



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

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

(11)



1-0049508

(51)^{2019.01} G01P 15/00

(13) B

(21) 1-2020-00602

(22) 04/02/2020

(45) 25/08/2025 449

(43) 25/05/2020 386A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)

Lô D26 khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

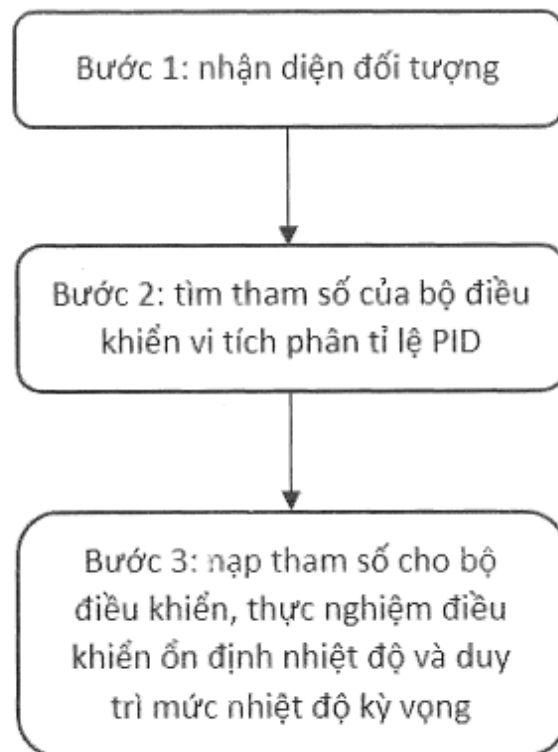
(72) Nguyễn Đức Anh (VN); Đặng Văn Huân (VN); Đinh Quang Trung (VN); Dương Trường Quang (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP ỔN ĐỊNH NHIỆT RIÊNG PHẦN TRONG CẢM BIẾN QUÁN
TÍNH SỬ DỤNG CHO KHÍ CỤ BAY

(21) 1-2020-00602

(57) Phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay bao gồm ba bước cụ thể như sau: bước 1: nhận diện mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt cảm biến quán tính; bước 2: tìm tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID; bước 3: nạp tham số cho bộ điều khiển, thực nghiệm điều khiển ổn định nhiệt độ và duy trì mức nhiệt độ kỳ vọng. Căn cứ vào các thông tin nhiệt độ môi trường bên ngoài và công suất của bơm nhiệt điện mà cảm biến quán tính ổn định nhiệt riêng phần có khả năng giải thuật, tính toán và tự xác định nhiệt độ kỳ vọng trong suốt quá trình hoạt động. Khi điều kiện mới xuất hiện (nhiệt độ môi trường thay đổi lớn hoặc công suất hoạt động của bơm nhiệt điện quá lớn) cảm biến quán tính ổn định nhiệt riêng phần sẽ tính toán, xác lập lại nhiệt độ kỳ vọng mới. Đồng thời, hệ thống cũng tự thay đổi các tham số điều khiển nhiệt độ và các tham số bù sai cho cảm biến quán tính.



Hình 6

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế được đề xuất phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay. Cụ thể, quá trình ổn định nhiệt được thực hiện độc lập cho từng cảm biến quán tính trong thiết bị được tích hợp nhiều cảm biến quán tính, với các nhiệt độ được chọn tự động và có thể thay đổi trong quá trình hoạt động, do đó hệ thống tiêu thụ công suất thấp mà vẫn đạt được hiệu năng cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Cảm biến quán tính được ứng dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực và đặc biệt là một thành phần quan trọng trong các hệ thống định vị, dẫn đường, điều khiển hàng không. Vì vậy, có rất nhiều nhà khoa học nghiên cứu với các công trình nghiên cứu đã được công bố.

Mỗi loại công nghệ chế tạo cảm biến quán tính (công nghệ quang, công nghệ cơ, công nghệ laser, công nghệ vi cơ...) có những ưu nhược điểm riêng về tính bền vững, thẩm mỹ, kích cỡ, công suất, giá thành, khả năng chống chịu rung xóc. Trong thời đại hiện nay công nghệ vi cơ điện tử (MEMS) được sử dụng khá phổ biến do sự ưu việt về giá thành rẻ, khả năng chịu rung xóc cao, kích cỡ nhỏ gọn... Nhưng bên cạnh đó, công nghệ vi cơ điện tử tồn tại nhược điểm chính là chịu ảnh hưởng lớn bởi yếu tố nhiệt độ. Để nâng cao độ chính xác của các loại cảm biến quán tính (đặc biệt công nghệ MEMS) có một số nghiên cứu đã được công bố để hạn chế sự ảnh hưởng của nhiệt độ và đưa ra các giải pháp ổn định nhiệt cho cảm biến quán tính trong quá trình hoạt động, cụ thể như sau:

Sáng chế số 3241603, Nhật Bản ngày 22/03/1966 của Minoru Nagata mô tả một hệ thống kiểm soát nhiệt độ tự động để ổn định nhiệt ở một vùng xác định với sự kết hợp nguồn năng lượng nhiệt, máy sưởi, rơ-le, bộ phận làm mát, cảm biến nhiệt.

