

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN VĂN BÀNG

**NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP VÒNG ĐIỀU KHIỂN TỪ XA THIẾT BỊ BAY
ỨNG DỤNG KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN HIỆN ĐẠI**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

Mã số: 9 52 02 16

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2020

Công trình được hoàn thành tại:
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học: **1. TS Đoàn Thế Tuấn**
2. PGS TS Nguyễn Quang Hùng

Phản biện 1: **PGS TS Nguyễn Quang Địch**
Đại học Bách khoa Hà nội

Phản biện 2: **PGS TS Nguyễn Thanh Hải**
Đại học Giao thông Vận tải

Phản biện 3: **PGS TS Trần Đức Thuận**
Viện Khoa học và Công nghệ Quân Sự

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số 1110/QĐ-HV, ngày 15 tháng 04 năm 2020 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi giờ ngày tháng năm 2020.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

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

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Đề tài góp phần làm sáng tỏ các nghiên cứu về VĐKTX đã được ứng dụng trong thực tế, đồng thời làm cơ sở trong cải tiến, nâng cấp cũng như thiết kế mới hệ thống điều khiển tên lửa từ xa.

2. Mục đích của đề tài

- Đưa ra phương pháp ổn định VĐKTX một cách hệ thống làm cơ sở trong nghiên cứu, phân tích cũng như tổng hợp VĐK.

- Góp phần phát triển học thuật trong lĩnh vực nghiên cứu VĐKTX.

3. Đối tượng nghiên cứu

VĐKTX của hệ thống điều khiển từ xa theo lệnh.

4. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu tổng hợp VĐKTX và ổn định tên lửa của hệ thống điều khiển từ xa theo lệnh ứng dụng kỹ thuật điều khiển tối ưu, thích nghi và kỹ thuật lọc tối ưu.

5. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với mô phỏng bằng máy tính để đánh giá kết quả, kiểm chứng các thuật toán đã xây dựng và đưa ra các đề xuất.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

- *Ý nghĩa khoa học:*

Luận án đề xuất một phương pháp mới tổng hợp VĐK, trong đó việc ổn định VĐK được thực hiện ở đài điều khiển theo tham số của mô hình tên lửa mẫu, kết hợp với hệ ổn định trên khoang thích nghi theo tham số của mô hình tên lửa mẫu đó.

Luận án dùng các phương pháp điều khiển hiện đại để giải các bài toán về hệ thống điều khiển tên lửa.

- *Ý nghĩa thực tiễn:*

Các kết quả nghiên cứu mở ra khả năng số hóa hệ thống điều khiển với kết cấu đơn giản, giảm bớt các cơ cấu và bộ đo cơ điện phức tạp như vẫn có trong các hệ thống điều khiển analog. Các thuật toán có thể hiện thực hóa trong điều kiện kỹ thuật công nghệ hiện nay, tạo ra khả năng ứng dụng kỹ thuật máy tính số.

7. Bố cục của luận án

Luận án gồm: Mở đầu, 4 chương, kết luận và phụ lục. Nội dung luận án được trình bày trong 141 trang in khổ A4.

Chương 1. Tổng quan về tổng hợp vòng điều khiển tên lửa từ xa

Chương 2. Tổng hợp vòng điều khiển tên lửa từ xa tối ưu

Chương 3. Ổn định tên lửa trong vòng điều khiển từ xa

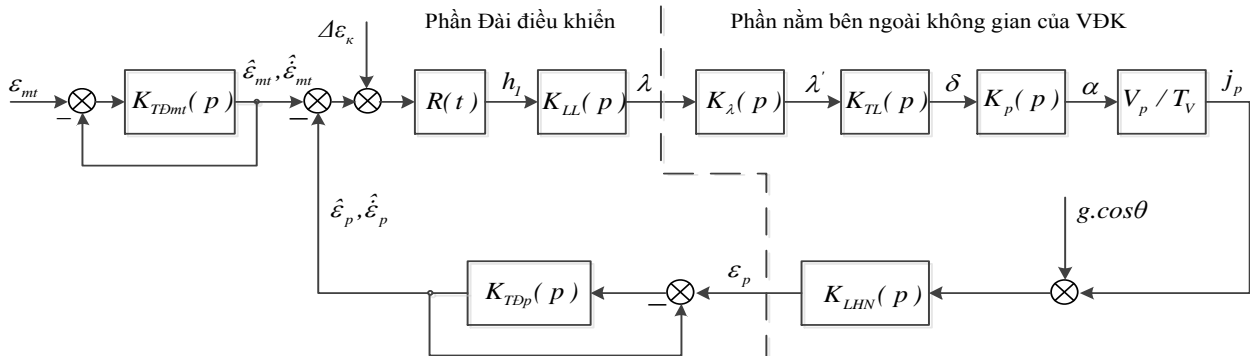
Chương 4. Mô phỏng đánh giá chất lượng vòng điều khiển từ xa

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ TỔNG HỢP VÒNG ĐIỀU KHIỂN TÊN LỬA TỪ XA

1.1. Khái quát chung về vòng điều khiển từ xa tên lửa phòng không

VĐKTX được hiểu là một tập hợp các thiết bị, phương tiện, các khối và các hệ thống bao gồm hệ lập lệnh và truyền lệnh, tuyến lái, tên lửa và hệ tọa độ (HTĐ) góc của tên lửa cũng như các khâu động hình học tạo nên một hệ thống điều khiển tự động khép kín [2].

Về mặt động học hệ thống điều khiển tên lửa từ xa có sơ đồ cấu trúc chỉ ra trên hình 1.2 [11].



Hình 1.2. Sơ đồ cấu trúc VĐKTX cho một mặt phẳng điều khiển

Với cấu trúc như trên, các bài toán lớn đặt ra khi tổng hợp hệ thống điều khiển TLPK bao gồm:

- Bài toán tổng hợp PPD tên lửa: Hình thành quỹ đạo mong muốn cho tên lửa. Bài toán này thường được xem xét khi coi tên lửa là chất điểm, không xét đến tính chất động học của tên lửa mà chỉ xét đến mối quan hệ động hình học tên lửa - mục tiêu. Yêu cầu đặt ra cho việc tổng hợp PPD là đảm bảo độ trượt (sai lệch thẳng) và độ cong quỹ đạo nhỏ. Các PPD TLPK truyền thống thường sử dụng phương pháp dẫn “TT”, “PIC” và các biến thể của nó. Trong phạm vi của luận án không nghiên cứu về tổng hợp PPD.

- Bài toán ổn định VĐK: Trên cơ sở PPD, động học của các khâu trong VĐK cần tìm luật điều khiển để VĐK ổn định và đạt được chỉ tiêu chất lượng yêu cầu. Thông thường động học HTĐ được bỏ qua, bởi vì khi thiết kế HTĐ, yêu cầu đặt ra là dải thông của nó phải đảm bảo lớn hơn nhiều dải thông của VĐK. Yêu cầu đặt ra cho bài toán ổn định VĐK là độ lệch quỹ đạo thực và quỹ đạo lý tưởng nhỏ đồng thời tên lửa phải chuyển động ổn định trên quỹ đạo động.

- Bài toán tổng hợp hệ xác định tọa độ mục tiêu và tên lửa: Tương ứng hình thành một hệ bám kín để xác định các tham số chuyển động của mục tiêu và tên lửa. Yêu cầu đặt ra cho HTĐ ngoài độ chính xác xác định tọa độ còn phải đảm bảo dải thông đủ lớn để không ảnh hưởng đến tính chất động của vòng điều khiển.

- Bài toán ổn định tên lửa hay còn gọi là bài toán tổng hợp hệ thống ổn định trên khoang tên lửa: Về mặt động học khi chưa ổn định, tên lửa là khâu dao động với các tham số thay đổi theo điều kiện bay. Hệ số suy giảm nhỏ và hệ số khuếch đại thay đổi lớn là những lý do bắt buộc phải ổn định tên lửa. Yêu cầu đặt ra cho hệ thống ổn định trên khoang là tham số của khâu tên lửa đã ổn định phải đảm bảo tính tác động nhanh, hệ số suy giảm dao động đủ lớn và hệ số truyền ổn định trong mọi điều kiện bay.

1.2. Tên lửa và các yếu tố ảnh hưởng đến tham số động học của tên lửa

Các phương trình động lực học của tên lửa có thể coi là những phương trình vi phân tuyến tính [6, 11, 35]:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \frac{I}{mV_p} (C_y^\alpha \cdot a \cdot q \cdot S \cdot 57,3 + Pa + C_y^\delta \cdot \delta \cdot q \cdot S_{CL} \cdot 57,3) \\ \dot{\omega}_z = \frac{I}{I_z} \left[C_y^\alpha \alpha (\bar{X}_m - \bar{X}_{F\alpha}) q S L \cdot 57,3 + m_z^{\omega_z} \frac{q S L^2}{V_p} \omega_z - m_c (x_1^2 - x_2^2) \omega_z \right. \\ \left. + C_y^\delta \delta (\bar{X}_m - \bar{X}_{F\delta}) q S_{CL} L \cdot 57,3 \right] \\ \omega_z = \dot{\theta} + \dot{\alpha} \end{cases} \quad (1.6)$$

Thực hiện một số biến đổi (1.6), khi đó quan hệ giữa góc tấn công theo góc quay cánh lái, quan hệ giữa gia tốc pháp tuyến theo góc quay cánh lái có dạng:

$$T_p^2 \ddot{\alpha} + 2\zeta_p T_p \dot{\alpha} + \alpha = K_{2p} K_{1p} T_{1c} (\delta - T_{2c} \dot{\delta}) \quad (1.11)$$

$$T_p^2 \ddot{j}_p + 2\zeta_p T_p \dot{j}_p + j_p = V_p K_{2p} [T_j^2 \ddot{\delta} + 2\zeta_j T_j \dot{\delta} + \delta] \quad (1.12)$$

$$\text{Trong đó, } T_p = \frac{I}{\sqrt{a_2 + a_1 \cdot a_4}}; \zeta_p = \frac{a_1 + a_4}{2\sqrt{a_2 + a_1 \cdot a_4}}; K_{2p} = \frac{a_3 \cdot a_4 + a_2 \cdot a_6}{a_2 + a_1 \cdot a_4} \quad (1.13)$$

$$K_{1p} = \frac{a_3 - a_1 \cdot a_6}{a_3}; T_{1c} = \frac{a_3}{a_3 \cdot a_4 + a_2 \cdot a_6}; T_{2c} = \frac{a_6}{a_3 - a_1 \cdot a_6} \quad (1.14)$$

$$T_j^2 = \frac{a_6}{a_3 \cdot a_4 + a_2 \cdot a_6}; 2\zeta_j T_j = \frac{a_1 a_6}{a_3 \cdot a_4 + a_2 \cdot a_6} \quad (1.15)$$

Thấy rằng, các tham số $K_{1p}, K_{2p}, T_{1c}, T_{2c}, \zeta_p, T_p$ trong (1.11) là các tham số biến thiên theo thời gian. Tuy nhiên, các tham số này thay đổi không đáng kể trong khoảng thời gian ngắn (quá trình biến đổi chậm). Bằng phương pháp cố định hệ số, có thể biểu diễn nó dưới dạng hàm truyền và coi các hệ số trong hàm truyền bằng hằng số trong mỗi khoảng thời gian đủ nhỏ.

Khi này hàm truyền của tên lửa theo góc tấn công được cho bởi [10, 35]:

$$K_p^\alpha(p) = \frac{\alpha(p)}{\delta(p)} = K_{2p} \cdot K_{1p} \cdot T_{1c} \frac{1 - pT_{2c}}{1 + 2\zeta_p T_p p + T_p^2 p^2} \quad (1.16)$$

Hàm truyền của tên lửa theo gia tốc pháp tuyến có dạng [10,35]:

$$K_p^j(p) = \frac{j(p)}{\delta(p)} = V_p K_{2p} \frac{1 + 2\zeta_j T_j p + T_j^2 p^2}{1 + 2\zeta_p T_p p + T_p^2 p^2} \quad (1.17)$$

a_1 - Hệ số cản động học;

a_2 - Hệ số động học ổn định tĩnh tên lửa;

a_3 - Hệ số hiệu quả cánh lái khí động;

a_4 - Hệ số động lực nâng khí động do góc tấn công tạo ra;

a_6 - Hệ số động lực nâng cánh lái khí động.

- Ý nghĩa của các đại lượng khác được chỉ ra trong bảng 1.2.

