

ĐỖ THỊ TÚ ANH, NGUYỄN HOÀNG HÀ
HOÀNG MINH SƠN

TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI

Bản quyền thuộc về Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Mọi hình thức xuất bản, sao chép mà không có sự cho phép bằng văn bản của Trường là vi phạm pháp luật.

Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam

Đỗ Thị Tú Anh

Tín hiệu và hệ thống / Đỗ Thị Tú Anh, Nguyễn Hoàng Hà, Hoàng Minh Sơn. - H. : Bách khoa Hà Nội, 2021. - 578tr. : hình vẽ, bảng ; 24cm

1. Tín hiệu 2. Hệ thống
621.3822 - dc23

BKM0154p-CIP

Mục lục

Lời nói đầu	1
Lời cảm ơn	5
I NHẬP MÔN	7
0 Tín hiệu và hệ thống: Tổng quan, ứng dụng và công cụ phần mềm	9
0.1 Một số khái niệm ban đầu về tín hiệu và hệ thống	9
0.1.1 Tín hiệu	9
0.1.2 Hệ thống	12
0.2 Tín hiệu, hệ thống và công nghệ số	14
0.3 Một số ví dụ ứng dụng xử lý số tín hiệu	16
0.3.1 Máy nghe CD	16
0.3.2 Vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm và vô tuyến nhận thức .	18
0.3.3 Hệ thống điều khiển bằng máy tính	19
0.4 Giới thiệu về MATLAB	21
0.4.1 Tính toán số	21
0.4.2 Tính toán dạng biến tượng trưng	38
0.4.3 Tóm tắt một số hàm MATLAB cơ bản	44
Tóm tắt chương	44
Bài tập	48

II MÔ TẢ VÀ PHÂN TÍCH TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG TRONG MIỀN THỜI GIAN 53

1 Các tín hiệu liên tục	55
1.1 Mở đầu	55
1.2 Phân loại tín hiệu liên tục	56
1.2.1 Tín hiệu thực và tín hiệu phức	56
1.2.2 Tín hiệu tuần hoàn và tín hiệu không tuần hoàn	59
1.2.3 Tín hiệu năng lượng và tín hiệu công suất	62
1.3 Các phép biến đổi tín hiệu trong miền thời gian	65
1.3.1 Phép dịch thời gian	65
1.3.2 Phép đảo thời gian	67
1.3.3 Phép co giãn thời gian	68
1.3.4 Kết hợp các phép biến đổi trong miền thời gian	69
1.3.5 Tính đối xứng của tín hiệu	71
1.4 Các tín hiệu liên tục tiêu biểu	73
1.4.1 Hàm bước nhảy đơn vị	73
1.4.2 Hàm xung đơn vị	75
1.4.3 Tín hiệu sin	80
1.4.4 Tín hiệu mũ	83
1.4.5 Biểu diễn tín hiệu thông qua các tín hiệu tiêu biểu	85
Tóm tắt chương	91
Bài tập	92
2 Các tín hiệu rời rạc	97
2.1 Giới thiệu về lấy mẫu lý tưởng tín hiệu liên tục	97
2.2 Phân loại tín hiệu rời rạc	99
2.2.1 Tín hiệu thực và tín hiệu phức	99
2.2.2 Tín hiệu tuần hoàn và tín hiệu không tuần hoàn	101
2.2.3 Tín hiệu năng lượng và tín hiệu công suất	103
2.3 Các phép biến đổi tín hiệu trong miền thời gian	105
2.3.1 Phép dịch thời gian	106
2.3.2 Phép đảo thời gian	107
2.3.3 Phép co giãn thời gian	108
2.3.4 Kết hợp các phép biến đổi trong miền thời gian	111
2.3.5 Tính đối xứng của tín hiệu	113
2.4 Các tín hiệu rời rạc tiêu biểu	114

