

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**TẠO**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

-----

**PHẠM NGỌC THẮNG**

**GIẢM SAI SỐ TRONG PHÉP ĐO  
CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ-NHIỆT BẰNG NỘI SUY VÀ BIẾN ĐỔI LẬP**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử**

**Mã số : 62 52 70 01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - 2010**

Công trình hoàn thành tại:  
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Người hướng dẫn khoa học:  
PGS. TS Bùi Văn Sáng  
PGS. TS Đỗ Huy Giác

Phản biện 1: PGS TS Bạch Nhật Hồng

Phản biện 2: PGS TS Nguyễn Quang Hoan

Phản biện 3: PGS TS Nguyễn Quốc Trung

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án cấp nhà nước  
họp tại: Học viện Kỹ thuật Quân sự  
vào hồi: giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:  
- Thư viện Học viện Kỹ thuật quân sự  
- Thư viện quốc gia

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Phạm Ngọc Thắng, Trần Anh Tấn (2006), "Sử dụng mạch phối hợp tối ưu để tăng hệ số truyền tải công suất", Tạp chí Bưu chính viễn thông & Công nghệ thông tin, Bộ Bưu chính Viễn thông, Số 277, Hà Nội, Tr.17-19.
2. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng (2006), "Phương pháp tuyến tính hóa tín hiệu số thứ cấp trong phương tiện đo không điện", Báo cáo tại hội nghị khoa học lần thứ 14, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
3. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng, Nguyễn Hùng An (2007), "Hiệu chuẩn phi tuyến hàm biến đổi trong phương tiện đo không điện theo phương pháp nội suy và xử lý tín hiệu số thứ cấp", Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Số 119, Hà Nội, Tr. 80-88.
4. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng (2007), "Nâng cao độ chính xác phương tiện đo không điện với hàm biến đổi dạng phức tạp bằng phương pháp biến đổi lặp lại và dùng mẫu", Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Số 121, Hà Nội, Tr. 96-103.
5. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng (2008), "Hiệu chuẩn phi tuyến trong phép đo gián tiếp các đại lượng không điện", Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Số 122, Hà Nội, Tr. 76-83.
6. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng (2008), "Hiệu chuẩn phi tuyến hàm biến đổi và sai số của phương tiện đo bằng nội suy và biến đổi lặp", Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Số 124, Hà Nội, Tr. 24-31.
7. Bùi Văn Sáng, Phạm Ngọc Thắng (2008), "Kết hợp nội suy bậc hai với biến đổi lặp trong hệ thống đo tham số truyền dẫn mạng viễn thông", Đặc san: Các công trình nghiên cứu khoa học, nghiên cứu triển khai Công nghệ thông tin và Truyền thông, Bộ Thông tin và Truyền thông, Số 20, Hà Nội, Tr. 114-123.
8. Phạm Ngọc Thắng (2007-2008), Chủ nhiệm đề tài NCKH & CN cấp Bộ Giáo dục & Đào tạo: "*Xây dựng phương pháp và kiện toàn phương tiện đo nhằm nâng cao độ chính xác của phép đo các thông số trong đường dẫn khí*", Đại học SPKT Hưng Yên, Hưng Yên.
9. Phạm Ngọc Thắng, Bùi Trung Thành, Bùi Văn Sáng (2010), "Error Reduction in Non-electric Measurement by Interpolation Combined with Loop Transformation Method", The 2010 International Conferences on Advanced Technologies for Communications, Ho Chi Minh City, VietNam, 20-22 October 2010.

**DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT**

1. BC: Bộ chuẩn
2. BCLL: Bộ chuẩn lưu lượng
3. BCĐĐSC: Bộ chuyển đổi đo sơ cấp
4. BCĐĐTC: Bộ chuyển đổi đo thứ cấp
5. BĐCH: Biến đổi chuẩn hóa
6. BĐTN: Bộ đếm thuận nghịch
7. BĐTT-S: Biến đổi tương tự-số
8. BDTG-M: Biến đổi thời gian-mã
9. BĐX: Bộ đếm xung
10. CCHT: Cơ cấu hiển thị
11. CĐNĐ: Chuyển đổi nhiệt độ
12. CĐAS: Chuyển đổi áp suất
13. CĐLL: Chuyển đổi lưu lượng
14. CM: Chuyển mạch
15. CTHS: Chỉ thị hiện số
16. ĐK: Điều khiển
17. OTC: Ống thắt chuẩn
18. PTĐ: Phương tiện đo
19. PTĐHS: Phương tiện đo hiện số
20. TBT: Thiết bị tính
21. XLSTC: Xử lý số thứ cấp
22. XLSTH: Xử lý số tín hiệu

## MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết

Các đại lượng cơ-nhiệt là những tham số rất quan trọng trong nhiều quy trình công nghệ thuộc các lĩnh vực luyện kim, hóa chất, dầu khí, nhiệt kỹ thuật, khai khoáng, ... Đo được chính xác các đại lượng cơ-nhiệt góp phần nâng cao chất lượng, độ ổn định, độ tin cậy và duy trì được tính năng của các trang thiết bị kỹ thuật trong dây chuyền công nghệ. Vì vậy, việc giảm sai số trong phép đo các đại lượng cơ-nhiệt là rất cần thiết trong đo lường hiện đại và mang tính thời sự.

### Mục tiêu nghiên cứu

Ứng dụng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp để xây dựng các thuật toán tự động xử lý thông tin đo lường nhằm giảm sai số trong phép đo các đại lượng cơ-nhiệt.

### Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Trong khuôn khổ của một luận án tiến sỹ kỹ thuật, tác giả chỉ giới hạn đối tượng nghiên cứu của luận án là sai số phi tuyến và sai số biến đổi của PTĐ cơ-nhiệt. Từ đó ứng dụng nhóm các phương pháp cấu trúc để xây dựng các thuật toán tự động xử lý thông tin đo lường trong điều kiện hàm biến đổi của phương tiện đo là phi tuyến và chịu tác động của các đại lượng ảnh hưởng.

### Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết và sử dụng mô phỏng bằng Matlab để minh chứng kết quả; từ đó chế tạo thử nghiệm PTĐ một số đại lượng cơ-nhiệt điển hình, khảo sát và đánh giá hiệu quả của giải pháp đã đề xuất.

### Nội dung nghiên cứu

Nội dung chính của luận án gồm 4 chương.

Chương 1: Trình bày về đại lượng đo, phép đo, phương tiện đo các đại lượng cơ-nhiệt; phân tích và đánh giá sai số đo, các phương pháp thay thế hàm biến đổi của BCĐĐSC và hiệu chỉnh tự động sai số của phương tiện đo. Phân tích và đánh giá một số công trình có nội dung liên quan từ đó khẳng định tính hiệu quả của hướng nghiên cứu.

Chương 2: Xây dựng phương pháp và thuật toán giảm sai số trong phép đo trực tiếp các đại lượng cơ-nhiệt bằng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp và biến đổi lặp; đưa ra kết quả tính và mô phỏng bằng Matlab để khẳng định các kết quả nghiên cứu.

Chương 3: Xây dựng thuật toán và các bước xử lý tín hiệu để hiệu chỉnh tự động sai số trong phép đo gián tiếp các đại lượng cơ-nhiệt; xây dựng một số hệ thống đo gián tiếp các đại lượng cơ-nhiệt điển hình; đưa ra kết quả tính bằng Matlab lập trình để khẳng định các kết quả nghiên cứu.

Chương 4: Ứng dụng các kết quả nghiên cứu trong luận án để thiết kế, chế tạo một số PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt điển hình như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng. Phân tích và đánh giá kết quả của các PTĐ chế thử, so sánh với một số PTĐ cùng loại.

### Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

- Đề xuất phương pháp mới và xây dựng thuật toán xử lý thông tin đo lường nhằm giảm sai số trong phép đo các đại lượng cơ-nhiệt.

- Minh chứng tính đúng đắn của các kết quả nghiên cứu bằng mô phỏng, bằng khảo sát các phương tiện đo chế thử để khẳng định khả năng ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

## **CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ PHÉP ĐO, SAI SỐ ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ-NHIỆT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHỈNH SAI SỐ CỦA PHƯƠNG TIỆN ĐO**

### **1.1 Tổng quan về phép đo các đại lượng cơ-nhiệt**

#### **1.1.1 Các đại lượng cơ-nhiệt vô hướng và có hướng**

Có nhiều cách phân loại các đại lượng cơ-nhiệt. Để xác định rõ đối tượng nghiên cứu của luận án ta có thể chia chúng thành hai nhóm chính: Nhóm các đại lượng vô hướng và nhóm các đại lượng có hướng.

