

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT



BÁO CÁO HỌC THUẬT
NĂM HỌC 2025-2026

PHƯƠNG PHÁP ĐO CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN pA VÀ
CÁC PHƯƠNG PHÁP CHỐNG NHIỄU

Người báo cáo: Nguyễn Xuân Chung

Đơn vị: Bộ môn Vật lý, Khoa Khoa học Cơ bản

Hà Nội, 12/2025

BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ I, NĂM HỌC 2025-2026

Mục đích:

Tên báo cáo:

PHƯƠNG PHÁP ĐO CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN pA VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP CHỐNG NHIỄU

Nguyễn Xuân Chung

Bộ môn Vật lý, khoa Khoa học Cơ bản

Tóm tắt

Trong các ngành khóa học, việc tạo ra các hệ đo lường với độ tin cậy cao đóng vai trò rất quan trọng trong việc xác định định lượng các tính chất của vật chất cũng như xác định chất lượng, phẩm chất của các thiết bị và mẫu đo. Độ tin cậy của phép đo có liên quan chặt chẽ tới tỷ số tín hiệu trên nhiễu của hệ đo. Trong bài báo cáo này, tác giả giới thiệu các kinh nghiệm cũng như các giải thích liên quan đến việc nâng cao chất lượng phép đo tín hiệu phát xạ rất thấp từ các mẫu vật liệu quang bán dẫn, tín hiệu điện rất nhỏ với dòng điện cỡ pA trong các mẫu có độ dẫn rất thấp, đồng thời đưa ra các giải pháp thiết lập hệ đo dòng pA với độ tin cậy cao. Các giải thích sẽ rất hữu ích cho các phép đo lường trong các ngành khoa học đo lường khác nói chung cũng như ngành Vật lý nói riêng, đồng thời các sinh viên, nhà nghiên cứu có thể tham khảo các phương pháp làm tăng độ tin cậy hệ đo.

1. Mở đầu

Trong các ngành nghiên cứu khoa học, kỹ thuật cũng như đời sống hằng ngày, là một việc rất quan trọng trong việc định tính các vật thể. Cho dù các phép đo sử dụng các máy đo hoàn hảo đến bao nhiêu thì vẫn luôn tồn tại các sai số. Sai số có thể xuất phát từ kỹ thuật đo của người đo, thiết bị đo, tác dụng của yếu tố bên ngoài... Đối với các phép đo lường nói chung, các sai số của phép đo thường gặp được phân loại thành sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên, sai số thô. Đối với sai số hệ thống thì có thể xây dựng các phương pháp lý thuyết tốt, với sai số thô thì người thực hiện phép đo có thể cải thiện. Đối với sai số ngẫu nhiên, đây là yếu tố tạo nên sự thăng giáng ngẫu nhiên của kết quả đo và có thể loại trừ bằng cách tăng cường số phép đo. Kết quả đo được có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn kết quả thực.

Trong một số trường hợp, các yếu tố nhiễu từ bên ngoài môi trường gây sai lệch lớn cho kết quả phép đo. Trong một số trường hợp, nhiễu nền có thể được loại bỏ nhờ vào việc tính toán, tuy nhiên một số trường hợp khác thì nhiễu nền không thể khử được. Chẳng hạn, xét phép đo cường độ phát xạ quang từ một mẫu phát xạ yếu, trong trường hợp ánh sáng nền từ môi trường xung quanh mẫu có giá trị không dao động quá nhiều, chẳng hạn ánh sáng từ đèn báo nguồn của các thiết bị, ánh sáng từ màn hình máy tính, kết quả đo thu được sẽ được tăng lên một lượng gần như nhau trong mọi phép đo tại mọi thời điểm, trong trường hợp này ta có thể khử hoàn toàn tác dụng của ánh sáng nền bằng cách đo cường độ của chính ánh sáng nền trên hệ đo, sau đó kết quả đo phát xạ của mẫu sẽ bằng kết quả của phép đo trừ đi kết quả của ánh sáng nền gây ra. Nếu ánh sáng nền thăng giáng quá nhiều ta không loại bỏ nhiễu này bằng thuật toán, mà cần che chắn thiết bị trong suốt quá trình thực hiện phép đo.

