# XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH THUẬT TOÁN THIẾT BỊ ĐO HỆ SỐ LỆNH ĐIỀU KHIỂN TÊN LỬA MỘT KÊNH

Nguyễn Văn Sơn, Phạm Công Tư*, Chu Văn Thu

***Tóm tắt:*** *Đặc trưng của hệ thống điều khiển tên lửa một kênh là hệ số lệnh điều khiển. Khi thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển loại tên lửa này cần thiết phải xác định được các giá trị của hệ số lệnh điều khiển. Từ đó làm cơ sở để đánh giá chất lượng của toàn bộ hệ thống điều khiển tên lửa trong quá trình kiểm tra, thử nghiệm. Bài báo phân tích, xây dựng phương trình toán học và thuật toán để thiết kế, chế tạo thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh.*

**Từ khóa:** Phương trình thuật toán; Hệ số lệnh điều khiển.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều khiển tên lửa bằng một kênh với một cặp cánh lái là một dạng đặc biệt của phương pháp điều khiển các khí cụ bay. Thay vì phải sử dụng các cánh lái điều khiển tầm và hướng cùng với cặp cánh lái ổn định kênh điều khiển (Cren), người ta chỉ sử dụng một cặp cánh lái để điều khiển tên lửa, nhưng quay cưỡng bức nó xung quanh trục dọc với một tốc độ góc ổn định. Nguyên lý điều khiển đặc biệt này được ứng dụng trong các tên lửa yêu cầu gọn nhẹ như tên lửa chống tăng, tên lửa phòng không mang vác (A72, B72, Igla,…).

Đặc trưng của hệ thống điều khiển tên lửa một kênh là hệ số lệnh điều khiển trung bình trong một chu kỳ quay của tên lửa. Khi thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển loại tên lửa này cần thiết phải xác định được các giá trị của hệ số lệnh điều khiển ở các trường hợp đặc trưng. Từ đó làm cơ sở để kiểm tra, hiệu chỉnh và đánh giá chất lượng của toàn bộ hệ thống điều khiển tên lửa. Bài báo phân tích, xây dựng phương trình toán học và thuật toán để thiết kế, chế tạo thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh phục vụ cho kiểm tra, thử nghiệm hệ thống điều khiển tên lửa một kênh.

## 2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH LẬP LỆNH ĐIỀU KHIỂN TÊN LỬA MỘT KÊNH

### 2.1. Luật điều khiển tên lửa một kênh

Quá trình điều khiển tên lửa một kênh được đặc trưng bởi lực điều khiển tạo ra do một cơ cấu chấp hành (loa phụt, cánh lái,...) kết hợp với quay cưỡng bức tên lửa xung quanh trục dọc. Luật điều khiển cánh lái tên lửa trong trường hợp tổng quát được xác định bằng toán học sau [1]:

$$\delta_{dk}(t) = \delta_{gh} sign(\sin \omega_{x1} t - \varphi_0) \quad (1)$$

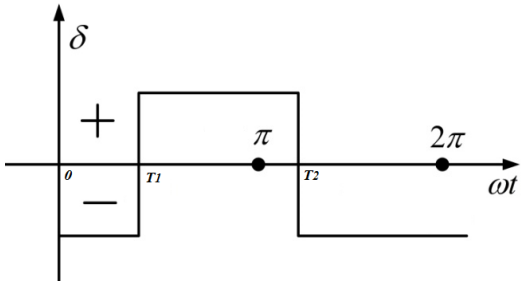
Trong đó: $\delta_{gh}$ - Góc lệch cực đại của cánh lái, bị giới hạn bởi giá trị lệch tới hạn cho phép để không gây ra thất tốc tên lửa; $\omega_{x1}$ - Tốc độ quay của tên lửa xung quanh trục dọc; $\varphi_0$ - Góc pha ban đầu; *sign* - Hàm số dấu.

