NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ TRÔI CON QUAY TÊN LỬA CHỐNG TĂNG B-72

Đỗ Tiến Cần*, Nguyễn Phú Thắng, Lê Quang Sỹ

Tóm tắt: *Bài báo trình bày phương pháp xác định độ trôi con quay B-72 bằng phương pháp mô phỏng số. Trên cơ sở mô hình toán phương trình chuyển động của con quay 3 bậc tự do trên tên lửa B-72, các tác giả đã xây dựng được chương trình mô phỏng theo phương pháp mô phỏng số trong môi trường Matlab-Simulink.Với sự trợ giúp của chương trình mô phỏng, có thể khảo sát ảnh hưởng một số tham số tới độ trôi của con quay tên lửa B-72. Bài báo cũng trình bày phương pháp thử nghiệm xác định độ trôi con quay B-72. Kết quả mô phỏng số đã góp phần trong việc hiệu chỉnh con quay khi thử nghiệm.*

Từ khóa: Con quay 3 bậc tự do; Tên lửa B-72; Độ trôi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Con quay là bộ phận quan trọng trong hệ thống điều khiển tên lửa. Trong tên lửa B-72, con quay đảm bảo chức năng đưa ra tín hiệu thông tin vị trí góc quay của tên lửa một kênh. Con quay trên tên lửa chống tăng B-72 là con quay 3 bậc tự do có nhiệm vụ thông báo vị trí góc của tên lửa trong không gian về đài điều khiển mặt đất. Con quay được quay khi phóng và tiếp tục quay theo quán tính trong quá trình bay. Con quay có cấu tạo gồm: Rôto, khung trong và khung ngoài (hình 1). Rôto gá lên khung trong, khung trong gá lên khung ngoài, khung ngoài gá lên thân tên lửa. Rôto được khởi động bằng lò xo cót với tốc độ quay 27.000 vòng/phút. Thanh quét nối với thân tên lửa, thanh quét quay khi tên lửa quay. Loa phụt quay do gắn với thân tên lửa. Cho nên thanh quét báo tín hiệu cho biết vị trí góc hiện tại của tên lửa để điều khiển.



Hình 1. *Kết cấu con quay tên lửa B-72.*

Vấn đề liên quan tới độ chính xác của con quay tuy đã được nhiều tác giả trên thế giới quan tâm nghiên cứu giải quyết, song các bài toán về giải hệ phương trình chuyển động con quay thường giải theo phương pháp giải tích, do đó, các giả thiết thường được đơn giản hóa. Sử dụng phần mềm mô phỏng số là phương pháp đơn giản, tiết kiệm nhưng cho kết quả tương đối chính xác. Cùng sới sự phát triển của công nghệ thông tin, càng ngày các phần mềm mô phỏng số càng cho phép xây dựng các bài toán có độ phức tạp cao, sát với điều kiện thực tế. Trong bối cảnh điều kiện làm thực nghiệm còn hạn chế và tốn kém, thì việc xây dựng chương trình mô phỏng phương trình chuyển động con quay tên lửa B-72 để khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu và động lực học tới độ chính

xác của con quay B-72 có ý nghĩa thiết thực, góp phần phân tích đánh giá đưa ra các phương án hợp lý khi kiểm tra hiệu chỉnh con quay. Độ chính xác con quay B-72 chính là độ trôi của khung ngoài và khung trong con quay, đặc biệt là độ trôi khung ngoài bởi vì nó gắn liền với việc xác định vị trí góc quay của tên lửa B-72.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ TRÔI CON QUAY TÊN LỬA CHỐNG TĂNG B-72 BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

2.1. Phương trình chuyển động của con quay tên lửa B-72

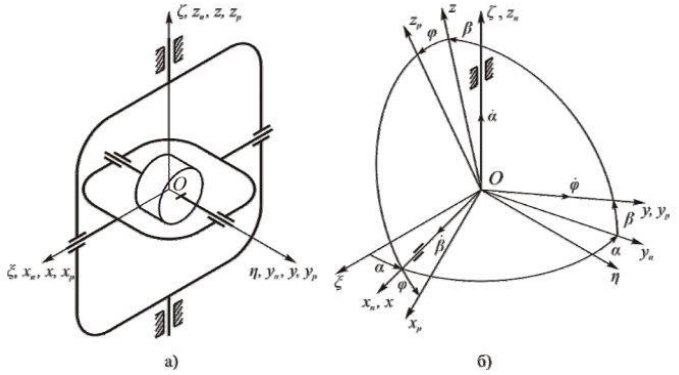
Xem xét sơ đồ động học của con quay tên lửa B-72. Trên hình 2 sơ đồ động học của con quay tên lửa B-72 có các hệ tọa độ sau:

$O\xi\eta\varsigma$ - Hệ tọa độ gốc (hệ tọa độ quán tính);

$Ox_н y_н z_н$ - Hệ tọa độ gắn với khung ngoài;

$Oxyz$ - Hệ tọa độ gắn với khung trong;

$Ox_p y_p z_p$ - Hệ tọa độ gắn với rô to.



Hình 2. *Sơ đồ động học con quay B-72.*

Trên hình 2 các hệ tọa độ nằm ở vị trí đồng nhất. Vị trí của rô to con quay được xác định bởi vị trí tương đối của các trục $Ox_p y_p z_p$ và $O\xi\eta\varsigma$, có nghĩa là được xác định bởi các góc α, β và φ. Việc dịch chuyển hệ tọa độ gắn với rô to từ vị trí ban đầu $O\xi\eta\varsigma$ đến vị trí $Ox_p y_p z_p$ được thực hiện bởi 3 góc quay (hình 2,b):

- Quay quanh trục khung ngoài 1 góc α;

- Quay quanh trục khung trong 1 góc β;

- Quay quanh trục chính 1 góc φ.

Khi lập phương trình chuyển động của con quay, chúng ta giả thiết rằng:

- Các trục $Ox_н, Oy_p$; $Ox_н, Oz$ và Oy_p, Oz vuông góc với nhau;

- Khung ngoài, khung trong và rô to là các vật cứng tuyệt đối;

- Tất cả các phần tử của con quay được cân bằng động tương đối so với điểm treo con quay.

- Các mô men quán tính của rô to tương đối so với các trục vuông góc với trục quay của nó và đi qua điểm treo con quay bằng nhau.

Phương trình chuyển động của con quay tên lửa B-72 trong hệ tọa độ quán tính được miêu tả bởi hệ phương trình [2, 5]:

$$A\ddot{\alpha} + J_0(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta)\dot{\beta}\cos\beta + 2D\dot{\alpha}\dot{\beta}\sin\beta\cos\beta + J_0[\frac{d}{dt}(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta)]\sin\beta = M_{zн};$$

$$B\ddot{\beta} + J_0(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta)\dot{\alpha}\cos\beta - D\dot{\alpha}^2\sin\beta\cos\beta = M_x; \quad (1)$$

$$J_0\frac{d}{dt}(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta) = -M_c$$

Trong các phương trình này các mô men $A\ddot{\alpha}$ và $B\ddot{\beta}$ là mô men lực quán tính do gia tốc góc gây ra, các mô men $J_0(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta)\dot{\alpha}\cos\beta$ và $J_0(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\sin\beta)\dot{\beta}\cos\beta$ - mô men con quay chính, mô men $D\dot{\alpha}\dot{\beta}\sin\beta\cos\beta$ và $2D\dot{\alpha}\dot{\beta}\sin\beta\cos\beta$ - Các mô men con quay bổ sung.

Hệ phương trình (1) là các phương trình vi phân không tuyến tính với hệ số thay đổi $A(\beta)$.

Trong đó, $A(\beta) = J_{zн} + (J_э + J_{вz})\cos^2\beta + J_{вy}\sin^2\beta; D = J_{вy} - J_э - J_z;$

$J_{zн}$ - Mô men quán tính của khung ngoài tương đối so vơi trục $Oz_н$.

