cứu HTT bằng mô hình $\frac{1}{4}$ xe, với các tham số của xe thực. Các thí nghiệm được thực hiện trên bộ thử dao động 2 khối lượng.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án:

Về ý nghĩa khoa học: Luận án nghiên cứu xây dựng và tính toán mô hình động lực học dao động $\frac{1}{4}$ xe sử dụng HTT bán tích cực. Áp dụng lý thuyết ổn định, xây dựng bộ điều khiển HTT bán tích cực điều khiển ánh xạ bảng với các tham số xây dựng bằng thuật toán tối ưu.

Về ý nghĩa thực tiễn: Luận án xây dựng phương pháp thí nghiệm, xác định các tham số kết cấu cho mô hình tính toán. Chế tạo bộ điều khiển HTT bán tích cực, thực nghiệm, đánh giá hiệu quả của bộ điều khiển. Chế tạo được bộ điều khiển HTT bán tích cực giúp nâng cao hiệu quả của HTT bán tích cực theo quan điểm ổn định bền vững.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Hiện nay, với sự kết hợp của nhiều lĩnh vực khoa học, sự phối hợp chặt chẽ giữa các ngành công nghiệp, các kỹ thuật khác nhau..., các nhược điểm khó khắc phục của HTT bị động đã dần được giải quyết và cải tiến tốt hơn thông qua việc áp dụng các HTT bán tích cực và HTT tích cực.

Trong nghiên cứu tổng quan, luận án tập trung nghiên cứu, phân tích các HTT có điều khiển trên cơ sở lý thuyết, các giảm chấn dùng trong HTT có điều khiển, tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến luận án. Qua đó xác định nhiệm vụ cụ thể của luận án.

- +Nghiên cứu các phương pháp điều khiển HTT.
- +Tìm hiểu các loại giảm chấn có điều khiển và ứng dụng của nó.
- +Các phương pháp điều khiển hiện đại.
- +Phân tích tình hình nghiên cứu về HTT bán tích cực trên thế giới.
- + Phân tích tình hình nghiên cứu về HTT bán tích cực trong nước.
- +Trình bày nhiệm vụ của luận án.

1.1 PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HTT

Trong khuôn khổ của luận án, luận án khai thác một khía cạnh nhỏ của các hệ thống động học và động lực học được miêu tả dưới các lời giải của phương trình vi phân. Chính vì các lý do đã trình bày ở trên, ngoài việc HTT đã tự điều chỉnh thì cần có thêm một bộ điều khiển giúp HTT hoạt động ổn định hơn trong điều kiện có các nhiễu loạn phát sinh khi đang hoạt động giúp đảm bảo nâng cao hiệu quả làm việc của HTT trong quá trình hoạt động, đáp ứng các tiêu chí êm dịu và an toàn chuyển động. Với mục tiêu tìm kiếm các giá trị thỏa mãn ổn định cho HTT và duy trì tính bền vững, luận án chọn lựa bộ điều khiển ánh xạ bảng bắt nguồn từ các lý thuyết cơ bản của các nhà khoa học Poincare [12] và Birkhoff [13] và được giáo sư H.Su [14] vận dụng, khởi xướng từ năm 1980.

1.2 TÌM HIỂU CÁC GIẢM CHẤN CÓ ĐIỀU KHIỂN VÀ ỨNG DỤNG

Từ khi HTT có điều khiển ra đời, các cơ cấu chấp hành đi kèm cũng được chế tạo để đáp ứng nhu cầu của điều khiển. Các cơ cấu chấp hành cho HTT điều khiển có thể khái quát như sau:

Giảm chấn thủy lực có van tiết lưu thay đổi liên tục

Giảm chấn từ hóa MR (Magneto-Rheological)

1.3 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HIỆN ĐẠI

Trong quá trình phát triển, các hệ thống điều khiển luôn được cải tiến và thay đổi theo từng trường hợp và đối tượng cụ thể, lịch sử phát triển lý thuyết điều khiển khái quát theo từng giai đoạn:

Phương pháp biến phân cổ điển Euler-Lagrange 1766; Tiêu chuẩn ổn định Lyapunov 1892; Trí tuệ nhân tạo 1950; Hệ thống điều khiển máy bay siêu nhẹ 1955; Nguyên lý cực tiểu Pontryagin 1956; Phương pháp quy hoạch động Belman 1957; Điều khiển tối ưu tuyến tính dạng toàn phương LQR (LQR : Linear Quadratic Regulator); Thuật toán di truyền 1960; Nhận dạng hệ thống 1965; Logic mờ 1965; Luật điều khiển hệ thống thích nghi mô hình tham chiếu MRAS và bộ tự chỉnh định STR 1970; Hệ tự học Tsypkin 1971; Sản phẩm công nghiệp 1982; Lý thuyết bền vững 1985; Tính toán mềm và điều khiển tích hợp 1985... Nhìn chung các phương pháp tính và điều khiển đều có những điểm mạnh và hạn chế nhất định, vì vậy người ta thường có xu hướng kết hợp chúng lại với nhau để tạo ra một mô hình điều khiển có khả năng đáp ứng cao với các đòi hỏi thực tế. Việc kết hợp này cho một phương pháp điều khiển là điều khiển tích hợp.

1.4 CÁC NGHIÊN CỨU VỀ HTT BÁN TÍCH CỰC TRÊN THẾ GIỚI

Từ những năm đầu của thập kỷ 80, HTT điều khiển bắt đầu được hình thành. Colin Chapman đã phát triển những khái niệm đầu tiên về một HTT điều khiển vào năm 1980 để cải thiện tính năng êm dịu trên xe đua. Năm năm sau, vào năm 1985 một HTT điều khiển đã được áp dụng cho mẫu xe Excel với giảm chấn thủy lực và điện, nhưng các hệ thống này không bao giờ được cung cấp để bán cho công chúng, mặc dù nhiều chiếc

xe trình diễn đã được chế tạo do các nhà sản xuất xe sản xuất thử nghiệm. Kỹ sư Grand Prix của hãng xe Williams đã lắp đặt một HTT chủ động cho xe F1 vào năm 1992, mặc dù đã tạo ra những chiếc xe thành công như vậy nhưng hãng ô tô quốc tế Fédération Internationale de l'Automobile đã quyết định cấm sử dụng công nghệ này. Năm 1999, Mercedes-Benz CL-Class (C215) đã giới thiệu hệ thống điều khiển ổn định thân xe với các servo thủy lực áp lực tại các bánh xe được điều khiển bằng điện tử. Thập kỷ 80 cũng là mốc quan trọng đánh dấu sự ra đời của HTT tích cực với nhiều hệ thống của nhiều hãng sản xuất xe ra đời với nhiều tên gọi khác nhau như TEMS của Toyota năm 1986; DUET-SS của Nissan năm 1990; FAS của Infiniti năm 1990; VSX của Citroën năm 1992; RSS của Cadillac năm 1993... Sau năm 2000 các HTT chủ động được biết đến nhiều hơn trên các dòng xe cao cấp như BMW hay một số các hệ thống được biết đến của BOSCH...