Luật điều khiển tên lửa một kênh biểu diễn trên hình 1. Như vậy, trong quá trình điều khiển cánh lái liên tục lật từ vị trí cực đại này sang vị trí cực đại kia với góc lệch $\pm\delta$ tạo thành lực điều khiển $\bar{R}_{dk}(\delta)$. Lực điều khiển $\bar{R}_{dk}$ tạo ra mô men điều khiển $\bar{M}_{dk}$ so với tâm khối tên lửa. Mô men điều khiển làm lệch trục dọc $OX_1$ so với véc tơ vận tốc, làm xuất hiện góc tấn và thành phần lực nâng khí động để điều khiển tên lửa.

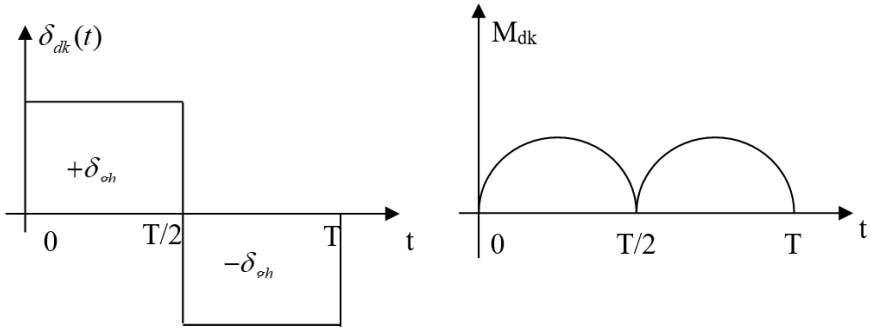
Do trong quá trình điều khiển, tên lửa cùng mặt phẳng cánh lái bị quay cưỡng bức xung quanh trục dọc với tốc độ góc $\omega_{x1}$, nên coi quá trình điều khiển tên lửa một kênh là quá trình điều khiển theo các chu kỳ quay liên tiếp nhau.

Phân tích quá trình phối hợp giữa sự đổi dấu góc lệch cánh lái theo luật điều khiển hàm số dấu (1) với chu kỳ quay cưỡng bức của tên lửa xung quanh trục dọc $0x_1$:

Nửa đầu chu kỳ góc lệch cánh lái dương quay từ -0Z về +0Z theo chiều kim đồng hồ tạo ra mô men điều khiển có dấu dương. Nửa chu kỳ sau khi tên lửa quay từ trục +0Z về -0Z theo chiều kim đồng hồ, đồng thời theo hàm dấu cánh lái đổi dấu, điều này dẫn đến góc lệch cánh lái vẫn dương làm cho mô men điều khiển vẫn dương (hình 2) và làm cho góc tấn tăng nhưng không lớn hơn giá trị góc tấn tới hạn do sự giới hạn của góc lệch cánh lái. Khi đó, chúng ta nhận được mô men điều khiển cực đại, được biểu diễn như hình 2. Hướng điều khiển phụ thuộc vào góc lệch pha (sai lệch về hướng giữa tên lửa và mục tiêu trong không gian).




***Hình 1.*** *Đồ thị biểu diễn góc lệch cánh lái tên lửa một kênh.*




***Hình 2.*** *Đồ thị biểu diễn mô men điều khiển cánh lái.*

Chúng ta thấy rằng với luật điều khiển được biểu diễn như biểu thức (1) thì mô men điều khiển tên lửa luôn đạt giá trị cực đại không phụ thuộc vào sai lệch giữa tên lửa và mục tiêu. Điều này không phù hợp với quá trình điều khiển khi tên lửa tiếp cận mục tiêu. Để tổng hợp được lệnh điều khiển tên lửa một kênh đáp ứng được algorithm điều khiển tuyến tính theo sai lệch khi tên lửa tiếp cận mục tiêu, người ta đã đưa vào tín hiệu tuyến tính dạng hàm sin, khi đó biểu thức tổng quát của luật điều khiển (1) trở thành:

$$\delta_{dk}(t) = \delta_{\max} sign[A_1(t)\sin(\omega_{x1}t - \varphi) + A_2 \sin n(\omega_{x1}t - \varphi)] \quad (2)$$

