

KOMITET KOORDYNACYJNY
PORADNIKÓW INŻYNIERA

AUTOMATYKA
RADIOELEKTRYKA
ELEKTRONIKA

prof. dr inż. Janusz Groszkowski (przewodniczący)

prof. dr inż. Władysław Findelsen

inż. Zuzanna Grzejszozak

prof. mgr inż. Bohdan Paszkowski

mgr inż. Wacław Piwoński

doc. dr inż. Andrzej Wojnar

PORADNIK INŻYNIERA

automatyka

POD REDAKCJĄ

Prof. Dr inż. Władysława Findelsena

WYDAWNICTWA NAUKOWO - TECHNICZNE • WARSZAWA

NT

Spis treści

Część A. Podstawy teoretyczne

I. Analiza układów dynamicznych — Andrzej Wierzbicki	1
I.1. Wstęp	1
I.2. Sposoby układania równań układu dynamicznego	1
I.2.1. Model matematyczny układu	1
I.2.2. Równania różniczkowe zwyczajne	2
I.2.3. Równania różniczkowe cząstkowe	4
I.2.4. Równania różnicowe	6
I.3. Metody opisu i analizy prostych układów ciągłych	7
I.3.1. Równania różniczkowe	8
I.3.2. Przekształcenia całkowite liniowych równań różniczkowych	13
I.3.3. Równania całkowite	22
I.3.4. Charakterystyki statystyczne sygnałów i układów	23
I.3.5. Podstawowe człony dynamiczne	25
I.4. Metody opisu i analizy prostych układów impulsowych	34
I.4.1. Impulsatory	34
I.4.2. Równania różnicowe	38
I.4.3. Transmittancja dyskretna	39
I.4.4. Charakterystyki częstotliwościowe układów impulsowych	44
I.5. Metody opisu i analizy złożonych układów dynamicznych	46
I.5.1. Opis układów złożonych za pomocą własności układów prostych	46
I.5.2. Układy o wielu sygnałach wyjściowych i wejściowych	50
I.5.3. Równania stanu układu dynamicznego	52
I.6. Metody badania stabilności układów dynamicznych	56
I.6.1. Pojęcie stabilności	56
I.6.2. Badanie stabilności liniowych układów ciągłych	59
I.6.3. Badanie stabilności liniowych układów impulsowych	63
I.6.4. Badanie stabilności układów nieliniowych	64
Literatura	70
II. Synteza układów sterowania — Andrzej Wierzbicki	71
II.1. Wiadomości podstawowe	71
II.1.1. Układ sterowania	71
II.1.2. Zagadnienie analizy i syntezy układu sterowania	72
II.1.3. Rodzaje układów sterowania	72
II.2. Synteza układów regulacji na podstawie uproszczonych wskaźników jakości	73
II.2.1. Ujęcie zagadnienia	73
II.2.2. Metody syntezy układów liniowych na podstawie charakterystyk częstotliwościowych	80
II.2.3. Metody syntezy układów liniowych na podstawie rozkładu wartości własnych	91
II.2.4. Uprozczone metody syntezy układów nieliniowych	97
II.3. Synteza układów suboptymalnych na podstawie całkowych wskaźników jakości	102
II.3.1. Ujęcie zagadnienia	102
II.3.2. Najprostsze całkowite wskaźniki jakości	102
II.3.3. Przykłady syntezy	105
II.4. Synteza sterowań i układów optymalnych	106
II.4.1. Ujęcie zagadnienia	106
II.4.2. Zasada maksimum i jej zastosowania	107
II.4.3. Zasada optymalności i programowanie dynamiczne	111
Literatura	113
III. Teoria układów przełączających — Wiesław Traczyk	114
III.1. Określenia podstawowe	114
III.2. Synteza abstrakcyjna	117
III.2.1. Algorytm działania	117

