

Nghiên cứu thiết kế, chế tạo mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng sử dụng kiểm tra tham số máy lái tên lửa trên thiết bị KPIA

Phạm Văn May*, Trịnh Anh Minh, Trần Quang Huy

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

*Email: phamvanmaymta1989@gmail.com

Nhận bài: 10/10/2022; Hoàn thiện: 20/11/2022; Chấp nhận đăng: 12/12/2022; Xuất bản: 28/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.84.2022.163-166>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế, chế tạo mô đun đo điện áp đầu vào dải rộng trên cơ sở tích hợp mạch điện tử để xử lý, điều chế tín hiệu. Các tham số của mạch tích hợp được tính toán, thiết kế phù hợp với bài toán thu thập, xử lý tín hiệu từ máy lái tên lửa bảo đảm dải rộng điện áp đầu vào, độ tuyến tính và độ chính xác.

Từ khóa: Băng thông Dải rộng; Mạch điện tử; Mạch tích hợp; Tham số máy lái tên lửa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

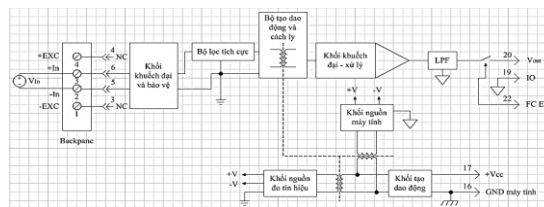
Trong quá trình kiểm máy lái tên lửa đo nhiều tín hiệu khác nhau, khuếch đại với hệ số lớn để không làm suy giảm đến tín hiệu thu thập. Do vậy, mô đun sử dụng phải đảm bảo đo được các tín hiệu dải rộng, độ nhạy cao, trở kháng đầu vào lớn. Mô đun hoạt động như một bộ khuếch đại, điện áp đầu ra tỷ lệ với điện áp vào. Mô đun có thông số chính: Thu thập tín hiệu mức điện áp Volt và Millivolt (Dải điện áp đầu vào $-40 \div 40$ V, đầu ra điện áp mức cao $0 \div 5$ V), băng thông tín hiệu 10 kHz; độ chính xác $\pm 0,03\%$ giá trị max; $\pm 0,1\%$ tuyến tính. Mô đun có thể thay đổi hệ số khuếch đại phù hợp với từng loại thiết bị đo kiểm khác nhau, khi sử dụng mô đun với các hệ thống khác nhau, chỉ cần thay đổi hệ số khuếch đại phù hợp (hệ số khuếch đại có thể thay đổi theo tỷ lệ 1:2 ; 1:4 ; 1:8) bằng cách hiệu chỉnh biến trở.

Một trong các kỹ thuật được sử dụng trong mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng được thiết kế bởi các mạch tích hợp có độ nhạy cao, khả năng đáp ứng nhanh. Mô đun cung cấp một kênh đầu vào tương tự được khuếch đại, cách ly và chuyển đổi thành đầu ra điện áp tương tự mức cao.

2. GIẢI PHÁP THIẾT KẾ

Trong bất cứ mô hình thu thập và xử lý tín hiệu nào, việc xử lý nhiễu, đảm bảo không ảnh hưởng suy giảm tín hiệu, sử dụng bộ lọc kết hợp bộ tiền khuếch đại, được tích hợp, hoạt động ở các tần số khác nhau. Ở tần số cao, dùng các mạch lọc thụ động RLC. Ở tần số thấp, các mạch lọc đó có điện cảm quá lớn, dẫn đến kết cấu mạch phức tạp, tốn kém, cũng như phẩm chất của mạch giảm. Vì vậy, trong phạm vi tần số từ 0,1 đến vài MHz dùng bộ KĐTT kết hợp mạch RC để lọc nhiễu gọi là mạch lọc tích cực.

Sơ đồ khối mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng sử dụng kiểm tra máy lái đề xuất được thể hiện như trên hình 1. Mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng gồm một khối khuếch đại và bảo vệ, một bộ tạo dao động và cách ly, một khối tạo dao động kết hợp khối nguồn đo tín hiệu, một khối nguồn cách ly và một khối khuếch đại-xử lý.



Hình 1. Sơ đồ khối mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng.

Mô đun đảm bảo thực hiện khuếch đại, cách ly và chuyển đổi thành đầu ra điện áp tương tự mức cao dải đo rộng, đầu ra của chúng được chuẩn hóa dưới dạng điện áp Vdc ($0 \div 10$ V hoặc $0 \div 5$ V) phù hợp với hầu hết các loại ADC rất thuận lợi trong quá trình kiểm tra hiệu chỉnh, sử dụng.