Mô men cản M_c bao gồm mô men ma sát và mô men cản khí động rô to. Trường hợp riêng đối với rô to dạng hình trụ đường kính D, chiều dài L quay trong không khí thì mô men cản khí động theo mặt ngoài được tính theo công thức:

$$M_a = 1,61\cdot10^{12}n^{1,7}[p]^{0,7}[1 + 4,4\frac{L}{D}]D^{4,4} \text{ (N.cm)} \quad (2)$$

Nhận xét: Hệ phương trình chuyển động của con quay tên lửa B-72 là hệ phương trình chuyển động 3 bậc tự do, trong đó, khác với các con quay cơ điện khác, con quay tên lửa B-72 là con quay hoạt động theo quán tính. Do đó, đối với phương trình chuyển động của rôto, do lực cản khí động và mô men ma sát vòng bi và không có động cơ điện bù trừ nên rôto con quay sẽ quay với tốc độ giảm dần và độ trôi của con quay cũng tăng lên theo thời gian.

2.2. Xây dựng chương trình mô phỏng số xác định độ trôi con quay

Trên cơ sở phương trình chuyển động của con quay tên lửa B-72, ta có thể xây dựng chương trình mô phỏng được thực hiện trong Matlab-Simulink (hình 3).

Một số thông số ban đầu của con quay như sau:

Bảng 1. *Các thông số khối lượng, quán tính các cụm khối con quay.*

Cụm Rô to	m1 (g)	J_0 (kg.m^2)	$J_э$ (kg.m^2)	
	136	185.10^{-7}	$184,64.10^{-7}$	
Cụm khung trong	m2 (g)	$J_{xн}$ (kg.m^2)	$J_{yн}$ (kg.m^2)	$J_{zн}$ (kg.m^2)
	30,62	$71,11.10^{-7}$	$47,205.10^{-7}$	$105,94.10^{-7}$
Cụm khung ngoài	m3 (g)	$J_{xн}$ (kg.m^2)	$J_{yн}$ (kg.m^2)	$J_{zн}$ (kg.m^2)
	22,18	$70,58.10^{-7}$	$63,18.10^{-7}$	$126,66.10^{-7}$

- Độ cứng của các khung theo các trục như sau:

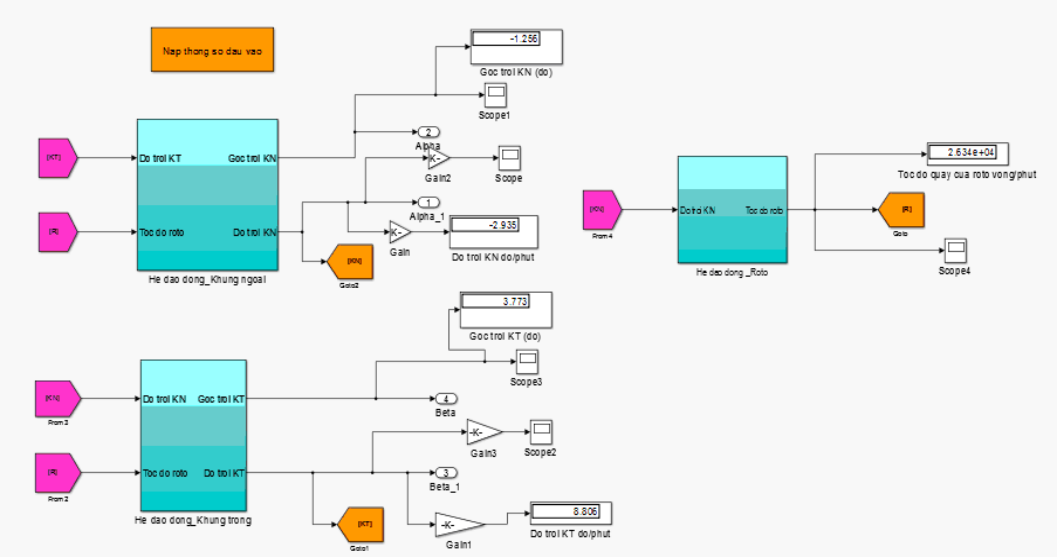
+ Đối với khung trong: $C_{x2} = 2,2 \cdot 10^7$ N.m, $C_{y2} = 1,8 \cdot 10^7$ N.m, $C_{z2} = 2 \cdot 10^7$ N.m.

+ Đối với khung ngoài: $C_{x1} = 1,5 \cdot 10^7$ N.m, $C_{y1} = 1,8 \cdot 10^7$ N.m.

- Mô men ma sát theo các trục như sau:

$$M_{ms_x} = 1,5 \cdot 10^{-5},\ M_{ms_y} = 2,5 \cdot 10^{-5},\ M_{ms_roto} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

- Tốc độ quay ban đầu của rôto: 27000 vòng/phút.