Bằng sáng chế số WO 2017/142716A1, Hoa Kỳ ngày 24/08/2017 của Jeremy đưa ra giải pháp thiết kế để ổn định nhiệt cho khối đo lường quán tính.

Sáng chế số 853371B1, Hoa Kỳ ngày 12/11/2013 của Lockheed Martin điều khiển ổn định nhiệt kết hợp với các thông tin từ cảm biến ngoài và để giảm sai số nhiệt gây ra bằng cách sử dụng bộ lọc Kalman để liên tục ước lượng.

Để giảm sai số do nhiệt độ gây ra và ít tiêu hao công suất, loại bỏ ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường lên khối cảm biến quán tính, nhóm tác giả đề xuất phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay. Do đó, đây là phương án không giống bất kỳ sáng chế nào đã từng được công bố.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay. Hệ thống tự xác lập nhiệt độ kỳ vọng căn cứ vào nhiệt độ môi trường, dòng phản hồi từ bộ phận điều khiển nhiệt độ, sau khi xác lập được nhiệt độ kỳ vọng thì hệ thống cố gắng duy trì nhiệt độ này trong quá trình làm việc, đồng thời tiến hành bù nhiệt cho cảm biến với giá trị bù tương ứng với nhiệt độ kỳ vọng trên.

Để đạt được mục đích trên, phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay bao gồm ba bước cụ thể như sau: bước 1: nhận diện mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt; bước 2: tìm tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID; bước 3: nạp tham số cho bộ điều khiển, thực nghiệm điều khiển ổn định nhiệt độ và duy trì mức nhiệt độ kỳ vọng.

Quá trình làm việc của thiết bị sản sinh ra nhiệt và quá trình này cũng chịu sự ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường. Nhiệt lượng này theo thời gian sẽ gây ra mất cân bằng nhiệt độ trên cảm biến quán tính. Khi đó, cụm xử lý trung tâm của thiết bị cảm biến quán tính sẽ tự tính toán, xác lập lại nhiệt độ kỳ vọng mới và cố gắng duy trì ổn định nhiệt độ tại điểm nhiệt độ kỳ vọng này. Bên cạnh đó, hệ thống của thiết bị cảm biến còn có chức năng bù sai số cho từng cảm biến quán tính do sự ảnh hưởng của nhiệt độ gây ra. Hệ thống có bốn bộ ổn định nhiệt hoạt động độc lập với nhau. Các thông số khởi tạo, điều khiển, nhiệt độ kỳ vọng... của các kênh hoàn toàn khác nhau tùy thuộc vào đặc tính riêng của các bộ điều khiển, các giá trị thu thập từ cảm biến môi trường và phản hồi từ bơm nhiệt điện trên các bộ ổn định nhiệt đó. Phương pháp này sẽ giảm được công suất tiêu thụ so với phương pháp ổn định nhiệt cho toàn bộ thiết bị. Điều này phù hợp với điều kiện giới hạn về công suất tiêu thụ và không gian phối trí của khí cụ bay. Toàn bộ quá trình tính toán, lựa chọn nhiệt độ kỳ vọng, thu thập dữ liệu sẽ được đảm nhiệm bởi bộ xử lý trung tâm. Điểm xác định nhiệt độ kỳ vọng phải nằm trong dải hoạt động ổn định của cảm biến quán tính, để giảm được sự sai số do nhiệt độ gây ra.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ minh họa các bộ phận chính của cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay;

Hình 2 là sơ đồ nguyên lý cơ cấu ổn định nhiệt;

Hình 3 là hình vẽ minh họa sự phụ thuộc nhiệt độ cảm biến quán tính vào dòng điện điều khiển;

Hình 4 là hình vẽ minh họa sự xác định tham số bộ điều khiển bằng mô hình hóa;

Hình 5 là hình vẽ minh họa kết quả hoạt động thực nghiệm của bộ điều khiển;

Hình 6 là hình vẽ minh họa các bước của phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính dùng cho khí cụ bay.

Mô tả chi tiết sáng chế

Nội dung được đề cập trong sáng chế là phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính dùng cho khí cụ bay. Để thực hiện phương pháp trong sáng chế, cần bốn bộ điều khiển nhiệt độ độc lập tương ứng với bốn cảm biến quán tính gia tốc kế. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động cơ bản của các bộ điều khiển là như nhau.