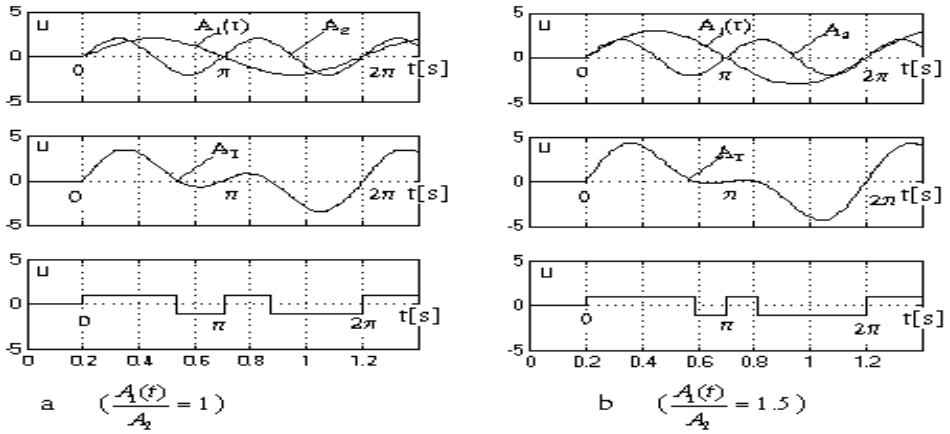
Trong đó: A1(t) - Hàm biến thiên phụ thuộc vào sai lệch tên lửa - mục tiêu;

A2 - Biên độ tín hiệu tuyến tính có giá trị không đổi;

φ - Góc lệch pha;

n – Tỷ số giữa tần số của tín hiệu tuyến tính và tín hiệu sai lệch mục tiêu (n=2).

Biểu diễn sự thay đổi của luật điều khiển (2) trong trường hợp điển hình (n=2), với giá trị sai lệch $A_1(t)$ khác nhau, ta nhận được đồ thị thể hiện các thời điểm đổi dấu của cánh lái $\delta(t)$ phụ thuộc vào sai lệch tên lửa - mục tiêu (thay đổi độ rộng xung điều khiển cánh lái) được thể hiện trên hình 3 dưới đây:




***Hình 3.*** *Quan hệ góc lệch cánh lái vào sai lệch tên lửa - mục tiêu.*

Từ các đồ thị trên hình 3, cho thấy độ rộng xung điều khiển (hàm số dấu) thay đổi phụ thuộc vào tín hiệu sai lệch tên lửa- mục tiêu ($A_1(t)$). Với luật điều khiển (2) và tín hiệu điều khiển cánh lái (hình 3) chúng ta tổng hợp được lực điều khiển theo tên lửa như biểu thức (3):

$$R_{dk} = m^{\delta_p} S \frac{\rho V^2}{2} \delta_{\max} sign[A_1(t)\sin(\omega_{x1}t - \varphi) + A_2 \sin n(\omega_{x1}t - \varphi)]\sin(\omega_{x1}t - \varphi) \qquad (3)$$

Trong đó: $R_{dk}$ - Lực điều khiển; $m^{\delta_p}$ - Hệ số khí động của cánh lái; S - Diện tích cánh lái.

Chúng ta thấy rằng trong quá trình bay có điều khiển của tên lửa một kênh, cánh lái liên tục lật và tên luôn quay xung quanh trục dọc của nó với một tốc độ góc xác định. Như vậy, tên lửa sẽ bay theo quỹ đạo dích dắc nhưng sau mỗi chu kỳ quay tâm khối tên lửa lại tiếp cận đến mục tiêu theo lệnh điều khiển. Để đánh giá quá trình điều khiển tên lửa một kênh, đã đưa vào khái niệm lực điều khiển trung bình tên lửa trong một chu kỳ quay. Đó là tỷ số giữa tổng đại số giá trị lực điều khiển tên lửa trong một chu kỳ quay và thời gian của một chu kỳ quay. Ta có lệnh điều khiển trung bình trong một chu kỳ quay của tên lửa theo biểu thức (3) như sau:

$$R_{dktb} = -\frac{1}{T} m^{\delta_p} S \frac{\rho V^2}{2} \delta_{\max} \int_0^T sign[A_1(t)\sin(\omega_{x1}t - \varphi) + A_2 \sin n(\omega_{x1}t - \varphi)]\sin(\omega_{x1}t - \varphi)dt \qquad (4)$$

*với T* là chu kỳ quay của tên lửa xung quanh trục dọc.