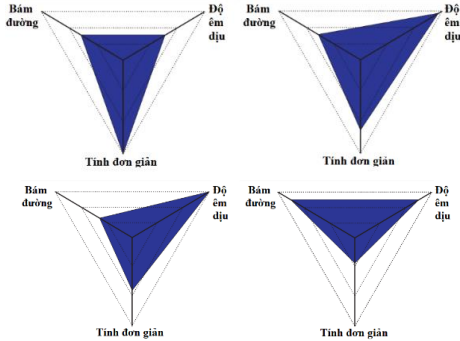
Các nghiên cứu này giúp thấy rõ được tính ưu việt của việc cần thiết phải điều khiển một HTT dù là tích cực hay bán tích cực. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy ưu điểm của các HTT có điều khiển. Mặc dù HTT điều khiển bán tích cực chưa đáp ứng hoàn toàn so với HTT tích cực nhưng là đích đến được nhắm tới khi nghiên cứu triển khai vào thực tế vì tính kinh tế, hiệu quả cũng như sự đơn giản trong kết cấu.

1.5 NGHIÊN CỨU VỀ HTT BÁN TÍCH CỰC TRONG NƯỚC

Nhìn chung các công bố hầu hết dưới dạng nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng có ít nghiên cứu áp dụng trên thiết bị thật. Nghiên cứu áp dụng trên mô hình thật thì chưa quan tâm đến kiểm chứng và đánh giá các thông số điều khiển. Đối với các nghiên cứu ngoài nước, các nghiên cứu về dao động trên ô tô nói chung và HTT nói riêng đa phần là theo định hướng tối ưu hóa kết cấu. Hầu hết các nghiên cứu chưa khai thác khía cạnh ổn định do nhiễu bên ngoài hay do nội tại hệ thống và do chính bộ điều khiển. Chưa quan tâm đến độ bền vững của hệ thống.

1.6 SO SÁNH CÁC GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN HTT BÁN TÍCH CỰC

Để có cái nhìn tổng quát về các hệ thống treo có điều khiển, thông qua các nghiên cứu của các tác giả khác [42][43][44], luận án phân tích các hệ thống này trên cơ sở so sánh hiệu suất, tính linh hoạt và mức độ phức tạp của hệ thống nhằm chọn giải pháp thích hợp áp dụng cho luận án.



Hình 1.24 So sánh hiệu quả của phương pháp điều khiển 2 trạng thái và điều khiển tuyến tính

Hình 1.27 So sánh hiệu quả của phương pháp SH-ADD và hệ thống treo bán tích cực thuật toán LPV.

So với các HTT đã tồn tại, như đã phân tích, HTT bán tích cực vẫn có thể đáp ứng và nâng cao được các tiêu chí về độ êm dịu và an toàn chuyển động đồng thời dễ dàng triển khai vào thực tế vì có kết cấu đơn giản, không cần thêm các hệ thống phụ trợ nào, kích thước của một giảm chấn bán tích cực tương đồng với kích thước của HTT bị động, không phải phát sinh không gian bố trí, đồng thời giá thành so với HTT tích cực kinh tế hơn rất nhiều.

1.7 NHIỆM VỤ CỦA LUẬN ÁN

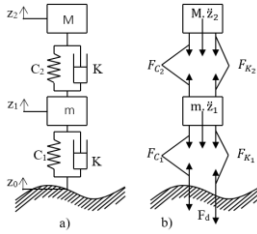
Luận án tiến hành nghiên cứu chế tạo một bộ điều khiển HTT bán tích cực với cơ sở lý thuyết sử dụng mô hình $\frac{1}{4}$ xe. Giải pháp điều khiển đề xuất là bộ Điều khiển ánh xạ băng (CMC) với thông số điều khiển được tính toán trích chọn bằng thuật toán tối ưu theo các điều kiện bền vững. Song song với nghiên cứu lý thuyết, luận án đề xuất mô hình thực nghiệm $\frac{1}{4}$ xe với kích thước thực kèm theo bộ kích thích tạo xung mặt đường có thể điều khiển thay đổi thông số kích thích. Bằng mô hình thực nghiệm tương quan với mô hình lý thuyết, luận án sẽ áp dụng kiểm chứng bộ điều khiển và đánh giá hiệu quả bộ điều khiển mới.

CHƯƠNG 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT HỆ THỐNG TREO BÁN TÍCH CỰC

2.1 TÍNH TOÁN MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC HTT ¼ XE

Trên cơ sở mô hình hệ dao động hai bậc tự do (hai khối lượng) trên hình 2.1a. Các lực và phản lực được mô tả trong hình 2.1b, trong đó z_0 mô tả chuyển dịch mấp mô mặt đường, z_1 mô tả chuyển dịch của phần tử không treo và z_2 mô tả chuyển dịch của phần tử treo.

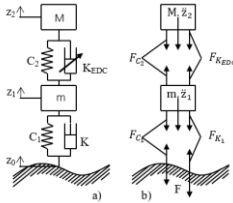


Hình 2.1 Mô hình động lực học
hệ 2 bậc tự do.[1]

Thay (1),(2),(3) vào (4)(5) ta có hệ phương trình vi phân (6):

$$\begin{cases} -M.\ddot{z}_2 - C_2.(z_2 - z_1) - K_2.(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) = 0 \\ -m.\ddot{z}_1 + C_2.(z_2 - z_1) + K_2.(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - C_1.(z_1 - z_0) - K_1.(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Trên cơ sở mô hình tính toán cơ bản trên, luận án thiết lập mô hình tính toán của HTT ¼ xe với giảm chấn EDC. Điểm mới trong mô hình tính toán này là hệ số cản giảm chấn có hai giá trị cụ thể ứng với quá trình làm việc khi nén là hệ số cản giảm chấn nén và khi trả là hệ số cản giảm chấn trả được trình bày trong mô hình tính toán sau:



Hình 2.2 Mô hình động lực học
¼ bán tích cực.