#### **1.1.2 Phép đo và PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt**

Để đo các đại lượng cơ-nhiệt ta có thể sử dụng các phép đo trực tiếp, gián tiếp hoặc hợp bộ.

Nếu PTĐ chịu tác động của các đại lượng ảnh hưởng bởi môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, nhiễu tạp, ... thì các tham số của hàm biến đổi của PTĐ:  $a_1, a_2, \dots, a_n$  bị lệch khỏi giá trị danh định và có dạng:  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t)$ . Vì vậy hàm biến đổi thực tế của PTĐ có thể được biểu diễn:

$$N_{tt} = f_{tt}[X, a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t)] \quad (1.5)$$

Trong thực tế, hàm biến đổi của phần lớn các BCĐĐSC là phi tuyến và cho dưới dạng bảng giá trị. Để giảm sai số của phép đo cần tăng số cặp dữ liệu biến đổi của bảng, đặc biệt ở các vùng phi tuyến lớn. Điều này sẽ làm tăng độ phức tạp các khâu xử lý tín hiệu trong PTĐ, từ đó làm giảm mức tác động và độ tin cậy của quá trình biến đổi. Vì vậy bài toán đặt ra cần phải giải quyết là duy trì hoặc nâng cao độ chính xác của PTĐ với số lượng dữ liệu nhỏ nhất có thể. Đây cũng là một vấn đề được đề xuất và giải quyết trong luận án.

### **1.2 Phân tích sai số đo đại lượng cơ-nhiệt**

Sai số đo thường được phân ra thành hai loại: Sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

Sai số hệ thống của PTĐ có thể được biểu diễn dưới dạng sai số tuyệt đối hoặc sai số quy đổi. Sai số tuyệt đối tổng cộng quy về đầu ra của PTĐ được xác định:

$$\Delta_{\Sigma} = f[X, (a_1 + \Delta a_1), \dots, (a_n + \Delta a_n)] - f(X, a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (1.7)$$

trong đó:  $\Delta a_1, \dots, \Delta a_n$  là độ lệch của các hệ số biến đổi trong hàm biến đổi của PTĐ;  $f$  là ký hiệu hàm biến đổi.

Sai số quy đổi tổng cộng ở đầu ra của PTĐ được xác định:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{Y} \times \frac{dY}{da_i} \delta_{a_i} \quad (1.8)$$

Sai số ngẫu nhiên của PTĐ có thể phân chia thành hai thành phần: tương quan yếu và tương quan mạnh. Sai số ngẫu nhiên tương quan yếu tổng cộng được xác định:

$$\sigma_{\Sigma 1} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2} \quad (1.9)$$

trong đó:  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$  là độ lệch bình phương trung bình của các phần tử trong PTĐ.

Sai số ngẫu nhiên tương quan mạnh tổng cộng phải tính đến hệ số tương quan  $r$  và được xác định:

$$\sigma_{\Sigma 2} = \sqrt{\sum_{i=k+1}^n \sigma_i^2 + \sum_{i < j} r \sigma_i \sigma_j} \quad (1.10)$$

Sai số ngẫu nhiên tổng cộng của PTĐ được xác định:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma I} + \sigma_{\Sigma 2} \quad (1.11)$$

Kế thừa kết quả của các công trình trước, luận án sẽ đề xuất và nghiên cứu một phương pháp giảm sai số mới trên cơ sở ứng dụng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp và biến đổi lặp.

### 1.3 Các phương pháp hiệu chỉnh sai số của PTĐ cơ-nhiệt

Nhóm các phương pháp cấu trúc tự động hiệu chỉnh sai số của PTĐ sử dụng các cấu trúc phụ thực hiện các thuật toán riêng để phát hiện, đánh giá sai số và tạo ra tín hiệu hiệu chỉnh tương ứng. Các phương pháp thường được sử dụng gồm: Phương pháp hiệu chỉnh đơn các sai số thành phần, phương pháp biến đổi ngược, phương pháp dùng mẫu và phương pháp biến đổi lặp. Luận án đã phân tích ưu nhược điểm của các phương pháp trên và đưa ra kết luận: Phương pháp biến đổi lặp và dùng mẫu có khả năng ứng dụng hiệu quả trong thực tế hiện nay.

#### 1.4 Hướng nghiên cứu của luận án

Qua phân tích sai số đo, các phương pháp thay thế hàm biến đổi của BCĐĐSC bằng hàm toán học, các phương pháp hiệu chỉnh sai số của PTĐ kết hợp với phân tích, đánh giá một số công trình có nội dung liên quan, luận án đã đề xuất nghiên cứu giải pháp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp để giảm sai số của PTĐ cơ-nhiệt. Sau khi mô phỏng bằng máy tính để kiểm chứng hiệu quả của phương pháp, các kết quả nghiên cứu sẽ được ứng dụng để thiết kế PTĐ một số đại lượng cơ-nhiệt điển hình như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng của chất lưu trên đường dẫn.

#### 1.5 Kết luận chương 1

Giảm sai số của phép đo và PTĐ là nhiệm vụ quan trọng không thể thiếu trong kỹ thuật thông tin đo lường, được thể hiện trong hàng loạt các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước. Trong khuôn khổ của một luận án tiến sĩ kỹ thuật, tác giả chỉ giới hạn đối tượng nghiên cứu là sai số phi tuyến và sai số biến đổi của PTĐ cơ-nhiệt; giải pháp thực hiện là nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp. Các kết quả nghiên cứu của luận án sẽ góp phần đa dạng hóa các giải pháp giảm sai số của phép đo.

## CHƯƠNG 2 GIẢM SAI SỐ TRONG PHÉP ĐO TRỰC TIẾP CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ-NHIỆT BẰNG NỘI SUY BẬC HAI VÀ BIẾN ĐỔI LẶP

### 2.1 Hiệu chỉnh phi tuyến hàm biến đổi dạng bảng giá trị của PTĐ bằng nội suy

#### 2.1.1 Các phương pháp xử lý phi tuyến hàm biến đổi của PTĐ bằng nội suy

Luận án đã nghiên cứu các phương pháp xử lý phi tuyến hàm biến đổi gồm: phương pháp bình phương nhỏ nhất; phương pháp nội suy bậc nhất, bậc 2 với hệ số biến đổi động theo khoảng giá trị đại lượng vào.

Các bước xử lý tín hiệu bằng nội suy bậc 2 gồm: Nhập dữ liệu bảng giá trị  $Y_i = f(X_i)$  và nhận kết quả đo; tìm giá trị cực tiểu của  $(Y-Y_i)$ ; tìm 3 điểm dữ liệu nhập kế tiếp chứa  $Y$  (tương ứng với đại lượng cần đo  $X$ ); xác định các hệ số của phương trình nội suy bậc 2 theo phương pháp định thức sau đó giải phương trình nội suy bậc 2 để tìm  $X$ .

Trong phương pháp nội suy bậc 2, để giảm tối thiểu sai số nội suy cần khoảng nội suy đủ hẹp, nói cách khác cần có điều kiện: Đa thức nội suy bậc 2 đi qua 3 điểm dữ liệu nhập kế tiếp, trong đó chứa giá trị đo được. Thực chất ta đã tạo ra  $(n-2)$  hàm biến đổi dạng đa thức bậc 2 tương ứng với tất cả các điểm dữ liệu nhập, trong đó điểm đầu và điểm kế tiếp có chung hàm biến đổi; điểm cuối và điểm trước nó cũng có chung hàm biến đổi. Các hàm thay thế có các hệ số biến đổi chỉ “động” về giá trị và dấu trong

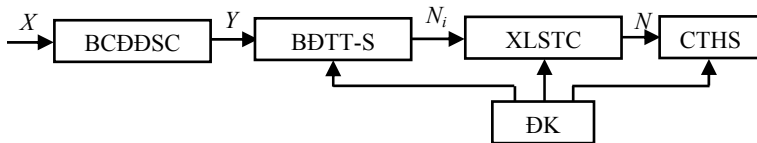
kết quả tính, tương ứng với đại lượng cần đo được nhập  $Y(X)$ . Các hàm này có quy luật sát với quy luật biến đổi trong BCĐĐSC nên giảm được sai số thay gần đúng. Mặt khác thuật toán và chương trình xác định các hệ số biến đổi và kết quả đo là cố định cho tất cả các điểm dữ liệu được nhập trên toàn dải đo.