Hiện nay hầu hết các phép đo đều được số hóa, hệ đo sẽ được điều khiển bởi máy tính và kết quả được truyền về máy tính, lưu trữ và xử lý. Trong hệ đo này, tín hiệu được thu từ cảm biến, chẳng hạn đo nồng độ chất khí thì sử dụng cảm biến khí, một dòng điện hoặc hiệu điện thế sẽ được sinh ra ở đầu ra của cảm biến khi khí xâm nhập vào cảm biến, so đó được dẫn về hệ thống mạch điện tử để khuếch đại, xử lý, hoặc cũng có thể được lưu trữ trong máy tính. Có rất nhiều hệ chuyển động cơ khí, như các động cơ bước, cũng được điều khiển bởi hệ thống máy tính. Như vậy, độ chính xác của các hệ thống xử lý điện tử là rất quan trọng. Đối với các hệ thống máy móc điện tử này, tỷ số tín hiệu trên nhiễu được quan tâm rất nhiều. Nhiễu được chia làm 2 loại dựa vào nguồn gốc của nhiễu, đó là nhiễu nội và nhiễu ngoại. Nhiễu nội được xuất phát từ chính hệ thống mạch điện tử gây ra, gồm có nhiễu do chính các linh kiện trong thiết bị tác dụng lẫn nhau, nhiễu nhiệt, nhiễu nơ, nhiễu trắng, nhiễu $1/f$... Nhiễu nhiệt thường phụ thuộc vào chất lượng của các linh kiện trong mạch điện tử, có thể giảm tác dụng bằng cách hạ nhiệt độ làm việc để tránh tác dụng của nhiệt độ, cũng có thể chọn những máy móc, linh kiện có chất lượng tốt, tuy nhiên giá thành cũng sẽ cao hơn. Trên thực tế, có nhiều đầu đo được hoạt động ở nhiệt độ của nitơ lỏng và cho tỷ số tín hiệu trên nhiễu rất tốt. Với các nguồn nhiễu ngoại, như sóng vô tuyến, nhiễu do ảnh hưởng của dòng điện lưới, việc sử dụng các lồng bảo vệ là rất quan trọng. Ngoài ra, các chiều dài dây dẫn từ cảm biến tới máy xử lý tín hiệu cũng được tối ưu hóa, hoặc tránh để dây cáp truyền tín hiệu bị cuộn lại, các mạch khuếch đại lock-in cũng có thể được sử dụng trong trường hợp này.

Bên cạnh tỷ số tín hiệu trên nhiễu, nguồn gốc và cách phòng tránh tín hiệu giả cũng cần được quan tâm. Tín hiệu giả được hiểu tín hiệu thu được từ phép đo bị sai lệch đáng kể do một yếu tố bên ngoài hoặc bên trong hệ đo gây ra mà người đo không nhận biết được trong quá trình đo lường. Chẳng hạn, khi đo phổ phát xạ của một mẫu, vị trí của mẫu đối với đường đi của ánh sáng không được tối ưu hóa, khi đó tín hiệu có thể yếu hơn cả ánh sáng từ đèn màn hình của máy tính, nếu người đo không nhận biết điều này mà vẫn ghi kết quả, khi đó kết quả đo là phổ phát quang của màn hình máy tính chứ không phải là tín hiệu phát xạ. Để tránh được các tín hiệu giả, kinh nghiệm của người đo là rất quan trọng, khi thực hiện các phép đo lường, việc kiểm tra hệ đo và tối ưu hóa hệ đo là cần thiết, người đo có thể sử dụng một mẫu để chạy thử, nếu thấy có sự bất thường thì cần

phải xem nguyên nhân gây ra bất thường đó và đưa ra phương án giải quyết. Dưới đây là những phương pháp cũng như phạm vi áp dụng để tránh nhiễu, tránh tín hiệu giả trên các hệ đo điện.