2.4.1	Hàm bước nhảy đơn vị	114
2.4.2	Hàm xung đơn vị	116
2.4.3	Tín hiệu sin	118
2.4.4	Tín hiệu mũ	121
2.4.5	Biểu diễn tín hiệu thông qua các tín hiệu tiêu biểu	123
	Tóm tắt chương	129
	Bài tập	129
3	Các hệ thống liên tục	135
3.1	Mở đầu	135
3.2	Phân loại hệ thống liên tục	137
3.2.1	Hệ tĩnh và hệ động	137
3.2.2	Hệ nhân quả và hệ không nhân quả	138
3.2.3	Hệ ổn định BIBO và hệ không ổn định BIBO	139
3.2.4	Hệ khả đảo và hệ không khả đảo	140
3.2.5	Hệ tuyến tính và hệ phi tuyến	141
3.2.6	Hệ bất biến và hệ biến thiên	145
3.3	Các hệ thống liên tục tuyến tính bất biến (LTI)	148
3.3.1	Đáp ứng xung	148
3.3.2	Tính đáp ứng của hệ bằng tích chập	152
3.3.3	Tính đáp ứng của hệ với tín hiệu cơ sở khác xung đơn vị	164
3.4	Các tính chất của hệ LTI liên tục	165
3.4.1	Ghép nối tiếp	166
3.4.2	Ghép song song	168
3.4.3	Tính động học	169
3.4.4	Tính nhân quả	170
3.4.5	Tính ổn định BIBO	171
3.4.6	Tính khả đảo	172
3.4.7	Đáp ứng bước nhảy	173
3.5	Hệ thống liên tục mô tả bởi phương trình vi phân	174
3.5.1	Ví dụ về hệ thống bậc một và bậc hai	174
3.5.2	Đáp ứng tự do và đáp ứng cưỡng bức	179
	Tóm tắt chương	184
	Bài tập	185

4	Các hệ thống rời rạc	193
4.1	Tại sao cần xử lý rời rạc các tín hiệu liên tục?	193
4.2	Phân loại hệ thống rời rạc	196
4.2.1	Hệ tĩnh và hệ động	196
4.2.2	Hệ nhân quả và hệ không nhân quả	197
4.2.3	Hệ ổn định BIBO và hệ không ổn định BIBO	198
4.2.4	Hệ khả đảo và hệ không khả đảo	199
4.2.5	Hệ tuyến tính và hệ phi tuyến	200
4.2.6	Hệ bất biến và hệ biến thiên	205
4.3	Các hệ thống rời rạc tuyến tính bất biến (LTI)	207
4.3.1	Đáp ứng xung	208
4.3.2	Tính đáp ứng của hệ bằng tích chập	211
4.3.3	Tính đáp ứng của hệ với tín hiệu cơ sở khác xung đơn vị	224
4.4	Các tính chất của hệ LTI rời rạc	225
4.4.1	Ghép nối tiếp	225
4.4.2	Ghép song song	226
4.4.3	Tính động học	226
4.4.4	Tính nhân quả	227
4.4.5	Tính ổn định BIBO	228
4.4.6	Tính khả đảo	230
4.4.7	Đáp ứng bước nhảy	231
4.5	Hệ thống rời rạc mô tả bởi phương trình sai phân	232
4.5.1	Một số ví dụ về các hệ thống bậc một	232
4.5.2	Đáp ứng tự do và đáp ứng cưỡng bức	237
	Tóm tắt chương	243
	Bài tập	244

III MÔ TẢ VÀ PHÂN TÍCH TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG TRONG MIỀN TẦN SỐ 249

5	Phổ của tín hiệu liên tục	251
5.1	Mở đầu	251
5.2	Tín hiệu tuần hoàn và biểu diễn chuỗi Fourier	252
5.2.1	Chuỗi Fourier dạng mũ phức	252
5.2.2	Xác định các hệ số chuỗi Fourier dạng mũ phức	259
5.2.3	Chuỗi Fourier dạng lượng giác cho các tín hiệu thực	268

5.2.4	Sự hội tụ của chuỗi Fourier	271
5.2.5	Các tính chất của chuỗi Fourier	275
5.2.6	Phân tích và tổng hợp tín hiệu âm nhạc với MATLAB	279
5.3	Phép biến đổi Fourier	286
5.3.1	Dẫn xuất của phép biến đổi Fourier	286
5.3.2	Sự hội tụ của phép biến đổi Fourier	294
5.3.3	Sự đối ngẫu của phép biến đổi Fourier	297
5.3.4	Phép biến đổi Fourier cho các tín hiệu tuần hoàn	300
5.4	Các tính chất của phép biến đổi Fourier	303
5.4.1	Tính tuyến tính và tính đối xứng	303
5.4.2	Dịch thời gian và dịch tần số (điều chế)	306
5.4.3	Co giãn thời gian và co giãn tần số	310
5.4.4	Đạo hàm và tích phân	311
5.4.5	Tích chập	314
5.4.6	Nhân đại số	315
5.4.7	Công thức Parseval	316
5.4.8	Tóm tắt các tính chất của phép biến đổi	318
5.4.9	Tính ảnh Fourier của tín hiệu với hàm fft của MATLAB	320
	Tóm tắt chương	325
	Bài tập	326
6	Đáp ứng tần số của hệ LTI liên tục	333
6.1	Tại sao chúng ta hay dùng tín hiệu mũ phức?	333
6.1.1	Hàm riêng của các hệ LTI liên tục	333
6.1.2	Đáp ứng của hệ LTI với tín hiệu mũ phức	335
6.2	Đáp ứng tần số của hệ LTI	338
6.2.1	Định nghĩa đáp ứng tần số	338
6.2.2	Đáp ứng với tín hiệu sin	339
6.2.3	Đáp ứng với tín hiệu tuần hoàn	342
6.2.4	Đáp ứng với tín hiệu liên tục bất kỳ	344
6.2.5	Bộ khuếch đại, bộ vi phân và bộ tích phân	347
6.3	Đáp ứng tần số của hệ thống mô tả bởi phương trình vi phân	350
6.3.1	Dạng phân thức hữu tỷ	350
6.3.2	Đồ thị Bode	354
6.4	Các bộ lọc chọn tần số	360
6.4.1	Các bộ lọc lý tưởng	362
6.4.2	Ví dụ về các bộ lọc thực tế	364

