

Przedmowa .....	9
1. Sygnały i systemy dyskretne .....	11
1.1. Matematyczny model sygnału dyskretnego .....	11
1.2. Przykłady sygnałów dyskretnych .....	13
1.3. Podstawowe operacje na sygnałach dyskretnych .....	15
1.4. Dyskretne sygnały harmoniczne .....	16
1.4.1. Dyskretny sygnał sinusoidalny .....	16
1.4.2. Zespolony sygnał harmoniczny .....	20
1.5. Energia i moc sygnałów dyskretnych .....	20
1.5.1. Sygnały o ograniczonej energii .....	21
1.5.2. Sygnały o ograniczonej mocy .....	21
1.6. Systemy (układy) dyskretne .....	21
1.6.1. Przykłady układów dyskretnych .....	22
1.6.2. Metody opisu i klasyfikacja układów dyskretnych .....	23
1.6.2.1. Układy liniowe .....	23
1.6.2.2. Układy stacjonarne .....	24
1.6.2.3. Odpowiedź impulsowa i spłot .....	24
1.6.2.4. Układy przyczynowe .....	25
1.6.2.5. Układy stabilne .....	26
1.6.2.6. Równanie różnicowe .....	26
2. Analiza widmowa dyskretnych sygnałów deterministycznych .....	28
2.1. Transformata Fouriera – definicja .....	28
2.2. Zbieżność transformaty Fouriera .....	31
2.3. Odwrotna transformata Fouriera .....	32
2.4. Podstawowe właściwości transformaty Fouriera .....	35
2.5. Widmo Fouriera dyskretnych sygnałów okresowych .....	36
2.6. Okna czasowe w analizie widmowej .....	42
2.6.1. Okno Bartletta (trójkątne) .....	45
2.6.2. Okno von Hanna .....	46
2.6.3. Okno Hamminga .....	47
2.6.4. Okno Blackmanna .....	47
2.6.5. Porównanie widmowych właściwości okien czasowych .....	48
2.6.6. Okno Kaisera .....	50

3. Przekształcenie $Z$ .....	52
3.1. Definicja .....	52
3.2. Obszar zbieżności .....	53
3.2.1. Sygnał przyczynowy .....	55
3.2.2. Sygnał antyprzyczynowy .....	57
3.3. Transformata $Z$ jako funkcja wymierna .....	60
3.4. Odwrotna transformata $Z$ .....	62
3.5. Podstawowe właściwości $Z$ -transformaty .....	65
4. Dyskretna transformata Fouriera .....	66
4.1. Definicja .....	66
4.2. Odwrotna dyskretna transformata Fouriera .....	68
4.3. Właściwości dyskretnej transformaty Fouriera .....	74
4.3.1. Cykliczne przesunięcie w dziedzinie czasu i częstotliwości .....	74
4.3.2. Symetrie .....	76
4.3.3. Splot cykliczny (kołowy) .....	77
4.3.4. Podsumowanie .....	78
4.4. Obliczeniowe aspekty wyznaczania dyskretnej transformaty Fouriera – algorytmy FFT .....	79
4.4.1. Algorytm z podziałem czasowym .....	79
4.4.2. Algorytm z podziałem częstotliwościowym .....	84
5. Sygnały losowe .....	86
5.1. Przypomnienie wybranych pojęć z teorii prawdopodobieństwa .....	86
5.2. Dyskretny sygnał losowy .....	88
5.2.1. Definicja .....	88
5.2.2. Podstawowe charakterystyki procesu losowego .....	88
5.2.3. Stacjonarność procesu losowego .....	90
5.2.4. Ergodyczność procesu losowego .....	91
5.3. Analiza widmowa stacjonarnych sygnałów losowych .....	94
5.3.1. Właściwości widma mocy .....	95
5.3.2. Biały szum .....	96
5.3.3. Losowy proces harmoniczny (rzeczywisty) .....	96
5.3.4. Zespolony proces harmoniczny .....	97
5.3.5. Zespolona widmowa gęstość mocy .....	98
5.4. Estymacja widma mocy i autokorelacji procesu losowego .....	98
5.4.1. Pojęcie estymatora .....	98
5.4.2. Estymator jako zmienna losowa .....	100
5.4.3. Podstawowe miary jakości estymatora .....	100
5.4.4. Periodogram .....	103
5.4.5. Obciążenie i wariancja periodogramu .....	106
5.4.6. Zmodyfikowany periodogram .....	118
6. Opis transmisyjny układów dyskretnych .....	120
6.1. Transmitancja i charakterystyki częstotliwościowe układów dyskretnych .....	120
6.1.1. Zera i bieguny transmitancji układu dyskretnego .....	122
6.1.2. Charakterystyki częstotliwościowe układów o wymiernej transmitancji .....	123
6.1.3. Odpowiedź impulsowa układu o wymiernej transmitancji .....	125
6.2. Układy SOI .....	126
6.2.1. Układy SOI o liniowej charakterystyce fazowej .....	127
6.2.2. Geometryczne położenie zer transmitancji układu SOI o liniowej charakterystyce fazowej .....	131

6.3. Układy NOI .....	132
6.3.1. Układ NOI pierwszego rzędu .....	133
6.3.2. Układ NOI drugiego rzędu .....	135
6.3.3. Układy wszechprzepustowe .....	139
6.3.4. Układy minimalnofazowe .....	141
6.4. Transmisja sygnałów losowych przez układy liniowe .....	143
7. Projektowanie układów dyskretnych .....	147
7.1. Wprowadzenie .....	147
7.2. Specyfikacja filtru .....	147
7.3. Metody projektowania filtrów SOI .....	149
7.3.1. Metoda okien czasowych .....	149
7.3.2. Metoda optymalizacyjna .....	155
7.4. Projektowanie filtrów NOI .....	158
7.4.1. Analogowe prototypy filtrów dolnoprzepustowych .....	159
7.4.1.1. Filtry Butterwortha .....	159
7.4.1.2. Filtry Czebyszewa .....	160
7.4.1.3. Filtry eliptyczne .....	162
7.4.2. Transformacja biliniowa .....	162
Literatura .....	166