

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay, chất lượng không khí trong môi trường dân sinh cũng như môi trường công nghiệp ngày càng xuống thấp. Sự gia tăng các nguồn khí thải nhân tạo từ các hoạt động công nghiệp và sinh hoạt đã đưa vào khí quyển hàng trăm tấn khí độc hại như: H_2S , NH_3 , SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , O_3 ... Đây là một trong những hiểm họa trong cuộc sống hiện đại khi mà lĩnh vực sản xuất ngày càng phát triển. Bên cạnh việc nâng cao chất lượng sản xuất có tính bền vững và bảo vệ môi trường thì công tác giám sát, cảnh báo chất lượng không khí cũng rất quan trọng. Trong môi trường công nghiệp các loại khí độc hại nếu vượt quá một tỷ lệ giới hạn nhất định sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe người lao động cũng như môi trường sống của con người. Do vậy, vấn đề nâng cao chất lượng đo lường, giám sát các loại khí độc hại để đưa ra các giải pháp hạn chế, loại bỏ chúng là nhiệm vụ cấp bách và quan trọng trong việc bảo vệ môi trường và an sinh xã hội.

Về vấn đề này, trên thế giới và Việt Nam đã và đang có nhiều các nhà khoa học quan tâm và công bố nhiều kết quả nghiên cứu của mình. Tuy nhiên, môi trường công nghiệp rất phức tạp với sự pha trộn của rất nhiều loại khí, bên cạnh đó yếu tố nhiệt độ và độ ẩm của môi trường cũng dẫn đến làm suy giảm độ chính xác của các phép đo. Vì vậy vấn đề nghiên cứu nâng cao chất lượng cho các phép đo nồng độ khí vẫn còn tồn tại nhiều bất cập, hạn chế cần phải tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện.

2. Mục đích nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của luận án là ứng dụng ANN để nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí H_2S , NH_3 và CO .

3. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là các cảm biến loại bán dẫn đo nồng độ khí độc hại trong môi trường công nghiệp.

Phạm vi nghiên cứu: Các loại cảm biến bán dẫn có đặc tính phi tuyến làm việc trong điều kiện bị ảnh hưởng của yếu tố môi trường như nhiệt độ và độ ẩm với hỗn hợp khí đầu vào, từ đó đề xuất các cấu trúc cảm biến ANN để nâng cao độ chính xác cho phép đo.

4. Phương pháp nghiên cứu

4.1. Nghiên cứu lý thuyết

Luận án tập trung phân tích những ưu, nhược điểm các cảm biến bán dẫn là phần tử quan trọng trong hệ thống đo và phát hiện nồng độ các khí độc hại trong môi trường công nghiệp để đề xuất phương pháp nâng cao chất lượng phép đo.

Nghiên cứu lý thuyết ANN nói chung và ANN MLP nói riêng, ứng dụng ANN để xuất xây dựng cấu trúc cảm biến có tích hợp ANN để nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn.

4.2. Mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng kết quả

Kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết bằng mô phỏng off-line trên phần mềm Matlab để đánh giá những kết quả đạt được của các giải pháp đã đề xuất.

Xây dựng mô hình thực nghiệm tiến hành kiểm chứng bằng thực nghiệm trên cảm biến thực cho ứng dụng loại trừ sai số của yếu tố ảnh hưởng.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Luận án có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong lĩnh vực đo lường và ANN.

Ý nghĩa khoa học: Đề xuất phương pháp ứng dụng mới ANN để nâng cao chất lượng của cảm biến đo nồng độ khí. Phương pháp này góp phần tiếp tục minh chứng ANN là công cụ với khả năng tính toán song song, bền với nhiễu và lỗi của số liệu đầu vào, có khả năng thực thi dưới dạng phần mềm hoặc phần cứng.

Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu của luận án có thể sử dụng để tích hợp, cải tiến, chế tạo mới các cảm biến bán dẫn đo nồng độ chất khí trong môi trường công nghiệp.

6. Những đóng góp mới của luận án

Nghiên cứu một số vấn đề lý luận và mô phỏng, kiểm nghiệm thực tế nhằm ứng dụng ANN để nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí H_2S , NH_3 và CO trong khí thải công nghiệp cụ thể là trong các ứng dụng:

- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN để bù sai số của yếu tố ảnh hưởng như nhiệt độ, độ ẩm, ANN có cấu trúc đơn giản có một đầu vào là nhiệt độ môi trường, số nơ-ron lớp ẩn thấp chỉ từ 1÷2 nơ-ron để xấp xỉ chính xác các đặc tính ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tới kết quả đo, từ đó làm cơ sở cho ứng dụng bù. Phần bù sử dụng phối hợp phương pháp nội suy tuyến tính và tính toán bằng mạng ANN, đây là đóng góp mới và khác biệt với các công trình khác sử dụng ANN có hai đầu vào là nhiệt độ, độ ẩm và số lớp ẩn, số nơ-ron lớp ẩn lớn.
- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN có khả năng loại trừ tính phản ứng đa khí hay nói cách khác có khả năng phân biệt và ước lượng chính xác được nồng độ khí thành phần có trong hỗn hợp khí đầu vào.
- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN có thể điều chỉnh đặc tính của cảm biến.
- Ngoài ra còn đóng góp xây dựng cấu trúc cảm biến tích hợp ba chức năng như: Bù sai số nhiệt độ và độ ẩm, khắc phục tính phản ứng đa khí và điều chỉnh đặc tính của cảm biến.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC CẢM BIẾN BÁN DẪN ĐO NỒNG ĐỘ KHÍ TRONG MÔI TRƯỜNG CÔNG NGHIỆP

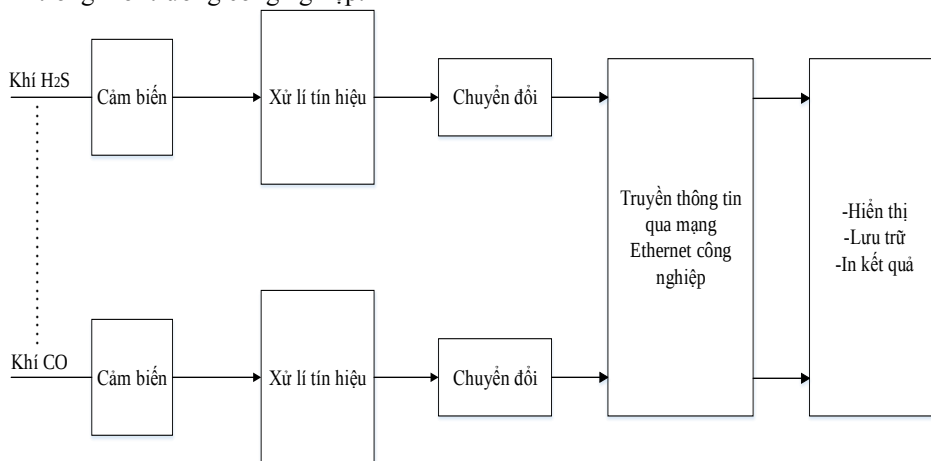
1.1. Tầm quan trọng của các loại cảm biến đo nồng độ khí độc hại

1.1.1. Ảnh hưởng của các chất khí độc hại đến sức khỏe con người

Ô nhiễm môi trường không khí có tác động xấu đến sức khỏe con người, ảnh hưởng đến các hệ sinh thái và biến đổi khí hậu,... Công nghiệp hoá càng mạnh, đô thị hoá càng phát triển thì nguồn khí thải gây ô nhiễm môi trường không khí càng nhiều. Trong các loại khí độc hại đó phải kể tới: Khí CO (nguồn khí thải từ các lò than, động cơ ô tô, xe máy...), khí H_2S và khí NH_3 (nguồn khí thải trong sản xuất nông nghiệp) là một trong các loại khí hàng ngày con người chúng ta thường xuyên tiếp xúc. Bộ Tài nguyên môi trường đã đưa ra những quy chuẩn nồng độ tối đa cho phép của một số khí này. Do đó, để bảo vệ môi trường thì công tác giám sát, cảnh báo chất lượng không khí là vô cùng quan trọng.

1.1.2. Giới thiệu chung về cảm biến đo nồng độ khí

Trên hình 1.1 trình bày sơ đồ nguyên lý một hệ thống đo và giám sát nồng độ chất khí trong môi trường công nghiệp.



Hình 1.1. Sơ đồ hệ thống giám sát nồng độ chất khí trong môi trường công nghiệp

Đo nồng độ các loại khí người ta thường dùng các loại cảm biến khác nhau: [8, 23] các cảm biến đo nồng độ khí truyền thống có độ chính xác cao đó là sắc ký khí, thiết bị phân tích phổ... Tuy nhiên, các thiết bị đo này có hạn chế như: kích thước lớn, cấu tạo phức tạp, giá thành cao, quá trình vận hành sử dụng thiết bị khó khăn và thời gian phân tích dài. Do đó, các thiết bị này đều được lắp đặt cố định và không thích hợp cho việc thực hiện phân tích nhanh và trực tiếp tại hiện trường. Để đáp ứng được với yêu cầu thực tế, các cảm biến khí hóa học trên cơ sở vật liệu dạng rắn, cảm biến bán dẫn, cảm biến nhiệt xúc tác, cảm biến điện hóa, cảm biến dựa trên hiệu ứng trường của một số linh kiện bán dẫn, v.v. được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trong thực tế. Nguyên lý làm việc của các cảm biến bán dẫn là dựa trên sự thay đổi độ dẫn điện của màng mỏng bán dẫn khi hấp thụ chất khí trên bề mặt ở nhiệt độ từ 150°C ÷ 500°C . Có hai loại cảm biến bán dẫn được sử dụng thông dụng nhất được làm từ ô-xít kim loại: Loại màng dày (SnO_2) và loại màng mỏng (VO_3)

1.2. Tổng quan về một số giải pháp nâng cao chất lượng cảm biến đo nồng độ khí

1.2.1. Các ưu, nhược điểm của cảm biến bán dẫn

Cảm biến bán dẫn có nhiều ưu điểm [4, 8]: Độ nhạy cao, thời gian hồi đáp nhỏ, mạch điều khiển đơn giản, dễ vận hành, phản ứng được với nhiều loại khí độc, hại. Tuy nhiên các cảm biến bán dẫn cũng có nhiều nhược điểm, cụ thể như sau: Bị ảnh hưởng bởi yếu tố môi trường là nhiệt độ và độ ẩm, phản ứng với đa khí và đặc tính làm việc phi tuyến.