2. Các phương pháp đo dòng điện pA và cải thiện hệ đo

2.1. Đo dòng điện pA và loại trừ tín hiệu giả trên hệ đo điện

Trong các thiết bị đo sử dụng tín hiệu điện, đặc biệt là các máy hoạt động với tần số lấy mẫu cao, các nguồn nhiễu điện là một trong những yếu tố gây ra sự sai lệch đáng kể cho các kết quả đo. Trong các thiết bị đo và ghi dòng pA, nhiễu từ các nguồn nhiễu môi trường bên ngoài như nhiễu sóng vô tuyến (sóng điện thoại, radio, lưới điện...) có ảnh hưởng rất lớn mặc dù các sóng này khá yếu, trong trường hợp này lồng Faraday được sử dụng và rất hữu ích. Lồng Faraday là một hộp kín được làm bằng kim loại có độ dẫn điện cao như đồng, nhôm... bên trong lồng có đặt các thiết bị thu hoặc phát tín hiệu và mẫu đo [1]. Khi lồng được đặt trong môi trường có các loại sóng điện từ, dòng điện cảm ứng sẽ xuất hiện trên bề mặt của lồng do hiện tượng cảm ứng điện từ. Do lồng có tác dụng như một đoạn mạch kín, dòng điện cảm ứng được chuyển hóa thành nhiệt và được triệt tiêu gần như hoàn toàn. Trong một số phép đo mà hệ nhạy với dao động của tiếng ồn âm thanh, lồng Faraday cũng phát huy tác dụng che chắn hệ đo.



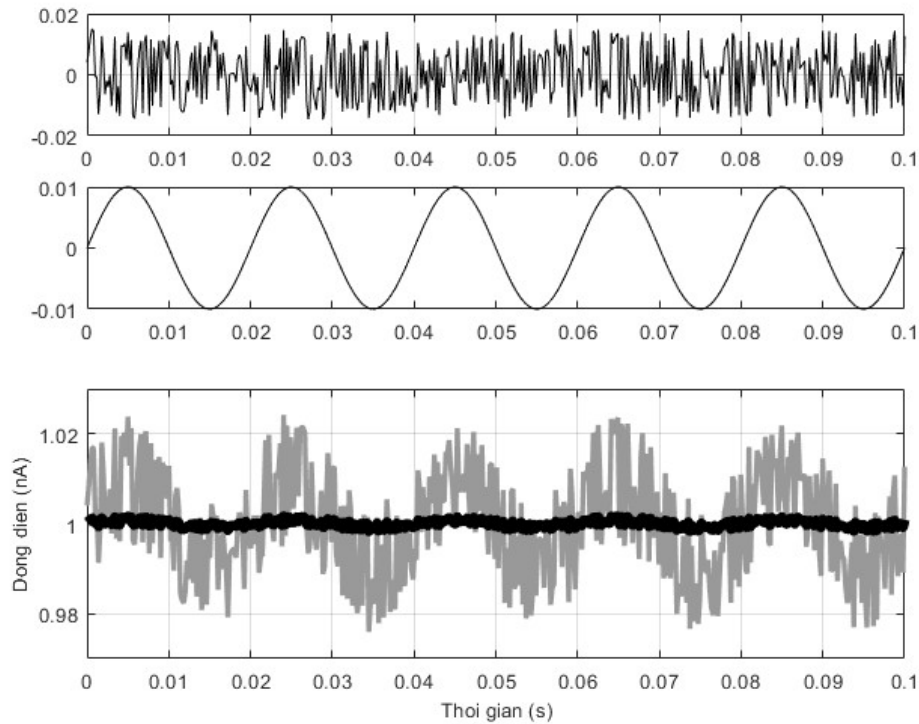
Hình 1. Máy khuếch đại lock-in của hãng Ametek 7285 với hai kênh tín hiệu vào và hai kênh lấy tính hiệu của tần số tham chiếu (bên trái). Nguyên lý hoạt động của lồng Faraday (bên phải), tường xung quanh được làm bằng các dây kim loại dẫn điện đan hình ô vuông.

