

## Xây dựng phương pháp tính toán động lực học thiết kế máy lái role điện từ cho khí cụ bay có điều khiển kiểu 9M111

Lê Trung Hiếu\*, Lê Quang Sỹ, Trần Mạnh Tuân

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

\*Email: lthieuhk@gmail.com

Nhận bài: 30/8/2022; Hoàn thiện: 30/10/2022; Chấp nhận đăng: 02/02/2023; Xuất bản: 28/02/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.85.2023.134-141>

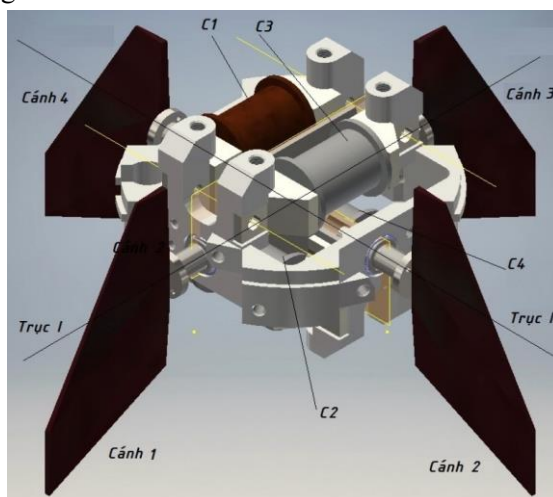
### TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán động lực học thiết kế máy lái điện từ của khí cụ bay có điều khiển kiểu 9M111. Trên cơ sở xác định ngoại lực tác động lên cánh lái thiết bị bay, các tham số kết cấu - điện từ, lập và giải hệ phương trình vi phân chuyển động, tính toán động lực học máy lái, làm cơ sở xác định miền thông số thiết kế máy lái theo mẫu thông qua khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu-điện từ tới độ trễ chấp hành điều khiển máy lái. Mô hình toán có thể áp dụng để tính toán thiết kế máy lái role điện từ cho một số khí cụ bay tương tự.

**Từ khóa:** Máy lái role điện-từ; Khí cụ bay có điều khiển; Độ trễ.

### 1. MỞ ĐẦU

Máy lái điện từ khí cụ bay (KCB) chống tăng có điều khiển là cơ cấu chấp hành hoạt động kiểu ro-le, điều khiển bằng tín hiệu điện dạng xung, sử dụng năng lượng điện trên khoang khí cụ bay, giúp điều khiển KCB bay theo góc hướng và góc tầm bằng cách sử dụng các cánh lái khí động. Cũng như các bộ phận cấu thành quan trọng khác của KCB, máy lái được tính toán thiết kế, chế tạo, thử nghiệm theo một quy trình chặt chẽ, khoa học. Việc thiết kế theo mẫu ngoài việc nghiên cứu, tìm hiểu kết cấu, vật liệu, công nghệ chế tạo của mẫu cần thực hiện tính toán, khảo sát động lực học (ĐLH), xác định miền hợp lý các thông số kết cấu, điều khiển, khí động lực, ĐLH,... để đạt được chỉ tiêu độ trễ chấp hành tín hiệu điều khiển phù hợp và một số chỉ tiêu hợp lý khác của máy lái. Sử dụng kết quả khảo sát trên đây so sánh với kết quả thử nghiệm mẫu, để chính xác hóa mô hình tính toán ĐLH máy lái ro-le điện từ định hướng thiết kế, chế tạo mới máy lái theo mục đích sử dụng trên cơ sở mẫu.