1.2.2. Tổng quan các giải pháp nâng cao chất lượng

Với các ưu nhược điểm của cảm biến bán dẫn thì để sử dụng tốt chúng ta cần phải có các giải pháp nâng cao chất lượng đó là:

- ✓ Bù sai số của yếu tố ảnh hưởng nhiệt độ và độ ẩm của môi trường đo
- ✓ Loại trừ tính phản ứng đa khí

✓ *Điều chỉnh đặc tính của các cảm biến*

1.3. Tình hình nghiên cứu nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí

1.3.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Các công trình nghiên cứu ngoài nước về vấn đề nâng cao chất lượng đo nồng độ khí được nhiều tác giả quan tâm, giải quyết theo hai hướng chính:

- Giải pháp truyền thống, đó là ứng dụng kỹ thuật vi xử lý [23, 25...]. Tuy nhiên giải pháp sử dụng mạch phân cứng thường thích hợp hơn cho các nhà sản xuất nước ngoài vì trình độ công nghệ chế tạo trong nước chưa đáp ứng được yêu cầu độ chính xác quá cao.

- Giải pháp bù bằng phần mềm là xây dựng các hàm điều chỉnh được trình bày ở [20, 31, 50...].

Nhìn chung, đa số các phương pháp tính toán, xử lý hoặc có yêu cầu tính toán khá lớn, hoặc yêu cầu về thiết bị hoặc mạch tích hợp cao. Các phương pháp đơn giản hơn như các thuật toán tuyến tính hóa, LUT,... phải chấp nhận sai số lớn hơn. Mặt khác các phương pháp này chưa đạt được tính tổ hợp và cơ động cao trong cấu trúc của hệ thống đo.

Để tránh những nhược điểm của các phương pháp truyền thống, giải pháp ứng dụng các công cụ hiện đại như lý thuyết mờ, lý thuyết ANN được nghiên cứu và triển khai. Kết quả của hàng loạt các công trình đã chứng minh cho tính khả thi đó [14, 15, 18, 38..]. Tuy nhiên ứng dụng ANN có cấu trúc mạng phức tạp (MLP 3 đầu vào) [33], số nơ-ron lớp ẩn cho bài toán bù sai số của yếu tố ảnh hưởng quá lớn (11 nơ-ron ẩn [14], 25 nơ-ron ẩn [9]), kết quả sai số lớn 14,3ppm [15]. Với một hỗn hợp nhiều khí mạng MLP chỉ nhận dạng mà không đưa ra kết quả ước lượng chính xác nồng độ của các khí thành phần. Khi ước lượng được nồng độ khí thì lại dùng các loại mạng phức tạp, hoặc phải kết hợp hai loại mạng (mạng lai) [15].

1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Công trình [9] đã ứng dụng ANN MLP để thông minh hóa cảm biến đo lường là xây dựng một thuật toán thiết kế ANN ứng dụng cho cảm biến đo lường đạt được các thông số cấu trúc tối ưu cho cấu trúc ANN. Tác giả của [9] đã nghiên cứu một số bài toán cụ thể đó là tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến có dạng đường cong sang dạng đường thẳng, đồng thời ứng dụng ANN để bù sai số do yếu tố ảnh hưởng của nhiệt độ mà chưa xét tới sự ảnh hưởng của độ ẩm. Cấu trúc ANN phức tạp tới 2 đầu vào cho ứng dụng bù sai số của cảm biến đo độ pH gây bởi yếu tố ảnh hưởng là nhiệt độ dung dịch, số nơ-ron lớp ẩn xác định được trong trường hợp này là 25 nơ-ron. Ngoài ra cả hai bài toán tuyến tính hóa và bù sai số được giải quyết độc lập, riêng rẽ chưa tích hợp trên cùng một loại cảm biến và kết quả chỉ dừng lại ở bài toán mô phỏng chưa có thực nghiệm.

1.4. Định hướng nghiên cứu của luận án

Qua tổng kết các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước áp dụng các giải pháp để nâng cao chất lượng cho cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí nhận thấy: Các giải pháp đã nghiên cứu đều có những ưu, nhược điểm nhất định. Giải pháp truyền thống thì đơn giản nhưng tính hiệu quả lại không cao. Giải pháp hiện đại thì dùng các loại mạng phức tạp như SOM, ART hay các mạng lai, mạng đơn giản MLP thì lại có cấu trúc phức tạp, số đầu vào nhiều, số lớp ẩn và số nơ-ron lớp ẩn lớn, điều này sẽ ảnh hưởng

lớn đến tốc độ xử lý. Hơn nữa các công trình nghiên cứu trước các chức năng nâng cao chất lượng cho một phép đo còn độc lập, một chức năng cho một cảm biến riêng rẽ, chưa tích hợp được nhiều chức năng trên cùng một cảm biến, chưa giải quyết được ứng dụng vừa bù sai số của yếu tố ảnh hưởng vừa loại trừ tính phản ứng đa khí và vừa điều chỉnh đặc tính cảm biến. Ngoài ra hiện thực hóa ANN đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều ở các nước có công nghệ tiên tiến, những chip nơ-ron thương phẩm đã có và được giới thiệu trong [26, 27]. Vấn đề đặt ra cần nghiên cứu là hiện thực hóa ANN trong điều kiện Việt Nam, nội địa hóa việc thiết kế các cảm biến có áp dụng các giải pháp nâng cao chất lượng dùng ANN cho cảm biến đo nồng độ khí trong môi trường công nghiệp. Đây là nhiệm vụ có tính cấp thiết và có tính khả thi cao trong tình hình công nghiệp đất nước đang phát triển, môi trường đang bị ô nhiễm và huỷ hoại. Từ khía cạnh nghiên cứu đó, vấn đề nghiên cứu được đặt ra là ứng dụng ANN có cấu trúc đơn giản để khắc phục các nhược điểm của cảm biến bán dẫn.

1.5. Kết luận chương 1

Chương 1 đã thực hiện:

- Tổng quan về cảm biến và các giải pháp nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí.
- Tổng quan các công trình nghiên cứu nâng cao chất lượng cảm biến khí liên quan, chỉ rõ những vấn đề đã giải quyết và những vấn đề tồn tại của hướng nghiên cứu này.
- Xác định rõ nội dung nghiên cứu của luận án là ứng dụng ANN có cấu trúc đơn giản để nâng cao chất lượng của cảm biến bằng giải quyết các nội dung sau: Bù sai số của yếu tố ảnh hưởng, khắc phục tính phản ứng đa khí, điều chỉnh đặc tính của cảm biến sau đó tích hợp cả ba chức năng trên cùng một hệ thống đo nồng độ khí.

Các nghiên cứu lý thuyết của chương 1 sẽ là tiền đề và cơ sở lý luận cho chương 2 xây dựng cấu trúc hệ thống để nâng cao chất lượng của cảm biến.

Chương 2. ỨNG DỤNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CẢM BIẾN BÁN DẪN ĐO NỒNG ĐỘ KHÍ

2.1. Cơ sở lý thuyết của ANN MLP

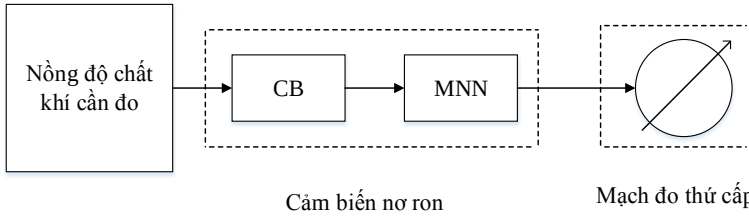
Trong luận án ứng dụng ANN MLP với cấu trúc đơn giản, hợp lý được lựa chọn là giải pháp trong cả ba vấn đề chính được đề cập để nâng cao chất lượng của cảm biến đo nồng độ khí.

2.2. Ứng dụng ANN nâng cao chất lượng cảm biến

2.2.1. Cấu trúc cảm biến ứng dụng ANN nâng cao chất lượng cảm biến

Luận án đề xuất một cấu trúc cảm biến chung ứng dụng ANN để nâng cao chất lượng cảm biến đo nồng độ khí trong môi trường công nghiệp được thể hiện trên hình 2.1.

Mục đích đưa khâu nơ-ron vào cảm biến là nhằm tạo ra những đặc tính mong muốn cho ứng dụng nâng cao chất lượng. Đầu ra của cảm biến mới có ứng dụng ANN sẽ có những tính chất ưu việt hơn đầu ra của cảm biến cũ. Cấu trúc có hai khâu chức năng chính: cảm biến và chuyển đổi nơ-ron.



Hình 2.1. Sơ đồ cấu trúc chung của cảm biến sơ cấp non-ron

2.2.2. Sử dụng ANN bù sai số của các yếu tố ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm

2.2.2.1. Các phương pháp cổ điển bù sai số của các yếu tố ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm

Các giải pháp loại trừ theo phương pháp truyền thống là phương pháp sử dụng mạch phân cứng và sử dụng phần mềm.

1. Mạch sử dụng nhiệt điện trở bù nhiệt

Như đối với các cảm biến bán dẫn (SnO_2), để bù nhiệt độ, [25] sử dụng một điện trở nhiệt T^0 có hệ số nhiệt điện trở âm và có mức độ biến thiên phụ thuộc vào nhiệt độ cũng tương đương với cảm biến, khi đó điện áp đầu ra của mạch đo sẽ ổn định hơn theo nhiệt độ và giải pháp này cũng được hãng Firago áp dụng vào dòng cảm biến TGS [18].

2. Bù bằng các hàm hiệu chỉnh

Bên cạnh việc sử dụng các phần tử bù nhiệt, đối với các mạch đo có sử dụng vi xử lý, ta có thể sử dụng các hàm hiệu chỉnh như sau: sử dụng tín hiệu $T^0\text{C}$ và $\text{RH}\%$ từ hai cảm biến đo nhiệt độ và đo độ ẩm, từ đó xây dựng hàm hiệu chỉnh như (2.1):

$$y_{\text{corr}} = a + b.y_{\text{old}} + c.T + d.RH \quad (2.1)$$

Trong đó y_{old} , y_{corr} là tín hiệu đầu ra trước và sau khi bù, còn a , b , c , d là các hệ số hay lượng hiệu chỉnh tương ứng như một loạt các hàm hiệu chỉnh trong [20, 31, 50].

3. Bù bằng bảng ảnh hưởng

Khi nghiên cứu các cảm biến [4] chỉ ra rằng các giải pháp để loại trừ những yếu tố ảnh hưởng này rất khó. Không những thế ở những cảm biến khác nhau cùng một công nghệ chế tạo, ảnh hưởng này cũng khác nhau vì thế trong các cảm biến thông minh người ta thường bù ảnh hưởng của các yếu tố không mang thông tin ngay trên cảm biến sử dụng như sau:

Quá trình đo được mô tả như (2.2).

$$y = f(x, a, b, \dots) \quad (2.2)$$

Phương trình cơ bản của các cảm biến có dạng (2.2) là nguyên tắc hoạt động của các cảm biến. Trong đó x là đại lượng cần đo, còn a , b , ... là các yếu tố ảnh hưởng tới phép đo.