Đối với các dây dẫn truyền tín hiệu, nhiễu do sóng điện từ xung quanh có ảnh hưởng lớn tới phép đo pA. Các dây dẫn này đóng vai trò giống như các anten vô tuyến, sẽ thu tín hiệu vô tuyến trong không gian và dẫn tới sai lệch phép đo dòng pA, dây càng dài và xoắn thì cường độ dòng nhiễu càng lớn. Để giảm loại nhiễu này thì cần phải sử dụng các loại dây dẫn có độ dài vừa đủ, các điện cực tiếp xúc phải làm bằng các hợp kim đặc biệt cho điện trở thấp và ổn định. Đối với nhiều loại cáp nối như BNC, lưới bọc kim được làm từ các các lưới kim loại dạng hình trụ đồng trục với dây dẫn, và nằm ở bên trong vỏ dây dẫn được sử dụng chống nhiễu. Các lưới này sẽ bao bọc dây dẫn giống như lồng Faraday. Với một số loại cáp nối khác thì có thể dùng màng bọc nhôm (sử dụng trong công nghệ thực phẩm) để chống nhiễu.

Tuy nhiên trong một số mạch điện khác, ngoài sự tác động của nhiễu bên ngoài còn xuất hiện nhiễu nội với các tần số khác nhau bên trong mạch điện. Một trong những phương pháp thông dụng để loại bỏ nhiễu nội này là dùng các mạch lọc tần số cao hoặc tần số thấp.

Trong những trường hợp cần loại bỏ hoàn toàn nhiễu với các tần số khác nhau, khuếch đại lock-in được sử dụng [2]. Để sử dụng mạch khuếch đại này, một máy phát xung tham chiếu với tần số đúng bằng tần số tín hiệu cần khảo sát sẽ được sử dụng. Khi đó, mạch khuếch đại hoạt động như một mạch lọc với dải tần rất hẹp, nói cách khác tất cả các dòng điện có tần số khác với tần số tham chiếu sẽ bị loại trừ, chỉ còn tín hiệu có cùng tần số với xung tham chiếu được giữ lại, sau đó được xử lý và khuếch đại.

Trên hình 1 (bên trái) là một mẫu máy khuếch đại lock-in của Ametek khá phổ biến trên thị trường. Máy có thể cho phép kết nối với hai đầu đo tại cùng một thời điểm, và cho phép sử dụng hai tần số tham chiếu để khuếch đại tín hiệu. Mô hình đơn giản của một lồng Faraday được làm bằng dây dẫn điện (bên phải) được sử dụng để bảo vệ hệ đo khỏi tín hiệu sóng điện từ nhiễu bên ngoài môi trường. Trên thực tế, các lồng Faraday được làm bằng hộp nhôm kín nhằm tối ưu khả năng chống nhiễu. Trên hình 2 là kết quả đo từ một nguồn DC với độ ổn định rất cao, nhiễu nhiệt trên một điện trở $1\text{G}\Omega$ được đo (hình trên cùng) với dòng nhiễu có biên độ vài chục pA, dòng điện được ghi trên một thiết bị kết nối với máy tính. Nhiễu từ mạch điện do tác dụng của lưới điện 50Hz với biên độ khoảng 10pA. Hình dưới cùng là kết quả đo khi không sử dụng mạch khuếch đại Lockin và hệ được đặt bên ngoài lồng Faraday (đường màu xám). Khi sử dụng mạch khuếch đại lock-in và lồng Faraday, nhiễu do tác dụng của lưới điện được loại trừ do có lồng Faraday, nhiễu nhiệt và nhiễu 50Hz từ lưới điện được khử đáng kể do dùng khuếch đại lock-in.