### 2.1.2 Lựa chọn dạng hàm và khoảng nội suy tối ưu

Đặc tính biến đổi của BCĐĐSC trong trường hợp chung là phi tuyến nên hàm biến đổi của nó thường được thay thế bằng các dạng đa thức bậc 2, bậc 3 hoặc hàm mũ. Luận án đã phân tích, tính toán, mô phỏng máy tính và đưa ra kết luận: Hàm nội suy tối ưu là đa thức bậc 2 đủ; khoảng nội suy tối ưu là 3 điểm dữ liệu nhập kế tiếp.

### 2.1.3 Cấu trúc PTĐ, lưu đồ thuật toán và chương trình xử lý tín hiệu

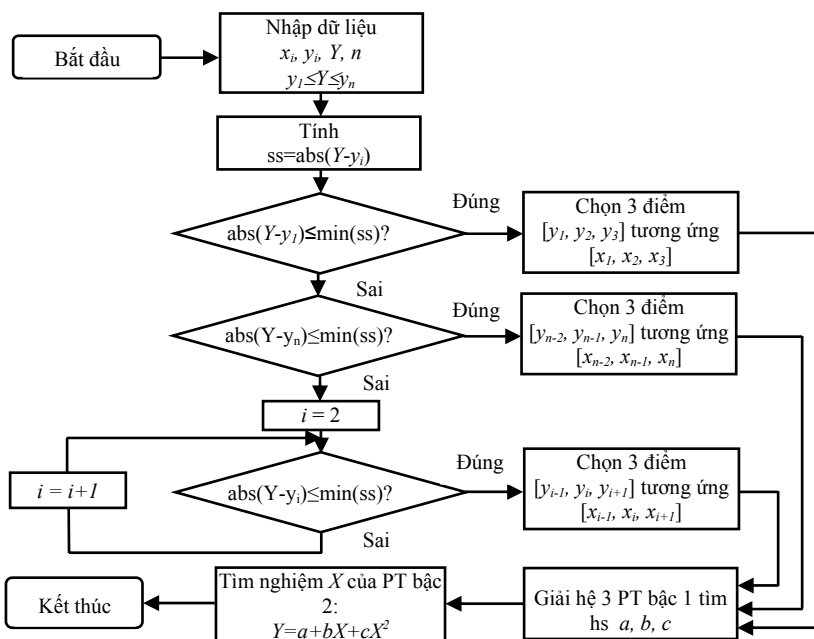
Cấu trúc đơn giản nhất của PTĐ được xây dựng như hình 2.1.



Hình 2.1: Sơ đồ PTĐ trực tiếp đại lượng cơ-nhiệt

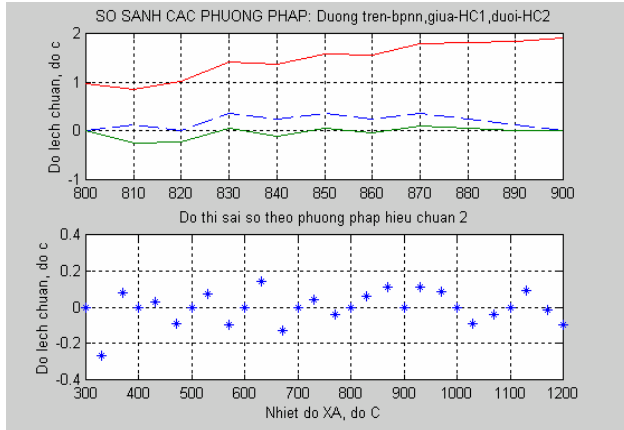
Trên hình 2.2 đưa ra lưu đồ thuật toán xử lý tín hiệu trong đo lường các đại lượng cơ-nhiệt thể hiện các bước biến đổi theo phương án lựa chọn đa thức nội suy bậc 2 với các hệ số biến đổi động theo khoảng giá trị đại lượng vào. Kết quả chạy chương trình mô phỏng với phép đo nhiệt độ ở phạm vi  $(300 \div 1300)^{\circ}\text{C}$  đưa ra ở nửa trên hình 2.3 cho thấy, tại các điểm dữ liệu nhập  $(300, 400, \dots, 1300)^{\circ}\text{C}$  sai số bằng 0, ở nhiệt độ trung gian cần đo  $852^{\circ}\text{C}$  của khoảng  $(800 \div 900)^{\circ}\text{C}$  thì sai số là  $0,038^{\circ}\text{C}$ . Biết rằng để đạt được ngưỡng sai số  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  nếu lựa chọn trực tiếp điểm dữ liệu kề cận ta phải nhập 1001 cặp dữ liệu của bảng giá trị, trong khi đó theo phương án lựa chọn đa thức bậc hai với các hệ số biến đổi động theo khoảng giá trị đại lượng vào ta chỉ cần nhập 11 cặp dữ liệu mà sai số vẫn nhỏ hơn.

Kết quả tính độ lệch nhiệt độ so với bảng giá trị được thể hiện trên 3 đồ thị nửa trên hình 2.3. Ở phạm vi đo giữa 2 điểm chuẩn  $800^{\circ}\text{C}$  và  $900^{\circ}\text{C}$  có sai số cực đại:  $+1,9^{\circ}\text{C}$  theo phương pháp bình phương nhỏ nhất (bpmn);  $+0,37^{\circ}\text{C}$  và  $-0,25^{\circ}\text{C}$  tương ứng với 2 phương án: nội suy bậc nhất (HC1-hiệu chỉnh 1), nội suy bậc hai (HC2-hiệu chỉnh 2) với các hệ số biến đổi động theo khoảng giá trị đại lượng vào.



Hình 2.2: Lưu đồ thuật toán đo các đại lượng cơ-nhiệt bằng nội suy bậc 2





Hình 2.3: Đồ thị sai số của xử lý tín hiệu

yến trong PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt bằng nội suy, qua kết quả mô phỏng ta rút ra các nhận xét sau:

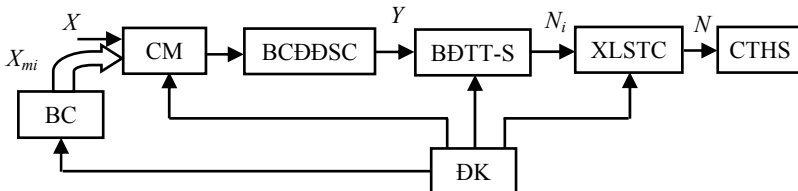
- Bản chất toán học của phương pháp hiệu chỉnh phi tuyến hàm biến đổi của PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt thể hiện ở chỗ: Khi sử dụng nội suy bậc nhất, tương ứng với các giá trị của đại lượng trong dải đo là đường gấp khúc  $(n-1)$  đoạn có độ dốc thay đổi theo khoảng; khi sử dụng nội suy bậc 2, tương ứng với các giá trị xác định của đại lượng đo nằm xung quanh và gần các điểm dữ liệu nhập ( $Y_i$ ) là tập hợp  $(n-2)$  đa thức bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp  $Y_{i-1}, Y_i, Y_{i+1}$  với các hệ số được xác định giá trị trong khoảng đại lượng vào từ  $(Y_{i-1}+Y_i)/2$  đến  $(Y_i+Y_{i+1})/2$  và các hệ số này thay đổi tùy thuộc vào thứ tự khoảng.

- Hiệu chỉnh phi tuyến hàm biến đổi của PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt bằng lựa chọn đa thức nội suy bậc nhất và bậc 2 với các hệ số biến đổi động theo khoảng giá trị đại lượng vào, cho phép giảm nhỏ sai số thay gần đúng so với việc sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất.

- Thuật toán và chương trình xử lý tín hiệu đơn giản, dễ thực hiện, số lượng dữ liệu nhập không lớn nên giảm được dung lượng bộ nhớ trong thiết bị tính và tăng được mức tác động của PTĐ.

## 2.2 Giảm sai số của PTĐ đại lượng có hướng bằng biến đổi lặp

Để giảm sai số biến đổi của PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt có hướng có hàm biến đổi cho dưới dạng biểu thức toán học ta có thể ứng dụng phương pháp biến đổi lặp và dùng đại lượng mẫu. Trên hình 2.4 đưa ra cấu trúc của PTĐHS kiểu đánh giá trực tiếp ứng dụng các phương pháp này.