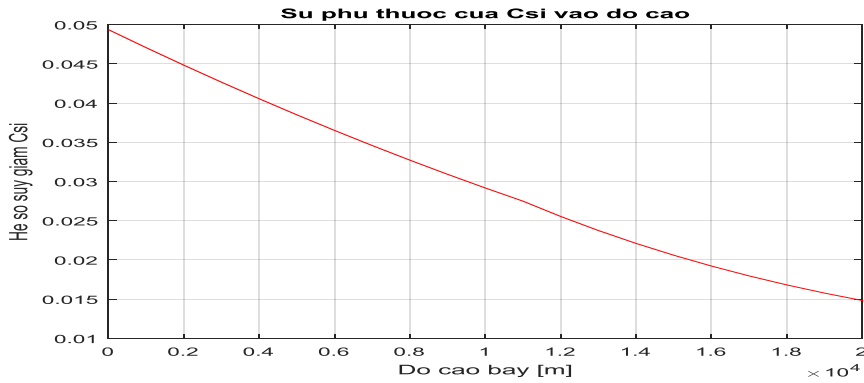
Do lực nâng trên cánh lái nhỏ hơn lực nâng trên cánh rất nhiều ($Y^\delta \ll Y^a$) [10, 35] nên ta có thể đơn giản hóa biểu thức (1.13), (1.14), (1.15) bằng cách đặt hệ số $a_6 = 0$. Khi đó, hàm truyền tên lửa theo gia tốc pháp tuyến được biểu diễn dưới dạng:

$$K_p^j(p) = V_p K_{2p} \frac{1}{1 + 2\zeta_p T_p p + T_p^2 p^2} \quad (1.27)$$

$$\text{Trong đó, } T_p = \frac{1}{\sqrt{a_2 + a_1 \cdot a_4}}; \zeta_p = \frac{a_1 + a_4}{2\sqrt{a_2 + a_1 \cdot a_4}}; K_{2p} = \frac{a_3 \cdot a_4}{a_2 + a_1 \cdot a_4}; \quad (1.28)$$

$$K_p = K_{2p} T_{1c}; K_p^j = V_p K_{2p}; \bar{K}_p = \frac{K_p^j}{K_p^j|_{H=0}} \quad (1.29)$$

- Để đánh giá sự thay đổi của các tham số động học K_p , ζ_p , T_p theo độ cao bay, sử dụng số liệu của đạn tên lửa 5B27 cho trong bảng 1.2 [8, 10, 35, 39].



Hình 1.4. Sự phụ thuộc của ζ_p vào độ cao

Nhận xét: Thông qua việc phân tích, biến đổi và tính toán, ta thấy rằng;

- Mô hình động học của tên lửa là hệ động học phi tuyến, để có được mô hình tên lửa là khâu dao động cần phải tuyến tính hóa và thực hiện một số các xấp xỉ, các xấp xỉ này chấp nhận được trong thực tế.

- Cả ba tham số động học của tên lửa K_p , ζ_p , T_p đều thay đổi đáng kể theo độ cao bay; Đồng thời nó cũng thay đổi theo các điều kiện bay khác như tốc độ tên lửa, hệ số lực nâng, lực cản...

- Hằng số thời gian T_p mặc dù thay đổi nhưng giá trị của nó nhỏ, nên trong thực tế người ta thường không sử dụng các giải pháp để ổn định trực tiếp T_p .

- Đối với tham số K_p , ζ_p cần thiết phải có các giải pháp để ổn định nó.

1.3. Tổng quan về ổn định tên lửa

1.3.1. Ứng dụng lý thuyết điều khiển kinh điển

Thông thường, việc ổn định tên lửa thực hiện đồng thời hai giải pháp đó là tăng hệ số suy giảm ζ_p và ổn định hệ số truyền K_p cho tên lửa.

Giải pháp tăng hệ số suy giảm ζ_p , do khi chưa thực hiện các giải pháp ổn định thì ζ_p có giá trị rất nhỏ nên tên lửa sẽ dao động mạnh.

Trong [2, 10, 11, 35], chỉ ra các giải pháp làm tăng hệ số suy giảm gồm:

- Ổn định sử dụng con quay tự do để ổn định góc gật:
- Ổn định sử dụng con quay vi phân:

Giải pháp ổn định hệ số truyền được chỉ ra trong [2, 31, 43] bao gồm:

- Sử dụng cơ cấu lò xo để ổn định hệ số truyền:
- Sử dụng phản hồi gia tốc thẳng để ổn định hệ số truyền:
- Sử dụng cơ cấu thay đổi hệ số truyền (МИПЧ): Đây là khâu khuếch đại mắc nối tiếp với tuyến lái hoặc mắc vào mạch phản hồi của tuyến lái với hệ số truyền thay đổi phụ thuộc vào áp suất động.

Nhận xét: Các phương pháp truyền thống đảm bảo ổn định các tham số của khâu tên lửa, tuy nhiên chỉ đáp ứng được trong một dải nhất định sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại VĐK hở vào áp suất khí động.

- Việc ổn định các tham số khâu tên lửa cần các thiết bị phức tạp, nhiều cảm biến, mỗi tham số cần một bộ ổn định riêng biệt.

- Mặc dù đã thực hiện các giải pháp ổn định, nhưng thực tế tham số khâu tên lửa vẫn thay đổi, nên chất lượng VĐK sẽ giảm, tham số khâu tên lửa khác với tham số tính toán.

1.3.2. Ứng dụng điều khiển thích nghi

Trong [12] Abhijit Das, Ranajit Das, Siddhartha Mukhopadhyay, Amit Patra đề xuất phương pháp tổng hợp luật điều khiển ổn định tên lửa sử dụng phương pháp tuyến tính hóa phản hồi.

Đặc điểm của bộ điều khiển này là có tính tới tính phi tuyến mô hình tên lửa, luật điều khiển thực hiện đồng thời cho 3 kênh điều khiển. Tuy vậy biểu thức xác định luật điều khiển phức tạp, cần đo đạc, đánh giá rất nhiều tham số của tên lửa.

Trong [19] Chang-Hun Lee, Jin-Ik Lee, Byung-Eul Jun trình bày phương pháp tổng hợp luật điều khiển gia tốc pháp tuyến cho tên lửa sử dụng bộ điều khiển PI kết hợp phương pháp tuyến tính hóa phản hồi giữ chậm thời gian.

Đặc điểm của bộ điều khiển này là có tính tới tính phi tuyến và sự bất định của mô hình tên lửa. Tuy vậy biểu thức xác định luật điều khiển phức tạp, cần đo đạc (hoặc đánh giá) nhiều tham số của tên lửa như tốc độ, góc tấn đồng thời các hệ số khí động (hàm theo V_p, α) chưa được mô tả.

Nhận xét: Việc sử dụng lý thuyết điều khiển hiện đại có thể tổng hợp được hệ thống ổn định tên lửa, tuy vậy các giải pháp được đưa ra hiện nay chủ yếu sử dụng phương pháp tuyến tính hóa phản hồi, dẫn tới thuật toán ổn định phức tạp, cần nhiều bộ đo (hoặc đánh giá) tham số động học của tên lửa. Đồng thời các tham số khí động (hàm số theo V_p, α) về nguyên tắc là chưa biết, vì vậy việc hiện thực hóa thuật toán là rất khó khăn.

1.4. Tổng quan về tổng hợp luật điều khiển từ xa

1.4.1. Ứng dụng lý thuyết điều khiển kinh điển

Một số lớp tên lửa phòng không điều khiển từ xa hiện có ứng dụng lý thuyết điều khiển kinh điển để tổng hợp các khâu trong vòng điều khiển.

Trong [36, 41] chỉ ra luật điều khiển và ổn định vòng điều khiển như sau:

$$\lambda(p) = \left[\bar{h}(p) + \frac{pT_1}{1+pT_2} h(p) + h_g(p) \right] \frac{(1+pT_3)(1+pT_5)}{(1+2\zeta T_4 p + p^2 T_4^2)(1+pT_6)} \quad (1.39)$$

Ngoài thành phần $F(h)$ cho trước được chỉ ra trong [2, 32, 34], phương pháp xác định tham số trong biểu thức (1.39), cũng như các bước xác định hàm truyền của bộ lọc hiệu chỉnh không được mô tả cụ thể.

Nhận xét: Việc sử dụng lý thuyết điều khiển kinh điển để tổng hợp luật điều khiển trong VĐKTX chỉ đảm bảo chỉ tiêu chất lượng với một bộ tham số nhất định của tên lửa. Khi các tham số động học tên lửa thay đổi, lúc này VĐKTX vẫn ổn định vì việc thiết kế đã đảm bảo dự trữ ổn định. Tuy nhiên khi đó chỉ tiêu chất lượng sẽ giảm, đặc biệt khi tên lửa hoạt động trong điều kiện độ cao lớn, dải vận tốc thay đổi đáng kể.

1.4.2. Ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu

Trong [33, 41], ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu và lý thuyết lọc tối ưu để tổng hợp luật điều khiển tên lửa từ xa.

Luật điều khiển từ xa được tổng hợp trên cơ sở mô hình động học chỉ tính tới mối quan hệ động hình học tên lửa - mục tiêu mà chưa tính tới tính chất động học của bản thân khâu tên lửa.

Luật điều khiển có dạng [33]:

$$j_{yc} = r_p \left[\omega_k^2 (\hat{\varepsilon}_{mt} - \hat{\varepsilon}_p) + \sqrt{2} \omega_k (\hat{\varepsilon}_{mt} - \hat{\varepsilon}_p) + \hat{\varepsilon}_{mt} \right] \quad (1.42)$$

Trong đó, $\omega_k = \sqrt[4]{\gamma_1 / \gamma_3}$.

Nhận xét: Luật điều khiển (1.42) chưa đủ cơ sở để đảm bảo chỉ tiêu chất lượng và tính ổn định của VĐK bởi chưa tính tới động học khâu tên lửa. Đặc biệt trong điều kiện tham số tên lửa thay đổi trong mô hình khâu tên lửa.

- Để ứng dụng cần bổ sung khâu tên lửa vào VĐK, thực hiện hiệu chỉnh VĐK theo tham số (cố định) của khâu tên lửa, đảm bảo độ dự trữ ổn định cần thiết.

1.5. Đặt bài toán nghiên cứu và hướng giải quyết

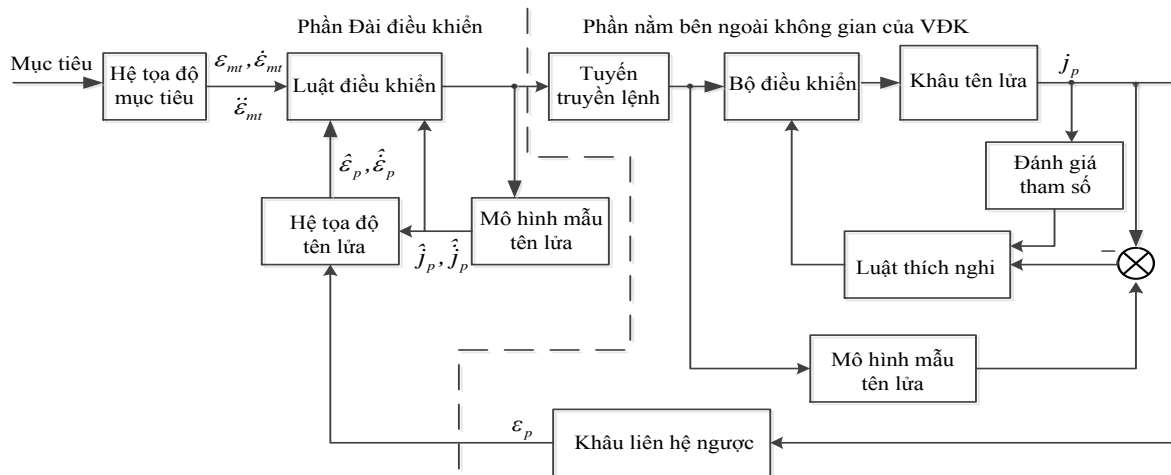
Bài toán 1: Tổng hợp luật điều khiển từ xa có tính tới động học khâu tên lửa;

- Xây dựng thuật toán điều khiển tên lửa từ xa trên cơ sở PPD và động học khâu tên lửa để hình thành luật điều khiển từ xa.

- Xây dựng thuật toán xác định tọa độ góc mục tiêu, tên lửa phục vụ cho việc tính toán luật điều khiển từ xa.

Bài toán 2: Ổn định khâu tên lửa, trong đó tính tới sự thay đổi tham số động học của tên lửa trong quá trình bay.

Để giải quyết hai bài toán trên, về phương pháp tiếp cận, luận án đề xuất sử dụng sơ đồ cấu trúc thích nghi chỉ ra trên hình 1.14.



Hình 1.14. Sơ đồ cấu trúc vòng điều khiển từ xa thích nghi

- Ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu để tổng hợp luật điều khiển từ xa có tính tới động học khâu tên lửa, khi này tham số của khâu tên lửa coi là cố định. Khâu tên lửa này được xem là khâu tên lửa mẫu. Khâu tên lửa mẫu nằm trong thành phần của VDK có thể xem như khâu lọc hiệu chỉnh cho VDK;

- Ứng dụng lý thuyết lọc Kalman để tổng hợp thuật toán đánh giá các tham số chuyển động của mục tiêu, tên lửa đảm bảo cung cấp các thông tin thực hiện luật điều khiển;

- Vòng ổn định tên lửa được thực hiện bởi kỹ thuật điều khiển thích nghi đảm bảo phản ứng của tên lửa trùng với phản ứng của mô hình tên lửa mẫu. Mô hình tên lửa phục vụ tổng hợp vòng ổn định có tính tới sự thay đổi tham số trong quá trình bay.

