

VỀ MỘT GIẢI PHÁP ĐO HỆ SỐ LỆNH TỪ ĐÀI ĐIỀU KHIỂN KHÍ CỤ BAY TẦM GẦN ỨNG DỤNG VI MẠCH TÍCH HỢP

Vũ Anh Hiền, Trần Hữu Phương*, Bùi Văn Tuấn, Nguyễn Đăng Hưng

Viện Tên lửa – Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: tranhuuphuong83@gmail.com

Nhận bài: 21/8/2022; Hoàn thiện: 8/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.17-24>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nguyên lý lập lệnh và hệ số lệnh từ đài điều khiển mặt đất cho khí cụ bay có điều khiển tầm gần. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất ứng dụng vi mạch tích hợp đo trực tiếp hệ số lệnh đồng thời theo kênh tầm, kênh hướng đài điều khiển mặt đất của khí cụ bay tầm gần. Việc sử dụng các vi mạch điện tử tích hợp giúp cho hệ thống đo nhỏ gọn, trực quan, nâng cao độ chính xác, độ tin cậy trong quá trình kiểm tra, hiệu chỉnh và sử dụng đài điều khiển mặt đất của khí cụ bay tầm gần.

Từ khóa: Khí cụ bay tầm gần có điều khiển; Đài điều khiển mặt đất; Vi mạch tích hợp.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khí cụ bay có điều khiển tầm gần hay tên lửa chống tăng (TLCT) tầm gần có điều khiển là một loại tên lửa dẫn đường được thiết kế với mục tiêu chủ yếu là tấn công và phá hủy các xe tăng, xe thiết giáp hạng nặng của đối phương. Để phục vụ nhiệm vụ nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị kiểm tra chức năng và đo hệ số lệnh của đài điều khiển TLCT có điều khiển tầm gần kiểu B72 hoặc kiểu CTVN18 [1, 6], nhiệm vụ đặt ra là phải hiểu rõ bản chất nguyên lý điều khiển lập lệnh, phương pháp đo hệ số lệnh (HSL) cho lớp TLCT có một kênh điều khiển, quay quanh trục dọc và sử dụng máy lái làm việc ở chế độ rơ le này.

Đối với TLCT một kênh điều khiển, hệ số lệnh phản ánh lực điều khiển trung bình trong một vòng quay của tên lửa. Giá trị tuyệt đối của hệ số lệnh nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Hệ số lệnh bằng 1 thì tương ứng với tín hiệu điều khiển mà dưới tác động của nó sẽ có lực điều khiển trung bình cực đại. Như vậy, việc đo được hệ số lệnh giúp đánh giá khả năng lập lệnh của đài điều khiển mặt đất theo các giá trị lệnh tuyệt đối tương ứng với kênh tầm, kênh hướng cho TLCT trong quá trình bay tiếp cận mục tiêu tương ứng với các lệnh: Lên trên; Xuống dưới; Sang phải; Sang trái; Lệnh không.

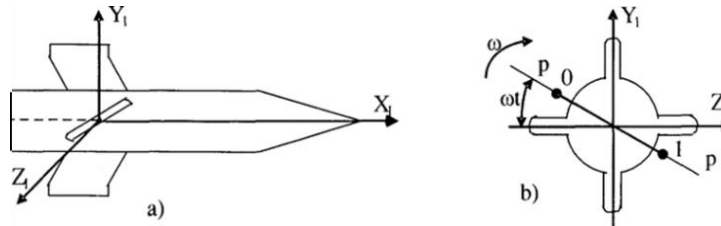
Tổng hợp các công trình nghiên cứu gần đây, một số công trình nghiên cứu trong nước và ngoài nước đã công bố các kết quả nghiên cứu về cơ sở lý thuyết nguyên lý lập lệnh điều khiển và tính toán hệ số lệnh cho lớp tên lửa điều khiển một kênh như trong [2, 3, 8]. Trong các công trình [4, 5, 7] các tác giả đã nghiên cứu, xây dựng công thức tính toán lý thuyết gần đúng HSL điều khiển cho lớp tên lửa tầm gần điều khiển một kênh kiểu tổ hợp TLCT B72. Tuy nhiên, bài toán nghiên cứu ứng dụng vi mạch tích hợp để hiện thực hóa các phép đo hệ số lệnh chưa được đề cập trong các công trình này.

