

# SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	11
Rozdział 1.	
Cybernetyka – nauka o procesach, sygnałach i sterowaniu.....	19
1.1. Cybernetyka i sterowanie .....	21
1.2. Sygnały.....	23
1.2.1. Przykłady wykorzystania w technice i technologii.....	23
1.2.2. Opis sygnałów .....	23
1.2.3. Sygnały mogą opisywać zjawiska o różnym charakterze.	24
1.2.4. Rodzaje sygnałów .....	25
1.2.5. Sposoby opisu sygnału.....	26
1.2.6. Moc, wartość skuteczna, energia sygnału.....	26
1.2.7. Widma sygnału .....	27
1.3. Przykłady sygnałów .....	29
1.3.1. Skok jednostkowy.....	29
1.3.2. Delta Diraca .....	30
1.3.3. Funkcje trygonometryczne .....	32
1.3.4. Sygnały zespolone .....	33
1.3.5. Funkcje okresowe.....	36
1.4. Cybernetyka techniczna – pojęcie układu względnie odosobnionego .....	39
1.4.1. Układ fizyczny, jako system.....	39
1.4.2. Jednowrotniki. Wielowrotniki.....	41
Rozdział 2.	
Sygnały i systemy liniowe – Liniowy problem różniczkowy .....	45
2.1. Autonomiczny układ zachowawczy – oscylator LC.....	46

2.1.1.	Autonomiczny, zachowawczy oscylator mechaniczny. Równania Lagrange'a.....	46
2.1.2.	Równania Lagrange'a. Elektryczny oscylator <i>RLC</i> .....	51
2.2.	Układ dynamiczny a liniowy problem różniczkowy.....	55
2.3.	Rozwiązania problemu różniczkowego drugiego rzędu.....	57
2.4.	Zadania do samodzielnego rozwiązania. Indywidualna praca semestralna nr 1.....	68
2.4.1.	Część I.....	68
2.4.2.	Część II.....	69
Rozdział 3.		
Rachunek operatorowy w opisie układów dynamicznych.....		71
3.1.	Proste i odwrotne przekształcenia Laplace'a.....	72
3.1.1.	Przekształcenie Laplace'a.....	72
3.2.	Przykłady transformat sygnałów – oryginałów przekształcenia Laplace'a.....	75
3.2.1.	Przykłady wyznaczania transformat.....	75
3.2.2.	Zestawienie oryginałów i transformat.....	78
3.3.	Własności przekształcenia Laplace'a.....	80
3.3.1.	Liniowość.....	80
3.3.2.	Różniczkowanie i całkowanie oryginału.....	81
3.3.3.	Różniczkowanie i całkowanie transformaty.....	82
3.3.4.	Zmiana skali.....	83
3.3.5.	Tłumienie – przesunięcie zespolone.....	84
3.3.6.	Opóźnienie – przesunięcie rzeczywiste.....	85
3.3.7.	Transformata funkcji okresowej.....	85
3.3.8.	Twierdzenia o wartościach granicznych.....	86
3.3.9.	Twierdzenia Borela o splocie.....	86

Dodatek A	
Wyznaczanie transformaty odwrotnej.....	88
Rozkład funkcji wymiernej na ułamki proste.....	88
Metoda residuów.....	91
Rozdział 4.	
Operatorowy opis układów dynamicznych .....	93
4.1. Operatorowy opis liniowych jednowrotników .....	94
4.1.1. Jednowrotnik rezystywności (oporności) – rezystor .....	95
4.1.2. Jednowrotnik indukcyjności – cewka.....	97
4.1.3. Jednowrotnik pojemności – kondensator.....	100
4.1.4. Jednowrotnik tarcia. ....	103
4.1.5. Jednowrotnik bezwładności masy.....	106
4.1.6. Jednowrotnik sprężystości.....	109
4.2. Operatorowy opis liniowego problemu różniczkowego drugiego rzędu .....	113
4.2.1. Operatorowa postać sieci elektrycznej (lub analogu elektrycznego odpowiedniego układu mechanicznego).....	113
4.2.2. Operatorowy opis rozwiązania problemu różniczkowego drugiego rzędu .....	121
4.2.3. Operatorowy opis złożonych liniowych układów dynamicznych (na przykładzie sieci elektrycznych lub analogów elektrycznych układów dynamicznych o innym charakterze) .....	124
4.3. Zadania do samodzielnego wykonania – kolokwialna praca semestralna.....	132
4.3.1. Część pierwsza .....	132
4.3.2. Część druga.....	133
Rozdział 5.	
Właściwości transmisyjne układów dynamicznych.....	135
5.1. Szeregowy obwód <i>RLC</i> , jako układ transmisyjny .....	136

5.2.	Uogólnienie własności transmisyjnych układów dynamicznych	141
5.2.1.	Odpowiedź impulsowa układu dynamicznego a składowa wymuszona odpowiedzi na dowolny sygnał wejściowy .....	141
5.3.	Transmitancja liniowego układu dynamicznego.....	145
5.3.1.	Wyznaczanie transmitancji układu dynamicznego .....	148
5.4.	Grafy i transmitancja sieci elektrycznej .....	153
5.4.1.	Wyznaczanie transmitancji poprzez redukcję grafu przepływowego sygnałów.....	153
5.4.2.	Wyznaczanie transmitancji poprzez redukcję schematu blokowego układu dynamicznego.....	157
5.5.	Stabilność liniowych układów dynamicznych.....	173
5.5.1.	Opisowa definicja stabilności.....	174
5.5.2.	BIBO – stabilność liniowych układów dynamicznych .....	176
5.5.3.	BIBO – stabilność liniowych układów dynamicznych a mody odpowiedzi impulsowej. ....	178
5.5.4.	Stabilność układów aktywnych – źródła sterowane.....	183
5.5.5.	Własności modów odpowiedzi impulsowej i ich związek z biegunami transmitancji.....	190
5.5.6.	Kanoniczne postaci transmitancji układu dynamicznego drugiego rzędu .....	195
5.6.	Zadania do samodzielnego rozwiązania. Indywidualna praca semestralna nr 2 .....	200
5.6.1.	Część I .....	200
5.6.2.	Część II.....	202
Rozdział 6.		
Metoda przestrzeni stanu.....		205
6.1.	Liniowy układ dynamiczny, jako układ liniowych równań różniczkowych 2. rzędu.....	206
6.2.	Metoda Hamiltona.....	209
6.3.	Układ dynamiczny opisany równaniami stanu.....	214