Phương trình mô tả động lực học của mô hình tính toán trên được viết lại như sau:

$$\begin{cases} -M.\ddot{z}_2 - C_2.(z_2 - z_1) - K_{EDC}.(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) = 0 \\ -m.\ddot{z}_1 + C_2.(z_2 - z_1) + K_{EDC}.(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - C_1.(z_1 - z_0) - K_1.(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$K_{EDC} = \begin{cases} K_{nen}: (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) < 0 \\ K_{tra}: (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) \geq 0 \end{cases}$$

Phương trình mô tả động lực học của mô hình tính toán trên có điểm khác biệt lớn với mô hình cơ bản là hệ số cản giảm chấn không còn là một giá trị duy nhất, nó được xem xét như là một giảm chấn có hai hệ số cản giảm chấn thay đổi theo chiều làm việc, với chiều nén hệ số cản giảm chấn sử dụng là giá trị hệ số cản giảm chấn nén đo từ giảm chấn EDC, với chiều trả giảm chấn, giá trị hệ số cản giảm chấn sẽ là hệ số cản giảm chấn trả đo từ giảm chấn EDC.

2.2 XÁC ĐỊNH HÀM KÍCH THÍCH DAO ĐỘNG Ô TÔ

2.2.1 HÀM KÍCH THÍCH DẠNG SINE ĐIỀU HOÀ

Có nhiều dạng hàm kích thích cho hệ dao động, trong đó hàm kích thích điều hoà dạng sine được sử dụng phổ biến nhất. Trong hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động dao động của ô tô có tham gia các giá trị : z_0, z_0 chính là chiều cao mấp mô và đạo hàm của chúng tại vị trí tiếp xúc của bánh xe với đường khi chuyển động. Trong trường hợp mấp mô biên dạng đường có dáng điệu hàm điều hoà hình sin thì phương trình biểu diễn chiều cao mấp mô phụ thuộc vào thời gian có dạng sau đây:

$$z_0(t) = z_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) = z_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \quad (8)$$

Biểu diễn mấp mô theo chiều dài quãng đường x , ta có:

$$z_0(x) = z_h \cdot \sin(\Omega \cdot x) = z_h \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{S} x\right)$$

Trong đó: z_h - chiều cao mấp mô; Ω - là tần số sóng mặt đường; S - là chiều dài sóng mặt đường.

Nếu ô tô chuyển động đều, ta có $x = v \cdot t$.

Thời điểm t ta có:

$$z_0(t) = z_0(x) \text{ và } \omega(t) = \Omega(x) ; \dot{z}_0(t) = z_h \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (9)$$

2.2.2 KÍCH THÍCH DẠNG MẤP MÔ NGẪU NHIÊN

2.2.2.1 TIÊU CHUẨN ISO 8608:1995

Trong các nghiên cứu về mấp mô mặt đường, kết quả về mật độ phổ công suất của độ nhám mặt đường của Honda et al. [34] được tham khảo

và sử dụng để đánh giá độ nhám mặt đường ngẫu nhiên được mô tả bằng quy trình Gaussian cố định, có giá trị thực theo Bảng 1.

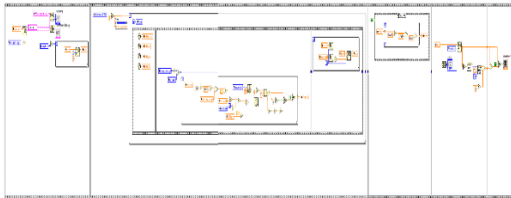
Bảng 2. Phân loại mặt đường

Điều kiện mặt đường	$\bar{\alpha} (m^2/m/\text{chu kỳ})$
Rất tốt	$\bar{\alpha} \leq 0.24 \times 10^{-6}$
Tốt	$0.24 \times 10^{-6} \leq \bar{\alpha} \leq 1.0 \times 10^{-6}$
Khá	$1.0 \times 10^{-6} \leq \bar{\alpha} \leq 4.0 \times 10^{-6}$
Xấu	$4.0 \times 10^{-6} \leq \bar{\alpha} \leq 16.0 \times 10^{-6}$
Rất xấu	$\bar{\alpha} > 16.0 \times 10^{-6}$

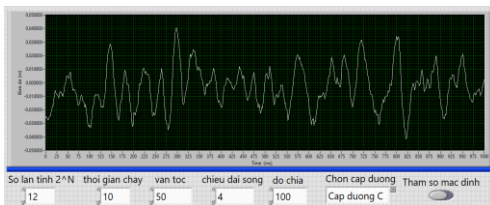
2.2.2.2. MÔ PHỎNG MÁP MÔ MẶT ĐƯỜNG TRÊN MIỀN THỜI GIAN

Có nhiều phương pháp có thể được sử dụng để mô phỏng, xây dựng dữ liệu mấp mô ngẫu nhiên, có thể kể đến các phương pháp sau:

- A. Phương pháp lọc tuyến tính (Linear Filtering White Noise - LFWN):
- B. Phương pháp phân tán thời gian trên cơ sở hàm phân thức của PSD - IUWN
- C. Phương pháp chất chông điều hòa - HS
- D. Phương pháp biến đổi ngược Fourier – IFT



Hình 2.3 Mã nguồn tính toán tạo dữ liệu mấp mô ngẫu nhiên theo ISO6808



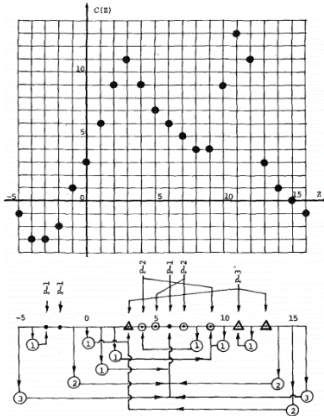
Hình 2.4 Giao diện phần mềm tạo dữ liệu mấp mô ngẫu nhiên theo ISO6808

2.3 CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA ÁNH XẠ BẢNG

Trên cơ sở các luận điểm đã được chứng minh, những biểu thức sau được coi là thỏa mãn:

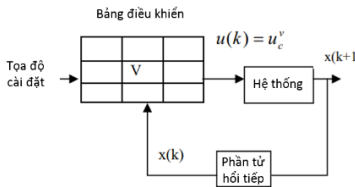
$$\xi(n+1) = C(\xi(n))$$

Một ánh xạ $C: N \rightarrow N$ theo các luận điểm đã chứng minh được gọi là một ánh xạ bảng cơ bản,



Hình 2.11 Ví dụ minh họa về ánh xạ giữa các ô trong bảng ánh xạ.