Giả sử khi đo trong điều kiện tiêu chuẩn, đặc tính tĩnh của cảm biến là $y_o(x)$. Xét tại một điểm đo thứ k nào đó kết quả đo là $y_{ok}(x_k)$. Khi có sự thay đổi của yếu tố a , b , ..., giá trị thứ k đo được là $y_{sk}(x_k)$. Vậy ta có sai số của phép đo như (2.3):

$$\Delta y = y_{ok}(x_k) - y_{sk}(x_k) \quad (2.3)$$

Xét cho khoảng biến đổi nhỏ xung quanh giá trị tại một điểm, lúc này sai số của đại lượng đầu ra khi có các yếu tố ảnh hưởng khác, được viết lại như (2.4):

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial f}{\partial b} \Delta b + \dots \quad (2.4)$$

$\frac{\partial f}{\partial x} \Delta a$, Δb là ảnh hưởng của yếu tố a, b tới kết quả đo y. Bằng thực nghiệm, số liệu về sự ảnh hưởng của yếu tố a, b, được thu thập và được biểu diễn trong bảng 2.1. Số liệu trong bảng được ghi vào bộ nhớ của cảm biến. Khi xử lý số liệu của quá trình đo, để bù sai số ảnh hưởng hệ vi xử lý (hoặc máy tính) sẽ tham chiếu bảng (theo chương trình) để có được giá trị Δ_{ij} tương ứng, sau đó nội suy tuyến tính ra giá trị của đại lượng đo mà ta phải bù, để loại sai số do sự ảnh hưởng của yếu tố A.

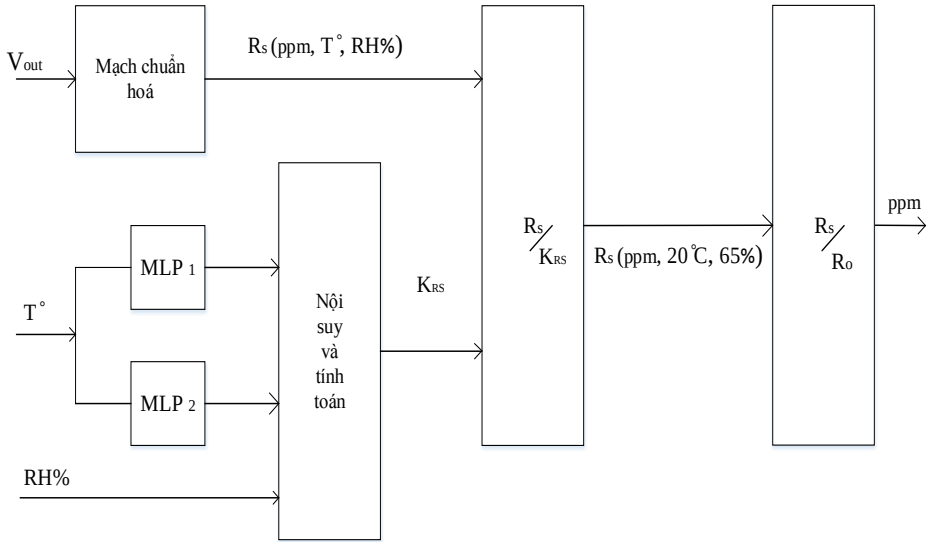
Bảng 2.1. Bảng số liệu LUT về sai số do yếu tố ảnh hưởng

$\begin{matrix} \text{X} \\ \text{A} \end{matrix}$	X_1	X_2	...	X_i	X_n
A_1	X'_{11}	A_{12}	...	Δ_{11}	Δ_{1n}
A_2	A_{21}	A_{22}	...	Δ_{21}	Δ_{2n}
...	...	...	...	...	...
A_j	A_{j1}	A_{j2}	...	Δ_{ji}	Δ_{jn}
A_m	A_{m1}	A_{m2}	...	Δ_{mi}	Δ_{mn}

Nhận xét: Với 3 phương pháp bù sai số như trên ta thấy giải pháp bù bằng mạch phần cứng thường dành cho các nhà sản xuất nước ngoài. Quá trình xử lý số liệu để loại trừ sai số gây bởi các yếu tố ảnh hưởng như hai phương pháp còn lại được thực hiện trong quá trình đo cũng có những nhược điểm nhất định, đó là với thuật toán tuần tự của kỹ thuật máy tính truyền thống, thì vấn đề về thời gian xử lý. Vấn đề này không gây cản trở với những trường hợp không đòi hỏi nhanh kết quả đo. Nhưng trong sản xuất hiện đại, nhiều quá trình công nghệ được điều khiển tự động, tại đó có rất nhiều đại lượng cần đo và xử lý kết quả nhanh, nhiều phép đo đòi hỏi làm việc trong miền thời gian thực thì đây sẽ là một nhược điểm lớn.

2.2.2.2. Đề xuất cấu trúc cảm biến bù sai số của yếu tố ảnh hưởng

Để khắc phục nhược điểm đó, một hướng giải quyết vấn đề nêu trên là ứng dụng tính toán nơ-ron. Ý tưởng của giải pháp là chuyển các tính toán xử lý số liệu đo lường từ chỗ gắn liền với quá trình đo về quá trình thiết kế chế tạo. Thay quá trình hiệu chỉnh số liệu đo được, loại bỏ ảnh hưởng của các sai phân bằng quá trình ánh xạ hàm nhiều biến, cập nhật tức thời giá trị các yếu tố ảnh hưởng tới kết quả đo. Lúc này: không phải $y = f(x, a, b, \dots)$ mà là $z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$. Trong trường hợp này, sai số gây bởi các yếu tố ảnh hưởng được tính toán để loại trừ ngay trong khi thiết kế chế tạo cảm biến. Các kết quả xử lý số đo đó được đưa vào bên trong bộ cấu trúc của cảm biến nơ-ron, cụ thể là của khâu chuyển đổi nơ-ron. Với những ưu điểm của phương pháp dùng ANN để bù sai số của yếu tố ảnh hưởng cho cảm biến bán dẫn được tác giả lựa chọn và đề xuất bởi cấu trúc thể hiện trên hình 2.3.



Hình 2.3. Cấu trúc cảm biến được đề xuất bù sai số của yếu tố ảnh hưởng

Cấu trúc hệ gồm 3 đầu vào: Đầu vào thứ nhất là tín hiệu thu được từ đầu ra V_{out} của cảm biến bị biến thiên bởi các yếu tố ảnh hưởng nhiệt độ và độ ẩm, đầu vào thứ hai và thứ ba từ hai cảm biến nhiệt độ và độ ẩm đo được từ môi trường đo. Ở đây sử dụng hai ANN nhưng mỗi mạng chỉ có một đầu vào nhiệt độ, ANN đóng vai trò xấp xỉ đặc tính sự phụ thuộc của R_s/R_0 vào các yếu tố ảnh hưởng là nhiệt độ $T^\circ\text{C}$ và độ ẩm RH%, đây là một trong những bước quan trọng nhất bởi từ các giá trị biến thiên này ta mới tính toán ra được lượng cần bù.

Cơ sở lý thuyết của ứng dụng bù như sau:

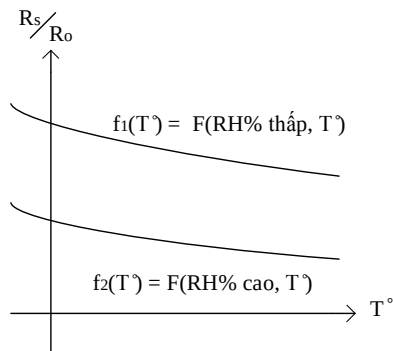
- Dựa trên datasheet của nhà sản xuất cung cấp có biểu đồ quan hệ R_s/R_0 theo nhiệt độ và độ ẩm $R_s/R_0 = f(T^\circ\text{C}, RH\%)$, biểu đồ này cho biết sự ảnh hưởng của tín hiệu nhiệt độ và độ ẩm tới đầu ra của cảm biến.
- Bù sai số: chuyển đổi đầu ra R_s/R_0 (là hàm phụ thuộc vào nồng độ khí ppm cần đo) đo được ở nhiệt độ và độ ẩm bất kỳ sang một điều kiện tiêu chuẩn là nhiệt độ $T^\circ\text{C}=20^\circ\text{C}$ và độ ẩm $RH\%=65\%$, sau đó tính ra nồng độ ppm cần đo.

Nhiệm vụ thứ nhất được giải quyết như sau: Dùng ANN MLP để xấp xỉ các đặc tính biến thiên theo nhiệt độ tại độ ẩm RH% thấp (thường là 33% hoặc 40% tùy theo mỗi loại cảm biến) và tại độ ẩm RH% cao (thường là 85%) theo các điểm mẫu trải đều trên toàn miền của đặc tính mà nhà sản xuất cung cấp, đó là 2 đường $f_1(T^\circ\text{C})$ và $f_2(T^\circ\text{C})$ trên hình 2.4.

Trong đó $f_1(T^\circ\text{C})$ được xấp xỉ bởi mạng MLP1, $f_2(T^\circ\text{C})$ được xấp xỉ bởi mạng MLP2, mỗi mạng có một đầu vào duy nhất là nhiệt độ môi trường đo:

$$f_1(T^\circ) = F(RH40\%; T^\circ); \quad f_2(T^\circ) = F(RH85\%; T^\circ) \quad (2.5)$$

Như vậy sự khác biệt ở chỗ là ANN chỉ có duy nhất một đầu vào dùng để xấp xỉ tương đối chính xác sự ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm của môi trường tới kết quả đo.



Hình 2.4. Xấp xỉ hai đặc tính $f_1(T^\circ)$ và $f_2(T^\circ)$

Để giải quyết nhiệm vụ thứ 2, các bước được tính toán như sau:

- **Bước 1:** Khí có nồng độ X (ppm) cần đo tương ứng với nhiệt độ T° và độ ẩm RH% môi trường đo thì đầu ra của cảm biến khí là điện áp V_{out} :

$$X \text{ (ppm, } T^\circ, \text{ RH\%)} \rightarrow V_{out}(T^\circ, \text{ RH\%})$$

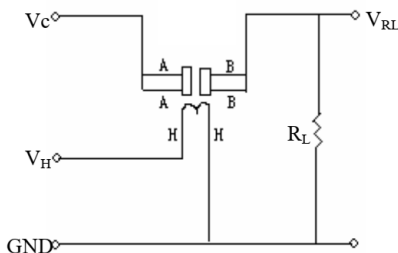
- **Bước 2:** Từ mạch chuẩn hóa đầu ra của cảm biến như hình 2.5. Ta có điện trở của cảm biến tại điều kiện làm việc (nhiệt độ và độ ẩm).