Mục đích của bài báo là khảo sát, nghiên cứu mô phỏng nguyên lý lập lệnh, xây dựng giải pháp đo hệ số lệnh của đài điều khiển mặt đất cho lớp tên lửa (TL) chống tăng tầm gần, điều khiển một kênh sử dụng máy lái kiểu rơ le. Tiếp theo, nhóm tác giả đề xuất giải pháp kỹ thuật ứng dụng vi mạch tích hợp để hiện thực hóa phép đo HSL của đài điều khiển mặt đất TLCT trong hai mặt phẳng kênh tầm và kênh hướng. Phần cuối là các kết quả thử nghiệm so sánh của các bài đo và đánh giá hiệu quả làm việc của thiết bị kiểm tra chức năng đo HSL mới với thiết bị cũ của Liên bang Nga.

2. NGUYÊN LÝ LẬP LỆNH VÀ HỆ SỐ LỆNH TRÊN TLCT TÂM GẦN

2.1. Nguyên lý lập lệnh điều khiển cho TLCT tâm gần

Tổ hợp TLCT tâm gần sử dụng hệ thống điều khiển một kênh để điều khiển TL. Nó có đặc điểm là lực điều khiển chỉ do một cơ cấu chấp hành (máy lái) tạo ra. Tín hiệu điều khiển từ ĐĐK mặt đất chuyển tới cơ cấu chấp hành sẽ điều khiển TLCT trong hai mặt phẳng: trong mặt phẳng hướng (theo phương nằm ngang) và theo mặt phẳng tầm (theo phương thẳng đứng).



Hình 1. Sơ đồ hệ tọa độ và lực tác động lên TLCT

Theo [5], quá trình điều khiển TLCT trong hai mặt phẳng được thực hiện nhờ quay cưỡng bức TL trong mặt phẳng OY_1Z_1 theo trục dọc OX_1 với tốc độ góc không đổi ω . Mặt phẳng chuyển hướng loa phụt P-P (hình 1.b) được gắn chặt với TL. Khi TL quay với tốc độ góc ω thì mặt phẳng chuyển hướng P-P cũng quay với tốc độ ω .

Trong trường hợp này, máy lái làm lệch véc tơ lực đẩy của động cơ hành trình một góc $\pm \delta$ tạo thành phần véc tơ lực ngang - véc tơ lực điều khiển \vec{R}_{dk} (giả thiết trong mặt phẳng OX_1Z_1). Véc tơ lực điều khiển \vec{R}_{dk} tạo mô men điều khiển M_{dk} (hình 1.b) đối với tâm khối. Mô men điều khiển làm M_{dk} lệch trục OX_1 so với véc tơ vận tốc, làm xuất hiện góc tấn và thành phần lực nâng khí động. Lực này làm đổi hướng véc tơ vận tốc.

Để tạo hướng cơ động cho TL theo mong muốn cần tổng hợp lệnh điều khiển U_{dk} từ đài điều khiển (ĐĐK) mặt đất để tạo ra các lực điều khiển trung bình R_{dktb} có hướng và độ lớn cần thiết. Để thay đổi hướng bay của TL cần phải đổi hướng của véc tơ lực điều khiển trung bình \vec{R}_{dktb} , nghĩa là quay véc tơ \vec{R}_{dktb} một góc φ so với trục OZ_1 . Điều này sẽ đạt được bằng cách truyền lên TL tín hiệu điều khiển U_{dkcb} cơ bản dạng hình sin với tốc độ góc ω và pha ban đầu φ . Khi này, biểu thức của tín hiệu điều khiển cơ bản sẽ có dạng:

$$U_{dkcb} = U_0 \sin(\omega t - \varphi); \quad (1)$$

trong đó: U_0 - Biên độ của tín hiệu điều khiển cơ bản.