Mô hình điều khiển của bộ điều khiển ánh xạ bảng (CMC) được đưa ra có dạng tổng quát như hình 2.12



Hình 2.12 Sơ đồ khối điều khiển CMC

Sự khác biệt làm cho bộ điều khiển CMC được dùng để đưa vào thực tế là các giá trị đầu vào trong MAP là các kết quả được ánh xạ từ dữ liệu đầu vào qua bảng tra cho ra một giá trị điều khiển mà thông số đầu vào sẽ là những thông số thực, được đo lường trong quá trình hệ thống đang hoạt động chứ không phải các giá trị chỉ dùng trong mô phỏng. Khác biệt thứ hai là khả năng truy xuất dữ liệu từ khi bắt đầu ánh xạ đến lúc xuất lệnh điều khiển không cần phải trải qua quá trình xử lý toán học nào.

2.4 CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU

2.4.1 LÝ THUYẾT ỔN ĐỊNH

Khi thiết kế một hệ thống điều khiển xem xét tính ổn định là một trong

những việc quan trọng không thể thiếu. 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.

2.4.2 ĐIỀU KIỆN BỀN VỮNG

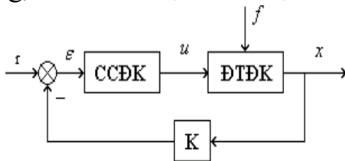
Điều khiển bền vững là một nhánh của lý thuyết điều khiển tự động với cách tiếp cận được hiểu như có một bộ điều khiển sinh ra để giải quyết sự không chắc chắn, mất ổn định hoặc không cân bằng... .

Ổn định nội là yêu cầu cơ bản đối với một hệ thống hồi tiếp thực. Ý nghĩa của ổn định nội là khi đầu vào hệ thống bằng không thì tất cả các trạng thái hệ thống đều phải về không từ mọi giá trị ban đầu. Mọi hệ thống tự động đều phải bảo đảm ổn định nội mới hoạt động được.

2.5 LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU THEO ĐIỀU KIỆN BỀN VỮNG

2.5.1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU

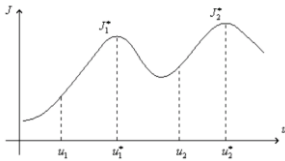
Một hệ điều khiển được thiết kế ở chế độ làm việc tốt nhất là hệ luôn ở trạng thái tối ưu theo một tiêu chuẩn chất lượng nào đó (đạt được giá trị cực trị). Trạng thái tối ưu có đạt được hay không tùy thuộc vào yêu cầu chất lượng đặt ra, vào sự hiểu biết về đối tượng và các tác động lên đối tượng, vào điều kiện làm việc của hệ điều khiển ...



Hình 2.15 Sơ đồ hệ thống điều khiển điển hình

Hệ thống điều khiển như hình 2.15 gồm các phần tử: đối tượng điều khiển (ĐTĐK), cơ cấu điều khiển (CCĐK) và vòng hồi tiếp (K). Với các ký hiệu: r : tín hiệu vào, mục tiêu điều khiển, đáp ứng mong muốn hệ thống; u : tín hiệu điều khiển, luật điều khiển; x : tín hiệu đầu ra, đáp ứng ra của hệ thống; $\varepsilon = r - x$: sai lệch của hệ thống; f : tín hiệu nhiễu

Chỉ tiêu chất lượng J của một hệ thống có thể được đánh giá theo sai lệch của đại lượng được điều khiển x so với trị đáp ứng mong muốn r , lượng quá điều khiển (trị số cực đại $x_{\max}$ so với trị số xác lập $x(\infty)$ tính theo phần trăm) , thời gian quá độ ... hay theo một chỉ tiêu hỗn hợp trong điều kiện làm việc nhất định như hạn chế về công suất, tốc độ, gia tốc ... Ở đây ta có thể thấy được sự khác biệt về kết quả nhận được chất lượng tối ưu khi lượng thông tin ban đầu thay đổi (hình 2.16).



Hình 2.16 Tối ưu cục bộ và tối ưu toàn cục

2.5.2 CÁC THUẬT TOÁN GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU

Với mục đích xây dựng và tìm các giá trị cho bảng điều khiển ứng với mỗi sự thay đổi đầu vào, là các giá trị tối ưu cục bộ trong toàn bộ miền làm việc, đồng thời không nhầm đến tối ưu toàn cục, luận án chọn lựa thuật duyệt toàn bộ là giải thuật giải bài toán xây dựng MAP điều khiển. Nhấn mạnh tính toàn diện của MAP điều khiển, không cần chú trọng đến tốc độ giải.

CHƯƠNG 3

XÂY DỰNG CƠ SỞ DỮ LIỆU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1 TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1.1 CÁC THAM SỐ KẾT CẤU CỦA HTT

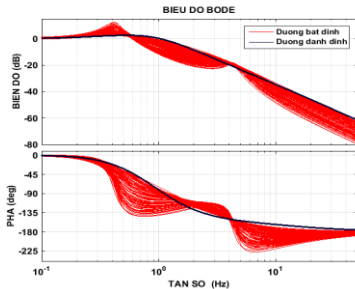
Để xác định các tham số kết cấu, các thiết bị HTT được đo đạc dựa trên mô hình thí nghiệm HTT $\frac{1}{4}$ xe được trình bày trong chương 4. Các tham số kết cấu được liệt kê theo bảng 4:

T T	Tên tham số kết cấu	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng phần treo	M	[2750÷3500]	N
2	Độ cứng phần tử đàn hồi	C2	25840	N/m
3	Hệ số cản giảm chấn khi nén	Knen	[2000÷12000]	N.s/m
4	Hệ số cản giảm chấn khi trả	Ktra	[1000÷15000]	N.s/m
5	Khối lượng phần không treo	m	300	N
6	Độ cứng lớp	C1	200000	N/m
7	Hệ số cản giảm chấn của lớp	K1	4500	N.s/m

3.1.3 PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÔ HÌNH $\frac{1}{4}$ XE

3.1.3.1 XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH CHUNG

Lược án biểu diễn lại với tham số bất 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 M và giảm chấn bán tích cực K_2 . Biểu đồ Bode ứng với mô hình bất định:



Hình 3.3 Biểu đồ Bode mô hình hệ thống treo $\frac{1}{4}$ xe có các tham số bất định

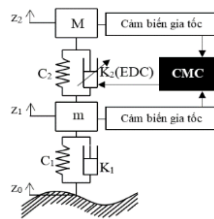
Như vậy với một HTT trên thực tế có nhiều yếu tố bất định, cần phải có một bộ điều khiển giúp cho HTT khắc phục được sự mất ổn định do các yếu tố biến thiên trong quá trình HTT chuyển động trên đường giúp nâng cao hiệu quả làm việc.

