

Phan Quốc Phô (chủ biên) - Nguyễn Đức Chiến

Giáo trình ? **CẢM BIẾN**

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

PHAN QUỐC PHÔ (chủ biên) - NGUYỄN ĐỨC CHIẾN



GIÁO TRÌNH CẢM BIẾN

In lần thứ năm có sửa chữa



Sách chào mừng 50 năm thành lập Trường ĐHBK Hà Nội



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

LỜI NÓI ĐẦU

“Cảm biến” trong tiếng Anh gọi là *sensor* xuất phát từ chữ *sense* theo nghĩa là tính là cảm nhận. Từ ngàn xưa người tiền sử đã nhờ vào các giác quan xúc giác để cảm nhận, tìm hiểu đặc điểm của thế giới tự nhiên và học cách sử dụng những hiểu biết đó nhằm mục đích khai thác thế giới xung quanh phục vụ cho cuộc sống của họ. Trong thời đại phát triển của khoa học và kỹ thuật ngày nay con người không chỉ dựa vào các cơ quan xúc giác của cơ thể để khám phá thế giới. Các chức năng xúc giác để nhận biết các vật thể, hiện tượng xảy ra trong thiên nhiên được tăng cường nhờ phát triển các dụng cụ dùng để đo lường và phân tích mà ta gọi là cảm biến. Cảm biến được định nghĩa như những thiết bị dùng để biến đổi các đại lượng vật lý và các đại lượng không điện cần đo thành các đại lượng điện có thể đo được (như dòng điện, điện thế, điện dung, trở kháng v.v...). Nó là thành phần quan trọng nhất trong các thiết bị đo hay trong các hệ thống điều khiển tự động. Có thể nói rằng nguyên lý hoạt động của một cảm biến, trong nhiều trường hợp thực tế, cũng chính là nguyên lý của phép đo hay của phương pháp điều khiển tự động.

Đã từ lâu cảm biến được sử dụng như những bộ phận để cảm nhận và phát hiện, nhưng chỉ từ vài chục năm trở lại đây chúng mới thể hiện rõ vai trò quan trọng trong các hoạt động của con người. Nhờ những thành tựu mới của khoa học và công nghệ trong lĩnh vực vật liệu, thiết bị điện tử và tin học, các cảm biến đã được giảm thiểu kích thước, cải thiện tính năng và ngày càng mở rộng phạm vi ứng dụng. Giờ đây không có một lĩnh vực nào mà ở đó không sử dụng các cảm biến. Chúng có mặt trong các hệ thống tự động phức tạp, người máy, kiểm tra chất lượng sản phẩm, tiết kiệm năng lượng, chống ô nhiễm môi trường. Cảm biến cũng được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực giao thông vận tải, hàng tiêu dùng, bảo quản thực phẩm, ô tô, trò chơi điện tử v.v...

Trong những năm gần đây cảm biến đã trở thành môn học bắt buộc của sinh viên vật lý kỹ thuật, những kỹ sư vật lý tương lai, những người sẽ đóng vai trò ứng dụng tiến bộ của khoa học vật lý vào kỹ thuật, công nghệ, sản xuất và đời sống. Cảm biến cũng là lĩnh vực nghiên cứu ứng dụng của sinh viên đại học, sau đại học và cán bộ thuộc nhiều ngành khoa học kỹ thuật khác. Vì vậy, sau khi xuất bản vào tháng 1/2000 và in lại năm 2001, 2002, 2005

giáo trình được chia thành các chương, trong đó mỗi chương đề cập đến một hoặc một số loại cảm biến (như cảm biến quang, cảm biến nhiệt độ, cảm biến vị trí và dịch chuyển, cảm biến đo vận tốc, lưu lượng và mức chất lưu, cảm biến chân không, cảm biến điện hóa, cảm biến đo thành phần khí v.v...). Trong chừng mực giới hạn của tài liệu tham khảo cho phép, đối với từng loại cảm biến, chúng tôi giới thiệu nguyên lý cấu tạo, cơ chế hoạt động, các thông số đo lường, và đặc biệt là phạm vi ứng dụng để tiện cho việc lựa chọn cảm biến thích hợp cho từng ứng dụng cụ thể trong thực tế.

Với nội dung trình bày trong hơn 300 trang, giáo trình này được viết để sử dụng cho sinh viên ngành kỹ sư vật lý và các ngành kỹ thuật khác có liên quan như tự động hóa, điện tử dân dụng, thủy lực v.v... Những kiến thức đề cập đến trong giáo trình cũng rất bổ ích cho các kỹ sư trẻ làm việc trong những lĩnh vực có sử dụng cảm biến trong các hệ thống thiết bị điều khiển tự động, đo lường tiêu chuẩn và đánh giá chất lượng sản phẩm, kiểm tra môi trường làm việc và an toàn lao động...