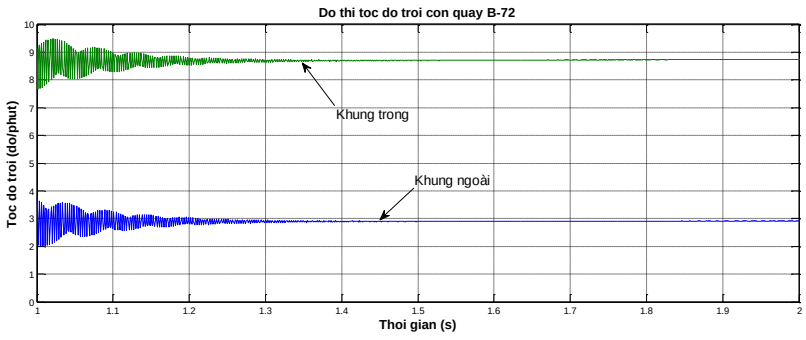
Hình 3. *Mô hình mô phỏng phương trình chuyển động con quay tên lửa B-72.*

Mô hình mô phỏng gồm 3 khối chính: khối khung các đăng ngoài, khối khung các đăng trong và khối rôto con quay.

Nhờ chương trình mô phỏng trên cho phép tự động hoá quá trình tính toán, đánh giá các tham số thiết kế, khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu và động lực học tới độ chính xác con quay tên lửa B-72, làm cơ sở khi thiết kế, chế tạo và thử nghiệm con quay tên lửa B-72.

2.3. Khảo sát xác định độ trôi con quay bằng phương pháp mô phỏng số

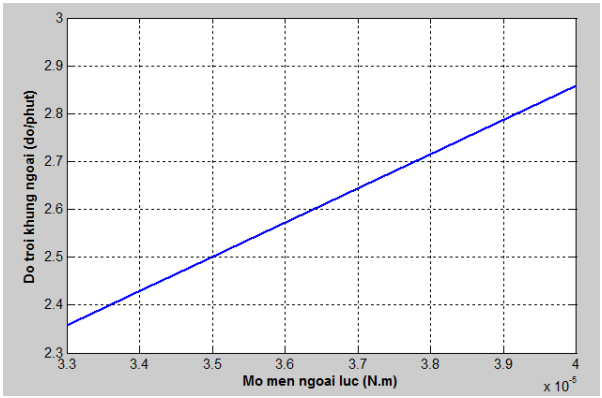
Trên cơ sở mô hình mô phỏng ta có thể nhận được kết quả tốc độ trôi của con quay theo thời gian. Dưới đây là đồ thị tốc độ trôi con quay (khung ngoài và khung trong):



Hình 4. *Đồ thị tốc độ trôi khung trong và khung ngoài.*

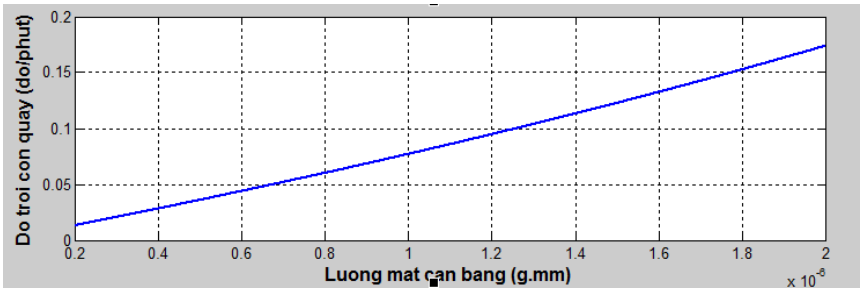
Với mô hình mô phỏng, ta cũng có thể khảo sát đánh giá đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến các chỉ tiêu chất lượng của con quay:

- Đồ thị ảnh hưởng của mômen ma sát tới tốc độ trôi của khung ngoài.