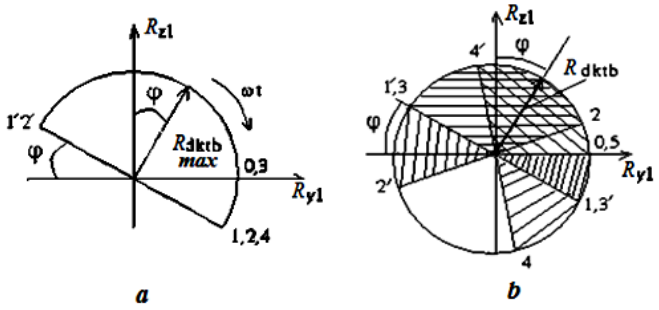
**2.2. Hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh**

Để đặc trưng cho độ lớn của lực và mô men điều khiển trung bình theo một hướng nào đó trong hệ thống điều khiển tên lửa một kênh đã đưa vào đại lượng hệ số lệnh điều khiển. Hệ số lệnh là tỷ số giữa lực điều khiển trung bình sau một chu kỳ quay $R_{dktb}$ với giá trị lớn nhất của nó có thể đạt được $R_{TB\max}$ [2].

$$k(\varphi) = R_{dktb}(\varphi) / R_{TB\max} \qquad (5)$$

Trong đó: $R_{dktb}(\varphi)$ là giá trị trung bình lực điều khiển trong một chu kỳ quay; $R_{Tbmax}$ là lực điều khiển trung bình lớn nhất trong một chu kỳ quay.

Từ luật điều khiển dạng xung như hình 3, và các biểu thức (3), (4) biểu diễn lực điều khiển tên lửa trên vòng tròn đơn vị, ta nhận được biểu đồ thể hiện lực điều khiển trung bình trong một chu lỳ quay của tên lửa một kênh như hình 4.




***Hình 4.*** *Lực điều khiển trung bình trong một chu kỳ quay của tên lửa một kênh.*

Hình 4a biểu lực điều khiển trung bình lớn nhất trong một chu kỳ quay đó là phần diện tích của 2 nửa hình tròn; hình 4b biểu diễn lực điều khiển trung bình trong một chu kỳ quay, đó là phần diện tích của cung tròn được gạch chéo.

Theo biểu thức (5) và biểu đồ lực điều khiển trên hình 4, ta thấy rằng hệ số lệnh điều khiển tên lửa có giá trị từ 0 đến 1. Khi chiếu véc tơ lực điều khiển trung bình lên các trục của hệ tọa độ mặt đất, ta nhận được hai thành phần lực điều khiển theo kênh tầm và kênh hướng. Điều này đồng nghĩa với hệ số lệnh cũng được phân chia theo các kênh này (hệ số lệnh kênh tầm, hệ số lệnh kênh hướng).

## 3. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH THUẬT TOÁN ĐO HỆ SÔ LỆNH ĐIỀU KHIỂN TÊN LỬA MỘT KÊNH

Từ biểu thức tính lực điều khiển trung bình (4), triển khai biểu thức này khi chiếu các thành phần của lực điều khiển lên các trục tọa độ mặt đất $0Y_1$, $0Z_1$ ta nhận được lực điều khiển tên lửa trong không gian theo hai mặt phẳng ngang và đứng tại mọi thời điểm của quá trình điều khiển. Biểu thức xác định các thành phần lực điều khiển này có dạng:

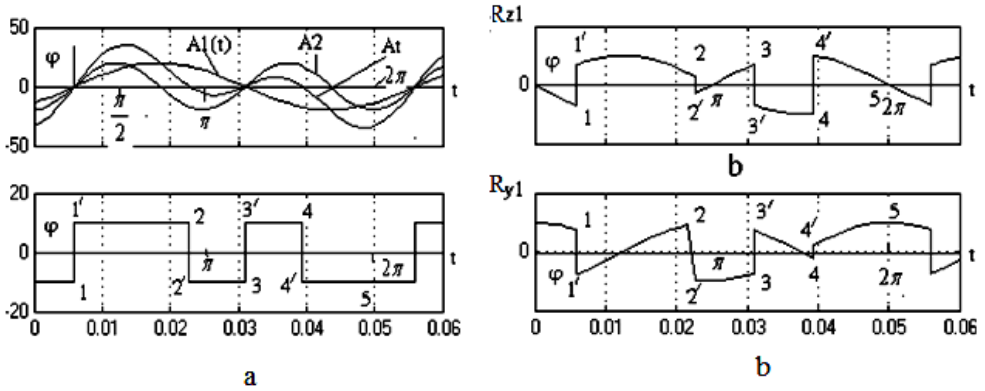
$$R_{dktbZ} = \frac{1}{T} m^{\delta_p} S \frac{\rho V^2}{2} \delta_{\max} \int_0^T sign[A_1(t)\sin(\omega_{x1}t - \varphi) + A_2 \sin n(\omega_{x1}t - \varphi)]dt.\sin\omega t.\sin\varphi \quad (6)$$

$$R_{dktbY} = \frac{1}{T} m^{\delta_p} S \frac{\rho V^2}{2} \delta_{\max} l \int_0^T sign[A_1(t)\sin(\omega_{x1}t - \varphi) + A_2 \sin n(\omega_{x1}t - \varphi)]dt.\cos\omega t.\cos\varphi \quad (7)$$

Với các biểu thức (6), (7), chúng ta xác định được lực điều khiển tên lửa trong không gian phụ thuộc vào sai số điều khiển theo hai mặt phẳng tầm và hướng. Trên cơ sở các phương trình (6), (7), tín hiệu biểu diễn lực điều khiển tên lửa như hình 5. Hình 5a là tín hiệu biểu diễn quá trình lập lệnh điều khiển; hình 5b là tín hiệu biểu diễn lực điều khiển tên lửa một kênh khi chiếu lên các trục hệ tọa độ mặt đất.

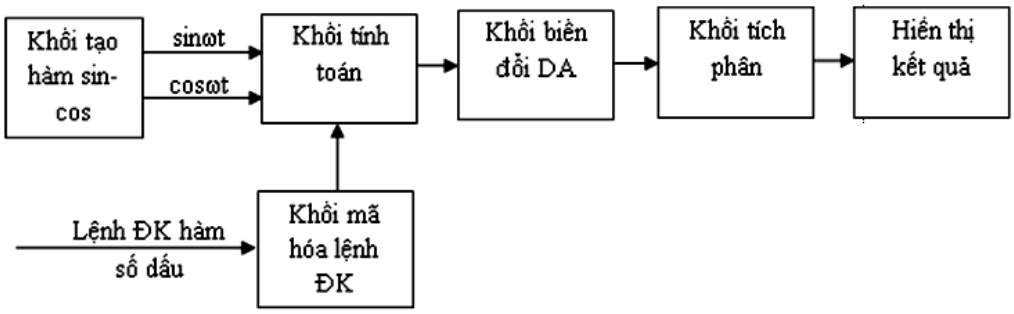
Ta thấy rằng tín hiệu biểu diễn lực điều khiển có những phần diện tích dương và âm, nhưng sau một chu kỳ quay của tên lửa sẽ có một giá trị nào đó được xác định. Để xác được hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh, chúng ta cần phải xác định được lực điều khiển trung bình trong quá trình điều khiển theo biểu đồ lực như trình bày ở trên.