1.6. Kết luận chương 1

Việc tổng hợp VDK được thực hiện thông qua các bước sau:

- Tổng hợp luật điều khiển từ xa (hệ lập lệnh) trên cơ sở PPD đã chọn, mối liên hệ ngược động hình học và động học khâu tên lửa. Bài toán tổng hợp luật điều khiển là lựa chọn thuật toán, hiện thực hóa trong khối tạo lệnh điều khiển, đảm bảo VDK ổn định và đạt độ chính xác yêu cầu dẫn tên lửa.

- Tổng hợp thuật toán xác định các tham số chuyển động của mục tiêu, tên lửa (hệ tọa độ) đảm bảo cung cấp đủ thông tin để thực hiện luật điều khiển từ xa. Đồng thời HTĐ phải có dải thông lớn hơn nhiều dải thông của VDK để tính chất động của nó không ảnh hưởng đến tính chất động của VDK.

- Ổn định khâu tên lửa nhằm đảm bảo thích ứng được với sự thay đổi các tham số của nó trong suốt quá trình bay, cũng như đảm bảo tên lửa không bị dao động với tần số lớn, vượt quá mức chịu đựng của tên lửa.

Giải pháp tổng hợp luật điều khiển từ xa hiện nay được thực hiện theo 2 bước:

- Tổng hợp luật điều khiển, khi này chưa tính đến động học của khâu tên lửa.

- Ổn định vòng điều khiển, khi này tiến hành hiệu chỉnh vòng điều khiển có tính tới khâu tên lửa mẫu nằm trong thành phần của VDK. Khâu tên lửa khi này được xem như có tham số không đổi, VDK được hiệu chỉnh đảm bảo có độ dự trữ ổn định cần thiết, chất lượng của hệ thống sẽ giảm khi tham số của tên lửa thay đổi.

Giải pháp ổn định khâu tên lửa hiện nay được thực hiện cho từng tham số riêng biệt bằng các bộ ổn định riêng, tuy vậy vẫn chưa đảm bảo giữ cho tham số khâu tên lửa bằng hằng số.

Luận án đề xuất giải pháp tổng hợp vòng điều khiển từ xa trên cơ sở ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu, thích nghi theo các bước:

- Ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu tổng hợp luật điều khiển từ xa theo tham số của khâu tên lửa mẫu. Ứng dụng bộ lọc Kalman tổng hợp thuật toán đánh giá tham số chuyển động của mục tiêu, tên lửa phục vụ hiện thực hóa luật điều khiển từ xa.

- Ứng dụng lý thuyết điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu để ổn định khâu tên lửa, đảm bảo phản ứng của tên lửa thực trùng với tên lửa mẫu, trong điều kiện tham số khâu tên lửa thay đổi.

Chương 2. TỔNG HỢP VÒNG ĐIỀU KHIỂN TÊN LỬA TỪ XA TỐI ƯU

2.1. Kỹ thuật điều khiển tối ưu LQG

Theo nguyên lý điều khiển tối ưu, bài toán tối ưu LQG có thể giải bằng cách giải riêng từng bài toán, bài toán điều khiển tối ưu tiên định và bài toán đánh giá trạng thái tối ưu [3, 7, 33]:

$$LQG = LQR + \text{Lọc Kalman}$$

Luật điều khiển tối ưu LQR được cho bởi phương trình [3, 7, 33]:

$$\mathbf{u}^* = -\mathbf{L}\hat{\mathbf{x}} = -\mathbf{Q}_2^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{S}\hat{\mathbf{x}} \quad (2.6)$$

Hệ số khuếch đại phản hồi trạng thái: $\mathbf{L} = -\mathbf{Q}_2^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{S}$

Ma trận \mathbf{S} là nghiệm của phương trình đại số Riccati [3, 7, 33]:

$$-\frac{d\mathbf{S}}{dt} = \mathbf{A}^T\mathbf{S} + \mathbf{S}\mathbf{A} + \mathbf{Q}_1 - \mathbf{S}\mathbf{B}\mathbf{Q}_2^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{S} \quad (2.7)$$

Với các điều kiện biên $\mathbf{S}(T) = \mathbf{Q}_0$.

2.2. Động học chuyển động của thiết bị bay

- Đối với tên lửa, với giả thiết $(\theta - \varepsilon_p)$ rất nhỏ, mô hình động học chuyển động có dạng:

$$\ddot{\varepsilon}_p = -2\frac{\dot{r}_p}{r_p}\dot{\varepsilon}_p + \frac{j_p}{r_p} + \eta \quad (2.12)$$

Trong đó, $\eta = \frac{1}{r_p}\dot{V}_p \sin(\theta - \varepsilon_p)$, $\cos(\theta - \varepsilon_p) \approx 1$;

η được xem như tạp trắng Gauss với kỳ vọng bằng không và phương sai cho trước [33].

- Đối với mục tiêu, do gia tốc pháp tuyến không biết trước nên không thể sử dụng mô hình (2.12). Vì phân hai vế (2.10) nhận được: $\ddot{\varepsilon}_{mt} = w$ (2.13)

$$\text{Trong đó, } w = \frac{1}{r_{mt}} \begin{bmatrix} -\dot{r}_{mt}\ddot{\varepsilon}_{mt} - 2\dot{r}_{mt}\dot{\varepsilon}_{mt} - 2\dot{r}_{mt}\ddot{\varepsilon}_{mt} \\ +\dot{V}_{mt}\sin(\theta_{mt} - \varepsilon_{mt}) + \dot{V}_{mt}\cos(\theta_{mt} - \varepsilon_{mt})(\dot{\theta}_{mt} - \dot{\varepsilon}_{mt}) \\ +\dot{V}_{mt}\dot{\theta}_{mt}\cos(\theta_{mt} - \varepsilon_{mt}) + V_{mt}\ddot{\theta}_{mt}\cos(\theta_{mt} - \varepsilon_{mt}) - V_{mt}\dot{\theta}_{mt}\sin(\theta_{mt} - \varepsilon_{mt})(\dot{\theta}_{mt} - \dot{\varepsilon}_{mt}) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Với w được xem như tạp trắng Gauss trung tâm.

2.3. Tổng hợp luật điều khiển từ xa khi không tính tới động học khâu tên lửa

Độ lệch thẳng được xác định bởi [2, 31, 32, 34, 36, 37, 43]:

$$h_1 = r_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) \quad (2.15)$$

Khi đó nhận được:

$$h_2 = \dot{h}_1 = r_p(\dot{\varepsilon}_p - \dot{\varepsilon}_{mt}) + \dot{r}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) \quad (2.16)$$

$$\dot{h}_2 = r_p(\ddot{\varepsilon}_p - \ddot{\varepsilon}_{mt}) + 2\dot{r}_p(\dot{\varepsilon}_p - \dot{\varepsilon}_{mt}) + \ddot{r}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) \quad (2.17)$$

Kết hợp với (2.12), mô hình động học (2.17) được biến đổi như sau:

$$r_p(\ddot{\varepsilon}_p - \ddot{\varepsilon}_{mt}) + 2\dot{r}_p(\dot{\varepsilon}_p - \dot{\varepsilon}_{mt}) + \ddot{r}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) = -2\dot{r}_p\dot{\varepsilon}_{mt} - r_p\ddot{\varepsilon}_{mt} + \ddot{r}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) + j_p \quad (2.18)$$

Từ (2.16), (2.17), (2.18) ta có:

$$\dot{h}_2 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p} h_1 - 2\dot{r}_p\dot{\varepsilon}_{mt} - r_p\ddot{\varepsilon}_{mt} + j_p \quad (2.19)$$

Như vậy, mô hình động học theo sai lệch thẳng được mô tả bởi:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = h_2 \\ \dot{h}_2 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p} h_1 - 2\dot{r}_p\dot{\varepsilon}_{mt} - r_p\ddot{\varepsilon}_{mt} + j_p \end{cases} \quad (2.20)$$

Đặt: $h_3 = -\dot{\varepsilon}_{mt}$, $\dot{h}_3 = h_4 = -\ddot{\varepsilon}_{mt}$; $\dot{h}_4 = -\ddot{\varepsilon}_{mt} \approx 0$

Khi đó (2.20) được viết lại thành:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = h_2 \\ \dot{h}_2 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p} h_1 + 2\dot{r}_p h_3 + r_p h_4 + j_p \\ \dot{h}_3 = h_4 \\ \dot{h}_4 = 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

Khi này, bài toán tổng hợp luật điều khiển từ xa khi không tính tới động học khâu tên lửa được phát biểu như sau: Với mô hình động học (2.21), tìm luật điều khiển j_p sao cho cực tiểu phiếm hàm chất lượng I ở dạng toàn phương. Phiếm hàm chất lượng I được lựa chọn có dạng:

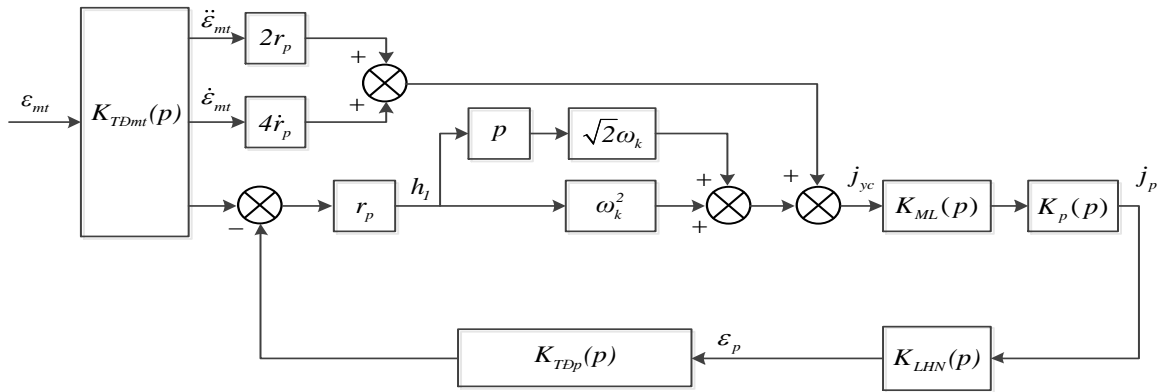
$$I = h_1^2 \Big|_{t=t_f} + \int_0^{t_f} (\gamma_1 h_1^2 + \gamma_2 h_2^2 + \gamma_3 j_p^2) dt \quad (2.22)$$

Giải phương trình Riccati ở trạng thái xác lập và giả thiết $\frac{\ddot{r}_p}{r_p} \approx 0$;

Khi đó nhận được luật điều khiển có dạng: $j_p = -\omega_k^2 h_1 - \sqrt{2}\omega_k h_2 + 4\dot{r}_p\dot{\varepsilon}_{mt} + 2r_p\ddot{\varepsilon}_{mt}$ (2.28)

Trong đó, $\begin{cases} h_1 = r_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) \\ h_2 = \dot{h}_1 = r_p(\dot{\varepsilon}_p - \dot{\varepsilon}_{mt}) + \dot{r}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{mt}) \end{cases}$ (2.29)

Với luật điều khiển (2.28) tham số thiết kế ω_k được lựa chọn để đảm bảo dải thông của VĐK.



Hình 2.2. Sơ đồ cấu trúc VDKTX tối ưu khi không tính tới động học khâu tên lửa

Để có được định lượng hệ số trong luật điều khiển, ở đây đề xuất một phương pháp khác, trong đó bổ sung thêm các ràng buộc về chất lượng của vòng điều khiển.

Với T_{cp} là hằng số thời gian cho phép (hằng số thời gian khử sai lệch ban đầu), khi đó:

$$T_{cp} = \frac{h_{2max} + \sqrt{h_{2max}^2 + u_{max} h_{1max}}}{u_{max}} \quad (2.41)$$

Giá trị tối ưu được xác định theo (2.28) với $\omega_k < \frac{1}{T_{cp}}$.

Thực hiện mô phỏng vòng điều khiển với các tham số như sau:

- Luật điều khiển sử dụng (2.28) với $\omega_k = \frac{1}{T_{cp}}$

- Hằng số thời gian cho phép: $T_{cp} = 1,1651 s$.