Tham chiếu hình 1, cấu tạo của cảm biến quán tính có các bộ phận cơ bản sau: bộ xử lý trung tâm 1 là nơi thực hiện toàn bộ việc thu thập, xử lý các thông tin của hệ thống. Trong đó, phần tử chip 5CEBA4F23C7N 1.1 là thành phần cơ bản, điều khiển mọi hoạt động hệ thống. Bo mạch kết nối 2 có các giác liên kết 2.1 dùng để giao tiếp và truyền tải thông tin cho các bo mạch và các bộ phận khác. Bo mạch điều khiển nhiệt độ 3 có các mạch tích hợp nguồn 3.1 và mạch tích hợp chuyên dụng 3.2 dùng để điều khiển dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện 3.3, khu vực kết nối cảm biến nhiệt độ môi trường 3.4 là vị trí liên kết các cảm biến nhiệt điện trở (dùng để đo nhiệt độ môi trường). Bo mạch gia tốc kế 4 có chứa các gia tốc kế 4.1, là khu vực cần được ổn định nhiệt độ. Vỏ thiết bị 5 làm nhiệm vụ tản nhiệt được tiếp xúc với một mặt của bơm nhiệt điện 3.3 trong khi mặt còn lại của bơm nhiệt điện được gắn lên gia tốc kế 4.1.

Ngoài ra, thiết bị sử dụng giác kết nối 6 để nhận nguồn cấp và truyền tải thông tin giao tiếp với thiết bị khác. Thiết bị dùng nguồn đầu vào 5V cho các cảm biến quán tính và 27V cho môđun điều khiển ổn định nhiệt độ. Bản tin giao tiếp Mavlink được thiết lập với tốc độ 80HZ, tốc độ 1000000bps UART (Universal asynchronous receiver transmitter - bộ truyền nhận nối tiếp bất đồng bộ).

Quá trình hoạt động của thiết bị làm cho nhiệt độ bên trong hệ thống thay đổi, đồng thời do ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường dẫn tới khối cảm biến quán tính làm việc ở nhiều điểm nhiệt khác nhau. Đối với các cảm biến quán tính, đặc biệt là cảm biến quán tính công nghệ MEMS, sự thay đổi nhiệt độ sẽ gây ra sự biến dạng của bộ phận đàn hồi trong phần tử cảm nhận và từ đó sinh ra sai số do nhiệt độ. Vì vậy, việc chọn điểm nhiệt kỳ vọng (nhiệt độ thiết lập để làm việc) và việc ổn định nhiệt độ kỳ vọng này là cần thiết để giảm thiểu sai số, nâng cao độ chính xác của cảm biến. Dải nhiệt độ mà cảm biến quán tính hoạt động tốt là từ 20°C đến 40°C, vì vậy các điểm nhiệt độ kỳ vọng được chọn trong khoảng từ 20 °C đến 40 °C làm nhiệt độ xác lập cho việc ổn định nhiệt.

Thiết bị có hai bo mạch gia tốc kế 4, trên mỗi bo mạch có hai gia tốc kế 4.1. Vì vậy, hệ thống thiết bị cần ổn định nhiệt cho bốn gia tốc kế và tương đương với bốn bộ điều khiển nhiệt độ tương ứng. Nguyên lý ổn định nhiệt riêng phần trên các bộ điều khiển nhiệt độ là độc lập và hoạt động cơ bản như sau:

Bộ xử lý trung tâm 1 thu thập các dữ liệu từ các cảm biến nhiệt độ môi trường T_a (cảm biến nhiệt độ môi trường NTC), thông tin dòng điện phản hồi I_c (dòng điện cấp xuống bơm nhiệt điện 3.3) và thực hiện giải thuật, tính toán, lựa chọn điểm nhiệt độ kỳ vọng T_d phù hợp sao cho đảm bảo được công suất dòng tiêu thụ của bơm nhiệt điện 3.3 và nhiệt độ môi trường T_a (tham chiếu hình 1 và hình 2).

Khi có sự chênh lệch giữa nhiệt độ môi trường T_a và nhiệt độ kỳ vọng T_d một giá trị dT , bộ xử lý trung tâm 1 được tích hợp bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID. Khi đó, bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID sẽ điều khiển điện áp U_c (tương ứng với sự chênh lệch nhiệt độ dT) cấp cho mạch tích hợp chuyên dụng 3.2 (1).

$$U_c = F(dT) \quad (1)$$

Trong đó,

U_c – điện áp cấp cho mạch tích hợp chuyên dụng, đơn vị: V;

dT – sự chênh lệch nhiệt độ môi trường T_a và nhiệt độ kỳ vọng T_d , đơn vị: °C.

