



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
2-0001921

(51)⁷ **H02N 15/00**

(13) **Y**

(21) 2-2009-00252

(22) 30.12.2009

(45) 25.12.2018 369

(43) 27.02.2011 275

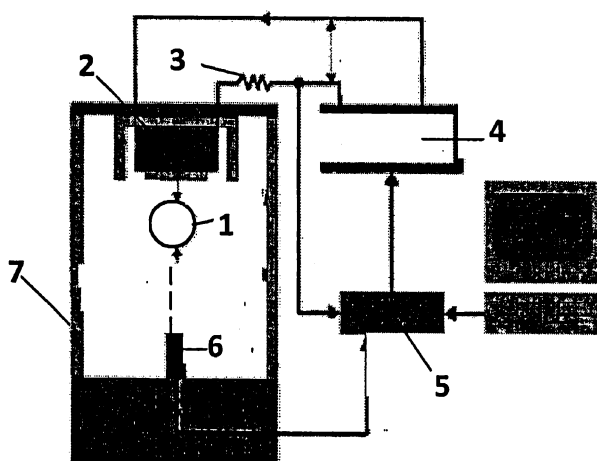
(73) **ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH (VN)**

Phường Linh Trung, quận Thủ Đức, thành phố Hồ Chí Minh

(72) Nguyễn Đức Thành (VN), Nguyễn Tấn Lũy (VN), Nguyễn Hữu Tân (VN)

(54) **HỆ THỐNG NÂNG VẬT TRONG TỪ TRƯỜNG**

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất hệ thống nâng vật trong từ trường được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật và đời sống như các đệm từ triệt tiêu ma sát ở các ổ trục quay thay cho các ổ đỡ cơ khí truyền thống, cách ly dao động giữa các bộ phận máy móc hoặc máy móc với môi trường bên ngoài, các phương tiện giao thông chạy trên đệm từ với tốc độ cao. Hệ thống nâng vật trong từ trường này bao gồm khoang chứa bên trong có chứa cảm biến vị trí viên bi đặt trong đế hình trụ liên kết với đáy khoang chứa, cuộn nam châm điện đặt phía trên, không gian để nâng bi thép giữa cảm biến vị trí viên bi và nam châm điện; giao tiếp với cuộn nam châm điện là bộ nguồn công suất; giao tiếp với cảm biến vị trí viên bi là mạch tích hợp đo khoảng cách; phần mềm điều khiển tích phân tỉ lệ cộng với vận tốc (Proportional-plus-integral-plus-Velocity - PIV) cho phép điều khiển nâng vật trong từ trường trực tiếp từ máy.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến lĩnh vực điều khiển tự động, cụ thể là đề cập đến mô hình nâng vật trong từ trường bao gồm mô hình phần cứng và phần mềm điều khiển.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Các mô hình dùng để cài đặt các thuật toán điều khiển trong lĩnh vực tự động hóa đòi hỏi chất lượng rất cao về kỹ thuật, thường chỉ được sản xuất từ nước ngoài. Các mô hình trong nước thực hiện thường thiếu tính đồng bộ, chuyên sâu dẫn đến nhiều thông số kỹ thuật thiếu chuẩn xác. Nhu cầu về các thiết bị thí nghiệm phục vụ giảng dạy trong các trường đại học, cao đẳng rất lớn, các mô hình hiện đại thường phải mua ở nước ngoài với giá rất đắt và chưa hoàn toàn phù hợp với nhu cầu thực tế tại nước ta, do đó Phòng Thí nghiệm Điều khiển tự động đã tập trung nghiên cứu chế tạo các mô hình thí nghiệm để sử dụng trong nước.

Bằng độc quyền giải pháp hữu ích Mỹ số US 6739938 B2 thể hiện hệ thống nâng vật trong từ trường liên quan đến thiết bị treo từ ổn định cơ khí dành riêng cho mô hình, đồ chơi hoặc các vật thể thiết kế. Hệ thống nâng vật trong từ trường này tuy khá đơn giản nhưng thiếu các tính năng mềm dẻo như điều khiển vật di chuyển bám theo quỹ đạo cho trước (ví dụ chiều cao) và vì thiếu các mạch điện tử phần cứng giao tiếp nên không thể điều khiển trực tiếp hệ thống từ máy tính cũng như đưa kết quả từ phần cứng lên máy tính do đó khó sử dụng trong các nghiên cứu chuyên sâu về lĩnh vực điều khiển tự động nâng vật trong từ trường.