Theo [6], tín hiệu điều khiển tổng hợp thực tế U_{dk} được truyền tới TL gồm tín hiệu điều khiển cơ bản kết hợp với tín hiệu tuyến tính hóa sẽ có dạng:

$$U_{dk} = U_0 \sin(\omega t - \varphi) + U_{L0} \sin(\omega_L t); \quad (2)$$

trong đó: U_{L0} - Biên độ của tín hiệu tuyến tính; ω_L - Tần số góc của tín hiệu tuyến tính, giá trị của ω_L được lấy gấp đôi tần số quay của TL ($\omega_L = 2\omega$) để giữ các đặc trưng của hệ thống điều khiển không thay đổi khi tần số quay của TL thay đổi. Ở ĐĐK mặt đất biên độ tín hiệu tuyến tính hóa U_{L0} là không đổi, còn biên độ của tín hiệu điều khiển cơ bản U_0 thì thay đổi phụ thuộc vào góc lệch tay lái. Như vậy, giá trị tuyệt đối của R_{dktb} phụ thuộc vào góc lệch của tay lái.

Lực điều khiển R_{dk} chiếu lên phương bất kỳ φ có dạng:

$$R_{dk} = R_{\max} \cdot \text{sign}(U_{dk}) \cdot \cos(\omega t - \varphi); \quad (3)$$

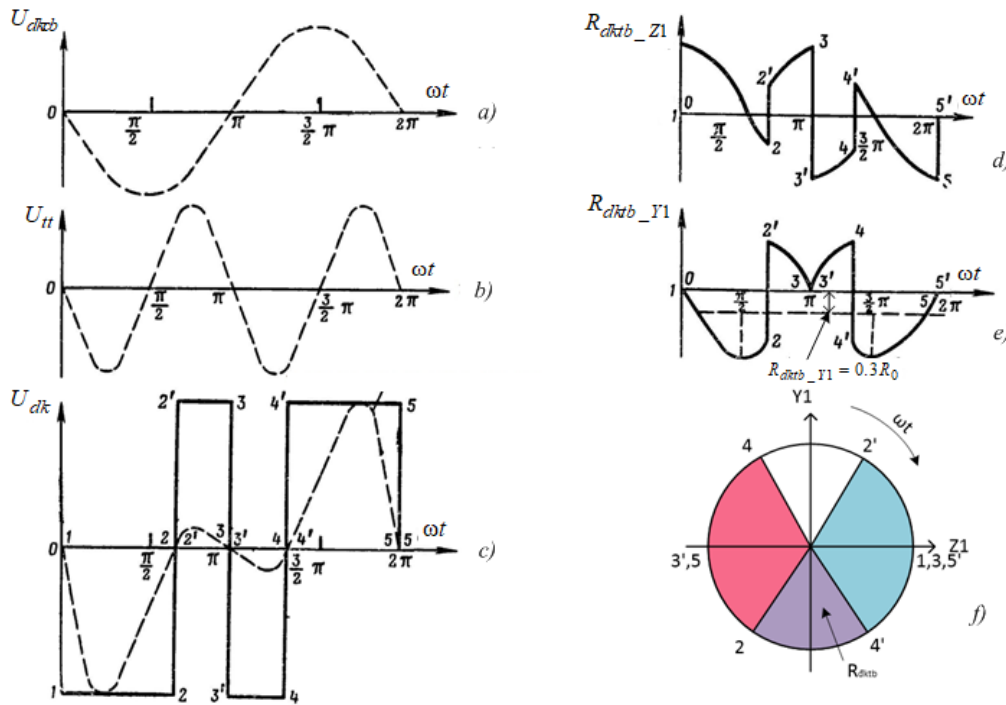
trong đó: R_{\max} - Lực điều khiển lớn nhất; $sign(U_{dk}) = \pm 1$ - Hàm dấu của tín hiệu điều khiển.

2.2. Hệ số lệnh khi tín hiệu điều khiển có tín hiệu tuyến tính hóa

Theo [7], HSL tức thời K được tính bằng tỷ số giữa trung bình các lực điều khiển tác động lên quả đạn TLCT R_{dkb} tại thời điểm đó, với giá trị lớn nhất của trung bình các lực điều khiển tác động lên quả đạn R_{dkb_max} .

$$K = \frac{R_{dkb}}{R_{dkb_max}} \tag{4}$$

Hệ số lệnh K sẽ phụ thuộc vào tỷ số biên độ U_0/U_{L0} và $|K| \leq 1$. Hệ số lệnh bằng 1 sẽ tương ứng với tín hiệu điều khiển U_{dk} mà dưới tác động của nó sẽ có lực điều khiển trung bình cực đại $R_{dkb_max} = 0.637R_0$; trong đó, R_0 là giá trị không đổi của lực điều khiển do các tham số của động cơ và của các cơ cấu chấp hành quyết định. Xét phương pháp tính hệ số lệnh K trong trường hợp tỷ số biên độ $\frac{U_0}{U_{L0}} = 1$ và $\varphi = 0$, các đặc tuyến của tín hiệu điều khiển, tín hiệu tuyến tính hóa, lực điều khiển TL theo kênh tâm và kênh phương vị, biểu đồ hệ số lệnh TL được mô tả trong hình 2.