- Tên lửa có vận tốc $V_p = 720 m/s$, được xem xét trong 2 trường hợp:

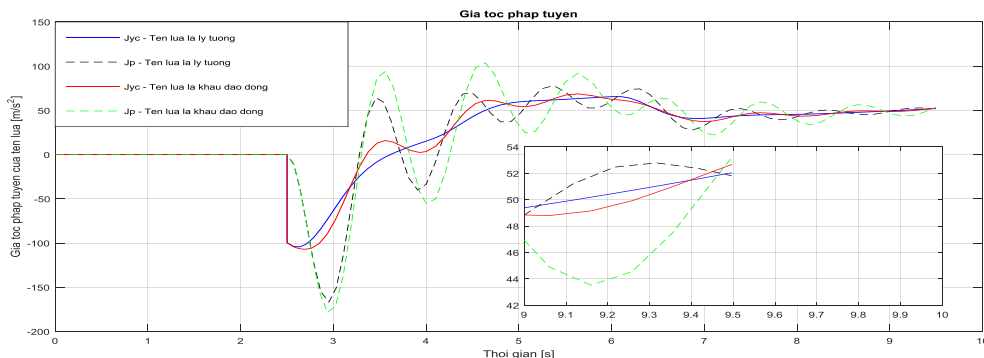
+ Trường hợp 1: Tên lửa là chất điểm (lý tưởng), $K_p(p) = 1$.

+ Trường hợp 2: Tên lửa là khâu dao động với hàm truyền:

$$K_p(p) = \frac{j_p(p)}{j_{yc}(p)} = \frac{1}{0,1^2 p^2 + 2 \times 0,7 \times 0,1 p + 1}$$

- Thời điểm bắt đầu điều khiển tên lửa: 2,5 s.

- Cụ ly nghiêng ban đầu của mục tiêu; 10 km, ở độ cao; 2,1 km, có vận tốc; 350 m/s, bắt đầu cơ động 3g tại thời điểm $t_{bd} = 4 s$, kết thúc tại thời điểm $t_{kt} = 6 s$.



Hình 2.10. Gia tốc pháp tuyến của tên lửa

Nhận xét: Việc ứng dụng luật điều khiển (2.28) khi không tính tới động học khâu tên lửa trong VĐK dẫn tới tên lửa sẽ dao động quanh quỹ đạo động, vì vậy cự ly gần vùng tiêu diệt sẽ tăng lên.

Trường hợp khảo sát khi tên lửa là khâu dao động (có tính tới động học khâu tên lửa) với luật điều khiển (2.28) (là luật không tính tới động học khâu tên lửa), thấy rằng tên lửa dao động mạnh quanh quỹ đạo động, có thể mất ổn định. Do đó luật điều khiển này chưa sử dụng được trong thực tế.

Chính vì vậy dẫn đến sự cần thiết phải tổng hợp luật điều khiển mà ở đó có tính tới yếu tố động học của khâu tên lửa, nghĩa là cần bổ sung khâu tên lửa vào VĐK, thực hiện hiệu chỉnh VĐK theo tham số (cố định) của khâu tên lửa, đảm bảo độ dự trữ ổn định cần thiết.

2.4. Tổng hợp luật điều khiển từ xa khi tính tới động học khâu tên lửa

Sự thay đổi gia tốc pháp tuyến của tên lửa phụ thuộc vào góc lệch cánh lái trong rãnh gât được mô tả bởi hàm truyền:

$$K_p^j(p) = \frac{j_p(p)}{\delta(p)} = \frac{K_{2p} V_p}{T_p^2 p^2 + 2\xi_p T_p p + 1} \quad (2.43)$$

Bỏ qua động học của máy lái, khi đó ta có:

$$\frac{j_p(p)}{j_{yc}(p)} = \frac{\bar{K}_p}{1 + 2\xi_p T_p p + T_p^2 p^2} \quad (2.44)$$

Trong đó, j_{yc} là gia tốc yêu cầu của tên lửa.

$\bar{K}_p \equiv K_{2p} V_p / K_\delta^j$; K_δ^j - Hệ số biến đổi từ góc quay cánh lái thành gia tốc pháp tuyến.

Biến đổi hàm truyền (2.44) về dạng phương trình vi phân:

$$\ddot{j}_p = -\frac{2\xi_p}{T_p} \dot{j}_p - \frac{1}{T_p^2} j_p + \frac{\bar{K}_p}{T_p^2} j_{yc} \quad (2.45)$$

$$\text{Đặt: } h_3 = -2\dot{r}_p \dot{\epsilon}_{mt} - r_p \ddot{\epsilon}_{mt} + j_p \leftrightarrow j_p = h_3 + 2\dot{r}_p \dot{\epsilon}_{mt} + r_p \ddot{\epsilon}_{mt} \quad (2.46)$$

Vi phân hai vế của (2.46), nhận được:

$$h_4 = \dot{h}_3 \approx -2\ddot{r}_p \dot{\epsilon}_{mt} - 3\dot{r}_p \ddot{\epsilon}_{mt} + \dot{j}_p \leftrightarrow \dot{j}_p = h_4 + 2\ddot{r}_p \dot{\epsilon}_{mt} + 3\dot{r}_p \ddot{\epsilon}_{mt} \quad (2.47)$$

Vi phân hai vế của (2.47), nhận được:

$$\dot{h}_4 \approx -5\ddot{r}_p \ddot{\epsilon}_{mt} + \ddot{j}_p \quad (2.48)$$

Từ (2.46), (2.47), (2.48) khi đó hệ (2.20) được mở rộng thành:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = h_2 \\ \dot{h}_2 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p} h_1 + h_3 \\ \dot{h}_3 = h_4 \\ \dot{h}_4 = \ddot{j}_p - 5\ddot{r}_p \ddot{\epsilon}_{mt} \end{cases} \quad (2.49)$$

Thay (2.45), (2.46), (2.47), (2.48) vào (2.49) ta có:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = h_2 \\ \dot{h}_2 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p} h_1 + h_3 \\ \dot{h}_3 = h_4 \\ \dot{h}_4 = -\frac{2\zeta_p}{T_p} (h_4 + 2\ddot{r}_p \dot{\varepsilon}_{mt} + 3\dot{r}_p \ddot{\varepsilon}_{mt}) - \frac{1}{T_p^2} (h_3 + 2\dot{r}_p \dot{\varepsilon}_{mt} + r_p \ddot{\varepsilon}_{mt}) + \frac{\bar{K}_p}{T_p^2} j_{yc} - 5\ddot{r}_p \ddot{\varepsilon}_{mt} \end{cases} \quad (2.50)$$

Đặt: $h_5 = -\dot{\varepsilon}_{mt}$; $\dot{h}_5 = h_6 = -\ddot{\varepsilon}_{mt}$; $\dot{h}_6 = -\ddot{\varepsilon}_{mt} \approx 0$; $k_1 = \frac{\ddot{r}_p}{r_p}$; $k_3 = -\frac{1}{T_p^2}$; $k_4 = -\frac{2\zeta_p}{T_p}$; $u = \frac{\bar{K}_p}{T_p^2} j_{yc}$;

$$k_5 = \frac{2}{T_p} \left(2\zeta_p \ddot{r}_p + \frac{\dot{r}_p}{T_p} \right); \quad k_6 = \frac{1}{T_p} (5T_p \ddot{r}_p + 6\zeta_p \dot{r}_p + \frac{r_p}{T_p}).$$

Khi đó (2.50) được viết lại thành:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = h_2 \\ \dot{h}_2 = k_1 h_1 + h_3 \\ \dot{h}_3 = h_4 \\ \dot{h}_4 = k_3 h_3 + k_4 h_4 + k_5 h_5 + k_6 h_6 + u \\ \dot{h}_5 = h_6 \\ \dot{h}_6 = 0 \end{cases} \quad (2.51)$$

Mô hình động học (2.51) là quan hệ giữa tham số động học của tên lửa (gia tốc pháp tuyến, tốc độ thay đổi của gia tốc chứa trong thành phần của h_3, h_4), tham số quỹ đạo động (sai lệch thẳng và tốc độ thay đổi của nó h_1, h_2) và gia tốc pháp tuyến yêu cầu (trong thành phần của u).

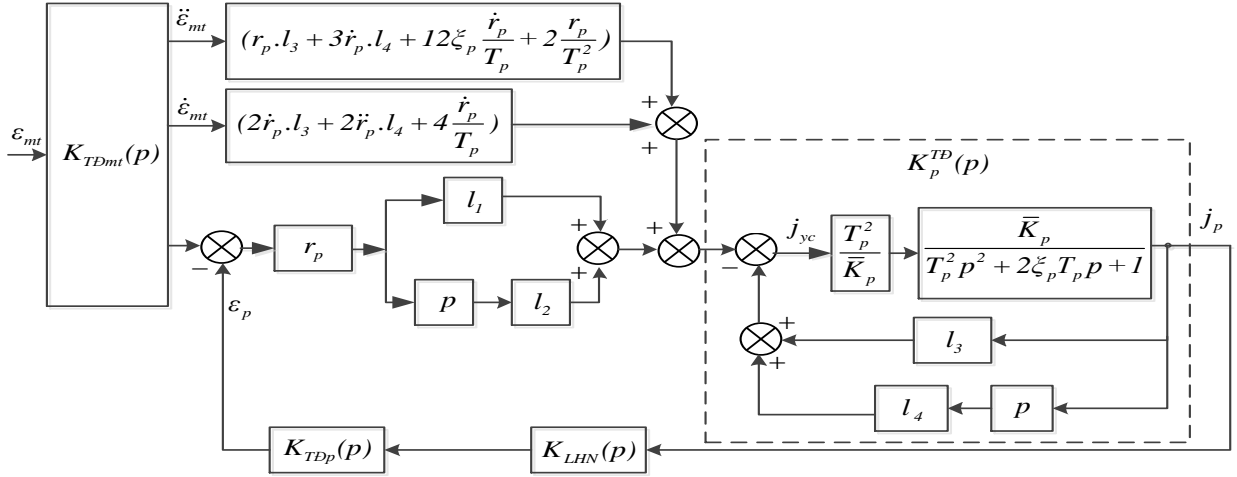
Khi này, bài toán tổng hợp luật điều khiển từ xa có tính tới động học của khâu tên lửa được phát biểu như sau: Với mô hình động học (2.51), tìm luật điều khiển u sao cho cực tiểu phiếm hàm chất lượng I ở dạng toàn phương. Phiếm hàm chất lượng I được lựa chọn có dạng (2.22).

Giải phương trình Riccati ở trạng thái xác lập với giả thiết: $\frac{\ddot{r}_p}{r_p} \approx 0$

Đồng thời bỏ qua các thành phần rất nhỏ $\frac{\zeta_p \ddot{r}_p}{T_p} \dot{\varepsilon}_{mt} \approx 0$; $\ddot{r}_p \ddot{\varepsilon}_{mt} \approx 0$, gia tốc lệnh được xác định theo biểu thức:

$$j_{yc} = \left[-l_1 h_1 - l_2 h_2 - l_3 h_3 - l_4 h_4 + 4 \frac{\dot{r}_p}{T_p^2} \dot{\varepsilon}_{mt} + 2 \left(6\zeta_p \frac{\dot{r}_p}{T_p} + \frac{r_p}{T_p^2} \right) \dot{\varepsilon}_{mt} \right] \frac{T_p^2}{\bar{K}_p} \quad (2.70)$$

Từ (2.70) thấy rằng, luật điều khiển bao gồm: Các thành phần phụ thuộc vào trạng thái của hệ thống gồm; sai lệch thẳng, tốc độ sai lệch thẳng, gia tốc pháp tuyến tên lửa và tốc độ thay đổi của nó. Trọng số của các thành phần phụ thuộc vào tham số khâu tên lửa. Các thành phần bù sai số động với các hệ số cũng phụ vào tham số động học khâu tên lửa.



Hình 2.11. Sơ đồ cấu trúc VDKTX tối ưu khi tính tới động học khâu tên lửa

* **Xác định các hệ số l_1, l_2, l_3, l_4 để VDK ổn định.**

- Điều kiện để thực hiện thuật toán tối ưu là các hệ số khuếch đại phải dương, khi đó:

$$\begin{cases} l_1 > \frac{\gamma_1^2}{(1-\gamma_1\gamma_2)} \frac{2}{T_p^2} \\ \gamma_1\gamma_2 < 1 \end{cases} \quad (2.72)$$

- Điều kiện để VDK ổn định:

$$\begin{cases} T_p^2(1-\gamma_1\gamma_2)^2\gamma_3.l_1^3 - 16\gamma_1^6\xi_p^2\gamma_3.l_1 - 4\gamma_1^5T_p^2(1-\gamma_1\gamma_2) + 8\gamma_1^6\gamma_3.l_1 > 0 \\ l_1 > \frac{\gamma_1^2}{(1-\gamma_1\gamma_2)} \frac{2}{T_p^2} \\ \gamma_1\gamma_2 < 1 \end{cases} \quad (2.82)$$

* **Lựa chọn mô hình mẫu:**

Do tên lửa chuyển động trong không gian, không thuộc thành phần của đài điều khiển, vì vậy sơ đồ cấu trúc VDK hình 2.11 không hiện thực hóa được vì không có các tham số động học khâu tên lửa (\bar{K}_p, T_p, ξ_p), đặc biệt các tham số này thay đổi theo điều kiện bay. Giải pháp đề xuất là thay thế khâu tên lửa bằng mô hình tên lửa mẫu, đồng thời trên tên lửa cũng phải thực hiện việc ổn định để tham số của nó trùng với tham số của mô hình tên lửa mẫu.

