

VŨ QUÝ ĐIỀM (*Chủ biên*)
PHẠM VĂN TUÂN
NGUYỄN THÚY ANH
ĐỖ LÊ PHÚ
NGUYỄN NGỌC VĂN

Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử

UYÊN
IÊU



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PGS. Vũ Quý Điềm (Chủ biên)
Phạm Văn Tuấn, Nguyễn Thuý Anh
Đỗ Lê Phú, Nguyễn Ngọc Văn

CƠ SỞ KỸ THUẬT
ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

In lần thứ tư có sửa chữa và bổ sung



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2007

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình “**Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử**” được biên soạn nhằm phục vụ việc học tập của sinh viên đại học thuộc các ngành kỹ thuật Điện tử - Viễn thông. Cuốn sách này cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các ngành kỹ thuật khác có sử dụng kỹ thuật Đo lường điện tử như là một phương pháp để nghiên cứu khoa học, sử dụng khai thác kỹ thuật của ngành mình.

Do sự phát triển của ngành Điện tử - Viễn thông và sự phát triển của kỹ thuật Điện tử, kỹ thuật Đo lường điện tử cũng thay đổi và phát triển rất nhiều. Nói về sự phát triển của kỹ thuật Đo lường điện tử trước hết phải nói đến những thay đổi cơ bản của các thiết bị đo có sử dụng các bộ vi xử lý (*microprocessors*). Việc áp dụng kỹ thuật vi xử lý và đo lường đã làm tăng tính năng và thông số của thiết bị đo lên rất nhiều, đã mở ra cách giải quyết các vấn đề mà trước kia chưa đặt ra được. Các bộ vi xử lý đã trở thành một bộ phận thiết yếu của các thiết bị đo. Có bộ vi xử lý các thiết bị đo có thể đa chức năng hơn, đơn giản hoá việc điều khiển, tự động điều chỉnh, tự động lấy chuẩn, tự động kiểm tra, làm tăng thêm độ tin cậy của các thông số phép đo, cho phép thực hiện tính toán, thống kê kết quả của phép đo nhanh chóng và đa dạng hơn, như vậy đã tạo ra được thiết bị đo lường lập trình tự động. Một phần của cuốn sách này dùng để trình bày những nguyên tắc và khả năng của các thiết bị đo có bộ vi xử lý.

Tuy nhiên, trong thực tế nhiều khi chỉ cần các thiết bị đo đơn giản hơn, nên rất nhiều thiết bị đo trong kỹ thuật hiện nay vẫn đang dùng các thiết bị đo sử dụng kỹ thuật tương tự cũng như kỹ thuật số. Cuốn sách này còn đề cập đến cả những thiết bị đo như vậy và các nguyên tắc truyền thống của kỹ thuật Đo lường điện tử.

Kỹ thuật Đo lường điện tử là một ngành kỹ thuật có phạm vi rất rộng cả về đối tượng đo, môi trường và điều kiện đo cũng như dải tần đo, lượng trình đo và cấu tạo mạch đo. Tham vọng của các tác giả là làm thế nào để có thể gói gọn được cả phạm vi rộng lớn nói trên vào những vấn đề rất cơ bản và cách trình bày phải thể hiện được các nguyên tắc truyền thống cũng như cập nhật được các nguyên tắc mới trong cuốn sách của mình. Mặc dù đã cố gắng để cuốn sách đạt được ý tưởng nói trên, song chắc chắn không tránh khỏi còn sai sót, các tác giả mong được sự góp ý và chỉ dẫn của bạn đọc.

Mọi ý kiến xin gửi về: **Khoa Điện tử-Viễn thông, trường đại học Bách Khoa Hà Nội, điện thoại 04.8692242.**

Lần xuất bản này có nhiều chỉnh lý, sửa chữa và bổ sung so với lần xuất bản trước (tháng 10 năm 2001) do Thạc sỹ Nguyễn Thuý Anh, Thạc sỹ Đỗ Lê Phú, Thạc sỹ Nguyễn Ngọc Văn, giảng viên giảng dạy môn học “**Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử**” của Khoa Điện tử – Viễn thông, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội cùng thực hiện dưới sự chỉ đạo của tác giả chủ biên.