**Hình 1.** Các cụm điện từ - máy lái.

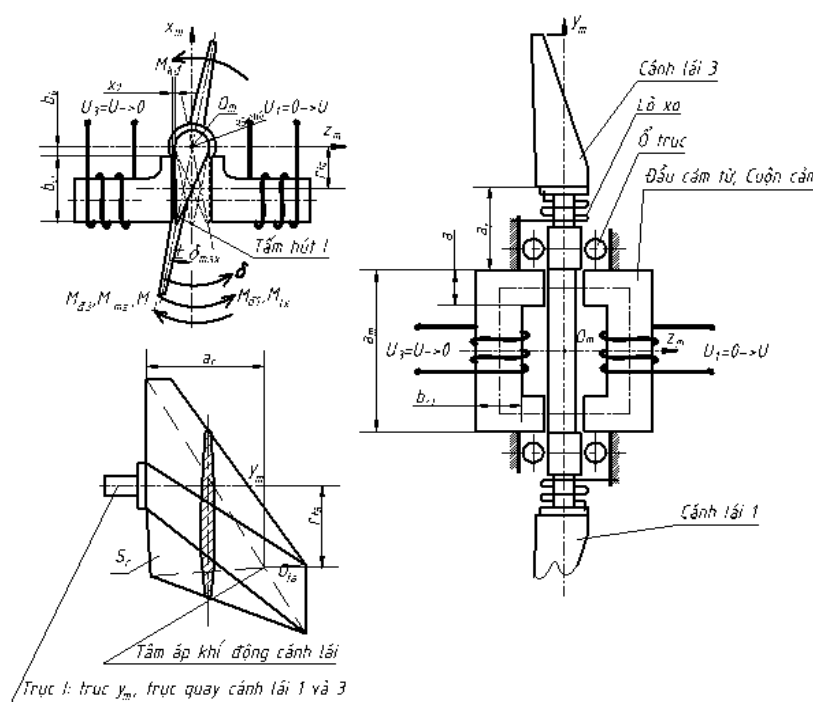
Trong phạm vi bài báo, nhóm tác giả xây dựng mô hình toán và khảo sát ĐLH máy lái KCB kiểu 9M111, trên cơ sở đó khảo sát ảnh hưởng và luận giải xác định miền hợp lý của các thông số kết cấu-điện từ đến độ trễ chấp hành tín hiệu máy lái  $\tau$  và đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật máy lái.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC MÁY LÁI KHÍ CỤ BAY 9M111

### 2.1. Hệ tọa độ khảo sát

Trên mỗi KCB lắp một máy lái gồm 2 cụm truyền động điện từ (cụm điện từ) trên thân máy lái (hình 1), cụm điện từ I: cặp lõi từ với các cuộn dây điều khiển C1, C3, trục I gắn tấm hút I, cặp cánh lái khí động 1, 3; tương tự cụm điện từ II với cuộn dây C2, C4, trục II, tấm hút II, cánh lái 2, 4. Hai trục I và II vuông góc với nhau và nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục dọc KCB, cuộn dây C2, C4 phía đầu KCB và cuộn dây C1, C3 phía sau so với mặt phẳng 2 trục I, II. Tuy kết cấu, bố trí 2 cụm điện từ khác nhau nhưng về kết cấu cơ bản và nguyên lý làm việc là giống nhau nên sẽ tiến hành khảo sát tính toán động lực học máy lái đối với 1 cụm điện từ (cụm I).

Sử dụng hệ trục tọa độ Đề-các  $O_m x_m y_m z_m$  gắn theo trục KCB và trục cánh lái với tâm  $O_m$  là giao điểm của trục I và trục II của máy lái (hình 2) trục  $O_m x_m$  trùng với trục dọc KCB, trục  $O_m y_m$  trùng với trục I, trục  $O_m z_m$  trùng với trục II của máy lái.



Hình 2. Mô hình cơ – ĐLH máy lái.

### 2.2. Các giải thiết cơ bản

- Hai cụm điện từ của máy lái có nguyên lý kết cấu và hoạt động tương đồng, động lực học của một cụm (cụm I) đại diện cho hoạt động của máy lái.

- Coi kết cấu trên trục I đối xứng qua mặt  $O_m x_m z_m$  và  $O_m x_m y_m$  cả về hình học, kết cấu, phân bố khối lượng, độ đàn hồi của các lò xo,... tức là cụm I khi không có điện áp đặt vào các cuộn dây điều khiển (1, 3) thì tấm hút, các cánh lái ở vị trí trung gian và đối xứng hoàn toàn qua mặt  $O_m x_m z_m$  và  $O_m x_m y_m$ .

- Coi trục máy lái, tấm hút, các cánh lái là chất điểm có khối lượng được quy đổi về tâm quán tính trục I, thực hiện chuyển động cùng KCB tịnh tiến với vận tốc  $v_{tl}$  không đổi, chuyển động quay với vận tốc  $\omega_{tl}$  ổn định xung quanh trục dọc KCB trong giai đoạn bay hành trình và chuyển động quay từ vị trí góc lật lớn nhất bên trái ( $-\delta_{max}$ ) đến vị trí góc lật lớn nhất bên phải ( $+\delta_{max}$ ) với góc quay  $\delta(t)=0 \rightarrow 2\delta_{max}$ ,  $\delta_{max}$  là góc lật tối đa tính từ vị trí cân bằng của trục máy lái, phụ thuộc kết cấu máy lái.