Sau khi đi qua mạch tích hợp chuyên dụng 3.2, tín hiệu dòng điện I_c được cấp cho bơm nhiệt điện 3.3 và thông tin dòng điện này cũng được phản hồi về bộ xử lý trung tâm 1 để kiểm tra xác lập tính toán nhiệt độ kỳ vọng T_d . Sự phụ thuộc dòng điện vào điện áp điều khiển như công thức:

$$I_c = (U_c - 1,5).2,5$$

(2)

Trong đó, I_c - dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện, đơn vị: A. Phạm vi dòng điện từ -1,6A đến 1,6A.

Khi đó bơm nhiệt điện 3.3 sản sinh ra sự chênh lệch nhiệt lượng giữa hai mặt bơm nhiệt điện:

$$\Delta q = F(U_c)$$

(3)

Trong đó, Δq – Sự chênh lệch nhiệt lượng giữa hai mặt bơm nhiệt điện 3.3, đơn vị: J.

Lúc này bơm nhiệt điện 3.3 có một mặt nóng và một mặt lạnh. Một mặt của bơm nhiệt điện 3.3 được tiếp xúc với cảm biến gia tốc kế 4.1 và mặt còn lại tiếp xúc với vỏ thiết bị 5. Điều này cho phép việc trao đổi nhiệt độ giữa cảm biến gia tốc kế 4.1 và môi trường phía ngoài.

Khi xảy ra hiện tượng mất cân bằng về nhiệt độ (điều kiện mới xuất hiện) sự thay đổi của nhiệt độ môi trường T_a hoặc dòng điện phản hồi I_c vượt quá khả năng công suất bơm nhiệt điện 3.3. Bộ xử lý trung tâm 1 sẽ tự động giải thuật và xác lập lại nhiệt độ kỳ vọng T_d mới và bộ điều khiển điều chỉnh các tín hiệu điều khiển U_c và kéo nhiệt độ quán tính về điểm nhiệt độ kỳ vọng T_d mới này. Đồng thời, bộ xử lý trung tâm 1 cũng có chức năng bù sai số cho cảm biến quán tính do nhiệt độ gây ra.

Tham chiếu hình 6, với cấu tạo của thiết bị cảm biến quán tính như ở trên, phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay bao gồm ba bước, cụ thể như sau:

Bước 1: nhận diện mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt cảm biến quán tính.

Để thực hiện phương pháp ổn định nhiệt riêng phần cần nhận diện được phản ứng của nhiệt độ cảm biến thay đổi khi thay đổi tín hiệu điều khiển bơm nhiệt điện, với các nhiệt độ môi trường khác nhau. Ngoài ra, do hiệu suất của bơm nhiệt điện bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường xung quanh, ví dụ trong môi trường nóng, khả năng làm lạnh của bơm nhiệt có thể giảm dẫn đến tăng công suất và giảm hiệu quả làm mát, nên việc tính toán nhận diện mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt là cần thiết.

Tiến hành gửi lệnh cho bộ xử lý trung tâm 1 chuyển trạng thái hệ thống sang nhận diện đối tượng (đây là một bản tin giao tiếp Mavlink gửi từ bên ngoài vào thiết

bị, do con người điều khiển và được giải thuật ở bộ xử lý trung tâm 1). Khi đó, bộ xử lý trung tâm 1 gửi tín hiệu U_c tương ứng dòng điện I_{cc} (tín hiệu xung vuông thay đổi ngẫu nhiên) vào bơm nhiệt điện 3.3 và quan sát sự thay đổi nhiệt độ của cảm biến quán tính và tín hiệu dòng điện I_c phản hồi về (hình 3).

Từ tín hiệu dòng cấp I_{cc} và sự thay đổi nhiệt độ sẽ tiến hành nhận diện đối tượng. Sử dụng công cụ nhận diện hệ thống (System Identification) được hỗ trợ trong phần mềm MATLAB. Sau đó, nhập dữ liệu đầu vào (Import data) và vào các biến không gian làm việc (Workspace Variable), nhập tín hiệu đầu vào là dòng điện I_{cc} (Input:), đầu ra là sự thay đổi nhiệt độ (“Output:”) và tần số lấy mẫu (“Sample time:”) của hệ thống. Sau đó, kết quả đưa ra là hàm truyền của đối tượng cần nhận dạng và xác định được kết quả phù hợp nhất (Best Fits). Kết quả này được nhập vào môi trường Simulink để tiếp tục tìm tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID ở bước 2.

Bước 2: tìm tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID.

Bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID cấp điện áp U_c cho mạch tích hợp chuyên dụng 3.2 và mạch này sẽ điều khiển dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện 3.3 (theo ba khâu: tỉ lệ, tích phân và đạo hàm) theo công thức sau:

$$I_c = P + I_n + D \quad (1)$$

Trong đó,

Khâu tỉ lệ: $P = K_p.dT$

Khâu tích phân: $I_n = I_{n-1} + K_I.dT.dt$

Khâu đạo hàm: $D_n = K_D.dT/dt$

Các hệ số K_p , K_I và K_D là tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID (bộ điều khiển) tương đương điều khiển các khâu; dt là thời gian lấy mẫu của hệ thống. Dòng điện của khâu tích phân I_n và dòng điện phản hồi I_c của hệ thống được chặn trong dải từ -1.6A đến 1.6A.

Sử dụng môi trường Simulink (trong phần mềm MATLAB) để mô hình hóa và lựa chọn các điều kiện để tìm các tham số của bộ điều khiển. Tham chiếu hình 4, trong mô hình hóa chọn khối “bước” (step) làm nguồn kích thích và đặt nhiệt độ khởi tạo là 30°C và nhiệt độ kỳ vọng (kết thúc) là 20°C. Trong khối “kiểm tra tín hiệu mô hình có thỏa mãn giới hạn bước phản hồi” (Check Step Response Characteristics) thiết lập các

thông số về giá trị nhiệt độ kỳ vọng, nhiệt độ khởi tạo (trùng với các giá trị trong khối “bước”) và thiết lập các thông số về thời gian (“Rise time”, “Settling time”) và biên độ vượt dải (“Overshoot”), nhập các tham số khởi tạo K_p , K_I và K_D . Sau đó nhập mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt cảm biến quán tính thu được ở bước 1. Cuối cùng, tiến hành cho chạy mô hình và thu được các tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID.

Bước 3: nạp tham số cho bộ điều khiển, thực nghiệm điều khiển ổn định nhiệt độ và duy trì mức nhiệt độ kỳ vọng.

Sau khi tìm được các tham số của bộ điều khiển, tiến hành nạp bộ tham số này xuống thiết bị và bộ xử lý trung tâm 1 chuyển trạng thái hệ thống sang nhận các tham số điều khiển. Khi thiết bị được sử dụng để ổn định nhiệt, bộ xử lý trung tâm 1 chuyển sang trạng thái bật bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID, thuật toán xác định nhiệt độ kỳ vọng được khởi chạy để xác lập. Giá trị nhiệt độ kỳ vọng T_d được xác định theo công thức sau:

$$T_d = \underset{T_d \in [20, 40]}{\operatorname{argmin}} F(T_d, T_a, I_c) \quad (3)$$

Trong đó: T_d là nhiệt độ kỳ vọng

T_a là giá trị nhiệt độ môi trường,

I_c là dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện 3.3 (dòng tiêu thụ của hệ thống ổn định nhiệt).

Sau đó, bộ xử lý trung tâm 1 nạp các hệ số điều khiển K_p , K_I và K_D và hệ số bù nhiệt tương ứng với nhiệt độ kỳ vọng T_d và tiến hành điều khiển bơm nhiệt điện 3.3 để duy trì mức nhiệt này.

Hình 5 là ví dụ kết quả điều khiển thực nghiệm để đưa nhiệt độ của cảm biến quán tính từ 25°C lên nhiệt độ kỳ vọng $T_d = 30^\circ\text{C}$. Sau khi ổn định được nhiệt độ theo nhiệt độ kỳ vọng T_d , hệ thống đã duy trì được điểm nhiệt độ này và không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường (lúc đó là nhiệt độ môi trường $T_a 25^\circ\text{C}$).

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp ổn định nhiệt riêng phần trong cảm biến quán tính sử dụng cho khí cụ bay bao gồm ba bước, cụ thể như sau:

bước 1: nhận diện mô hình toán học của hệ thống ổn nhiệt cảm biến quán tính; tại bước này, tiến hành gửi lệnh cho bộ xử lý trung tâm chuyển trạng thái hệ thống sang nhận diện đối tượng; khi đó, bộ xử lý trung tâm gửi tín hiệu U_c tương ứng dòng điện I_{cc} (tín hiệu xung vuông thay đổi ngẫu nhiên) vào bơm nhiệt điện và quan sát sự thay đổi nhiệt độ của cảm biến quán tính và tín hiệu dòng điện I_c phản hồi về; từ tín hiệu dòng cấp I_{cc} và sự thay đổi nhiệt độ sẽ tiến hành nhận diện đối tượng;

bước 2: tìm tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID; tại bước này, bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID cấp điện áp U_c cho mạch tích hợp chuyên dụng và mạch này sẽ điều khiển dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện (theo ba khâu: tỉ lệ, tích phân và đạo hàm) theo công thức sau: $I_c = P + I_n + D$

