

THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THAM SỐ KẾT CẤU VÀ ĐỘNG LỰC HỌC TỚI ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CON QUAY 2 BẬC TỰ DO

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EFFECT OF SOME DYNAMIC AND STRUCTURAL PARAMETERS TO THE ACCURACY OF THE 2-DOF GYROSCOPE

ThS. Nguyễn Văn Tuyền, ThS. Đinh Hồng Toàn
Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của một số tham số kết cấu và động lực học tới độ chính xác của con quay hai bậc tự do đo tốc độ góc sử dụng trên tên lửa phòng không. Cơ sở đánh giá là các bộ số liệu thực nghiệm thu được từ kết quả đo, nó miêu tả quan hệ giữa đại lượng đầu vào và đại lượng đầu ra của con quay. Dựa trên cấu trúc phần cứng, phần mềm và thuật toán xử lý tín hiệu, kết quả thực nghiệm thu được để đánh giá tính chính xác, góp phần chứng minh tính đúng đắn của mô hình toán học.

Từ khóa: Con quay hai bậc tự do, đo lường, xử lý tín hiệu.

ABSTRACT

This paper presents an empirical method to evaluate the effects of some dynamic and structural parameters to the accuracy of two degrees of freedom (2-DOF) gyroscope used on air-defence missile to measure angular velocity. The basis of assessment is the experimental data obtained from the measurement results, which describes the relationship between the input quantity and output quantity of the 2-DOF gyroscope. Based on the structure of the hardware, software, the signal processing algorithm and the experimental result obtained to assess the accuracy and prove the correctness of the mathematical model.

Keywords: Two degrees of freedom (2-DOF) gyroscope, measurement, signal processing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bài toán đánh giá ảnh hưởng của một số tham số kết cấu và động lực học tới độ chính xác của con quay hai bậc tự do, việc kết hợp giữa xây dựng mô hình lý thuyết, mô tả toán học mô hình với tiến hành đo lường, tính toán trên mô hình thực tế có vai trò đặc biệt quan trọng. Trong bài toán cụ thể, sử dụng rất nhiều các hằng số cấu tạo (mô men quán tính, mô men ma sát,...) cho trước mà trong thực tế các tham số này có thể biến thiên, điều này dẫn đến các kết quả lý thuyết có độ sai lệch với kết quả thực tế. Để kết quả của bài toán lý thuyết có thể được chấp nhận và để chứng minh mô hình toán học được đề ra là đúng đắn thì công việc thử nghiệm là yêu cầu bắt buộc.

Mục đích của bài báo là khảo sát quan hệ của tham số kết cấu và động lực học đến độ chính xác của con quay hai bậc tự do, đo tốc độ góc trên tên lửa SAM-II. Bằng accs thiết bị đo lường hiện đại cùng với các phương pháp đo đã được quy định để tiến hành các phép đo cho con quay đạt được các yêu cầu cho trước của hệ thống điều khiển.

Đối tượng thử nghiệm là cụm con quay trong hệ thống điều khiển (C-14) trên tên lửa SAM-II (B750B).

2. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG, THỬ NGHIỆM

2.1. Cơ sở lý thuyết và các bài toán nghiên cứu thực nghiệm

Con quay ba bậc tự do và con quay hai bậc tự do được sử dụng trong hệ thống định vị, tự động dẫn đường, tự động ổn định và điều khiển tầm hướng các thiết bị chuyển động như máy bay, tên lửa, tàu vũ trụ, vệ tinh, tàu thủy, tàu ngầm, tháp pháo xe tăng..., gọi chung là thiết bị mang con quay. Trong quá trình điều khiển đòi hỏi phải xác định vị trí trong không gian, tốc độ góc và đôi khi cả gia tốc góc của thiết bị mang. Thiết bị đo tốc độ góc của thiết bị mang dùng con quay hai bậc tự do gọi là cảm biến tốc độ góc hay còn gọi là tốc kế con quay. Trong các tài liệu kỹ thuật, cảm biến tốc độ góc còn gọi là con quay vi phân.