6.4.3	Xác định đáp ứng của bộ lọc với MATLAB	371
6.5	Trích mẫu và khôi phục tín hiệu	377
6.5.1	Trích mẫu lý tưởng tín hiệu	377
6.5.2	Khôi phục tín hiệu	380
6.5.3	Ảnh hưởng của việc lấy mẫu thưa: Chồng phổ	385
6.6	Một số ứng dụng trong thông tin liên lạc	388
6.6.1	Điều chế biên độ	389
6.6.2	Ghép kênh chia tần số	393
	Tóm tắt chương	394
	Bài tập	395
7	Phân tích hệ LTI liên tục sử dụng phép biến đổi Laplace	403
7.1	Mở đầu	403
7.2	Phép biến đổi Laplace	404
7.2.1	Phép biến đổi Laplace hai bên	404
7.2.2	Miền hội tụ	405
7.2.3	Điểm cực, điểm không	407
7.2.4	Các tính chất của miền hội tụ	410
7.2.5	Phép biến đổi Laplace một bên	415
7.3	Các tính chất của phép biến đổi Laplace	416
7.3.1	Tính tuyến tính	416
7.3.2	Dịch thời gian	418
7.3.3	Điều chế	419
7.3.4	Cơ giãn	420
7.3.5	Tích chập	421
7.3.6	Đạo hàm	422
7.3.7	Tích phân	425
7.3.8	Đạo hàm theo s	425
7.3.9	Định lý giá trị đầu và giá trị cuối	426
7.3.10	Tóm tắt các tính chất của phép biến đổi	428
7.4	Phép biến đổi Laplace ngược	428
7.4.1	Khai triển phân thức tối giản	430
7.5	Hàm truyền của hệ LTI liên tục	438
7.5.1	Định nghĩa hàm truyền	438
7.5.2	Các hệ thống nhân quả và ổn định BIBO	440
7.5.3	Các hệ thống khả đảo	442
7.5.4	Ghép nối hệ thống	443

7.6	Hàm truyền của hệ thống mô tả bởi phương trình vi phân	446
7.6.1	Dạng phân thức hữu tỷ	446
7.6.2	Bàn thêm về các hệ thống bậc một và bậc hai nhân quả	448
7.6.3	Bộ lọc Butterworth	460
7.7	Đáp ứng quá độ và đáp ứng trạng thái xác lập	464
7.8	Một số ứng dụng trong điều khiển	468
7.8.1	Từ điều khiển vòng hở sang điều khiển vòng kín	468
7.8.2	Tính ổn định và ổn định hóa	471
7.8.3	Chất lượng của hệ thống điều khiển	473
	Tóm tắt chương	478
	Bài tập	478
8	Phân tích hệ LTI rời rạc sử dụng phép biến đổi Z	485
8.1	Mở đầu	485
8.2	Phép biến đổi Z	487
8.2.1	Phép biến đổi Z hai bên và miền hội tụ	487
8.2.2	Các tính chất của miền hội tụ	493
8.2.3	Phép biến đổi Z một bên	495
8.3	Các tính chất của phép biến đổi Z	496
8.3.1	Tuyến tính	496
8.3.2	Dịch thời gian	497
8.3.3	Điều chế	500
8.3.4	Đảo thời gian	502
8.3.5	Đạo hàm theo z	502
8.3.6	Tích chập	503
8.3.7	Tích lũy	504
8.3.8	Định lý giá trị đầu và giá trị cuối	504
8.3.9	Tóm tắt các tính chất của phép biến đổi Z	505
8.4	Phép biến đổi Z ngược	505
8.4.1	Khai triển chuỗi lũy thừa	508
8.4.2	Khai triển phân thức tối giản	512
8.5	Hàm truyền của hệ LTI rời rạc	519
8.5.1	Định nghĩa hàm truyền	519
8.5.2	Đáp ứng tần số	521
8.5.3	Các hệ thống nhân quả và ổn định BIBO	523
8.5.4	Các hệ thống khả đảo	525
8.5.5	Ghép nối hệ thống	527