III.2.2. Rachunek zdarzeń	120
III.2.3. Minimalizacja tablic	121
III.3. Synteza strukturalna	122
III.3.1. Struktury układów sekwencyjnych	122
III.3.2. Funkcje przełączające	123
III.3.3. Systemy pełne	125
III.4. Układy kombinacyjne	125
III.4.1. Zasady minimalizacji funkcji	125
III.4.2. Metody minimalizacji funkcji	126
III.5. Układy sekwencyjne	128
III.5.1. Układy synchroniczne	128
III.5.2. Układy asynchroniczne	129
Literatura	130
IV. Wybrane zagadnienia teorii układów przekazywania informacji — Jan Felicki	131
IV.1. Ogólne zagadnienia teorii informacji	131
IV.1.1. Miara informacji	131
IV.1.2. Sygnały cyfrowe	132
IV.1.3. Układ przekazywania sygnałów cyfrowych	132
IV.1.4. Proces przekształcania i przekazywania sygnałów w układzie z zakłóceniami	134
IV.1.5. Ilość informacji zawartej w sygnałach odbieranych	135
IV.1.6. Entropia zbioru sygnałów. Prędkość przekazywania informacji	136
IV.1.7. Fizyczne parametry sygnału	138
IV.2. Dyskretyzacja funkcji ciągłych	139
IV.2.1. Ogólne zagadnienia związane z dyskretyzacją	139
IV.2.2. Określenie wartości uchybu kwantowania	142
IV.2.3. Określenie wartości uchybu próbkowania	142
IV.2.4. Wybór skoku kwantowania i okresu próbkowania	144
IV.3. Elementy sygnałów cyfrowych	147
IV.3.1. Ogólne własności elementów sygnałów cyfrowych	147
IV.3.2. Odbiór elementów sygnałów cyfrowych	148
IV.4. Kodowanie	150
IV.4.1. Pojęcia podstawowe	150
IV.4.2. Cyfrowy zapis liczb jako forma kodu	151
IV.4.3. Określenie pewności przekazywania wiadomości	152
IV.4.4. Zabezpieczenia kodowe	152
IV.4.5. Kody wykrywające błędy	153
IV.4.6. Kody korygujące błędy	157
Literatura	159

Część B. Elementy automatyki

V. Elementy elektromagnetyczne i elektromechaniczne — Stefan Romicki, Krystyna Szacka	163
V.1. Wzmacniacze magnetyczne	163
V.1.1. Wiadomości podstawowe	163
V.1.2. Wzmacniacze magnetyczne jednorodzeniowe	166
V.1.3. Wzmacniacze magnetyczne dwurdzeniowe	167
V.1.4. Wzmacniacze magnetyczne ze sprzężeniem zwrotnym	170
V.1.5. Układy przeciwobne wzmacniaczy magnetycznych	172
V.1.6. Współpraca wzmacniaczy magnetycznych z obciążeniem o różnym charakterze	174
V.1.7. Zastosowanie wzmacniaczy magnetycznych	174
V.2. Elementy elektromaszynowe	175
V.2.1. Silnik prądu stałego	175
V.2.2. Prądnice prądu stałego	179
V.2.3. Amplitudyna	180
V.2.4. Silniki dwufazowe	181
V.2.5. Prądnice tachometryczne prądu zmiennego	185
V.2.6. Selsyny	186
V.2.7. Silniki skokowe	190
Literatura	191
VI. Elementy pneumatyczne — Lech M. Kamiński	193
VI.1. Ogólne własności elementów pneumatycznych	193
VI.2. Oporo pneumatyczne	193
VI.2.1. Rodzaje oporów pneumatycznych	193
VI.2.2. Charakterystyki przepływowe oporów	195
VI.3. Kaskady pneumatyczne	202
VI.3.1. Rodzaje kaskad pneumatycznych	202