Do hạn chế về tài liệu tham khảo, giáo trình này chắc chắn còn có những khiếm khuyết cần được bổ sung. Chúng tôi hy vọng sẽ nhận được nhiều ý kiến đóng góp của độc giả để nội dung của giáo trình ngày càng được hoàn thiện hơn nhằm đáp ứng những nhu cầu đa dạng của việc đo lường trong các phòng thí nghiệm và trong môi trường công nghiệp.

Hà nội, ngày 25 tháng 4 năm 2006.

CÁC TÁC GIẢ

MỤC LỤC

Lời nói đầu.....	3
Mục lục.....	5
Chương 1: Những nguyên lý cơ bản và các đặc trưng đo lường	14
1.1. Các định nghĩa và đặc trưng chung	14
1.2. Cảm biến tích cực	16
1.3. Cảm biến thụ động	20
1.4. Các đại lượng ảnh hưởng	21
1.5. Mạch đo	22
1.6. Sai số của phép đo	23
1.6.1. Sai số hệ thống	24
1.6.2. Sai số ngẫu nhiên	25
1.6.3. Tính trung thực, tính đúng đắn và độ chính xác	27
1.7. Chuẩn cảm biến	28
1.7.1. Chuẩn đơn giản	29
1.7.2. Chuẩn nhiều lần	29
1.8. Độ nhạy	30
1.8.1. Định nghĩa	30
1.8.2. Độ nhạy trong chế độ tĩnh	31
1.8.3. Độ nhạy trong chế độ động	32
1.9. Độ tuyến tính	33
1.9.1. Điều kiện có tuyến tính	33
1.9.2. Đường thẳng tốt nhất - độ lệch tuyến tính	33
1.10. Độ nhanh - thời gian đáp ứng	34
1.11. Giới hạn sử dụng cảm biến	35
Chương 2: Cảm biến quang	37
2.1. Ánh sáng và phép đo quang	37
2.1.1. Tính chất của ánh sáng	37

2.1.3. Nguồn sáng	42
2.1.3.1. Đèn sợi đốt wonfram	42
2.1.3.2. Diot phát quang	42
2.1.3.3. Laze.....	43
2.2. Tế bào quang dẫn.....	43
2.2.1. Vật lý quang dẫn.....	43
2.2.2. Vật liệu để chế tạo cảm biến.....	45
2.2.3. Các đặc trưng	46
2.2.3.1. Điện trở.....	46
2.2.3.2. Độ nhạy.....	47
2.2.4. Ứng dụng của tế bào quang dẫn.....	50
2.3. Photodiot.....	51
2.3.1. Nguyên lý hoạt động.....	51
2.3.2. Chế độ hoạt động	53
2.3.2.1. Chế độ quang dẫn	53
2.3.2.2. Chế độ quang thế	55
2.3.3. Độ nhạy	57
2.3.4. Sơ đồ sử dụng photodiot.....	58
2.3.4.1. Chế độ quang dẫn	58
2.3.4.2. Chế độ quang thế	59
2.4. Phototranzito.....	60
2.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.....	60
2.4.2. Độ nhạy.....	61
2.4.3. Sơ đồ dùng phototranzito	62
2.4.3.1. Phototranzito chuyển mạch.....	62
2.4.3.2. Phototranzito trong chế độ tuyến tính.....	63
2.4.3.3. Phototranzito hiệu ứng trường (photoFET).....	64
2.5. Cảm biến quang phát xạ.....	65
2.5.1. Cơ chế hoạt động và vật liệu chế tạo.....	65
2.5.2. Tế bào quang điện chân không.....	66
2.5.3. Tế bào quang điện dạng khí	68
2.5.4. Thiết bị nhân quang.....	68
2.6. Cấp quang	70
2.6.1. Cấu tạo và các tính chất chung.....	70
2.6.2. Ứng dụng	71
2.6.2.1. Truyền thông	71