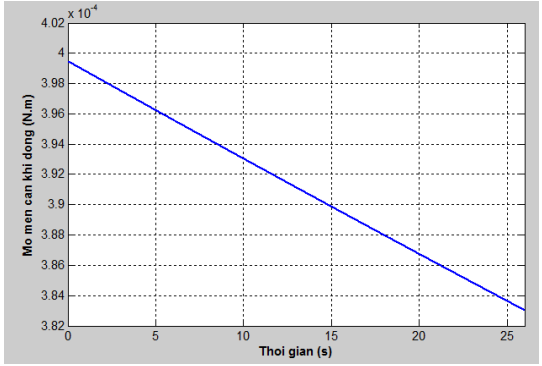
Hình 5. *Khảo sát ảnh hưởng của mômen ma sát tới tốc độ trôi của khung ngoài.*

Khi rô to con quay quay nhanh, nếu con quay có sự mất cân bằng động sẽ sinh ra các quá tải dao động tác động lên các trục của ổ trục vòng bi. Các dao động do rô to mất cân bằng động gây ra tạo ra các áp lực tác dụng lên trục rô to cũng như khung các đăng. Các quá tải dao động này đặc biệt nguy hiểm đối với các vòng bi làm tăng độ rơ theo phương trục và theo phương hướng tâm, đồng thời làm tăng mô men ma sát. Điều này làm giảm độ chính xác của con quay.



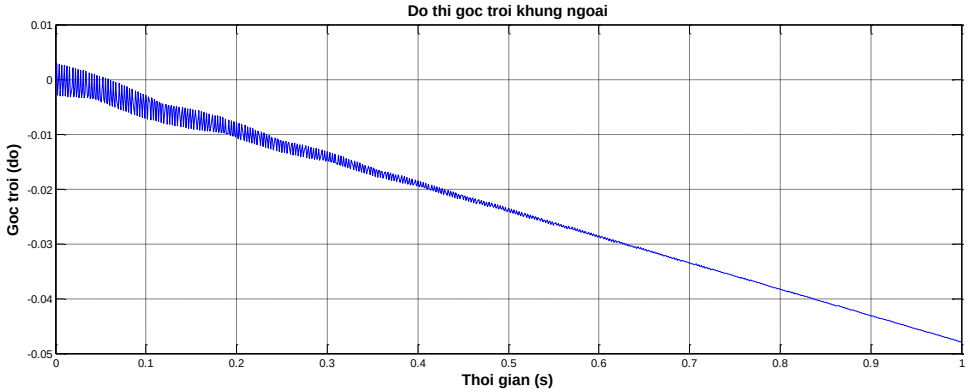
Hình 6. *Khảo sát ảnh hưởng của mất cân bằng tới tốc độ trôi của khung ngoài.*

Theo thời gian, do lực cản khí động nên tốc tốc độ vòng quay của rô to càng giảm và mô men cản khí động cũng giảm. Tuy nhiên, do tốc độ vòng quay của rô to giảm nên độ trôi của con quay tăng lên.



Hình 7. *Khảo sát mômen cản khí động của rô to theo thời gian.*

- Đồ thị góc trôi khung ngoài :



Hình 8. *Đồ thị góc trôi khung ngoài.*

Qua một số kết quả khảo sát có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Độ trôi của con quay phụ thuộc vào các mô men ngoại lực có hại tác dụng vào các cụm chính của con quay: rôto, khung các đăng trong, khung các đăng ngoài. Mô men ngoại lực có hại càng lớn, độ trôi của con quay càng cao.

- Theo thời gian, do lực cản khí động nên tốc tốc độ vòng quay của rôto giảm nên độ trôi của con quay tăng lên.

- Bằng việc sử dụng chương trình mô phỏng, cho phép đánh giá định lượng ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu và động lực học đến độ chính xác của con quay.

3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ TRÔI CON QUAY TÊN LỬA CHỐNG TĂNG B-72 BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

3.1. Thiết bị thử nghiệm xác định độ trôi con quay

Thành phần thiết bị thử nghiệm xác định độ trôi con quay (hình 8) bao gồm bàn xoay, thiết bị chiếu laze và màn hứng thu nhận ảnh. Con quay thử nghiệm được lắp bàn xoay. Bàn xoay được quay với vận tốc 8,5 vòng/giây, mô phỏng theo chuyển động quay của tên lửa B-72. Giá trị độ trôi khung trong và khung ngoài được thể hiện trên màn hứng có vạch chia.

Giá trị toạ độ y chỉ thị độ trôi của khung các đăng ngoài $\Delta x = \Delta\alpha$, giá trị x chỉ thị độ trôi của khung các đăng trong $\Delta y = \Delta\beta$.