Hình 2.4: Sơ đồ cấu trúc PTĐ theo phương pháp biến đổi lặp và dùng mẫu

### 2.2.1 Giảm sai số của PTĐ với hàm biến đổi dạng đơn giản

Để giảm sai số biến đổi của PTĐ có hàm biến đổi dạng đơn giản như: đa thức bậc nhất, bậc 2 hoặc hàm mũ ta có thể sử dụng kết hợp phương pháp vi sai và phương pháp tỉ số thực hiện thông qua các bước biến đổi lặp và dùng mẫu. Các công thức tính kết quả cuối cùng đều không chứa các hệ số biến đổi của hàm, tức là ta đã loại trừ

được sai số do sự thay đổi của các hệ số biến đổi. Dưới đây sẽ trình bày phương pháp biến đổi lặp cho các hàm biến đổi dạng phức tạp.

### 2.2.2 Giảm sai số của PTĐ với hàm biến đổi dạng phức tạp

#### 1. Giảm sai số của PTĐ với hàm biến đổi dạng đa thức bậc 3

Ta tác động lần lượt 7 giá trị kết hợp của đại lượng cần đo  $X$  và đại lượng mẫu  $X_m$ :  $X_1=X_m$ ,  $X_2=2X_m$ ,  $X_3=3X_m$ ,  $X_4=X+3X_m$ ,  $X_5=X+2X_m$ ,  $X_6=X+X_m$ ,  $X_7=X$  lên BCĐĐSC. Sau 7 bước biến đổi lặp ta nhận được kết quả:

$$N_{10} = \frac{N_8}{N_9} = \frac{X}{X - X_m} \quad \text{hay} \quad X = \frac{N_X}{N_X - 1} X_m \quad (2.13)$$

#### 2. Giảm sai số của PTĐ với hàm biến đổi dạng đa thức bậc nhất và hàm mũ

Nếu hàm biến đổi của BCĐĐSC là tổng đa thức bậc nhất và hàm mũ dạng:  $y = a + bX + c.exp(dX)$ . Dưới tác động của lần lượt 7 đại lượng:  $X_1=X$ ,  $X_2=X_m$ ,  $X_3=2X_m$ ,  $X_4=3X_m$ ,  $X_5=X+X_m$ ,  $X_6=X+2X_m$ ,  $X_7=X+3X_m$  lên bộ BĐĐLSC. Sau khi thực hiện biến đổi lặp ta nhận được kết quả cuối cùng:

$$X = X_m \cdot \frac{\ln \frac{N_7 - 2N_6 + N_5}{N_4 - 2N_3 + N_2}}{\ln \frac{N_7 - 2N_6 + N_5}{N_6 - 2N_5 + N_1}} \quad (2.14)$$

#### 3. Giảm sai số của PTĐ với hàm biến đổi dạng đa thức bậc nhất và hàm sin

Nếu hàm biến đổi của BCĐĐSC là tổng đa thức bậc nhất và hàm sin  $y = a + bX + c.sin(2\pi X/D_1)$  và đặt  $D = 2\pi/D_1$ . Ta tác dụng lần lượt 5 đại lượng:  $X_1=X$ ,  $X_2=X_m$ ,  $X_3=2X_m$ ,  $X_4=X+X_m$ ,  $X_5=X+2X_m$  lên BCĐĐSC. Sau khi thực hiện biến đổi lặp ta nhận được kết quả cuối cùng:

$$N_6 = \frac{N_4 - N_1 - N_3 + N_2}{N_5 - N_3 - N_4 + N_2} = \frac{\cos[D(X + X_m/2)] - \cos(D3X_m/2)}{\cos[D(X + 3X_m/2)] - \cos(D3X_m/2)} \quad (2.18)$$

Từ đây ta rút ra  $X = F_1(N_6) = F_2(D, X_m)$  không phụ thuộc vào các hệ số  $a, b, c$  của hàm biến đổi mà chỉ phụ thuộc vào đại lượng mẫu  $X_m$  và tham số đặt trước  $D$ .

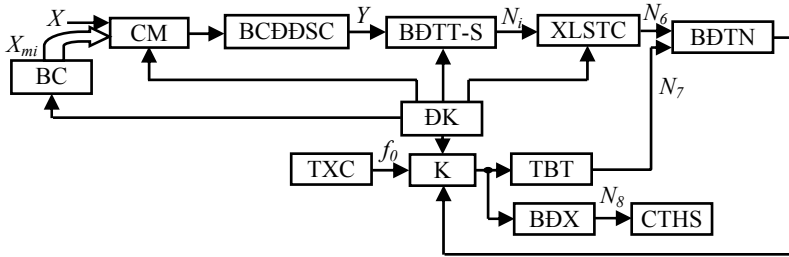
Từ (2.13), (2.14), (2.18) ta nhận thấy: Các hệ số của hàm biến đổi đã được loại trừ sau các bước biến đổi lặp; sai số của phép đo chỉ phụ thuộc vào độ chính xác của đại lượng mẫu  $X_m$ . Mặt khác, kết quả trên CTHS chỉ trực tiếp giá trị của đại lượng  $X$ , xác định bởi dạng hàm biến đổi và không phụ thuộc vào trị số, dấu và sự mất ổn định các hệ số biến đổi.

Như vậy, thuật toán biến đổi lặp, tương ứng là cấu trúc PTĐ xác lập cho từng dạng hàm biến đổi của BCĐĐSC cho phép giảm và loại trừ sai số các hệ số biến đổi, tạo khả năng lặp lần các BCĐĐSC cùng dạng hàm biến đổi và nhận thang đo tuyến tính

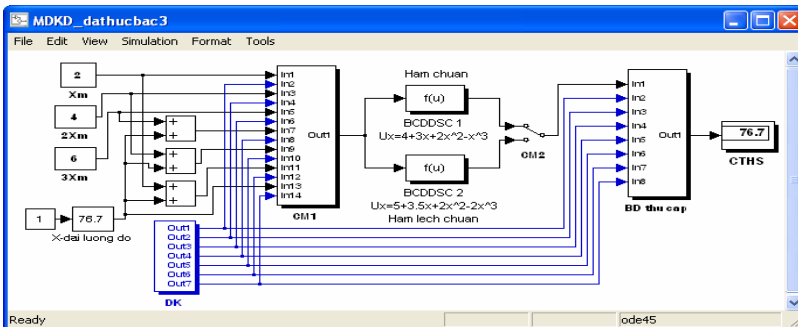
### 2.2.3 Mô phỏng PTĐ với hàm biến đổi dạng phức tạp

Tác giả đã tiến hành mô phỏng PTĐ bằng phần mềm Matlab với hàm biến đổi dạng đa thức bậc 3 (xem hình 2.8), đa thức bậc nhất kết hợp với hàm mũ (tương tự hình 2.8) dựa trên cấu trúc PTĐ hình 2.4; đa thức bậc nhất kết hợp với hàm sin (xem hình 2.10) dựa trên cấu trúc hình 2.7. Thuật toán xử lý tín hiệu đưa ra trong mục 2.2.2, trong đó đã tạo độ lệch các hệ số biến đổi của các bộ BCĐĐSC.

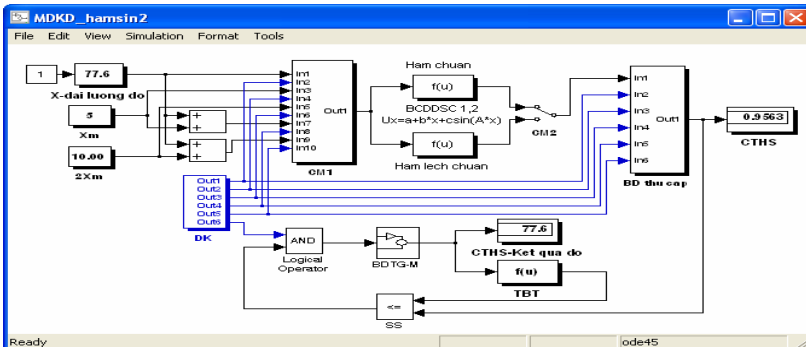
Kết quả chạy các chương trình mô phỏng cho thấy hai giá trị trên CTHS (trùng ứng với 2 BCĐĐSC) bằng nhau và bằng mức vào, không phụ thuộc vào giá trị các hệ số biến đổi và độ lệch của chúng. Tức là ta đã loại trừ được sai số biến đổi của PTĐ.