Chương 3: Cảm biến nhiệt độ..... 74

3.1. Thang nhiệt độ	75
3.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo.....	77
3.2.1. Nhiệt độ đo được	77
3.2.2. Đo nhiệt độ trong lòng vật rắn	77
3.3. Đo nhiệt độ bằng điện trở	77
3.3.1. Độ nhạy nhiệt.....	77
3.3.2. Điện trở kim loại	79
3.3.2.1. Chọn kim loại	79
3.3.2.2. Chế tạo nhiệt kế	81
3.3.3. Nhiệt điện trở	83
3.3.3.1. Đặc điểm chung	83
3.3.3.2. Độ dẫn của nhiệt điện trở.....	84
3.3.3.3. Quan hệ điện trở - nhiệt độ	85
3.3.4. Điện trở silic.....	86
3.4. Đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt	87
3.4.1. Đặc trưng chung - độ nhạy nhiệt.....	87
3.4.2. Các hiệu ứng nhiệt điện.....	90
3.4.2.1. Hiệu ứng Peltier	90
3.4.2.2. Hiệu ứng Thomson	91
3.4.2.3. Hiệu ứng Seebeck	91
3.4.3. Phương pháp chế tạo và sơ đồ đo	92
3.4.3.1. Chế tạo cặp nhiệt và vỏ bảo vệ.....	92
3.4.3.2. Sơ đồ đo	93
3.4.3.3. Phương pháp đo	94
3.4.4. Các loại cặp nhiệt điện thường dùng trong thực tế.....	96
3.5. Đo nhiệt độ bằng diot và tranzito.....	97
3.5.1. Đặc điểm chung - độ nhạy nhiệt	97
3.5.2. Quan hệ điện áp - nhiệt độ	99

Chương 4: Cảm biến vị trí và dịch chuyển..... 100

4.1. Điện thế kế điện trở	101
4.1.1. Cấu tạo của cảm biến	101
4.1.1.1. Các dạng hình học	101
4.1.1.2. Điện trở	101

4.1.3. Điện thế kế không dùng con chạy cơ học	105
4.2. Cảm biến cảm ứng	107
4.2.1. Nguyên lý và tính chất	107
4.2.2. Tự cảm biến thiên.....	108
4.2.2.1. Mạch từ có khe từ biến thiên	108
4.2.2.2. Cuộn dây có lõi từ.....	110
4.2.3. Biến thế vi sai.....	111
4.3. Cảm biến tụ điện.....	113
4.3.1. Nguyên lý và các đặc trưng	113
4.3.2. Tụ điện có diện tích bản cực biến thiên	114
4.3.2.1. Tụ đơn.....	114
4.3.2.2. Tụ kép vi sai.....	115
4.3.3. Tụ điện có khoảng cách giữa các bản cực biến thiên	115
4.3.3.1. Tụ đơn.....	116
4.3.3.2. Tụ kép vi sai.....	116
4.3.4. Phương pháp đo độ biến thiên điện dung	117
4.3.4.1. Cầu Sauty và tụ vi sai.....	117
4.3.4.2. Sơ đồ R-C chế độ động	118
4.4. Cảm biến truyền sóng đàn hồi	119
4.4.1. Nguyên tắc đo	119
4.4.2. Cấu tạo của cảm biến	120
4.4.2.1. Cảm biến âm từ.....	122
4.4.2.2. Cảm biến hai chiều dùng sóng bề mặt	123
Chương 5: Cảm biến biến dạng.....	125
5.1. Các định nghĩa và nguyên lý chung	126
5.1.1. Định nghĩa một số đại lượng cơ học	126
5.1.2. Nguyên lý chung	127
5.2. Đầu đo điện trở kim loại	129
5.2.1. Vật liệu và phương pháp chế tạo	129
5.2.2. Các đặc trưng chủ yếu	130
5.3. Đầu đo điện trở bán dẫn - áp điện trở	132
5.3.1. Hiệu ứng áp trở trong chất bán dẫn	132
5.3.2. Cấu tạo của đầu đo bán dẫn.....	134
5.3.3. Các đặc trưng chủ yếu của đầu đo bán dẫn	135
5.3.3.1. Điện trở.....	135
5.3.3.2. Hệ số đầu đo	137

5.4.1. Tần số sử dụng tối đa	138
5.4.2. Giới hạn môi	139
5.5. Phương pháp đo	140
5.6. Ứng suất kể dây rung.....	141

Chương 6: Cảm biến vận tốc 143

6.1. Tốc độ kế điện từ đo vận tốc góc.....	144
6.1.1. Tốc độ kế dòng một chiều.....	144
6.1.2. Tốc độ kế dòng xoay chiều	146
6.1.2.1. Máy phát đồng bộ.....	146
6.1.2.2. Máy phát không đồng bộ.....	148
6.2. Tốc độ kế điện từ đo vận tốc dài.....	148
6.3. Tốc độ kế xung đo tốc độ quay.....	150
6.3.1. Cảm biến từ trở biến thiên.....	151
6.3.2. Tốc độ kế quang.....	152
6.4. Đổi hướng kể	153
6.4.1. Đổi hướng kể dùng con quay hồi chuyển.....	153
6.4.2. Đổi hướng kể quang.....	154