3.2 XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN ÁNH XẠ BẰNG

Qua quá trình nghiên cứu lý thuyết và phân tích các quá trình làm việc của HTT ¼ xe, luận án xác định mục tiêu thiết kế một bộ điều khiển thỏa mãn nhất có thể các tiêu chí về độ êm dịu và an toàn chuyển động, đồng thời phải đưa hệ thống về trạng thái ổn định bền vững với tham số không ổn định là sự thay đổi của khối lượng treo.

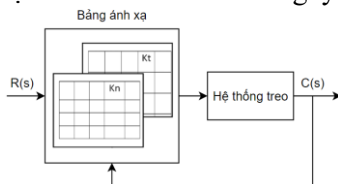
3.2.1 XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN

Trong nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển CMC cho HTT bán tích cực, trong giảm chấn điều khiển có các van điều khiển riêng biệt cho hai giá trị hệ số cản giảm chấn khi nén (Knen) và hệ số cản giảm chấn khi trả (Ktra). Các thông số đầu vào cho bộ điều khiển được xác định thông qua quá trình khảo sát mô hình động lực học HTT ¼ xe với các điều kiện cơ bản, tần số dao động được dùng để đánh giá độ êm dịu theo QCVN 09:2015/BGTVT và là tham số để xác định tọa độ của MAP. Các thông số được xác định trên bộ thử ¼ xe tại ĐH Nông Lâm TP.Hồ Chí Minh, được trình bày trong chương 4.



Hình 3.4 Sơ đồ khối của HTT bán tích cực dùng bộ điều khiển CMC

Trên mô hình tính toán, giảm chấn sẽ được thay thành một giảm chấn EDC có van điều khiển giảm chấn khi nén và trả độc lập. Trên khối lượng treo và khối lượng không treo được gắn các cảm biến gia tốc. Luận án thiết kế bộ điều khiển CMC có nguyên lý được mô tả trên hình 3.5.



Hình 3.5 Sơ đồ bộ điều khiển CMC cho HTT bán tích cực dùng EDC

3.2.2 XÂY DỰNG BẢNG THAM SỐ

3.2.2.1 CƠ SỞ XÂY DỰNG BÀI TOÁN TỐI ƯU

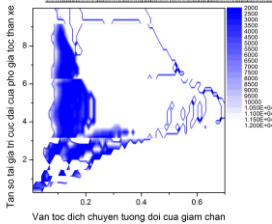
Để xây dựng bài toán tối ưu cho các tham số điều khiển, luận án sử dụng phương pháp duyệt toàn bộ, quá trình tính toán trên mỗi bước được tái cấu trúc bằng các tham số khi thay đổi cực biên trong quá trình tính toán. Hàm chỉ tiêu chất lượng mô tả bài toán, được phát biểu:

$$F_{\Omega}(K_{\text{nen}}, K_{\text{tra}}) \rightarrow \min \begin{cases} \omega: \text{Max}[\text{FFT}\{\ddot{z}_2(\omega)\}] < 2,5 \\ \text{RMS}(\ddot{z}_2) < 2,5 \\ F_{\text{dmin}} > 0 \\ K_{\text{nenxy}} > 0; \\ K_{\text{traxy}} > 0; \\ M \in (M_{\text{dd}}; M_{\text{max}}) \end{cases}$$

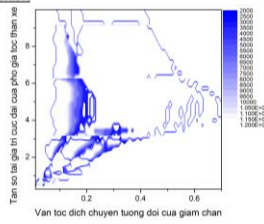
3.2.2.2 XÂY DỰNG GIẢI THUẬT TÍNH TOÁN TÌM GIÁ TRỊ CHO BẢNG THAM SỐ ĐIỀU KHIỂN



Hình 3.7 Lập trình phần mềm tính toán tối ưu



Hình 3.8 Bảng giá trị K_{nen}

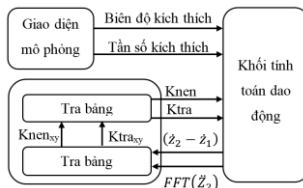


Hình 3.9 Bảng giá trị K_{tra}

3.2.3 MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN CMC

3.2.3.1 XÂY DỰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN CMC

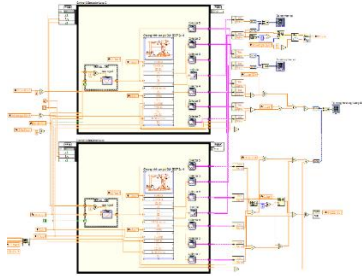
Với kết quả có được là các bảng tham số điều khiển cho bộ điều khiển CMC luận án xây dựng phần mềm tính toán mô phỏng dựa trên nền tảng LabVIEW. Cấu trúc phần mềm mô phỏng mô tả qua sơ đồ khối:



Hình 3.10 Sơ đồ khối nguyên lý mô phỏng bộ điều khiển CMC

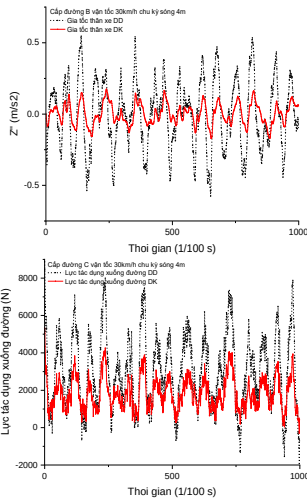
3.2.3.2 LẬP TRÌNH PHẦN MỀM MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN CMC

Từ các khối chức năng, luận án lập trình mô phỏng HTT có bộ điều khiển song song với HTT thụ động nhằm so sánh kết quả và nhận xét tính hiệu quả của bộ điều khiển CMC, nội dung lập trình được thể hiện theo hình 3.11.



Hình 3.11 Mã nguồn chương trình mô phỏng bộ điều khiển CMC

3.2.3.3 MÔ PHỎNG HTT BÁN TÍCH CỰC CÓ ĐIỀU KHIỂN CMC

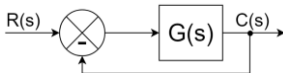


Hình 3.12 So sánh gia tốc thân xe với cấp đường B vận tốc 30km/h

Hình 3.19 So sánh lực tác dụng xuống đường, cấp đường C vận tốc 30km/h

3.3 PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN

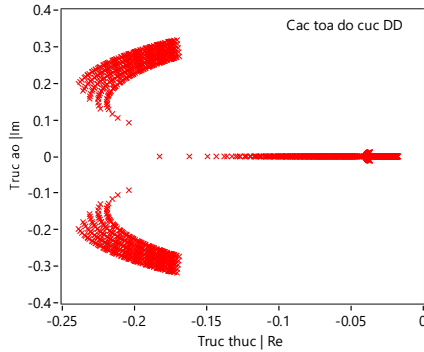
Trên cơ sở hàm truyền đạt của hệ thống treo xây dựng, luận án phân tích ổn định của hệ thống treo theo sơ đồ khối cho hệ kín $G_k(s)$ như sau:



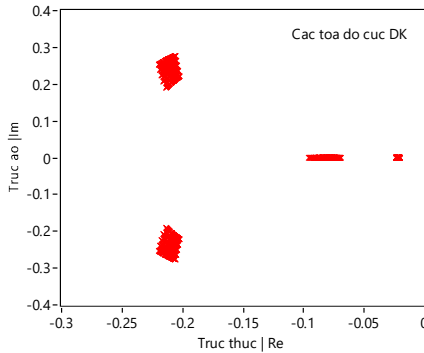
Hình 3.53 Sơ đồ khối phân tích ổn định HTT

Trong đó đặc tính tần số hệ hở $G(s)$ đã được xây dựng bằng hàm

truyền W_{z2z0} . Mục tiêu đặt ra là xét tính ổn định của hệ thống kín trên.



