

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
KHOA CNTT&TT



ThS. Vũ Thúy Hằng

BÀI GIẢNG
XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ

Tài liệu lưu hành nội bộ

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
KHOA CNTT&TT

ThS. Vũ Thúy Hằng

BÀI GIẢNG
XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ

Thái Nguyên, tháng 11 năm 2022

MỤC LỤC

| | |
|--|-----------|
| CHƯƠNG 1: TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG RỜI RẠC..... | 8 |
| <i>Nội dung chính của chương:</i> | 8 |
| <i>Mục tiêu cần đạt được của chương:</i> | 8 |
| Bài 1: Tín hiệu và hệ thống rời rạc (Số tiết: 3 tiết)..... | 8 |
| 1.1. Mở đầu..... | 8 |
| 1.1.1. Phân loại tín hiệu | 8 |
| 1.2. Tín hiệu rời rạc | 12 |
| 1.2.1. Biểu diễn tín hiệu rời rạc | 12 |
| 1.2.2. Các tín hiệu rời rạc | 14 |
| 1.2.3. Các phép toán với tín hiệu rời rạc | 16 |
| 1.3. Hệ thống tuyến tính bất biến..... | 21 |
| 1.3.1. Hệ thống tuyến tính | 21 |
| 1.3.2. Hệ thống tuyến tính bất biến..... | 22 |
| 1.3.3. Hệ thống tuyến tính bất biến và nhân quả | 26 |
| 1.3.4. Hệ thống tuyến tính bất biến ổn định | 29 |
| 1.4. Phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng..... | 31 |
| 1.4.1. Phương trình sai phân tuyến tính..... | 31 |
| 1.4.2. Phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng..... | 32 |
| 1.4.3. Hệ thống số không đệ quy | 34 |
| 1.4.4. Các phần tử thực hiện hệ thống bất biến | 35 |
| 1.5. Tương quan chéo của các tín hiệu | 36 |
| 1.5.1. Tương quan chéo | 36 |
| 1.5.2. Hàm tự tương quan..... | 37 |
| CHƯƠNG 2. BIỂU DIỄN HỆ THỐNG VÀ TÍN HIỆU RỜI RẠC TRONG MIỀN Z..... | 40 |
| <i>Nội dung chính của chương:</i> | 40 |
| <i>Mục tiêu cần đạt được của chương:</i> | 40 |
| Bài 1: Biến đổi Z và các tính chất của biến đổi Z (Số tiết: 3 tiết)..... | 40 |
| 2.1. Mở đầu..... | 40 |
| 2.2. Biến đổi Z (ZT) | 41 |
| 2.2.1. Định nghĩa | 41 |
| 2.2.2. Sự tồn tại của biến đổi z | 42 |
| 2.2.3. Một vài biến đổi Z thông dụng | 45 |
| 2.3. Biến đổi Z ngược | 46 |
| 2.3.1. Tính trực tiếp tích phân bằng lý thuyết thặng dư | 46 |
| 2.3.2. Phương pháp khai triển thành chuỗi lũy thừa..... | 48 |
| 2.3.3. Phương pháp khai triển thành tổng của các phân thức tối giản..... | 49 |
| 2.4. Các tính chất của biến đổi Z | 50 |
| 2.4.1. Tính chất tuyến tính..... | 50 |
| 2.4.2. Tính chất trễ..... | 51 |
| 2.4.3. Tính chất nhân với hàm mũ a^n | 52 |
| 2.4.4. Đạo hàm của biến đổi Z (tính đạo hàm của $n.x(n)$)..... | 53 |
| 2.4.5. Tích chập của hai dãy | 53 |
| 2.4.6. Tương quan của hai tín hiệu | 54 |
| 2.4.7. Dãy liên hợp phức | 55 |
| 2.4.8. Định lý giá trị ban đầu | 56 |
| 2.4.9. Tích của hai dãy..... | 56 |
| Bài 2: Biểu diễn hệ thống rời rạc trong miền Z và độ ổn định của hệ thống (Số tiết: 3 tiết)..... | 56 |
| 2.5. Biểu diễn hệ thống rời rạc trong miền Z | 56 |

