

Spis treści

1. Wprowadzenie	11
2. Wiadomości wstępne	17
2.1. Zbiory, relacje i odwzorowania oraz układy	18
2.2. Przestrzenie i przekształcenia	26
2.3. Przestrzenie Banacha i Hilberta	56
2.4. Przestrzeń dystrybucji	97
2.5. Równanie różniczkowe zwyczajne i linearyzacja	107
2.6. Liniowe równania różniczkowe	125
2.7. Postacie kanoniczne macierzy kwadratowej	146
2.8. Równania liniowe rekurencyjne	173
2.9. Uwagi o równaniach liniowych niestacjonarnych	180
2.10. Układy nieskończenie wymiarowe	199
3. Układy statyczne	213
3.1. Układ funkcji uwikłanych	215
3.2. Statyczny układ liniowy	216
3.3. Struktura układu liniowego	223
3.4. Przybliżone rozwiązywanie równań nieliniowych $G(x) = 0$	230
3.5. Budowa modelu z danych doświadczalnych	236
3.6. Aproksymacja modelu $y = f(x)$	238
3.7. Równania w przestrzeniach Hilberta	243
3.8. Optymalizacja układów statycznych	256
4. Układy dynamiczne	261
4.1. Układ dynamiczny, liniowy układ dynamiczny	262
4.2. Klasyczna definicja układu dynamicznego	268
4.3. Przykłady układów dynamicznych	270
4.4. Zbiory niezmiennicze i zbiory graniczne	277
4.5. Kryterium Bendixsona	278
4.6. Torusy jako zbiory niezmiennicze	280
4.7. Stabilność zbiorów niezmienniczych	282

4.8. Rozmaitości niezmiennicze	285
4.9. Odwzorowanie Poincarégo	290
4.10. Uwagi o dynamicznych układach dyskretnych	292
5. Stabilność	299
5.1. Stabilność w sensie Lapunowa	300
5.2. Metoda funkcjonałów Lapunowa	304
5.3. Równanie Lapunowa	309
5.4. Twierdzenie Hurwitza i lokalizacja zer wielomianów	314
5.5. Twierdzenia Gerszgorina, Hirscha i Bendixsona	327
5.6. Ocena jakości stabilizacji	331
5.7. Stabilność i równanie Lapunowa dla układu dyskretnego	334
5.8. Stabilność liniowych układów niestacjonarnych	347
5.9. Stabilność układów nieskończenie wymiarowych	356
5.10. Niestabilność Turinga	361
6. Sterowalność – proste zadanie sterowania	365
6.1. Sterowalność układów z czasem ciągłym	366
6.2. Sterowanie u o minimalnej normie w L^2	370
6.3. Warunki algebraiczne sterowalności	374
6.4. Dekompozycja Kalmana	379
6.5. Warunek Hautusa	383
6.6. Sterowalność względem stanu – krótkie podsumowanie	384
6.7. Ograniczenia na chwilowe wartości sterowania $u(t)$	387
6.8. Wrażliwość na zmiany parametrów	389
6.9. Sterowalność strukturalna	389
6.10. Sterowalność względem wyjścia	391
6.11. Połączenie szeregowo i równoległe układów	393
6.12. Układ z jednym sterowaniem	395
6.13. Układ sterowalny z dwoma sterowaniami	398
6.14. Sterowanie dystrybucyjne	401
6.15. Sterowalność układów niestacjonarnych	405
6.16. Sterowanie specjalnymi układami nieliniowymi	426
6.17. Sterowalność układów dyskretnych	430
6.18. Sterowalność układów dyskretno-ciągłych	454
6.19. Sterowalność układów nieskończenie wymiarowych	457
7. Obserwowalność – odtwarzanie stanu	465
7.1. Obserwowalność układów z czasem ciągłym	466
7.2. Zasada dualności	473
7.3. Warunki algebraiczne obserwowalności	475
7.4. Wykrywalność	477
7.5. Sposoby wyznaczania stanu	479
7.6. Asymptotyczne odtwarzanie stanu	490

7.7. Filtr Kalmana–Bucy’ego	499
7.8. Obserwowalność układów dyskretnych	507
7.9. Odtwarzanie stanu w układach dyskretnych	514
7.10. Filtry optymalne dla układów dyskretnych	516
8. Stabilizacja	521
8.1. Krótkie wprowadzenie	524
8.2. Podstawowe struktury układu sterowania	526
8.3. Dynamiczne sprzężenie zwrotne	533
8.4. Poprawa jakości stabilizacji i wybrane typy regulatorów	548
8.5. Zastosowania równania Riccatiego	560
8.6. Klasyczny układ regulacji	586
8.7. Uwagi o układach impulsowych	621
8.8. Regulator proporcjonalny przy dostępnym stanie układu	628
8.9. Stabilizowalność	640
8.10. Regulator proporcjonalny przy dostępnym wyjściu z układu	651
8.11. Nieliniowe statyczne sprzężenie zwrotne	677
8.12. Uwagi o stabilizacji układów nieskończenie wymiarowych	698
9. Wybrane zadania optymalizacji	701
9.1. Krótkie wprowadzenie do zagadnień optymalizacji	701
9.2. Ekstrema funkcji jednej i wielu zmiennych	719
9.3. Rachunek wariacyjny	727
9.4. Metody rachunku wariacyjnego w sterowaniu optymalnym	746
9.5. Programowanie dynamiczne	771
9.6. Zasada maksimum	792
9.7. Związki pomiędzy różnymi metodami optymalizacji	832
9.8. Polioptymalizacja – uwagi	837
Bibliografia	841
Skorowidz	863