Do tên lửa là khâu dao động bậc 2, vì vậy mô hình tên lửa mẫu được lựa chọn có cấu trúc giống với mô hình tên lửa thực. Hàm truyền khâu tên lửa mẫu có dạng:

$$K_m(p) = \frac{K_m}{T_m^2 p^2 + 2\xi_m T_m p + 1} \quad (2.83)$$

K_m - Hệ số truyền của khâu tên lửa mẫu, chọn $K_m = 1$.

T_m - Hằng số thời gian của khâu tên lửa mẫu, chọn $T_m = 0,1 s$.

ξ_m - Hệ số suy giảm dao động riêng của khâu tên lửa mẫu, chọn $\xi_m = 0,707$.

* **Thực hiện mô phỏng vòng điều khiển với các tham số như sau:**

- Luật điều khiển sử dụng (2.70). Thời điểm bắt đầu điều khiển tên lửa: 2,5s

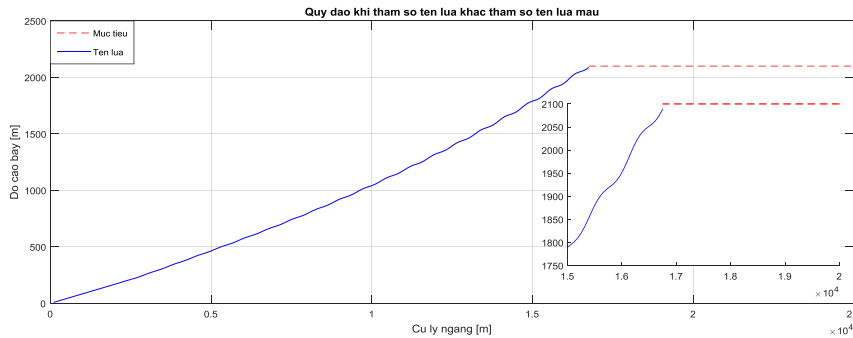
- Tham số của tên lửa mẫu dùng để tính tham số luật điều khiển:

$$K_m(p) = \frac{K_m}{T_m^2 p^2 + 2\xi_m T_m p + 1} = \frac{1}{0,1^2 p^2 + 2 \times 0,7 \times 0,1 p + 1}$$

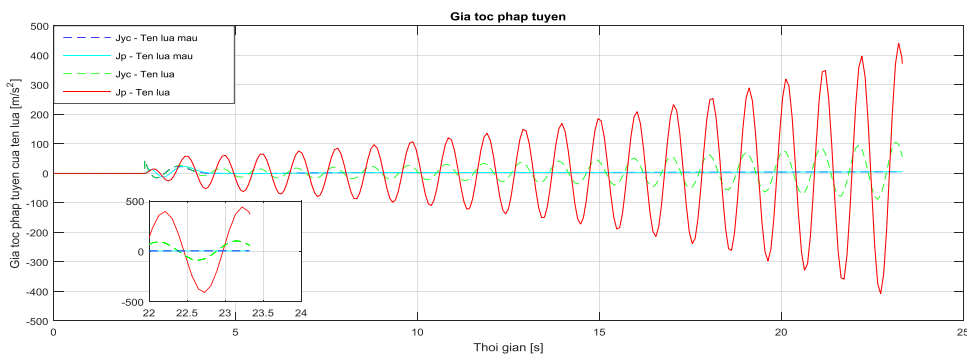
- Tên lửa có tham số khác với tham số tên lửa mẫu, vận tốc $V_p = 720 \text{ m/s}$, hàm truyền của nó:

$$K_p(p) = \frac{0,8}{0,15^2 p^2 + 2 \times 0,03 \times 0,15 p + 1}$$

- Cụ ly ban đầu của mục tiêu; 25 km, độ cao mục tiêu: 2,1 km. Tốc độ mục tiêu; 350 m/s, bay bằng vào đài.



Hình 2.18. Quỹ đạo tên lửa - mục tiêu khi tên lửa có tham số khác tên lửa mẫu



Hình 2.20. Gia tốc pháp tuyến của tên lửa khi tên lửa có tham số khác tên lửa mẫu

Nhận xét: Tham số của khâu tên lửa thực (nếu có đánh giá được) không thể đưa vào luật điều khiển (2.70), bởi luật điều khiển được thực hiện ở đài điều khiển, còn tên lửa nằm ở phần bên ngoài không gian của VĐK. Điều này dẫn tới cần phải sử dụng một mô hình tên lửa mẫu ở phần đài điều khiển, đóng vai trò là khâu hiệu chỉnh cho VĐK và cung cấp các tham số động học của tên lửa mẫu phục vụ cho hệ lập lệnh nhằm hiện thực hóa luật điều khiển đã tổng hợp được.

- Khi tham số khâu tên lửa (thực) càng khác nhiều so với tham số khâu tên lửa mẫu thì tên lửa dao động mạnh quanh quỹ đạo động, chất lượng vòng điều khiển giảm một cách rõ rệt, tên lửa có thể mất ổn định. Trong các trường hợp đã khảo sát thì tham số động học của tên lửa được lấy là cố định, trong thực tế các tham số động học này còn thay đổi đáng kể (bảng 1.3), vì vậy mức độ dao động của tên lửa quanh quỹ đạo động càng lớn và khả năng mất ổn định càng cao.

Như vậy, đặt ra vấn đề cần thiết phải ổn định khâu tên lửa sao cho tham số khâu tên lửa sau khi ổn định trùng với tham số tên lửa mẫu.

2.5. Thuật toán xác định tọa độ góc của tên lửa và mục tiêu

Để hiện thực hóa thuật toán điều khiển (2.70) cần đánh giá các tham số tọa độ góc mục tiêu và tọa độ góc tên lửa.

2.5.1. Thuật toán xác định tọa độ góc của tên lửa

Mô hình động học chuyển động của tên lửa (2.12) có thể được viết lại như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -2\frac{\dot{r}_p}{r_p}x_2 + u + \eta \end{cases} \quad (2.84)$$

Trong đó, ký hiệu: $x_1 = \varepsilon_p; x_2 = \dot{\varepsilon}_p; u = \frac{j_p}{r_p}$

$$\text{Phương trình quan sát được cho bởi: } z = x_1 + \xi_z \quad (2.85)$$

Giả thiết, r_p và \dot{r}_p nhận được từ hệ bám cự ly và tốc độ; u nhận được từ hệ lập lệnh, khi đó thuật toán lọc Kalman ứng dụng cho mô hình (2.84), (2.85) có dạng:

$$\begin{cases} \hat{\dot{x}}_1 = \hat{x}_2 + k_1(z - \hat{x}_1) \\ \hat{\dot{x}}_2 = -\frac{2\dot{r}_p}{r_p}\hat{x}_2 + u + k_2(z - \hat{x}_1) \end{cases} \quad (2.86)$$

Trong đó, hệ số k_1 và k_2 là các hệ số có thứ nguyên phù hợp được xác định từ việc giải phương trình Riccati ở chế độ xác lập với $\frac{\dot{r}_p}{r_p} \approx 0$ như sau:

$$k_1 = \sqrt{2}\omega_p, k_2 = \omega_p^2, \omega_p = (R/G)^{1/4} \quad (2.89)$$

2.5.2. Thuật toán xác định tọa độ góc của mục tiêu

Tương tự như xác định tham số chuyển động của tên lửa, việc xác định tham số chuyển động của mục tiêu cũng có thể sử dụng thuật toán lọc Kalman có dạng:

$$\begin{cases} \hat{\dot{x}}_1 = \hat{x}_2 + k_3(z - \hat{x}_1) \\ \hat{\dot{x}}_2 = \hat{x}_3 + k_4(z - \hat{x}_1) \\ \hat{\dot{x}}_3 = k_5(z - \hat{x}_1) \end{cases} \quad (2.94)$$

Trong đó, giá trị thiết lập của các hệ số bộ lọc:

$$k_3 = 2\omega_{mt}; k_4 = 2\omega_{mt}^2; k_5 = \omega_{mt}^3; \omega_{mt} = (R/G)^{1/6} \quad (2.96)$$

2.6. Kết luận chương 2

Trên cơ sở quan hệ động hình học tên lửa - mục tiêu có thể xây dựng được mô hình động học tên lửa - mục tiêu làm cơ sở để tổng hợp luật điều khiển tên lửa từ xa. Luật điều khiển tổng hợp được khi không tính tới động học khâu tên lửa dẫn tới tên lửa sẽ dao động quanh quỹ đạo động, nhiều trường hợp tên lửa có thể mất ổn định.

Trên cơ sở quan hệ động hình học tên lửa - mục tiêu và động học khâu tên lửa xây dựng được mô hình động học có chứa đựng tham số của tên lửa từ đó tổng hợp được luật điều khiển tên lửa phù hợp với tên lửa đã chọn (có tham số cố định).

Khi tham số khâu tên lửa trùng với tham số khâu tên lửa mẫu dùng để tổng hợp luật điều khiển thì sai số dẫn rất nhỏ, thời gian vào xác lập nhỏ. Khi tham số khâu tên lửa lân cận với tham số khâu tên lửa mẫu thì sai số dẫn tăng lên, tuy nhiên vẫn chấp nhận được. Khi tham số khâu tên lửa khác nhiều so với tham số khâu tên lửa mẫu dùng để tổng hợp luật điều khiển thì chất lượng VĐK giảm một cách rõ rệt, thậm chí mất ổn định.

Đặc biệt, tham số của khâu tên lửa thực không thể đưa vào luật điều khiển do đặc thù luật điều khiển được thực hiện ở đài điều khiển, còn tên lửa nằm ở phần bên ngoài không gian của VĐK.

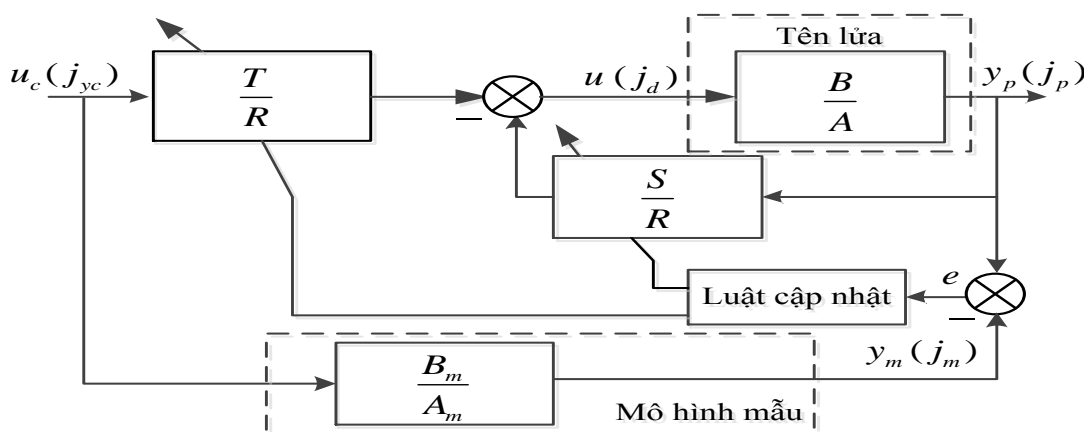
Một giải pháp khả thi được đưa ra là luật điều khiển được tổng hợp theo tham số của mô hình tên lửa mẫu thay thế cho tham số tên lửa thực và được thực hiện ở đài điều khiển, đảm bảo cung cấp các tham số của tên lửa cho hệ lập lệnh nhằm hiện thực hóa luật điều khiển, còn hệ thống ổn định trên khoang tên lửa sẽ đảm bảo cho phản ứng của tên lửa thực trùng với phản ứng của mô hình tên lửa mẫu.

Chương 3. ỔN ĐỊNH TÊN LỬA TRONG VÒNG ĐIỀU KHIỂN TỪ XA

3.1. Ổn định tên lửa trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính thích nghi theo mô hình mẫu ứng dụng luật MIT

3.1.1. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển

Trong phần này sẽ xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi để tín hiệu đầu ra của tên lửa phù hợp với tín hiệu đầu ra của tên lửa mẫu, nhằm mục đích ổn định tên lửa khi các tham số động học \bar{K}_p, T_p, ζ_p của nó thay đổi theo điều kiện bay. Tín hiệu đầu ra của tên lửa được sử dụng là gia tốc pháp tuyến. Mô hình điều khiển thích nghi sử dụng bộ điều khiển tuyến tính với các tham số được chỉnh định theo luật MIT.