8.6	Hàm truyền của hệ thống mô tả bởi phương trình sai phân	529
8.6.1	Dạng phân thức hữu tỷ	529
8.6.2	Các bộ lọc bậc một và bậc hai nhân quả	532
8.7	Giới thiệu về các hệ thống điều khiển số và có dữ liệu được lấy mẫu .	539
8.7.1	Hệ thống vòng hở có dữ liệu được lấy mẫu	542
8.7.2	Các hệ thống vòng kín có dữ liệu được lấy mẫu	544
	Tóm tắt chương	547
	Bài tập	548
	Tài liệu tham khảo	553
	Phụ lục	557
	Chỉ mục	565

Lời nói đầu

Cuốn sách này dự kiến là giáo trình cho các môn học về tín hiệu và hệ thống dành cho sinh viên những năm đầu thuộc ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa. Tuy nhiên, cuốn sách cũng có thể được sử dụng để dạy những sinh viên ngành Điện tử viễn thông, Kỹ thuật y sinh và Kỹ thuật cơ khí. Nó cũng có thể hữu ích cho các kỹ sư thực hành yêu thích việc tự học và ôn lại những kiến thức cơ bản của tín hiệu và hệ thống.

Nội dung và bố cục cuốn sách

Nội dung của cuốn sách được chia làm ba phần: Phần I – Nhập môn, Phần II – Mô tả và phân tích tín hiệu và hệ thống trong miền thời gian, Phần III – Mô tả và phân tích tín hiệu và hệ thống trong miền tần số. Những khái niệm ban đầu về tín hiệu và hệ thống cũng như một số ứng dụng thực tiễn nhằm minh họa tầm quan trọng của lý thuyết tín hiệu và hệ thống sẽ được trình bày ở Phần I – cụ thể là Chương 0. Phần giới thiệu về MATLAB cũng sẽ được thực hiện ở cuối phần này, vì đây là một công cụ lập trình bậc cao được sử dụng phổ biến trong phân tích và thiết kế hệ thống. Xuyên suốt cuốn sách sẽ có rất nhiều ví dụ sử dụng phần mềm MATLAB bên cạnh các ví dụ giải tích để giúp sinh viên nắm vững hơn các khái niệm mang tính lý thuyết.

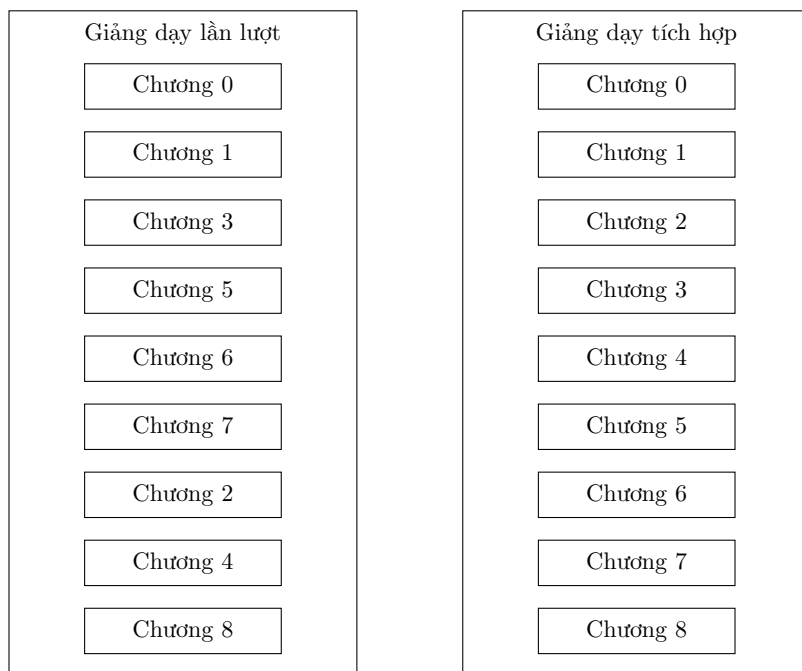
Phần II và III chứa đựng nội dung cốt lõi của cuốn sách. Bốn chương của Phần II được dành để mô tả, biểu diễn và phân tích tín hiệu và hệ thống trên miền thời gian, bao gồm cả miền thời gian liên tục và rời rạc. Trong khi đó, bốn chương cuối tập trung vào việc mô tả, biểu diễn và phân tích tín hiệu và hệ thống trên miền tần số. Lưu ý rằng, có hai cách tiếp cận khác nhau trong việc dạy môn học này: (1) kiến thức về các tín hiệu và hệ thống liên tục theo thời gian sẽ được đưa ra trước rồi sau đó là kiến thức về phần rời rạc theo thời gian và (2) cả kiến thức phần liên tục và rời rạc theo thời gian được tích hợp đồng thời. Với mong muốn thỏa mãn cả hai cách tiếp cận giảng dạy đó, sau Chương 1 trình bày về tín hiệu liên tục theo thời gian, Chương 2