trong đó,

khâu tỉ lệ: $P = K_p.dT$

khâu tích phân: $I_n = I_{n-1} + K_I.dT.dt$

khâu đạo hàm: $D_n = K_D.dT/dt$

các hệ số K_p , K_I và K_D là tham số của bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID tương đương điều khiển các khâu, dt là thời gian lấy mẫu của hệ thống; dòng điện của khâu tích phân I_n và dòng điện I_c của hệ thống được chặn trong dải từ -1.6A đến 1.6A; sau đó, sử dụng môi trường Simulink để mô hình hóa và lựa chọn các điều kiện để tìm các tham số của bộ điều khiển;

bước 3: nạp tham số cho bộ điều khiển, thực nghiệm điều khiển ổn định nhiệt độ và duy trì mức nhiệt độ kỳ vọng; sau khi tìm được các tham số của bộ điều khiển, tiến hành nạp bộ tham số này xuống thiết bị và bộ xử lý trung tâm chuyển trạng thái hệ thống sang nhận các tham số điều khiển; khi thiết bị được sử dụng để ổn định nhiệt, bộ xử lý trung tâm 1 chuyển sang trạng thái bật bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ PID, thuật toán xác định nhiệt độ kỳ vọng được khởi chạy để xác lập; giá trị nhiệt độ kỳ vọng T_d được xác định theo công thức sau:

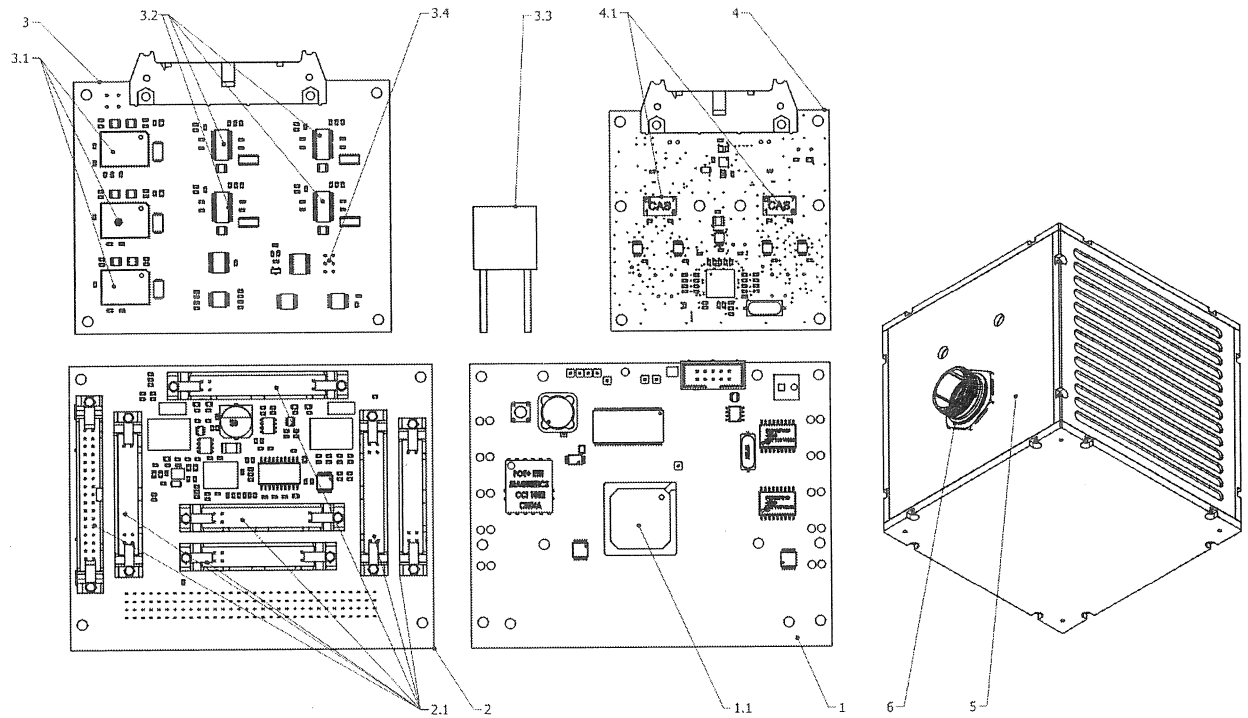
$$T_d = \underset{T_d \in [20,40]}{\operatorname{argmin}} F(T_d, T_a, I_c) \quad (3)$$