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{V_C - V_L}{V_L} \quad (2.6)$$

$$\rightarrow R_s = \frac{R_L (V_C - V_L)}{V_L} \quad (2.7)$$

Mặt khác $V_L = V_{out}$, thay V_C , R_L vào (2.7) ta tính được R_s của cảm biến tại nhiệt độ và độ ẩm của môi trường (R_s đã bị biến thiên) như (2.8):

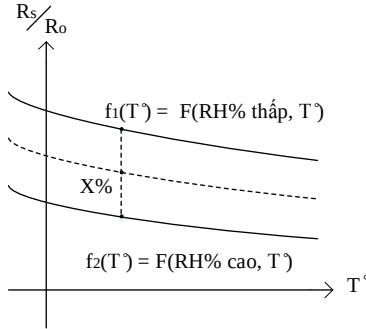
$$\rightarrow R_s(T^\circ, \text{ RH\%}) = \frac{R_L (V_C - V_{out})}{V_{out}} \quad (2.8)$$



Hình 2.5. Mạch chuẩn hóa đầu ra cho cảm biến bán dẫn [46]

- **Bước 3:** Từ các đặc tính của cảm biến đã cho, cần phải xác định một hệ số biến đổi k_{Rs} để chuyển đổi giá trị điện trở của cảm biến về điều kiện làm việc tiêu chuẩn $T^\circ = 20^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 65\%$ như (2.9).

$$K_{Rs}(T^o, RH\%) = \left[\frac{Rs(T^o, RH\%)}{Rs(20^o C, 65\%)} \right] \quad (2.9)$$



Hình 2.6. Đặc tính $f_x(T^o)$ được nội suy theo f_1 và f_2

Giá trị hệ số biến đổi K_{Rs} được tính bằng phương pháp nội suy giữa hai đường cong đã xấp xỉ bằng hai mạng MLP trên hình 2.6, để có được đặc tính $f_x(T^o)$ tại các độ ẩm trung gian ($X\%$).

$$K_{Rs}(T^o, RH) = \text{noisuy}(f_1; f_2) = \frac{MLP_2(T^o) - MLP_1(T^o)}{RH_{high} - RH_{low}}(RH\% - RH_{low}) + MLP_1(T^o) \quad (2.10)$$

- **Bước 4:** Thay K_{Rs} vào (2.9) ta thu được:

$$R_s(ppm, 20^o C, 65\%) = \frac{R_s(T^o, RH\%, ppm)}{K_{Rs}(T^o, RH\%)} \quad (2.11)$$

- **Bước 5:** Từ giá trị điện trở R_s tính được theo (2.11) và giá trị điện trở đặc trưng R_0 của cảm biến, dựa vào đặc tính đã cho của cảm biến ta ước lượng được nồng độ khí cần đo trong điều kiện tiêu chuẩn:

$$\frac{R_s}{R_0}(ppm) \rightarrow X(ppm) \quad (2.12)$$

Theo (2.12) thì $X(ppm)$ đã được bù về giá trị đo tại các điều kiện $T^o=20^o C$ và $RH(\%)=65\%$

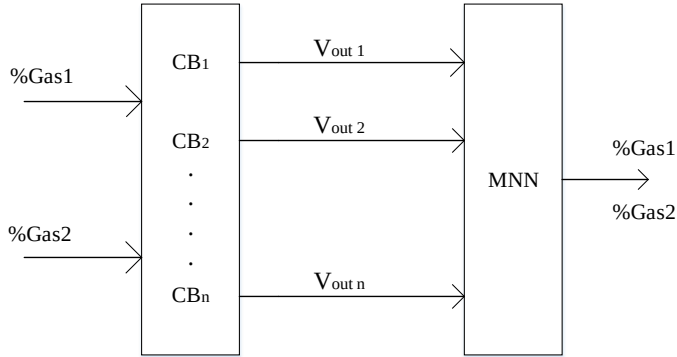
2.2.3. Sử dụng ANN khắc phục tính phản ứng đa khí của cảm biến

Luận án đề xuất giải pháp đa cảm biến ứng dụng ANN MLP có cấu trúc đơn giản vừa có khả năng phân biệt vừa có khả năng ước lượng được nồng độ khí thành phần thể hiện trên hình 2.7:

Giả sử chức năng của cấu trúc cho ta khả năng phát hiện và ước lượng hai thành phần khí cần đo Gas1 và Gas2 trong hỗn hợp khí.

Để xây dựng hàm truyền đạt ngược (từ chỉ số của các cảm biến suy ra được nồng độ của các thành phần khí đầu vào: gas1, gas2), một bộ số liệu mẫu học là tổ hợp của các giá trị nồng độ cho khí gas1 và nồng độ cho gas2 có dạng $\{PPM_{i1}, PPM_{i2}, Sen_{S1}, Sen_{S2}\}$ đã được xây dựng.

Đồng thời một bộ số liệu mẫu là tổ hợp các mẫu từ các thành phần nồng độ khí gas1 và nồng độ khí gas2 để kiểm tra. Bộ số liệu mẫu này được sử dụng để tính hàm truyền đạt ngược, nên mạng ANN sẽ được huấn luyện để ứng với các véc-tơ đầu vào $x_i = \{\text{Sens}_{i1}, \text{Sens}_{i2}\}$ và đáp ứng đầu ra là $d_i = \{\text{ppm}_{i1}, \text{ppm}_{i2}\}$



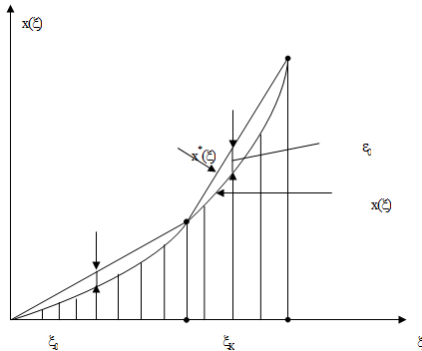
Hình 2.7. Cấu trúc cảm biến được đề xuất để loại trừ tính phản ứng đa khí

2.2.4. Sử dụng ANN điều chỉnh đặc tính của cảm biến

Đặc tính của đa số các cảm biến sơ cấp là phi tuyến. Nhu cầu tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến luôn đặt ra đối với mạch đo thứ cấp trong quá trình khắc độ cho thiết bị đo.

Phương pháp tuyến tính hóa này đã được thực hiện bằng phần cứng và phần mềm. Mạch phần cứng là các mạch tạo hàm trên cơ sở những biến trở, các diod bán dẫn, hoặc các mạch sử dụng khuếch đại thuật toán [11]. Ngoài ra là các mạch phần mềm như [4]

Trong [4] là phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn hay còn gọi là phương pháp nội suy tuyến tính, thay đặc tính bằng một đường gấp khúc tuyến tính hóa từng đoạn theo nguyên lý thể hiện trên hình 2.8



Hình 2.8. Phương pháp nội suy tuyến tính

Trường hợp đặc tính của tín hiệu x sau cảm biến là một hàm phi tuyến của đại lượng đo ξ , tức là $x(\xi)$ - là một hàm phi tuyến (hình 2.8). Thay vì khắc độ đặc tính đo vào bộ nhớ ta có thể thay $x(\xi)$ bằng một đường gấp khúc tuyến tính hóa từng đoạn với

sai số ϵ_0 . Phương pháp này còn gọi là phương pháp nội suy tuyến tính. Phương pháp nội suy tuyến tính có ưu điểm là nếu ta tuyến tính hóa ít đoạn thẳng thì cách tính toán đơn giản tuy nhiên sai số Δy sẽ lớn. Còn nếu ta xác định nhiều đoạn thẳng thì sai số sẽ nhỏ nhưng việc tính toán lại phức tạp và trong thực tế số điểm xấp xỉ cũng không nhiều.

Ngoài phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn để điều chỉnh đặc tính ra, trong [9] dùng giải pháp ANN tuyến tính hóa đường đặc tính dạng đường cong bậc hai thành một đường thẳng trên toàn dải đo.

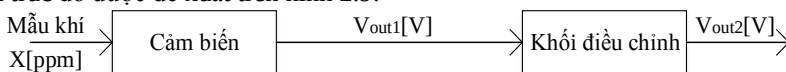
Trong luận án tác giả dùng ANN để điều chỉnh đặc tính của cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí như sau:

Đặc tính của cảm biến là phi tuyến và phương trình cơ bản của cảm biến chưa xác định được. Do vậy để tuyến tính hóa đặc tính, khối điều chỉnh đặc tính trong trường hợp này có hai chức năng:

- Một là dùng ANN MLP xấp xỉ đặc tính $V_{out1}=f(x)$ của cảm biến khi biết hữu hạn các điểm mẫu trên đường đặc tính lý tưởng mà nhà sản xuất cung cấp;
- Hai là dùng mạng MLP để tạo ra một đường đặc tính $V_{out2}=f(V_{out1})$, lúc này $V_{out2}=g(f(x))$ đã được tuyến tính hóa dưới dạng 2.9.

$$V_{out2} = g(V_{out1}) = g(f(x)) = a \cdot x + b \quad (2.26)$$

Cấu trúc đó được đề xuất trên hình 2.9:

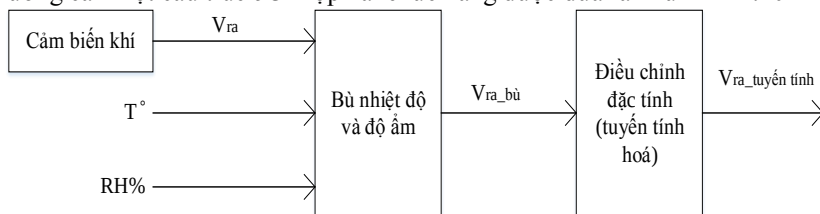


Hình 2.9. Cấu trúc cảm biến được đề xuất hiệu chỉnh đặc tính

Ở đầu ra của khối điều chỉnh hình 2.9 ta được $V_{out2}=g(f(x))$ tuyến tính.