Thuật toán điều khiển để giữ viên bi ở vị trí cân bằng (lơ lửng trong không gian) đã được rất nhiều nhà khoa học, nghiên cứu, sinh viên,... quan tâm. Mục tiêu là từ mô hình này các ứng dụng về đệm từ trường được nghiên cứu, phát triển. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam điều khiển nâng vật trong từ trường đa số chỉ dừng lại bằng mô phỏng số trên máy tính. Điều này ảnh hưởng rất nhiều đến kết quả nghiên cứu và phát triển ứng dụng thực. Theo tìm hiểu thông tin của nhóm tác giả, hiện nay ở Việt nam chưa có một sản phẩm nào liên quan đến mô hình nâng vật trong từ trường được công bố.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích chính của giải pháp hữu ích là đề xuất hệ thống nâng vật trong từ trường áp dụng trong lĩnh vực đào tạo, thí nghiệm trong các ngành cơ khí, điện tử, tự động hóa,... ở Việt Nam. Hệ thống nâng vật trong từ trường có đầy đủ các chức năng để điều khiển nâng vật thí nghiệm trong không gian bao gồm một nam châm điện từ, đặt ở phần trên của khoang chứa, chịu trách nhiệm nâng bi thép lên khỏi cột và treo bi lơ lửng trong không khí. Hệ thống này bao gồm hai tín hiệu hồi tiếp. Một là tín hiệu hồi tiếp dòng và một là tín hiệu hồi tiếp vị trí của bi phía trên cột. Tín hiệu điều khiển đến nam châm điện thông qua bộ nguồn khuếch đại công suất. Điều khiển nâng vật trong từ trường có thể thực hiện từ phần mềm trên máy tính, các dữ liệu thí nghiệm từ hệ thống cũng được thu thập và vẽ đồ thị so sánh trên máy tính.

Theo một khía cạnh khác của giải pháp hữu ích, bộ nguồn công suất tạo tín hiệu khuếch đại không thể sử dụng các linh kiện điện tử chuyên dùng hiện có mà phải chế tạo mạch tích hợp.

Theo một khía cạnh khác nữa của giải pháp hữu ích, phần mềm điều khiển tích phân tỷ lệ cộng với vận tốc (Proportional-plus-Integral-plus-Velocity) gọi tắt là PIV đáp ứng các yêu cầu cao về chất lượng điều khiển.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 thể hiện sơ đồ hệ thống nâng vật trong từ trường theo giải pháp hữu ích;

Hình 2 thể hiện sơ đồ nguyên lý mạch đo khoảng cách giữa bi và cảm biến theo giải pháp hữu ích;

Hình 3 thể hiện sơ đồ nguyên lý mạch nguồn theo giải pháp hữu ích;

Hình 4a thể hiện giao diện điều chỉnh độ lớn cường độ dòng điện và Hình 4b thể hiện giao diện điều chỉnh độ lệch cảm biến của hệ thống theo giải pháp hữu ích; và

Hình 5 thể hiện sơ đồ điều khiển dùng phần mềm PIV theo giải pháp hữu ích.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Trên Hình 1, hệ thống nâng vật trong từ trường là một hệ thống treo bằng từ trường để giữ một bi thép 1. Hệ thống này bao gồm một nam châm điện từ 2, đặt ở phần trên của

khoang chứa 7, để nâng bi thép 1 lên khỏi cột và treo bi lơ lửng trong không khí. Hệ thống theo giải pháp hữu ích có sử dụng hai tín hiệu hồi tiếp, tín hiệu thứ nhất là tín hiệu hồi tiếp dòng và tín hiệu thứ hai là tín hiệu hồi tiếp vị trí của bi thép 1 phía trên cột. Trong quá trình điều khiển, bi thép 1 được nâng lên bởi lực hút nam châm điện. Hệ thống điều khiển sẽ duy trì vị trí của bi thép 1 lơ lửng trong không khí và điều khiển bi thép 1 đến một vị trí mong muốn trong không gian giới hạn. Nam châm điện 2 cho dòng điện đi qua. Bộ nguồn công suất 4 tạo điện áp giữa hai đầu nam châm điện 2. Một cảm biến dòng 3 được mắc nối tiếp với nam châm điện 2. Một cảm biến 6 phát hiện vị trí viên bi thép 1 đặt trong khoang chứa 7. Sau khi khuyếch đại, tín hiệu từ hai cảm biến này sẽ dẫn đến ngõ vào tương tự/số của bộ thu thập dữ liệu 5. Thuật toán điều khiển là phần mềm chạy trên máy tính, tín hiệu điều khiển từ máy tính được xuất ra ngõ ra của bộ điều khiển 5 đến nguồn công suất 4.