- Máy lái (trong đó bao gồm trục cánh lái) chuyển động với vận tốc chuyển động tịnh tiến và vận tốc chuyển động quay xung quanh trục dọc KCB, véc-tơ vận tốc của KCB có phương không đổi trong một hành trình của tâm hút nên lực quán tính của trục máy lái theo phương song song với trục dọc KCB. Như vậy, hai chuyển động với  $v_{tl}$  và  $\omega_{tl}$  của KCB chỉ gây ra lực quán tính đối với khối lượng quy đổi trục máy lái, không gây ra lực ly tâm đối với trục máy lái.

- Khi chịu tác dụng lực, ngoài các lò xo cánh lái biến dạng trong vùng đàn hồi, các chi tiết còn lại của máy lái là cứng tuyệt đối, không có sự biến dạng, dẫn nở.

- Từ thông của các cuộn dây điều khiển qua lõi và truyền toàn bộ đến các đầu cảm từ, bỏ qua sự rò rỉ từ thông, được đặc trưng bởi hệ số tự cảm của cuộn dây; bỏ qua tổn thất năng lượng điện sinh nhiệt trong các cuộn dây.

- Độ cứng của lò xo cân bằng lắp trên các trục máy lái tương đương nhau, sinh lực (mô men) đàn hồi bằng nhau khi trục máy lái quay góc như nhau so với vị trí trung gian.

### 2.3. Mô hình toán động lực học máy lái KCB 9M111

#### 2.3.1. Phương trình chuyển động cơ bản của máy lái

$$\left[ \begin{array}{l} I_{cc} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = M_{dt1} - M_{dt3} + M_{kd} + M_{lx} - M_{ms}, \\ \text{khi: } M_{dt1} - M_{dt3} + M_{kd} + M_{lx} - M_{ms} \geq 0; \\ I_{cc} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = 0; \quad \frac{d\delta}{dt} = 0, \\ \text{khi: } M_{dt1} - M_{dt3} + M_{kd} + M_{lx} - M_{ms} < 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Trong hệ phương trình trên:  $I_{cc}$  - Mô men quán tính hình học cụm máy lái đối với trục quay,  $\text{kg.m}^2$ ;  $\delta = \delta(t)$  - Quy luật chuyển động quay của cụm động máy lái, rad;  $M_{dt1}$  - Mô men điện từ tác dụng lên tâm hút từ phía cuộn dây điều khiển bên phải C-1, N;  $M_{dt3}$  - Mô men điện từ tác dụng lên tâm hút từ phía cuộn dây điều khiển bên trái C-3, N.m;  $M_{kd}$  - Mô men tải khí động cánh lái, N.m;  $M_{lx}$  - Mô men cân bằng của lò xo tác dụng lên cụm động máy lái, N.m;  $M_{ms}$  - Mô men ma sát ổ đỡ trục máy lái, N.m.

#### 2.3.2. Phương trình thay đổi lực điện từ máy lái

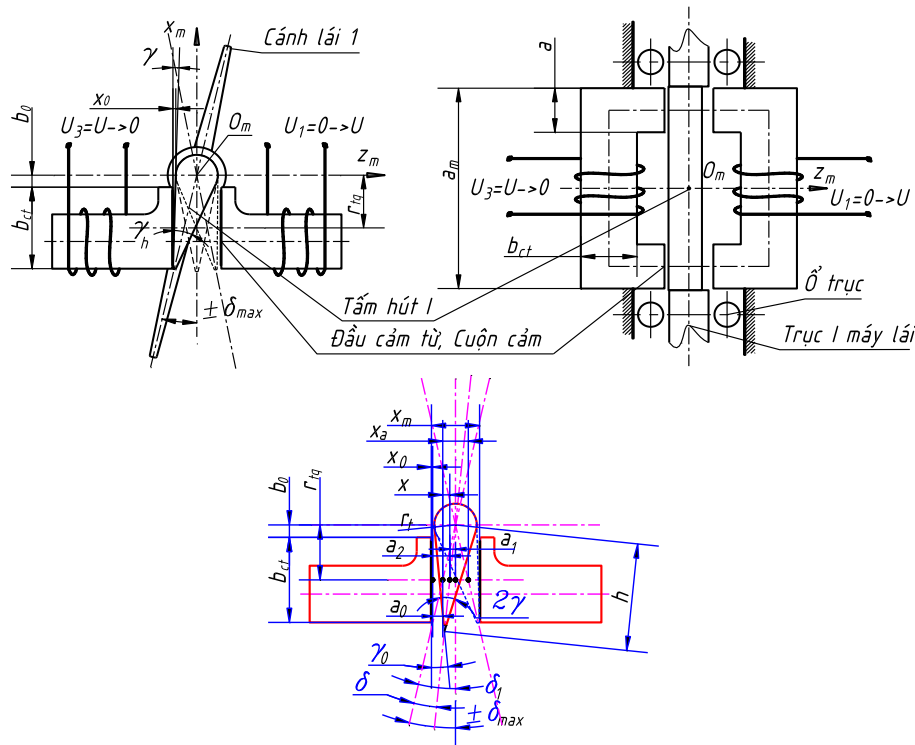
Phương trình thay đổi lực điện từ trong các cuộn dây (hình 3) được xây dựng từ phương trình cân bằng năng lượng của nam châm điện: điện năng nguồn nuôi  $E_U$  sau thời gian  $t$  được chuyển thành từ năng nam châm điện  $E_\psi$  và tổn hao nhiệt năng do điện trở thuần  $E_{dt}$  [2]:

$$E_U = E_\psi + E_{dt} \quad \text{tức là} \quad \int_0^t U \cdot I \cdot dt = \int_0^t I \cdot d\psi + \int_0^t I^2 \cdot R \cdot dt$$

Trong đó:  $U$  - Điện áp xung tín hiệu điều khiển từ đầu tự dẫn đưa đến cuộn hút điều khiển, V;  $I$  - Cường độ dòng điện xung tín hiệu điều khiển từ đầu tự dẫn đưa đến cuộn hút điều khiển, A;  $R$  - Điện trở thuần của cuộn hút điều khiển,  $\Omega$ ;  $\Psi$  - Thông lượng qua cuộn hút điều khiển, Wb;  $\Psi = \Phi \cdot \omega = L \cdot I$ ;  $\omega$  - Số vòng dây của cuộn hút điều khiển, vòng;  $L$  - Độ tự cảm của cuộn hút điều khiển, H:  $L = \mu_0 \cdot S_{ct} \cdot \omega^2 / (x_0 + x_a - x)$ ;  $\mu_0$  - Hệ số từ thẩm của vật liệu đầu cảm từ trong chân không, H/m:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ ;  $S_{ct}$  - Tổng diện tích tiết diện của đầu cảm từ,  $\text{m}^2$ :  $S_{ct} = 2 \cdot a_{ct} \cdot b_{ct}$ ;  $x_a$  - Hành trình tâm hút theo phương ngang tâm đầu cảm từ, m;  $x$  - Khoảng cách tính từ điểm giữa chiều cao đầu cảm từ ( $b_{ct}/2$ ) tới tâm hút theo phương ngang, m;  $a_{ct}$ ,  $b_{ct}$  - Chiều rộng, chiều cao đầu cảm từ, m;  $\Phi$  - Từ thông tạo nên trong cuộn hút nam châm điện, Wb: phụ thuộc vào lực điện từ khi cuộn dây nam châm điện có dòng điện chạy qua:

$$\Phi = \sqrt{2 \mu_0 \cdot S_{ct} \cdot F_{dt}}$$

Với  $F_{dt}$ ,  $F_{dt1}$  - Lực hút điện từ tác dụng lên tâm hút trên cụm động máy lái từ phía cuộn dây điều khiển bên phải C-1, N;  $F_{dt3}$  - Lực hút điện từ tác dụng lên tâm hút từ phía cuộn dây điều khiển bên trái C-3, N.



**Hình 3.** Quy tắc lật của tâm hút.

$\Psi$  - Thông lượng qua cuộn hút điều khiển, Wb:  $\Psi = \Phi \cdot \omega = L \cdot I$ ;  $\omega$  - Số vòng dây của cuộn hút điều khiển, vòng;  $L$  - Độ tự cảm của cuộn hút điều khiển, H:  $L = \mu_0 \cdot S_{ct} \cdot \omega^2 / (x_0 + x_a - x)$ ;  $\mu_0$  - Hệ số từ thẩm của vật liệu đầu cảm từ trong chân không, H/m:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ ;  $S_{ct}$  - Tổng diện tích tiết diện của đầu cảm từ, m<sup>2</sup>:  $S_{ct} = 2 \cdot a_{ct} \cdot b_{ct}$ ;  $x_a$  - Hành trình tâm hút theo phương ngang đầu cảm từ, m;  $x$  - Khoảng cách tính từ điểm giữa chiều cao đầu cảm từ ( $b_{ct}/2$ ) tới tâm hút theo phương ngang, m;  $a_{ct}$ ,  $b_{ct}$  - Chiều rộng, chiều cao đầu cảm từ, m;  $\Phi$  - Từ thông tạo nên trong cuộn hút nam châm điện, Wb: phụ thuộc vào lực điện từ khi cuộn dây nam châm điện có dòng điện chạy qua:

$$\Phi = \sqrt{2 \mu_0 \cdot S_{ct} \cdot F_{dt}}$$

Với  $F_{dt}$ ,  $F_{dt1}$  - Lực hút điện từ tác dụng lên tâm hút trên cụm động máy lái từ phía cuộn dây điều khiển bên phải C-1, N;  $F_{dt3}$  - Lực hút điện từ tác dụng lên tâm hút từ phía cuộn dây điều khiển bên trái C-3, N.