2.3. Tích hợp hai chức năng bù sai số của yếu tố ảnh hưởng và hiệu chỉnh đặc tính cảm biến

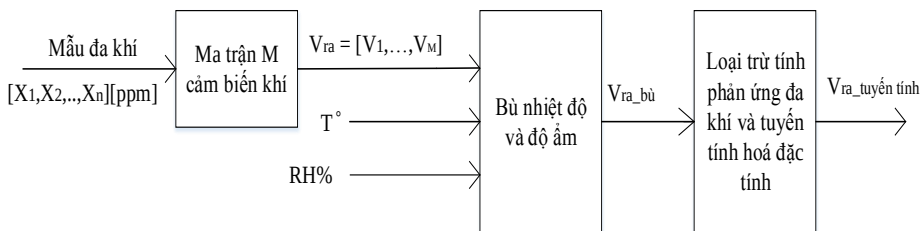
Trên cơ sở nghiên cứu và giải quyết từng bài toán riêng rẽ đã thực hiện, để điện áp đầu ra của cảm biến tỷ lệ tuyến tính với nồng độ khí sau khi bù sai số của các yếu tố ảnh hưởng cần một cấu trúc tích hợp hai chức năng được đưa ra như hình 2.10



Hình 2.10. Sơ đồ khối của hệ tích hợp hai chức năng vừa bù sai số và hiệu chỉnh

2.4. Tích hợp ba chức năng bù sai số của yếu tố ảnh hưởng, loại trừ tính phản ứng đa khí và tuyến tính hóa đặc tính cảm biến

Cấu trúc ANN phù hợp, đáp ứng đủ các chức năng tích hợp trong cảm biến để nâng cao chất lượng phép đo được thể hiện trên hình 2.11:



Hình 2.11. Sơ đồ khối của hệ tích hợp ba chức năng bù, loại trừ tính phản ứng đa khí và tuyến tính hóa đặc tính đầu ra của cảm biến

2.5. Kết luận chương 2

Trong chương 2 đã nêu ra những ưu điểm của ANN nói chung và mạng MLP nói riêng khi ứng dụng cho cảm biến đo lường, đặc biệt là ứng dụng nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí.

Đề xuất một cấu trúc chung của cảm biến nơ-ron và ba cấu trúc tương ứng giải quyết ba chức năng nâng cao chất lượng độc lập cụ thể như sau:

- Bù sai số của yếu tố ảnh hưởng tới cảm biến: Trong hệ thống bù này, hai mạng MLP có chức năng xấp xỉ đặc tính biến thiên của nhiệt độ tương ứng độ ẩm ở hai mức thấp và cao, sau đó dùng nội suy tuyến tính để tính toán bù, đầu ra của hệ thống là nồng độ khí được bù tương ứng nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn. Đây là một đề xuất mới so với các phương pháp khác;
- Loại trừ tính phản ứng đa khí: có chức năng phát hiện và ước lượng chính xác nồng độ khí thành phần có trong hỗn hợp;
- Điều chỉnh đặc tính: Để điều chỉnh đặc tính tác giả thực hiện ứng dụng dùng ANN MLP xấp xỉ đặc tính của cảm biến sau đó lại dùng MLP để tuyến tính hóa đặc tính vừa xấp xỉ, đây là điểm khác biệt của luận án so với [9].

Đề xuất cấu trúc cảm biến nơ-ron tích hợp hai chức năng bù sai số và điều chỉnh đặc tính và cấu trúc tích hợp ba chức năng trong cùng một hệ thống - một giải pháp hoàn thiện để nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ chất khí.

Chương 3. MÔ PHỎNG CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CẢM BIẾN ĐO NỒNG ĐỘ KHÍ ĐỀ XUẤT

3.1. Thiết kế ANN

Luận án sử dụng một số cảm biến bán dẫn MQ, TGS và SP3AQ2 với 03 loại khí là CO, NH₃ và H₂S như đã phân tích trong chương 1. Tất cả các thông số về dải đo của các cảm biến được lấy từ datasheet của chúng thể hiện trên bảng 3.1.

Bảng 3.1. Các cảm biến lựa chọn và dải đo của chúng [45, 46, 47, 48, 49]

Cảm biến	Dải đo khí CO (ppm)	Dải đo khí NH ₃ (ppm)	Dải đo khí H ₂ S (ppm)
MQ7	50→4000		
MQ135	10→100	10→200	
MQ136		10→100	1→200
TGS 2600	1→100		

TGS 2602		1→30	0,1→3
TGS 2444		1→300	0,3→3
SP ₃ AQ ₂		3→30	1→10

Một cấu trúc định hình cho ANN của ứng dụng cụ thể với các thông số cơ bản được liệt kê trên bảng 3.2:

Bảng 3.2. Bộ thông số cấu trúc của ANN

STT	Thông số	Xác định
1	Loại mạng	Truyền thẳng 2 lớp
2	Số đầu vào	Tùy vào bài toán cụ thể
3	Số nơ-ron lớp ra	1
4	Số nơ-ron lớp ẩn	N, xác định khi luyện mạng
5	Hàm truyền của các nơ-ron lớp ẩn	$a^1 = \text{tansig}(IW^1 p^1 + b^1)$
6	Hàm truyền của các nơ-ron lớp ra	$a^2 = \text{purelin}(LW^2 a^1 + b^2)$
7	Tập trọng số của nơ-ron lớp ẩn	N, xác định khi luyện mạng
8	Lượng bù của nơ-ron lớp ẩn	N, xác định khi luyện mạng
9	Tập trọng số của nơ-ron lớp ra	N, xác định khi luyện mạng
10	Lượng bù của nơ-ron lớp ra	N, xác định khi luyện mạng

Các mạng MLP trong luận án sẽ được huấn luyện theo phương pháp học có hướng dẫn (*supervised learning*) với một bộ số liệu gồm mẫu. Thuật toán học được lựa chọn là thuật toán kinh điển Leveberg – Marquardt [3, 7] được tích hợp trong thư viện *Neural Networks Toolbox* của Matlab.

Hàm mục tiêu của thuật toán học là hàm tổng sai số tại ngõ ra của mạng trên bộ số liệu học, được định nghĩa bởi:

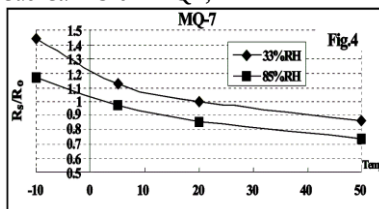
$$\varepsilon_{\text{học}} = \sum_{i=1}^p \|y_i - d_i\|^2 \quad (3.1)$$

với p – số mẫu, d_i – giá trị đầu ra đích cần đạt của mẫu thứ i, y_i – giá trị đầu ra thực tế từ mạng.

3.2. Bù sai số các yếu tố ảnh hưởng

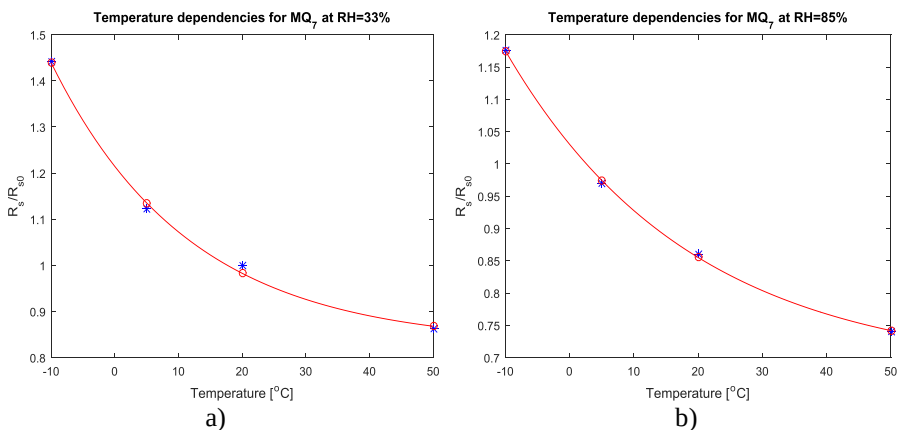
3.2.1. Xấp xỉ đường đặc tính phụ thuộc nhiệt độ, độ ẩm của cảm biến

Trên hình 3.4 thể hiện đường đặc tính biểu diễn sự ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm khi đo nồng độ khí CO của cảm biến MQ7,



Hình 3.4. Biểu đồ biến thiên theo nhiệt độ và độ ẩm của cảm biến MQ7 [46]

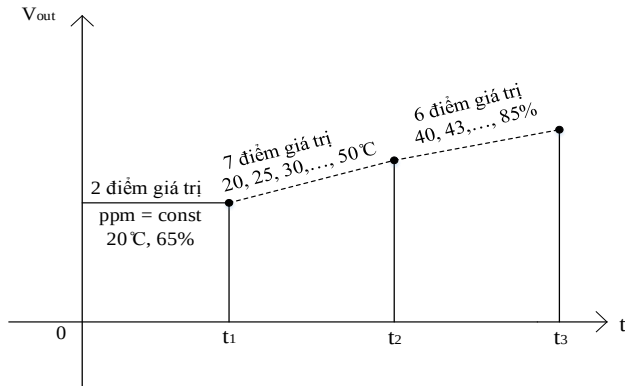
Kết quả xấp xỉ các đường đặc tính khi dùng mạng MLP ta được 2 đường biểu diễn sự phụ thuộc của đầu ra cảm biến vào nhiệt độ tại độ ẩm RH=33% (hình 3.5a) và độ ẩm RH=85% (hình 3.5b).



Hình 3.5. Xấp xỉ đặc tính phụ thuộc của đầu ra cảm biến MQ7 vào nhiệt độ và độ ẩm: a) đường có RH=33%; b) đường có RH=85%.

3.2.2. Tính toán bù sai số

Sau khi dùng mạng MLP xấp xỉ đặc tính phụ thuộc của đầu ra cảm biến với dải nhiệt độ thay đổi và độ ẩm ở hai nồng độ RH= 33% (40%) và RH=85% là phần tính toán bù. Kích bản mô phỏng được thể hiện trên hình 3.10. Đặt một giá trị nồng độ khí chuẩn (ở điều kiện tiêu chuẩn có nhiệt độ $t=20^{\circ}\text{C}$, độ ẩm RH=65%), sau đó khảo sát lần lượt với các giá trị nhiệt độ và độ ẩm khác nhau.

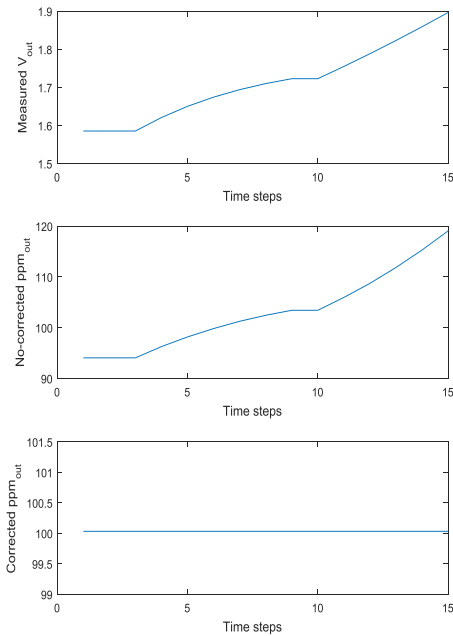


Hình 3.10. Kích bản cho bài toán mô phỏng

- Trường hợp 1 và 2: Trong khoảng thời gian từ $0 \div t_1$, mô phỏng với một nồng độ khí bất kỳ ở điều kiện tiêu chuẩn $t=20^{\circ}\text{C}$, RH=65%;
- Trường hợp 3, 4, ..., 9: trong khoảng thời gian từ $t_1 \div t_2$, mô phỏng ở một nồng độ khí, cùng độ ẩm RH%=35%, nhưng cho nhiệt độ thay đổi, tăng từ $20 \div 50^{\circ}\text{C}$ bước thay đổi 5°C , như vậy có 7 trường hợp;

- Trường hợp 10, 11, ..., 15: trong khoảng thời gian từ $t_2 \div t_3$ cùng một nồng độ khí, cùng nhiệt độ $T^\circ\text{C}=50^\circ\text{C}$, nhưng độ ẩm thay đổi RH tăng $35 \div 85\%$ bước thay đổi 10%, như vậy có 6 trường hợp.