Hình 2.7: Sơ đồ cấu trúc PTĐ theo phương pháp so sánh



Hình 2.8: Mô phỏng PTĐ với hàm biến đổi dạng đa thức bậc 3



Hình 2.10: Mô phỏng PTĐ với hàm biến đổi dạng đa thức bậc 1 kết hợp với hàm sin

## 2.3 Giảm sai số của PTĐ bằng nội suy và biến đổi lặp

### 2.3.1 Kết hợp nội suy với biến đổi lặp

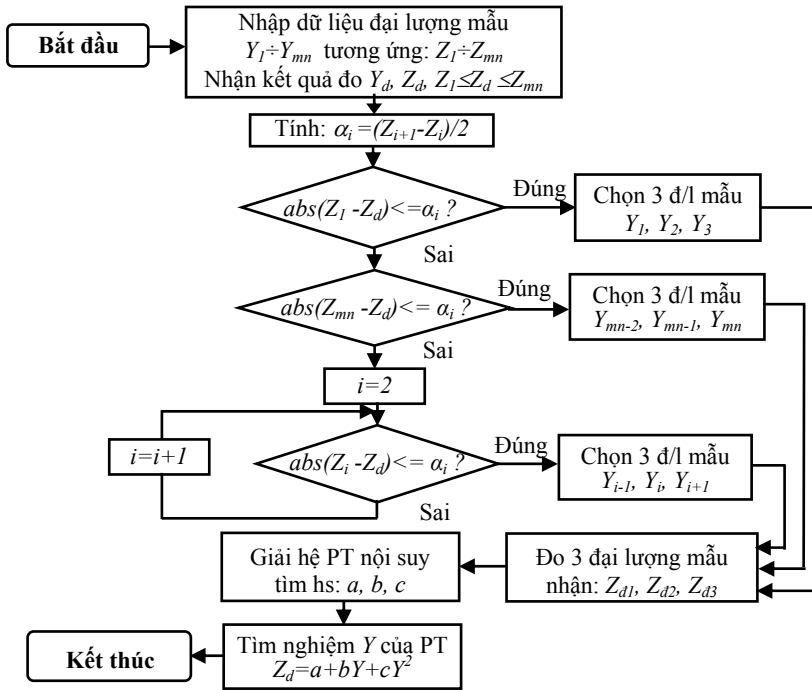
Một hệ thống đo nếu có một khâu biến đổi phi tuyến với đặc tính vào-ra dạng mảng dữ liệu gián đoạn thì ta có thể dùng nội suy bậc 2 xác lập hàm biến đổi; nếu có một số khâu biến đổi phi tuyến với đặc tính vào-ra dạng không gian dữ liệu gián đoạn thì nội suy tiến hành riêng rẽ cho từng cặp tham số liên quan, từ đó xác lập quy luật biến đổi. Nội suy bậc 2 cho phép giảm độ dư thừa thông tin nhằm tăng tốc độ biến đổi và giảm dung lượng bộ nhớ; bổ xung thêm dữ liệu cho hệ dữ liệu không đầy đủ.

Sự kết hợp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp và biến đổi lặp ngoài hiệu chỉnh phi tuyến hàm biến đổi, giảm được sai số biến đổi, còn cho phép thiết lập đặc tính đo lường không tương minh. Chính sự kết hợp này tạo ra các ứng dụng đa dạng, ví dụ như xây dựng thuật toán tra

bảng dữ liệu, xây dựng hệ thống đo cho phép đo gián tiếp và tổng hợp....

### 2.3.2 Giảm sai số của BCĐĐTC

Thuật toán hiệu chỉnh phi tuyến BCĐĐTC bằng biến đổi lặp và dùng mẫu kết hợp với nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp như hình 2.11.



Hình 2.11: Lưu đồ thuật toán hiệu chỉnh sai số biến đổi thứ cấp

### 2.3.3 Giảm sai số của PTĐ đại lượng vô hướng

Đối với các đại lượng vô hướng ta khó tạo được mẫu các đại lượng đầu vào. Tuy vậy trong PTĐ đại lượng vô hướng ta vẫn có khả năng tạo đại lượng mẫu trung gian (đại lượng điện) để sau biến đổi giảm được sai số của BCĐĐTC.

### 2.3.4 Giảm sai số của PTĐ đại lượng có hướng

Đối với các đại lượng có hướng ta có khả năng tạo được đại lượng mẫu cùng loại với đại lượng cần đo nên có thể thực hiện nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp biến đổi lặp ngay từ đầu vào của BCĐĐSC để giảm sai số của PTĐ.

### 2.3.5 Chương trình mô phỏng hiệu chỉnh sai số của PTĐ

- Mô phỏng hiệu chỉnh sai số vônmet có phạm vi đo  $(0 \div 10)$  V; Kết quả khảo sát trong toàn bộ dải đo cho thấy: Khi chưa hiệu chỉnh, sai số quy đổi thay đổi từ 0,67 % đến 1,71 %; khi hiệu chỉnh, sai số quy đổi bằng 0.

- Mô phỏng hiệu chỉnh sai số máy đo nhiệt độ có phạm vi đo  $(0 \div 500)^{\circ}\text{C}$ ; Kết quả chạy chương trình ở các điểm xen giữa các điểm dữ liệu được nhập cho thấy: Khi chưa hiệu chỉnh sai số thay đổi từ  $6,8^{\circ}\text{C}$  đến  $29,25^{\circ}\text{C}$ ; khi hiệu chỉnh giá trị sai số cực đại chỉ còn  $0,02^{\circ}\text{C}$ , nghĩa là giảm đi trên 1400 lần so với trường hợp chưa hiệu chỉnh.

- Mô phỏng hiệu chỉnh sai số máy đo lực có phạm vi đo  $(0 \div 40)$  kN. Kết quả chạy chương trình ở các điểm xen giữa các điểm dữ liệu được nhập cho thấy: Khi chưa hiệu chỉnh sai số tuyệt đối thay đổi từ 1,488 kN đến 1,704 kN; Khi hiệu chỉnh sai số rất nhỏ (thay đổi từ  $1,788 \cdot 10^{-6}$  kN đến  $-2,12 \cdot 10^{-6}$  kN).

Sau khi nghiên cứu và khảo sát mô phỏng quá trình biến đổi lặp và dùng mẫu kết hợp với nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp ta rút ra các nhận xét sau:

- Phương pháp biến đổi lặp và dùng mẫu, kết hợp với nội suy cho phép giảm sai số dạng đa thức bậc 2 của BCĐĐTC.

- Đối với PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt vô hướng sử dụng hai quá trình biến đổi nối tiếp: Biến đổi lặp và dùng mẫu thứ cấp kết hợp với nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp giảm được sai số biến đổi thứ cấp; nội suy để hiệu chỉnh phi tuyến hàm biến đổi của BCĐĐSC.

- Đối với PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt có hướng, sử dụng biến đổi lặp và dùng mẫu sơ cấp kết hợp với nội suy nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp cho phép giảm sai số biến đổi và nhận được thang đo tuyến tính.

- Đối với PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt có hướng ta có thể sử dụng BCĐĐSC với hàm biến đổi không tường minh. Quá trình đo lặp lại mẫu và nội suy cho phép xác định mối quan hệ giữa đại lượng cần đo và CCHT trong toàn bộ dải đo.

**2.4 Kết luận chương 2**

1. Hàm biến đổi của BĐĐLSC dạng bảng giá trị với  $n$  cặp dữ liệu được thay thế bằng  $(n-2)$  đường cong nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp. Các hệ số biến đổi của các phương trình nội suy được tính bằng thuật toán và chương trình xác lập với giá trị và dấu phụ thuộc vào giá trị của đại lượng đo được. Số lượng dữ liệu cần nhập tùy thuộc vào sai số cho phép và tốc độ xử lý tín hiệu. Trên cơ sở đó tính giá trị của kết quả đo nhận được trong phép đo trực tiếp - nghiệm của một trong  $(n-2)$  phương trình nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp. Khoảng nội suy được xác định bằng phương pháp giới hạn dữ liệu dựa vào đại lượng đo được ở đầu ra BCĐĐSC.

2. Các kết quả tính toán và mô phỏng đã khẳng định: Ứng dụng biến đổi lặp cho phép loại trừ sai số biến đổi và nhận thang đo tuyến tính.

3. Thuật toán nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp cho phép giảm sai số phi tuyến và sai số biến đổi của PTĐ.