Hình 3.1. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển tuyến tính thích nghi theo MHM
 Từ (2.46), hàm truyền khâu tên lửa (đối tượng điều khiển) có dạng:

$$\frac{j_p(p)}{j_d(p)} = \frac{y_p}{u} = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{\bar{K}_p}{1 + 2\zeta_p T_p p + T_p^2 p^2} \quad (3.1)$$

$$\text{Hàm truyền MHM có dạng: } \frac{j_m(p)}{j_{yc}(p)} = \frac{y_m}{u_c} = \frac{B_m(p)}{A_m(p)} \quad (3.2)$$

$$\text{Luật điều khiển tuyến tính tổng quát [3, 7]: } Ru = Tu_c - Sy_p \quad (3.3)$$

Sai lệch (e) giữa gia tốc pháp tuyến của tên lửa và MHM:

$$e = j_p - j_m = y_p - y_m \quad (3.4)$$

Bài toán được đặt ra là xác định cấu trúc và luật cập nhật các tham số của các đa thức T , S , R sao cho: $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) \rightarrow 0$

3.1.2. Xác định cấu trúc của đa thức T , S , R

Giải các phương trình (3.16), (3.17), (3.18) ta nhận được kết quả như sau:

$$t_0 = \frac{I}{\bar{K}_p} \frac{T_p^2}{T_m^2} \quad (3.19)$$

$$s_0 = \frac{\bar{K}_p t_0 - I}{\bar{K}_p} = \frac{I}{\bar{K}_p} \left(\frac{T_p^2}{T_m^2} - I \right) \quad (3.20)$$

$$s_1 = \frac{I}{\bar{K}_p} \frac{T_p}{T_m} (\xi_m T_p - \xi_p T_m) \quad (3.21)$$

Do các tham số động học trong mô hình khâu tên lửa (\bar{K}_p , T_p , ξ_p) thay đổi nên không thể xác định được chính xác t_0 , s_1 , s_0 . Vì vậy cần tìm luật thích nghi để cập nhật tham số t_0 , s_1 , s_0 .

3.1.3. Luật cập nhật tham số cho đa thức T , S , R

Từ (3.3), (3.13) luật điều khiển nhận được có dạng:

$$u = t_0 u_c - (s_1 p + s_0) y_p \quad (3.22)$$

Như vậy véc tơ tham số của bộ điều khiển $\Omega = [t_0, s_1, s_0]^T$;

Vấn đề tiếp theo là cần xác định luật thích nghi cập nhật các tham số Ω .

Chọn hàm chỉ tiêu chất lượng có dạng [3, 7]:

$$J = \frac{1}{2} e^2 \quad (3.23)$$

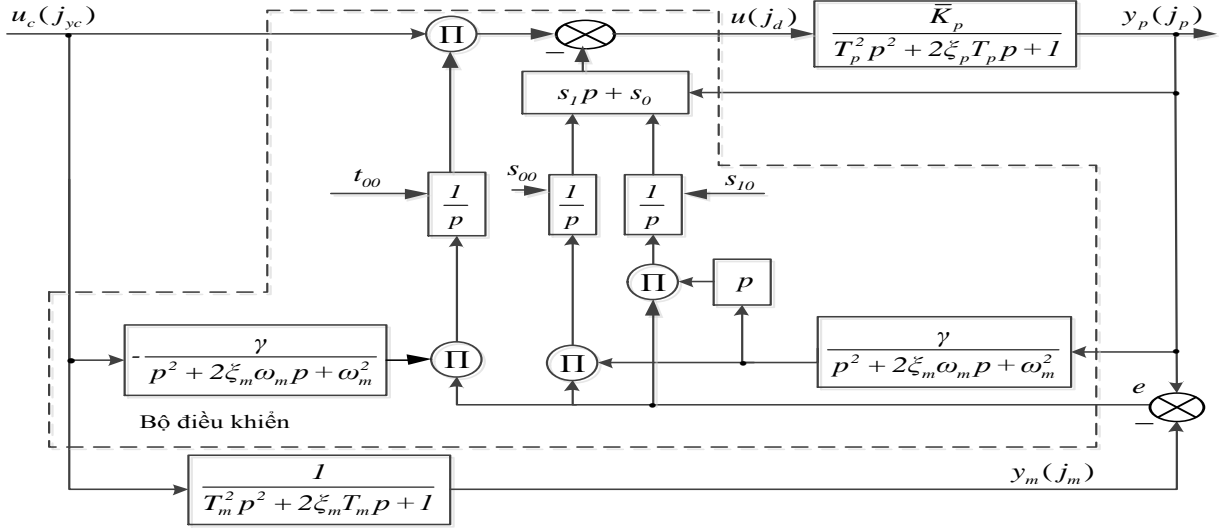
Cần tìm luật cập nhật thông số Ω sao cho: $J \rightarrow \min$

$$\text{Luật MIT có dạng [26, 27, 28]: } \frac{d\Omega}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \Omega} \text{ với } (\gamma > 0) \quad (3.24)$$

Áp dụng qui tắc lấy đạo hàm riêng của sai lệch (e) theo các tham số t_0 , s_1 , s_0 và xét hệ ở trạng thái xác lập, tìm được luật cập nhật có dạng:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_0}{\partial t} = -\gamma e \left[\frac{T_m^2}{A_m} u_c \right] = -\gamma e \left[\frac{1}{p^2 + 2\xi_m \omega_m p + \omega_m^2} u_c \right] \\ \frac{\partial s_1}{\partial t} = \gamma e \left[\frac{T_m^2 p}{A_m} y_p \right] = \gamma e \left[\frac{p}{p^2 + 2\xi_m \omega_m p + \omega_m^2} y_p \right] \\ \frac{\partial s_0}{\partial t} = \gamma e \left[\frac{T_m^2}{A_m} y_p \right] = \gamma e \left[\frac{1}{p^2 + 2\xi_m \omega_m p + \omega_m^2} y_p \right] \end{cases} \quad (3.32)$$

Giá trị tham số ban đầu của bộ điều khiển được xác định từ giá trị ban đầu của các tham số trong mô hình tên lửa và MHM theo biểu thức (3.19), (3.20), (3.21).



Hình 3.2. Ổn định tên lửa trên cơ sở BDK tuyến tính thích nghi theo MHM ứng dụng luật MIT

3.2. Ổn định tên lửa trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính thích nghi theo mô hình mẫu ứng dụng lý thuyết ổn định Lyapunov

Biến đổi biểu thức (3.1) là hàm truyền khâu tên lửa về dạng phương trình vi phân:

$$\ddot{y}_p = -2\xi_p \omega_p \dot{y}_p - \omega_p^2 y_p + \bar{K}_p \omega_p^2 u \quad (3.33)$$

Trong đó, $\omega_p = \frac{1}{T_p}$ và đặt: $x_{1p} = y_p$; $x_{2p} = \dot{y}_p$

Từ (3.34), (3.36) ta có hệ kín: $\dot{x}_p = \mathbf{A}x_p + \mathbf{B}u_c$ (3.37)

Trong đó, $x_p = \begin{bmatrix} x_{1p} \\ x_{2p} \end{bmatrix}$; $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -(\omega_p^2 + s_0 \bar{K}_p \omega_p^2) & -(2\xi_p \omega_p + s_1 \bar{K}_p \omega_p^2) \end{bmatrix}$; $\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ t_0 \bar{K}_p \omega_p^2 \end{bmatrix}$ (3.38)

Chọn MHM tương tự như (3.12), biến đổi (3.12) về dạng vi phân:

$$\ddot{y}_m = -2\xi_m \omega_m \dot{y}_m - \omega_m^2 y_m + \omega_m^2 u_c \quad (3.39)$$

Đặt $x_{1m} = y_m$, $x_{2m} = \dot{y}_m$ ta có phương trình trạng thái của MHM:

$$\begin{cases} \dot{x}_{1m} = x_{2m} \\ \dot{x}_{2m} = -2\xi_m \omega_m x_{2m} - \omega_m^2 x_{1m} + \omega_m^2 u_c \end{cases} \quad (3.40)$$

Biểu diễn (3.40) dưới dạng ma trận: $\dot{x}_m = \mathbf{A}_m x_m + \mathbf{B}_m u_c$ (3.41)

Trong đó, $x_m = \begin{bmatrix} x_{1m} \\ x_{2m} \end{bmatrix}$; $\mathbf{A}_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_m^2 & -2\xi_m \omega_m \end{bmatrix}$; $\mathbf{B}_m = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_m^2 \end{bmatrix}$ (3.42)

- Sai lệch trạng thái (e) của đối tượng điều khiển và MHM được xác định bởi:

$$e = x_m - x_p = \begin{bmatrix} x_{1m} - x_{1p} \\ x_{2m} - x_{2p} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

$$\dot{e} = \mathbf{A}_m e + \Delta \mathbf{A} x_p + \Delta \mathbf{B} u_c \quad (3.46)$$

Trong đó, $\Delta \mathbf{A} = \mathbf{A}_m - \mathbf{A}$; $\Delta \mathbf{B} = \mathbf{B}_m - \mathbf{B}$

- Chọn hàm Lyapunov như sau [15, 20, 24, 25, 27]:

$$V(e) = e^T N e + a^T a + b^T \beta b \quad (3.49)$$

N - Ma trận đối xứng xác định dương tùy chọn.

a, b - Véc tơ chứa các phần tử khác không của ma trận $\Delta A, \Delta B$.

α, β - Ma trận đường chéo với các phần tử là các hệ số dương có chức năng xác định tốc độ của quá trình thích nghi.

- Xác định luật cập nhật thích nghi tham số cho bộ điều khiển có dạng:

$$\dot{s}_0 = -\frac{(n_{12}e_1 + n_{22}e_2)x_{1p}}{\alpha_{11}\bar{K}_p\omega_p^2} \quad (3.60); \quad \dot{s}_1 = -\frac{(n_{12}e_1 + n_{22}e_2)x_{2p}}{\alpha_{22}\bar{K}_p\omega_p^2} \quad (3.61); \quad \dot{i}_0 = -\frac{\dot{b}_2}{\bar{K}_p\omega_p^2} = \frac{(n_{12}e_1 + n_{22}e_2)}{\beta\bar{K}_p\omega_p^2}u_c \quad (3.63)$$

- Xác định n_{12} và n_{22} có dạng:

$$\begin{cases} n_{12} = \frac{q_{11}}{2\omega_m^2} \\ n_{22} = \frac{\omega_m^2 q_{22} + q_{11}}{4\xi_m\omega_m^3} \end{cases} \quad (3.64)$$

Từ (3.60), (3.61), (3.63) và (3.64), đồng thời gom $\bar{K}_p\omega_p^2 > 0$ vào α, β nhận được luật cập nhật thích nghi tham số cho bộ điều khiển như sau:

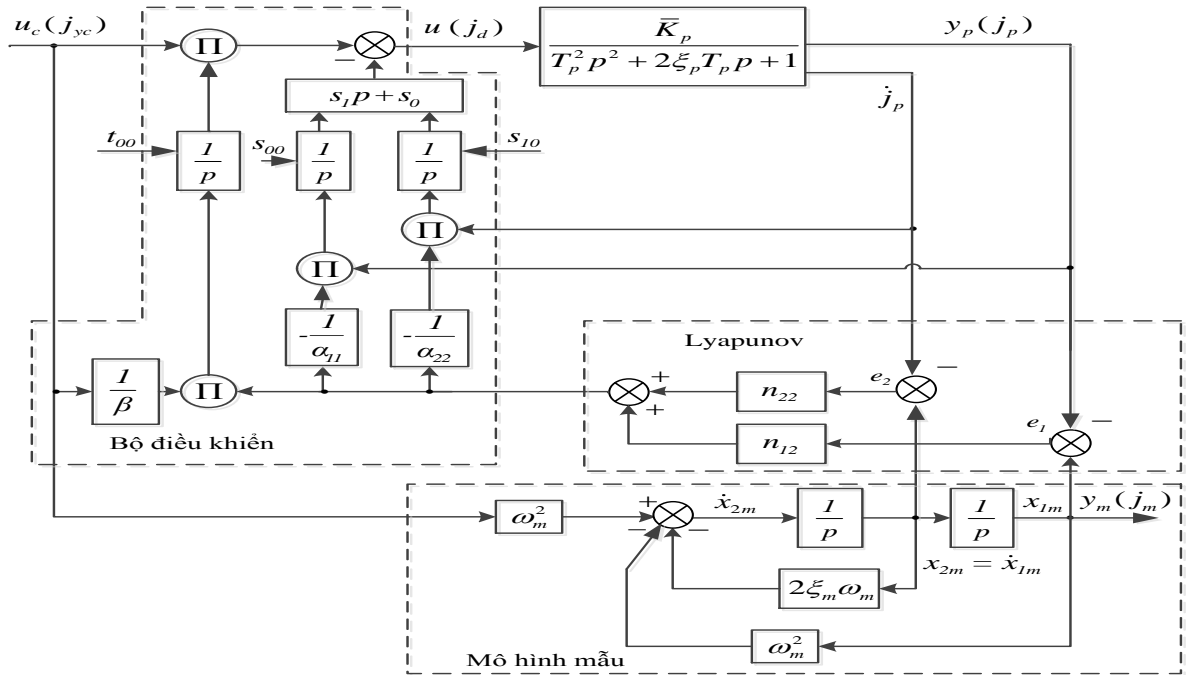
$$\begin{cases} \dot{i}_0 = \frac{1}{\beta} \left(\frac{q_{11}}{2\omega_m^2} e_1 + \frac{\omega_m^2 q_{22} + q_{11}}{4\xi_m\omega_m^3} e_2 \right) u_c \\ \dot{s}_0 = -\frac{1}{\alpha_{11}} \left(\frac{q_{11}}{2\omega_m^2} e_1 + \frac{\omega_m^2 q_{22} + q_{11}}{4\xi_m\omega_m^3} e_2 \right) x_{1p} \\ \dot{s}_1 = -\frac{1}{\alpha_{22}} \left(\frac{q_{11}}{2\omega_m^2} e_1 + \frac{\omega_m^2 q_{22} + q_{11}}{4\xi_m\omega_m^3} e_2 \right) x_{2p} \end{cases} \quad (3.68)$$