Khi làm việc, khối khuếch đại và bảo vệ hoạt động khuếch đại sơ bộ tín hiệu đo tín hiệu và

nhieu. Các tín hiệu này được loại bỏ nhiễu khi đi qua bộ lọc tích cực. Tín hiệu đưa đến bộ cách ly tín hiệu sử dụng biến áp cách ly, đầu ra bộ cách ly tín hiệu được khuếch đại - xử lý đảm bảo tỷ lệ theo yêu cầu thiết kế. Tín hiệu đầu ra qua bộ lọc thông thấp (LPF) trước khi đưa vào máy tính.

2.1. Khối khuếch đại và bảo vệ

Mạch đề xuất bao gồm một mạch khuếch đại độ nhạy cao sử dụng vi mạch LF351 với hệ số khuếch đại $K = 1/16$ và một mạch bảo vệ sử dụng các linh kiện điện tử: Diode và điện trở bảo vệ đầu vào mô đun.

Vi mạch LF351 là bộ khuếch đại hoạt động đầu vào JFET tốc độ cao có thông số chính: Điện áp bù đầu vào 4 mV, dòng phân cực đầu vào $50 \div 200$ pA, độ lợi điện áp tín hiệu lớn 100 V/mV, điện trở đầu vào 10^{12} Ω , băng thông 4 MHz, nguồn nuôi $\pm 2,3$ V đến ± 18 V, dòng tiêu thụ thấp (max 3 mA).

2.2. Bộ lọc tích cực

Bộ lọc bảo đảm lọc các xung răng cưa, các xung nhiễu tần số thấp sử dụng bộ lọc thông thấp phù hợp với vi mạch TLC2201. Bộ tiền khuếch đại này có băng thông là 5 MHz và băng thông được giới hạn ở 10 kHz.

Vi mạch TLC2201 là bộ khuếch đại CMOS tăng cường với mức nhiễu thấp có thông số chính như sau: Điện áp nhiễu đầu vào max 30 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ Max tại $f = 10$ Hz và max 12 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ tại $f = 1$ kHz; dòng phân cực đầu vào 1 pA; điện áp bù đầu vào thấp 500 μV ; nguồn nuôi $\pm 2,3$ V đến ± 18 V.

Mạch lọc thông thấp bậc 2 loại hồi tiếp âm nhiều vòng có hàm truyền đạt như sau:

$$K_d = \frac{R_2/R_1}{1 + P\omega_g C_1(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}) + P^2 \omega_g^2 R_2 R_3 C_1 C_2} \quad (1)$$

Nếu cho trước f_g , K_{do} , C_1 và C_2 có thể tính được R_1 , R_2 , R_3 rút ra từ các biểu thức trên như sau:

$$R_2 = \frac{a_1 C_2 - \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4 C_1 C_2 b_1 (1 + K_{do})}}{4\pi f_g C_1 C_2} \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{K_{do}} \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{b_1}{4\pi^2 f_g^2 C_1 C_2 R_2} \quad (4)$$

Bộ lọc tích cực được thiết kế sử dụng mạch lọc thông thấp bậc 2 loại hồi tiếp âm nhiều vòng. Chọn trước các giá trị tụ điện và hệ số truyền $K=1/16$, theo mục công thức (2), (3), (4) tính được giá trị điện trở.

2.3. Bộ tạo dao động và cách ly

Bộ tạo dao động và cách ly thực hiện cách ly tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra, thành phần chính là biến áp cách ly và vi mạch CD4053 tạo dao động với tần số 39 KHz. Vi mạch CD4053 là bộ ghép kênh hoặc phân kênh, được điều khiển số có trở kháng “bật” thấp và dòng rò “tắt” rất thấp, băng thông 30MHz, điện trở giữa các kênh 5 Ω , dòng tiêu thụ 100 nA, nguồn nuôi $\pm 2,3$ V đến ± 9 V.

2.4. Khối tạo dao động kết hợp khối nguồn đo tín hiệu và khối nguồn cách ly

Khối sử dụng vi mạch CD4047, các biến áp xung và mạch khóa Mosfet MMBF170 tạo các điện áp Vdc cấp cho các vi mạch khác của mô đun. Nguồn xung có IC CD4047 là IC tốc độ cao, hoạt động ở tần số cố định, điều biến xung đầu ra bởi một trình điều khiển tối ưu cho hoạt động ở tần số cao, được thiết kế đặc biệt cho các ứng dụng chuyển đổi Off-line và DC-DC converter, các mạch tích hợp trong IC này có bộ dao động và dòng đầu ra lớn lý tưởng cho điều khiển Mosfet công suất. Dải điện áp cung cấp cho các cực điều khiển Gate của Mosfet trong khoảng từ 10-20 V. Trong bộ chuyển đổi half bridge điện áp đầu ra Vout bằng trung bình của dạng sóng đặt trên bộ lọc LC.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2} \times \frac{n_2}{n_1} \times f \times (T_{on,Q1} + T_{on,Q2}) \quad (5)$$

- Trong đó : - V_{out}, V_{in} : Điện áp đầu ra, đầu vào, V;
 - n_1 : Số vòng cuộn sơ cấp; $n_2 = 0,5 \times$ (số vòng cuộn thứ cấp);
 - f : Tần số hoạt động;
 - $T_{on,Q1}; T_{on,Q2}$: thời gian Mosfet Q1 dẫn, Q2 dẫn.