Đối với cuộn hút điều khiển của rô-lê điện-từ trong bộ chuyển đổi tín hiệu điện-cơ của máy lái, hệ số từ thẩm  $\mu_0$  để đưa vào tính toán là hệ số từ-điện,  $\mu_{ml}$  - Đặc trưng cho độ từ thẩm của vật liệu phản ứng và phản cảm của bộ chuyển đổi tín hiệu điện- cơ, độ từ thẩm của khe hở không khí giữa đầu cảm từ và tâm hút, độ không lèn chặt, không đồng đều quấn dây e-may của cuộn hút,...  $\mu_{ml}$  được xác định bằng thực nghiệm.

Sau khi tích phân và biến đổi ta thu được phương trình tăng lực điện từ khi tín hiệu xung điều khiển  $U_1 = U_{max}$  ở nam châm điện 1.

$$\frac{d\sqrt{F_{dt1}}}{dt} = -\frac{R.(x_a + x_0 - x)}{2.\mu_{ml}.a_{ct}.b_{ct}.\omega^2}.\sqrt{F_{dt1}} + \frac{U}{2.\omega.\sqrt{\mu_{ml}.a_{ct}.b_{ct}}} \quad (2)$$

$$\frac{d\sqrt{F_{dt3}}}{dt} = -\frac{R.(x_0 + x)}{2.\mu_{ml}.a_{ct}.b_{ct}.\omega^2}.\sqrt{F_{dt3}} \quad (3)$$

Do hoạt động quay, lắc, đóng mở tấm hút trên cụm động máy lái giống như hoạt động của role trong một mạch từ kín (hình 3), ở đây tấm hút chuyển động quay góc  $\delta$  với khoảng cách giữa tấm hút và cực từ phía dưới và phía trên tỷ lệ nghịch, nên để đơn giản, ta sẽ tính lực điện từ gần đúng với khoảng dịch chuyển tấm hút  $x$  từ mặt cảm từ (vị trí điểm giữa chiều cao đầu cảm từ  $b_{ct}/2$ ) tới tấm hút theo phương ngang song song với  $ox$  và cách trục quay máy lái đoạn  $r_{tq}$ , như sau:

$$x = \frac{x_m}{2} + r_{tq} * \tan(\delta_*) + (h * \cos(\delta_*) - r_{tq}) * (\tan(\delta_*) - \tan(\delta_* + \gamma))$$

Trong đó:

$$r_{tq} = \frac{b_{ct}}{2} + b_0; h = r_t / \sin \gamma; a_1 = r_{tq} * \tan|\delta_1|; a_2 = (y - r_{tq}) \tan|\delta_1|; y = h * \cos \delta_1; \delta_* = \delta - \delta_{max}.$$

Nhằm giảm thiểu độ trễ cho máy lái, mạch điện điều khiển được thiết kế để xung điện áp tác dụng lên cuộn 3 ngay sau thời điểm trở về 0 sẽ đối dấu với giá trị điện áp hợp lý tác dụng lên cuộn 3 để cắt giảm độ trễ từ dư của cuộn dây, khi đó:

$$\frac{d\sqrt{F_{dt3}}}{dt} = -\frac{R.(x_0 + x)}{2.\mu_{ml}.a_{ct}.b_{ct}.\omega^2}.\sqrt{F_{dt3}} + \frac{U_t}{2.\omega.\sqrt{\mu_{ml}.a_{ct}.b_{ct}}} \quad (4)$$

Trong đó:  $U_t = U_1 * \left(\frac{t}{t_1} - 1\right)$  khi  $t \leq t_1$  và  $U_t = 0$  khi  $t > t_1$

Với:  $U_t$  - Điện áp đối dấu do nhiễu mạch điều khiển, V;  $U_1$  - Mức điện áp âm lớn nhất, V;  $t_1$  - Khoảng thời gian điện áp trở về 0, s.

### 2.3.3. Các hàm số liên hệ giữa các biến số, các biểu thức xác định các tham số trong hệ phương trình cơ bản

Trong các phương trình vi phân (1) – (3) có các biểu thức, hàm số xác định các lực tác dụng lên tấm hút và các tham số khác, đó là:

#### \*Mô men quán tính hình học cụm động máy lái đối với trục quay

Mô men quán tính hình học cụm động máy lái đối với trục quay là mô men quán tính đối với tâm trục quay của cụm trục máy lái xuất hiện do trọng tâm cụm trục máy lái (gồm 2 cánh lái, trục với tấm hút trên trục,...) không nằm trên đường tâm của trục máy lái, được xác định qua bản vẽ kết cấu cụm trục cánh lái. Giá trị mô men này được xác định qua mô hình 3D trên phần mềm inventor.