Chương 7: Cảm biến lực 157

7.1. Cảm biến áp điện	158
7.1.1. Hiệu ứng áp điện	158
7.1.1.1. Định nghĩa	158
7.1.1.2. Vai trò của đối xứng tinh thể.....	158
7.1.2. Vật liệu áp điện.....	159
7.1.3. Cấu tạo của cảm biến	160
7.1.4. Sơ đồ đo.....	164
7.2. Cảm biến từ giảo.....	167
7.3. Cảm biến lực dựa trên phép đo độ dịch chuyển.....	170
7.4. Cảm biến xúc tác - đa nhân tạo.....	171

Chương 8: Cảm biến gia tốc và rung 173

8.1. Khái niệm chung.....	173
8.1.1. Dải gia tốc.....	173
8.1.2. Chuyển động rung.....	174

8.2.1. Độ nhanh.....	178
8.2.2. Độ tinh tế.....	179
8.3. Máy đo gia tốc áp điện.....	180
8.3.1. Nguyên tắc hoạt động.....	180
8.3.2. Các đặc trưng đo lường.....	181
8.4. Máy đo gia tốc áp trở.....	182
Chương 9: Cảm biến đo vận tốc, lưu lượng và mức chất lưu.....	184
9.1. Đặc trưng của dòng chảy.....	184
9.2. Cảm biến và phương pháp đo vận tốc của chất lưu.....	186
9.2.1. Phong kế dây và phong kế màng mỏng.....	187
9.2.1.1. Nguyên tắc hoạt động.....	187
9.2.1.2. Sơ đồ đo.....	188
9.2.2. Phong kế ion.....	190
9.2.3. Phong kế dùng chén bán cầu và cánh quạt.....	191
9.2.4. Máy đo tốc độ gió dùng siêu âm.....	193
9.3. Đo lưu lượng.....	194
9.3.1. Lưu lượng kế điện từ.....	194
9.3.2. Lưu lượng kế cơ dùng chuyển đổi điện.....	197
9.3.2.1. Lưu lượng kế tuabin.....	197
9.3.2.2. Lưu lượng kế phao nổi.....	198
9.3.2.3. Lưu lượng kế lá chắn.....	199
9.3.3. Lưu lượng kế khối lượng nhiệt.....	200
9.4. Đo và phát hiện mức chất lưu.....	201
9.4.1. Phương pháp thủy tĩnh.....	202
9.4.2. Phương pháp điện.....	203
9.4.2.1. Cảm biến độ dẫn.....	203
9.4.2.2. Cảm biến tụ điện.....	204
9.4.3. Phương pháp dùng bức xạ.....	204
9.4.3.1. Phương pháp đo bằng hấp thụ tia γ	204
9.4.3.2. Phương pháp đo bằng sóng siêu âm.....	206

Chương 10: Cảm biến đo áp suất chất lưu..... 207

10.1. Áp suất và đơn vị đo áp suất.....	208
10.2. Nguyên tắc đo.....	209
10.2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động.....	209

10.4. Phương pháp chuyển đổi tín hiệu.....	214
10.4.1. Chuyển đổi bằng biến thiên trở kháng.....	214
10.4.1.1. Điện thế kế.....	214
10.4.1.2. Cảm biến dùng màng dạng lưới.....	215
10.4.1.3. Cảm biến áp trở.....	216
10.4.2. Chuyển đổi bằng biến thiên điện dung.....	218
10.4.3. Chuyển đổi bằng biến thiên độ tự cảm.....	220
10.4.4. Chuyển đổi bằng hiệu ứng áp điện.....	221
10.4.5. Chuyển đổi bằng dao động cơ điện.....	222
10.4.5.1. Bộ dao động dùng dây, lá mỏng hoặc ống dao động.....	223
10.4.5.2. Bộ dao động thạch anh.....	225
10.4.6. Các phương pháp chuyển đổi khác.....	226
10.4.6.1. Phương pháp quang điện.....	226
10.4.6.2. Phương pháp tranzito áp điện.....	226
Chương 11: Cảm biến đo chân không.....	228
11.1. Dải chân không và các loại chân không kế.....	228
11.2. Chân không kế đàn hồi.....	229
11.2.1. Cảm biến dùng ống Bourdon.....	229
11.2.1.1. Cảm biến một vòng xoắn.....	229
11.2.1.2. Cảm biến nhiều vòng xoắn.....	229
11.2.2. Cảm biến dùng màng mỏng.....	230
11.3. Chân không kế nhiệt.....	233
11.3.1. Sự truyền nhiệt trong chất khí.....	233
11.3.2. Nguyên tắc hoạt động của chân không kế nhiệt.....	233
11.3.3. Chân không kế Pirani.....	235
11.3.4. Chân không kế dùng cặp nhiệt.....	236
11.4. Chân không kế ion.....	238
11.4.1. Ion hóa chất khí.....	239
11.4.2. Chân không kế catot nguội - Chân không kế Penning.....	240
11.4.3. Chân không kế catot nóng.....	242
11.4.4. Chân không kế ion hóa bằng nguồn phóng xạ.....	244
Chương 12: Cảm biến bức xạ hạt nhân.....	246