2.5. Khối khuếch đại - xử lý

Nguyên lý hoạt động của khối khuếch đại – xử lý như sau: Tín hiệu đầu ra bộ tạo dao động và cách ly đưa đến biến áp xung cách ly 1:1; đầu ra biến áp BT2 tín hiệu được nắn thành điện áp 1 chiều và điều chỉnh điện áp tăng 2 lần so với tín hiệu đầu vào khối, đưa tới vi mạch chuyên mạch DG417DY. Thành phần chính của khối khuếch đại xử lý là vi mạch TL062.

Vi mạch TL062 là IC khuếch đại thuật toán JFET công suất thấp, dòng điện nguồn thấp: 200 μ A/Bộ khuếch đại, tốc độ quay cao: 6,0 V/ μ s, dòng điện phân cực đầu vào thấp: 5.0 pA, băng thông tăng cao: 2.0 MHz, trở kháng đầu vào cao: 1012 Ω , biên điện áp đầu ra lớn: ± 14 V.

Hàm truyền mạch lọc thông thấp bậc hai loại hồi tiếp dương 1 vòng trong khối khuếch đại xử lý.

$$K_d = \frac{K}{1 + P\omega_g[R_1C_1 + R_2C_1 + (1 - K)R_1C_2] + P^2\omega_g^2R_1R_2C_1C_2} \quad (6)$$

Để đơn giản, chọn $K = 1$, khi đó: $(K-1)R_3 = 0$. Nếu cho trước: f_g, C_1 và C_2 có thể tính được K_{do}, R_1, R_2 rút ra từ các biểu thức trên. Mạch điện có thể chọn $R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2 = C$ và khi đó:

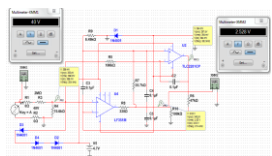
$$K_d = \frac{K}{1 + P\omega_g(3 - K)RC + P^2\omega_g^2R^2C^2} \quad (7)$$

Bản chất của khuếch đại-xử lý là sử dụng mạch lọc thông thấp bậc 2 loại hồi tiếp dương 1 vòng. Khi lần lượt chọn giá trị tụ điện và điều chỉnh biến trở để thay đổi hệ số khuếch đại của mô đun.

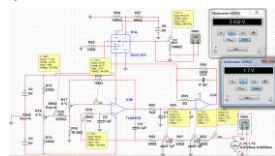
3. MÔ PHỎNG VÀ THỬ NGHIỆM

Để kiểm tra tính đúng đắn cũng như chất lượng của mô đun đo điện áp đầu vào bằng thông rộng và các thành phần mạch chức năng. Mô phỏng đầu tiên được thực hiện để kiểm tra khả năng làm việc và tính đúng đắn của bộ lọc tích cực kết hợp với khuếch đại trên phần mềm mô phỏng mạch Mutisim. Bộ lọc tích cực kết hợp với khối khuếch đại và bảo vệ hình thành một bộ khuếch đại tổng hợp với hệ số $K = 1/16$ (khi tín hiệu vào có $U_v = 40$ V, đầu ra $U_r = 2,528$) đảm bảo tuyến tính, đáp ứng nhanh, lọc nhiễu tích cực.

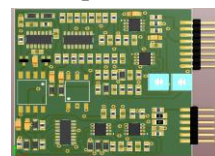
Mô phỏng thứ hai được thực hiện để kiểm tra chất lượng của khối khuếch đại-xử lý. Kết quả mô phỏng với tín hiệu có điện áp $U_v = 1,7$ V, sau khối khuếch đại-xử lý có $U_r = 3,432$ V. Như vậy, hệ số của khối khuếch đại-xử lý $k = 2$, với độ chính xác điện áp đầu ra $\pm 0,03$ V. Đạt yêu cầu thiết kế.



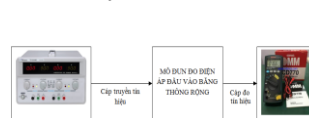
Hình 2. Sơ đồ mô phỏng Bộ lọc tích cực và Khối khuếch đại và bảo vệ trên phần mềm mutisim.



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng Khối khuếch đại-xử lý trên phần mềm mutisim.



Hình 4. Mô đun đo điện áp đầu vào bằng thông rộng sau khi chế tạo.



Hình 5. Sơ đồ thử nghiệm hiệu chỉnh mô đun.