4. Sự chuẩn xác về nguyên lý của nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp, biến đổi lặp và sự kết hợp giữa chúng đã được minh chứng bằng kết quả mô phỏng PTĐ, cho phép tạo ra hệ công cụ hữu ích phục vụ quá trình thiết kế, chế tạo các PTĐ cơ-nhiệt với độ chính xác cao.

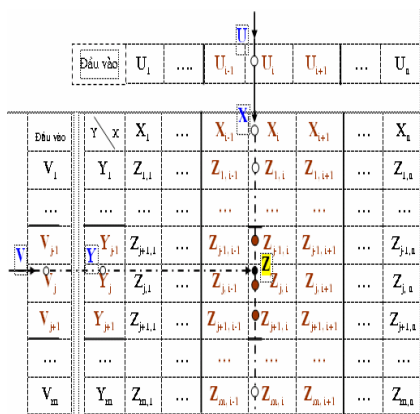
**CHƯƠNG 3 GIẢM SAI SỐ TRONG PHÉP ĐO GIÁN TIẾP CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ-NHIỆT BẰNG NỘI SUY BẬC HAI VÀ BIẾN ĐỔI LẶP**

**3.1 Hiệu chỉnh phi tuyến các hàm biến đổi trong phép đo gián tiếp 3.1.1 Thuật toán và các bước xử lý tín hiệu**

Trên hình 3.1 mô tả quan hệ giữa các đại lượng đo trực tiếp  $U, X, V, Y$  với đại lượng đo gián tiếp  $Z$  và thuật toán xử lý phi tuyến. Cơ sở toán học của hiệu chỉnh phi tuyến trong phép đo gián tiếp là phương pháp biến đổi tham số và giới hạn có điều kiện hệ dữ liệu kết hợp với nội suy tiếp. Trong đó ta biến đổi  $Y, U, V, Z$  về mối quan hệ thông qua hai bước nội suy đại lượng  $X, Y, Z$  về quan giá trị xác lập của  $X$  dữ liệu. Cuối cùng, đại lượng qua hàm nội suy  $Z = f(Y)$ .

**3.1.2 Lưu đồ thuật toán**

Trên hình 3.2 đưa ra phi tuyến trong phép đo dụng 3 chương trình tính khung kép) với lưu đồ

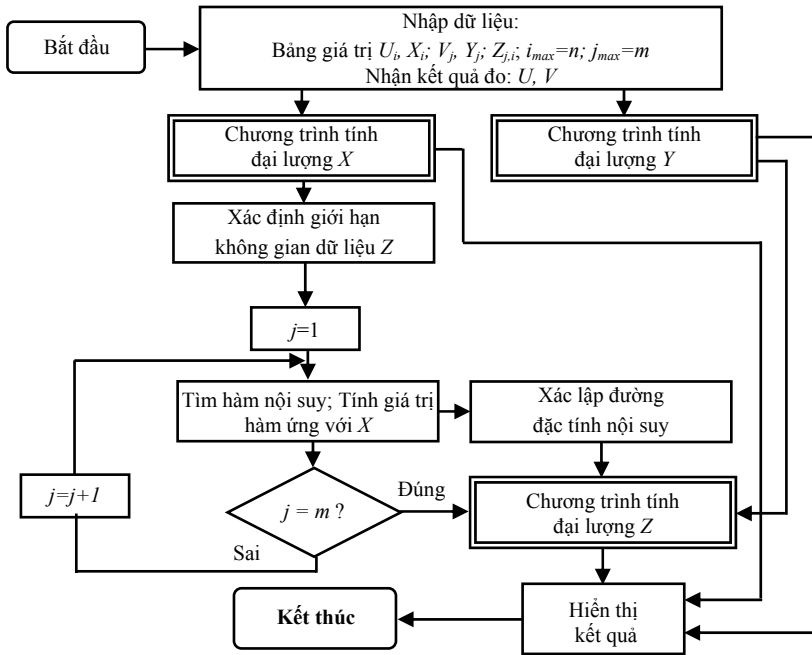


Hình 3.1: Mô tả quan hệ giữa các đối tượng đo và các bước xử lý

Trên hình 3.1 mô tả quan hệ giữa các đại lượng đo trực tiếp  $U, X, V, Y$  với đại lượng đo gián tiếp  $Z$  và thuật toán xử lý phi tuyến. Cơ sở toán học của hiệu chỉnh phi tuyến trong phép đo gián tiếp là phương pháp biến đổi tham số và giới hạn có điều kiện hệ dữ liệu kết hợp với nội suy tiếp. Trong đó ta biến đổi  $Y, U, V, Z$  về mối quan hệ thông qua hai bước nội suy đại lượng  $X, Y, Z$  về quan giá trị xác lập của  $X$  dữ liệu. Cuối cùng, đại lượng qua hàm nội suy  $Z = f(Y)$ .

**hiệu chỉnh phi tuyến**

lưu đồ thuật toán hiệu chỉnh gián tiếp. Trong đó ta sử dụng  $X, Y$  và  $Z$  (các khối đóng thuật toán đưa ra ở hình 2.2.



Hình 3.2: Lưu đồ thuật toán hiệu chỉnh phi tuyến trong phép đo gián tiếp

Với lưu đồ thuật toán ta đưa bài toán không gian dữ liệu về bài toán mảng dữ liệu. Trong đó, sau thuật toán xác định đường đặc tính nội suy đã biến đổi quan hệ phụ thuộc của đại lượng  $Z$  vào 2 đại lượng  $(X, Y)$  về quan hệ phụ thuộc vào một đại lượng  $(Y)$ . Việc xác định  $Z$  theo  $Y$  cũng giống như 2 thuật toán xác định  $X$  theo  $U$  và  $Y$  theo  $V$  trong phép đo trực tiếp.

### 3.1.3 Phương pháp xác định kết quả đo gián tiếp thông qua ba đại lượng

Trong trường hợp hàm tương quan là biểu thức toán học  $Z = F(X, Y, W)$ ; với  $W$  là đại lượng đo trực tiếp thứ 3, ta xác định lần lượt các đại lượng  $X, Y, W$  theo phương pháp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp, sau đó tính đại lượng  $Z$  dựa vào hàm tương quan.

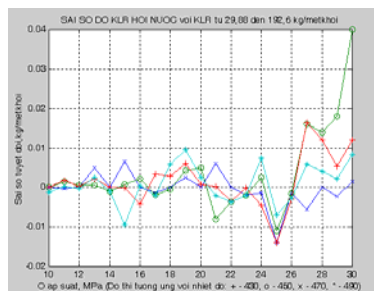
Trong thực tế người ta không thể tăng quá lớn số bảng giá trị  $Z$  theo đại lượng  $W$ , nên điều này dẫn tới sự thiếu hụt thông tin theo đại lượng  $W$ . Ứng dụng hiệu chỉnh phi tuyến bằng phương pháp nội suy bậc 2 theo 3 điểm dữ liệu kế tiếp sẽ khắc phục được nhược điểm này.

### 3.1.4 Chương trình xác định khối lượng riêng hơi nước thông qua nhiệt độ và áp suất

Dữ liệu nhập: Bảng giá nước có giá trị từ 12 cột theo áp suất nhiệt độ  $(420 \div 500)^{\circ}\text{C}$ . Kết sau: Sai số của phép đo áp đo nhiệt độ không vượt số của phép đo khối lượng  $\pm 0,0276988$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Đồ thị tính sai số tuyệt đối (KLR) hơi nước được

Trên cơ sở của thuật toán đã nêu ta có thể xây dựng các hệ thống đo gián tiếp như trình bày dưới đây.



Hình 3.4: Đồ thị sai số đo khối lượng riêng hơi nước

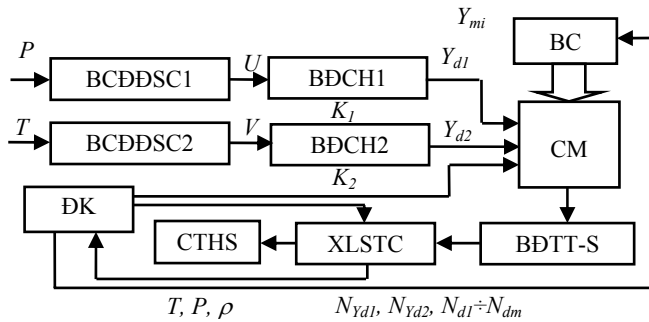
trị khối lượng riêng hơi  $(29,88 \div 192,6)$   $\text{kg}/\text{m}^3$ , gồm  $(10 \div 30)$  MPa và 6 hàng theo quả chạy chương trình như suất bằng 0; sai số của phép quá  $\pm 5,6843 \cdot 10^{-14}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ); sai riêng không vượt quá

đôi của phép đo khối lượng thể hiện trên hình 3.4.



