

SPIS TREŚCI

Przedmowa	ix
1. Wprowadzenie	1
1.1. Pojęcia podstawowe i istota układu regulacji automatycznej	1
1.2. Klasyfikacja układów regulacji automatycznej	4
1.3. Zarys treści książki i jak z niej korzystać	8
1.4. Opis liniowych układów dynamicznych	10
1.5. Układy statyczne oraz dynamiczne stacjonarne i niestacjonarne	14
1.5.1. Behawiorystyczna definicja układu	14
1.5.2. Relacyjna definicja układu	17
1.6. Linearyzacja układów nieliniowych	19
1.6.1. Metoda rozwinięcia w szereg	19
1.6.2. Metoda optymalnej linearyzacji	23
1.6.3. Metoda nieliniowego sprzężenia zwrotnego	27
1.7. Modele układów dynamicznych	29
1.7.1. Układy elektryczne	29
1.7.2. Układy mechaniczne	32
1.7.3. Układy elektromechaniczne	33
1.7.4. Procesy mieszania substancji	37
1.7.5. Układy o parametrach rozłożonych	39
1.7.6. Równanie logistyczne w biologii	42
1.7.7. Model Lotki-Volterry układu drapieżnik – ofiara	43
1.7.8. Model Maya układu drapieżnik – ofiara	43
1.7.9. Model Solowa wzrostu gospodarczego	44
1.7.10. Model Leontiefa produkcji w n sektorach	45
1.8. Zadania	46
2. Modele matematyczne liniowych układów dynamicznych ciągłych i dyskretnych	49
2.1. Wprowadzenie	49
2.2. Modele czasowe	50
2.2.1. Równania różniczkowe i różnicowe	50
2.2.2. Zmienne stanu	50

2.2.3.	Model zmiennych stanu układów ciągłych	51
2.2.4.	Model zmiennych stanu układów dyskretnych	55
2.2.5.	Równanie wyjścia modelu zmiennych stanu	55
2.2.6.	Modele AR, ARMA i ARMAX	57
2.2.7.	Charakterystyka skokowa i charakterystyka impulsowa	61
2.2.8.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	62
2.3.	Modele częstotliwościowe	73
2.3.1.	Transmitancja operatorowa	73
2.3.2.	Transmitancja widmowa	76
2.3.3.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	81
2.4.	Podstawowe człony dynamiczne	90
2.4.1.	Człon bezinercyjny	90
2.4.2.	Człon całkujący idealny	94
2.4.3.	Człon różniczkujący idealny	98
2.4.4.	Człon inercyjny pierwszego rzędu	102
2.4.5.	Człon opóźniający	106
2.4.6.	Człon całkujący rzeczywisty	109
2.4.7.	Człon różniczkujący rzeczywisty	113
2.4.8.	Człon inercyjny drugiego rzędu	116
2.4.9.	Człon oscylacyjny	120
2.4.10.	Zadania	123
2.5.	Związek między modelem zmiennych stanu a modelem typu wejście-wyjście	125
2.5.1.	Wzajemne relacje między modelami	125
2.5.2.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	127
2.6.	Zadania	128
3.	Modele matematyczne nieliniowych układów dynamicznych	131
3.1.	Wprowadzenie	131
3.2.	Analiza metodą płaszczyzny fazowej	132
3.2.1.	Pojęcia analizy metodą płaszczyzny fazowej	132
3.2.2.	Sporządzanie portretu fazowego	137
3.2.3.	Analiza układów liniowych metodą płaszczyzny fazowej	141
3.2.4.	Analiza układów nieliniowych metodą płaszczyzny fazowej ..	144
3.2.5.	Podsumowanie	147
3.2.6.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	147
4.	Własności układów	153
4.1.	Stabilność układów dynamicznych	153
4.1.1.	Pojęcia związane ze stabilnością	153
4.1.2.	Badanie stabilności liniowych układów ciągłych	159
4.1.3.	Kryteria stabilności układów ciągłych	161
4.1.4.	Badanie stabilności liniowych układów dyskretnych	189
4.1.5.	Teoria Lapunowa badania stabilności układów nieliniowych ..	195
4.1.6.	Metody doboru funkcji Lapunowa	213
4.1.7.	Podsumowanie	218
4.1.8.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	219

