

SPIS TREŚCI

Przedmowa	9
1. WPROWADZENIE	11
1.1. Pojęcia podstawowe	11
1.2. Sygnały w układach automatyki	25
1.3. Klasyfikacja układów automatycznej regulacji (UAR)	29
2. WYBRANE ZAGADNIENIA MATEMATYKI WYKORZYSTYWANE DO OPISU LINIOWYCH UKŁADÓW AUTOMATYKI	32
2.1. Przekształcenie Laplace'a	32
2.2. Zastosowanie przekształcenia Laplace'a do rozwiązywania liniowych zwyczajnych równań różniczkowych o stałych współczynnikach. Rozkład transformaty na ułamki proste	36
2.3. Linearyzacja równań nieliniowych	41
3. METODY MATEMATYCZNEGO OPISU WŁAŚCIWOŚCI LINIOWYCH ELEMENTÓW I UKŁADÓW AUTOMATYKI	48
3.1. Równanie dynamiki	49
3.2. Transmitancja operatorowa	50
3.3. Charakterystyka statyczna i charakterystyki dynamiczne	53
3.3.1. Charakterystyka statyczna	53
3.3.2. Charakterystyki dynamiczne	56
3.4. Charakterystyki częstotliwościowe. Transmitancja widmowa	58
3.5. Doświadczalne wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych	65
3.6. Charakterystyki częstotliwościowe szeregowego połączenia elementów	67
4. SCHEMATY BLOKOWE. ALGEBRA SCHEMATÓW BLOKOWYCH	69
5. LINIOWE CZŁONY DYNAMICZNE	75
5.1. Człony podstawowe (elementarne)	75
5.1.1. Człon proporcjonalny	77
5.1.2. Człon inercyjny	81
5.1.3. Człon całkujący	91
5.1.4. Człon różniczkujący idealny	95
5.1.5. Człon różniczkujący rzeczywisty	95
5.1.6. Człon oscylacyjny	102
5.1.7. Człon opóźniający	109

5.2.	Człony korekcyjne (korektory)	111
5.2.1.	Idealny człon proporcjonalno-różniczkujący	111
5.2.2.	Korektor dodatniofazowy	113
5.2.3.	Korektor ujemnofazowy	117
5.3.	Człony nieminimalnofazowe	119
5.4.	Elementy wielowejściowe	122
6.	ZASTOSOWANIE METODY SCHEMATÓW BLOKOWYCH DO ANALIZY WŁAŚCIWOŚCI UKŁADÓW AUTOMATYKI	127
7.	OBIEKTY REGULACJI	138
7.1.	Analiza właściwości przykładowych obiektów regulacji	139
7.2.	Klasyfikacja obiektów regulacji	149
7.3.	Metody tworzenia matematycznego opisu właściwości obiektów regulacji	150
7.3.1.	Modele matematyczne wykorzystywane do opisu statycznych obiektów regulacji	154
7.3.2.	Modele matematyczne wykorzystywane do opisu astatycznych obiektów regulacji	161
7.3.3.	Eksperymentalne wyznaczanie charakterystyk czasowych obiektów regulacji	162
7.3.4.	Wyznaczanie parametrów modeli obiektów regulacji na podstawie charakterystyk częstotliwościowych obiektów	164
8.	REGULATORY	168
8.1.	Miejsce i rola regulatora w układzie regulacji	168
8.2.	Klasyfikacja regulatorów	170
8.3.	Matematyczny opis regulatorów PID o działaniu ciągłym	174
8.3.1.	Algorytm P	175
8.3.2.	Algorytm I	176
8.3.3.	Algorytm PI	179
8.3.4.	Idealny i rzeczywisty algorytm PD	182
8.3.5.	Idealny algorytm PID	186
8.3.6.	Rzeczywisty algorytm PID	190
8.4.	Regulatory o niekonwencjonalnych algorytmach regulacji	199
8.4.1.	Regulator predykcyjny (PIR)	199
8.4.2.	Nieliniowe algorytmy PID NL z progresją nastaw	200
8.4.3.	Regulator z algorytmem <i>feedforward</i>	203
8.4.4.	Regulator PID <i>Fuzzy Logic</i>	204
8.5.	Techniczna realizacja regulatorów PID. Regulatory mikroprocesorowe	204
8.6.	Doświadczalna identyfikacja nastaw regulatorów PID	215
9.	STABILNOŚĆ LINIOWYCH UKŁADÓW REGULACJI	217
9.1.	Ogólne warunki stabilności liniowych układów regulacji	218
9.2.	Kryterium Hurwitza	224
9.3.	Kryterium stabilności Nyquista. Zapasy stabilności	230
9.4.	Analiza wpływu algorytmu regulatora i jego nastaw na stabilność układu regulacji	252
9.5.	Porównanie kryteriów stabilności	256