Hà nội, ngày 15 tháng 8 năm 2003

Tác giả chủ biên
PGS. Vũ Quý Điềm

Chương I

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

MỞ ĐẦU

Trong quá trình phát triển của khoa học kỹ thuật mà toàn bộ thế giới đang chứng kiến, điện tử là một trong những ngành phát triển mũi nhọn. ứng dụng của điện tử, tin học, viễn thông đang ngày một lớn và ảnh hưởng sâu sắc đến cuộc sống và cách thức làm việc của toàn xã hội. Để phát triển được các lĩnh vực trong một tổng thể chung là ngành điện tử, thì vấn đề đo lường là một vấn đề cần được quan tâm và phát triển. Nội dung của giáo trình “Đo lường điện tử” được giới thiệu trong tập sách này có thể nói một cách tóm tắt là: nghiên cứu các phương pháp đo lường điện tử cơ bản, các biện pháp kỹ thuật để thực hiện các phương pháp đo và các thao tác kỹ thuật đo lường để đạt được những yêu cầu cần thiết của phép đo.

Cụ thể, nội dung này bao gồm các vấn đề về các phương pháp đo lường các thông số của tín hiệu và mạch điện, các biện pháp cấu tạo các mạch đo cũng như cấu trúc tính năng của máy đo, cách nâng cao độ chính xác của phép đo cũng như cách xác định, hạn chế sai số của kết quả đo.

Đo lường các thông số đặc tính của tín hiệu như là đo các thông số cường độ của tín hiệu (Ví dụ như các thông số dòng điện, điện áp, công suất...), như quan sát dạng của tín hiệu, đo tần số, đo di pha, phân tích phổ của tín hiệu. Đo các thông số của mạch điện như các thông số các linh kiện đường thẳng, linh kiện không đường thẳng (các linh kiện cơ sở như điện trở, tụ điện, đèn điện tử, đèn bán dẫn... đến các linh kiện như IC, các loại mạch tích hợp...), trong các mạch điện có phần tử tập trung, các thông số của các linh kiện đường thẳng trong mạch siêu cao tần.

Đặc điểm cơ bản của kỹ thuật đo lường điện tử là các phép đo được thực hiện trong một dải phổ rất rộng, từ 0Hz (tín hiệu không biến đổi) đến $3 \cdot 10^{15}$ Hz (sóng quang). Do vậy các phương pháp đo, cấu trúc của máy đo và cả độ chính xác của phép đo cũng đều tùy thuộc vào dải tần của đối tượng đo lường. Ví dụ ở tần số thấp thì dễ dàng đo được dòng điện và điện áp, nhưng ở siêu cao tần thì các thông số cần xác định là dòng điện, điện áp trở nên vô nghĩa khi cần định lượng thông số trên mạch, mà phải xác định

chúng thông qua công suất. Hay ví dụ, cũng là đại lượng cần đo là trở kháng của mạch, mà ở tần số thấp thì có thể dùng các thiết bị đo là các loại cầu bốn nhánh, ở tần số cao hơn thì thiết bị đo là cầu cộng hưởng điện áp hay dòng điện, và ở tần số siêu cao tần thì thiết bị đo phải dùng là dây đo hoặc đo bằng ống dẫn sóng hay dây đồng trục.

Độ chính xác của phép đo thường phụ thuộc nhiều vào sự khử bỏ các ảnh hưởng ghép ký sinh của các thông số của bản thân máy đo tới mạch cần đo, ví dụ như điện dung, điện cảm, điện trở của máy đo, ảnh hưởng này tăng khi tần số càng tăng cao. Do vậy khi đo cùng một đại lượng mà ở tần số khác nhau thì không những cần có các phương pháp khác nhau mà máy đo được dùng để đo cũng phải có cấu tạo khác nhau. Khi đã chọn đúng phương pháp đo và máy đo thích hợp rồi thì cũng cần phải chú ý tới thao tác cần thiết, cách mắc đo thế nào để nâng cao hơn độ chính xác của phép đo. Ví dụ như cần giảm tới mức tối thiểu điện áp tạp tán, điện dung ký sinh của dây nối, của máy đo. Các ảnh hưởng trên thường trở nên rất đáng kể trong lĩnh vực đo lường điện tử, vì phép đo thường được thực hiện ở tần số cao, công suất bé và hay được tiến hành ở trạng thái cộng hưởng.

