

Spis treści

Wstęp	7
Część I. UKŁADY LINIOWE	9
1. Wprowadzenie do części I	11
1.1. Zadania	15
2. Analiza układów regulacji metodą linii pierwiastkowych	17
2.1. Wprowadzenie	17
2.2. Zasady budowy linii pierwiastkowych	21
2.3. Przykłady linii pierwiastkowych	24
2.4. Dominujące pierwiastki równania charakterystycznego	33
2.5. Dominujące stałe czasowe członów	35
2.6. Zadania	36
3. Zapas stabilności układów regulacji	38
3.1. Wprowadzenie	38
3.2. Liczba tłumienia dominujących pierwiastków zespolonych równania charakterystycznego	40
3.3. Zapas wzmocnienia i fazy w układzie otwartym	41
3.3.1. Zastosowanie charakterystyki amplitudowo-fazowej	41
3.3.2. Zastosowanie charakterystyk logarymicznych – amplitudowej i fazowej	44
3.3.3. Uproszczenie zapisu funkcji przejścia układu zamkniętego	46
3.4. Amplituda rezonansowa układu zamkniętego	47
3.4.1. Określenie parametrów rezonansowych	47
3.4.2. Uproszczenie zapisu funkcji przejścia układu zamkniętego	48
3.4.3. Wyznaczanie parametrów rezonansowych układu zamkniętego na podstawie charakterystyk w układzie otwartym	49
3.5. Zadania	53
4. Właściwości eksploatacyjne układów regulacji	55
4.1. Wprowadzenie	55
4.2. Zasada superpozycji	57

4.3. Sygnał uchybu i uchybowe funkcje przejścia układów regulacji	57
4.4. Dokładność statyczna układów regulacji	61
4.4.1. Dokładność statyczna przy skokowym sygnale sterującym	61
4.4.2. Podsumowanie wyników analizy dokładności statycznej dla różnych sygnałów sterujących	63
4.4.3. Dokładność statyczna przy skokowym sygnale zakłócającym na wejściu obiektu	65
4.4.4. Podsumowanie wyników analizy dokładności statycznej dla różnych sygnałów zakłócających na wejściu obiektu ..	69
4.5. Dokładność dynamiczna układów regulacji	70
4.5.1. Metoda dokładna oceny właściwości dynamicznych	70
4.5.2. Ocena właściwości dynamicznych na podstawie zapasu stabilności	71
4.6. Zadania	74
5. Ogólne zasady projektowania układów regulacji	76
6. Regulatory w układach regulacji	78
6.1. Wprowadzenie	78
6.2. Regulatory liniowe	79
6.2.1. Regulator P	80
6.2.2. Regulator PI	80
6.2.3. Regulator PD	82
6.2.4. Regulator PID	83
6.2.5. Regulatory liniowe w pakiecie Matlab/Simulink	87
6.3. Zadania	88
7. Synteza parametryczna regulatorów	90
7.1. Wprowadzenie	90
7.2. Możliwości uproszczenia zapisu funkcji przejścia obiektów regulacji	91
7.3. Etap I. Dobór funkcji przejścia regulatora	92
7.4. Etap II. Dobór stałych czasowych regulatora	96
7.5. Etap III. Wymagane wzmocnienie regulatora	98
7.5.1. Metoda Zieglera–Nicholsa	99
7.5.2. Kryterium stabilności aperiodycznej	100
7.5.3. Kryterium miejsca geometrycznego pierwiastków	106
7.5.4. Zastosowanie przybornika NCD	115
Literatura do części I	124
Część II. UKŁADY LINIOWE Z OPÓŹNIENIEM	125
8. Wprowadzenie do części II	127
8.1. Zadania	129
9. Przykłady członów z opóźnieniem	130
9.1. Zadania	132

