

Spis treści

Przedmowa / 11
Wykaz oznaczeń / 13

1	ROZDZIAŁ
	Pojęcie sygnału. Matematyczne modele sygnałów fizycznych / 19

2	ROZDZIAŁ
	Sygnały deterministyczne / 24

2.1	Model deterministyczny sygnału fizycznego / 24
2.2	Parametry rzeczywistych sygnałów deterministycznych / 25
2.3	Przykłady rzeczywistych sygnałów deterministycznych / 31
2.3.1	Sygnały impulsowe o ograniczonej energii / 31
2.3.2	Sygnały o nieskończonym czasie trwania i ograniczonej energii / 33
2.3.3	Sygnały nieokresowe o ograniczonej mocy średniej / 35
2.3.4	Sygnały okresowe / 37
2.3.5	Sygnały prawie okresowe / 38
2.3.6	Sygnały dystrybucyjne / 39
2.4	Sygnały zespolone / 48
2.5	Rozkład sygnałów deterministycznych na składowe / 49
2.5.1	Składowa rzeczywista i urojona / 49
2.5.2	Składowa stała i zmienna / 50
2.5.3	Składowa parzysta i nieparzysta / 51
2.6	Przestrzenie sygnałów deterministycznych / 52
2.6.1	Sygnały jako elementy przestrzeni funkcyjnej / 52
2.6.2	Przestrzenie metryczne / 53
2.6.3	Przestrzenie liniowe / 61
2.6.4	Przestrzenie liniowe unormowane. Przestrzenie Banacha / 63
2.6.5	Iloczyn skalarny. Przestrzenie Hilberta / 67
2.7	Analiza korelacyjna sygnałów deterministycznych / 72
2.7.1	Porównywanie sygnałów deterministycznych / 72

- 2.7.2 Porównywanie wektorów w przestrzeni $\mathcal{H}^n$. Analogia między wektorami a sygnałami / 73
- 2.7.3 Współczynniki korelacyjne sygnałów deterministycznych / 77
- 2.7.4 Funkcje korelacyjne sygnałów deterministycznych / 80
- 2.8 Splot / 91
- 2.8.1 Granice całki splotowej / 91
- 2.8.2 Zbieżność całki splotowej / 94
- 2.8.3 Właściwości splotu / 94

3

ROZDZIAŁ

Metody analitycznego przedstawiania sygnałów deterministycznych / 96

- 3.1 Uwagi ogólne / 96
- 3.2 Dyskretna reprezentacja sygnałów deterministycznych / 97
- 3.2.1 Aproksymacja sygnałów deterministycznych / 97
- 3.2.2 Przestrzenie liniowe n -wymiarowe. Baza przestrzeni / 98
- 3.2.3 Wyznaczanie reprezentacji sygnału w n -wymiarowej przestrzeni unitarnej. Bazy ortonormalne / 100
- 3.2.4 Wyznaczanie reprezentacji sygnału w nieskończonej wymiarowej przestrzeni unitarnej. Zagadnienie najlepszej aproksymacji / 102
- 3.2.5 Szereg Fouriera. Równość Parsewala / 108
- 3.2.6 Normalizacja bazy ortogonalnej / 112
- 3.2.7 Przykłady zbiorów ortonormalnych zupełnych / 113
- 3.3 Ciągłe reprezentacje sygnałów deterministycznych / 131
- 3.3.1 Koncepcja ogólna. Przekształcenia całkowite / 131
- 3.3.2 Przekształcenie Fouriera / 134
- 3.3.3 Przekształcenie Hilberta. Sygnał analityczny / 135
- 3.3.4 Przekształcenie Hankela. Kosinusowe i sinusowe przekształcenie Fouriera / 138
- 3.3.5 Przekształcenie Mellina. Przekształcenie Laplace'a / 140