| | |
|---|---------------|
| 2.5.1. Hàm truyền đạt của hệ thống rời rạc | 56 |
| 2.5.2. Hàm truyền đạt của một hệ thống tuyến tính bất biến được đặc trưng bởi phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng | 57 |
| 2.5.3. Các phần tử thực hiện hệ thống tuyến tính bất biến | 58 |
| 2.5.4. Phân tích hệ thống trong miền Z | 59 |
| 2.5.5. Giải phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng nhờ biến đổi Z | 61 |
| 2.6. Độ ổn định của hệ thống | 62 |
| 2.6.1. Sự ổn định của một hệ thống tuyến tính bất biến | 62 |
| 2.6.2. Sự ổn định của một hệ thống tuyến tính bất biến và nhân quả | 63 |
| 2.6.3. Tiêu chuẩn ổn định Jury | 64 |
| CHƯƠNG 3. BIỂU DIỄN HỆ THỐNG VÀ TÍN HIỆU RỜI RẠC TRONG MIỀN TẦN SỐ LIÊN TỤC | 72 |
| Nội dung chính của chương: | 72 |
| Mục tiêu cần đạt được của chương: | 72 |
| Bài 1: Biến đổi Fourier và các tính chất của biến đổi Fourier (Số tiết: 2 tiết) | 72 |
| 3.1. Biến đổi Fourier của các tín hiệu rời rạc | 72 |
| 3.1.1. Định nghĩa biến đổi Fourier (Fourier Transform) | 72 |
| 3.1.2. Sự tồn tại của biến đổi Fourier | 75 |
| 3.1.3. Biến đổi Fourier ngược (Inverse Fourier Transform) | 75 |
| 3.2. Các tính chất của biến đổi Fourier | 77 |
| 3.2.1. Tính chất tuyến tính | 77 |
| 3.2.2. Tính chất trễ | 78 |
| 3.2.3. Tính chất trễ tần số | 78 |
| 3.2.4. Tích chập của hai dãy | 80 |
| 3.2.5. Tính chất đối xứng | 80 |
| 3.2.6. Tương quan giữa hai tín hiệu | 81 |
| 3.2.7. Quan hệ Parseval | 81 |
| 3.2.8. Tích của hai dãy | 82 |
| 3.2.9. Vi phân trong miền tần số | 82 |
| 3.2.10. Tính chất đảo biến số | 83 |
| Bài 2: So sánh biến đổi Fourier và biến đổi Z (Số tiết: 3 tiết) | 83 |
| 3.3. So sánh biến đổi Fourier và biến đổi Z | 83 |
| 3.3.1. Quan hệ giữa biến đổi Fourier và biến đổi Z | 83 |
| 3.3.2. Đánh giá hình học $X(e^{j\omega})$ trên mặt phẳng Z | 84 |
| Bài 3: Biểu diễn hệ thống rời rạc trong miền tần số liên tục (Số tiết: 3 tiết) | Error! |
| Bookmark not defined. | |
| 3.4. Biểu diễn hệ thống rời rạc trong miền tần số liên tục | 85 |
| 3.4.1. Đáp ứng tần số | 85 |
| 3.4.2. Các bộ lọc số lý tưởng | 85 |
| Bài 4: Lấy mẫu tín hiệu (Số tiết: 2 tiết) | 90 |
| 3.5. Lấy mẫu tín hiệu | 90 |
| 3.5.1. Định lý lấy mẫu | 90 |
| 3.5.2. Tần số Nyquist | 92 |
| CHƯƠNG 4. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ dạng fir, iir | 96 |
| Nội dung chính của chương: | 96 |
| Mục tiêu cần đạt được của chương: | 96 |
| Bài 1: Cấu trúc thực hiện bộ lọc số (Số tiết: 3 tiết) | 96 |
| 4.1. Phương trình sai phân và lọc số | 96 |
| 4.2. Thực hiện bộ lọc số | 97 |
| Bài 2: Thiết kế bộ lọc FIR và IIR (Số tiết: 3 tiết) | 100 |
| 4.3. Thiết kế bộ lọc FIR | 100 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.1. Dạng của bộ lọc | 100 |
| 4.3.2. Thiết kế bộ lọc FIR bằng phương pháp cửa sổ..... | 103 |
| 4.3.3. Thực hiện cấu trúc bộ lọc FIR | 110 |
| 4.4. Thiết kế bộ lọc IIR..... | 113 |
| 4.4.1. Các tính chất của bộ lọc..... | 113 |
| 4.4.2. Các phương pháp tổng hợp bộ lọc IIR từ bộ lọc tương tự..... | 114 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 133 |
| CÂU HỎI THƯỜNG GẶP | 134 |