Một ví dụ về hệ thống nâng vật trong từ trường cụ thể như sau:

Khoang chứa 7: cao 0,277m, rộng 0,153m, sâu 0,153m; khung này bao gồm ba khoang: khoang trên cùng chứa nam châm điện, khoang giữa chứa viên bi và cảm biến khoảng cách, khoang dưới chứa mạch cảm biến.

Thông số kỹ thuật của bi thép 1 được mô tả ở Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1

Ký hiệu	Miêu tả	Giá trị	Đơn vị
r_b	Bán kính viên bi 1	1,27 E – 02	M
M_b	Khối lượng viên bi 1	0,068	Kg
T_b	Quãng đường di chuyển của bi 1	0,014	m
G	Trọng trường trái đất	9,81	m/s ²
μ_0	Hằng số từ thẩm chân không	4π E – 07	H/m

Nam châm điện 2 là một cuộn dây có lõi được bao quanh bởi 2450 vòng dây, thông số cuộn dây được thể hiện ở Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2

Ký hiệu	Miêu tả	Giá trị	Đơn vị
I_{C_max}	Dòng điện lớn nhất qua cuộn dây	3	A
L_C	Tự cảm của cuộn dây	0,4125	H
R_C	Điện trở cuộn dây	10	Ω
l_C	Chiều dài cuộn dây	0,0825	m
r_C	Bán kính cuộn dây	0,008	m
K_m	Hằng số lực từ	6,5308 E -5	$N.m^2 / A^2$

Bộ nguồn công suất 4 có kích thước với chiều rộng là 200mm, chiều sâu là 200mm, chiều cao mặt trước là 200mm, chiều cao mặt sau là 250mm.

Cảm biến vị trí 6 là loại transistor quang NPN đo cường độ ánh sáng để biết được vị trí của viên bi 1. Cảm biến được đặt ở phía dưới của viên bi 1 và đầu ra tuyến tính với vị trí của viên bi. Độ nhạy là 2,83E -3m/V. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của mạch đo khoảng cách từ viên bi đến cảm biến trên Hình 2 với các chức năng của các thành phần Q1 là cảm biến đo khoảng cách. Trong đó, U2A để đệm tín hiệu từ cảm biến vào tránh hiện tượng suy hao tín hiệu trên đường truyền tín hiệu. U2B để khuếch đại tín hiệu với độ lợi thay đổi được. U2C để bù độ lệch cho tín hiệu. U2D để lọc nhiễu tín hiệu.

Các thông số kỹ thuật của mạch: điện áp vào 12V và -12V, điện áp ra 0~5V, công suất tiêu thụ 0,2W.

Bộ nguồn công suất 4 có sơ đồ nguyên lý mạch tích hợp ở trên Hình 3 dùng để khuếch đại tín hiệu điều khiển điện áp giữa hai đầu cuộn dây. Trong đó, U1A để khuếch đại tín hiệu đầu vào, U1B để hiệu chỉnh tín hiệu để đảm bảo điện áp đầu ra cho phần tử chấp hành bằng hai lần tín hiệu vào, U1C để đo dòng điện qua phần tử chấp hành, U1D để đo điện áp trên phần tử chấp hành, Q1, Q2, Q3, Q4 để khuếch đại công suất. điện áp vào 0~10V, điện áp ra 0~24V, dòng điện ra 0~2A, công suất tiêu thụ 50W.

Một ví dụ về bộ nguồn công suất 4 có kích thước : chiều rộng 200mm, chiều sâu 200mm, chiều cao mặt trước 200mm, chiều cao mặt sau 250mm.

Bộ thu thập dữ liệu 5 (ví dụ là bộ PCI 1711 của hãng Advantech) dùng để biến đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số và ngược lại, thu thập vị trí của bi, dòng điện qua cuộn dây và xuất tín hiệu điều khiển.