Từ các phương trình toán mô tả quá trình lập lệnh điều khiển và biểu đồ lực điều khiển tên lửa một kênh như đã phân tích, thiết lập thuật toán cho thiết kế, chế tạo thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh.




***Hình 5.*** *Tín hiệu lực điều khiển tên lửa một kênh theo hai trục tọa độ.*

Sơ đồ khối thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh được thể hiện như hình 6.




***Hình 6.*** *Sơ đồ khối thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh.*

- Khối tạo hàm sin, cos: Tạo ra các hàm sin, cos với tần số bằng tần số quay của tên lửa xung quanh trục dọc. Khối này sử dụng Encoder quay đồng bộ với trục dọc tên lửa trên giá quay. Các xung tín hiệu lấy ra từ Encoder sẽ được đưa đến bộ biến đổi, tạo thành các hàm sin và cos.

- Khối mã hóa lệnh điều khiển tên lửa: Biến đổi lệnh điều khiển tên lửa ở dạng xung phân cực thành các xung một cực tính, mã hóa chúng đưa sang khối tính toán.

- Khối tính toán:

+ Tính toán xác định lực điều khiển theo kênh tầm và kênh hướng ở dạng số nhị phân trên cơ sở các dữ liệu đầu vào là lệnh điều khiển đã được mã hóa và các phương trình (6), (7).

+ Tính toán hệ số lệnh điều khiển theo kênh tầm và kênh hướng trên cơ sở lực điều khiển đã xác định được theo các kênh này và biểu thức (5).

Khối tính toán sử dụng vi mạch lập trình FPGA hãng Xilinx.

- Khối biến đổi số - tương tự (DA): Biến đổi các giá trị hệ số lệnh tính toán được theo kênh tầm và kênh hướng từ dạng số nhị phân sang dạng tín hiệu điện áp dạng tương tự.

- Khối tích phân: Tích phân các giá trị hệ số lệnh, lấy giá trị hệ số lệnh trung bình theo kênh tầm và kênh hướng dưới dạng dòng điện.

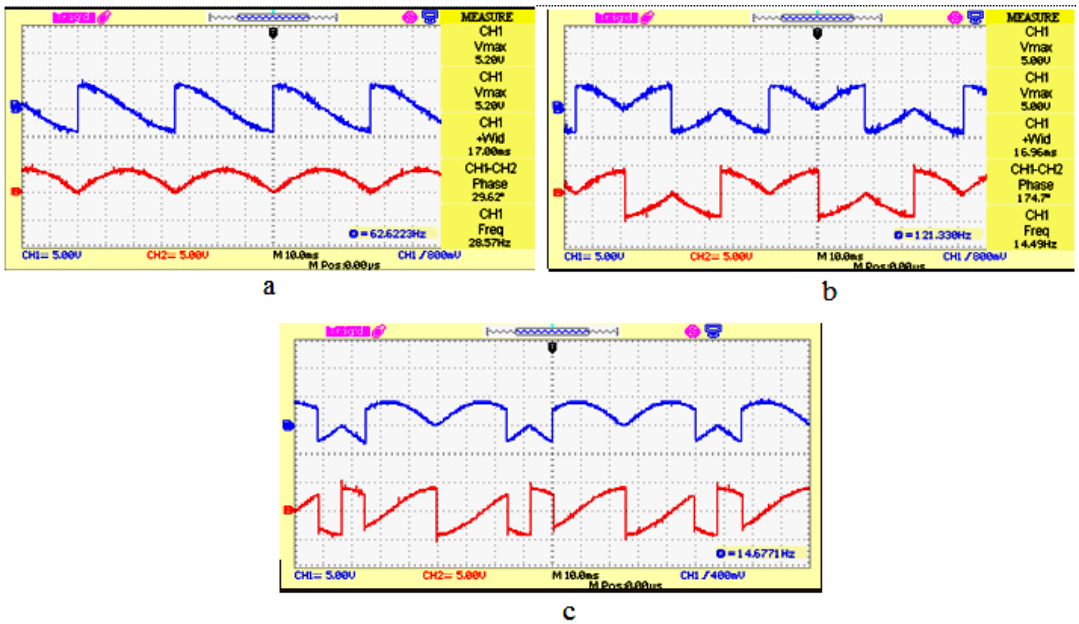
- Khối hiển thị kết quả: Hiển thị các giá trị hệ số lệnh kênh tầm và kênh hướng trên các đồng hồ micrô ampe. Đồng hồ có thang đo từ -100 µA ÷ 0 ÷ 100 µA tương đương với hệ số lệnh từ -1 đến 0 đến 1.