VI.3.2. Kaskada proporcjonalna (dzielnik ciśnienia)	204
VI.3.3. Kaskada sterująca	205
VI.4. Pneumatyczne zespoły funkcjonalne	205
VI.4.1. Równoważenie pneumatyczne	205
VI.4.2. Wzmacniacze mocy i wzmacniacze ciśnienia	206
VI.4.3. Pneumatyczne przyrządy liczące	207
VI.4.4. Pneumatyczne elementy logiczne	216
VI.4.5. Siłowniki pneumatyczne	220
VI.5. Przesyłanie sygnału pneumatycznego	221
VI.5.1. Sygnał pneumatyczny	221
VI.5.2. Własności dynamiczne pneumatycznych linii długich	221
VI.5.3. Metody zwiększania prędkości przesyłania sygnału	223
Literatura	223
VII. Elementy hydrauliczne — Zbigniew Wański	224
VII.1. Ogólne własności elementów hydraulicznych	224
VII.2. Ciecze robocze	224
VII.3. Stacje olejowe	225
VII.3.1. Zbiornik cieczy roboczej	226
VII.3.2. Pompy zasilające	226
VII.3.3. Filtry	226
VII.4. Pompy o zmiennej wydajności	228
VII.5. Rozrządy hydrauliczne	229
VII.5.1. Rozrządy suwakowe	229
VII.5.2. Rozrządy dławieniowe	231
VII.5.3. Rozrządy z rurką strumieniową	231
VII.6. Siłowniki hydrauliczne	232
VII.6.1. Siłowniki o ruchu prostoliniowym	232
VII.6.2. Siłowniki o ruchu obrotowym	234
VII.7. Wzmacniacze hydrauliczne dwustopniowe	234
VII.8. Hydrauliczne elementy logiczne	235
VII.8.1. Elementy z ruchomymi częściami mechanicznymi	235
VII.8.2. Elementy bez ruchomych części mechanicznych	236
Literatura	237
VIII. Czujniki i przetworniki — Świetozar Sorokowski, Jerzy Mędrzycki	238
VIII.1. Czujniki i przetworniki w układach automatyki	238
VIII.1.1. Czujniki i przetworniki jako źródła sygnałów w układach automatyki	238
VIII.1.2. Własności statyczne i dynamiczne czujników i przetworników	239
VIII.2. Zasady działania i konstrukcji czujników i przetworników	242
VIII.3. Czujniki pomiarowe	243
VIII.3.1. Czujniki wielkości mechanicznych	243
VIII.3.2. Czujniki wielkości cieplnych	249
VIII.3.3. Czujniki promieniowania i wielkości optycznych	267
VIII.3.4. Czujniki własności fizykochemicznych	267
VIII.4. Przetworniki pomiarowe	272
VIII.5. Przetworniki przeliczające	275
VIII.6. Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe	275
VIII.6.1. Wielkości charakteryzujące przetworniki	277
VIII.6.2. Przetworniki analogowo-cyfrowe	279
VIII.6.3. Przetworniki cyfrowo-analogowe	283
VIII.6.4. Porównanie niektórych typów przetworników	286
Literatura	287
IX. Rejestratory, mierniki wskazujące, sygnalizatory — Świetozar Sorokowski	288
IX.1. Rejestratory	288
IX.1.1. Rejestratory pracujące w układzie otwartym	289
IX.1.2. Rejestratory kompensacyjne	294
IX.1.3. Rejestratory cyfrowe	295
IX.2. Mierniki wskazujące	297
IX.2.1. Mierniki wskazujące w sposób ciągły	297
IX.2.2. Cyfrowe mierniki wskazujące	297
IX.3. Własności statyczne i dynamiczne rejestratorów oraz mierników wskazujących	300
IX.3.1. Własności statyczne	300
IX.3.2. Własności dynamiczne	301
IX.4. Sygnalizatory	302
IX.4.1. Sygnalizatory pneumatyczne	302
IX.4.2. Sygnalizatory elektryczne	303
Literatura	304