Hình 4a thể hiện giao diện điều chỉnh độ lớn (gain) và Hình 4b thể hiện giao diện điều chỉnh độ lệch. Trong đó, Select để chọn dòng điều khiển, Multiport để chọn nhiều cổng, PI_current để chọn dòng tích phân tỷ lệ, Vb để hiển thị giá trị điện áp, Ic để hiển thị cường độ dòng điện. Phần mềm điều khiển thông số có giao diện như Hình 4a, khi nhập giá trị 1 vào ô Select, cho hệ thống chạy, chỉnh hệ thống để Vb đạt giá trị Zero. Nhập giá trị 1 vào ô Select, cho hệ thống chạy, viên bi sẽ bị hút dính vào cuộn dây, chỉnh hệ thống để Vb đạt giá trị bằng 4,95, khi đó Ic sẽ chỉ 2,0A.

Phần mềm điều khiển PIV chạy trên nền phần mềm thương mại MATLAB nhằm điều khiển và theo dõi vị trí của bi thép 1 trong không gian có giao diện trên Hình 5 bao gồm thuật toán điều khiển dựa vào sai số vận tốc cho vòng trong và sai số vị trí cho vòng ngoài.

Trong đó x_{b_des} là tín hiệu tham chiếu, x_b là vị trí thực của bi thép 1. K_{ff_b} , $\frac{K_{i_b}}{s}$, K_{p_b} , K_{v_b} là các khối chứa thuật toán điều khiển. $G_m(s)$ là mô hình của hệ thống nâng vật trong từ trường. I_{c_ff} , I_{c_l} và I_{c_des} là các tín hiệu điều khiển. Chức năng điều khiển của PIV được giải thích dưới đây.

Theo như sơ đồ trên Hình 5, dòng truyền thẳng được tính bởi công thức:

$$I_{c_ff} = K_{ff_b} x_{b_des} \quad (I)$$

và

$$I_{c_des} = I_{c_l} + I_{c_ff} \quad (II)$$

Trong trường hợp này vì bộ điều khiển PIV được thiết kế để bù các sai lệch nhỏ (ví dụ như nhiễu) từ mô hình tuyến tính hóa quanh điểm cân bằng vị trí x_{b0} và điểm cân bằng dòng điện I_{c0} . Nói cách khác, bộ truyền thẳng bù cho sự phân cực trọng trường của bi, bộ điều khiển PIV được thiết kế để bù các nhiễu động học của bi.

Hàm truyền vòng hở $G_m(s)$ xem xét các đặc tính động của vòng điều khiển dòng điện qua nam châm được tính theo công thức:

$$G_m(s) = \frac{x_b}{I_{c_des}} \quad (\text{III})$$

hay

$$G_m(s) = T_c(s)G_b(s) \quad (\text{IV})$$

trong đó:

$$T_b(s) = \frac{x_b(s)}{I_c(s)} \quad (\text{V})$$

Tuy nhiên, để cho đơn giản ta bỏ qua việc xem xét đặc tính động học của vòng điều khiển dòng, từ đó: $I_{c_des} = I_c$ nghĩa là $T_c(s) = 1$.

Các hệ số trên Hình 5 được xác định bởi:

$$K_{p_b} = -\left(\frac{I_{c0}}{2g}\right)\left(p_{c1}p_{c2} + p_{c2}p_{c3} + p_{c3}p_{c1} + \frac{2g}{x_{b0}}\right) \quad (\text{VI})$$

$$K_{i_b} = -\frac{I_{c0}}{2g} p_{c1}p_{c2}p_{c3} \quad (\text{VII})$$

$$K_{v_b} \quad (\text{VIII})$$

trong đó p_{c1}, p_{c2}, p_{c3} được xác định từ phương trình đặc trưng như sau:

$$s^3 - (p_{c1} + p_{c2} + p_{c3})s^2 + (p_{c1}p_{c2} + p_{c2}p_{c3} + p_{c3}p_{c1})s + p_{c1}p_{c2}p_{c3} = 0 \quad (\text{IX})$$

Thuật toán phần mềm điều khiển PIV được mô tả như sau:

- Bước 1: Gán biến sai số vị trí $e(0) = 0$, biến sai số tích phân $Int(0) = 0$, giá trị cho K_{v_b} , K_{p_b} , K_{i_b} , K_{ff_b} , gán biến chạy $k = 1$, gán giá trị đặt mong muốn x_{b_des} , thời gian lấy mẫu dt .
- Bước 2: Tính sai số vị trí viên bi 1 so với giá trị đặt: $e(k) = x_{b_des} - x_b$, trong đó vị trí thực tế của bi 1 được phát hiện bởi cảm biến phát hiện vị trí bi 6; gán biến nhớ trung

gian $Int(k) = Int(k-1) + e(k) * dt$, tính sai số vận tốc gán vào biến $Dev(k) = (e(k) - e(k-1)) / dt$.

