

Spis treści

Od Autorów	11
Wykaz ważniejszych oznaczeń	12
 1. Termokinetyka	 15
1.1. Wprowadzenie	15
1.2. Wymiana ciepła w stanie ustalonym	15
1.2.1. Przewodzenie	15
1.2.2. Konwekcja	18
1.2.3. Promieniowanie	19
1.2.4. Wymiana złożona	21
1.2.5. Przenikanie ciepła	22
1.2.6. Modelowanie na papierze przewodzącym	23
1.3. Wymiana ciepła w stanie nieustalonym	23
1.3.1. Wiadomości ogólne	23
1.3.2. Model Beukena	24
Literatura	26
 2. Pomiary temperatury	 27
2.1. Wprowadzenie	27
2.2. Termometry nieelektryczne	28
2.3. Termometry elektryczne	28
2.3.1. Termometry termoelektryczne	28
2.3.2. Termometry rezystancyjne	32
2.3.3. Termometry termistorowe	35
2.4. Pirometry	35
2.4.1. Pirometry radiacyjne	35
2.4.2. Pirometry fotoelektryczne	36
2.4.3. Pirometry monochromatyczne z zanikającym włóknem	37
2.4.4. Pirometry dwubarwowe	38
2.5. Własności dynamiczne czujników termometrycznych	39
2.6. Pomiar temperatury wsadu w piecach i nagrzewnicach	42
Literatura	43

3. Sterowanie i regulacja	44
3.1. Wprowadzenie	44
3.1.1. Pojęcia podstawowe	44
3.1.2. Podział układów automatycznego sterowania	45
3.2. Modele matematyczne układów dynamicznych	49
3.2.1. Opis za pomocą równania różniczkowego n -tego rzędu	49
3.2.2. Opis w przestrzeni stanów	51
3.2.3. Opis częstotliwościowy	55
3.3. Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe	61
3.3.1. Charakterystyki czasowe	61
3.3.2. Charakterystyki częstotliwościowe	62
3.4. Człony, elementy i schematy blokowe układów automatycznej regulacji (UAR)	64
3.4.1. Człony i elementy układów automatycznej regulacji (UAR)	64
3.4.2. Schematy blokowe	68
Literatura	70
 4. Obiekty regulacji temperatury	 71
4.1. Wiadomości ogólne	71
4.1.1. Wprowadzenie	71
4.1.2. Zasady identyfikacji	72
4.1.3. Charakterystyka statyczna	75
4.1.4. Odpowiedź skokowa i transmitancja zastępcza	76
4.1.5. Charakterystyka częstotliwościowa	80
4.1.6. Odpowiedź na wymuszenie periodyczne impulsowe	81
4.2. Piece komorowe	82
4.2.1. Opis pieców	82
4.2.2. Identyfikacja doświadczalna	82
4.2.3. Identyfikacja obliczeniowa	93
4.2.4. Identyfikacja metodą mieszaną	107
4.2.5. Własności pieca wraz z czujnikiem termometrycznym	110
4.2.6. Własności pieca ze wsadem	113
4.2.7. Identyfikacja modelowa	115
4.3. Piece elektrodowe, wanny i kąpiele	117
4.4. Ciepłarki z płaszczem wodnym	120
4.5. Termostaty z blokiem metalowym	121
4.6. Nagrzewnice przepływowe	124
4.6.1. Nagrzewnice przepływowe cieczy	124
4.6.2. Nagrzewnice przepływowe cieczy z opóźnieniem transportowym	128
4.7. Piece przelotowe wielostrefowe	130
4.8. Zestawienie zbiorcze	133
Literatura	134
 5. Metody regulacji temperatury — klasyfikacja, wiadomości ogólne	 137
5.1. Klasyfikacja	137
5.2. Schemat strukturalny układu automatycznej regulacji (UAR) temperatury i pojęcia z nim związane	139