Phương trình mô tả hoạt động con quay hai bậc tự do trên tên lửa:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\beta} + bI_1^2 \dot{\beta} + cI_2^2 \beta = H\omega_x \cos\beta - H\omega_z \sin\beta - I\dot{\omega}_x - M_x & (1) \\ H = I_R \Omega = \text{const} \end{cases}$$

Bảng 1: Ý nghĩa và giá trị các thông số cấu tạo của con quay:

TT	Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Mô men quán tính của khung các đặng với trục O_{x1}	I_{x1}	$6,15.10^{-6}$	[kg.m ²]
2	Mô men quán tính xích đạo của rotor	I_E	$6,30.10^{-5}$	[kg.m ²]
3		$I=I_{x1}+I_E$	$6,915.10^{-5}$	[kg.m ²]
4	Khoảng cách từ trục O_{x1} đến đường tác dụng của lực giảm chấn	l_1	0,022	[m]
5	Khoảng cách từ trục quay O_{x1} đến đường tác dụng của lực cản lò xo	l_2	0,021	[m]
6	Mô men quán tính của rotor đối với trục O_{z1}	I_R	$1,53.10^{-6}$	[kg.m ²]
7	Tốc độ góc của rotor quay quanh trục O_{z1}	Ω	23.500	[vòng/phút]
8	Mô men động lượng của rotor con quay đối với trục O_{z1}	$H=I_R.\Omega$	$3,762.10^{-3}$	[kg.m ² .s ⁻¹]
9	Hệ số giảm chấn	b	2,50	[N.s.m ⁻¹]
10	Độ cứng của lò xo cản	c	50,12	[N.m ⁻¹].
11	Tổng các mô men cản quanh trục quay O_{x1}	M_Σ	$2,37.10^{-5}$	N.m
12	Tốc độ góc của thiết bị mang đối với các trục tương ứng: O_x, O_y, O_z	$\omega_x, \omega_y, \omega_z$		rad
13	Góc lệch của khung các đặng	β		rad

Các bài toán nghiên cứu thực nghiệm:

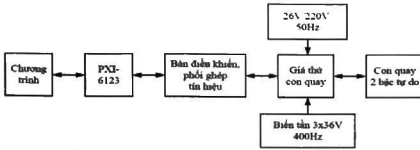
2.2. Thiết kế hệ thống thử nghiệm

- Kiểm tra sự phụ thuộc của góc lệch tĩnh β_T của con quay khi tốc độ góc của thiết bị mang thay đổi: $\beta_T=f(\omega_v)$, so sánh với kết quả tính toán lý thuyết.

- Kiểm tra sự phụ thuộc của góc lệch tĩnh β_T con quay khi thay đổi thành phần tốc độ góc giao nhau ω_z : $\beta_T=f(\omega_z)$, so sánh với kết quả tính toán mô phỏng.

Việc thử nghiệm các thông số của con quay được tiến hành tại PTN của Viện Tên lửa/ Viện Khoa học Công nghệ Quân sự và hầm bắn Trung tâm Kỹ thuật Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự, trong điều kiện nhiệt độ môi trường 29°C-30°C, độ ẩm không khí 60%.

Trên cơ sở các bài toán đặt ra, xây dựng sơ đồ chức năng thiết bị như sau:



Hình 1. Sơ đồ chức năng hệ thống đo lường, tính toán, đánh giá

Các thiết bị thử nghiệm đều được nhập từ những hãng chế tạo thiết bị đo trên thế giới, do các cơ sở có uy tín trong nước tích hợp và phát triển. Hệ thống đo được chuẩn đồng bộ theo cảm biến tại Viện Đo lường Việt Nam.

❖ Bộ điều khiển NI PXI-1042, NI PXI-8106, NIPXI-6123:

Bộ điều khiển kết hợp với chương trình phần mềm phát triển trên nền LabVIEW, có vai trò phát các tín hiệu điều khiển chế độ hoạt động, thu thập các tín hiệu cảm biến, xử lý tín hiệu và hiển thị các kết quả tính toán.

