

LÊ VĂN DOANH  
PHẠM THƯỢNG HÀ  
NGUYỄN VĂN HOÀ  
VÕ THẠCH SƠN  
ĐÀO VĂN TÂN

**CÁC**  
**BỘ CẢM BIẾN**  
**KỸ THUẬT**  
**ĐO LƯỜNG**  
**& ĐIỀU KHIỂN**

TRONG



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

LÊ VĂN DOANH - PHẠM THƯỢNG HÀN - NGUYỄN VĂN HÒA  
VÓ THẠCH SƠN - ĐÀO VĂN TÂN

# CÁC BỘ CẢM BIẾN TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT  
HÀ NỘI



## LỜI MỞ ĐẦU

Kỹ thuật đo lường - điều khiển hiện đại có bước phát triển nhảy vọt. Đó là nhờ sự kết hợp chặt chẽ giữa lý thuyết đo lường và điều khiển hiện đại (điều khiển mờ, nơron, tối ưu, thích nghi...) với công cụ toán học và tin học (trí tuệ nhân tạo). Quá trình tích hợp giữa các lĩnh vực này hình thành "tin học công nghiệp", một lĩnh vực đa ngành trong đó kỹ thuật điện, điện tử, điều khiển, đo lường và tin học hòa trộn vào nhau cùng phát triển.

Các bộ cảm biến đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong lĩnh vực đo lường và điều khiển. Chúng cảm nhận và đáp ứng theo các kích thích thường là các đại lượng không điện, chuyển đổi các đại lượng này thành các đại lượng điện và truyền các thông tin về hệ thống đo lường điều khiển, giúp chúng ta nhận dạng, đánh giá và điều khiển mọi biến trạng thái của đối tượng.

Có thể ví vai trò của các bộ cảm biến đối với kỹ thuật đo lường và điều khiển giống như các giác quan đối với cơ thể sống.

Một số bộ cảm biến có cấu trúc tương đối đơn giản nhưng xu hướng chung ngày nay là triệt để khai thác các thành tựu của vật lý học hiện đại, của công nghệ mới trong điện tử và tin học, của lý thuyết điều khiển hiện đại, nhằm tạo nên các bộ cảm biến thông minh và linh hoạt. Đó là các bộ cảm biến đa chức năng, có thể lập trình, cho phép đo với độ nhạy và độ chính xác cao, có thể tự động thay đổi thang đo, tự động bù các ảnh hưởng của nhiễu, đo từ xa, tự động xử lý kết quả đo...

Các bộ cảm biến ngày nay được xem như một phần tử, được sản xuất hàng loạt và có mặt rộng rãi trên thị trường, bao gồm một chuyển đổi đo lường sơ cấp đặt trong vỏ bảo vệ, có hình dáng và kích thước phù hợp với đối tượng.

Các chuyển đổi đo lường sơ cấp hoạt động tuân theo các hiệu ứng vật lý. Độ nhạy và độ chính xác của các bộ cảm biến phụ thuộc rất nhiều vào khả năng chuyển đổi của các hiện tượng vật lý.

Ngoài tên thường dùng là bộ cảm biến, người ta còn gọi chúng là đầu đo, đầu dò hay sensor (theo tiếng Anh Sensor) đa trích (theo tiếng Nga Датчик) hoặc Cáptơ (theo tiếng Pháp Capteur).

Kỹ thuật cảm biến là kỹ thuật đa ngành có quan hệ chặt chẽ đến kỹ thuật điện, điện tử, hóa học, nhiệt học, cơ học và các lĩnh vực của vật lý như : bán dẫn, quang học, hạt nhân... nên khó có thể tập hợp đầy đủ những vấn đề trên trong khuôn khổ một quyển sách.

Các tác giả chỉ mong muốn trình bày một cách có hệ thống kỹ thuật cảm biến theo trình tự : nguyên lý làm việc, cấu tạo, các đặc tính cơ bản, các mạch đo và ứng dụng của các bộ cảm biến trong các hệ thống đo lường - điều khiển.

Các tác giả chú ý đi sâu giới thiệu các bộ cảm biến thông dụng nhất trong kỹ thuật cũng như trong đời sống, các bộ cảm biến mới với các tính năng kỹ thuật tốt nhất như các bộ cảm biến dựa trên các hiện tượng quang điện, quang tử, quang đàn hồi, hồng ngoại, siêu dẫn, hình ảnh nhiệt, cảm biến thông minh...

Cuốn sách gồm 17 chương được sắp xếp theo công dụng của các bộ cảm biến.

Cuốn "Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển" là kết quả hợp tác của các tác giả thuộc bộ môn Thiết bị điện-điện tử, bộ môn Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp, Viện Vật lý kỹ thuật thuộc Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội và Khoa Cơ điện mô Trường đại học Mỏ Địa chất do PGS. TS. Lê Văn Doanh chủ biên.