Giá trị tham số ban đầu của bộ điều khiển được xác định dựa trên (3.69), (3.70), (3.71) và từ giá trị ban đầu của các tham số trong mô hình tên lửa và MHM.

$$t_0 = \frac{\omega_m^2}{\bar{K}_p\omega_p^2} \quad (3.69);$$

$$s_0 = \frac{\omega_m^2 - \omega_p^2}{\bar{K}_p\omega_p^2} \quad (3.70);$$

$$s_1 = \frac{2\xi_m\omega_m - 2\xi_p\omega_p}{\bar{K}_p\omega_p^2} \quad (3.71)$$



Hình 3.3. Ổn định tên lửa trên cơ sở BDK tuyến tính thích nghi theo MHM ứng dụng lý thuyết ổn định Lyapunov

3.3. Đánh giá gia tốc pháp tuyến tên lửa và các thành phần đạo hàm

Từ biểu thức cập nhật luật thích nghi và sơ đồ cấu trúc hệ ổn định thấy rằng, cần phải xác định các trạng thái x_{1p} và x_{2p} . Các trạng thái này tương ứng với gia tốc pháp tuyến tên lửa (j_p) và tốc độ thay đổi của nó (\dot{j}_p). Trong thực tế gia tốc pháp tuyến đo được trực tiếp, còn thành phần tốc độ thay đổi của gia tốc pháp tuyến không đo được trực tiếp.

Mô hình động học khâu tên lửa (3.34) không thể sử dụng để tổng hợp thuật toán lọc Kalman bởi các tham số khâu tên lửa chưa biết và thay đổi. Để tổng hợp thuật toán lọc Kalman, sử dụng mô hình đạo hàm bậc 3 của gia tốc của tên lửa gần như không đổi, tức là nó được mô hình hóa bởi tạp trắng.

$$\text{Mô hình có dạng: } \begin{cases} \dot{x}_{1p} = x_{2p} \\ \dot{x}_{2p} = x_{3p} \\ \dot{x}_{3p} = w \end{cases} \quad (3.73)$$

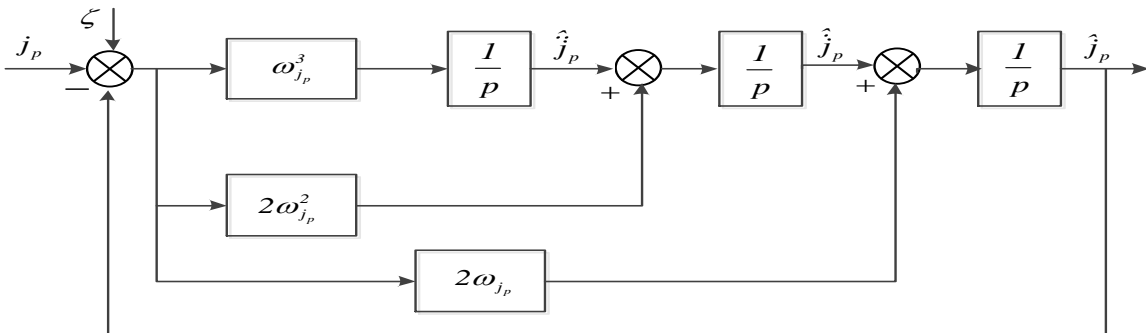
Trong đó, $x_{1p} = j_p; x_{2p} = \dot{j}_p; x_{3p} = \ddot{j}_p$

$$\text{Phương trình quan sát có dạng: } z = j_p + \xi_z \quad (3.74)$$

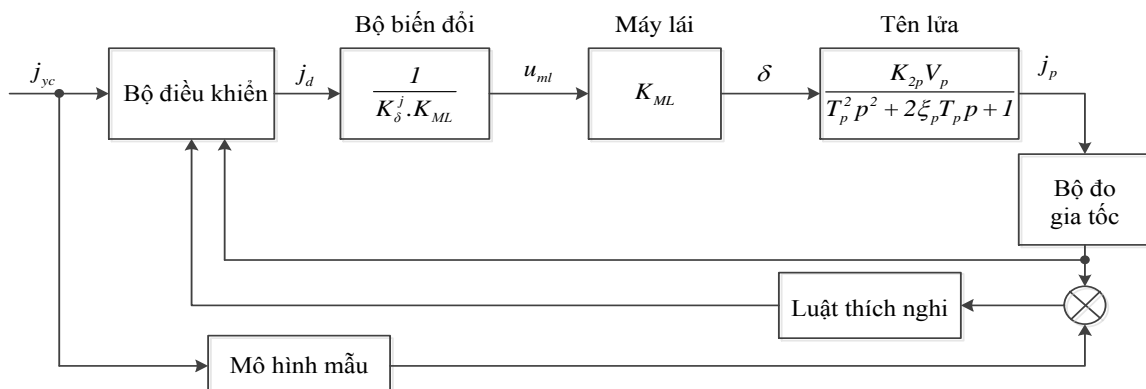
$$\text{Hoàn toàn tương tự trong mục 2.5.2, ta có: } \begin{cases} \hat{x}_1 = \hat{x}_2 + k_1(z - \hat{x}_1) \\ \hat{x}_2 = \hat{x}_3 + k_2(z - \hat{x}_1) \\ \hat{x}_3 = k_3(z - \hat{x}_1) \end{cases} \quad (3.75)$$

Trong đó, các hệ số khuếch đại được xác định ở trạng thái xác lập:

$$k_1 = 2\omega_{j_p}; k_2 = 2\omega_{j_p}^2; k_3 = \omega_{j_p}^3; \omega_{j_p} = (R/G)^{1/6} \quad (3.76)$$



Hình 3.5. Sơ đồ cấu trúc bộ lọc đánh giá gia tốc pháp tuyến tên lửa



Hình 3.8. Sơ đồ hiện thực hóa hệ ổn định trên khoang tên lửa

3.4. Kết luận chương 3

Cả hai luật cập nhật đều đảm bảo phản ứng của tên lửa gần như phản ứng của MHM;

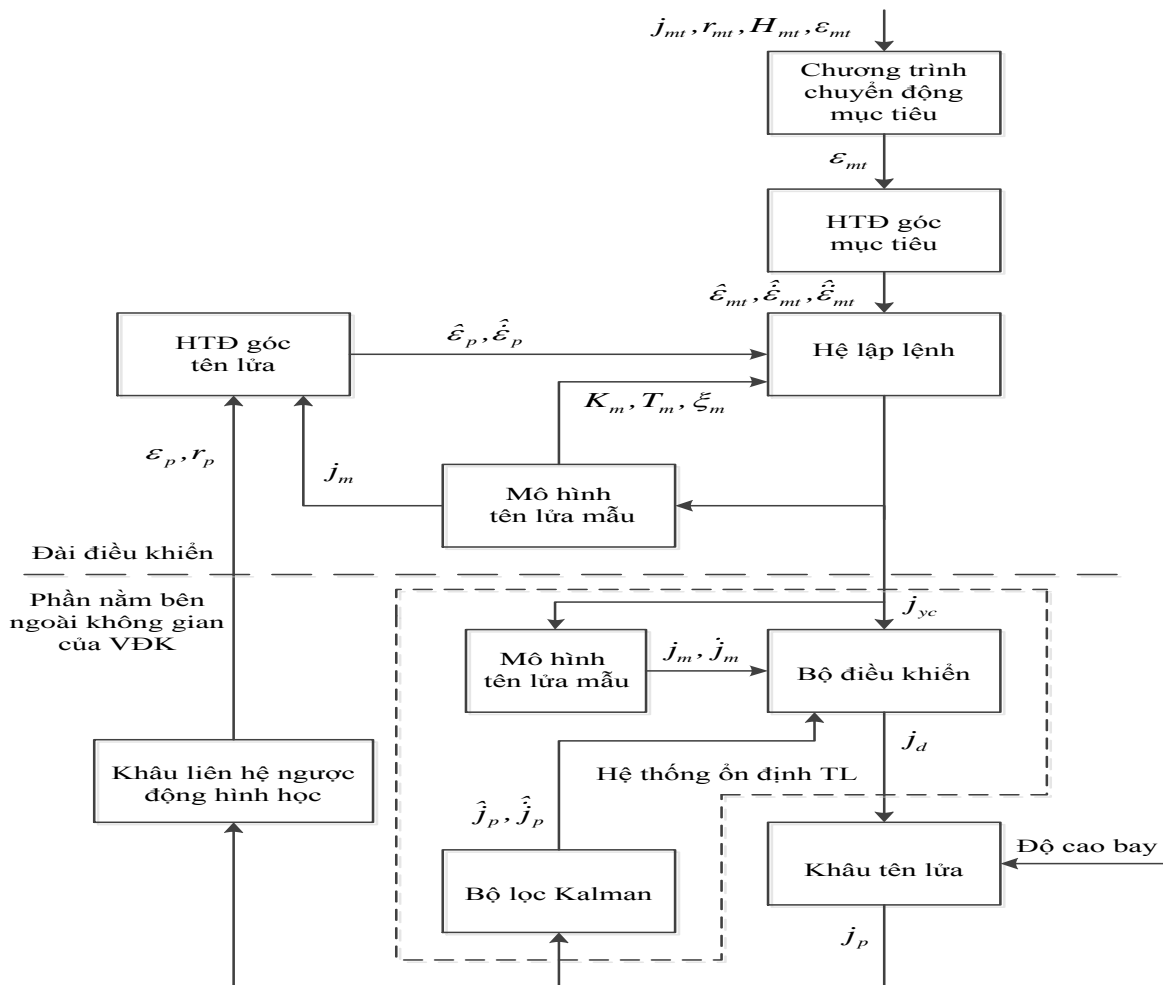
Luật cập nhật Lyapunov tốt hơn luật cập nhật MIT do nó kiểm soát cả sai số vị trí và tốc độ, trong luật MIT chỉ kiểm soát thành phần vị trí.

Bộ lọc Kalman cho sai số đánh giá gia tốc, tốc độ thay đổi gia tốc nhỏ.

VĐK khi sử dụng các thuật toán đảm bảo đưa tên lửa tới gặp mục tiêu với sai số dẫn nhỏ; Chất lượng VĐK sử dụng luật Lyapunov tốt hơn khi sử dụng luật MIT, tuy nhiên luật MIT đơn giản hơn luật Lyapunov.

Chương 4. MÔ PHÒNG ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG VÒNG ĐIỀU KHIỂN TỪ XA

4.1. Sơ đồ tổ chức mô phỏng



Hình 4.1. Sơ đồ tổ chức mô phỏng

- * Hệ xác định tọa độ góc mục tiêu được thực hiện bởi thuật toán (2.94), (2.96);
- * Hệ xác định tọa độ góc tên lửa được thực hiện bởi thuật toán (2.86), (2.89);
- * Hệ lập lệnh được thực hiện bởi thuật toán (2.70);
- * Hệ ổn định tên lửa sử dụng các thuật toán thích nghi:
 - Luật cập nhật MIT (3.32); Luật cập nhật Lyapunov (3.68);
- * Bộ lọc Kalman sử dụng mô hình (3.75), (3.76);
- * Mô hình mẫu tên lửa sử dụng mô hình (2.83), trong đó;
- * Khâu liên hệ ngược động hình học sử dụng mô hình (2.10), (2.11);

* Khâu tên lửa sử dụng mô hình (3.1), trong đó tham số của khâu tên lửa được xác định theo các biểu thức trong mục 1.2, với $V_p = 720 m/s$, thời điểm bắt đầu tên lửa có điều khiển $t_{DK} = 2,5 s$.