với các chủ đề tương ứng nhưng dành cho tín hiệu rời rạc sẽ được tiếp nối. Cũng như vậy, Chương 3 trình bày về hệ thống liên tục theo thời gian và được theo sau bởi các chủ đề tương ứng của hệ thống rời rạc trong Chương 4. Do đó, nếu dạy phần liên tục theo thời gian trước, giảng viên có thể sử dụng các Chương 1 và 3, sau đó tiếp tục dạy phần phổ của tín hiệu liên tục, đáp ứng tần số và phân tích hệ thống liên tục sử dụng các phép biến đổi Fourier và Laplace ở các Chương 5, 6 và 7 của Phần III. Tiếp theo, các Chương 2 và 4 liên quan đến tín hiệu và hệ thống rời rạc có thể được đưa ra trước khi tiến hành dạy về phép biến đổi Z ở Chương 8 của Phần III. Mặt khác, nếu các kiến thức nói trên được giảng dạy theo cách tích hợp, các Chương 1 – 4 nên được đưa ra theo đúng thứ tự trước khi tiếp tục các chương tiếp theo. Phương pháp bàn luận của Chương 1 và 2 hoàn toàn song song với nhau, cũng như Chương 3 và 4 là song song. Lý do trình bày như vậy là để sinh viên có thể tham khảo qua lại giữa các kiến thức phần liên tục và rời rạc theo thời gian, từ đó nhấn mạnh các điểm chung, đồng thời lưu ý những điểm khác biệt trong các chủ đề.

Kể cả tiếp cận theo phương pháp tích hợp, phần phân tích tín hiệu và hệ thống liên tục với phép biến đổi Laplace ở Chương 7 nên được nêu ra ngay sau phần phân tích sử dụng phép biến đổi/chuỗi Fourier liên tục (CTFS/CTFT) ở các Chương 5 và 6, hơn là sau khi dạy về phép biến đổi/chuỗi Fourier rời rạc (DTFS/DTFT) cho các tín hiệu rời rạc. Kinh nghiệm giảng dạy của nhóm tác giả cho thấy, phép biến đổi Laplace được trình bày ngay sau phép biến đổi Fourier liên tục sẽ tự nhiên và thuận lợi hơn. Hơn nữa, chúng tôi cũng thấy rằng, sinh viên nên học DTFS/DTFT và DFT (*Discrete Fourier Transform*) sau khi học xong phép biến đổi Z, vì các cách biểu diễn Fourier này cùng với tính tuần hoàn và sự chồng chéo của chúng làm cho sinh viên dễ bị nhầm lẫn. Vì vậy, thứ tự học các công cụ biến đổi từ Chương 5 đến Chương 8 là: CTFS/CTFT, phép biến đổi Laplace và phép biến đổi Z. Với DTFS/DTFT/DFT, nhóm tác giả không trình bày trong cuốn sách đầu tay này nhưng sẽ bổ sung chúng thành một chương ở lần tái bản sau. Mặc dù vậy, phần giới thiệu về DFT trong ứng dụng xử lý tín hiệu liên tục bằng phần mềm MATLAB đã được trình bày ở cuối các Chương 5 và 6. Ngoài ra, khái niệm đáp ứng tần số của hệ thống rời rạc và ứng dụng trong lọc tín hiệu cũng được kết hợp trong Chương 8.

Dành cho giảng viên

Do có hai cách tiếp cận giảng dạy nêu trên, các giảng viên có thể tham khảo sơ đồ sau đây trong việc lựa chọn trình tự các chương trong cuốn sách khi dạy học, nhằm phù hợp với chương trình đào tạo và trình độ của sinh viên. Lưu ý rằng, hai cách tiếp cận này đều có thể được điều chỉnh để thực hiện trong 1 hoặc 2 học kỳ, tùy thuộc vào