4.2.	Osiągalność, sterowalność, obserwowalność i odtwarzalność układów liniowych	222
4.2.1.	Osiągalność układów dyskretnych	222
4.2.2.	Sterowalność do zera i sterowalność układów dyskretnych ...	228
4.2.3.	Obserwowalność układów dyskretnych	231
4.2.4.	Odtwarzalność układów dyskretnych	237
4.2.5.	Dyskretnie układy dualne	240
4.2.6.	Osiągalność wyjściowa układów dyskretnych	241
4.2.7.	Osiągalność i sterowalność układów ciągłych	244
4.2.8.	Obserwowalność i odtwarzalność układów ciągłych	249
4.2.9.	Stabilizowalność i wykrywalność układów dyskretnych i ciągłych	253
4.2.10.	Dekompozycja pary (A, B) i (A, C)	257
4.2.11.	Dekompozycja Kalmana układów liniowych	263
4.2.12.	Zbiór stanów osiągalnych i R -sterowalność układów singularnych	270
4.2.13.	Sterowalność i sterowalność impulsowa układów singularnych	276
4.2.14.	R -obserwowalność układów singularnych	285
4.2.15.	Obserwowalność układów singularnych	287
4.2.16.	Obserwowalność impulsowa układów singularnych	290
4.2.17.	Dekompozycja układów singularnych	295
4.2.18.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	300
4.3.	Zera i Bieguny	302
4.3.1.	Układy SISO	302
4.3.2.	Postać Smitha macierzy	303
4.3.3.	Układy wielowymiarowe MIMO	306
4.3.4.	Bieguny i zera w nieskończoności	307
4.4.	Postacie kanoniczne	309
4.4.1.	Redukcja macierzy do postaci Frobeniusa	309
4.4.2.	Redukcja macierzy do postaci kanonicznej Jordana	319
4.4.3.	Postacie kanoniczne macierzy układów o jednym wejściu ...	331
4.4.4.	Postacie kanoniczne macierzy układów o jednym wyjściu ...	339
4.4.5.	Postacie kanoniczne macierzy układów o wielu wejściach ...	345
4.4.6.	Postacie kanoniczne macierzy układów o wielu wyjściach ...	359
4.4.7.	Postacie kanoniczne macierzy układów singularnych	370
4.4.8.	Jak to zrobić w MATLAB-ie	376
4.5.	Zadania	378

A. Podstawy rachunku macierzowego 393

A.1.	Podstawowe rodzaje macierzy	393
A.2.	Wyznacznik macierzy i jego własności	395
A.3.	Podstawowe działania na macierzach	396
A.4.	Minory i wyznacznik iloczynu macierzy oraz rząd macierzy	398
A.5.	Jądro i obraz macierzy	400
A.6.	Lewa i prawa odwrotność macierzy	401
A.7.	Rozwiązywanie układu równań liniowych	403
A.8.	Wartości własne i wektory własne macierzy	405

A.9. Rozkład macierzy względem wartości własnych i wartości szczególnych	406
A.10. Formy kwadratowe dodatnio określone	409
A.11. Normy wektorów i macierzy	412
A.12. Macierz pseudoodwrotna Moore'a-Penrose'a	414
A.13. Wielomian zerujący i minimalny macierzy oraz wzór Sylwestera	415
A.14. Macierze blokowe	418
A.15. Iloczyn Kroneckera macierzy	420
A.16. Jak to zrobić w MATLAB-ie	421
B. Równania różniczkowe i różnicowe	429
B.1. Różniczkowanie i całkowanie macierzy	429
B.2. Równania różniczkowe	432
B.3. Równania różnicowe	435
B.4. Macierzowe równanie różniczkowe Riccatiego	438
B.5. Pochodna Liego funkcji skalarnej wzdłuż wektora pola	440
B.6. Nawias Liego pól wektorowych	442
B.7. Dystrybucje, dystrybucje inwolutywne i dystrybucje inwariantne	445
B.7.1. Dystrybucje	445
B.7.2. Dystrybucje inwolutywne	447
B.7.3. Dystrybucje inwariantne	448
C. Przekształcenia całkowite	451
C.1. Przekształcenie Laplace'a i jego własności	451
C.1.1. Przekształcenie Laplace'a	451
C.1.2. Podstawowe własności przekształcenia Laplace'a	455
C.1.3. Odwrotne przekształcenie Laplace'a oraz wyznaczenie oryginału danej transformaty	458
C.1.4. Rozwiązywanie równań różniczkowych metodą operatorową .	460
C.2. Przekształcenie $\mathcal{Z}$ i jego własności	463
C.2.1. Przekształcenie $\mathcal{Z}$	463
C.2.2. Podstawowe własności przekształcenia $\mathcal{Z}$	465
C.2.3. Odwrotne przekształcenie $\mathcal{Z}$ oraz wyznaczenie oryginału danej transformaty	467
C.2.4. Rozwiązywanie równań różnicowych metodą operatorową ...	470
C.2.5. Jak to zrobić w MATLAB-ie	472
D. Elementy logiki i dowodzenie twierdzeń	475
D.1. Zdania proste i złożone	475
D.2. Prawa logiczne	477
D.3. Dowodzenie twierdzeń	479
Bibliografia	483
Skorowidz	493