Lượng trình của đại lượng cần đo trong kỹ thuật điện tử cũng khá rộng và đa dạng. Ví dụ như với việc đo tần số thì phải thực hiện phép đo có lượng trình từ 0Hz đến 10^{15} Hz. Đo công suất thì từ các thiết bị có công suất lớn tới 10^8 W, dưới các phương thức điều chế tín hiệu khác nhau như: điều biên, điều tần, điều pha và cả điều xung, với độ rộng xung tới 10^{-9} s.

Sự cần thiết của đo lường trong kỹ thuật điện tử là rất lớn, hầu như chúng ta phải sử dụng ở mọi lúc, mọi chỗ. Khi nghiên cứu thiết kế, điều chỉnh khai thác, lắp đặt vận hành... các hệ thống điện tử, viễn thông, không thể không có máy đo. Cho một hệ thống làm việc, hay điều chỉnh một thiết bị điện tử, là một quá trình đo lường các chế độ công tác, lấy đặc tính của từng khối, từng khâu riêng biệt hay toàn bộ. Do vậy, chỉ với các máy đo có độ chính xác cần thiết thì mới có thể điều chỉnh được thiết bị đạt được các yêu cầu mong muốn. Khi lắp ráp, chế tạo các thiết bị điện tử, các thiết bị viễn thông, cũng rất cần đo lường. Vì tính toán thiết kế chỉ cho được các số liệu sơ bộ, muốn có được chế độ công tác thực tế và thông số thích hợp nhất thì chỉ trên cơ sở thực nghiệm mới có. Với công tác nghiên cứu thì việc xây dựng phương pháp đo và kiện toàn thiết bị đo lại càng quan trọng hơn. Không phải chỉ có số lượng các kết quả, mà sự phân tích chất lượng cũng có ích lợi cho các công việc liên quan tới lĩnh vực nghiên cứu. Khi khai thác các hệ thống điện tử, cần phải luôn luôn kiểm tra phát hiện các hư hỏng, thực hiện các quá trình công tác, giữ được các chỉ tiêu kỹ thuật cao trong quá trình làm việc, xác định nhanh chóng các nguyên nhân làm mất các tiêu chuẩn công tác. Tất cả những điều đó đều không thực hiện được nếu không có sự tổ hợp phép đo và máy đo.

Cùng với quá trình phát triển của khoa học công nghệ, kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông là những quá trình tiến triển gắn chặt với khả năng thực hiện và hoàn thiện kỹ thuật đo lường. Ví dụ, những thành tựu của lĩnh vực nghiên cứu không gian vũ trụ như vệ tinh của trái đất... là những hệ thống rất phức tạp của các máy móc đo lường điện tử. Quá trình điều khiển và tự động bao hàm một số lớn các phép đo các loại khác nhau với độ chính xác cao. Trên cơ sở phát hiện những đoạn tần số sóng mới, những phương pháp đo mới cũng xuất hiện theo, tạo ra thêm các yêu cầu mới và đặc biệt về chế tạo cho các máy đo. Ngày nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ người ta đã tự động hoá được các quá trình sản xuất, những thành tựu mới này đã được thích ứng với các phương pháp đo và thiết bị đo mới của kỹ thuật đo lường tự động.