Với thuật toán xây dựng được ở trên, đã ứng dụng để thiết kế, chế tạo được thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển tên lửa một kênh đáp ứng được các yêu cầu đặt ra, phục vụ kiểm tra hệ số lệnh của tên lửa điều khiển một kênh trong quá trình thử nghiệm. Hình 7 dưới đây thể hiện mặt trước của thiết bị đo hệ số lệnh điều khiển.




***Hình 7.*** *Mặt máy thiết bị đo hệ số lệnh.*

Hình 8 thể hiện biểu đồ lực điều khiển đo được ở đầu ra bộ tính toán tương ứng với các giá trị hệ số lệnh ở các trường hợp điển hình. Hình 8a là tín hiệu biểu diễn lực điều khiển tương ứng với hệ số lệnh kênh tầm $K_z = 0$; hệ số lệnh kênh hướng $K_y = 1$. Hình 8b là tín hiệu biểu diễn lực điều khiển tương ứng với hệ số lệnh kênh tầm $K_z = 0$; hệ số lệnh kênh hướng $K_y = 0$. Hình 8c là tín hiệu biểu diễn lực điều khiển tương ứng với hệ số lệnh kênh tầm $K_z = 0$; hệ số lệnh kênh hướng $K_y$ khác 0.




***Hình 8.*** *Tín hiệu biểu diễn lực điều khiển đo được ở đầu ra bộ tính toán.*

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích quá trình tạo lệnh và luật điều khiển tên lửa điều khiển một kênh. Xây dựng các biểu thức toán học mô tả lệnh, luật và lực điều khiển của tên lửa. Trên cơ sở đó đã phân tích, xác định hệ số lệnh điều khiển, đây là đại lượng quan trọng đặc trưng cho hệ thống điều khiển tên lửa một kênh.

Từ các vấn đề nghiên cứu đạt được, xây dựng thuật toán thiết kế, chế tạo thành công thiết bị đo hệ số lệnh đáp ứng được các yêu cầu kiểm tra, thử nghiệm hệ thống điều khiển tên lửa một kênh.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tô Văn Dực, Phạm Vũ Uy, Nguyễn Văn Sơn, *"Động học bay và nguyên lý dẫn khí cụ bay điều khiển một kênh"*, Nhà xuất bản KHKT 2006.

[2]. Пугачёв В. С (1965), *"Системы управления и динамика полета ракеты"*, В В И А и м. проф. Н Е Жуковского.

[3]. Савинов В. А (1993), *"Инфракрасная голока самонаведения"*, М. Издательство М А И.

[4]. *"Техническая подготовка командира взвода ПЗРК 9К "ИГЛА""*, Издательство Томского Политехского университета 2011.

## ABSTRACT

CONSTRUCTION EQUATION FOR THE MEASUREMENT
OF CONTROL COEFFICIENT OF THE SINGLE-CHANNEL MISSILES

*The characteristic of a single-channel missile control system is the control coefficient. When designing and manufacturing the control system of this type of missiles, it is necessary to determine the values of the control coefficient. From there as a basis to evaluate the quality of the entire missile control system during inspection and testing. The article analyzes and constructs mathematical equations and algorithms to design and manufacture a single-channel missile control coefficient measuring device.*

**Keywords:** Algorithm equation; Control coefficient.

*Nhận bài ngày 15 tháng 6 năm 2021*
*Hoàn thiện ngày 23 tháng 8 năm 2021*
*Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021*

*Địa chỉ:* Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: congtu3107@gmail.com.