Sau các kết quả mô phỏng nhận được, tiến hành chế tạo thử nghiệm và hiệu chỉnh. Mô đun đo điện áp đầu vào bằng thông rộng có đầy đủ chức năng như một thiết bị gia công tín hiệu chuyên dụng, mô đun được hiệu chỉnh bảo đảm yêu cầu về độ chính xác, độ ổn định, độ tin cậy khi kết nối với hệ thống đo. Mô đun đo điện áp đầu vào bằng thông rộng tích hợp được kiểm tra độ ổn định, độ tuyến tính và độ tin cậy. Sử dụng bộ nguồn GW Intek GPC-3030D điều chỉnh điện áp

dải (40 V ÷ + 40 V) tạo các mức điện áp cấp đến đầu vào mô đun và đồng hồ đo điện vạn năng CD770 đo các điện áp đầu ra mô đun. Ghi lại các kết quả đo được, từ đó, đánh giá sự hoạt động của mô đun.

Bảng giá trị Điện áp đầu vào và đầu ra của mô đun (theo biên bản kiểm tra kỹ thuật đo lường số 4752 của Trung tâm đo lường/ Cục tiêu chuẩn ĐL- CL) như sau:

Bảng 1. Xác định độ chính xác điện áp đầu ra.

Giá trị điện áp chuẩn đầu vào	Giá trị điện áp đầu ra danh định	Giá trị điện áp đầu ra đo được	Sai số đo	Sai số cho phép
4 V	0,5 V	0,50 V	0,00 V	± 0,03 V
8 V	1 V	1,02 V	0,02 V	± 0,05 V
16 V	2 V	2,06 V	0,06 V	± 0,10 V
24 V	3 V	3,07 V	0,07 V	± 0,15 V
32 V	4 V	4,10 V	0,10 V	± 0,20 V
40 V	5 V	5,15 V	0,15 V	± 0,25 V

Bảng 2. Kiểm tra độ gọn tín hiệu đầu ra.

TT	Tham số kiểm tra	Kết quả đo/ kiểm tra	Giá trị cho phép/yêu cầu	Ghi chú
1	Đầu ra mô đun	271 mV	≤ 300 mV	

Sau nhiều lần đặt giá trị điện áp vào mô đun, ta thấy giá trị đo được rất tuyến tính, ổn định và chính xác. Đây là điều kiện để sử dụng mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng sử dụng kiểm tra tham số máy lái tên lửa trên thiết bị KPIA. Mô đun đã được lắp đặt vào đo đặc các tín hiệu tên lửa trong thiết bị kiểm tra KPIA của tổ hợp tên lửa Bastion. Như vậy, Mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng được tích hợp vì mạch điện tử hoạt động tốt. Mô đun thử nghiệm tốt trong phòng thí nghiệm và thực tế kiểm tra tên lửa.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày cấu trúc, hệ số khuếch đại của các bộ lọc, công thức tính biến áp xung- cách ly và các đặc trưng của mô đun đo điện áp đầu vào băng thông rộng sử dụng kiểm tra tham số máy lái tên lửa trên thiết bị KPIA. Trên cơ sở đó xây dựng và tính toán để tích hợp vi mạch điện tử vào trong mô đun. Mô đun tích hợp vi mạch điện tử có nhiều ưu điểm vượt trội so với các mạch điện tử khác về dải điện áp đầu vào rộng, độ chính xác làm giảm độ cồng kềnh của thiết bị đo, thuận tiện khi sử dụng mô đun trong các hệ thống kiểm tra đo điện áp, tín hiệu của các loại tên lửa. Hệ thống được đồng bộ từ việc lựa chọn, hiệu chỉnh các thông số của vi mạch tích hợp, hiệu chỉnh thử nghiệm độc lập và kết nối hệ thống kiểm tra tên lửa, thử nghiệm đạt kết quả tốt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đỗ Huy Giác. “*Lý thuyết mạch tín hiệu tập I, II*”, Học Viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, (2000).
- [2]. Võ Minh Chính. “*Điện tử công suất*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, (2004).
- [3]. Phạm Minh Hà. “*Kỹ thuật mạch điện tử*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, (1997).
- [4]. 2.Пугачёв В. С. *Основы автоматического управления*. Наука М, (1974).

ABSTRACT

Researching, designing, manufacturing the wide bandwidth input voltage measurement module using the parameter test of the fire drive on device

This paper presents a method of designing and manufacturing a wide range input voltage measurement module on the basis of integrating electronic circuits for signal processing and processing. The parameters of the integrated circuit are calculated and designed in accordance with the problem of collecting and processing signals from the rocket's steering machine to ensure a wide range of input voltage, linearity and accuracy.

Keywords: Broadband bandwidth; Electronic circuits; Integrated circuits; Rocket propeller parameters.