Bộ điều khiển, đo lường trên nền hệ nhưng có một số tính năng: Bộ vi xử lý dual-core 2.16GHz, tốc độ bus 132 MB/s, bộ nhớ chuẩn 512 MB, bộ nhớ cục bộ: 2GB, ổ cứng 60GB, hỗ trợ giao tiếp Ethernet, GPIB, USB, RS-232; Chức năng giao tiếp với các modul mở rộng chuẩn PXI; Đồng hồ tham chiếu 10MHz; Hệ điều hành Real-time, hỗ trợ phần mềm LabVIEW RT Run-Time; Cấu hình chức năng nhờ phần mềm. Tám bộ chuyển đổi tương tự số độ phân giải 16 bit, tốc độ lấy mẫu: 500 kS/s mỗi kênh, dải đo $\pm 10V$, độ chính xác lớn nhất 0.002mV.



Hình 2. Con quay và bộ điều khiển, đo lường

❖ Bàn điều khiển và giá thử con quay:

Bàn điều khiển và giá thử con quay theo ba bậc tự do có mô hình 1573 Ideal Aerosmith do Mỹ sản xuất.



Hình 3. Bàn điều khiển và giá thử con quay và biến tần

Bản xoay 3 bậc tự do model 1573 của hãng Ideal Aeromsmith có 3 trục điều khiển tự động tốc độ và vị trí có đặc điểm chính là sử dụng khối điều khiển tự động. Bản xoay có thể được điều khiển độc lập thông qua giao diện của khối điều khiển hoặc điều khiển từ xa thông qua máy tính nhờ khối điều khiển AERO-832.

Biến tần 3x36V-400Hz:

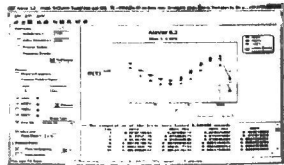
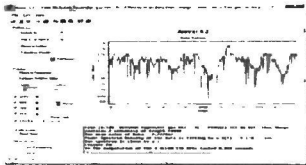
Biến tần sử dụng nguồn một chiều đầu vào 26V có chức năng tạo ra nguồn điện xoay chiều 3 pha 36V400Hz.

3. THỰC NGHIỆM ĐO LƯỜNG, PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ KẾT CẤU VÀ ĐỘNG LỰC TỚI ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CON QUAY HAI BẬC TỰ DO

3.1. Thuật toán chương trình đo lường, phân tích, đánh giá

Để thực hiện các phép đo, ta thay đổi các giá trị ω_y đầu vào, sau đó đo các giá trị điện áp ra U_T và biến đổi thành tín hiệu ra β_T . Tuy nhiên, trong quá trình đo lường, giá trị điện áp ra U_T luôn dao động do nhiều nguyên nhân (ăn mòn cơ khí, nhiễu điện từ trường,...), nên tín hiệu ra β_T cũng bị dao động theo. Để nâng cao độ chính xác của phép đo và quá trình phân tích, đánh giá β_T , ta sử dụng thuật toán xử lý tín hiệu, lấy trung bình và lọc nhiễu thông qua sử dụng phần mềm AlaVar5. Bằng cách đo tín hiệu β_T trong một khoảng thời gian nhất định ($t = 10s$) với khoảng $N=10.000$ mẫu, qua xử lý tín hiệu ta sẽ thu được giá trị trung bình β_{TB} , phương sai tín hiệu σ theo các tiêu chuẩn nhất định và phân đoán kiểu nhiễu tác động vào hệ thống.

Giao diện chương trình phần mềm xử lý tín hiệu AlaVar5 như hình 4:



Hình 4. Tín hiệu đầu vào và kết quả tính trung bình, phương sai tín hiệu

3.2. Kết quả thử nghiệm

3.2.1. Kết quả phụ thuộc β_T theo ω_y khi $\omega_z=0$

Khi $\omega_z=0$, phương trình (1) trở thành:

$$\begin{cases} I\ddot{\beta} + bI_1^2\dot{\beta} + cI_2^2\beta = H\omega_y\cos\beta - M_{\Sigma} \\ H = I_R\Omega = const \end{cases} \quad (2)$$

Giá trị góc β_T theo công thức giải tích ký hiệu $\beta_{T,LT}$; Giá trị góc β_T theo tính toán mô phỏng ký hiệu là $\beta_{T,MP}$; Giá trị góc β_T theo thực nghiệm là: $\beta_{T,TN}$; Độ quá điều chỉnh.