Trong đó: T_d là nhiệt độ kỳ vọng

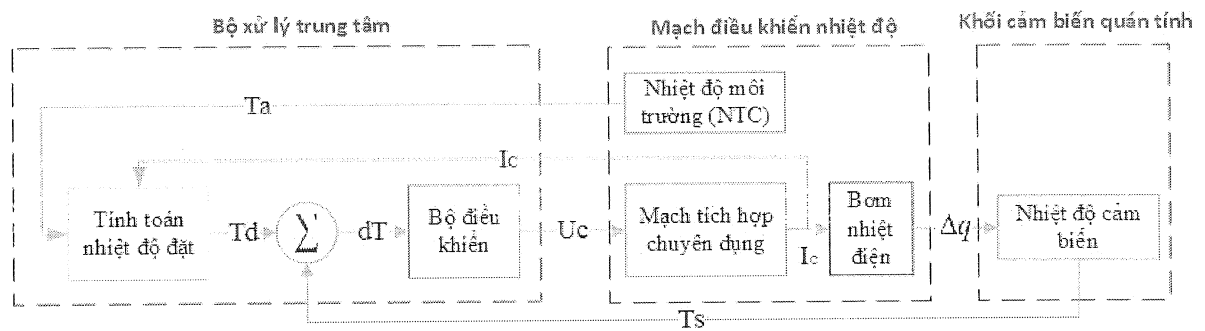
T_a là giá trị nhiệt độ môi trường,

I_c là dòng điện cấp cho bơm nhiệt điện

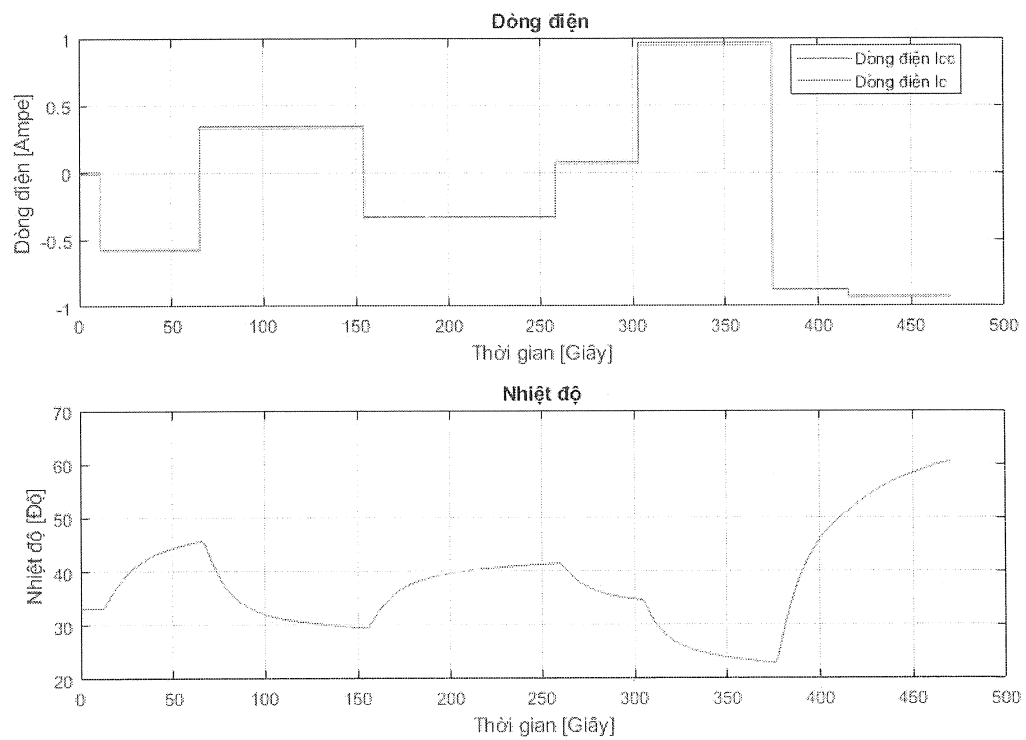
sau đó, bộ xử lý trung tâm nạp các hệ số điều khiển K_p , K_I và K_D và hệ số bù nhiệt tương ứng với nhiệt độ kỳ vọng T_d và tiến hành điều khiển bơm nhiệt điện để duy trì mức nhiệt này.