Độ chính xác của phép đo phụ thuộc nhiều vào chủ quan của người đo. Muốn kết quả đo chính xác, phải chọn được phép đo đúng với nhiệm vụ đặt ra, thích hợp với đối tượng cần đo. Cần phải nắm được các phương pháp đo khác nhau, biết được tính năng các máy đo, xử lý thích đáng được các nguồn gốc sai số đo. Không cẩn thận trong quá trình đo, không biết đầy đủ đặc điểm của đối tượng đo, đặc tính của tín hiệu cần đo, khả năng của máy đo thì không thể có kết quả đo chính xác. Sự thông thạo của người làm kỹ thuật khi đo lường có thể nâng cao được độ chính xác của phép đo, và có thể thực hiện các phép đo một cách linh hoạt. Sự thông thạo không những thể hiện ở chỗ hiểu rõ các phép đo và sử dụng thành thạo các máy đo, mà còn thể hiện ở chỗ biết vận dụng để hiểu được các nguyên lý đo lường ở các hệ thống điện tử hiện đại. Ví dụ như hệ thống Radar là hệ thống có yêu cầu đo khoảng thời gian, cơ sở của một số hệ thống điều khiển là phép đo di pha rời rạc hoá và chỉ thị bằng số.

Để nghiên cứu giáo trình “Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử” này, yêu cầu người đọc đã được nghiên cứu các giáo trình kỹ thuật cơ sở của ngành kỹ thuật điện tử. Các giáo trình kỹ thuật cơ sở có quan hệ trực tiếp cần phải kể đến như giáo trình điện tử và bán dẫn, lý thuyết cơ sở về tín hiệu và mạch điện vô tuyến điện, cơ sở thiết bị khuếch đại, kỹ thuật xung và số, lý thuyết xác suất và thống kê. Sở dĩ như vậy, vì tất cả các kiến thức chung của các giáo trình trên là lý thuyết cơ sở cần thiết để xây dựng các phương pháp đo lường về các thông số của tín hiệu cũng như của mạch điện tử. Đó cũng là các kỹ thuật cơ sở để xây dựng các biện pháp thực hiện các phương pháp đo này, tức là cấu trúc cụ thể của các mạch đo và của các máy đo.

Cơ sở phát triển kỹ thuật điện tử là từ kỹ thuật điện, nên đo lường trong điện tử cũng xuất phát từ các cơ sở của kỹ thuật đo lường điện. Tuy có quan hệ gắn bó như vậy, nhưng hai môn học này có quan điểm cơ bản khác nhau. Nhiệm vụ của kỹ thuật điện là tạo ra, truyền dẫn và biến đổi năng lượng điện tử. Còn nhiệm vụ của kỹ thuật điện tử là truyền lan và gia công tin tức nhờ dao động điện tử. Do vậy, hai ngành điện và điện tử phải được nghiên cứu theo hai quan điểm khác nhau, quan điểm năng lượng và quan điểm thông tin.

Như vậy, khi đo lường trong lĩnh vực điện tử, người ta thường ít quan tâm tới khía cạnh năng lượng của quá trình. Điều chú trọng nhiều hơn là các thông số và đặc tính đặc trưng cho mạch và tín hiệu về mặt thông tin, ví dụ như tần số, pha, trở kháng đặc tính, hệ số truyền đạt và các thông số dạng của tín hiệu...

Các phần sau đây, chúng ta sẽ xem xét tới các đối tượng và phương pháp đo lường điện tử một cách chi tiết.

1.1 ĐỐI TƯỢNG CỦA ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

1.1.1 Các đặc tính và thông số của tín hiệu

Để mô tả tín hiệu trong lĩnh vực điện tử, người ta sử dụng các biểu thức toán học sau đây:

$$s(t)=s(t, a_1, a_2, \dots, a_n)$$

hoặc $s(f)=s(f, b_1, b_2, \dots, b_n)$

Từ các biểu thức trên đây, ta thấy rằng, tín hiệu $s(t)$ không những phụ thuộc vào thời gian và $s(f)$ không chỉ phụ thuộc tần số mà chúng còn phụ thuộc vào nhiều đại lượng khác là a_1, a_2, \dots, a_n và b_1, b_2, \dots, b_n . Các đại lượng đó được gọi chung là các thông số của tín hiệu.

Tín hiệu s có rất nhiều dạng khác nhau, tùy theo mục đích sử dụng tức là tùy thuộc vào loại tín tức mà tín hiệu này phản ánh.