$$\delta(\%) = \frac{\beta_{T,LT} - \beta_{T,TN}}{\beta_{T,LT}} (\%); \tag{3}$$

Bảng 2: Kết quả tính toán và đo đạc thực nghiệm sự phụ thuộc β_T theo ω_y

ω_y (độ)	0,4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\beta_{T,LT}$ (độ)	0,0492	0,1521	0,3223	0,4926	0,6628	0,8330	1,0032	1,1734	1,3436	1,5139	1,6841
$\beta_{T,MP}$ (độ)	0,0460	0,1387	0,2940	0,4492	0,6194	0,7896	0,9597	1,1298	1,2999	1,4700	1,6400
$\beta_{T,TN}$ (độ)	0,0432	0,1360	0,2881	0,4420	0,5995	0,7520	0,9116	1,0660	1,2150	1,3730	1,5283
δ (%)	12,20%	10,60%	10,62%	10,26%	9,55%	9,72%	9,13%	9,15%	9,57%	9,30%	9,25%

ω_y (độ)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\beta_{T,LT}$ (độ)	1,8543	2,0245	2,1947	2,3649	2,5352	2,7054	2,8756	3,0458	3,2160	3,3862
$\beta_{T,MP}$ (độ)	1,8100	1,9799	2,1498	2,3196	2,4894	2,6591	2,8287	2,9982	3,1677	3,3371
$\beta_{T,TN}$ (độ)	1,7030	1,8780	2,0250	2,2120	2,3410	2,5240	2,6850	2,8430	3,0410	3,1840
δ (%)	8,16%	7,24%	7,73%	6,47%	7,66%	6,70%	6,63%	6,66%	5,44%	5,97%

ω_y (độ)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\beta_{T,LT}$ (độ)	3,5564	3,7267	3,8969	4,0671	4,2373	4,4075	4,5777	4,7480	4,9182	5,0884
$\beta_{T,MP}$ (độ)	3,5064	3,6756	3,8447	4,0137	4,1826	4,3514	4,5201	4,6886	4,8571	5,0254
$\beta_{T,TN}$ (độ)	3,3780	3,5490	3,6970	3,8580	4,0250	4,2030	4,3560	4,5180	4,6990	4,8510
δ (%)	5,02%	4,77%	5,13%	5,14%	5,01%	4,64%	4,84%	4,84%	4,46%	4,67%

Kết quả xây dựng đặc tuyến tĩnh của con quay $\beta_T=f(\omega_y)$ theo lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm (hình 9).

Nhận xét: Từ các kết quả trên ta có nhận xét sau:

- Với tốc độ góc $\omega_y \leq 0,4$ (độ/s) góc $\beta_T=0$, con quay không nhạy cảm được; điều này phù hợp đặc tính của con quay theo lý thuyết.

- Với $\omega_y > 0,4$ (độ/s) con quay bắt đầu cho ta tín hiệu và góc β_T hầu như tỷ lệ thuận với tốc độ góc ω_y , điều này phù hợp với lý thuyết.

- Về định tính β_T tăng tỷ lệ thuận với ω_y .

- Về định lượng sai số lớn nhất giữa lý thuyết và thực nghiệm là 12,2%, do con quay thử nghiệm là cấp 2, tính toán lý thuyết có sai số do phương pháp tính.

3.2.2. Kết quả sự phụ thuộc β_T theo ω_z

Bỏ qua $\dot{\omega}_x$, ta có:

$$\begin{cases} I\ddot{\beta} + bI_1\dot{\beta} + cI_2^2\beta = H\omega_y\cos\beta - H\omega_z\sin\beta - M_x \\ H = I_R\Omega = \text{const} \end{cases} \quad (4)$$

Độ quá điều chỉnh:

$$\delta(\%) = \frac{\beta_T MP - \beta_T TN}{\beta_T MP} (\%); \quad (5)$$

Xây dựng đặc tính tĩnh con quay khi $\omega_z = \text{số thực}$ (với $\omega_y = 10$ độ/s = const).