Hình 2. Phương pháp tính hệ số lệnh khi tín hiệu điều khiển có thành phần tín hiệu tuyến tính hóa: a - Tín hiệu điều khiển cơ bản; b - Tín hiệu tuyến tính hóa; c - Tín hiệu điều khiển tổng hợp; d - Lực điều khiển TL kênh phương vị; e - Lực điều khiển TL kênh tâm; f - Biểu đồ lực điều khiển trung bình lên TL.

Từ biểu đồ trong hình 2f, ta thấy sau một vòng quay đầy đủ của TL thì sẽ cân bằng 2 diện tích: diện tích 1 được bao bởi cung 2' - 1 - 4' và diện tích 2 được bao bởi cung 4 - 3' - 2. Còn diện tích không được cân bằng bao bởi cung 2-4'. Diện tích này xác định giá trị và hướng của lực điều khiển trung bình tạo ra mô men điều khiển TL. Từ đồ thị hình chiếu R_{dkb} lên trục Z_1

kênh phương vị (hình 2.d) ta thấy, giá trị trung bình của hình chiếu lực điều khiển lên trục Z_1 ($R_{dkb_Z_1}$) kênh phương vị sau một chu kỳ bằng 0. Giá trị trung bình hình chiếu của lực điều khiển lên trục Y_1 ($R_{dkb_Y_1}$) kênh góc tầm (hình 2.e) bằng: $R_{dkb_Y_1} = 0.3R_0$. Hệ số lệnh đối với trường hợp này bằng:

$$K = \frac{R_{dkb}}{R_{dkb_max}} = \frac{0.3R_0}{0.637R_0} = 0.47. \quad (5)$$

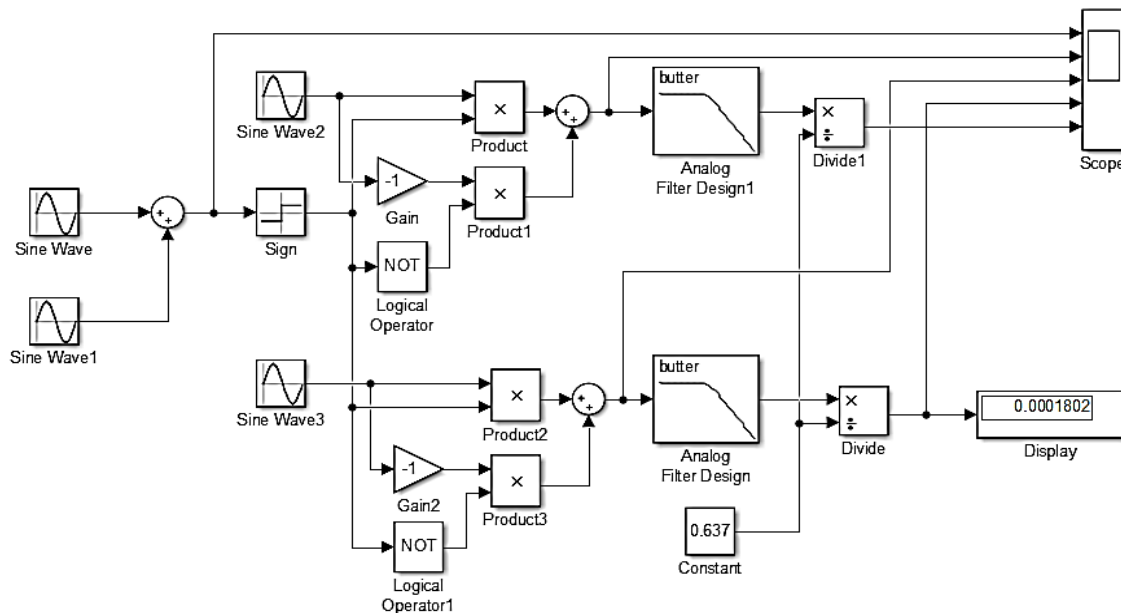
Ta có nhận xét sau: Trong trường hợp tổng quát, sự thay đổi biên độ của tín hiệu điều khiển cơ bản U_0 khi giữ nguyên giá trị biên độ tín hiệu tuyến tính hoá U_{L0} làm thay đổi hệ số lệnh K . Việc thay đổi K sẽ dẫn đến tăng hay giảm diện tích của hình rỗng quạt 2, 4' (hình 2.f), và vì vậy làm tăng hay giảm R_{dkb} . Hướng của R_{dkb} do góc pha φ của tín hiệu điều khiển cơ bản quyết định.

3. GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐO HỆ SỐ LỆNH TRÊN TLCT TẦM GẦN

Trong mục này, nhóm tác giả sẽ trình bày giải pháp kỹ thuật để hiện thực hóa phép đo HSL của kênh tầm K_T và HSL của kênh hướng K_H với chứng minh toán học đã nêu tại phần 2. Về bản chất để hiện thực hóa việc đo HSL, ta cần:

- Tín hiệu điện áp chuẩn đồng bộ với chuyển động của mặt phẳng chuyển hướng loa phụt P-P là hai mặt phẳng vuông góc theo kênh tầm và kênh hướng. TLCT B72 có hệ thống điều khiển một kênh và TL xoay quanh thân trong khi bay nên tín hiệu chuẩn này là hai hình sin lệch pha 90° .

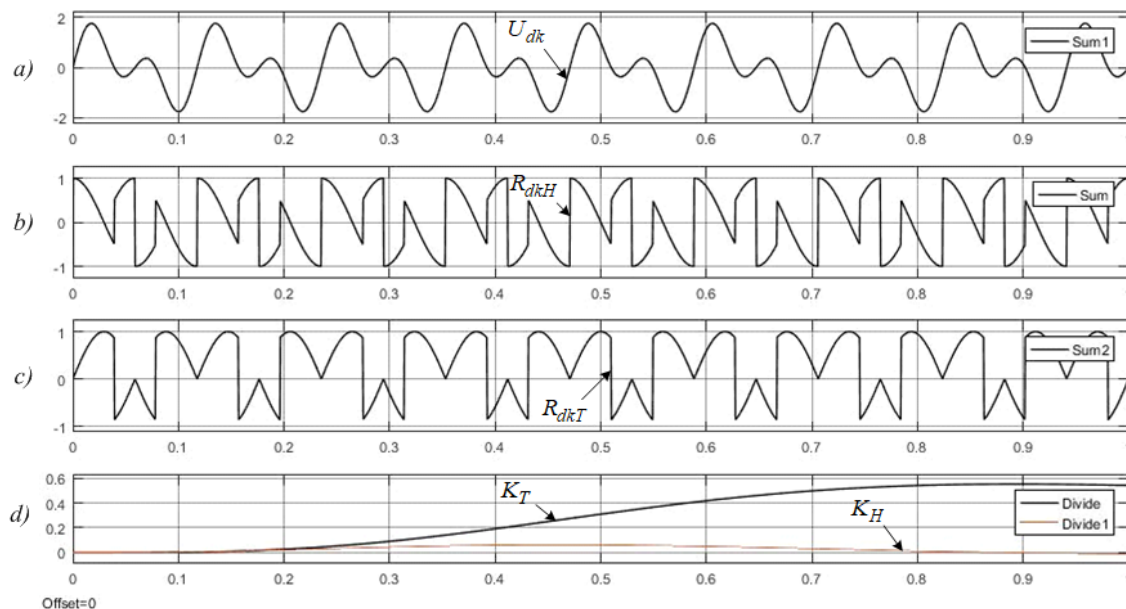
- Tín hiệu điện áp điều khiển tổng hợp mô tả quỹ đạo chuyển động của chụp loa phụt có dạng điều chế (PWM) nhưng bị trễ do xử lý của hệ thống điều khiển và máy lái.