6.4.	Rozwiązanie równań stanu .....	225
6.5.	Przestrzeń stanu i ruch w przestrzeni stanu.....	230
6.5.1.	Płaszczyzny fazowe i przestrzeń stanu.....	230
6.5.2.	Cechy trajektorii węzła stabilnego.....	237
6.5.3.	Przykładowe typy trajektorii .....	240
6.6.	Związek przestrzeni stanu (płaszczyzny fazowej) z energią układu dynamicznego .....	248
6.6.1.	Stabilność układu autonomicznego.....	251
6.7.	Diagonalizacja równań stanu. Sterowalność i obserwowalność układów dynamicznych.....	252
6.7.1.	Układy identyczne zaciskowo – przykłady struktur realizujących tę samą funkcję transmitancji.....	252
6.7.2.	Transformacja modalna równań stanu.....	258
6.8.	Sterowalność i obserwowalność.....	265
6.8.1.	Sterowalność lokalna.....	268
6.8.2.	Obserwowalność lokalna.....	269
6.8.3.	Sterowalność i obserwowalność globalna.....	270
6.8.4.	Algebraiczne kryteria sterowalności i obserwowalności układów dynamicznych opisanych równaniami stanu .....	273
6.9.	Zadania do samodzielnego wykonania – druga kolokwialna praca semestralna.....	276
6.9.1.	Równania stanu, ruch na płaszczyźnie stanu, ocena stabilności, sterowalności i obserwowalności .....	276
Rozdział 7.		
Metody widmowe .....		279
7.1.	Widma nieprzyczynowych okresowych sygnałów mocy .....	282
7.1.1.	Widmo nieprzyczynowego okresowego sygnału mocy jako transformata Fouriera, .....	283
7.1.2.	Odwrotna transformata Fouriera –postać czasowa nieprzyczynowego okresowego sygnału mocy .....	288

7.1.3.	Splot kołowy. Twierdzenie Parsewala. Twierdzenie o mocy średniej.....	291
7.2.	Widma sygnałów energii.....	294
7.2.1.	Transformata Fouriera sygnałów energii.....	294
7.2.2.	Odwrotne przekształcenie Fouriera .....	297
7.2.3.	Właściwości przekształcenia Fouriera: .....	299
7.2.4.	Własności widm sygnałów przyczynowych – związki transformaty Fouriera z transformatą Laplace'a.....	302
7.3.	Charakterystyki częstotliwościowe transmisyjnych układów analogowych.....	309
7.3.1.	Pojedynczy sygnał harmoniczny .....	309
7.3.2.	Suma urojonych sygnałów wykładniczych. Wykresy charakterystyk częstotliwościowych.....	313

#### Dodatek B

Wykresy Bodego. Charakterystyki częstotliwościowe logarytmiczne oraz asymptotyczne logarytmiczne charakterystyki częstotliwościowe.....	322
Logarytmiczne charakterystyki częstotliwościowe. Osie i jednostki .	322
Asymptotyczne wykresy logarytmicznych charakterystyk częstotliwościowych liniowych układów dynamicznych.....	325
Asymptotyczne wykresy logarytmicznych charakterystyk częstotliwościowych dla pojedynczego zera rzeczywistego.....	328
Asymptotyczne wykresy logarytmicznych charakterystyk częstotliwościowych dla pojedynczego bieguna rzeczywistego.....	332
Pojedyncze dodatnie zero rzeczywiste, pojedynczy dodatni biegun rzeczywisty. (Charakterystyki Bodego transmitancji nieminimalnofazowych i niestabilnych).....	334
Kreślenie asymptotycznych logarytmicznych amplitudowych charakterystyk częstotliwościowych transmitancji minimalnofazowych o pojedynczych, rzeczywistych zerach i biegunach.....	336
Asymptotyczne logarytmiczne charakterystyki częstotliwościowych transmitancji drugiego rzędu o zerach i biegunach zespolonych sprzężonych.....	339

7.4.	Filtry – układy o założonych widmowych własnościach transmisyjnych.....	344
7.4.1.	Synteza filtrów. Najprostszy przykład projektowania technicznego procesów dynamicznych.....	344
7.4.2.	Filtry pasywne stratne.....	346
7.4.3.	Gabaryt filtru, jako zobrazowanie wymagań.....	349
7.4.4.	Idealny filtr unormowany i rzeczywiste wzorce filtracji.....	354
	Dodatek C.....	366
	Dwójniki pasywne o założonych immitancjach.....	366
	Warunki pasywnej realizowalności wymiernej funkcji transmitancji.....	366
	Synteza dwójników RC.....	368
	Synteza dwójników RL.....	370
	Synteza dwójników LC.....	372
7.5.	Zadania do samodzielnego wykonania – trzecia indywidualna praca semestralna .....	378
7.5.1.	Projektowanie i badanie symulacyjne algorytmów filtracji analogowej.....	378
	Literatura.....	383
	Skorowidz .....	387