Hình3.54a *Giản đồ cực trong trường hợp danh định*



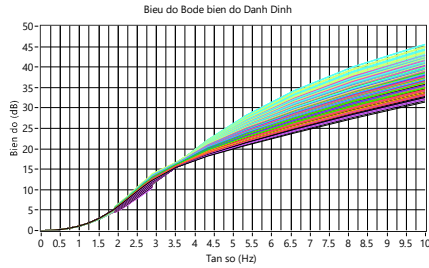
Hình 3.54b *Giản đồ cực trong trường hợp điều khiển*

Giản đồ cực trong mặt phẳng phức trong cả hai trường hợp danh định và trường hợp có điều khiển ta thấy hệ thống thỏa mãn điều kiện ổn định.

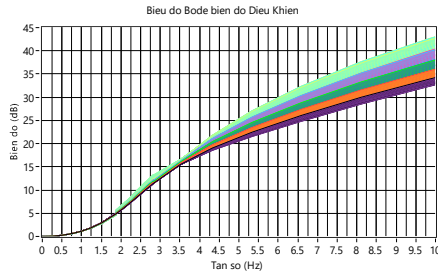
So với hệ thống có điều khiển thì hệ thống danh định cũng đạt ổn định nhưng đáp ứng của hệ thống khi thay đổi điều kiện làm việc có biến động lớn. Từ kết quả cho thấy bộ điều khiển đã đạt yêu cầu ổn định bền vững.

3.4 ĐÁNH GIÁ YẾU TỐ BỀN VỮNG

Kết quả của đánh giá bền vững trả về ở cả hai trường hợp danh định và có điều khiển CMC nhằm đánh giá yếu tố bền vững của quá trình điều khiển.



Hình 3.57 Biểu đồ Bode của trường hợp danh định.



Hình 3.58 Biểu đồ Bode trường hợp có bộ điều khiển CMC

Kết quả phân tích Bode về pha cho thấy, so với danh định hệ thống mới có độ mở về pha nhỏ hơn xấp xỉ 50%, các chỉ thị màu cho thấy có sự sắp xếp trật tự các đáp ứng hệ thống cho dù mỗi bộ dữ liệu kích thích đưa vào mô phỏng kèm theo một sự thay đổi khối lượng vẫn không gây ra sự mất ổn định về pha, hình 3.59 và hình 3.60. Hay nói một cách cụ thể, hệ thống đạt điều kiện ổn định nội về pha. Như vậy với phân tích bền vững đã cho kết quả hệ thống sau khi điều khiển đạt điều kiện ổn định nội.

CHƯƠNG 4

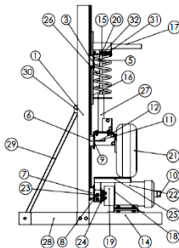
NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1 XÂY DỰNG MỤC ĐÍCH THÍ NGHIỆM

L luận án đã chế tạo thiết bị thí nghiệm dao động $\frac{1}{4}$ xe độ tương quan cao với mô hình lý thuyết nhằm: Xác định các thông số kết cấu để đưa vào mô hình tính toán, mô phỏng, cụ thể là các độ cứng, các hệ số cản giảm chấn; Kiểm tra độ tương quan của mô hình thực nghiệm và mô hình lý thuyết; Thực nghiệm bộ điều khiển sau khi đã thiết kế.

4.2 XÂY DỰNG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

Thiết bị thí nghiệm được mô tả trên bản vẽ hình 4.1.



Hình 4.1 Mô tả thiết bị thí nghiệm



Hình 4.2 Thiết bị theo thiết kế và thiết bị hoàn chỉnh đã lắp đặt tại phòng thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm được chế tạo trên cơ sở bám sát mô hình lý thuyết dao động $\frac{1}{4}$ xe, các thông số kết cấu được lấy từ thông số của đối tượng thí nghiệm theo tỉ lệ 1:1.

4.2.1 LỰA CHỌN HỆ THỐNG CẢM BIẾN VÀ THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG



Hình 4.4 Lựa chọn cảm biến gia tốc

Cảm biến được bảo vệ trong vỏ kim loại, chống sốc và khử nhiễu.

4.2.1.2 THIẾT KẾ DỤNG CỤ ĐO CHUYÊN DỤNG



Hình 4.5 Cảm biến vị trí tuyến tính

4.2.1.3 THIẾT KẾ DỤNG CỤ ĐO LỰC TÁC DỤNG XUỐNG ĐƯỜNG

Lượn án sử dụng cảm biến lực (Loadcell) Kyowa 20kN, LUK-A-20kN. Loadcell dùng trong nhiều thí nghiệm khác nhau, để xác định thông số, kiểm chứng bộ điều khiển, đo trực tiếp lực cản giảm chấn.

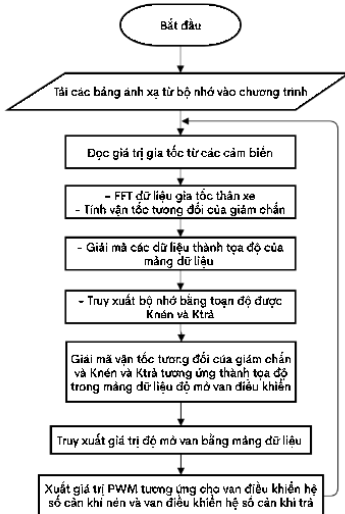


Hình 4.6 Loadcell Kyowa 20kN

4.2.2 THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CMC TRÊN NỀN TẢNG MYRIO

4.2.2.1 THIẾT KẾ PHẦN MỀM ĐỌC VÀ TRUY XUẤT BẢNG MAP

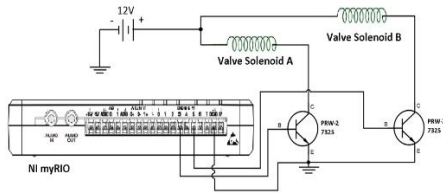
Chương trình điều khiển được viết và biên dịch trên nền tảng LabVIEW, thuật toán được trình bày theo lưu đồ hình 4.9.