Quyển sách này dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành điện, điện tử của các trường đại học kỹ thuật, đồng thời sách cũng giúp ích cho các lớp sau đại học, hệ nghiên cứu sinh, các cán bộ kỹ thuật điện, điện tử, đo lường-điều khiển đang làm việc trong các Viện nghiên cứu, các cơ sở sản xuất.

Vì chủ đề rất rộng lớn của kỹ thuật cảm biến và trình độ có hạn của các tác giả nên chắc rằng sách không tránh khỏi sai sót.

Các tác giả mong muốn nhận được nhận xét, góp ý của bạn đọc.

Các nhận xét góp ý xin gửi về Bộ môn Thiết bị điện-điện tử, khoa Điện Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. ĐT.8692511.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

Các tác giả

# MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
LỜI MỞ ĐẦU	3
<i>Chương 1 KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ CÁC BỘ CẢM BIẾN . . .</i>	<b>12</b>
1.1. Định nghĩa	12
1.2. Phân loại các bộ cảm biến	13
1.3. Các đơn vị đo lường	16
1.4. Các đặc trưng cơ bản của bộ cảm biến	17
1.5. Chuẩn các bộ cảm biến	20
1.6. Độ tuyến tính	21
1.7. Tác động nhanh và đặc tính động của đáp ứng	21
1.8. Bộ cảm biến tích cực và thụ động	22
1.9. Mạch giao diện của các bộ cảm biến	25
1.10. Truyền dữ liệu	30
1.11. Nhiễu trong các bộ cảm biến và mạch	32
<i>Chương 2 CẢM BIẾN QUANG . . . . .</i>	<b>37</b>
2.1. Khái niệm cơ bản về ánh sáng	37
2.2. Các đơn vị đo quang	39
2.3. Nguồn sáng	41
2.4. Cảm biến quang điện	46
2.5. Cảm biến phát xạ	51
2.6. Ứng dụng của cảm biến quang điện	53
2.7. Mã vạch	54
2.8. Cảm biến quang điện tử logic mờ	59
2.9. Cảm biến quang điện tử theo dõi mục tiêu trên cấu trúc	67
2.10. Kỹ thuật nhận dạng hình ảnh	68
2.11. Sử dụng kỹ thuật quang điện tử và nhận dạng ảnh phối hợp với bộ nhớ dùng màn hình ảnh độ chính xác cao và đo lường	72

2.12. Cảm biến nhìn tọa độ chuyển động rôbot sử dụng công nghệ nhận dạng ảnh	74
2.13. Bộ phát hiện lửa	75
<b>Chương 3. SỢI QUANG TRONG HỆ THỐNG CẢM BIẾN ĐO . .</b>	<b>77</b>
<b>LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN</b>	
3.1. Khái niệm chung về sợi quang và hệ thống truyền dẫn quang	77
3.2. Cơ sở lý thuyết về sợi dẫn quang	79
3.3. Sự truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang	80
3.4. Khẩu độ số NA	80
3.5. Các dạng phân bố chiết suất trong sợi quang	81
3.6. Cấu trúc chung của cáp quang	82
3.7. Các thông số của sợi quang	83
3.8. Tính toán tuyến truyền dẫn quang	86
3.9. Thử nghiệm sợi quang	88
3.10. Mạng thông tin cáp quang	90
3.11. Nguyên lý làm việc của cảm biến sợi quang	95
3.12. Cấu trúc sợi quang dùng cho cảm biến	109
<b>Chương 4. CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ . . . . .</b>	<b>112</b>
✓ 4.1. Thang nhiệt độ	112
4.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo	114
✓ 4.3. Cảm biến nhiệt điện trở	115
4.4. Nhiệt điện trở	118
✓ 4.5. Cảm biến cặp nhiệt ngẫu	119
4.6. Đo nhiệt độ bằng diot và tranzito	127
4.7. Cảm biến quang đo nhiệt độ	128
✓ 4.8. Nhiệt kế áp suất	133
4.9. Nhiệt kế áp suất khí	134
4.10. Nhiệt kế áp suất chất lỏng	135
4.11. Hình ảnh nhiệt quét	136
4.12. Cảm biến siêu âm nhiệt độ	143