X. Regulatory — Jerzy Pałacowski	305
X.1. Zadania regulatorów i ich rodzaje. Systemy blokowe	305
X.1.1. Zadania regulatorów	305
X.1.2. Rodzaje regulatorów	305
X.1.3. Własności dynamiczne regulatorów	306
X.1.4. Ogólne wymagania eksploatacyjne	308
X.1.5. Systemy blokowe	308
X.2. Regulatory działania bezpośredniego	309
X.2.1. Charakterystyka ogólna	309
X.2.2. Regulatory temperatury	309
X.2.3. Regulatory ciśnienia	310
X.2.4. Regulatory natężenia przepływu	313
X.2.5. Regulatory poziomu cieczy	313
X.2.6. Regulatory o wielu wielkościach wejściowych	314
X.3. Hydrauliczne regulatory typu PID o działaniu ciągłym	314
X.3.1. Charakterystyka ogólna	314
X.3.2. Regulatory ze wzmacniaczami suwakowymi	315
X.3.3. Regulatory ze wzmacniaczami strumieniowymi	319
X.4. Pneumatyczne regulatory typu PID o działaniu ciągłym	323
X.4.1. Charakterystyka ogólna	323
X.4.2. Regulatory typu TR PID oraz TR PI	323
X.4.3. Regulator proporcjonalny typu TR P	328
X.4.4. Regulator typu RPC-I produkcji Przedsiębiorstwa Automatyki Przemysłowej	330
X.4.5. Blok różniczkujący typu PR-I	333
X.4.6. Regulator PID utworzony z bloków RPC-I oraz PR-I	334
X.5. Elektroniczne regulatory typu PID o działaniu ciągłym	334
X.5.1. Charakterystyka ogólna	334
X.5.2. Regulator PID typu ARC systemu URS opracowany w Instytucie Elektrotechniki	335
X.5.3. Regulator PID o działaniu ciągłym systemu Bailetron firmy Bailey (Anglia)	338
X.6. Regulatory mieszane typu PID o działaniu ciągłym	341
X.6.1. Charakterystyka ogólna	341
X.6.2. Przetwornik EK-3 regulatorów elektrohydraulicznych systemu USB-60	342
X.6.3. Przetwornik EPW-4 systemu USB-60	342
X.6.4. Regulator elektropneumatyczny systemu Telepneu firmy Siemens und Halske	343
X.7. Regulatory dwupołożeniowe	343
X.7.1. Charakterystyka ogólna	343
X.7.2. Regulator z ruchomym kabłąkiem typu RK	346
X.7.3. Regulator z zestykiem elektronicznym typu RLTI	346
X.7.4. Regulatory dwupołożeniowe ze sprzężeniami zwrotnymi	347
X.7.5. Własności dynamiczne regulatorów dwupołożeniowych	349
X.8. Regulatory krokowe (trójpoleżeniowe z korekcją)	351
X.8.1. Charakterystyka ogólna	351
X.8.2. Regulatory krokowe typu ERT produkcji Wrocławskich Zakładów Elektronicznych „Elwro”	352
X.8.3. Regulator krokowy typu ARK opracowany w Instytucie Elektrotechniki	359
X.9. Bloki regulacyjne i pomocnicze złożonych układów regulacji	362
X.9.1. Klasyfikacja złożonych układów regulacji	362
X.9.2. Pneumatyczne zadajniki programowe i uzależniające	363
X.9.3. Elektroniczne zadajniki programowe i uzależniające	365
X.9.4. Regulatory stosunku	367
X.9.5. Człon mnożący typu TLM	371
X.9.6. Układ regulacji stałowartościowej z korekcją wartości zadanej	372
X.9.7. Regulatory kaskadowe	373
X.9.8. Człony sprzężeniowe	374
Literatura	374
XI. Elementy nastawcze — Lech M. Kamiński, Zbigniew Wański	376
XI.1. Zawory	376
XI.1.1. Rodzaj zaworów	376
XI.1.2. Charakterystyki otwarcia zaworu	377
XI.1.3. Charakterystyki przepływu zaworu	378
XI.1.4. Dobór charakterystyki otwarcia zaworu dla obiektu regulacji	379
XI.1.5. Określenie średnicy gniazda zaworu	379
XI.2. Przepustnice obrotowe (klapy)	384
XI.2.1. Rodzaje przepustnic obrotowych	384
XI.2.2. Charakterystyki przepływu przepustnic obrotowych	384
XI.2.3. Określenie wymiarów przepustnicy obrotowej	385
XI.2.4. Całkowity spadek ciśnienia	386
XI.3. Dobór silnika do napędu zaworów i przepustnic	386
XI.3.1. Porównanie silników elektrycznych, hydraulicznych i pneumatycznych	386
XI.3.2. Dobór rodzaju elementu napędowego	387
XI.3.3. Określenie mocy silnika do napędu elementu nastawczego	387
Literatura	389