### 3.2 Hệ thống đo nhiệt độ, áp suất và khối lượng riêng hơi nước

Sơ đồ khối của hệ thống được xây dựng như hình 3.5. Lưu đồ thuật toán xử lý thông tin đo được xây dựng theo phương pháp kết hợp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp với biến đổi lặp.



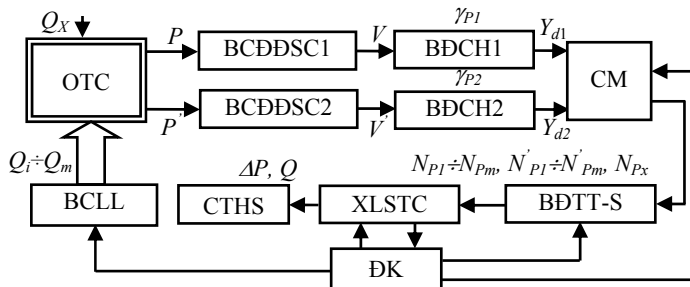
Hình 3.5: Sơ đồ khối hệ thống đo nhiệt độ, áp suất và khối lượng riêng hơi nước

Hệ thống được mô phỏng trên Matlab với các dữ liệu như ở mục 3.1.4 cho kết quả tính toán: Sai số của phép đo áp suất không vượt quá  $\pm 4,2348 \cdot 10^{-12}$  (MPa); sai số của phép đo nhiệt độ không vượt quá  $\pm 6,4574 \cdot 10^{-11}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ); sai số đo khối lượng riêng không vượt quá  $\pm 0,0277$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Kết quả mô phỏng cho thấy: sai số đo mô phỏng điện trở và điện áp của chuyển đổi sơ cấp đã được loại trừ. Sai số của các phép đo áp suất, nhiệt độ, khối lượng riêng rất nhỏ. Điều này kiểm chứng sự đúng đắn của các thuật toán nội suy trong chương trình.

### 3.3 Hệ thống đo hiệu áp suất và lưu lượng khí trên đường dẫn

Sơ đồ khối của hệ thống đo đưa ra trên hình 3.8.



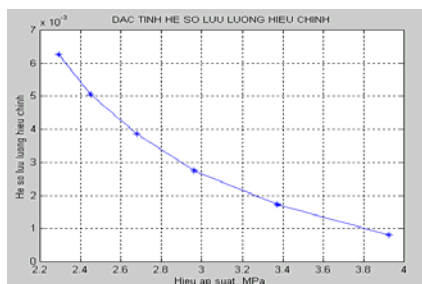
Hình 3.8: Sơ đồ khối hệ thống đo hiệu áp suất và lưu lượng chất khí

Hệ thống được mô phỏng giá trị của chuyển đổi điểm dữ liệu, trong đó áp suất thay đổi từ 10MPa đến 30MPa. Kết quả chạy tính hệ số lưu lượng hiệu chỉnh

#### 3.4 Một số ứng dụng hàm biến đổi trong

Nội suy bậc 2 qua 3 biến đổi lặp là một

không chỉ ứng dụng để thiết kế hệ thống đo các đại lượng cơ-nhiệt như đã trình bày trong phần 3.2, 3.3 mà còn là cơ sở để thiết kế hệ thống đo các đại lượng khác. Luận án đã xây dựng hệ thống đo điện trở mạch vòng, độ dài và kiểm tra chương ngại cấp hữu tuyến trong mạng viễn thông; hệ thống đo công suất hấp thụ và nhiệt độ; Đã mô



Hình 3.10: Đặc tính hệ số lưu lượng hiệu chỉnh

phỏng với hệ dữ nhập gồm: đổi áp suất-điện trở với 12 suất thay đổi từ 10MPa đến 30MPa. Các lượng có sai số rất gần 0.

#### hiệu chỉnh phi tuyến các phép đo gián tiếp

điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp phương pháp giảm sai số nên

phòng các hệ thống nêu trên. Kết quả mô phỏng đã khẳng định hiệu quả giảm sai số của phương pháp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp biến đổi lặp.

### 3.5 Kết luận chương 3

1. Đại lượng đo gián tiếp phụ thuộc vào các đại lượng đo trực tiếp theo hàm tương quan phi tuyến cho dưới dạng bảng giá trị; được xác định thông qua các bước nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp nhau với điều kiện trong mỗi bước giới hạn được miền dữ liệu dựa theo kết quả các phép đo trực tiếp và tạo được tương quan giữa 2 đại lượng.

2. Ứng dụng thuật toán nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp trong hệ thống đo gián tiếp cho phép giảm sai số biến đổi của BCĐĐSC, BĐTT-S và nhận thang đo tuyến tính; tạo được đặc tính dạng bảng và đặc tính hiệu chỉnh không tương minh trong phép đo các đại lượng cơ-nhiệt, tại đó các đại lượng cần đo phụ thuộc vào nhiều tham số.

3. Các kết quả chạy các chương trình mô phỏng một số hệ thống đo gián tiếp cho thấy: Đã giảm được sai số của BĐTT-S; kết quả của các phép đo trực tiếp và gián tiếp đạt được độ chính xác cao.

## CHƯƠNG 4 KẾT QUẢ THỰC TIỄN XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ-NHIỆT CỦA CHẤT LƯU TRÊN ĐƯỜNG DẪN

Ứng dụng các kết quả nghiên cứu ở chương 2, trong chương này sẽ đưa ra một số phương án thiết kế PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt điển hình của chất lưu như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng. Ngoài việc minh chứng tính đúng đắn của hướng nghiên cứu, khẳng định độ tin cậy của các kết quả nghiên cứu; đây còn là một đóng góp ban đầu làm cơ sở cho việc chế tạo PTĐ đa năng, thay thế một phần các thiết bị ngoại nhập.

### 4.1 PTĐ cơ-nhiệt ứng dụng hiệu chỉnh sai số bằng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp

#### 4.1.1 PTĐ ứng dụng bộ logic khả trình (PLC)

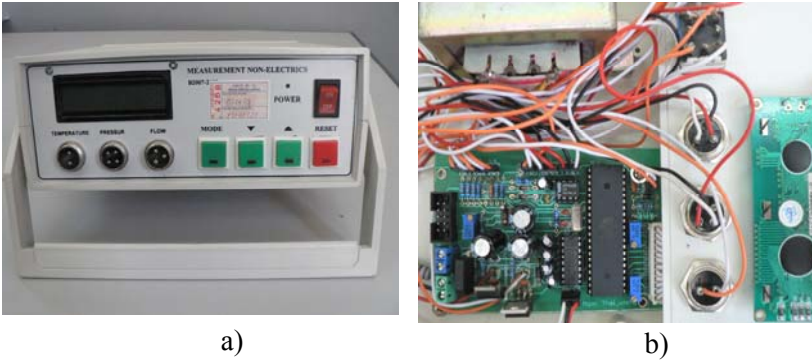
PTĐ ứng dụng PLC được thiết kế để thực hiện nhiệm vụ đo giám sát các đại lượng: nhiệt độ trong dải  $(0 \div 100)^{\circ}\text{C}$ ; áp suất trong dải  $(0 \div 600)$  kPa; lưu lượng trong dải  $(0,05 \div 10)$  l/phút và đã được kiểm tra kỹ thuật tại Trung tâm Đo lường thuộc Cục Tiêu chuẩn-Đo lường-Chất lượng, Tổng cục kỹ thuật và đạt được các kết quả chính như sau:

- Sai số của phép đo nhiệt độ không vượt quá  $\pm 0,085^{\circ}\text{C}$ , tức là nhỏ hơn khoảng 11,7 lần sai số của CĐNĐ;
- Sai số của phép đo áp suất không vượt quá  $\pm 0,145$  kPa tức là nhỏ hơn khoảng 20,7 lần sai số của CĐAS;
- Sai số của phép đo lưu lượng không vượt quá  $\pm 0,38$  %, tức là nhỏ hơn khoảng 7,9 lần sai số của CĐLL.

#### 4.1.2 PTĐ ứng dụng kỹ thuật vi xử lý

PTĐ được thiết kế để đo các tham số nhiệt độ, áp suất, lưu lượng. Trên hình 4.6a đưa ra ảnh chụp mặt trước và hình 4.6b là ảnh chụp các khối chức năng chính của mạch điện PTĐ.