4

ROZDZIAŁ

Sygnały stochastyczne / 142

- 4.1 Podstawowe pojęcia probabilistyczne. Notacja / 142
- 4.2 Pojęcie procesu stochastycznego / 160
- 4.3 Klasyfikacja sygnałów stochastycznych / 162
- 4.4 Opis sygnałów stochastycznych / 165
- 4.4.1 Koncepcja ogólna opisu / 165
- 4.4.2 Łączna n -wymiarowa funkcja gęstości prawdopodobieństwa / 166
- 4.4.3 Wartość średnia. Funkcja autokorelacji / 168
- 4.4.4 Dwa sygnały stochastyczne. Funkcje korelacji wzajemnej / 171
- 4.5 Różniczkowanie i całkowanie stochastyczne / 173
- 4.6 Sygnały stacjonarne / 175
- 4.6.1 Sygnały ściśle stacjonarne i sygnały stacjonarne rzędu n / 175
- 4.6.2 Sygnały stacjonarne w szerszym sensie / 177
- 4.6.3 Interpretacja fizyczna parametrów sygnału stacjonarnego / 179
- 4.6.4 Sygnały łącznie stacjonarne / 179

- 4.7 Sygnały ergodyczne / 181
- 4.8 Sygnały stochastyczne zespolone / 187
- 4.9 Sygnały normalne / 190
- 4.10 Przykłady sygnałów stochastycznych / 196
- 4.10.1 Sygnały ciągłe z czasem ciągłym / 196
- 4.10.2 Sygnały dyskretne z czasem ciągłym / 206
- 4.10.2.1 Sygnały asynchroniczne / 206
- 4.10.2.2 Sygnały synchroniczne / 217

5

ROZDZIAŁ

Metody analitycznego przedstawiania sygnałów stochastycznych / 224

- 5.1 Uwagi ogólne / 224
- 5.2 Dyskretne reprezentacje sygnałów stochastycznych / 225
- 5.2.1 Zespolony szereg Fouriera sygnału okresowego w sensie średniokwadratowym / 225
- 5.2.2 Zespolony szereg Fouriera sygnału nieokresowego / 228
- 5.2.3 Rozwinięcie Karhunen-Loève'a / 231
- 5.2.4 Szereg Kotelnikowa-Shannona / 241
- 5.3 Ciągłe reprezentacje sygnałów stochastycznych / 241
- 5.3.1 Koncepcja ogólna / 241
- 5.3.2 Stochastyczne przekształcenie Fouriera / 242
- 5.3.3 Stochastyczne przekształcenie Hilberta. Stochastyczny sygnał analityczny / 244

6

ROZDZIAŁ

Analiza częstotliwościowa sygnałów deterministycznych / 245

- 6.1 Uwagi ogólne / 245
- 6.2 Przekształcenie Fouriera. Zagadnienia F -transformowalności i wzajemnej jednoznaczności / 247
- 6.3 Przekształcenie Fouriera w sensie granicznym / 252
- 6.4 Widmo sygnału / 253
- 6.5 Właściwości przekształcenia Fouriera / 256
- 6.5.1 Parzystość i nieparzystość sygnałów oraz widm / 256
- 6.5.2 Twierdzenia / 258
- 6.5.3 Opis parametrów sygnału w dziedzinie częstotliwościowej / 264
- 6.5.4 Ograniczenia widma amplitudowego sygnału / 266
- 6.6 Przykłady par transformat Fouriera / 269
- 6.6.1 Pary transformat Fouriera w sensie zwykłym / 269
- 6.6.2 Pary transformat Fouriera w sensie granicznym / 277
- 6.7 Przekształcenie Fouriera sygnału okresowego i jego związek z zespolonym szeregiem Fouriera / 285
- 6.7.1 Widmo sygnału okresowego i jego reprezentacje graficzne / 285
- 6.7.2 Związek między współczynnikami zespolonego szeregu Fouriera sygnału okresowego a transformatą Fouriera centralnego segmentu tego sygnału / 289
- 6.7.3 Właściwości zespolonego szeregu Fouriera / 290