mức độ nông sâu của các nội dung kiến thức muốn truyền đạt. Chẳng hạn, nếu một giảng viên muốn dạy trong 1 học kỳ theo cách tiếp cận lần lượt, thì sau Chương 0 tạo động lực và hứng thú cho sinh viên, trọng tâm giảng dạy sẽ là phần tín hiệu và hệ thống liên tục với các Chương 1, 3, 5 – 7 được trình bày lần lượt và chi tiết. Tiếp đó, phần tín hiệu và hệ thống rời rạc có thể được đưa ra mang tính chất giới thiệu, bằng cách chọn lọc các kiến thức cơ bản từ các Chương 2, 4 và 8. Tất nhiên, nếu giảng dạy trong 2 học kỳ theo cách tiếp cận lần lượt, học kỳ đầu sẽ bao phủ toàn bộ phần tín hiệu và hệ thống liên tục. Học kỳ thứ 2 được dành cho phần tín hiệu và hệ thống rời rạc, với kiến thức trong các Chương 2, 4 và 8 được bao hàm một cách đầy đủ và kỹ lưỡng.

Dành cho sinh viên

Bên cạnh việc cung cấp cho sinh viên nền tảng toán học của lý thuyết tín hiệu và hệ thống, các ứng dụng vật lý và kỹ thuật cũng được giới thiệu xuyên suốt cuốn sách, bao gồm lọc, trích mẫu, điều chế biên độ, các hệ thống thông tin, hệ thống điều khiển phản hồi, phân tích mạch điện, với rất nhiều bài tập từ đơn giản đến phức tạp tương ứng với từng chủ đề được đưa vào cuối mỗi chương. Vì vậy, sẽ rất có lợi nếu sinh viên

đã có kiến thức cơ bản về lý thuyết mạch điện, phương trình vi phân, giải tích và đại số tuyến tính. Đồng thời, sau khi học xong những nội dung trong cuốn sách này, sinh viên sẽ có rất nhiều thuận lợi khi tiếp tục học những môn nâng cao như các hệ thống điều khiển tự động, xử lý tín hiệu số, và/hoặc truyền thông số.

Về hình thức trình bày của cuốn sách, lưu ý là các thuật ngữ chuyên ngành đều *được in nghiêng* khi xuất hiện những lần đầu tiên, các khái niệm, định nghĩa và hệ quả quan trọng được đóng khung hoặc *in nghiêng*, cũng như các lệnh MATLAB *được viết bằng phông chữ riêng*. Hơn nữa, để giúp sinh viên hệ thống hóa kiến thức, cuối mỗi chương đều có phần Tóm tắt chương. Phần Phụ lục cuối cuốn sách có thể được sử dụng để tra cứu các công thức, tính chất, những cặp biến đổi tín hiệu thông dụng của các phép biến đổi, cũng như một số hàm MATLAB cơ bản. Cuối cùng, cuốn sách cũng được thiết kế với phần Chỉ mục giúp sinh viên tiện tìm kiếm các định nghĩa, ký hiệu, cùng với danh sách các Tài liệu tham khảo của cuốn sách.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả rất biết ơn các đồng nghiệp đã đồng viên và đóng góp ý kiến cho nhóm tác giả trong quá trình soạn thảo cuốn sách này, bao gồm GS. TS. Nguyễn Doãn Phước, GS. TS. Phan Xuân Minh, TS. Nguyễn Thu Hà, ThS. Chu Đức Việt, TS. Nguyễn Hoài Nam, ThS. Đinh Thị Lan Anh, TS. Đào Phương Nam, TS. Vũ Thị Thúy Nga, ThS. Cao Thành Trung, ThS. Đặng Văn Mỹ và TS. Trịnh Hoàng Minh của Bộ môn Điều khiển tự động, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (ĐHBKHN). Xin chân thành cảm ơn các thành viên trong Hội đồng thẩm định nội dung sách giáo trình của Viện Điện, Trường ĐHBKHN, đặc biệt GS. TS. Phạm Thị Ngọc Yến và TS. Phạm Văn Trường đã đọc cẩn thận và cho những gợi ý quý báu để bản thảo được hoàn chỉnh trước khi in ấn. Cuốn sách cũng chắc chắn không thể ra đời nếu thiếu sự giúp đỡ nhiệt tình của ThS. Đoàn Thị Thu Hà, Viện Điện và các cán bộ Nhà xuất bản Bách Khoa, Trường ĐHBKHN. Cuối cùng, nhóm tác giả muốn được gửi lời cảm ơn sâu sắc tới gia đình và các em sinh viên. Tạo động lực cho sự ra đời của cuốn sách chính là các sinh viên tham dự học phần EE2000 và EE3000E cùng với những phản hồi và thảo luận hữu ích của các em trong quá trình các tác giả giảng dạy môn học này. Đồng thời, nguồn cổ vũ to lớn cũng như việc tạo điều kiện thời gian để hoàn thành cuốn sách luôn đến từ phía gia đình – điều mà chúng tôi không thể đền đáp hết.