- Bước 3: Tính giá trị dòng điều khiển $I_{cl} = K_{p_b} * e(k) + K_{i_b} * Int(k) + K_{v_b} * Dev(k)$.
- Bước 4: Tính giá trị dòng điều khiển mong muốn $I_{c_des} = I_{cl} + K_{ff_b} * x_{b_des}$.
- Bước 5: Cấp dòng điều khiển I_{c_des} cho nam châm điện 2, qua nguồn công suất 4 bi 1 sẽ được di chuyển đến vị trí trong không gian; thu thập dữ liệu về máy tính để vẽ đồ thị thông qua bộ thu thập dữ liệu 5.
- Bước 6: $k = k + 1$, quay trở lại Bước 2 cho đến khi sai số $e(k) = 0$.

Khi sử dụng sóng vuông lưỡng cực +/-1mm làm vị trí mong muốn so với vị trí cân bằng, đáp ứng vị trí của bi thoả mãn các yêu cầu sau:

1. Độ vọt lố (percent of overshoot) không vượt quá 15%, nghĩa là $PO \leq 15\%$.
2. Không có sai số xác lập tĩnh.
3. Thời gian lên không vượt quá 1s, nghĩa là $t_{s_b} \leq 1s$.
4. Bộ khuếch đại công suất (4) không cho tín hiệu điều khiển đi vào vùng bão hoà trong bất cứ trường hợp nào.

Phần mềm cho phép điều khiển nâng vật trong từ trường trực tiếp từ máy tính và các dữ liệu thí nghiệm từ hệ thống được thu thập và vẽ đồ thị để so sánh nghiên cứu.

Bộ nguồn công suất, cảm biến và mạch cảm biến, cáp giao tiếp từ bộ thu thập dữ liệu với bộ nguồn được thiết kế và tích hợp tại DCSELAB. Điều này dẫn đến giá thành giảm đi vài chục lần so với thiết bị ngoại nhập và có thể gia công hàng loạt. Phần mềm điều khiển được lập trình tại DCSELAB chạy trên nền MATLAB dễ dàng cho các đối tác để phát triển các ứng dụng sau này.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống nâng vật trong từ trường bao gồm khoang chứa bên trong có chứa cảm biến vị trí viên bi đặt trong đế hình trụ liên kết với đáy khoang chứa, cuộn nam châm điện đặt phía trên, không gian để nâng bi thép giữa cảm biến vị trí viên bi và nam châm điện; giao tiếp với cuộn nam châm điện là bộ nguồn công suất; giao tiếp với cảm biến vị trí viên bi là mạch tích hợp đo khoảng cách; phần mềm điều khiển tích phân tỉ lệ cộng với vận tốc (Proportional-plus-Integral-plus-Velocity - PIV) cho phép điều khiển nâng vật trong từ trường trực tiếp từ máy tính theo các bước như sau:

Bước 1: gán biến sai số vị trí $e(0)=0$, biến sai số tích phân $Int(0)=0$, giá trị cho K_{v_b} , K_{p_b} , K_{i_b} , K_{ff_b} , gán biến chạy $k=1$, gán giá trị đặt mong muốn x_{b_des} , thời gian lấy mẫu dt ;

Bước 2: tính sai số vị trí viên bi so với giá trị đặt: $e(k)=x_{b_des}-x_b$, trong đó vị trí thực tế của viên bi được phát hiện bởi cảm biến phát hiện vị trí viên bi; gán biến nhớ trung gian $Int(k)=Int(k-1)+e(k)*dt$, tính sai số vận tốc gán vào biến $Dev(k)=(e(k)-e(k-1))/dt$;

Bước 3: tính giá trị dòng điều khiển $I_{c1}=K_{p_b}*e(k)+K_{i_b}*Int(k)+K_{v_b}*Dev(k)$;

Bước 4: tính giá trị dòng điều khiển mong muốn $I_{c_des}=I_{c1}+K_{ff_b}*x_{b_des}$;

Bước 5: cấp dòng điều khiển I_{c_des} cho nam châm điện, qua nguồn công suất thì viên bi sẽ được di chuyển đến vị trí trong không gian; thu thập dữ liệu về máy tính để vẽ đồ thị thông qua bộ thu thập dữ liệu; và