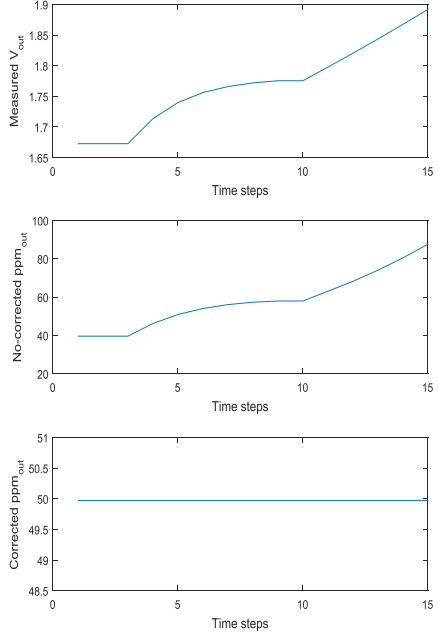
Kết quả mô phỏng đo nồng độ khí CO của cảm biến MQ7 trên hình 3.11 cho thấy: trục hoành thể hiện 15 trường hợp mô phỏng tương ứng 15 trường hợp trên hình 3.10, trục tung thể hiện các giá trị Measure V_{out} là giá trị điện áp đo được khi chưa bù, No_Corrected_{out} là nồng độ khí (ppm) thu được khi chưa bù và Corrected_{out} là nồng độ khí (ppm) thu được khi đã thực hiện bù. Cụ thể là khi đo nồng độ khí có giá trị 100(ppm) với nhiệt độ và độ ẩm biến thiên thì điện áp đầu ra cũng bị biến thiên. Dải biến đổi điện áp rất lớn từ $\approx 1.5 \div 2(\text{V})$, tương ứng với biến thiên nồng độ khí lớn từ 92÷118(ppm). Sau khi bù, giá trị nồng độ đạt $\approx 100,05(\text{ppm})$ so với giá trị đặt =100(ppm), tương ứng với sai số tương đối đạt được là $\approx 0.05\%$.



Hình 3.11. Kết quả bù sai số khi đo nồng độ khí CO 100 ppm

Trên hình 3.13 biểu diễn kết quả bù sai số khi đo nồng độ khí H_2S là 50(ppm) Từ hình vẽ cho thấy: dải biến đổi điện áp đầu ra thay đổi từ $\approx 1.6 \div 1.9(\text{V})$, tương ứng là nồng độ từ 40÷90(ppm) khi chưa bù. Khi được bù, giá trị nồng độ đo được 49,95(ppm), tương ứng với sai số tương đối đạt được là $\approx 0.1\%$.

Nhận xét: Các kết quả mô phỏng bù sai số của cảm biến bởi các yếu tố ảnh hưởng của môi trường đo là nhiệt độ và độ ẩm với sai số rất nhỏ nhất đạt 0.01% và sai số lớn nhất đạt 0,1%, đây là một sai số lý tưởng cho dòng cảm biến bán dẫn.



Hình 3.13. Kết quả bù sai số khi đo nồng độ khí H_2S 50 ppm

3.3. Loại trừ tính phản ứng đa khí của cảm biến

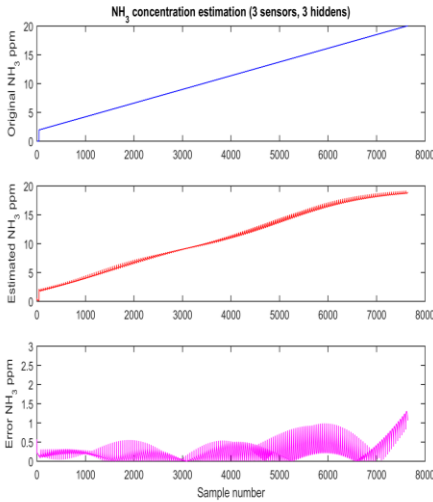
3.3.1. Thiết kế ANN

Luận án xây dựng một bộ số liệu mẫu với các thành phần khí có nồng độ khác nhau, bao gồm 7710 mẫu được chia thành hai tập mẫu con: 66 mẫu để học và 7644 mẫu để kiểm tra mô hình. Trong đó 66 mẫu để học, là tổ hợp của 11 giá trị nồng độ khí NH_3 từ 2÷20(ppm) với bước thay đổi 2(ppm) và 6 giá trị nồng độ khí H_2S từ 1÷3(ppm) với bước thay đổi 0,5(ppm). Các mẫu này có dạng $\{PPM_{i1}, PPM_{i2}, Sens_{i1}, Sens_{i2}\}$, 7644 mẫu để kiểm tra, là tổ hợp của 182 giá trị nồng độ khí NH_3 từ 2÷20(ppm) với bước thay đổi 0,1(ppm) và 42 giá trị nồng độ khí H_2S từ 1÷3(ppm) với bước thay đổi 0,07(ppm).

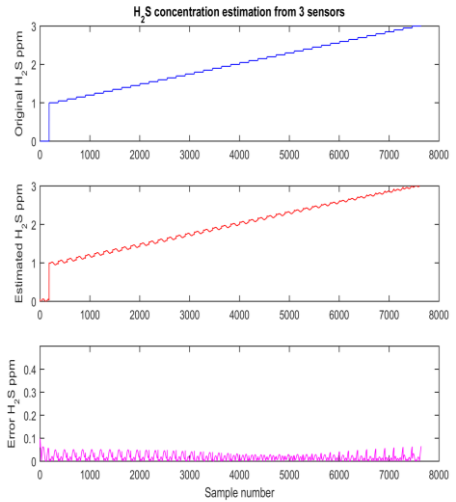
Bộ số liệu mẫu này được sử dụng để tính hàm truyền đạt ngược do vậy mạng MLP sẽ được huấn luyện để ứng với các véc tơ đầu vào $\mathbf{x}_i = \{Sens_{i1}, Sens_{i2}\}$, i là số các cảm biến ($i=3,4$) và đáp ứng đầu ra là $\mathbf{d}_i = \{PPM_{i1}, PPM_{i2}\}$, i là số các khí cần ước lượng ($i=2$). Quá trình học bằng bộ mẫu số liệu học cho tới khi hội tụ, rồi kiểm tra khả năng khái quát hóa bằng bộ số liệu mẫu kiểm tra.

3.3.2. Kết quả mô phỏng khi dùng bộ 3 cảm biến MQ136, TGS2602 và SP3AQ2

- Mạng có cấu trúc 3x3x2, tương ứng là 3 đầu vào từ 3 cảm biến, 3 nơ-ron ẩn và 2 đầu ra:



Hình 3.18. Kết quả ước lượng nồng độ NH_3 với cấu trúc mạng 3x3x2

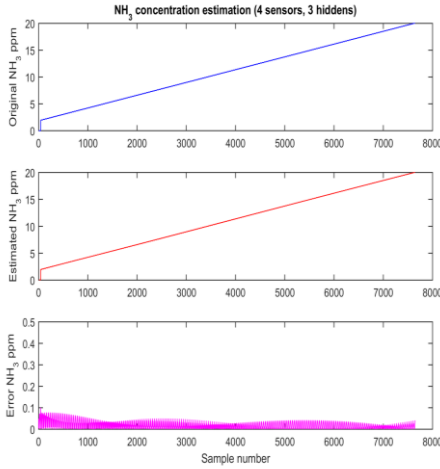


Hình 3.19. Kết quả ước lượng nồng độ H_2S với cấu trúc 3x3x2

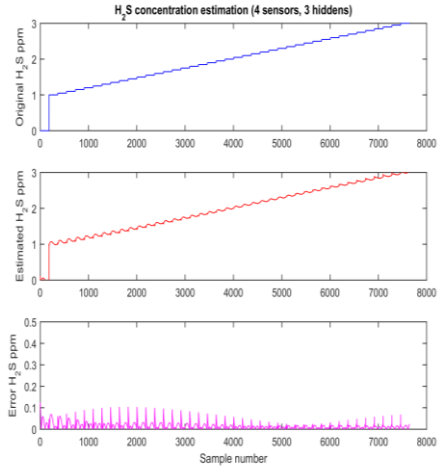
3.3.3. Dùng bộ 4 cảm biến MQ136, TGS2602, TGS2444 và SP3AQ2

Trên hình 3.24, kết quả ước lượng nồng độ thành phần khí NH_3 có sai số lớn nhất là 0,10(ppm) và sai số trung bình là 0,02(ppm).

Trên hình 3.25, kết quả ước lượng nồng độ thành phần khí H_2S có sai số lớn nhất là 0,129(ppm) và sai số trung bình là 0,016(ppm).



Hình 3.24. Kết quả ước lượng nồng độ NH_3 với cấu trúc mạng $4 \times 3 \times 2$

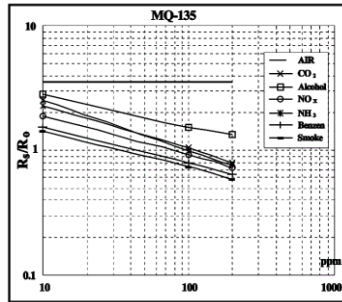


Hình 3.25. Kết quả ước lượng nồng độ H_2S với cấu trúc mạng $4 \times 3 \times 2$

3.4. Điều chỉnh đặc tính độ nhạy của cảm biến

3.4.1. Kết quả mô phỏng

Đặc tính độ nhạy của cảm biến MQ135 trên hình 3.30 là đặc tính theo hệ tọa độ loga.