Mặc dù rất cố gắng song cuốn sách đầu tay này không tránh khỏi những thiếu sót. Mọi ý kiến đóng góp nhằm nâng cao chất lượng của cuốn sách cho những lần tái bản sau xin được gửi về địa chỉ email: anh.dothitu@hust.edu.vn (Đỗ Thị Tú Anh, Viện Điện, Trường ĐHBKHN).

Hà Nội, tháng 8 năm 2021
Đỗ Thị Tú Anh, Nguyễn Hoàng Hà, Hoàng Minh Sơn

Phần I

NHẬP MÔN

Chương 0

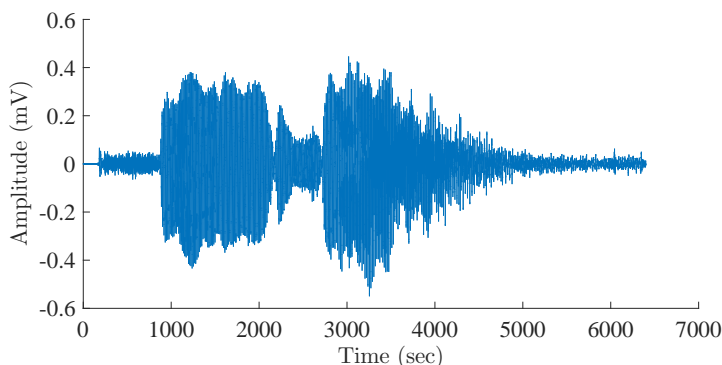
Tín hiệu và hệ thống: Tổng quan, ứng dụng và công cụ phần mềm

0.1 Một số khái niệm ban đầu về tín hiệu và hệ thống

Khái niệm “tín hiệu” và “hệ thống” xuất hiện trong rất nhiều lĩnh vực, ví dụ như thông tin và truyền thông, thiết kế mạch điện, kỹ thuật y sinh, các hệ thống điều khiển, xử lý tín hiệu, v.v.. Những ý tưởng và kỹ thuật liên quan đến khái niệm tín hiệu và hệ thống đóng một vai trò rất quan trọng trong những lĩnh vực khác nhau đó. Mặc dù bản chất vật lý của tín hiệu và hệ thống trong các ngành khác nhau là rất khác nhau, chúng đều có chung hai đặc điểm cơ bản: (1) *tín hiệu (signal)* là hàm số của một hay nhiều biến độc lập, mang thông tin về bản chất hay diễn biến của một sự vật hoặc hiện tượng nào đó và (2) *hệ thống (system)* xử lý các tín hiệu cụ thể bằng cách tạo ra những tín hiệu khác hoặc đáp ứng với tín hiệu vào cho trước [1].

0.1.1 Tín hiệu

Một ví dụ đơn giản của tín hiệu là tiếng nói, hay áp suất âm thanh gây ra bởi sóng âm. Do áp suất âm thanh thay đổi theo thời gian nên ta có thể mô tả nó là hàm số với biến độc lập là thời gian. Như chúng ta thấy trên Hình 0.1, cường độ âm thanh của

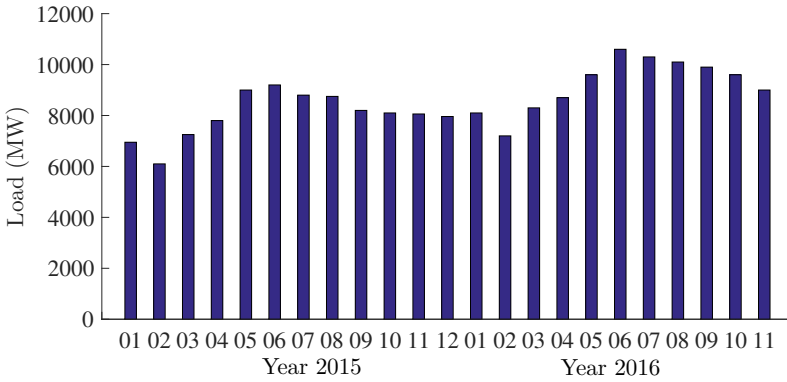


Hình 0.1: Giọng nữ nói từ “Xin chào”.

giọng nữ nói từ “Xin chào”, qua micro được chuyển đổi thành dạng điện áp, cũng là một tín hiệu trong miền thời gian. Ngoài ra, biến độc lập còn có thể là biên độ, hoặc góc, chẳng hạn, áp suất không khí là hàm số của biên độ, v.v.. Bên cạnh những tín hiệu là hàm số của một biến độc lập kể trên, mà chúng còn được gọi là các tín hiệu *một chiều* (*one-dimensional*), còn có những tín hiệu *hai chiều* (*two-dimensional*), ví dụ tín hiệu hình ảnh được mô tả thông qua sự thay đổi cường độ sáng theo không gian là hàm số của hai biến độc lập. Thậm chí có những tín hiệu là hàm số của cả không gian và thời gian, ví dụ như tín hiệu video phát ra từ điện thoại di động, camera, v.v.. Tuy nhiên, trong phạm vi cuốn sách này, chúng ta sẽ chỉ đề cập đến những tín hiệu liên quan đến một biến độc lập và gọi chung là biến thời gian, mặc dù trong một số ứng dụng thực tế cụ thể, nó không hẳn là thời gian.