10. Model matematyczny i charakterystyki czlonu z opóźnieniem	133
10.1. Zadania	135
11. Wybrane obiekty z opóźnieniem	136
11.1. Obiekt inercyjny pierwszego rzędu	136
11.1.1. Charakterystyka czasowa	136
11.1.2. Charakterystyki częstotliwościowe	138
11.2. Obiekt idealnie całkujący	140
11.2.1. Charakterystyka czasowa	140
11.2.2. Charakterystyki częstotliwościowe	140
11.3. Obiekt całkujący rzeczywisty	141
11.3.1. Charakterystyka czasowa	142
11.3.2. Charakterystyki częstotliwościowe	143
11.4. Zadania	144
12. Aproksymacja właściwości obiektów wyższego rzędu za pomocą modeli zawierających opóźnienie	146
12.1. Aproksymacja właściwości obiektów wyższego rzędu bez opóźnienia za pomocą modeli niższego rzędu z opóźnieniem	146
12.1.1. Parametry zastępczego modelu obiektu inercyjnego wyższego rzędu na podstawie charakterystyki skokowej	147
12.1.2. Parametry zastępczego modelu obiektu całkującego z inercją wyższego rzędu na podstawie charakterystyki skokowej	147
12.1.3. Parametry zastępczych modeli obiektów na podstawie ich funkcji przejścia	148
12.2. Aproksymacja właściwości obiektów inercyjnych wyższego rzędu z opóźnieniem za pomocą modeli niższego rzędu z opóźnieniem	149
12.2.1. Parametry zastępczych modeli obiektów na podstawie charakterystyki skokowej	149
12.2.2. Parametry zastępczych modeli obiektów na podstawie ich funkcji przejścia	150
13. Stabilność układów z opóźnieniem	152
13.1. Wprowadzenie	152
13.2. Kryterium Nyquista	152
14. Regulatory w układach z opóźnieniem	158
14.1. Wprowadzenie	158
14.2. Metoda Zieglera–Nicholsa	159
14.3. Kryterium stabilności aperiodycznej	160
14.3.1. Zapis funkcji przejścia obiektów i regulatorów w jednostkach względnych	160
14.3.2. Wymagane parametry regulatora	162
14.4. Kryterium optymalnego modułu	163

14.5. Parametry odpowiedzi skokowej układu	166
14.6. Całkowe wskaźniki jakości regulacji	167
14.7. Metoda inwersji dynamicznej	169
14.8. Przykłady syntezy parametrycznej regulatorów	171
Literatura do części II	175
Część III. UKŁADY NIELINIOWE	177
15. Wprowadzenie do części III	179
16. Symbole graficzne i charakterystyki członów	183
16.1. Symbole graficzne	183
16.2. Ogólny zapis charakterystyk	183
16.3. Wybrane charakterystyki statyczne i ich opis matematyczny	185
16.4. Wybrane schematy zastępcze członów przekaźnikowych	187
17. Przekształcanie schematów blokowych	189
17.1. Szeregowe połączenie członów	189
17.2. Równoległe połączenie członów	191
17.3. Człon w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego	194
17.4. Przenoszenie węzła zaczepowego przed blok	196
17.5. Przenoszenie węzła zaczepowego za blok	196
18. Wprowadzenie do metod analizy i syntezy układów	197
18.1. Linearyzacja metodą minimum błędu kwadratowego	197
18.2. Wprowadzenie do metod Lapunowa	200
18.2.1. Pojęcia podstawowe	200
18.2.2. Wprowadzenie do pierwszej metody Lapunowa	201
18.2.3. Wprowadzenie do drugiej metody Lapunowa	201
18.3. Metoda przestrzeni fazowej	201
18.3.1. Ogólny opis metody	201
18.3.2. Konstrukcja trajektorii fazowych na płaszczyźnie fazowej	205
19. Wybrane układy regulacji	214
19.1. Korekcja nieliniowa układów	214
19.2. Układy z regulatorami przekaźnikowymi	219
19.2.1. Układy z regulatorami dwupołożeniowymi	220
19.2.1.1. Układ z regulatorem bez dodatkowych sprzężeń zwrotnych	220
19.2.1.2. Regulatory dwupołożeniowe z dodatkowymi sprzężeniami zwrotnymi ...	223
19.2.2. Układy z regulatorami trójpołożeniowymi	228
19.2.2.1. Układ z regulatorem bez dodatkowych sprzężeń zwrotnych	228
19.2.2.2. Regulatory trójpołożeniowe z dodatkowymi sprzężeniami zwrotnymi	229
19.2.3. Układy z tachometrycznym sprzężeniem zwrotnym ...	233
Literatura do części III	239