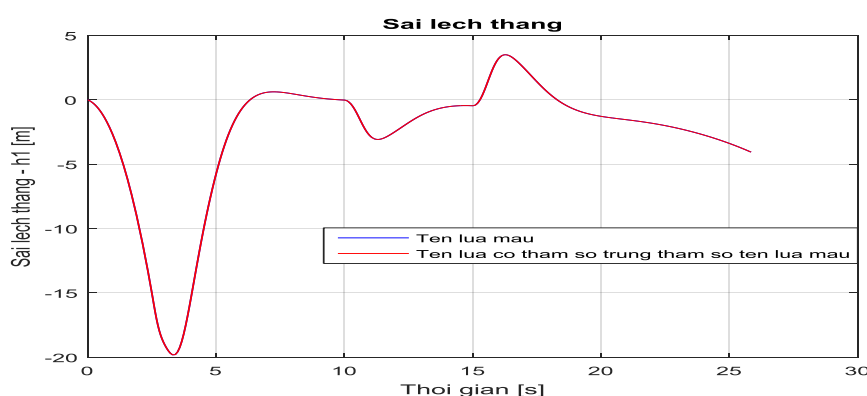
* Mô hình chuyển động của mục tiêu được xác định bởi mô hình (4.1): $V_{mt} = 500 m/s$

4.2. Mô phỏng đánh giá chất lượng vòng điều khiển từ xa tối ưu

Sử dụng sơ đồ tổ chức mô phỏng trên hình 4.1, trong đó bỏ qua hệ ổn định tên lửa.

4.2.1. Khâu tên lửa trùng với mô hình mẫu

Với giả thiết mục tiêu bay vào đài, ở cự ly nghiêng $30 km$, độ cao $5 km$, bắt đầu cơ động $3g$ tại thời điểm $t_{bd} = 10 s$, kết thúc tại thời điểm $t_{kt} = 15 s$.



Hình 4.3. Sai lệch thẳng

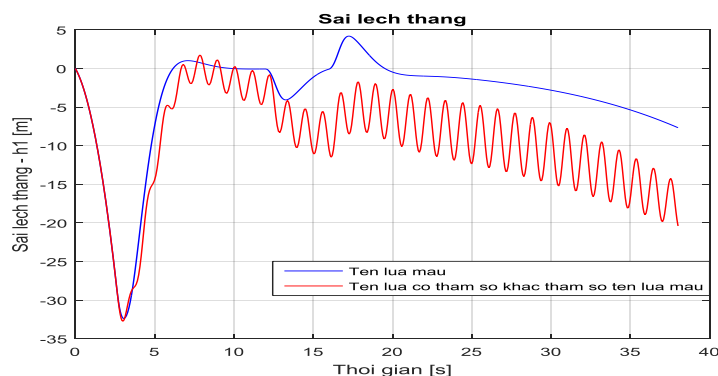
Nhận xét: Khi tên lửa có tham số trùng với tham số của MHM thì phản ứng với VĐK của chúng là giống nhau, sai số dẫn nhỏ và thời gian vào xác lập nhỏ.

Khi tham số của tên lửa lân cận với tham số MHM thì sai số dẫn tăng lên đáng kể, tuy nhiên vẫn nằm trong phạm vi chấp nhận được.

4.2.2. Khâu tên lửa có tham số khác mô hình mẫu

$$\text{Tên lửa có hàm truyền: } K_p(p) = \frac{0,8}{0,16^2 p^2 + 2 \times 0,05 \times 0,16p + 1}$$

Với giả thiết mục tiêu bay vào đài, ở cự ly nghiêng $40 km$, độ cao $12 km$, bắt đầu cơ động $5g$ tại thời điểm $t_{bd} = 12 s$, kết thúc tại thời điểm $t_{kt} = 16 s$.



Hình 4.6. Sai lệch thẳng

Nhận xét: Khi tham số khâu tên lửa khác với tham số MHM thì sai số dẫn tăng lên, chất lượng vòng điều khiển giảm một cách rõ rệt, tên lửa có thể mất ổn định. Chính vì vậy cần phải ổn định tên lửa sao cho tham số khâu tên lửa sau khi ổn định trùng với MHM.

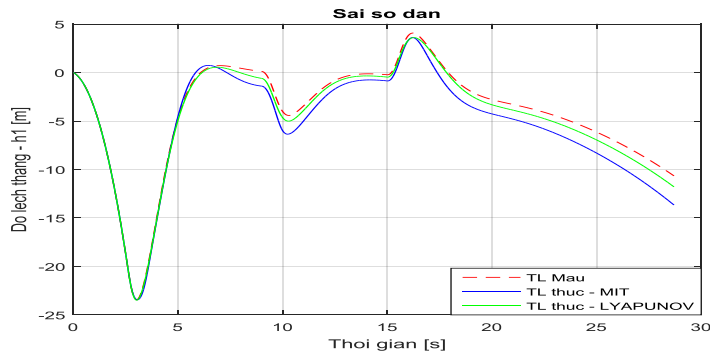
4.3. Mô phỏng đánh giá chất lượng vòng điều khiển từ xa thích nghi

Sử dụng sơ đồ tổ chức mô phỏng trên hình 4.1, trong đó sử dụng hai luật cập nhật (3.32) và (3.68).

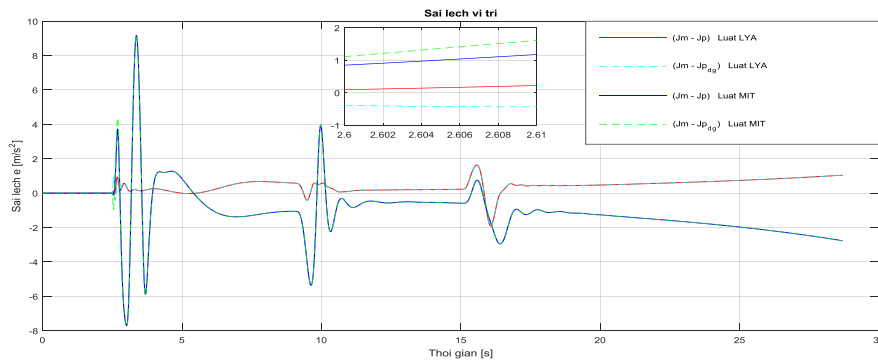
Luật cập nhật MIT: $\gamma = 0,1$

Luật cập nhật Lyapunov: $q_{11} = 0,1$, $q_{22} = 0,001$, $\alpha_{11} = 1,5$, $\alpha_{22} = 50$, $\beta = 0,1$.

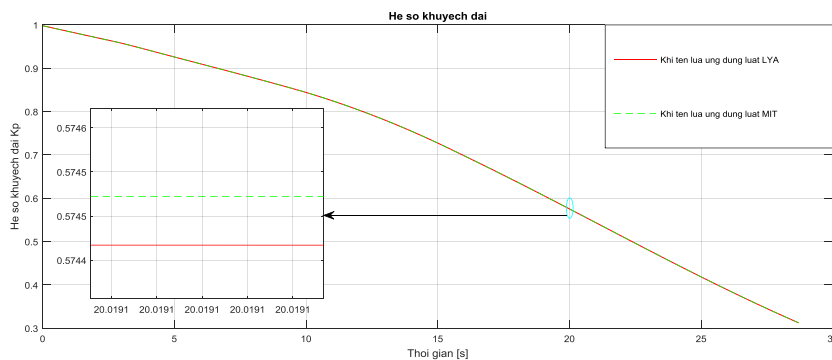
* Mục tiêu bay vào đài, ở cự ly nghiêng 30 km, độ cao 6 km, bắt đầu cơ động 5g tại thời điểm $t_{bd} = 9 s$, kết thúc tại thời điểm $t_{kt} = 15 s$.



Hình 4.23. Sai lệch thẳng



Hình 4.30. Sai lệch giữa gia tốc tên lửa thực (đánh giá) so với MHM



Hình 4.32. Sự thay đổi của hệ số khuếch đại \bar{K}_p

Nhận xét: Qua mô phỏng thấy rằng;

- Luật thích nghi theo lý thuyết ổn định Lyapunov và luật MIT đều đáp ứng tốt với sự thay đổi tham số của tên lửa với các điều kiện bay khác nhau.

- Luật thích nghi theo lý thuyết ổn định Lyapunov và luật MIT đều đáp ứng tốt với các mục tiêu ở cự ly xa và cự ly gần, cơ động và bay bằng, trong điều kiện có nhiễu hoặc không có nhiễu.

- Trong các trường hợp thì sai số dẫn nhỏ, thời gian vào xác lập nhỏ.
- Trong cùng một điều kiện thì khi mục tiêu cơ động càng cao thì sai số dẫn càng lớn. Trong điều kiện mục tiêu, tên lửa chịu tác động của nhiễu thì sai số dẫn lớn hơn so với trường hợp không có nhiễu.
- Trong cùng một điều kiện thì luật thích nghi dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov tốt hơn so với luật MIT.

4.4. Kết luận chương 4

Qua các khảo sát được thực hiện trong chương 4 với mục đích kiểm chứng các thuật toán đã xây dựng được, đồng thời so sánh chất lượng của các VĐKTX.

Các kết quả khảo sát phản ánh bản chất của hệ thống và cho thấy những nghiên cứu lý thuyết trong luận án có độ tin cậy cao.

Luật điều khiển tổng hợp đòi hỏi tính toán có độ phức tạp, tuy nhiên biểu thức toán học cuối cùng có dạng tường minh và đem lại hiệu quả cao hơn so với luật điều khiển truyền thống.

Việc hình thành luật điều khiển được thực hiện khi tính tới động học của bản thân tên lửa.

Mô hình mẫu được chọn có biểu thức toán học là hàm bậc 2, luật thích nghi đảm bảo tên lửa ổn định trong điều kiện các tham số động học của bản thân tên lửa thay đổi do sự ảnh hưởng của các điều kiện bay khác nhau.

Điều khiển thích nghi theo MHM để ổn định tên lửa trên cơ sở ứng dụng luật MIT, lý thuyết ổn định Lyapunov sử dụng bộ điều khiển có cấu trúc đơn giản, luật thích nghi hội tụ nhanh và bền vững.

Chất lượng vòng điều khiển sử dụng luật Lyapunov tốt hơn khi sử dụng luật MIT, tuy nhiên luật MIT đơn giản hơn luật Lyapunov.

Nội dung chương 4 khép lại vấn đề mà luận án đã đặt ra là tổng hợp VĐKTX thiết bị bay ứng dụng kỹ thuật điều khiển hiện đại thông qua việc tổng luật điều khiển tối ưu, thích nghi tên lửa trong VĐKTX.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Tổng hợp luật điều khiển từ xa tối ưu theo tham số tên lửa mẫu ở đài điều khiển và ổn định tên lửa thích nghi theo mô hình tên lửa mẫu đó ở hệ thống ổn định trên khoang là giải pháp chấp nhận được, có độ tin cậy cao về lý thuyết và được kiểm chứng, đánh giá thông qua mô phỏng, khẳng định tính đúng đắn của kết quả nghiên cứu.

2. Những đóng góp mới về khoa học

- Tổng hợp luật điều khiển từ xa cho tên lửa trên cơ sở ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu hệ tuyến tính theo tiêu chuẩn toàn phương và lý thuyết lọc quan sát trạng thái.
- Tổng hợp thuật toán ổn định tên lửa trên cơ sở kỹ thuật điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Nguyễn Văn Bàng, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Quang Hùng, Phương Hữu Long (2019), “*Xây dựng thuật toán xác định tọa độ góc của thiết bị bay trong hệ thống điều khiển từ xa trên cơ sở ứng dụng bộ lọc Kalman*”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện KH&CNQS, Số đặc san Tự động hóa (04/2019), tr 180-187.
2. Nguyễn Văn Bàng, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Quang Hùng, Vũ Quang Lương (2019), “*Tổng hợp luật dẫn tối ưu cho tên lửa điều khiển từ xa theo phương pháp dẫn 3 điểm*”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện KH&CNQS, Số 61 (06/2019), tr 3-10.
3. Nguyễn Văn Bàng, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Quang Hùng (2019), “*Tổng hợp luật dẫn từ xa tối ưu khi coi hàm truyền tên lửa là khâu quán tính*”, Bài số 25, Hội nghị khoa học - Triển lãm quốc tế lần thứ 5 về Điều khiển và Tự động hóa - VCCA (09/2019), Hà Nội.
4. Нгуен Ван Банг (2019), “*Управления движением зур на основе универсально линейного адаптивного с эталонной моделью регулятора, применяющего мит закон*”, East European Scientific Journal, Poland, Vol 48 (08/2019), pp. 10-17.
5. Nguyễn Văn Bàng, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Quang Hùng, Nguyễn Tất Tuấn (2019), “*Ổn định tên lửa trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính thích nghi theo mô hình mẫu ứng dụng lý thuyết ổn định Lyapunov*”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện KH&CNQS, Số 63 (10/2019), tr 3-11.
6. Nguyễn Văn Bàng, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Quang Hùng, Vũ Văn Chiến (2020), “*Tổng hợp luật điều khiển từ xa tối ưu khi tính tới động học khâu tên lửa*”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện KH&CNQS, Số 65 (02/2020), tr 3-14.