12.1.3. Ống đếm tỷ lệ	250
12.1.4. Ống đếm Geiger-Muller	251
12.2. Đầu đo nhấp nháy	253
12.3. Đầu đo bán dẫn	255

Chương 13: Cảm biến độ ẩm.....259

13.1. Những định nghĩa cơ bản về không khí ẩm	260
13.2. Phân loại ẩm kế.....	262
13.3. Ẩm kế ngưng tụ.....	262
13.3.1. Nguyên lý hoạt động và cấu tạo của ẩm kế.....	262
13.3.2. Các yếu tố ảnh hưởng.....	264
13.3.3. Các đặc trưng	264
13.4. Ẩm kế hấp thụ.....	265
13.4.1. Nguyên tắc đo	265
13.4.2. Ẩm kế LiCl.....	266
13.4.3. Các đặc trưng	267
13.5. Ẩm kế biến thiên trở kháng.....	268
13.5.1. Ẩm kế điện trở.....	268
13.5.1.1. Nguyên tắc hoạt động và phương pháp chế tạo.....	268
13.5.1.2. Các đặc trưng	270
13.5.2. Ẩm kế tụ điện polyme	270
13.5.3. Ẩm kế tụ điện Al_2O_3	271
13.6. Ẩm kế điện ly.....	273
13.6.1. Nguyên lý hoạt động và phương pháp chế tạo	273
13.6.2. Các đặc trưng	274

Chương 14: Cảm biến điện hóa.....276

14.1. Cảm biến điện thế	276
14.1.1. Nguyên tắc chung	276
14.1.1.1. Định luật Nernst.....	276
14.1.1.2. Điện cực so sánh	280
14.1.2. Điện cực đo thế oxy hóa - khử	281
14.1.3. Điện cực đo độ pH	282
14.1.4. Các điện cực đặc thù	285
14.2. Cảm biến dòng điện	287
14.2.1. Nguyên lý đo.....	287

14.2.3. Điện cực enzim.....	289
14.3. Cảm biến đo độ dẫn	289
14.3.1. Đo độ dẫn của chất điện phân	289
14.3.2. Các loại cảm biến đo độ dẫn	291
14.4. Cảm biến ISFET.....	292
14.4.1. Các loại cảm biến trên cơ sở tranzito hiệu ứng trường	293
14.4.1.1. Cấu trúc tranzito hiệu ứng trường	293
14.4.1.2. Hiệu ứng mặt phân biên và hiệu ứng khối.....	294
14.4.1.3. Tranzito hiệu ứng trường chọn lọc ion (ISFET).....	295
14.4.2. Các cảm biến trên cơ sở ISFET	301
Chương 15: Cảm biến đo thành phần khí.....	304
15.1. Cảm biến dùng chất điện phân rắn.....	305
15.1.1. Nguyên lý vật lý.....	305
15.1.1.1. Định luật Nernst.....	305
15.1.1.2. Các thành phần cấu tạo cảm biến.....	307
15.1.2. Các đặc trưng	308
15.1.2.1. Các đặc trưng đo lường	308
15.1.2.2. Các đặc trưng công nghệ.....	309
15.1.2.3. Các nguyên nhân gây nên sai số.....	309
15.1.3. Cấu tạo cảm biến.....	311
15.2. Cảm biến trở kháng thay đổi.....	313
15.2.1. Đo độ dẫn khối.....	313
15.2.2. Đo độ dẫn bề mặt	314
15.2.3. Đo điện dung.....	315
15.3. Cảm biến áp điện thạch anh.....	315
15.4. Cảm biến xúc tác	316
15.5. Cảm biến thuận từ.....	317
15.5.1. Nguyên lý hoạt động	317
15.5.2. Cấu tạo	317
15.5.2.1. Cảm biến từ động.....	317
15.5.2.2. Cảm biến đối lưu từ-nhiệt	320
15.6. Máy phân tích quang	321
15.6.1. Nguyên lý hoạt động	321
15.6.2. Cấu tạo	322