10. JAKOŚĆ LINIOWYCH UKŁADÓW AUTOMATYCZNEJ REGULACJI	258
10.1. Dokładność statyczna	261
10.2. Jakość dynamiczna	266
10.2.1. Wskaźniki przebiegu przejściowego	266
10.2.2. Częstotliwościowy wskaźnik regulacji	271
10.2.3. Pasma przenoszenia i moduł rezonansowy	275
10.2.4. Całkowe wskaźniki jakości regulacji	276
11. DOBÓR RODZAJU, ALGORYTMU I NASTAW REGULATORA	279
11.1. Zalecenia dotyczące doboru rodzaju i algorytmu regulatora	279
11.2. Dobór nastaw regulatorów o działaniu ciągłym	282
11.2.1. Metoda Zieglera-Nicholsa	284
11.2.2. Metoda Pessena	288
11.2.3. Metoda Hassena i Offereissena	288
11.2.4. Metoda Cohena-Coona	289
11.2.5. Metoda Äströma-Hagglunda	290
11.2.6. Tabelaryczny dobór nastaw	292
11.3. Dobór nastaw regulatorów mikroprocesorowych i sterowników PLC o wyjściu ciągłym	299
11.4. Samostrojenie i adaptacja	301
11.4.1. Metoda odpowiedzi skokowej	302
11.4.2. Metoda cyklu granicznego	303
12. STRUKTURY JEDNOWYMIAROWYCH UKŁADÓW REGULACJI	312
12.1. Struktura kaskadowa	314
12.2. Struktura zamknięto-otwarta	320
12.3. Układ regulacji stosunku	324
12.4. Układ regulacji stosunku o strukturze kaskadowej	325
12.5. Układ regulacji z korekcją dynamiczną	326
12.6. Struktura selekcyjna – układ regulacji z wybierakiem sygnałów	327
13. OPIS LINIOWYCH STACJONARNYCH UKŁADÓW DYNAMICZNYCH Z WYKO- RZYSTANIEM WSPÓLRZĘDNYCH STANU	329
13.1. Porównanie modelu układu w postaci transmitancji z modelem wykorzystującym współrzędne stanu	329
13.2. Tworzenie opisu jednowymiarowych układów dynamicznych z wykorzystaniem współrzędnych stanu na podstawie równania dynamiki lub transmitancji operato- rowej	334
13.3. Formułowanie opisu układów dynamicznych z wykorzystaniem współrzędnych stanu	337
14. REGULACJA DWU- I TRÓJSTAWNA	350
14.1. Regulacja dwustawna	350
14.2. Regulacja dwustawna z korekcją przez podział mocy	356
14.3. Regulacja dwustawna z korekcją przez sprzężenie zwrotne	357
14.4. Regulacja trójstawna – regulatory trójstawne	361
14.5. Regulatory mikroprocesorowe dwustawne (regulatory 2P) i trójstawne (regula- tory 3P)	363

15. UKŁADY NIELINIOWE	369
15.1. Nieliniowości w układach dynamicznych	369
15.2. Stabilność układów nieliniowych	374
15.3. Metoda płaszczyzny fazowej	376
15.4. Metoda funkcji opisującej	387
16. SYMBOLE I OZNACZENIA NA SCHEMATACH FUNKCJONALNYCH UKŁADÓW REGULACJI	400
17. OPIS ŚRODOWISKA MATLAB/SIMULINK STOSOWANEGO DO SYMULACJI ELEMENTÓW I UKŁADÓW REGULACJI	407
17.1. Opis środowiska MATLAB	408
17.1.1. Uruchomienie programu	408
17.1.2. Modele dynamiczne w programie MATLAB	410
17.1.3. Podstawowe funkcje graficzne programu MATLAB	416
17.2. Opis środowiska SIMULINK	419
17.2.1. Uruchamianie programu	420
17.2.2. Definiowanie modelu w środowisku SIMULINK	424
17.2.3. Symulacja rozwiązania w dziedzinie czasu	426
17.2.4. Analiza wyników symulacji	427
Bibliografia	433