CÁC TỪ VIẾT TẮT

| TT | Từ viết tắt | Ý nghĩa của từ |
|----|-------------|---|
| 1 | FIR | Finite duration Impulse Response - Đáp ứng xung chiều dài hữu hạn |
| 2 | IIR | Infinite duration Impulse Response - Đáp ứng xung có chiều dài vô hạn |
| 3 | ZT | Z Transform - Biến đổi Z thuận |
| 4 | IZT | Inverse Z Transform - Biến đổi Z ngược |
| 5 | FT | Fourier Transform - Biến đổi Fourier |
| 6 | IFT | Inverse Fourier Transform - Biến đổi Fourier ngược |

MỞ ĐẦU

Bài giảng Xử lý tín hiệu số được giảng viên thuộc bộ môn Điện tử viễn thông biên soạn nhằm phục vụ cho việc giảng dạy của giảng viên và học tập của sinh viên trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – Đại học Thái Nguyên. Tập bài giảng này được biên soạn theo nội dung đề cương chi tiết học phần xử lý tín hiệu số ở trình độ đại học.

Nội dung tài liệu cung cấp cho sinh viên các kiến thức cơ bản về tín hiệu và hệ thống rời rạc trên các miền khác nhau như miền thời gian (miền n), miền mặt phẳng phức (miền Z), miền tần số. Việc khảo sát tín hiệu và hệ thống ở các miền sẽ cho phép dễ dàng thực hiện được bài toán phân tích hệ thống dựa trên mối quan hệ giữa đầu vào, đặc trưng hệ thống và đầu ra. Bên cạnh đó, học phần còn cung cấp các phương pháp và quy trình để thực hiện bài toán thiết kế các bộ lọc số FIR, IIR. Từ bài toán này, sinh viên có thể phát triển thêm cho các bài toán xây dựng các hệ thống xử lý số khác trong thực tế. Ngoài ra, học phần còn hướng dẫn sinh viên sử dụng công cụ Matlab để mô tả tín hiệu, thiết kế các bộ lọc số một cách trực quan. Nội dung tài liệu gồm 4 chương:

Chương 1: Tín hiệu và hệ thống rời rạc

Chương 2: Biểu diễn hệ thống và tín hiệu rời rạc trong miền Z

Chương 3: Biểu diễn hệ thống và tín hiệu rời rạc trong miền tần số liên tục

Chương 4: Thiết kế bộ lọc số

Mặc dù tác giả đã dành nhiều thời gian và công sức để biên soạn, song khó tránh khỏi thiếu sót. Tác giả rất mong quý thầy cô và các bạn sinh viên đóng góp ý kiến để cuốn bài giảng được hoàn thiện hơn. Xin trân trọng cảm ơn.

CHƯƠNG 1: TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG RỜI RẠC

Nội dung chính của chương:

- ✚ Biểu diễn tín hiệu
- ✚ Các tín hiệu cơ bản
- ✚ Hệ thống tuyến tính bất biến và đáp ứng xung
- ✚ Phép tích chập
- ✚ Phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng biểu diễn hệ thống tuyến tính bất biến.
- ✚ Phép tương quan của tín hiệu

Mục tiêu cần đạt được của chương:

Sau khi học xong chương 1, sinh viên cần đảm bảo được các yêu cầu sau:

- ✚ Hiểu được các khái niệm về tín hiệu và phân loại tín hiệu.
- ✚ Phân tích được đặc tính của tín hiệu và hệ thống rời rạc trên miền n .
- ✚ Khảo sát được tính nhân quả và ổn định của hệ thống
- ✚ Vẽ được sơ đồ thực hiện hệ thống (sơ đồ cấu trúc) dựa vào phương trình sai phân.