XII. Elementy układów przełączających — Wiesław Traczyk	390
XII.1. Elementy stykowe	390
XII.1.1. Przekazniki elektromagnetyczne	393
XII.1.2. Odmiany przekazników elektromagnetycznych	394
XII.2. Elementy półprzewodnikowe	394
XII.2.1. Elementy logiczne	398
XII.2.2. Elementy pamięciowe i formujące	400
XII.2.3. Elementy wzmacniające	401
XII.3. Elementy magnetyczne	403
XII.4. Elementy pneumatyczne	404
Literatura	404
Część C. Układy i ich projektowanie	407
XIII. Układy regulacji z regulatorami typu PID — Jerzy Pałacowski	407
XIII.1. Wstęp	408
XIII.2. Dobór elementów układów regulacji	408
XIII.2.1. Cel sterowania. Wskaźnik jakości regulacji. Realizacja celu	409
XIII.2.2. Pomiar wielkości regulowanej	412
XIII.2.3. Nastawianie wielkości regulowanej	416
XIII.2.4. Wybór regulatora	422
XIII.3. Dobór struktury układów regulacji	422
XIII.3.1. Sposób postępowania przy doborze struktury złożonego układu regulacji	427
XIII.3.2. Wnioski ogólne	428
XIII.3.3. Układy kompensacji zakłóceń	436
XIII.4. Określanie własności (identyfikacja) obiektów regulacji	436
XIII.4.1. Modele własności dynamicznych obiektów regulacji	439
XIII.4.2. Pomiary własności dynamicznych obiektów regulacji	446
XIII.4.3. Modele własności statycznych obiektów regulacji	448
XIII.4.4. Podsumowanie	449
XIII.5. Dobór optymalnych nastaw regulatorów (optymalizacja parametryczna)	450
XIII.5.1. Obliczanie optymalnych nastaw dla regulatorów PID o działaniu ciągłym. Wskaźnik jakości o postaci całki z kwadratu uchybu (przypadek zakłóceń deterministycznych)	451
XIII.5.2. Obliczanie optymalnych nastaw dla regulatorów PID o działaniu ciągłym. Wskaźnik jakości o postaci minimum średniego uchybu kwadratowego (przypadek zakłóceń stochastycznych)	453
XIII.5.3. Dobór optymalnych nastaw regulatorów PID o działaniu ciągłym według bezpośrednich cech przebiegów uchybu	456
XIII.5.4. Dobór optymalnych nastaw regulatorów krokowych (trójpoleżeniowych z korekcją)	458
XIII.5.5. Dobór parametrów w układach regulacji dwupołożeniowej	464
XIII.6. Projektowanie układów sterowania	464
XIII.6.1. Zadania sterowania sformułowane przez technologów	466
XIII.6.2. Oznaczenia graficzne. Ogólny schemat automatyki	468
XIII.6.3. Schematy ideowe poszczególnych obwodów	468
XIII.6.4. Schematy montażowe	468
XIII.6.5. Zestawienia aparatury, przewodów i materiałów pomocniczych	470
Literatura	471
XIV. Układy ekstremalne i układy adaptacyjne — Jakub Gutenbaum, Kazimierz Mańczak	471
XIV.1. Układy ekstremalne	471
XIV.1.1. Wstęp	473
XIV.1.2. Rodzaje sterowania ekstremalnego	476
XIV.1.3. Podstawowe własności regulacji ekstremalnej	478
XIV.1.4. Układy z rozdzieleniem w czasie operacji próbnej i roboczej	479
XIV.1.5. Układy z rozdzieleniem w pasmie częstotliwości operacji próbnej i roboczej	482
XIV.1.6. Układy z połączeniem operacji próbnej i roboczej	485
XIV.1.7. Optymalizatory wielu zmiennych	487
XIV.2. Układy adaptacyjne	487
XIV.2.1. Wstęp	488
XIV.2.2. Układy o analitycznym algorytmie i z otwartym obwodem adaptacji	492
XIV.2.3. Układy z zamkniętym obwodem adaptacji	496
XIV.2.4. Układy z szukaniem automatycznym i układy kombinowane	499
XIV.2.5. Zakończenie	500
Literatura	502
XV. Serwomechanizmy — Konstanty Kurman	502
XV.1. Wiadomości ogólne	502
XV.1.1. Wstęp	502