Bước 6: $k=k+1$, quay trở lại Bước 2 cho đến khi sai số $e(k)=0$;

Trong đó:

x_{b_des} là tín hiệu tham chiếu;

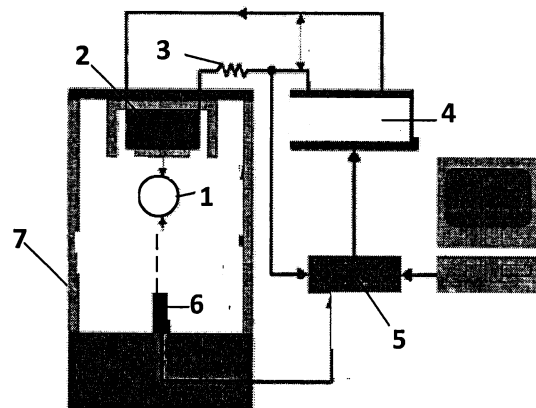
x_b là vị trí thực của viên bi thép;

K_{ff_b} , $\frac{K_{i_b}}{S}$, K_{p_b} , K_{v_b} là các khối chứa thuật toán điều khiển;

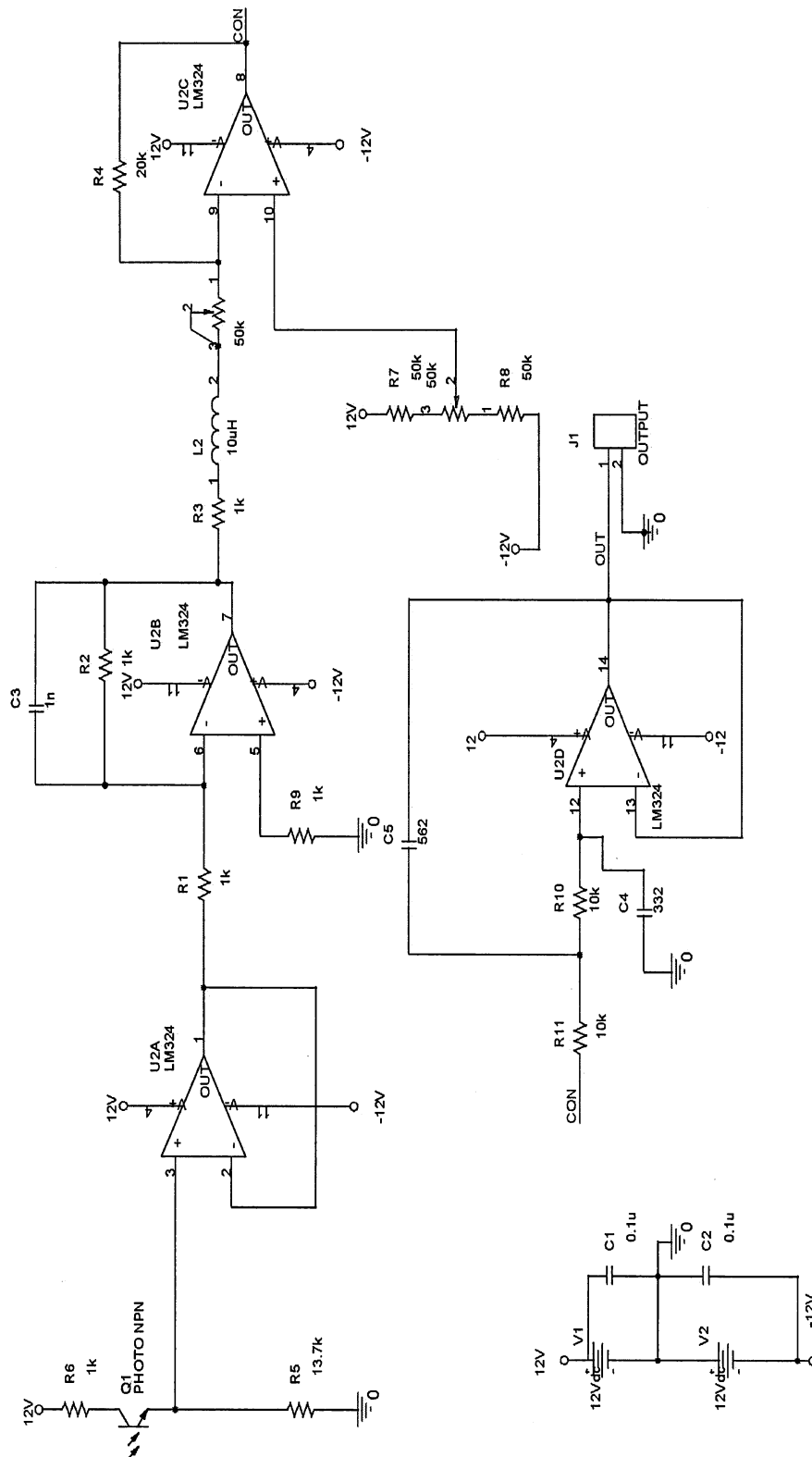
$G_m(S)$ là mô hình của hệ thống nâng vật trong từ trường;