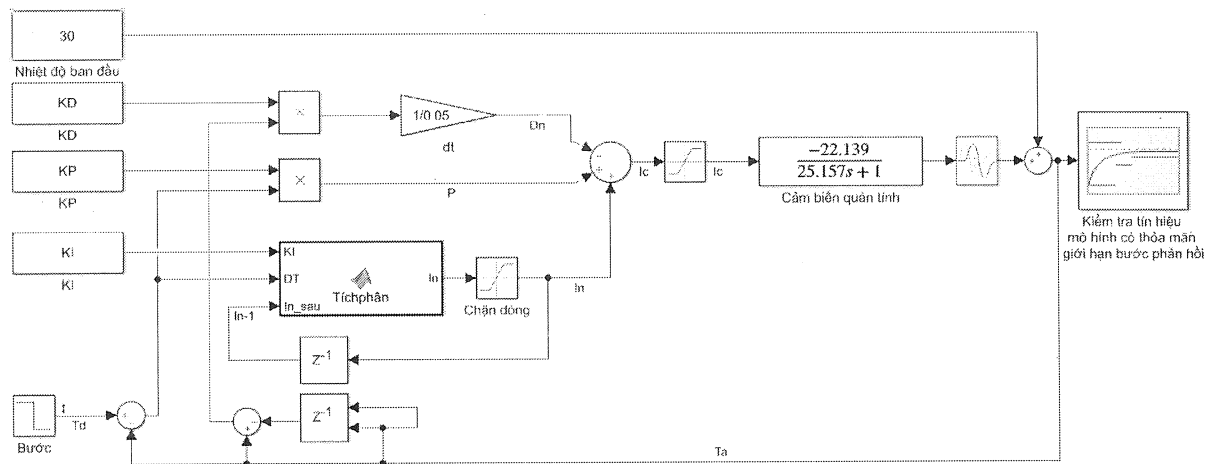
Hình 1



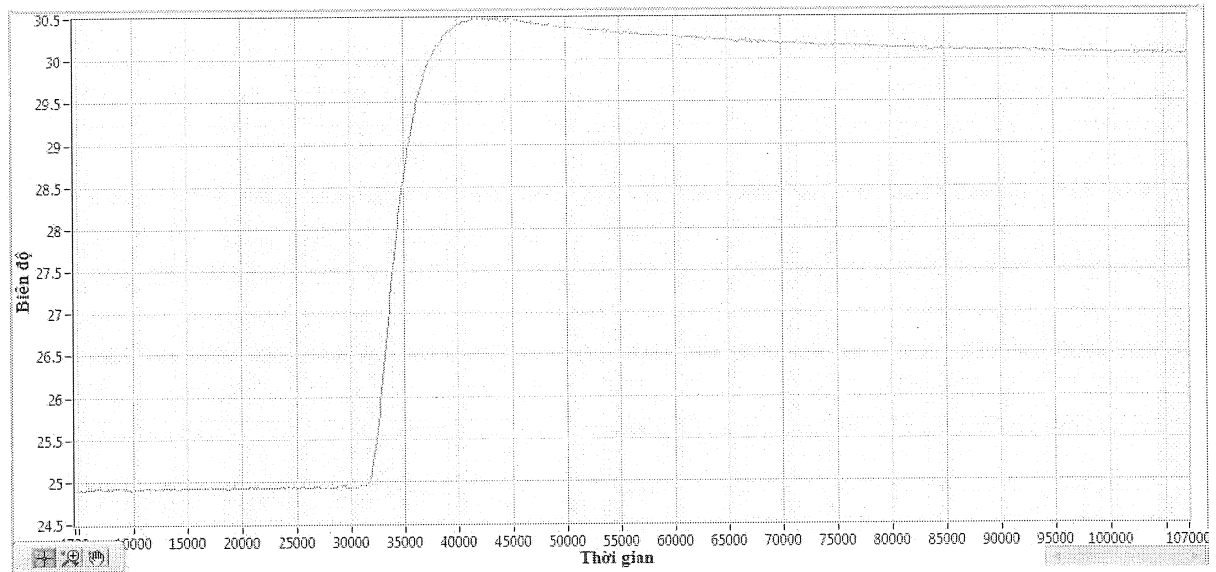
Hình 2



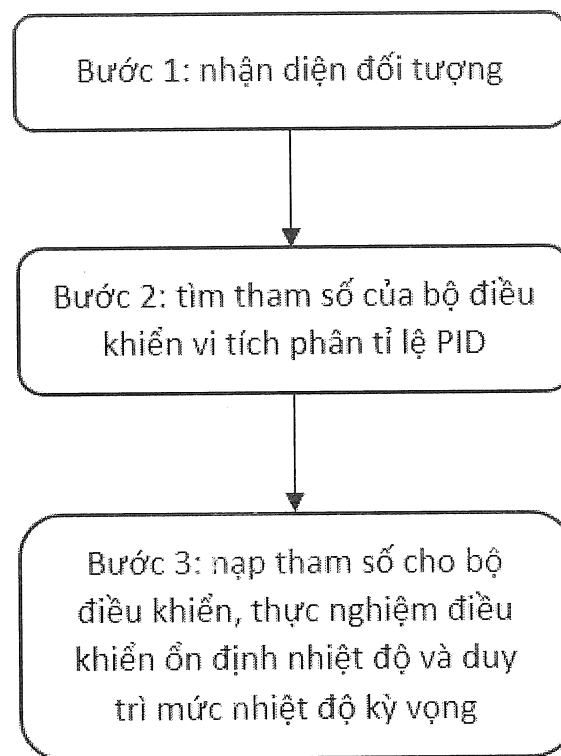
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6