XV.1.2. Zastosowania (przykłady)	502
XV.1.3. Zasada działania i rodzaje rozwiązań technicznych	504
XV.2. Projektowanie	505
XV.2.1. Formulowanie zadania, typy zadań	505
XV.2.2. Serwomechanizmy liniowe ciągłe	507
XV.2.3. Podstawowe zagadnienia nieliniowe	521
Literatura	533
XVI. Układy napędowe — <i>Kazimierz Bisztyga</i>	534
XVI.1. Wstęp	534
XVI.2. Cechy charakterystyczne elementów układów napędowych	535
XVI.2.1. Maszyny prądu stałego	535
XVI.2.2. Wzmacniacze maszynowe i magnetyczne; transformatory różniczkujące	544
XVI.2.3. Prostowniki sterowane	548
XVI.3. Układy automatyki stycznikowo-przekaznikowej	553
XVI.3.1. Układy samoczynnego rozruchu, hamowania i nawrotu silników prądu stałego	553
XVI.3.2. Układy samoczynnego rozruchu, hamowania i nawrotu silników asynchronicznych	555
XVI.3.3. Samorozruch dużych silników asynchronicznych i synchronicznych	556
XVI.4. Układy automatyki napędowej z silnikami prądu stałego	558
XVI.4.1. Złożone układy prądnic-silnik	558
XVI.4.2. Dynamika złożonych układów elektromaszynowych	562
XVI.4.3. Napęd prostownikowy. Układy połączeń	565
XVI.4.4. Układy sterowania napędu prostownikowego	569
XVI.5. Układy automatyki napędowej z silnikami prądu zmiennego	570
XVI.5.1. Silniki asynchroniczne zwarte	570
XVI.5.2. Silniki asynchroniczne pierścieniowe	572
XVI.5.3. Silnik synchroniczny	573
Literatura	576
XVII. Układy przełączające — <i>Piotr Misiewicz</i>	577
XVII.1. Zastosowania układów przełączających	577
XVII.2. Metody projektowania układów przełączających	577
XVII.2.1. Sposoby opisu układu	577
XVII.2.2. Układy kombinacyjne	578
XVII.2.3. Układy sekwencyjne asynchroniczne potencjałowe	589
XVII.2.4. Układy sekwencyjne asynchroniczne impulsowo-potencjałowe	593
XVII.2.5. Układy sekwencyjne synchroniczne	595
XVII.3. Typowe układy przełączające	598
XVII.3.1. Dekodery	598
XVII.3.2. Komparatory	599
XVII.3.3. Sumatory	601
XVII.3.4. Rejestry	606
XVII.3.5. Liczniki	608
XVII.3.6. Rozdzielacze	616
XVII.3.7. Układy czasowe	619
Literatura	619
XVIII. Układy przekazywania danych — <i>Jan Felicki</i>	621
XVIII.1. Wiadomości ogólne	621
XVIII.1.1. Zakres i cel stosowania	621
XVIII.1.2. Sieci przekazywania danych	623
XVIII.1.3. Własności urządzeń przekazywania danych	624
XVIII.1.4. Wymagania stawiane urządzeniom przekazywania danych	625
XVIII.1.5. Klasyfikacja urządzeń przekazywania danych	625
XVIII.2. Kanaly transmisyjne wykorzystywane do przekazywania sygnałów cyfrowych	627
XVIII.2.1. Wiadomości wstępne	627
XVIII.2.2. Parametry torów przewodowych	629
XVIII.2.3. Kanaly na liniach napowietrznych	632
XVIII.2.4. Kanaly na liniach kablowych	632
XVIII.2.5. Telefonizacja urządzeń transmisyjnych stosowane w Polsce	634
XVIII.2.6. Urządzenia transmisyjne telegrafii nośnej	635
XVIII.2.7. Kanaly radiowe	636
XVIII.2.8. Kanaly na liniach przesyłowych wysokiego napięcia	637
XVIII.2.9. Kanaly na rozdzielnicach sieci elektroenergetycznej	638
XVIII.2.10. Zakłócenia występujące w kanałach transmisyjnych	639
XVIII.3. Urządzenia telemechaniki cyfrowej	641
XVIII.3.1. Podstawowe bloki funkcjonalne	641
XVIII.3.2. Urządzenie sterowania zdalnego BTC-1/1D (ZSRR)	642
XVIII.3.3. Uniwersalne blokowe urządzenie telemechaniki firmy CETT typu Maraton III (Francja)	646
XVIII.3.4. Uniwersalne urządzenie telemechaniki firmy Siemens typu FZK 300 (NRF)	649
Literatura	651