Bảng 3: Kết quả tính toán mô phỏng và đo đạc thực nghiệm sự phụ thuộc β_T theo ω_z :

ω_z (độ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\beta_T MP$ (độ)	1,64001	1,63516	1,63034	1,62555	1,62079	1,61604	1,61133	1,60664	1,60199	1,59736
$\beta_T TN$ (độ)	1,52900	1,52800	1,52200	1,51400	1,50900	1,50600	1,49800	1,49900	1,49900	1,49900
δ (%)	6,77%	6,55%	6,65%	6,86%	6,90%	6,81%	7,03%	6,70%	6,43%	6,16%

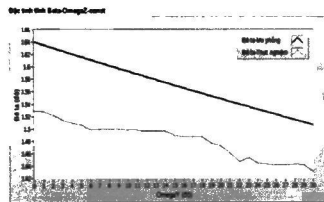
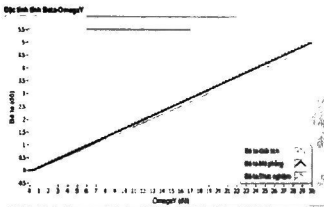
ω_z (độ)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\beta_T MP$ (độ)	1,59276	1,58818	1,58363	1,57911	1,57461	1,57014	1,56568	1,56126	1,55687	1,55250
$\beta_T TN$ (độ)	1,49700	1,49700	1,49600	1,49600	1,49600	1,48900	1,48600	1,48600	1,48600	1,47600
δ (%)	6,01%	5,74%	5,53%	5,26%	4,99%	5,17%	5,09%	4,82%	4,55%	4,93%

ω_z (độ)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\beta_T MP$ (độ)	1,54814	1,54383	1,53952	1,53525	1,53100	1,52677	1,52255	1,51837	1,51422	1,51009
$\beta_T TN$ (độ)	1,47200	1,47200	1,45600	1,44100	1,44100	1,44200	1,44100	1,44100	1,44200	1,44100
δ (%)	4,92%	4,65%	5,43%	6,14%	5,88%	5,55%	5,36%	5,10%	4,77%	4,58%

Nhận xét: Từ các kết quả khảo sát thực nghiệm về sự phụ thuộc của giá trị góc lệch tĩnh β_T của con quay vào những thành phần tốc độ góc ω_2 của thiết bị mang con quay cho thấy:

- Về định tính quy luật thay đổi $\beta_T=f(\omega_2)$ giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm là như nhau.

- Về định lượng sai số giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm không vượt quá 7% là có thể chấp nhận được.



Hình 5: Đặc tính tĩnh của con quay $\beta_T=f(\omega_2)$ và $\beta_T=f(\omega_1)$

4. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm và phương pháp xử lý kết quả nêu trên là cơ sở khoa học để lý giải và làm sáng tỏ ảnh hưởng của một số tham số kết cấu và động lực học tới độ chính xác của con quay hai bậc tự do. Phương pháp thực nghiệm

có thể áp dụng để kiểm tra đánh giá chất lượng con quay hai bậc tự do tại các cơ sở sửa chữa, lắp ráp con quay của Quân đội ta hiện nay. Bài báo là tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật trong nghiên cứu, sử dụng con quay hai bậc tự do đo tốc độ góc trong hệ thống điều khiển của các thiết bị, khí tài quân sự. ❖

Ngày nhận bài: 12/02/2016

Ngày phản biện: 18/3/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bùi Ngọc Hồi; Về một số yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy và độ trôi của con quay, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học Kỹ thuật, Chuyên san tên lửa, Viện KTQS, trang 59-63, 1990.
- [2]. Bùi Ngọc Hồi, Lê Văn Hoàng, Nguyễn Văn Tuyển; Phương trình chuyển động của con quay hai bậc tự do đo tốc độ góc có tính đến ảnh hưởng yếu tố kết cấu và động lực, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự, 10/2014.
- [3]. Bộ môn Tên lửa, Khoa Vô tuyến Điện tử; Lý thuyết bay và hệ thống điều khiển tên lửa phòng không, tập 1,2,3, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 1998.
- [4]. Пельпор Д.С., “О влиянии инерции рамок карданового подвеса на движение гироскопа, установленного на качающейся платформе”, Научные труды высшей школы. Машиностроение, 1988, №4.
- [5]. AlVAR5 manual 2015.
- [6]. LabVIEW manual 2012.
- [7]. NI PXI-8106 Datasheet 2014.