Hình 2. Nhiễu nhiệt từ hệ thống mạch điện (trên cùng), nhiễu từ hệ thống lưới điện 50Hz (giữa) được sinh ra từ các dây dẫn mang dòng điện do nguồn 50Hz cấp. Tín hiệu đo khi chưa dùng lồng Faraday và khuếch đại lock-in (xám) và khi sử dụng lồng Faraday kết hợp với khuếch đại Lockin (đen đậm) khi đo dòng điện qua 1 điện trở $1\text{ G}\Omega$ bằng nguồn điện 1 chiều 1V (hình dưới cùng).

2.2. Thảo luận về các phương pháp đo dòng pA và chống nhiễu

Để đo dòng pA, các thiết bị đo dòng điện có độ nhạy cao được sử dụng và không có thiết bị nào khác thay thế. Các thiết bị này có giá bán rất cao, chất lượng được đảm bảo, độ tin cậy cao. Các thương hiệu nổi tiếng có chất lượng đảm bảo bao gồm Keysight, Keithley, Saluki, Stanford Research Systems ... Các dây cáp dẫn điện BNC có khả năng chống nhiễu cao được sử dụng để kết nối dẫn truyền tín hiệu.

Đối với các thiết bị nói trên, khi sử dụng các thiết bị đo sử dụng tần số cao, một dải tần số vô ích sẽ bị loại trừ khỏi tín hiệu, khi đó các tín hiệu với tần số lớn hơn hoặc nhỏ hơn một giá trị sẽ được loại bỏ [3]. Tuy nhiên phương pháp này không loại trừ hết nhiễu do nhiễu có thể có cùng tần số với tín hiệu. Việc sử dụng các bộ lọc để loại trừ các tần số không mong muốn có thể dẫn tới các tín hiệu giả do máy tính không thể phân biệt được nguồn gốc của các tần số, quá trình xử lý dữ liệu có thể dẫn đến kết quả bị sai.

Đối với lồng Faraday, việc sử dụng thiết bị này có nhiều ưu điểm như chống nhiễu tương đối tốt, giá thành thấp, không chứa mạch điện tử nên không bị nhiễu nội. Tuy nhiên, các lồng Faraday thường áp dụng cho những hệ đo nhỏ, các hệ đo lớn thì thiết bị này khá to,

cồng kênh. Đồng thời việc kết nối dây cáp giữa các thiết bị bên trong và bên ngoài cần có các thiết bị gia công cơ khí.

3. Kết luận

Để đo được dòng điện ở cấp pA, việc áp dụng các phương pháp khử nhiễu, tránh tín hiệu giả là rất quan trọng đối với các ngành khoa học đo lường, phân tích nói chung và môn Vật lý thực nghiệm nói riêng. Chi phí dành cho việc đầu tư thiết bị mà các hệ khử nhiễu và tín hiệu giả khá cao, tùy theo cấp độ chính xác của phép đo mà các phương pháp sẽ được áp dụng một cách linh động, phù hợp. Đồng thời, việc lựa chọn các thiết bị cũng sẽ được xem xét kỹ cho phù hợp với tình hình và nhu cầu thực tế, cả về mặt kinh tế lẫn yêu cầu về độ chính xác của thiết bị đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Glasscott MW, Brown EW, Dorsey K, Laber CH, Conley K, Ray JD, Moores LC, Netchaev A. Selecting an optimal Faraday cage to minimize noise in electrochemical experiments. *Analytical Chemistry*. 2022 Aug 22;94(35):11983-9.
- [2] Bhattacharyya S, Ahmed RN, Purkayastha BB, Bhattacharyya K. Implementation of digital lock-in amplifier. In *Journal of Physics: Conference Series* 2016 Oct 1 (Vol. 759, No. 1, p. 012096). IOP Publishing.
- [3] Uchino M, Tagiri O, Shinozuka T. Real-time measurement of noise statistics. *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*. 2002 Aug 7;43(4):629-36.