Tốc độ trôi của con quay được tính bằng công thức

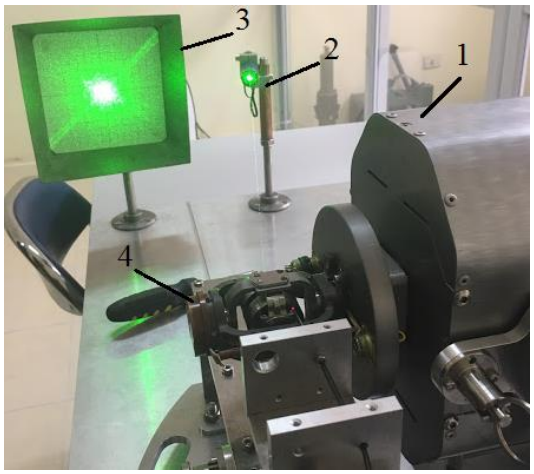
$$\dot{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad \dot{\beta} = \frac{\Delta\beta}{\Delta t} = \frac{\Delta y}{\Delta t}. \tag{3}$$

Δt được đo bằng đồng hồ đo thời gian.

Việc đo các khoản cách Δx, Δy ta sử dụng phương pháp sử dụng màn chắn có độ chia. Khoảng cách giữa màn chiếu và gương bằng 57,28 mm thì trong trường hợp này, một độ chia lớn (10mm) trên màn hứng tương ứng với góc trôi 1^0.

Độ trôi của khung các đăng được đo bởi độ lệch của chùm sáng đèn laze phản chiếu từ gương lắp trên khung trong con quay lên màn hứng. Trên màn hứng, ở vị trí ban đầu khi mà con quay đang ở trạng thái khóa, chùm sáng ở vị trí 0. Sau khi tăng tốc rô to con

quay bằng hệ thống khí nén đạt 27000 vòng/phút, con quay được mở khóa, đánh dấu vị trí độ lệch của chùm sáng trên màn hứng.



Hình 9. *Thiết bị đo độ trôi con quay*

1- Bàn xoay; 2- Đèn laze; 3- Màn hứng; 4- Con quay.

Việc đo tốc độ quay của rô to con quay được tiến hành bằng cảm biến quang không tiếp xúc. Bề mặt rô to con quay được bôi đen 1 phần. Khi rô to quay, phần bề mặt đen hấp thụ ánh sáng, còn phần sáng phản chiếu ánh sáng từ cảm biến ánh sáng, đi-ốt ảnh tạo ra các xung vuông tỉ lệ với tốc độ quay của rô to. Tần số tín hiệu từ đi-ốt được đo bằng thiết bị đo tần số. Để đo chính xác tần số, chùm sáng từ cảm biết ánh sáng phải vuông góc với mặt đầu rô to và không có các ánh sáng khác (những ánh sáng có thể thấy được trên tín hiệu đi-ốt ảnh hưởng đến đi-ôt ảnh).

Như vậy, bằng thiết bị đo độ trôi con quay ta có thể kết luận về độ chính xác con quay xem chúng có còn đủ tiêu chuẩn làm việc theo thiết kế.

- Giao diện phần mềm kiểm tra độ trôi con quay



Hình 10. *Giao diện phần mềm kiểm tra độ trôi con quay.*

3.2. Thử nghiệm và hiệu chỉnh độ trôi con quay

- Nhấn nút cấp khí để gia tốc rô to con quay. Khi vận tốc rô to đạt 27000 vòng/phút, nhất nút "Ngừng cấp khí", tháo chốt hãm con quay trên bàn xoay ra.

- Nhấn nút "Run Servo" để bàn xoay quay với vận tốc góc 8,5 vòng/s, tương ứng với điều kiện làm việc của con quay trên tên lửa CTVN.18.

- Xác định độ trôi của con quay bằng cách quan sát vị trí của chùm sáng trên màn hứng. Độ trôi của khung ngoài và khung trong tương ứng với sự di chuyển của chùm sáng theo trục tung và trục hoành. Sau 30 s, độ trôi cho phép của khung ngoài là ±1º, của khung trong là -4º ÷ +3º.