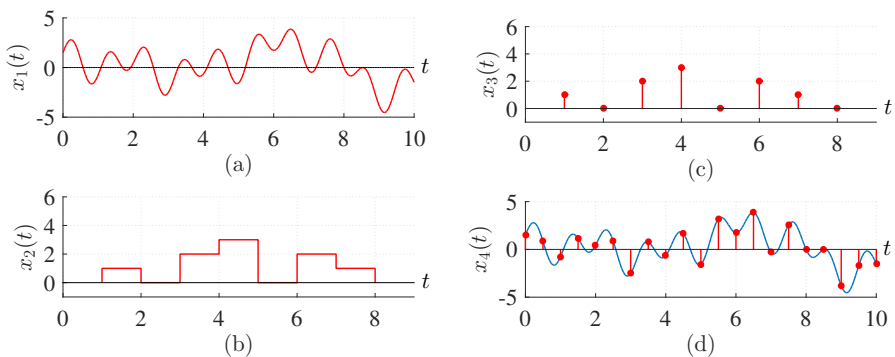
Hơn nữa, một tín hiệu được gọi là *tín hiệu liên tục* (*continuous-time signal*) nếu nó được xác định tại tất cả các thời điểm trong một khoảng thời gian (hữu hạn hoặc vô hạn). Các tín hiệu liên tục đều quen thuộc với chúng ta: ngoài tiếng nói, âm nhạc phát ra từ ra-đi-ô, máy Ipod và máy nghe nhạc MP3, còn có các tín hiệu điện áp và dòng điện trong các mạch điện, v.v.. Ngược lại, *tín hiệu rời rạc* (*discrete-time signal*) chỉ được xác định tại một số thời điểm rời rạc nào đó, ví dụ như phụ tải điện tính trung bình hàng tháng ở miền Bắc nước ta trong thời gian hai năm từ 01/2015 đến 11/2016 được minh họa trên Hình 0.2 [2]. Cần lưu ý rằng, do thời gian về bản chất là biến liên tục, nên thực ra ta chỉ thu thập dữ liệu trong các khoảng thời gian cố định (giờ, ngày, v.v.) hoặc *lấy mẫu* (đo đạc) dữ liệu tại các thời điểm gián đoạn, và vì vậy, ta có thể nói đó là tín hiệu rời rạc.

Trong các ngành kỹ thuật, chúng ta cũng thường gặp khái niệm *tín hiệu tương tự* (*analog signal*) và *tín hiệu số* (*digital signal*). Tín hiệu tương tự là tín hiệu liên tục,



Hình 0.2: Phụ tải điện tính trung bình hàng tháng ở miền Bắc nước ta trong thời gian hai năm từ 01/2015 đến 11/2016.

và nhận tất cả các giá trị trong một dải biên độ nào đó (*biên độ liên tục – continuous amplitude*), ví dụ như tín hiệu tiếng nói. Ngược lại, tín hiệu số là tín hiệu rời rạc và chỉ lấy một số giá trị nào đó (còn gọi là mức) trong một dải biên độ (*biên độ rời rạc – discrete amplitude*), ví dụ như tín hiệu đánh máy chữ. Bên cạnh đó, cũng có loại tín hiệu liên tục nhưng biên độ rời rạc, chẳng hạn tín hiệu đèn giao thông, hoặc tín hiệu rời rạc nhưng biên độ liên tục, ví dụ như các mẫu của một tín hiệu tương tự [3]. Hình 0.3 biểu diễn đồ thị thời gian của một số loại tín hiệu kể trên với lưu ý



Hình 0.3: Các loại tín hiệu: (a) $x_1(t)$ là tín hiệu liên tục, biên độ liên tục (tín hiệu tương tự); (b) $x_2(t)$ là tín hiệu liên tục, biên độ rời rạc; (c) $x_3(t)$ là tín hiệu rời rạc, biên độ rời rạc (tín hiệu số); và (d) $x_4(t)$ là tín hiệu rời rạc, biên độ liên tục (tín hiệu lấy mẫu).