

Spis treści

Przedmowa	VII
Wprowadzenie	IX
I. Stabilność nieliniowych układów dynamicznych	1
1. Nieliniowe układy dynamiczne, punkty równowagi i stabilność	3
2. Bezpośrednia metoda Lapunowa – układy stacjonarne	13
2.1. Podstawowe twierdzenie o stabilności	13
2.2. Twierdzenie o globalnej stabilności asymptotycznej i wyznaczanie zbioru przyciągania	17
2.3. Modyfikacje bezpośredniej metody Lapunowa w przypadku półokreślonej pochodnej systemowej	21
2.4. Zastosowanie funkcji majoryzujących	24
2.5. Bezpośrednia metoda Lapunowa dla układów liniowych	25
3. Bezpośrednia metoda Lapunowa – układy niestacjonarne i uogólnienia	27
3.1. Podstawowe twierdzenia o stabilności układów niestacjonarnych	27
3.2. Lemat Barbalata, twierdzenie LaSalle’a-Yoshizawy, jednostajna ograniczoność trajektorii	31
II. Metody projektowania nieliniowych układów sterowania	37
4. Idea projektowania sterowania z wykorzystaniem bezpośredniej metody Lapunowa	39
4.1. Bezpośrednia metoda Lapunowa w analizie stabilności układów	40
4.2. Sterująca funkcja Lapunowa	41
4.3. Reprezentacja niepewności w modelu obiektu – układy odporne i adaptacyjne	43
4.4. Projektowanie z wykorzystaniem funkcji Lapunowa dla układu nominalnego	45
4.5. Od projektowania z wykorzystaniem funkcji Lapunowa dla układu nominalnego do rekursywnego tworzenia funkcji Lapunowa	47
5. Adaptacyjne nadążanie za modelem	55
5.1. Liniowy układ adaptacyjny nadążający za liniowym modelem odniesienia	56
5.2. Nieliniowy układ adaptacyjny nadążający za liniowym modelem odniesienia	63
5.2.1. Nadążanie za modelem w układach wielowejściowych	63
5.2.2. Klasyczne prawo adaptacji	69
5.2.3. Sprzężenie zwrotne w prawie adaptacji	75
5.2.4. Dynamiczne sprzężenie zwrotne w prawie adaptacji	79
5.2.5. Rzutowanie adaptowanych parametrów na zbiór ograniczeń	80
5.3. Nieliniowy układ adaptacyjny nadążający za nieliniowym modelem z liniowym modelem pośrednim	83
6. Algorytm „kroków wstecz”	93
6.1. Podstawowe etapy algorytmu „kroków wstecz”	93
6.2. Algorytm „kroków wstecz” w układzie drugiego rzędu	96
6.3. Ogólna postać algorytmu „kroków wstecz”	98
6.4. Korzystne nieliniowości	107
7. Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz”	115
7.1. Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz” dla układu dwuwymiarowego	115
7.2. Wprowadzenie funkcji strojących	119

7.3.	Ogólna postać adaptacyjnego algorytmu „kroków wstecz” z funkcjami sterującymi	121
7.4.	Odporne prawa adaptacji	134
7.4.1.	σ -modyfikacja prawa adaptacji	135
7.4.2.	$e\text{-}\sigma$ -modyfikacja prawa adaptacji	137
7.4.3.	Prawa adaptacji z rzutowaniem	139
7.4.4.	Przykład	142
7.5.	Sterowanie odporne	146
8.	Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz” z filtracją funkcji stabilizujących	151
8.1.	Algorytm „kroków wstecz” z filtracją funkcji stabilizujących	152
8.2.	Inne rozwiązania filtrów obliczających pochodne	157
8.3.	Odporne prawa adaptacji	158
8.3.1.	σ -modyfikacja prawa adaptacji	159
8.3.2.	$e\text{-}\sigma$ -modyfikacja prawa adaptacji	160
8.3.3.	Prawa adaptacji z rzutowaniem	161
9.	Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz” z przybliżonym różniczkowaniem funkcji stabilizujących	169
III.	Praktyczne aspekty projektowania nieliniowych układów sterowania	179
10.	Układy z ograniczonym sterowaniem i nieznanymi współczynnikami wzmocnienia sterowania	181
10.1.	Ograniczenie sygnału sterującego a realizacja celów sterowania	181
10.2.	Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz” z ograniczeniem sterowania	183
10.3.	Nieznanymi współczynnikami wzmocnienia sterowania	187
10.4.	Łączenie różnych technik projektowania metodą „kroków wstecz”	190
11.	Układy nieliniowe względem zmiennych w czasie parametrów	203
11.1.	Założenia o liniowości układu względem stałych parametrów	203
11.2.	Odporne stabilizacja metodą „kroków wstecz”	213
12.	Adaptacyjny algorytm „kroków wstecz” z ograniczeniami wyjścia i zmiennymi stanami	219
12.1.	Barierowe funkcje Lapunowa	219
12.2.	Algorytm „kroków wstecz” z ograniczeniem wyjścia	221
12.3.	Algorytm „kroków wstecz” z ograniczeniem wszystkich zmiennych stanu	226
Dodatki	239
D1.	Wektory, macierze i normy – przydatne nierówności i tożsamości	239
D2.	Ciągłość, różniczkowalność i równania różniczkowe	243
D3.	Operator rzutowania	246
Zestawienie przykładów	249
Słownik terminów stosowanych w książce	251
Bibliografia	254