Hình 3. Mô hình Matlab Simulink giải pháp đo hệ số lệnh TLCT

Đo HSL là ta thực hiện điều chế hai tín hiệu gồm tín hiệu điều khiển tổng hợp dạng PWM với hai tín hiệu điện áp chuẩn dạng sin, cos. Sau đó, thực hiện tích phân tín hiệu sau điều chế và chia số học với hệ số tỷ lệ cố định $k_H = 0.637$. Để chứng minh cho phương án này nhóm tác giả đã xây dựng mô hình trên Matlab/Simulink về mô phỏng giải pháp đo hệ số lệnh như trong hình hình 3.

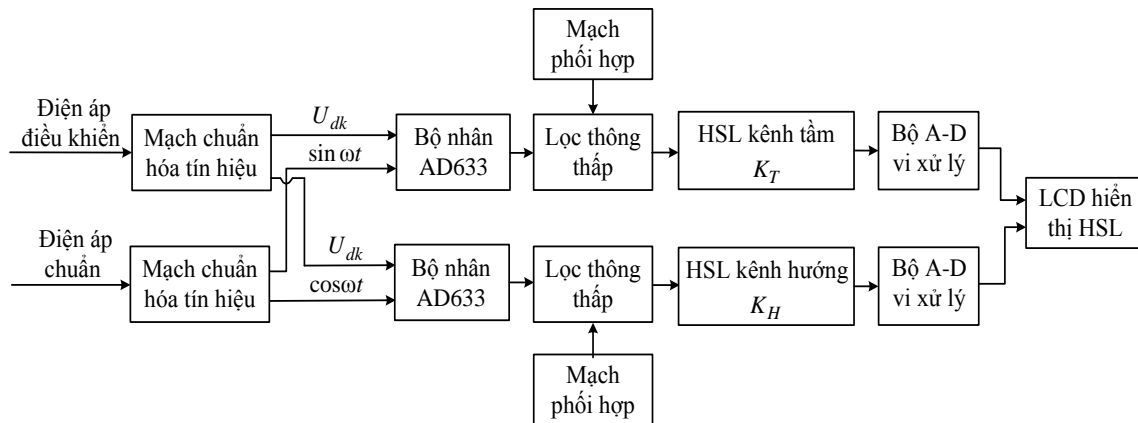
Mô hình Matlab Simulink mô phỏng giải pháp đo HSL trên hình 3 bao gồm hai kênh đo HSL kênh tâm K_T và đo HSL kênh phương vị K_H với các thành phần: khối tạo giả tín hiệu điều khiển; khối điều chế sử dụng bộ nhân tín hiệu (2 bộ); bộ tích phân ở dạng lọc thông thấp (2 bộ); bộ chia (2 bộ).



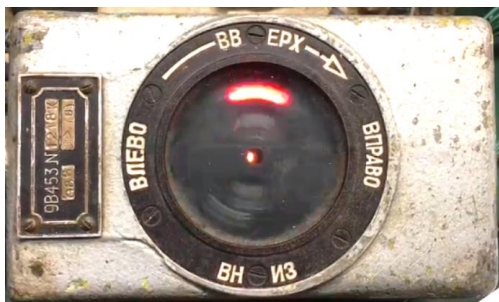
Hình 4. Kết quả mô phỏng với khi biên độ tín hiệu tuyến tính và tín hiệu điều khiển cơ bản bằng nhau và trùng pha.

Kết quả mô phỏng với khi biên độ tín hiệu tuyến tính và tín hiệu điều khiển cơ bản bằng nhau và trùng pha được mô tả trên hình 4. Trong đó, hình 4.a là đặc tuyến của tín hiệu điều khiển tổng hợp U_{dk} . Đặc tuyến trên hình 4.b là lực điều khiển TL so với mặt phẳng hướng R_{dkH} . Đặc tuyến trên hình 4.c là lực điều khiển TL trong mặt phẳng góc tầm R_{dkT} . Hệ số lệnh thể hiện ở biểu đồ dạng sóng trên hình 4.d. Khi đó, hệ số lệnh theo kênh góc tầm $K_T = 0.47$ hệ số lệnh theo kênh phương vị $K_H = 0$. Mô hình Matlab/Simulink về giải pháp đo HSL là một cơ sở quan trọng để nghiên cứu và hiểu về quá trình hình thành lệnh điều khiển trong hệ thống điều khiển TLCT, thể hiện trực quan các lệnh điều khiển TL và làm cơ sở thiết kế mạch điện đo hệ số lệnh TLCT theo kênh phương vị và kênh góc tầm.

