

**Sterowanie procesami ciągłymi : wykorzystanie LabVIEW™ w praktyce /
Adam Słota. – Wydanie I. – Warszawa, 2022**

Spis treści

1. Wprowadzenie	7
1.1. Obszar tematyczny i układ książki	7
1.2. Pojęcia podstawowe	9
1.3. Klasyfikacja układów sterowania	10
2. Modele matematyczne układów dynamicznych	15
2.1. Metody wejścia-wyjścia	16
2.1.1. Równania różniczkowe	16
2.1.2. Transmitancja operatorowa	26
2.2. Charakterystyki czasowe	42
2.2.1. Charakterystyka impulsowa	43
2.2.2. Charakterystyka skokowa	44
2.3. Metody częstotliwościowe	52
2.3.1. Transmitancja widmowa	52
2.3.2. Charakterystyki częstotliwościowe	54
2.4. Opis układu dynamicznego w przestrzeni stanów	72
2.4.1. Równania stanu i równania wyjścia	72
2.4.2. Transmitancja operatorowa układu opisanego w przestrzeni stanów	76
2.4.3. Niejednoznaczność sposobu opisu za pomocą zmiennych stanu	76
2.4.4. Fizyczne zmienne stanu	79
2.4.5. Fazowe zmienne stanu	81
2.4.6. Zmienne stanu w postaci kanonicznej sterowalnej	85
2.4.7. Postać kanoniczna Jordana równań stanu	87
2.4.8. Rozwiązania równań stanu	101
3. Podstawowe elementy liniowe	119
3.1. Element proporcjonalny	119
3.2. Element inercyjny pierwszego rzędu	121
3.3. Element całkujący idealny	129
3.4. Element całkujący z inercją	134
3.5. Element różniczkujący idealny	142
3.6. Element różniczkujący z inercją	145
3.7. Element drugiego rzędu	152
3.7.1. Element oscylacyjny drugiego rzędu	154
3.7.2. Element inercyjny drugiego rzędu	166
4. Schematy blokowe układów liniowych	171
4.1. Budowa schematów blokowych struktury dynamicznej	171
4.2. Przekształcanie schematów blokowych	176

4.2.1. Transmitancja zastępcza elementów połączonych szeregowo	176
4.2.2. Transmitancja zastępcza elementów połączonych równolegle	177
4.2.3. Transmitancja zastępcza układu ze sprzężeniem zwrotnym	178
4.2.4. Przesuwanie węzła zaczepowego	179
4.2.5. Przesuwanie węzła sumacyjnego	179
5. Stabilność układów liniowych stacjonarnych	193
5.1. Warunki stabilności	193
5.2. Kryteria stabilności	201
5.2.1. Algebraiczne kryterium stabilności Hurwitza	201
5.2.2. Częstotliwościowe kryterium stabilności Nyquista	204
6. Wymagania dla układu sterowania w dziedzinie czasu	221
6.1. Dokładność statyczna układu sterowania	221
6.2. Dokładność dynamiczna układu sterowania	241
6.3. Wskaźniki dokładności dynamicznej układu oscylacyjnego drugiego rzędu	242
6.4. Wpływ zera układu drugiego rzędu na wskaźniki dokładności dynamicznej	244
6.5. Układy wyższych rzędów i bieguny dominujące	246
7. Regulatory PID	255
7.1. Regulator proporcjonalno-całkujący PI	257
7.2. Regulator proporcjonalno-różniczkujący PD	259
7.3. Regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący PID	262
7.4. Układy sterowania z regulatorami PID	272
7.4.1. Sterowanie obiektem inercyjnym pierwszego rzędu za pomocą regulatora P	272
7.4.2. Sterowanie obiektem inercyjnym pierwszego rzędu za pomocą regulatora I	275
7.4.3. Sterowanie obiektem inercyjnym pierwszego rzędu za pomocą regulatora PI	280
7.4.4. Zmodyfikowany układ automatycznej regulacji obiektem inercyjnym pierwszego rzędu z regulatorem PI	281
7.4.5. Sterowanie obiektem inercyjnym pierwszego rzędu za pomocą regulatora PID	283
7.4.6. Zmodyfikowany układ automatycznej regulacji obiektem inercyjnym pierwszego rzędu z regulatorem PID	284
7.4.7. Sterowanie obiektem drugiego rzędu za pomocą regulatora PID	286
7.4.8. Dobór parametrów regulatora PID	287
8. Układ ze sprzężeniem zwrotnym od zmiennych stanu	297
8.1. Sterowalność	297
8.2. Obserwowalność	299
8.3. Przesuwanie biegunów układu	302
8.4. Dobór wzmocnienia w sprzężeniu od stanu dla fazowych zmiennych stanu	304

8.5. Równanie stanu i równanie wyjścia dla układu ze sprzężeniem zwrotnym od stanu	308
8.6. Dobór wzmocnienia w sprzężeniu od stanu dla fizykalnych zmiennych stanu	308
8.7. Dobór wzmocnienia w sprzężeniu od stanu z dodatkowym elementem całkującym	314
9. System LabVIEW™	331
9.1. Podstawy użytkowania	331
9.2. Modelowanie i symulacja w module symulacyjnym	339
Bibliografia	367
10. Załączniki	371

oprac. BPK