Hình 3.30. Đặc tính cảm biến MQ135 [38]

Ta biểu diễn lại như (3.1):

$$\log(\text{ppm}) = -3,9510 \cdot \log(R_s/R_0) + 2,7757 \quad (3.1)$$

Sau đó chọn 7 điểm trên đặc tính như sau:

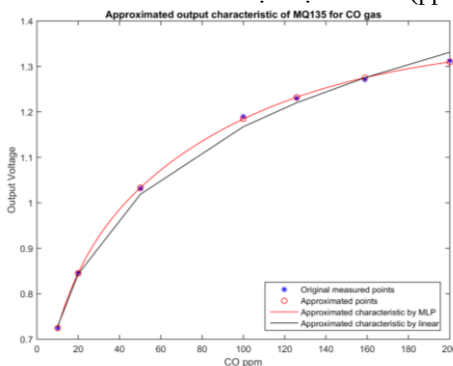
MQ135_CO_Log =	[10	20	50	100	130	160	200
	108.846	104.643	98.799	88.933	87.774	86.332	84.663]

Kết quả mô phỏng khi xấp xỉ đặc tính trên cả hai phương pháp, một là dùng phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn, hai là dùng mạng MLP: Kết quả xấp xỉ đường đặc tính khi biết 7 điểm bằng phương pháp xấp xỉ tuyến tính và xấp xỉ bằng mạng MLP được thể hiện trên hình 3.31a. Có thể nhận thấy, phương pháp xấp xỉ tuyến tính chỉ có khả năng tái tạo đặc tính theo đường gấp khúc, không hoàn toàn phù hợp với các

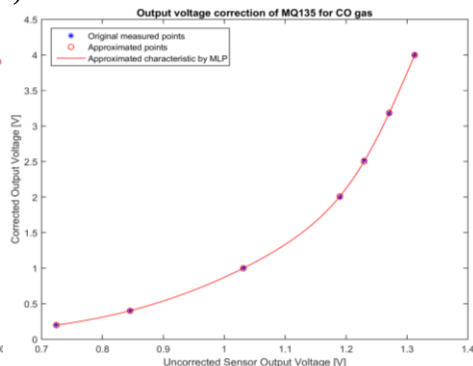
bản chất vật lý của cảm biến. Do vậy nếu dùng phương pháp này, để tăng độ chính xác, ta cần có nhiều điểm đo mẫu chuẩn ban đầu hơn (lớn hơn 7), mà điều này khi áp dụng vào các điểm đo thực nghiệm rất khó khăn. Tuy nhiên với phương pháp sử dụng mạng MLP cho phép tạo thành đặc tính trơn, đơn trị, biến thiên đồng biến và đi qua chính xác các điểm đo mẫu.

Trên hình 3.31b mạng MLP chuẩn hóa điện áp đầu ra của cảm biến (đã được chuẩn hóa đầu ra $V_{out}=0\div5V$).

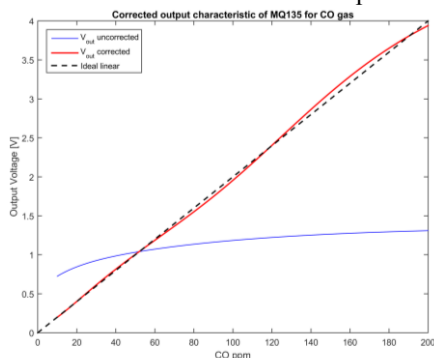
- Sai số cực đại: 4.4611(ppm)



Hình 3.31a. Xấp xỉ đặc tính của cảm biến MQ135 đo khí CO



Hình 3.31b. Mạng MLP điều chỉnh điện áp đầu ra của cảm biến



Hình 3.31c. Đặc tính của cảm biến MQ135 sau khi tuyến tính hóa

Trên hình 3.31c là kết quả so sánh giữa phương pháp tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến MQ135 bằng mạng MLP (V_{out} corrected) và phương pháp tuyến tính hóa lý tưởng (Ideal linear). Đường V_{out} uncorrected là đường đặc tính ban đầu của cảm biến chưa được tuyến tính hóa và chuẩn hóa.

Sai lệch của đặc tính tạo bởi MLP so với đặc tính tuyến tính lý tưởng:

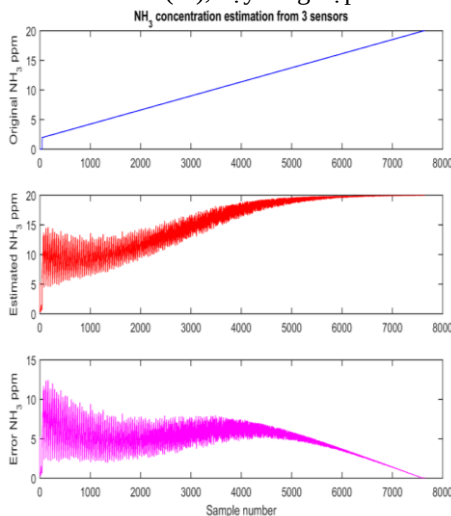
- Sai số trung bình: 1.8278(ppm)
- Sai số cực đại: 4.4611(ppm)

3.4.2. Nhận xét

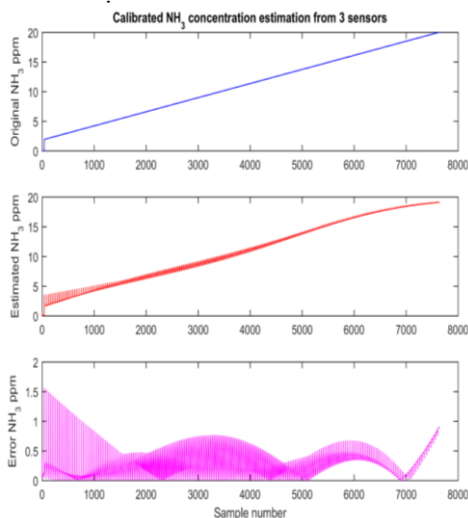
Dựa vào các kết quả mô phỏng khi ứng dụng mạng MLP để điều chỉnh đặc tính $V_{out}=f(ppm)$ cho một số loại cảm biến bán dẫn, phần xấp xỉ lại đường đặc tính có dạng gần với dạng đường cong lý thuyết của cảm biến, điều đó chứng minh tính khả thi khi sử dụng MLP, mạng có cấu trúc đơn giản đó là mạng nơ-ron có 1 lớp ẩn, và số nơ-ron lớp ẩn là 1 để xấp xỉ đường cong của cảm biến với một số hữu hạn từ 3, 4, 5 ... 7 điểm cho trước, từ đó tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến dưới dạng đường thẳng với sai số đạt được nhỏ.

3.6. Phối hợp ba chức năng bù nhiệt độ, độ ẩm, loại trừ tính đa khí và tuyến tính hóa đặc tính đầu ra của cảm biến

- Tiến hành tính toán, mô phỏng một số trường hợp với bộ số liệu học chung gồm các trường hợp nồng độ hai thành phần khí thay đổi: NH_3 từ $0 \div 20(ppm)$ với bước thay đổi 2ppm (tổng cộng 11 trường hợp), H_2S nhận các giá trị {0; 1; 1,5; 2,0; 2,5; 3} (6 trường hợp), điều kiện nhiệt độ và độ ẩm cố định với $T=20^\circ C$, $RH=65\%$, tổng hợp có 66 mẫu số liệu học.
- Thử nghiệm với các số liệu: nồng độ NH_3 biến thiên từ $2 \div 20(ppm)$ với bước thay đổi 0.1ppm (tổng cộng 182 trường hợp), nồng độ H_2S biến thiên từ $1 \div 3(ppm)$ với bước 0,05ppm (42 trường hợp), điều kiện nhiệt độ biến thiên ngẫu nhiên nhỏ trong khoảng từ $T=30 \div 35^\circ C$ độ ẩm biến thiên ngẫu nhiên trong khoảng $RH=40 \div 50(\%)$, vậy tổng hợp có 7644 mẫu số liệu kiểm tra.



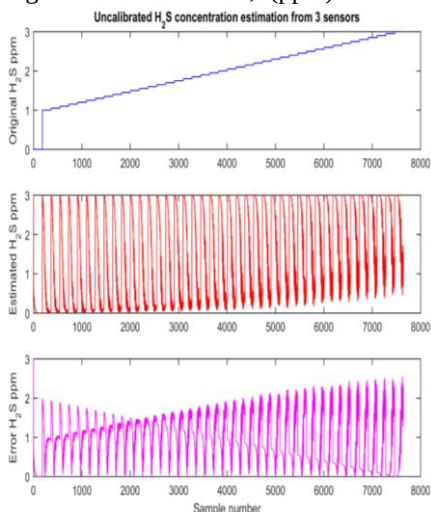
Hình 3.41. Kết quả ước lượng thành phần NH_3 khi chưa bù của ba cảm biến trong trường hợp nhiệt độ biến thiên từ $30 \div 35^\circ C$, độ ẩm từ $45 \div 50\%$



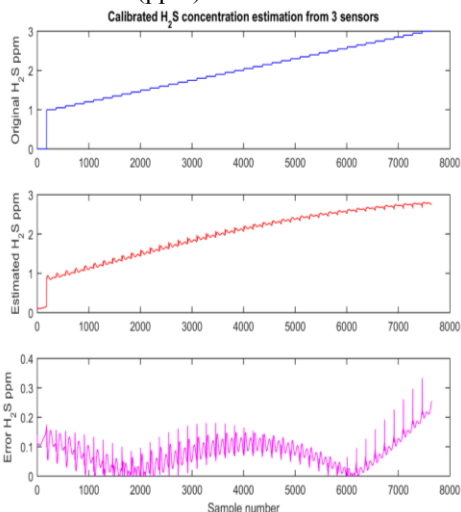
Hình 3.42. Các kết quả ước lượng thành phần NH_3 khi đã bù của ba cảm biến trong trường hợp nhiệt độ biến thiên từ $30 \div 35^\circ C$, độ ẩm từ $45 \div 50\%$

Kết quả mô phỏng thể hiện trên hình 3.41, trong đó: Trục hoành thể hiện các mẫu số liệu kiểm tra, trục tung thể hiện đường Original NH_3 ppm là nồng độ khí NH_3 của

các mẫu, đường Estimated NH_3 ppm là nồng độ ước lượng được khi không thực hiện bù sai số của yếu tố ảnh hưởng, đường Error NH_3 ppm là sai số thể hiện trên toàn tập bộ số liệu mẫu. Ta có thể nhận thấy, khi chưa bù với mức biến thiên của nồng độ NH_3 trong khoảng từ 0÷20(ppm) thì sai số ước lượng là khá lớn. Trung bình của sai số là 4,7(ppm), sai số lớn nhất là 12,4(ppm). Đối với thành phần khí H_2S , kết quả được thể hiện như trên hình 3.43, cũng có thể nhận thấy khi chưa bù sai số khá lớn, với giá trị trung bình của sai số là 1,0(ppm) và sai số lớn nhất là ≈ 3 (ppm).



Hình 3.43. Các kết quả ước lượng thành phần H_2S khi chưa bù của ba cảm biến khi $T=30\div 35^\circ\text{C}$, $\text{RH}=45\div 50\%$



Hình 3.44. Các kết quả ước lượng thành phần H_2S khi đã bù của ba cảm biến khi $T=30\div 35^\circ\text{C}$, $\text{RH}=45\div 50\%$

Sau khi tiến hành bù sai số do nhiệt độ và độ ẩm, kết quả thu được thể hiện trên hình 3.42 và hình 3.44 cho hai thành phần khí NH_3 và H_2S tương ứng. Đối với thành phần khí NH_3 sau khi bù nhiệt độ và độ ẩm thì sai số ước lượng đã giảm đáng kể, trung bình của sai số chỉ còn 0,3(ppm), sai số lớn nhất chỉ còn 1,6(ppm). Đối với thành phần khí H_2S , kết quả được thể hiện như trên hình 3.44, giá trị trung bình của sai số là 0,08(ppm) và sai số lớn nhất là 0,3(ppm).