Để nghiên cứu những biện pháp truyền dẫn và biến đổi tín hiệu, chúng ta cần phải tiến hành đo lường các thông số của nó. Người ta không xét tới thông số của tất cả các loại tín hiệu, bởi vì rõ ràng trên thực tế là không thể làm như vậy được, và thực ra là không cần thiết. Số lượng tín hiệu được dùng để quy định làm đối tượng đo lường là rất ít so với số lượng tín hiệu trên thực tế và được gọi là những tín hiệu mẫu. Số tín hiệu mẫu này là tối thiểu nhưng về mặt đo lường, chúng đã thoả mãn được yêu cầu là biểu diễn được mô hình đơn giản của các tín hiệu trên thực tế.

Khi đo lường các thông số và đặc tính của các mạch điện, người ta cũng dùng các tín hiệu mẫu này. Biết được phản ứng của mạch với các dạng của tín hiệu ấy, thì cũng có thể suy ra phản ứng của mạch với các dạng tín hiệu khác.

Các tín hiệu trong điện tử thường được biểu diễn theo hàm của thời gian hoặc theo hàm theo tần số.

Dạng của các tín hiệu cơ bản được khảo sát thông số, bao gồm:

-Tín hiệu điều hoà

- Tín hiệu tuần hoàn
- Tín hiệu xung
- Tín hiệu số.

1. Cách biểu diễn tín hiệu theo hàm số của thời gian và theo hàm số của tần số

a. Hàm số theo thời gian

Hàm số theo thời gian là hàm số dạng:

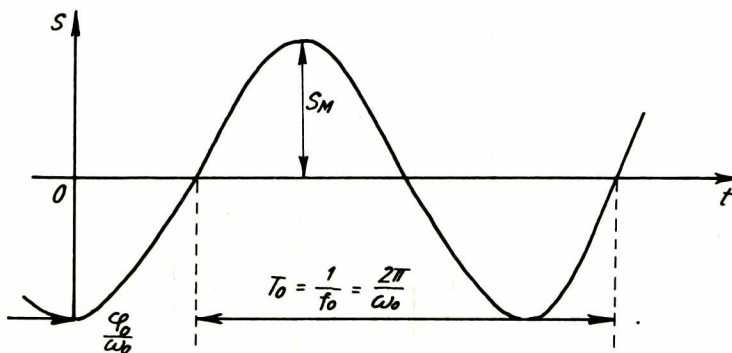
$$s=f(t)$$

Ngoài tham số là thời gian ra, như đã trình bày ở phần trên, còn có các tham số khác trong biểu thức của $f(t)$, nên biểu thức của s có thể được biểu diễn thành dạng như sau:

$$S=f(t, a_1, a_2, \dots, a_n)$$

Các thông số a_1, a_2, \dots, a_n của tín hiệu sẽ xác định dạng của tín hiệu, do đó với mỗi tín hiệu khác nhau, ta sẽ có những tham số khác nhau và các hàm số khác nhau. Với những loại tín hiệu khác nhau đó, để đo các thông số tín hiệu của chúng, người ta phải có những phương pháp phù hợp nhằm đưa ra kết quả gần với thực tế nhất.

Ví dụ khi sử dụng Ô-xi-lô để hiển thị một tín hiệu theo thời gian, ta có thể thấy được các tham số về dạng của tín hiệu như cường độ, chu kỳ, độ di pha.



Hình 1-1 Tín hiệu hiển thị trên Ô-xi-lô

Cường độ ta có thể dùng vôn-mét để đo điện áp, ampe-mét để đo dòng điện, oát-mét để đo công suất. Ngoài ra với mỗi giải lượng trình khác nhau, người ta cũng phải sử dụng những phương pháp và thiết bị đo phù hợp, ví dụ như với các giải tần số khác nhau, người ta phải có những phương pháp và thiết bị đo khác nhau.