Dựa trên phân tích đánh giá ảnh hưởng của các tham số đến độ trôi con quay trên phần mềm mô phỏng, nhóm đề tài đã đưa ra phương pháp hiệu chỉnh độ trôi con quay phù hợp. Khi khung trong trôi theo chiều kim đồng hồ thì chấm sáng trên màn chiếu dịch chuyển sang phải và ngược lại, khi khung trong trôi ngược chiều kim đồng hồ thì chấm sáng dịch chuyển sang trái.

Nếu như độ trôi của khung các đăng trong theo chiều kim đồng hồ lớn hơn (khi nhìn từ phía trên xuống trục khung các đăng) thì cần tăng số các đệm bù lắp trên khung ngoài. Nếu độ trôi ngược chiều kim đồng hộ lớn hơn thì cần giảm số đệm bù. Điều này thể hiện qua việc thay đổi giá trị M_x trong công thức (1). Còn để thay đổi độ trôi khung ngoài cần lắp các vít chỉnh vào các vị trí trên khung trong. Tuy nhiên, trong trường hợp này sẽ ảnh hưởng đến cả độ trôi khung ngoài và khung trong nên cần có chiến lược hiệu chỉnh hợp lý.

Bằng phương pháp hiệu chỉnh này, nhóm đề tài đã căn chỉnh thành công nhiều con quay B-72 và con quay CTVN.18 sử dụng cổ góp không tiếp xúc, đảm bảo thành công cho nhiều đợt bắn thử nghiệm tên lửa.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp xác định độ trôi con quay B-72 bằng phương pháp mô phỏng số. Trên cơ sở mô hình toán phương trình chuyển động của con quay 3 bậc tự do trên tên lửa B-72, các tác giả đã xây dựng được chương trình mô phỏng theo phương pháp mô phỏng số trong môi trường Matlab-Simulink. Kết quả mô phỏng số thể hiện đúng qui luật chuyển động của con quay. Với sự trợ giúp của chương trình mô phỏng, có thể khảo sát ảnh hưởng một số yếu tố kết cấu và động lực học tới độ chính xác của con quay tên lửa B-72 phục vụ tính toán thiết kế. Bài báo cũng trình bày phương pháp thử nghiệm xác định độ trôi con quay B-72. Kết quả mô phỏng số đã góp phần trong việc hiệu chỉnh con quay khi thử nghiệm, đảm bảo thành công cho nhiều đợt bắn thử nghiệm tên lửa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tổ hợp tên lửa chống tăng 9K11. Cục kỹ thuật/ Bộ tư lệnh Pháo binh. Hà Nội 2006.

[2]. Nguyễn Phú Thắng (2016), *"Xây dựng chương trình mô phỏng phương trình chuyển động của con quay tên lửa chống tăng B-72."*, Tuyển tập các công trình khoa học tại Hội nghị "Cơ học và điều khiển thiết bị bay 2016". Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự. Đặc san 09-2016 (tr 191-198).

[3]. Брозгудъ Г.Д. (1981), *Теория и конструкция гироскопических прборов и систем,* Изд. "Высшая Школа", Москва.

[4]. Пельпор Д.С. (1986), *Гироскопические Системы*, *Теория гироскопов и гиростабилизаторов*, Изд. "Высшая Школа", Москва.

[5]. Лысов А.Н, Виниченко Н.Т, Лысова А.А. (2009), *"Прикладная теория гироскопов"*. Изд. "Машиностроение", Москва.

ABSTRACT

RESEARCHING METHOD OF ANTI-TANK MISSILE B-72
DRIFT DETERMINATION

This paper presents a method to determine missile B-72 gyro drift by numerical simulation. On the basis of motion equations of the gyro with 3 degrees of freedom on a B-72 missiles, the authors have built a simulation program according to numerical simulation methods in Matlab - Simulink environment. With the help of the simulation program, it is possible to investigate the influence of some parameters on the drift of the B-72 rocket gyroscope. The paper also presents a test method to determine missile B-72 gyro drift. Numerical simulation results contributed to the calibration of the gyroscope when testing.

Keywords: Gyroscope with 3 degrees of freedom; B-72 missile; Drift.

Nhận bài ngày 18 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 06 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Viện Khoa học và công nghệ quân sự.
*Email: tiencanvtl@gmail.com.