Hình 4.9 Lưu đồ thuật toán điều khiển

4.2.2.2 THIẾT KẾ PHẦN CỨNG ĐIỀU KHIỂN VAN GIẢM CHẤN

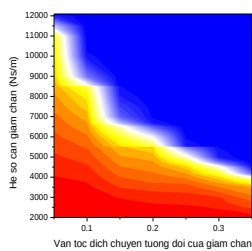
Để điều khiển hệ số cản giảm chấn cho giảm chấn EDC, Mạch điện điều khiển được sử dụng là mạch công suất sử dụng 2 Transitor có công suất cao, hệ số khuếch đại nhỏ, tích hợp sẵn mạch phân cực và bảo vệ quá dòng. Mỗi một van điều khiển (van nén và van trả) được điều khiển độc lập bằng 1 transistor.



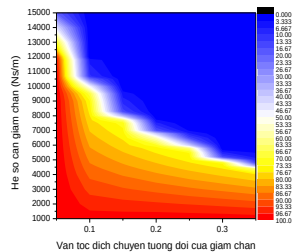
Hình 4.12 Sơ đồ mạch điều khiển van giảm chấn.

4.3 NỘI DUNG CÁC THÍ NGHIỆM

4.3.1 XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ KẾT CẤU



Hình 4.15 MAP điều khiển cho Knen



Hình 4.16 MAP điều khiển cho Ktra

4.3.1.2 XÁC ĐỊNH ĐỘ CỨNG CỦA GIẢM CHẤN; ĐỘ CỨNG LỚP

Bảng 6 Bảng giá trị kết quả đo được.

Delta L (mm)	F (N)	C
325	0	0
291	880	25882.35
286	1000	25641.03
278	1200	25531.91
270	1400	25454.55
262	1600	25396.83
254	1800	25352.11
247	1960	25128.21
C trung bình		25483.85

Bảng 7 Bảng kết quả đo độ cứng của bánh xe.

L	(mm)	F (N)	C _{bánh xe}
0	2990	0	0
1	3023	700	212121
2	3035	900	200000
3	3045	1150	209090

4	3060	1300	185714
5	3067	1500	194805
6	3080	1720	191111
7	3090	1940	194000
8	3093	2120	205825
9	3100	2300	209090
10	3120	2470	190000
Độ cứng bánh xe trung bình			199175
Chọn CL = 200000			

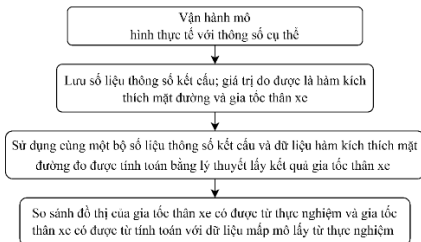
4.3.1.3 XÁC ĐỊNH HỆ SỐ CẢN GIẢM CHẤN CỦA LỚP

Bảng 8 Bảng kết quả tính toán sau 3 lần thực nghiệm.

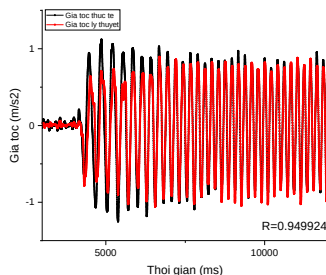
A1	A2	M	D	Ψ	KLbánh xe
13.6265	9.8482	2500	1.383654	0.102868	4600.39
13.3654	9.71358	2500	1.37595	0.101117	4522.107
14.0132	10.3215	2500	1.357671	0.096921	4334.427
Hệ số cản bánh xe trung bình KL					4485.641
Chọn KL 4500					

4.3.2 KIỂM TRA ĐỘ TƯƠNG QUAN CỦA MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

Quá trình kiểm tra tương quan động lực học theo sơ đồ sau:



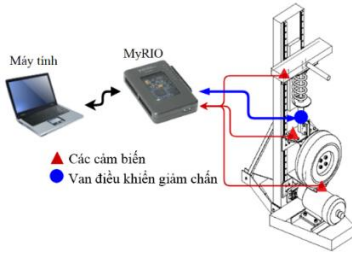
Hình 4.20 Sơ đồ khối quá trình phân tích tương quan động lực học



Hình 4.21 Kết quả so sánh tương quan giữa lý thuyết và thực nghiệm với tham số lọc thông thấp 10Hz, $R = 0.949$

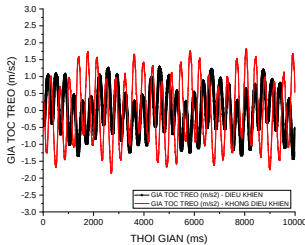
Qua đồ thị, luận án chứng minh mô hình thí nghiệm thực tế đã chế tạo đạt yêu cầu về sự tương đồng giữa lý thuyết và thực nghiệm để có thể áp dụng trong thí nghiệm đánh giá bộ điều khiển, đạt độ tin cậy cao.

4.3.3 THỰC NGHIỆM BỘ ĐIỀU KHIỂN SAU KHI ĐÃ THIẾT KẾ

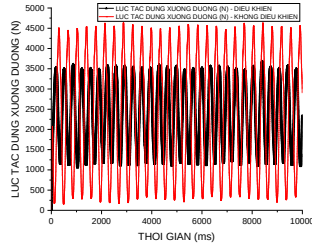


Hình 4.22: Sơ đồ bố trí thiết bị đo lường và điều khiển

Thực nghiệm so sánh giữa HTT bị động và HTT có điều khiển được trình bày theo các biểu đồ quan sát gia tốc phần treo, gia tốc phần không treo, lực tác dụng xuống đường, với HTT vận hành bằng tần số kích thích thay đổi trong khoảng tần số 0,5 đến 6 Hz. Các biểu đồ đo ghi tại trạng thái dao động ổn định.