I_{c_ff} , I_{c_l} và I_{c_des} là các tín hiệu điều khiển.

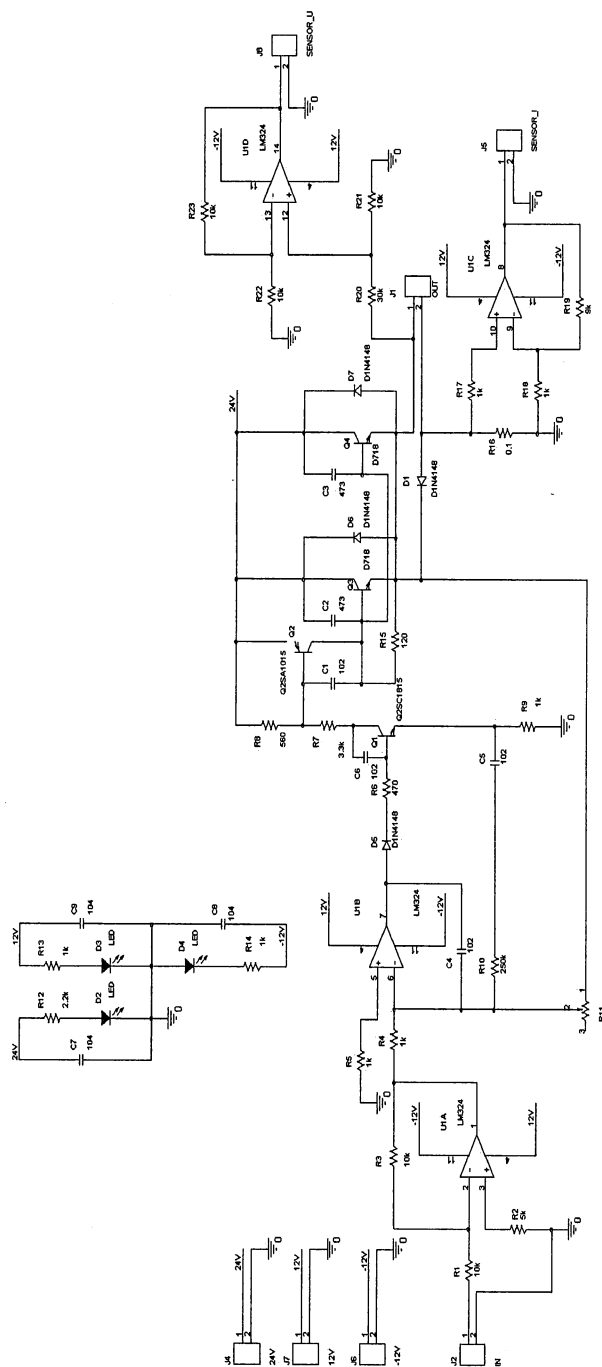
2. Hệ thống nâng vật trong từ trường theo điểm 1, trong đó bộ nguồn công suất chứa mạch tích hợp có các thông số kỹ thuật: điện áp vào là 12V và -12V, điện áp ra là 0~5V, công suất tiêu thụ là 0,2W.
3. Hệ thống nâng vật trong từ trường theo điểm 1, trong đó mạch đo khoảng cách giữa viên bi và cảm biến có các thông số kỹ thuật: điện áp vào là 12V và -12V, điện áp ra là 0~5V, công suất tiêu thụ là 0,2W.
4. Hệ thống nâng vật trong từ trường theo điểm 1, trong đó phần mềm điều khiển PIV để điều khiển viên bi thép trong không gian khi sử dụng tín hiệu tham chiếu là sóng vuông lưỡng cực +/-1mm so với vị trí cân bằng, đáp ứng vị trí của viên bi thoả mãn các yêu cầu: độ vọt lố không vượt quá 15%, không có sai số xác lập tĩnh, thời gian lên không vượt quá 1s.