6. Regulacja ciągła	143
6.1. Wprowadzenie	143
6.2. Stabilność układów automatycznej regulacji (UAR)	144
6.3. Jakość regulacji układów automatycznej regulacji (UAR)	152
6.3.1. Dokładność statyczna	152
6.3.2. Wskaźniki i kryteria jakości regulacji	155
6.3.3. Wymagania dotyczące jakości regulacji w układach automatycznej regulacji temperatury	160
6.4. Rodzaje regulacji ciągłej	161
6.5. Dobór nastaw regulatorów	165
6.6. Uwagi o nieklasycznych rodzajach regulacji ciągłej	168
Literatura	173
7. Regulacja nieciągła	174
7.1. Regulacja dwustawna	174
7.1.1. Wprowadzenie	174
7.1.2. Zasada działania	174
7.1.3. Podstawowe zależności	177
7.1.4. Statyzm regulacji dwustawnej	182
7.1.5. Omówienie wyprowadzonych zależności	184
7.1.6. Badanie działania regulacji dwustawnej metodą funkcji opisującej	186
7.2. Regulacja dwustawna niepełną mocą	193
7.3. Regulacja trójstawna	194
7.3.1. Zasada działania	194
7.3.2. Dobór różnicy temperatur nastawionych	196
Literatura	197
8. Regulacja niby-ciągła	198
8.1. Regulacja dwustawna z inercyjnym jednokierunkowym sprzężeniem zwrotnym (PD)	198
8.1.1. Zasada działania	198
8.1.2. Transmitancja zastępcza	200
8.1.3. Własności statyczne	202
8.1.4. Okres oscylacji	203
8.1.5. Inercyjne jednokierunkowe sprzężenie zwrotne	204
8.2. Regulacja dwustawna z inercyjnym, dwukierunkowym sprzężeniem zwrotnym (PD)	205
8.3. Optymalne nastawy układów regulacji dwustawnej z inercyjnym sprzężeniem zwrotnym	208
8.4. Regulacja dwustawna z inercyjno-podatnym sprzężeniem zwrotnym (PID), równoległym	210
8.4.1. Zasada działania	210
8.4.2. Transmitancja zastępcza	211
8.4.3. Okres oscylacji	213
8.5. Regulacja dwustawna z inercyjno-podatnym sprzężeniem zwrotnym (PID), szeregowym	213
8.6. Optymalne nastawy układów regulacji dwustawnej z inercyjno-podatnym sprzężeniem zwrotnym	215

8.7. Regulacja impulsowa, proporcjonalna	215
Literatura	218

9. Układy specjalne 219

9.1. Wprowadzenie	219
9.2. Układy z pomocniczą wielkością regulowaną	220
9.2.1. Układy kaskadowe	220
9.2.2. Układy z pomocniczą wielkością regulowaną stabilizującą	223
9.3. Układy z pomocniczą wielkością sterującą	224
9.4. Układy z sygnałem od wielkości zakłócającej	226
9.5. Układy dwustopniowe	229
9.6. Układy z modelem obiektu	232
9.7. Układy z predykcją	235
9.8. Układy nieliniowe	238
9.9. Układy cyfrowe regulacji temperatury	239
9.9.1. Wprowadzenie	239
9.9.2. Struktura	240
9.9.3. Algorytmy sterowania	241
9.9.4. Oprogramowanie	241
9.9.5. Niezawodność	242
9.9.6. Układy pośredniczące między maszyną a procesem w regulacji temperatury	243
9.9.7. Układy mikroprocesorowe	244
Literatura	246

10. Układy rozruchowe 248

10.1. Wprowadzenie	248
10.2. Układ o przełączalnej strukturze PD/PID	250
10.3. Układ o przełączalnej strukturze „dwustawna/PID”	251
10.4. Układ o programowo zmiennej temperaturze nastawionej	253
10.5. Układ z dodatkowym sygnałem od pochodnej wielkości regulowanej (DPID)	255
Literatura	256

11. Regulacja programowa 258

11.1. Wprowadzenie	258
11.2. Programowa regulacja temperatury wsadów nieruchomych	259
11.2.1. Zasada działania	259
11.2.2. Przebiegi temperatur	261
11.2.3. Układy wielostrefowe	268
11.3. Programowa regulacja temperatury wsadów przenoszonych w procesach ciągłych	269
Literatura	271

12. Regulatory temperatury i urządzenia dodatkowe 272

12.1. Wprowadzenie i klasyfikacja	272
12.2. Regulatory elektryczne odchyłowe o działaniu nieciągłym	273
12.3. Regulatory elektryczne zerowe niewskazujące	275
12.3.1. Regulatory o działaniu nieciągłym i niby-ciągłym	275

12.3.2. Regulatory o działaniu ciągłym	278
12.4. Regulatory elektryczne zerowe wskazujące	280
12.5. Regulatory bezstykowe pirometryczne	280
12.6. Nadajniki programu	285
12.6.1. Nadajniki śledzące elektromechaniczne	285
12.6.2. Nadajniki śledzące bezstykowe	287
12.6.3. Nadajniki elektryczne analogowe	288
12.6.4. Nadajniki elektryczne cyfrowe	290
12.7. Człony wykonawcze	292
12.7.1. Klasyfikacja	292
12.7.2. Styczniki	293
12.7.3. Sterowniki tyrystorowe	294
12.7.4. Transduktory	296
Literatura	296

13. Układy regulacji temperatury — wybrane przykłady 298

13.1. Wprowadzenie	298
13.2. Piec komorowy hartowniczy	298
13.3. Piec mufłowy	303
13.4. Piec tyglowy	307
13.5. Termostat laboratoryjny z blokiem metalowym	308
13.6. Wtryskarki i wytłaczarki do mas plastycznych	314
13.7. Piec solny elektrodowy	317
13.8. Nagrzewnica indukcyjna reaktorowa	319
13.9. Nagrzewnica indukcyjna grafitu	325
13.10. Ogrzewanie pomieszczeń ogrzewaczami akumulacyjnymi	330
13.11. Wybór metody regulacji	334
13.12. Charakterystyczne nieprawidłowości działania układów automatycznej regulacji temperatury	335
Literatura	337

Tablice pomocnicze 339

Literatura ogólna 343

Skorowidz 346