Sơ đồ khối mạch đo hệ số lệnh TL ứng dụng linh kiện vi mạch tích hợp được mô tả trên hình 5, bao gồm các thành phần sau: Mạch chuẩn hóa tín hiệu các tín hiệu đầu vào để chỉnh mức qua không cho các tín hiệu, phục vụ hiệu chỉnh mạch trước khi đo. Bộ nhân tín hiệu ứng dụng vi mạch tích hợp AD633. Bộ nhân AD633 hoạt động như bộ khuếch đại nhạy pha. Bộ lọc thông thấp để tích phân tín hiệu tại đầu ra của AD633 thành tín hiệu một chiều là hệ số lệnh để tiện để biến đổi truyền cho vi điều khiển xử lý. Mạch phối hợp thay đổi hệ số tích phân của bộ lọc nhằm tăng tính tác động nhanh cho bộ lọc thông thấp. Bộ biến đổi A-D biến đổi tín hiệu một chiều tỷ lệ với độ lớn pha lệnh thành tín hiệu số truyền vào vi điều khiển để xử lý và hiển thị. Độ lớn của HSL được hiển thị trực tiếp trên LCD bằng giá trị số cụ thể (hình 6.b). Phương pháp đo HSL này đang được ứng dụng trong thiết bị kiểm tra chức năng đài điều khiển TLCT tầm gần. Thiết bị kiểm tra chức năng đài điều khiển TLCT nguyên bản của LB Nga không có khả năng hiển thị định lượng HSL theo từng kênh. Thiết bị do nhóm tác giả nghiên cứu, thiết kế, chế tạo đã khắc phục được nhược điểm này.



Hình 5. Sơ đồ khối mạch đo hệ số lệnh TL ứng dụng vi mạch tích hợp.



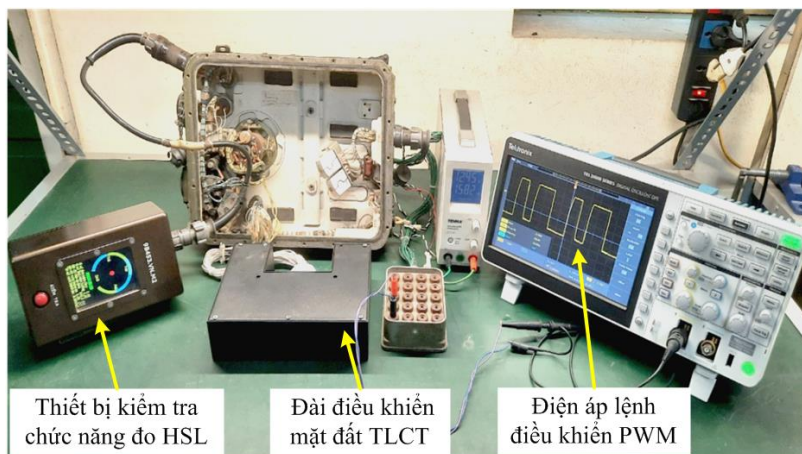
a. Thiết bị của LB Nga



b. Thiết bị do nhóm tác giả thiết kế, chế tạo

Hình 6. Thiết bị kiểm tra chức năng đài điều khiển TLCT tầm gần.

4. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ CỦA THIẾT BỊ ĐO



Hình 7. Sơ đồ thử nghiệm đo hệ số lệnh bằng thiết bị kiểm tra chức năng đo HSL sử dụng mạch tích hợp.

Nghiên cứu khoa học công nghệ

Thiết bị kiểm tra chức năng đài điều khiển TLCT tầm gần được kết nối với ĐĐK mặt đất để tiến hành thực hiện phép đo HSL. Sơ đồ kết nối hệ thống đo kiểm được mô tả trên hình 7.

Các kết quả thử nghiệm, so sánh kết quả đo HSL của ĐĐK tên lửa chống tăng tầm gần giữa thiết bị kiểm tra chức năng, đo HSL của LB Nga với thiết bị đo HSL mới theo kênh tâm và kênh phương vị được thể hiện trên bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm đo HSL với ĐĐK mặt đất.