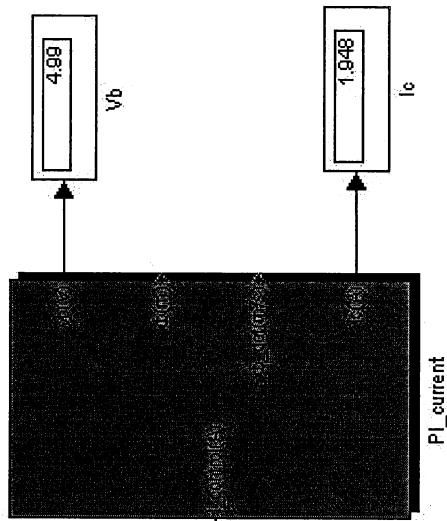
Hình 1.



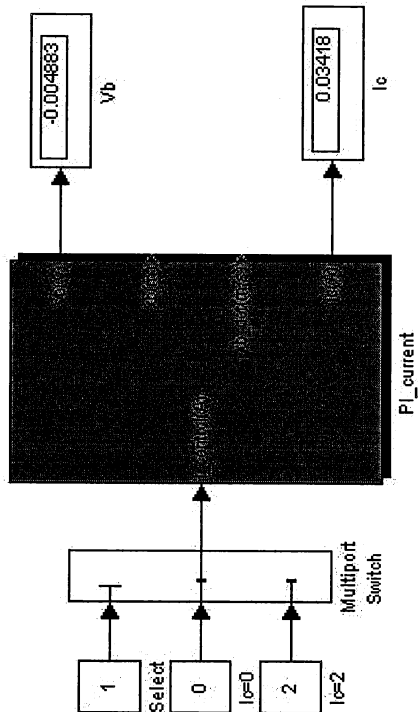
Hình 2



Hình 3

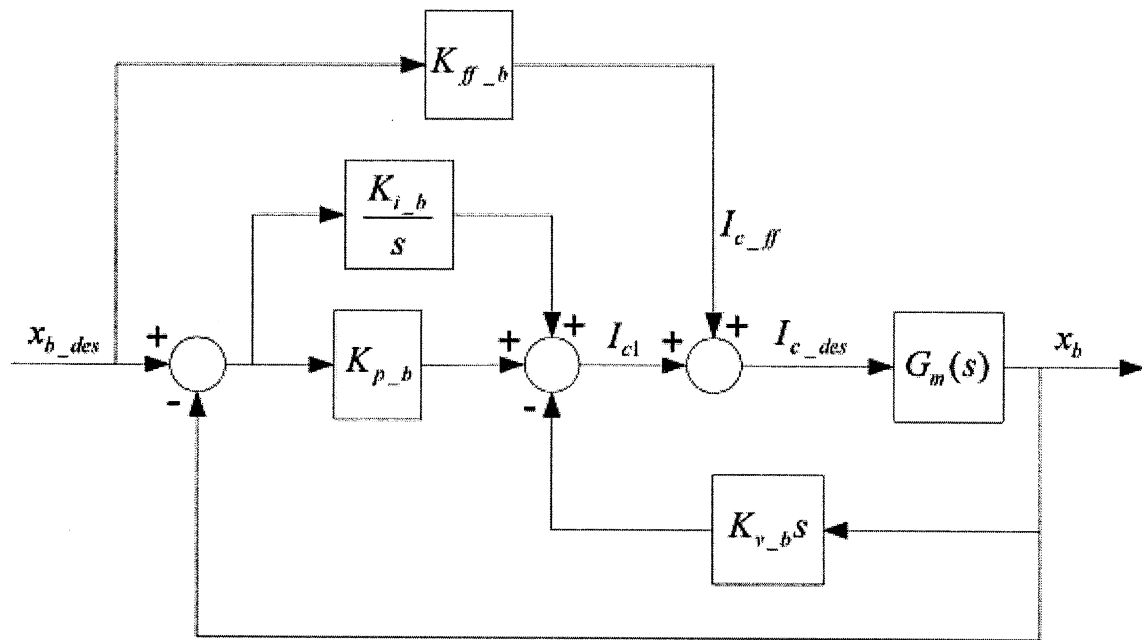


(b)



(a)

Hình 4



Hình 5