Bài 1: Tín hiệu và hệ thống rời rạc (Số tiết: 3 tiết)

1.1. Mở đầu

1.1.1. Phân loại tín hiệu

a. Định nghĩa tín hiệu

Tín hiệu là sự biến thiên của biên độ theo thời gian của một đại lượng vật lý.

Với những tín hiệu không điện thì ta có các cảm biến (sensor) để biến đổi thành tín hiệu điện.

Nhiều: Do chính bản thân mạch hoặc môi trường truyền phát sinh ra hoặc từ bên ngoài thâm nhập vào

Ví dụ:

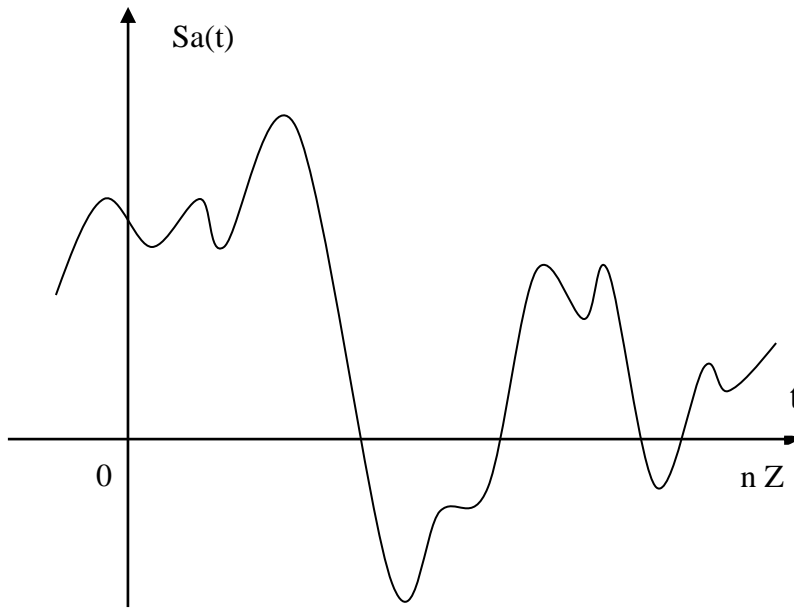
- Các tín hiệu nhìn thấy là các sóng ánh sáng chuyển tải thông tin màu sắc, hình khối tới mắt chúng ta.

- Các tín hiệu nghe thấy là các sự biến đổi của áp suất không khí truyền thông tin tới tai chúng ta.

b. Biểu diễn toán học của tín hiệu

Về mặt toán học, tín hiệu được biểu diễn bởi hàm của một hoặc nhiều biến số độc lập.

Ví dụ: Ta có tín hiệu microphone $S_a(t)$ được biểu diễn trên hình 1.1

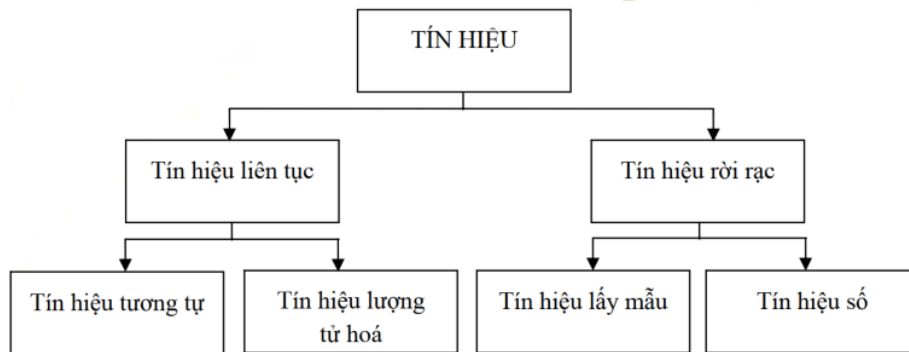


Hình 1.1. Tín hiệu microphone

Từ hình 1.1 ta thấy $S_a(t)$ là hàm một biến số, biến số này là thời gian t . Vì là hàm của một biến nên ta còn gọi là tín hiệu một chiều.

c. Phân loại tín hiệu

Các tín hiệu trên thực tế được phân loại như sau:



d. Định nghĩa tín hiệu liên tục ($y=f(x)$)

Nếu biến độc lập của sự biến đổi toán học của một tín hiệu là liên tục, thì tín hiệu đó được gọi là tín hiệu liên tục.