Część D. Technika systemów automatyzacji

XIX. Wprowadzenie w technikę systemów — <i>Władysław Findelsen</i>	655
XIX.1. Technika systemów a automatyzacja kompleksowa	655
XIX.2. Metodyka automatyzacji kompleksowej	656
XIX.3. Ustalenie celu i oceny działania	661
XIX.3.1. Składniki celu	661
XIX.3.2. Sposoby określania składników celu	662
XIX.3.3. Charakterystyka niektórych składników celu	663
XIX.4. Zasady wyboru najlepszych rozwiązań	669
XIX.4.1. Teoretyczne metody optymalizacji	669
XIX.4.2. Optymalizacja przy ocenie wektorowej	670
XIX.5. Określanie efektywności ekonomicznej inwestycji	671
XIX.6. Realizacja techniczna automatyzacji kompleksowej	676
Literatura	677
XX. Maszyny matematyczne — <i>Jerzy Mędrzycki, Henryk Orlowski</i>	678
XX.1. Wiadomości ogólne	678
XX.1.1. Klasyfikacja maszyn matematycznych	678
XX.1.2. Zastosowanie maszyn matematycznych	678
XX.1.3. Szybkość operacji	679
XX.1.4. Przeznaczenie	679
XX.1.5. Porównanie maszyn matematycznych	681
XX.1.6. Zastosowanie maszyn matematycznych w układach automatyki	681
XX.2. Maszyny analogowe	682
XX.2.1. Sposób realizacji operacji matematycznych	688
XX.2.2. Zmienne maszynowe i współczynniki skali	692
XX.2.3. Uchyby liczenia	694
XX.3. Maszyny cyfrowe	694
XX.3.1. Zasady działania maszyn cyfrowych	697
XX.3.2. Pamięci maszyn cyfrowych	699
XX.3.3. Urządzenia wejściowe i wyjściowe maszyn cyfrowych	700
XX.3.4. Zasilanie maszyn cyfrowych	701
XX.3.5. Programowanie maszyn cyfrowych	705
XX.3.6. Zastosowanie maszyn cyfrowych do analizy i syntezy układów automatyki	709
XX.3.7. Zastosowanie maszyn cyfrowych do sterowania	715
XX.4. Maszyny hybrydowe	716
XX.4.1. Struktury maszyn hybrydowych	720
XX.4.2. Zasady programowania zadania	726
XX.4.3. Uchyby maszyn hybrydowych	728
XX.5. Centralna rejestracja i przetwarzanie danych	728
XX.5.1. Przeznaczenie urządzeń Centralnej Rejestracji Danych (CRD) i Centralnej Rejestracji i Przetwarzania Danych (CRPD)	729
XX.5.2. Zadania i struktura urządzeń CRD (rys. XX. 43)	731
XX.5.3. Dobieranie parametrów urządzeń CRD	731
XX.6. Wielokanałowe regulatory cyfrowe	731
XX.6.1. Zadania wielokanałowych regulatorów cyfrowych	732
XX.6.2. Struktura wielokanałowych regulatorów cyfrowych	733
XX.6.3. Cechy wielokanałowych regulatorów cyfrowych	733
Literatura	735
XXI. Identyfikacja złożonych obiektów sterowania — <i>Kazimierz Mańczak</i>	735
XXI.1. Wstęp	737
XXI.2. Metoda funkcji korelacyjnych	738
XXI.2.1. Doświadczalne wyznaczanie funkcji korelacyjnych	739
XXI.2.2. Wyznaczanie charakterystyk dynamicznych obiektów złożonych	741
XXI.2.3. Przypadek sygnałów wejściowych statystycznie niezależnych	744
XXI.2.4. Przypadek sygnałów wejściowych skorelowanych	745
XXI.2.5. Charakterystyka metody korelacyjnej	745
XXI.3. Metoda analizy regresyjnej	746
XXI.3.1. Identyfikacja charakterystyki statycznej liniowego obiektu wielowymiarowego	749
XXI.3.2. Identyfikacja charakterystyki statycznej nieliniowego obiektu wielowymiarowego	751
XXI.3.3. Ocena zgodności funkcji regresji z danymi doświadczalnymi	753
XXI.4. Metoda analizy czynnikowej	756
XXI.5. Uwagi o częstotliwościowych metodach identyfikacji	756
Literatura	758
XXII. Układy o wielu wejściach i wyjściach oraz układy wielopoziomowe — <i>Władysław Findelsen</i>	758
XXII.1. Układy o wielu wejściach i wyjściach	758
XXII.1.1. Wstęp	758
XXII.1.2. Opis układu za pomocą macierzy transmitancji	758

XXII.1.3. Układy odsprężone	758
XXII.1.4. Kompensacja zakłóceń	761
XXII.1.5. Stabilność i badanie stabilności	763
XXII.1.6. Badanie stabilności na podstawie równań w przestrzeni stanów	767
XXII.2. Układy wielopoziomowe	770
XXII.2.1. Charakterystyka ogólna zagadnienia	773
XXII.2.2. Zasada rozwiązywania dwupoziomowego	773
XXII.2.3. Sposób podziału układu	774
XXII.2.4. Rozwiązywanie zadania optymalizacji	776
XXII.3. Układy hierarchiczne	781
Literatura	783