#### \*Mô men tải khí động cánh lái

Lực khí động  $F_{kdc}$  tác dụng lên cánh lái tại tâm áp khí động cánh lái, tạo ra mô men quay trục cánh lái - mô men tải khí động cánh lái  $M_{kd}$ , lực khí động  $F_{kdc}$  là hợp lực của lực nâng khí động và lực cản sườn khí động tác dụng lên cánh lái, nó phụ thuộc vào hình dáng và kích thước của cánh lái, vào góc tấn  $\alpha$  (là góc được tạo bởi hướng véc tơ vận tốc tâm khối và trục dọc tên lửa), góc lật  $\delta$  của cánh lái, khoảng cách  $r_{ta}$  tâm áp khí động của cánh lái so với tâm trục quay, góc quay của tên lửa xung quanh trục dọc tên lửa. Theo [1] mô men tải khí động cánh lái  $M_{kd}$  được xác định như sau:

$$M_{kd} = S_c . \rho . \frac{v_{tl}^2}{2} . (C_y . \cos \delta_k + C_x . \sin \delta_k) . r_{ta}; \delta_k = \alpha + \delta_{max} - \delta$$

Trong đó, hệ số lực cản sườn khí động cánh lái  $C_x$  và hệ số lực nâng khí động  $C_y$  được xác định phần mềm bán thực nghiệm Missile Datcom.

**\*Mô men cân bằng**

Mô men cân bằng là mô men trên trục máy lái do lực đàn hồi của hệ lò xo cân bằng  $M_{lx} = K_{lx} * (\delta_{max} - \delta)$ ; với:  $K_{lx}$  - Hệ số đàn hồi tương đương của hệ lò xo, xác định bằng thực nghiệm, Nm/rad.

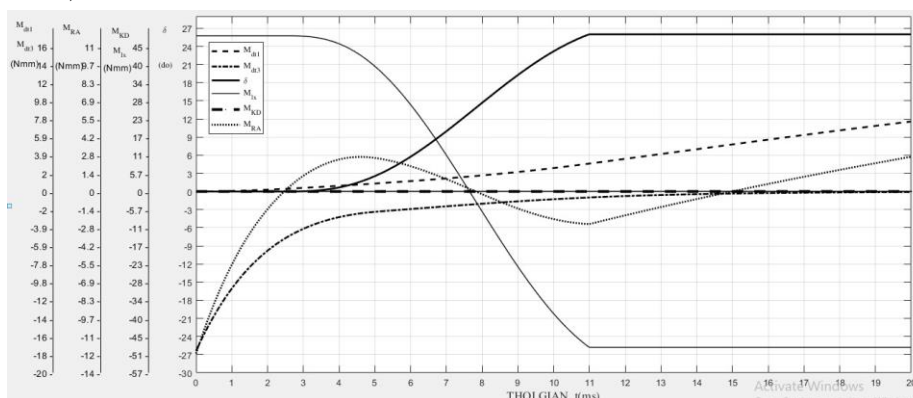
Như vậy, ta đã xây dựng được mô hình toán ĐLH máy lái KCB 9M111 gồm 3 phương trình vi phân khép kín (1) - (3) và các biểu thức ràng buộc, với 3 biến số là ẩn số độc lập tương ứng gồm  $(\delta = \delta(t))$  - Quy luật chuyển động quay của cụm động máy lái; Quy luật thay đổi mô men điện-từ tác dụng lên tâm hút  $M_{dt1}(t), M_{dt3}(t)$ .

**3. KHẢO SÁT HOẠT ĐỘNG MÁY LÁI KHÍ CỤ BAY 9M111**

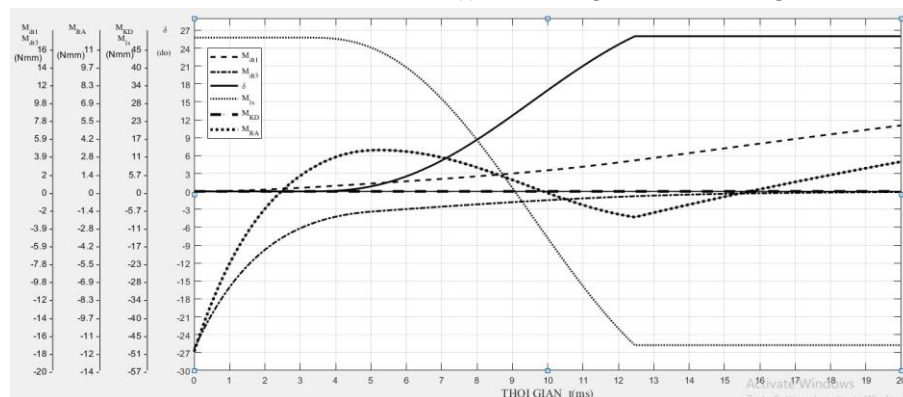
**3.1. Mô phỏng kiểm chứng mô hình động lực học máy lái**