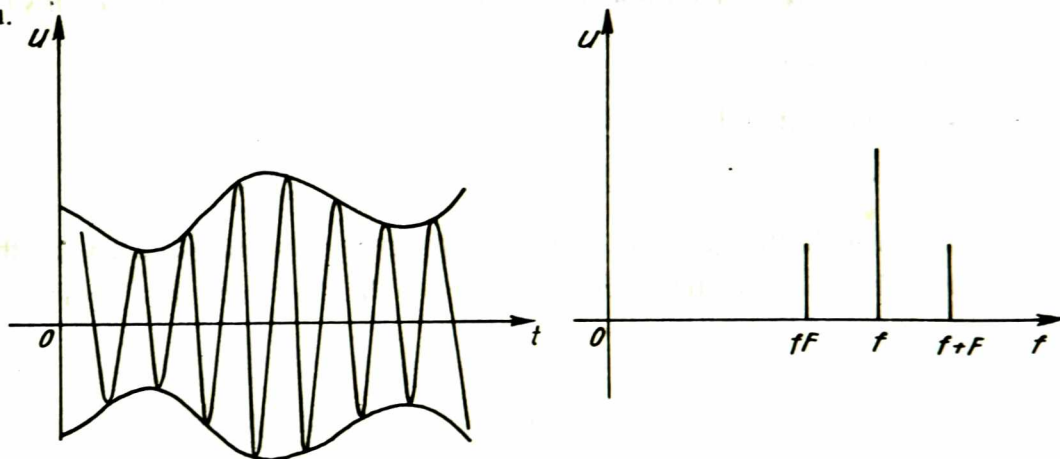
b. Hàm số theo tần số

Hàm theo tần số là hàm có dạng

$$s=\varphi(f)$$

Hàm số theo tần số thường được dùng để biểu diễn cho các tín hiệu tuần hoàn hoặc cho một tín hiệu trong một khoảng thời gian hữu hạn.

Khi biểu diễn một hàm số theo tần số, ưu điểm của nó là người ta có thể thấy được dải tần của tín hiệu, từ đó người ta sẽ có những phương pháp phù hợp cho việc gia công tín hiệu.

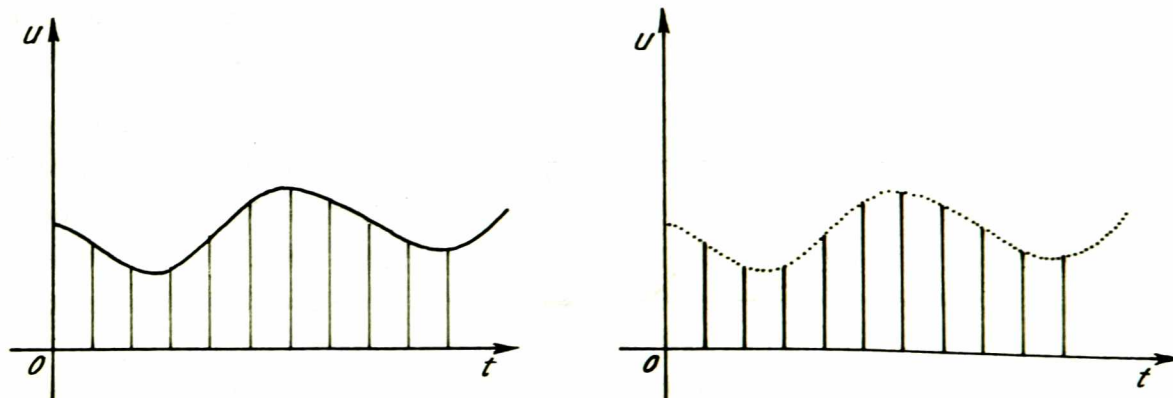


a, Biểu diễn tín hiệu theo thời gian

b, Biểu diễn tín hiệu theo tần số

Hình 1-2 Biểu diễn tín hiệu

Ví dụ khi cần lấy mẫu của một tín hiệu, người ta phải biết được dải tần của nó và sẽ lấy mẫu trong các khoảng thời gian phù hợp với tần số của tín hiệu theo định lý lấy mẫu:



a, Tín hiệu trước khi lấy mẫu

b, Tín hiệu sau khi lấy mẫu

Hình 1-3 Lấy mẫu tín hiệu

$$T_{lm} \leq \frac{1}{2F_{MAX}}$$

Với T_{lm} là chu kỳ lấy mẫu;

F_{MAX} là tần số lớn nhất của tín hiệu.