Część E. Automatykacja w niektórych gałęziach przemysłu

XXIII. Automatykacja procesów w energetyce — Włodzimierz Hellmann	787
XXIII.1. Rola automatykacji w optymalizacji pracy systemu elektroenergetycznego	787
XXIII.2. Automatykacja procesów w wytwarzaniu energii elektrycznej w elektrowniach parowych	787
XXIII.2.1. Regulacja automatyczna kotłów parowych [XXIII.1.1, XXIII.1.2]	787
XXIII.2.2. Regulacja automatyczna napięcia zasilania elektrofiltrów	791
XXIII.2.3. Regulacja turbin parowych	993
XXIII.2.4. Regulacja napięcia generatorów synchronicznych	795
XXIII.2.5. Automatykacja napędów potrzeb własnych w elektrowniach parowych	799
XXIII.2.6. Nastawnie w elektrowniach parowych	800
XXIII.2.7. Automatykacja elektrowni parowych za pomocą maszyn matematycznych	800
XXIII.3. Automatykacja elektrowni wodnych	801
XXIII.3.1. Cele, zadania i zakres automatykacji elektrowni wodnych	801
XXIII.3.2. Hydrozespoły oraz elektrownie wodne jako obiekty regulacji	802
XXIII.3.3. Regulatory turbin wodnych	802
XXIII.3.4. Układy regulacji napięcia w elektrowniach wodnych	804
XXIII.4. Automatykacja pracy systemu elektroenergetycznego	804
XXIII.4.1. Regulacja częstotliwości i mocy	804
XXIII.4.2. Regulacja napięcia i rozpyły mocy biernej w systemie elektroenergetycznym	806
XXIII.4.3. Automatyczna optymalizacja rozpyły mocy	807
XXIII.4.4. Centralny ośrodek dyspozycji mocy	808
XXIII.4.5. Maszyny matematyczne w ośrodkach dyspozycji mocy	809
Literatura	809
XXIV. Automatykacja procesów w przemyśle chemicznym — Andrzej Płaskowski	810
XXIV.1. Charakterystyka przemysłu chemicznego z punktu widzenia automatykacji	810
XXIV.2. Własności statyczne procesów chemicznych	812
XXIV.3. Własności dynamiczne procesów chemicznych	817
XXIV.4. Ograniczenia występujące w przemyśle chemicznym	820
XXIV.5. Identyfikacja procesów chemicznych	822
XXIV.6. Układy regulacji automatycznej w przemyśle chemicznym	825
XXIV.7. Automatykacja kompleksowa przemysłu chemicznego	828
Literatura	830
XXV. Automatykacja procesów w hutnictwie — Władysław Hejmo	831
XXV.1. Automatykacja spiekalni	831
XXV.1.1. Układ regulacji wysokości warstwy zsypywanej na taśmę spiekalniczą	831
XXV.1.2. Układ regulacji położenia końca procesu spiekania na taśmie	833
XXV.1.3. Układ regulacji poziomu w zasobniku buforowym i podajniku bębnowym	835
XXV.1.4. Układ regulacji wilgotności mieszanek	835
XXV.2. Automatykacja procesu wielkopiecowego	835
XXV.3. Automatykacja procesu tlenowokonwertorowego	838
XXV.4. Automatyka programowa walcowni zgniatacza	842
XXV.4.1. Regulator pozycyjny	844
XXV.4.2. Sterowanie prędkości walców i samotoków	846
XXV.5. Regulacja grubości blachy w walcowni gorącej	849
XXV.6. Optymalizacja ciecicia w walcowniach gorących typu „tandem”	849
XXV.7. Regulacja grubości blachy w walcarkach zimnych	853
Literatura	857
XXVI. Automatykacja procesów w przemyśle budowy maszyn — Maciej Szafarczyk	858
XXVI.1. Procesy technologiczne stosowane w przemyśle budowy maszyn	858
XXVI.2. Automatyczne sterowanie ruchów narzędzia i przedmiotu obrabianego	860
XXVI.3. Automatyczne sterowanie parametrów obróbki	868
Literatura	871
Skorowidz	872