Trên cơ sở mô hình toán ĐLH máy lái 9M111 được xây dựng ở trên, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng hoạt động máy lái bằng lập trình trong môi trường MatLab. Các thông số, số liệu đầu vào cho mô hình toán ĐLH máy lái 9M111 được xác định từ tài liệu hướng dẫn sử dụng; qua đo đạc mẫu thực, thực nghiệm và tính toán của nhóm tác giả (thông số kết cấu, độ cứng lò xo...); và một số thông số khác tham khảo từ các tài liệu khác [1-4].

Giải hệ phương trình vi (1) - (3) và các biểu thức ràng buộc bằng phương pháp Rungekutta bậc 4, lập trình trong môi trường MatLab, chúng ta nhận được các kết quả mô tả quá trình ĐLH máy lái, sự biến thiên của một số tham số quan trọng được biểu diễn trên đồ thị điển hình sau (hình 4, hình 5).

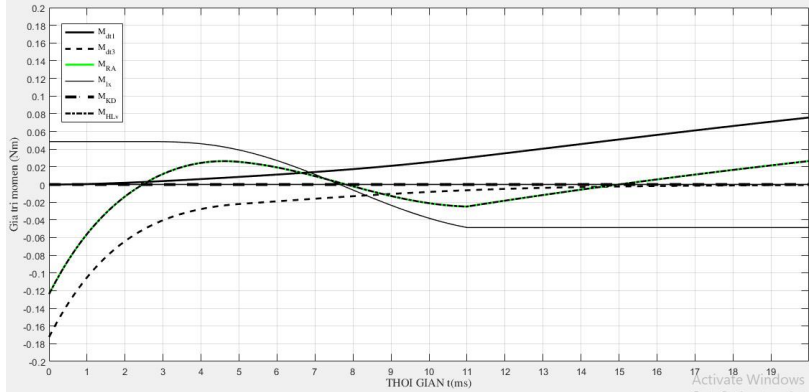


Hình 4. Đồ thị biến đổi  $\delta(t), M_{dt1}(t), M_{dt3}(t), M_{lx}(t)$  khi không có tải khí động lên cánh lái  $M_{kd}=0$ .

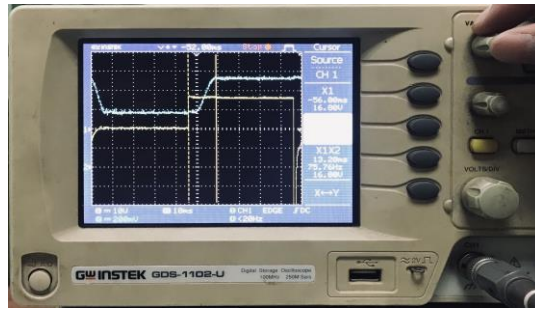


Hình 5. Đồ thị biến đổi  $\delta(t), M_{dt1}(t), M_{dt3}(t), M_{lx}(t)$  khi có tải khí động lên cánh lái  $M_{kd}$ .

Từ đồ thị (hình 4) thấy rằng, trong trường hợp không có tải khí động, độ trễ chấp hành tín hiệu là  $\tau = 10,9$  (ms). Kết quả đo độ trễ chấp hành tín hiệu máy lái mẫu 9M111  $\tau = 10,4$  (ms). Chúng tôi mô hình toán được xây dựng là đáng tin cậy.



Hình 6. Quy luật thay đổi các mô men của máy lái.