TT	Bài kiểm tra	Chỉ tiêu	Thiết bị của LB Nga	Thiết bị của VN
1	Hệ số lệnh kênh hướng, K_H			
1.1	Lệnh “0”	$\leq 0,11$	Không hiển thị	0,07
1.2	Lệnh “Lên trên”	$\leq 0,11$	-nt-	0,1
1.3	Lệnh “Xuống dưới”	$\leq 0,11$	-nt-	0,05
1.4	Lệnh “Sang phải”	$0,75 \pm 0,15$	-nt-	0,86
1.5	Lệnh “Sang trái”	$0,75 \pm 0,15$	-nt-	0,88
2	Hệ số lệnh kênh tầm, K_T			
2.1	Lệnh “0”	$0,45 \pm 0,08$	-nt-	0,46
2.2	Lệnh “Lên trên”	$0,95 \div 1,0$	-nt-	0,99
2.3	Lệnh “Xuống dưới”	$0,1 \pm 0,05$	-nt-	0,05
2.4	Lệnh “Sang phải”	$0,35 \div 0,75$	-nt-	0,6
2.5	Lệnh “Sang trái”	$0,35 \div 0,75$	-nt-	0,5
3	Quan sát vòng tròn lệnh điều khiển	Tín hiệu hiển thị phù hợp với tín hiệu chuẩn trên bảng hướng dẫn	Đạt yêu cầu	Đạt yêu cầu

Nhận xét: Từ các kết quả thử nghiệm, so sánh trong bảng 1, ta thấy HSL đo được từ thiết bị kiểm tra chức năng, đo HSL mới là phù hợp với kết quả tính toán mô phỏng. Như vậy, việc lựa chọn giải pháp kỹ thuật đo hệ số lệnh ứng dụng vi mạch tích là hợp lý.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nguyên lý lập lệnh và hệ số lệnh từ ĐĐK mặt đất cho TLCT tầm gần. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình matlab/simulink, mô phỏng sơ đồ chức năng của khối lập lệnh và đề xuất giải pháp kỹ thuật ứng dụng vi mạch tích hợp để đo hệ số lệnh. Thiết bị đo kiểm ứng dụng phương pháp mới này để đo hệ số lệnh được thử nghiệm với ĐĐK mặt đất của TLCT và đạt kết quả tốt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. “Tổ hợp tên lửa chống tăng 9K11”. Cục kỹ thuật/Bộ tư lệnh Pháo binh. Hà Nội (2006).
- [2]. Tô Văn Dục. “Về một phương pháp gần đúng xác định hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh”. Tuyển tập KNKH trung tâm KHKT và CNQS, (2003).
- [3]. Tô Văn Dục, Nguyễn Văn Sơn, Phạm Vũ Uy (2006), “Động học bay và nguyên lý dẫn đối tượng bay điều khiển một kênh”, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Văn Chúc, Nguyễn Phú Thắng, Phạm Khắc Lâm, “Mô phỏng bán tự nhiên thời gian thực tên lửa điều khiển tầm gần kiểu B-72”, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Tên lửa, Tr. 106-115, số Đặc san Tên lửa, (2016).
- [5]. Nguyễn Văn Chúc, Nguyễn Văn Sơn, Trần Phú Hoàn. “Phương pháp xác định hệ số lệnh tên lửa một kênh quay quanh trục dọc”. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Tên lửa, Tr. 106-115, (2016).

- [6]. Bùi Văn Tuấn, “Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị kiểm tra tổng hợp hệ thống điều khiển trên khoang kiểu tên lửa B72”, Báo cáo khoa học đề tài nghiên cứu cấp Viện KHCN quân sự, (2017).
- [7]. “Наземная аппаратура управления снарядом 9M14M – Комплект аппаратуры 9С428 – Техническое описание”, Изд. «Машинстроение» Москва (1967).
- [8]. Кашин В.М. “Вращающаяся управляемая ракета”. Патент РФ № 2241953, (2003).

ABSTRACT

A method for measuring command coefficient from the ground control station of a close-range guided flying objects with integrated circuit

This paper presents the principle of synthetic control commands and the command coefficient from the ground control station for close-range guided flying objects. Next, the article proposes the application of an integrated circuit to directly measure the command coefficient simultaneously according to the elevation and azimuth channels of guided flying objects. The use of integrated circuit makes the measuring system compact, improving accuracy and reliability during calibration and using the ground control station of close-range guided flying objects.

Keywords: Close-range Guided Flying Objects; Ground Control Station; Integrated Circuit.