Hình 4.25 So sánh gia tốc thân xe tại tần số kích thích 2,75 Hz

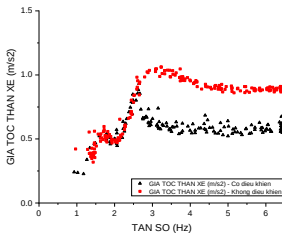


Hình 4.26 So sánh lực tác dụng xuống đường tại tần số 2,75 Hz

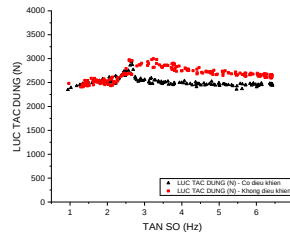
Trong kết quả này, tại tần số kích thích 2,75 Hz, gia tốc phần treo trong hai trường hợp không điều khiển và có điều khiển cho thấy: Giá trị gia tốc phần treo khi điều khiển giảm đi trung bình 0,75 m/s². Gia tốc thân xe bắt đầu giảm nhiều do kết quả tối ưu cũng cho thấy có nhiều khoảng giá trị trên MAP có thể đạt được tối ưu hơn nên gia tốc thân xe không vượt quá 2,5m/s²; Lực tác dụng xuống đường, tại tần số kích thích 2,75 Hz, trong hai trường hợp không điều khiển và có sự điều khiển cho thấy giá trị lực

tác dụng xuống đường khi giảm chấn danh định có giá trị dao động lớn quanh giá trị tải trọng tĩnh, phần biên độ thấp có giá trị nhỏ nhất chỉ khoảng 200N khả năng tách bánh cao. Ngược lại khi có điều khiển lực tác dụng xuống đường giảm với biên độ lớn giảm xấp xỉ 22%, tuy nhiên khoảng dao động của lực nhỏ lại giúp bám đường tốt hơn so với trường hợp danh định, tăng xấp xỉ 22,7%.

Để có một đánh giá toàn diện, luận án xây dựng đặc tính tần số biên độ của gia tốc thân xe và lực tác dụng xuống đường bằng thực nghiệm với tần số kích thích từ thấp đến 6,5 Hz. Và các kết quả thể hiện trong hình 4.33 và hình 4.34.



Hình 4.33 So sánh đặc tính tần số biên độ gia tốc thân xe



Hình 4.34 So sánh đặc tính tần số biên độ tải trọng tác dụng xuống đường

Ngoài vùng cộng hưởng, khoảng tần số kích thích dưới 2,5Hz, các kết quả tối ưu chỉ ra có ít khoảng làm việc đạt được điều kiện bền vững. Với những điểm không đạt bền vững HTT bán tích cực không điều chỉnh giảm chấn. Từ tần số kích thích 2,5 Hz đến 3 Hz cả hai đặc tính tần số biên độ đều giảm nhanh đến giá trị ổn định. Mức độ giảm mạnh đến 40% của gia tốc thân xe và giảm 16% lực tác dụng xuống đường mà vẫn đảm bảo tính an toàn chuyển động. Cả hai chỉ tiêu này đều thỏa mãn các tiêu chí của HTT. Từ tần số 3Hz trở về sau, Gia tốc thân xe duy trì mức độ giảm biên độ xung quanh 25%, trong khi đó lực tác dụng xuống đường cũng giảm đi nhưng giảm ít khoảng 8,5%. Tuy nhiên khả năng bám đường không giảm do biên độ dao động của lực được thu hẹp.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu điều khiển HTT bán tích cực bằng cả lý thuyết và thực nghiệm đã chứng tỏ hiệu quả của bộ điều khiển CMC khi áp dụng vào điều khiển HTT bán tích cực. Về gia tốc thân xe có sự giảm rõ rệt (giảm xấp xỉ 40%) và duy trì ổn định giá trị gia tốc thân xe sau đó (giảm xấp xỉ 25%), lực tác dụng xuống nền đường khi hệ thống làm việc trong toàn vùng làm việc suy giảm ít (xấp xỉ trong khoảng từ 8,5% đến 16%), vẫn đảm bảo lực tác dụng xuống đường, đồng thời biên độ thấp của lực tác dụng xuống đường tăng nên dù giá trị bình phương trung bình của lực tác dụng xuống đường giảm nhưng không giảm tính an toàn chuyển động.

Bằng những kết quả lý thuyết và thực nghiệm trên thiết bị, luận án đã chế tạo hoàn tất và thử nghiệm bộ điều khiển CMC, đã nghiên cứu và cho ra các đánh giá hiệu quả của giải pháp điều khiển HTT đã đề ra.

Những kiến nghị đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo

- Có thể tiếp tục nghiên cứu tìm thêm các yếu tố gây mất ổn định để bổ sung thêm yêu cầu tính toán nhằm có một bộ điều khiển mới bền vững hơn nữa;

- Trên cơ sở giải thuật đã thực hiện, với nhu cầu tính toán nhiều hơn, tập đầu vào lớn hơn có thể phát triển thêm các giải thuật mới phục vụ để giảm thời gian tính toán khi số bước tính lớn mà vẫn xây dựng được MAP có đầy đủ tham số trong toàn vùng làm việc của HTT;

- Có thể áp dụng bộ điều khiển CMC cho các hệ thống động lực khác trên ô tô, vì đây là một bộ điều khiển rất dễ áp dụng;

- Có thể phát triển một giải pháp điều khiển HTT toàn cục dựa trên kết quả nghiên cứu giải pháp điều khiển HTT $\frac{1}{4}$ xe đã hoàn thiện.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Nguyễn Văn Trà, Nguyễn Trịnh Nguyên. Một số định hướng điều khiển hệ thống treo bán tích cực; Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí-Lần thứ IV. **2015**. Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP HCM; ISBN: 978-604-73-3690- 6
2. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà. Nghiên cứu và chế tạo mô hình hệ thống treo $\frac{1}{4}$ xe phục vụ cho nghiên cứu và thử nghiệm. Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - động lực. **2016**; Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội; ISBN: 978-604-95-0040-4
3. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà. Phan Minh Hiếu, Lê Quang Trí, Nguyễn Văn Tuấn Anh, Nghiên cứu và chế tạo thiết bị xác định hệ số cản giảm chấn bằng phương pháp đo trực tiếp. Hội Nghị Khoa học công nghệ toàn quốc về Cơ Khí-Động Lực. **2017**
4. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà. Kiểm tra tính ổn định của mô hình điều khiển hệ thống treo bán tích cực bằng lý thuyết điều khiển bền vững. **2018**. Tạp chí Cơ khí Việt Nam 5 (ISSN.0866-7056), 51-59
5. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà. Nghiên cứu xây dựng bảng tham số điều khiển cho hệ thống treo bán tích cực dùng bộ điều khiển ánh xạ băng. Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, Số đặc biệt, 10/**2019**
6. Nguyễn Trịnh Nguyên, Nguyễn Văn Trà. Nghiên cứu chế tạo bộ điều khiển ánh xạ băng theo điều kiện bền vững cho hệ thống treo bán tích cực. Tạp chí Cơ khí Việt Nam 10 (ISSN 2615 - 9910), 162. **2020**