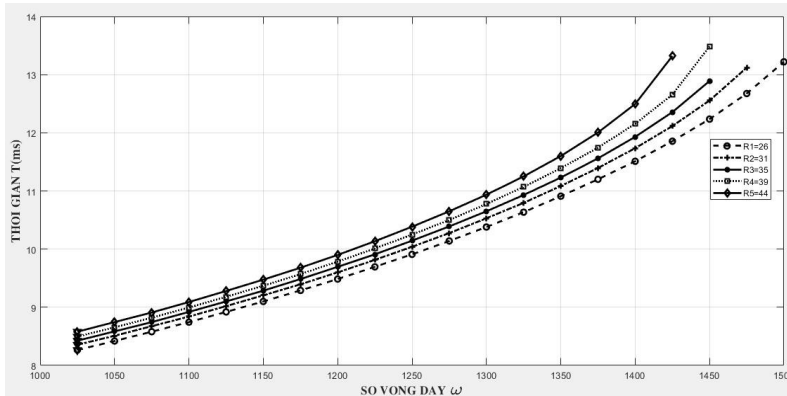


Hình 7. Độ trễ chấp hành tín hiệu máy lái mẫu 9M111.

Đồ thị (hình 5, 6) mô tả hoạt động của máy lái trong cả chu kỳ trong trường hợp có tải khí động. Độ trễ chấp hành tín hiệu máy lái mẫu 9M111  $\tau = 12,5$  (ms).

### 3.2. Xác định miền hợp lý của các thông số kết cấu-điện từ máy lái

Trên cơ sở mô hình toán xây dựng được, nhóm tác giả thực hiện khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu - điện từ tới độ trễ chấp hành tín hiệu máy lái. Căn cứ yêu cầu thiết kế hệ thống và hệ thống điều khiển về độ trễ chấp hành điều khiển của máy lái, có thể lựa chọn miền thông số kết cấu - điện từ đảm bảo yêu cầu chỉ tiêu của máy lái. Từ đó thực hiện tính toán, thiết kế ĐLH máy lái, thiết kế kết cấu cho máy lái và tính toán công suất tiêu thụ của máy lái để hệ thống nguồn trên khoang tên lửa phải đảm bảo.



Hình 8. Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của các tham số vòng dây đến độ trễ chấp hành máy lái.

Kết quả khảo sát hiển thị hình 8, thực hiện khảo sát số vòng dây  $\omega$ , điện trở R ảnh hưởng đến độ trễ cho thấy: với cùng số vòng dây, đối với cuộn dây có điện trở nhỏ hơn thì cho độ trễ nhỏ hơn. Thêm vào đó, với cùng giá trị điện trở, khi tăng số vòng dây sẽ làm tăng độ trễ máy lái.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp xây dựng mô hình tính toán ĐLH máy lái role điện từ kiểu KCB có điều khiển kiểu 9M111. Thực hiện khảo sát nguyên lý hoạt động và xác định các tham số thiết kế của máy lái mẫu, nhóm tác giả đã thiết lập được hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ tằm hút-trục quay-cánh lái, mô tả quá trình thay đổi của một số thông số quan trọng trong một chu kỳ hoạt động chấp hành điều khiển của máy lái. Trên cơ sở đó giúp ta có thể khảo sát được ảnh hưởng của các tham số kết cấu, tham số điện từ tới chỉ tiêu quan trọng của máy lái là độ trễ chấp hành điều khiển và đảm bảo các chỉ tiêu hoạt động khác trong quá trình thiết kế như mô men tải đầu ra của máy lái làm cơ sở để thiết kế máy lái. Mô hình toán ĐLH này cũng có thể áp dụng để tính toán thiết kế máy lái rơ-le điện từ cho một số KCB tương tự (KCB kiểu 9M113,...).

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Quang Sỹ, Luận án tiến sỹ kỹ thuật. “Nghiên cứu ảnh hưởng các thông số kết cấu và động lực học đến độ trễ chấp hành tín hiệu điều khiển máy lái KCB điều khiển một kênh”, Viện KHCSQS, (2012).
- [2]. Витенберг М.И. “Расчет Электромагнитных Реле”, Изд. Энергия, (1975).
- [3]. Краснов Н.Ф. “Аэродинамика”, Изд. Высшая Школа Москва, (1971).
- [4]. ПТУРС 9М111М. *Техническое описание и инструкция по эксплуатации*. Изд. Министерство Обороны СССР, (1983).

#### ABSTRACT

##### **Developing the method calculation dynamics for the design electromagnetic relay steering machine of a guided flying machine type 9M111**

*In this paper, the method of calculation dynamics for design in the form of an electromagnetic steering machine of flying machine type 9M111 is presented. On the basis of determining the external force acting on the rudder of the aircraft, structural-electromagnetic parameters for steering motion, establishing and solving a system of differential equations of motion, and calculation dynamics of steering machine, as a basis for determining the design parameter domain of the model steering machine through surveying the influence of structural-electromagnetic parameters on the steering response delay. The mathematical model can be applied to calculate the design of an electromagnetic relay steering machine for some similar flying machines.*

**Keywords:** Electromagnetic relay steering machine; Guided flying machine; Time delay.