3.7. Kết luận chương 3

Chương 3 đã thực hiện mô phỏng ứng dụng nâng cao chất lượng của các cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí H_2S , NH_3 và CO với tất cả các cấu trúc đã đề xuất trong chương 2. Việc kiểm tra các cấu trúc đã đề xuất bằng mô phỏng cho phép đánh giá tính đúng đắn của cơ sở lý luận đặt ra, kết quả cụ thể như sau:

- Bù sai số của chuyển đổi sơ cấp gây ra bởi các yếu tố ảnh hưởng của môi trường đo là nhiệt độ và độ ẩm với sai số rất nhỏ $\approx 0.05\%$, do vậy cảm biến với giải pháp ANN bù yếu tố ảnh hưởng do nhiệt độ và độ ẩm môi trường gây ra sẽ có độ chính xác cao hơn khi hoạt động trong môi trường thực tế.

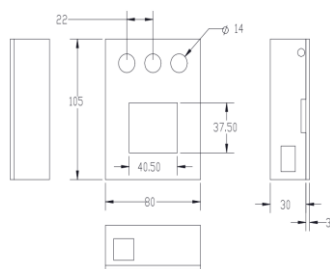
- Khắc phục tính phản ứng đa khí của cảm biến khi sử dụng ba hoặc bốn cảm biến có khả năng vừa phát hiện vừa ước lượng chính xác nồng độ khí thành phần đạt sai số tuyệt đối dao động từ $0.09 \div 0.2$ (ppm).
- Điều chỉnh đặc tính khi có hữu hạn điểm làm việc của cảm biến với độ chính xác cao, cảm biến có đặc tính đã được chuẩn hóa và tuyến tính hóa sẽ thuận lợi hơn cho người sử dụng trong quá trình tích hợp vào các thiết bị đo, các hệ hậu xử lý sẽ đơn giản và chính xác hơn.
- Tính khả thi của hai phương án tổng hợp vừa bù sai số của nhiệt độ, độ ẩm với tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến đạt sai số đo tuyệt đối là 37,6(ppm); sai số đo tương đối là 3,76% khi đo nồng độ CO là 1000(ppm). Vừa bù nhiệt độ, độ ẩm, loại trừ tính phản ứng đa khí và tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến đo nồng độ khí NH₃ thì trung bình của sai số đạt được chỉ còn 0,3(ppm), sai số lớn nhất chỉ còn 1,6(ppm). Với khí H₂S thì giá trị trung bình của sai số đạt được là 0,08(ppm) và sai số lớn nhất là 0,3(ppm).

Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM ỨNG DỤNG ANN BÙ SAI SỐ ẢNH HƯỞNG CỦA CẢM BIẾN

4.1. Đặt vấn đề

Do điều kiện thực tế lấy mẫu nồng độ các chất khí tại Viện Đo lường Quốc gia và Cục tiêu chuẩn đo lường chất lượng Hải Phòng còn hạn chế, số lượng các loại chất khí không nhiều và mỗi loại khí chỉ có một nồng độ duy nhất, việc pha loãng để có nhiều nồng độ khí khác nhau chưa có thiết bị đạt tiêu chuẩn. Do vậy mô hình thực nghiệm chỉ tiến hành được với 1 cảm biến MQ136 đo 1 nồng độ khí H₂S cho bài toán bù sai số của yếu tố ảnh hưởng nhiệt độ và độ ẩm.

4.2. Kết quả triển khai



Hình 4.2. Thiết bị chế tạo

Quá trình mô phỏng và thực nghiệm cho ứng dụng bù ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm có kịch bản như sau: Dùng khí chuẩn có nồng độ 10ppm để thực hiện ứng dụng bù, giữ nguyên giá trị nồng độ khí, sau đó thay đổi các giá trị nhiệt độ và độ ẩm:

- Trường hợp 1: Đặt giá trị độ ẩm RH=33%, nhiệt độ biến thiên từ (20÷50)°C. Các giá trị nhiệt độ được dùng để khảo sát như sau: 20, 30, 35 và 50°C.
- Trường hợp 2: Tăng giá trị độ ẩm lên RH=85%, nhiệt độ biến thiên từ (20÷50)°C.

Các kết quả đạt được thể hiện trên các bảng 4.1÷4.3.

Bảng 4.1. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đo nồng độ khí H₂S khi chưa bù với nhiệt độ thay đổi (20÷50)°C và độ ẩm RH=33%

Nhiệt độ (°C)	Nồng độ H ₂ S chuẩn (ppm)	Kết quả mô phỏng khi chưa bù (ppm)	Sai số tương đối (%)	Kết quả thực nghiệm khi chưa bù (ppm)	Sai số tương đối (%)
20	10	10.02	0.22	10.2	2
30	10	10.2	2	11.34	13.4
35	10	10.45	4.5	11.73	17.3
50	10	11.01	10,1	12.26	22.6

Bảng 4.2. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đo nồng độ khí H₂S khi chưa bù với nhiệt độ thay đổi (20÷50)°C và độ ẩm RH=85%

Nhiệt độ (°C)	Nồng độ H ₂ S chuẩn (ppm)	Kết quả mô phỏng khi chưa bù (ppm)	Sai số tương đối (%)	Kết quả thực nghiệm khi chưa bù (ppm)	Sai số tương đối (%)
20	10	10.4	4	11.4	14
30	10	11.02	10.2	12.64	16.4
35	10	11.50	15	13.21	32.1
50	10	12.01	20.1	14.26	42.6

Bảng 4.3. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đo khí H₂S khi đã bù

Nhiệt độ (°C)	Nồng độ H ₂ S chuẩn (ppm)	Kết quả mô phỏng khi đã bù (ppm)	Sai số tương đối (%)	Kết quả thực nghiệm khi đã bù (ppm)	Sai số tương đối (%)
20	10	10.001	0.01	10.25	2.5
30	10	10.002	0.02	10.251	2.51
35	10	10.003	0.03	10.253	2.53
50	10	10.005	0.04	10.255	2.55

Kết quả khi cho nhiệt độ biến thiên từ (20÷50)°C và giá trị độ ẩm tại RH=33% đo được khi chưa ứng dụng bù, ta thấy sai số này khá lớn so với tín hiệu đặt, sai số min $\approx$ 0.22% và max $\approx$ 10.1%. Kết quả đã được ANN bù và chất lượng của phép đo được cải thiện rõ rệt, sai số giảm xuống còn $\approx$ 0.01 %.

4.3. Kết luận chương 4

Chương 4, đã xây dựng thành công mô hình thực nghiệm ứng dụng ANN nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn MQ136 đo nồng độ khí H₂S.

Bộ số liệu có được sau khi huấn luyện off line - ANN được cài đặt vào bộ vi xử lý của mô hình, làm sáng tỏ thêm tính khả thi cho giải pháp nâng cao chất lượng cho cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí ứng dụng mạng MLP.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Luận án đã đạt được những kết quả nhất định trong hướng tìm kiếm các giải pháp và công cụ khác nhau để giải quyết ứng dụng nâng cao chất lượng cảm biến đo lường chất khí.

1. Những kết quả đạt được

Nghiên cứu một số vấn đề lý luận và mô phỏng, kiểm nghiệm thực tế nhằm ứng dụng ANN để nâng cao chất lượng cảm biến bán dẫn đo nồng độ khí H_2S , NH_3 và CO trong môi trường công nghiệp cụ thể là trong các ứng dụng sau:

- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN để bù sai số của yếu tố ảnh hưởng, ANN có cấu trúc đơn giản có một đầu vào là nhiệt độ (so với ANN 2 đầu vào nhiệt độ và độ ẩm của các công trình khác), số nơ-ron lớp ẩn thấp chỉ 1 nơ-ron để xấp xỉ chính xác các đặc tính ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tới kết quả đo, từ đó làm cơ sở cho ứng dụng bù, phần bù chỉ dùng phương pháp nội suy tuyến tính và tính toán, đây là đóng góp mới và khác biệt với các công trình khác sử dụng ANN. Đồng thời sai số đạt được rất nhỏ (sai số $\approx 0.05\% \div 0.1\%$) nhỏ hơn 37÷59 lần so với sai số (3.7% và 5.9%) trong công trình [33] cùng đối tượng và cùng phương pháp.
- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN có cấu trúc rất đơn giản chỉ 4-4-2, dùng tối thiểu là 3 và tối đa là 4 cảm biến có khả năng phân biệt và ước lượng chính xác được nồng độ khí thành phần NH_3 và H_2S .
- Xây dựng cấu trúc cảm biến ứng dụng mạng ANN có thể chuẩn hóa lại sau đó tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến với sai số lớn nhất $\approx 0.02\%$.
- Ngoài ra còn đóng góp xây dựng cấu trúc cảm biến tích hợp nhiều chức năng như vừa bù sai số nhiệt độ và độ ẩm còn vừa khắc phục tính đa khí và vừa điều chỉnh đặc tính của cảm biến trên cùng một hệ thống.
- Khi áp dụng ANN để chế tạo cảm biến trong thực tế, vấn đề sai số của yếu tố ảnh hưởng nhiệt độ và độ ẩm được bù rất hiệu quả, sai số khi chưa bù bằng thực nghiệm nhỏ nhất là $\approx 2\%$ với trường hợp độ ẩm 33% và lớn nhất là 32.6% ứng với độ ẩm là 85%, sau khi ứng dụng ANN vào bù sai số thực nghiệm giảm xuống còn $\approx 2.5\%$.

2. Hướng phát triển tiếp theo

Luận án có thể được phát triển tiếp theo các hướng sau:

- Ứng dụng giải pháp nâng cao chất lượng cảm biến sử dụng các loại mạng nơ-ron khác mạng MLP.
- Nghiên cứu nâng cao chất lượng các loại cảm biến bán dẫn khác.
- Kết quả mới của luận án đạt được có thể phát triển tiếp theo:
 - Về khoa học: Để hoàn thiện các giải pháp nâng cao chất lượng cho cảm biến đo nồng độ khí loại bán dẫn nói riêng và cảm biến khí nói chung trong môi trường công nghiệp cần phát triển thêm các giải pháp nâng cao khác như: bù sai số ngẫu nhiên, bù sai số hệ thống...
 - Về thực nghiệm: Tiến hành thực nghiệm với hai giải pháp là điều chỉnh đặc tính và loại trừ tính đa khí của cảm biến.