Hình 4.6: Mặt trước và mạch điện PTĐ

Để đánh giá sai số của PTĐ này ta sử dụng PTĐ ứng dụng PLC đã trình bày ở 4.1.1 để thực hiện các phép đo đối chứng các đại lượng nhiệt độ, áp suất, lưu lượng. Kết quả như sau:

- Sai số của phép đo nhiệt độ không vượt quá  $+0,155^{\circ}\text{C}$  tức là giảm hơn 4,5 lần so với sai số của CĐND;
- Sai số của phép đo áp suất không vượt quá  $\pm 0,003$  psi tức là nhỏ hơn khoảng 20,7 lần sai số của CĐAS;
- Sai số của phép đo lưu lượng không vượt quá  $\pm 0.017$  l/phút, tức là nhỏ hơn khoảng 17 lần sai số của CĐLL.

#### 4.2 PTĐ cơ-nhiệt ứng dụng hiệu chỉnh sai số bằng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp biến đổi lặp

PTĐ được thiết kế để đo tham số của chất lưu gồm: đo nhiệt độ trong dải từ  $-20^{\circ}\text{C}$  đến  $+220^{\circ}\text{C}$ , đo áp suất trong dải từ 0 đến 600 kPa. Kết quả kiểm tra kỹ thuật PTĐ tại Trung tâm Đo lường thuộc Cục Tiêu chuẩn-Đo lường-Chất lượng, Tổng cục Kỹ thuật cho các số liệu như sau:

- Với phép đo nhiệt độ: Sai số không vượt quá  $\pm 0,025^{\circ}\text{C}$ , tức là giảm khoảng 3,4 lần so với sai số của PTĐ nhiệt độ chỉ ứng dụng nội suy bậc 2 như đã trình bày ở mục 4.1.1. Nếu so sánh với một số PTĐ nhiệt độ thông dụng có trên thị trường hiện nay như EC/TDS/AD 3000 của hãng ADWA (Bi), TFI 200 của hãng EBRO (CHLB Đức) ... thì sai số của PTĐ chế thử nhỏ hơn khoảng 18 lần.
- Với phép đo áp suất: Sai số không vượt quá  $\pm 0,065$  kPa, tức là giảm khoảng 2,2 lần so với sai số PTĐ nhiệt độ chỉ ứng dụng nội suy bậc 2 như đã trình bày ở mục 4.1.1. Nếu so sánh với một số PTĐ áp suất thông dụng có trên thị trường hiện nay như VAM 320 của hãng EBRO (CHLB Đức), PHB 318 của hãng LUTRON (Đài Loan), ASK D60 của Nhật Bản, ... thì sai số của PTĐ chế thử nhỏ hơn khoảng 16.5 lần.

Cần nêu thêm rằng, hiệu quả giảm sai số của giải pháp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp trong khoảng hẹp kết hợp với biến đổi lặp đã được thể hiện qua các chương trình mô phỏng PTĐ đưa ra ở chương 2, 3 của luận án. Các PTĐ chế thử đã trình bày ở chương 4 chỉ nhằm khẳng định một lần nữa sự đúng đắn và độ tin cậy của giải pháp đã đề xuất với ứng dụng công cụ là PLC và bộ vi xử lý. Do điều kiện hạn chế về kinh phí và công cụ nên tác giả chỉ sử dụng các linh kiện thương mại có sẵn ở thị trường trong nước để chế thử PTĐ cơ-nhiệt. Với thực tế đó, việc ứng dụng nội suy và biến đổi lặp để chế thử được các PTĐ nhiệt độ với sai số không vượt quá  $\pm 0,025^{\circ}\text{C}$ , PTĐ áp suất

với sai số không vượt quá  $\pm 0,065\text{kPa}$ , ... đã khẳng định được sự đúng đắn của giải pháp đưa ra trong luận án.

### 4.3 Kết luận chương 4

1. Kết quả chế thử PTĐ cơ-nhiệt đã khẳng định khả năng ứng dụng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp, biến đổi lặp và sự kết hợp giữa chúng để giảm sai số của PTĐ.
2. PTĐ các đại lượng cơ-nhiệt của chất lưu trên đường dẫn có thể thiết kế theo nguyên tắc đa kênh để đơn giản hóa phân cứng và tiết kiệm chi phí chế tạo PTĐ.
3. Với các PTĐ thông thường có thể sử dụng các họ vi điều khiển kết hợp với bộ hiển thị bằng màn hình tinh thể lỏng trong thiết kế, cho phép giảm nhỏ kích thước, tăng tính cơ động và sử dụng thuận tiện. Với các hệ thống đo lường giám sát làm việc trong môi trường công nghiệp khắc nghiệt, các bộ PLC là giải pháp phân cứng hợp lý, cho phép PTĐ làm việc với độ tin cậy và ổn định cao.
4. Thuật toán xử lý thông tin đo lường ứng dụng nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp không quá phức tạp nên tốc độ đo cao và không yêu cầu lớn về dung lượng bộ nhớ. Điều này cho phép đa dạng hóa các giải pháp phân cứng để chế tạo PTĐ theo mục đích sử dụng.

## KẾT LUẬN CHUNG

Luận án đã có những đóng góp mới sau đây:

1. Xây dựng mô hình và thuật toán xử lý hàm biến đổi của BCĐĐSC dạng bảng giá trị gồm  $n$  cặp dữ liệu bằng  $(n-2)$  đường cong nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp. Các hệ số biến đổi của các phương trình nội suy được tính bằng thuật toán và chương trình xác lập với giá trị và dấu phụ thuộc vào giá trị của đại lượng đo được. Trên cơ sở đó tính giá trị của đại lượng đo - nghiệm của một trong  $(n-2)$  phương trình nội suy bậc 2.
2. Ứng dụng phương pháp biến đổi lặp và dùng mẫu để xây dựng thuật toán xử lý tín hiệu số trong PTĐ có hàm biến đổi dạng phức tạp như: đa thức bậc 3, đa thức bậc nhất kết hợp với hàm mũ, đa thức bậc nhất kết hợp với hàm sin, cho phép giảm được sai số biến đổi và nhận thang đo tuyến tính.
3. Đại lượng cơ-nhiệt đo gián tiếp phụ thuộc vào các đại lượng đo trực tiếp theo hàm tương quan phi tuyến cho dưới bảng giá trị, được xác định bằng cách chuyển bài toán không gian dữ liệu về bài toán mảng dữ liệu thông qua các bước nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp với điều kiện trong mỗi bước giới hạn được miền dữ liệu dựa theo kết quả các phép đo trực tiếp và tạo được tương quan giữa 2 đại lượng.
4. Xây dựng mô hình và thuật toán kết hợp nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp với biến đổi lặp nhằm giảm sai số của PTĐ trong phép đo trực tiếp và gián tiếp các đại lượng cơ-nhiệt vô hướng và có hướng như: nhiệt độ, khối lượng riêng hơi nước, lực, áp suất, ...
5. Đã ứng dụng các thuật toán giảm sai số đưa ra trong luận án để thiết kế chế tạo thử nghiệm một số PTĐ cơ-nhiệt dùng PLC, vi xử lý và đã đạt được: Sai số đo nhiệt độ, áp suất và lưu lượng tương ứng giảm được khoảng 28.2 lần, 20.7 lần và 7.9 lần so với trường hợp chưa ứng dụng hiệu chỉnh.

Thuật toán nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp, được minh chứng bằng mô phỏng và kết quả thử nghiệm, cho phép tạo ra hệ công cụ hữu ích phục vụ quá trình thiết kế, chế tạo các máy đo và hệ thống đo cơ-nhiệt đa năng với độ chính xác cao.

Hướng phát triển của luận án:

Thuật toán nội suy bậc 2 qua 3 điểm dữ liệu kế tiếp kết hợp với biến đổi lặp còn có thể ứng dụng để:

- Xây dựng các máy đo và hệ thống đo lường-kiểm tra các đại lượng không điện khác;

- Xây dựng thuật toán cho các bài toán điều khiển vị trí trong không gian dùng động cơ bước, động cơ servo, khí nén-thủy lực, ... ứng dụng trong các hệ thống điều khiển tự động, điều khiển robot;

Xây dựng thuật toán điều khiển trơn đường chạy dao tốc độ cao trong máy CNC để gia công cơ khí.