- 6.7.4 Związki między zespolonym a rzeczywistymi trygonometrycznymi szeregami Fouriera sygnału okresowego / 293
- 6.7.5 Zbieżność szeregu Fouriera. Efekt Gibbsa / 295
- 6.8 Widmo sygnału prawie okresowego / 298
- 6.9 Widmo gęstości energii i widmo gęstości mocy. Widma wzajemne / 300
- 6.10 Przejście sygnału przez układ liniowy / 309
- 6.10.1 Związki między charakterystykami sygnału na wejściu i wyjściu układu liniowego / 309
- 6.10.2 Układ liniowy jako filtr. Filtry idealne / 313
- 6.10.3 Związek między czasem narastania sygnału na wyjściu filtra dolnoprzepustowego a szerokością pasma przepustowego filtra / 317
- 6.11 Zasada nieoznaczności / 320
- 6.12 Sygnał analityczny. Koncepcja drgania uogólnionego / 323
- 6.13 Twierdzenie o próbkowaniu / 331
- 6.13.1 Wersja podstawowa / 331
- 6.13.2 Dyskusja. Inne warianty twierdzenia o próbkowaniu / 338
- 6.13.3 Odtwarzanie sygnału na podstawie próbek. Próbkowanie idealne / 343
- 6.13.4 Numeryczne odtwarzanie sygnału na podstawie próbek / 345

7

ROZDZIAŁ

Analiza częstotliwościowa sygnałów stochastycznych / 347

- 7.1 Uwagi ogólne / 347
- 7.2 Stochastyczne przekształcenie Fouriera w sensie granicznym / 348
- 7.3 Charakterystyki częstotliwościowe sygnałów stochastycznych / 349
- 7.3.1 Widmo gęstości mocy / 349
- 7.3.2 Widma wzajemne gęstości mocy / 352
- 7.3.3 Przykłady widma gęstości mocy sygnałów stochastycznych / 353
- 7.3.4 Ergodyczność widma gęstości mocy / 360
- 7.4 Przejście sygnału stochastycznego przez układ liniowy / 364
- 7.4.1 Związki między charakterystykami sygnału na wejściu i wyjściu układu liniowego / 364
- 7.4.2 Twierdzenie o superpozycji widma gęstości mocy / 367
- 7.5 Stochastyczny sygnał analityczny. Drganie uogólnione / 368
- 7.6 Twierdzenie o próbkowaniu sygnałów stochastycznych / 374

8

ROZDZIAŁ

Modulacja sygnałów / 379

- 8.1 Uwagi ogólne / 379
- 8.2 Systemy modulacji ciągłej / 385
- 8.2.1 Klasyfikacja systemów modulacji ciągłej / 385
- 8.2.2 Modulacja amplitudy / 388
- 8.2.2.1 System AM-SC / 388
- 8.2.2.2 System AM / 396
- 8.2.2.3 System SSB-SC / 403
- 8.2.2.4 System SSB / 410

8.2.2.5	Analityczna reprezentacja sygnału jednowstęgowego / 410
8.2.2.6	Koncepcja iloczynowego operatora modulacji / 414
8.2.2.7	Porównanie systemów modulacji amplitudy. System VSB z częściowo stłumioną wstęgą boczną / 417
8.2.3	Modulacja kąta / 426
8.2.3.1	System PM / 428
8.2.3.2	System FM / 443
8.2.4	Odporność na zakłócenia systemów modulacji ciągłej / 450
8.3	Systemy modulacji impulsowej / 454
8.3.1	Klasyfikacja systemów modulacji impulsowej / 454
8.3.2	System PAM. Próbkowanie naturalne i próbkowanie chwilowe / 456
8.3.3	Systemy PDM i PPM / 464
8.3.4	System PCM / 468
8.4	Zwielokrotnienie częstotliwościowe i zwielokrotnienie czasowe / 479

Wykaz literatury / 487

Skorowidz / 489