Nhận xét: Như vậy theo định nghĩa tín hiệu liên tục, thì từ liên tục ở đây được hiểu là liên tục theo biến số, còn xét theo hàm hay biên độ thì ta có tín hiệu tương tự

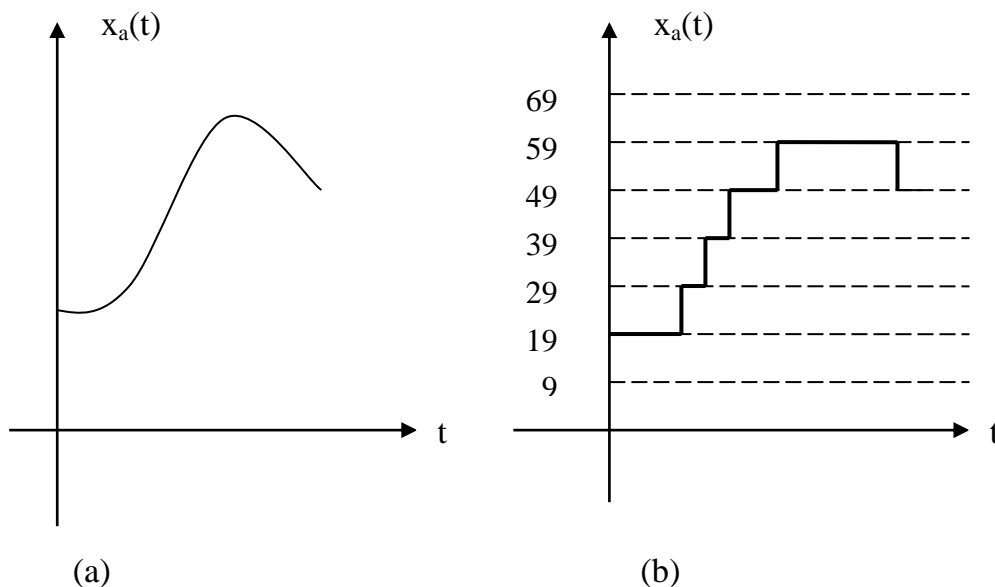
Và tín hiệu lượng tử hóa

+) Tín hiệu được gọi là tín hiệu tương tự nếu hàm (biên độ) của tín hiệu liên tục là liên tục.

+) Tín hiệu được gọi là tín hiệu lượng tử hóa nếu hàm (biên độ) của tín hiệu liên tục là rời rạc.

Mỗi mức lượng tử được chỉ định một giá trị số $8(n)$ bit, kết hợp $8(n)$ bit có 256 (2^8) mức hay giá trị. Quy ước bit đầu tiên dùng để đánh dấu giá trị âm hoặc dương cho mẫu. Bảy bit còn lại biểu diễn cho độ lớn; bit đầu tiên chỉ nửa trên hay nửa dưới của dãy, bit thứ hai chỉ phần tư trên hay dưới, bit thứ 3 chỉ phần tám trên hay dưới và cứ thế.

Ví dụ: Chúng ta có hai tín hiệu liên tục có biến số là thời gian t được biểu diễn trên hình 1.2a là tín hiệu tương tự và hình 1.2b là tín hiệu lượng tử hóa.



Hình 1.2. Hai tín hiệu liên tục có biến số là thời gian t

(a): Là tín hiệu tương tự (b): Tín hiệu lượng tử hóa

e. Định nghĩa tín hiệu rời rạc

Nếu tín hiệu được biểu diễn bởi hàm của các biến rời rạc, thì tín hiệu đó được gọi là tín hiệu rời rạc.

Nhận xét: Theo định nghĩa thì từ rời rạc ở đây được hiểu là rời rạc theo biến số.

Nếu dựa vào hàm hay biên độ, chúng ta cũng có tín hiệu lấy mẫu và tín hiệu số.