<i>Chương 5. CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ DI CHUYỂN . . . . .</i>	<b>146</b>
5.1. Khái niệm chung	146
5.2. Đo di chuyển nhỏ bằng phương pháp sóng đàn hồi	147
5.3. Phát hiện di chuyển cơ học bằng phương pháp quang đàn hồi	161
5.4. Nhiễu xạ vi sai theo thời gian, nhiễu xạ kế doppler	167
5.5. Cảm biến sợi quang đo vị trí và di chuyển	172
5.6. Cảm biến tiếp cận	175
5.7. Cảm biến tiếp cận quang học	181
5.8. Cảm biến di chuyển sử dụng tia laser	185
5.9. Cảm biến vi sóng	188
5.10. Bộ cảm biến phát hiện hư hỏng trong các bộ phận chuyển động của máy	189
5.11. Bộ cảm biến điện từ	192
5.12. Cảm biến điện dung	201
5.13. Cảm biến đo dao động của cấu trúc	209
<i>Chương 6. CẢM BIẾN VẬN TỐC VÀ GIA TỐC . . . . .</i>	<b>212</b>
6.1. Đo tốc độ quay của động cơ	212
6.2. Tốc độ kế sợi quang	218
6.3. Gia tốc kế sợi quang	219
6.4. Đối hướng kế sợi quang	221
6.5. Đối hướng kế con quay hồi chuyển	223
6.6. Cảm biến tốc độ quay thạch anh	224
6.7. Ứng dụng con quay hồi chuyển điều khiển chuột	225
6.6. Gia tốc kế rung	226
6.7. Gia tốc kế điện dung	227
6.10. Gia tốc kế áp trở	228
6.11. Gia tốc kế áp điện	229



<b>Chương 7. CẢM BIẾN BIẾN DẠNG . . . . .</b>	<b>231</b>
7.1. Khái niệm chung về cảm biến biến dạng	231
7.2. Nguyên lý của cảm biến biến dạng	232
7.3. Các loại đầu đo kim loại	233
7.4. Cảm biến áp trở silic	235
7.5. Đầu đo trong chế độ động	238
7.6. Cảm biến dao động sử dụng hiệu ứng Doppler	239
7.7. Cảm biến ghép các sợi quang	240
7.8. Ảnh toàn ký (hologram) giao thoa	241
7.9. Kiểm tra trạng thái bề mặt	242
<b>Chương 8. CẢM BIẾN LỰC VÀ ỨNG SUẤT . . . . .</b>	<b>244</b>
8.1. Đại cương về cảm biến đo lực và ứng suất	244
8.2. Cảm biến áp điện	245
8.3. Cảm biến từ giảo	250
8.4. Bộ cảm biến lực dựa trên việc đo di chuyển	251
8.5. Bộ cảm biến xúc giác	252
8.6. Bộ cảm biến ứng suất siêu âm đo biến động trong vật liệu	256
<b>Chương 9. CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG VÀ THỂ TÍCH CHẤT     LỎNG, KHÍ VÀ HƠI . . . . .</b>	<b>258</b>
9.1. Khái niệm chung về cảm biến đo lưu lượng	258
9.2. Công tơ thể tích	259
9.3. Công tơ tốc độ	260
9.4. Đo lưu lượng bằng thay đổi độ giảm áp suất	262
9.5. Hệ thống đo lưu lượng theo nguyên lý độ giảm áp suất	266
9.6. Đo lưu lượng các chất khí có số Reynol nhỏ	268
9.7. Lưu lượng kế mao dẫn	268
9.8. Lưu lượng kế từ điện	269
9.9. Cảm biến đo mức	271
9.10. Đo tính chất hóa lý của chất lỏng và khí	282

<b>Chương 10. CẢM BIẾN ÁP SUẤT CHẤT LƯU . . . . .</b>	<b>296</b>
10.1. Khái niệm về áp suất	296
10.2. Dụng cụ đo áp suất bằng chất lỏng cân thủy tĩnh	297
10.3. Đo áp suất bằng phân tử nhảy cảm với biến dạng	300
10.4. Màng	303
10.5. Bộ chuyển đổi đo áp suất bằng biến dạng, phương pháp biến đổi trực tiếp	304
10.6. Cảm biến áp suất áp trở	312
10.7. Cảm biến áp suất silic kiểu điện dung	315
<b>Chương 11. CẢM BIẾN ĐO CHÂN KHÔNG . . . . .</b>	<b>317</b>
11.1. Những khái niệm chung	317
11.2. Đặt các cảm biến đo chân không	318
11.3. Các loại áp kế đo áp suất tổng	319
11.4. Áp kế cơ khí	319
11.5. Áp kế MacLeod	321
11.6. Áp kế nhiệt	322
11.7. Áp kế ion hóa	324
11.8. Áp kế nhiệt phân tử và phân tử	330
11.9. Đo áp suất riêng phần	331
11.10. Vấn đề định chuẩn	335
11.11. Hiệu chỉnh nhiệt độ	337
11.12. Kết luận	340
<b>Chương 12. CẢM BIẾN PHÁT HIỆN VÀ ĐO ĐỘ ẨM . . . . .</b>	<b>341</b>
12.1. Khái niệm chung	341
12.2. Phân loại ẩm kế	342
12.3. Ẩm kế biến thiên trở kháng	342
12.4. Ẩm kế điện ly	345
12.5. Ẩm kế hấp thụ	347
12.6. Ẩm kế ngưng tụ	349