

Spis treści

Przedmowa	7
1. Wstęp	9
1.1. Historia	9
1.2. Współczesność	10
2. Generacja sygnałów	15
2.1. Wstęp	15
2.2. Warunki istnienia drgań – liniowy opis generatora	16
2.2.1. Generator czwórnikowy – układ ze sprzężeniem zwrotnym	16
2.2.2. Wykorzystanie równania stanu układu do analizy generatora	19
2.2.3. Generator dwójnikowy – odłumianie obwodu rezonansowego	23
2.3. Warunki istnienia drgań – nieliniowy opis generatora	29
2.3.1. Metoda funkcji opisującej	32
2.3.2. Nieliniowy opis dwójnikowy	34
2.3.3. Nieliniowy opis czwórnikowy	39
2.3.4. Symulacja komputerowa	43
2.4. Podstawowe układy generatorów sinusoidalnych	50
2.4.1. Generatory RC	50
2.4.2. Generatory LC	54
Literatura	60
3. Stabilizacja częstotliwości	61
3.1. Dokładność i stałość częstotliwości	61
3.1.1. Dokładność ustalenia częstotliwości	63
3.1.2. Stałość częstotliwości rezonansowej obwodu generatora	67
3.2. Metody stabilizacji częstotliwości	78
3.2.1. Zwiększanie dobroci obwodu rezonansowego	80
3.2.2. Generatory kwarcowe	90
3.2.3. Rezonatory scalone	98
3.2.4. Koszty zwiększania stabilizacji częstotliwości	101
Literatura	102
4. Szumy generatorów	104
4.1. Wprowadzenie	104
4.1.1. Podstawowe rodzaje szumów	105
4.1.2. Parametry stacjonarnego sygnału stochastycznego	109
4.1.3. Widmo sygnału generowanego	110
4.2. Metody opisu niestałości częstotliwości	116
4.2.1. Podstawowe miary niestałości częstotliwości generowanego sygnału	117
4.2.2. Opis właściwości szumowych generatorów w dziedzinie częstotliwości	119
4.2.3. Pomiar gęstości widmowej mocy szumów generatora	124
4.2.4. Opis właściwości szumowych generatorów w dziedzinie czasu	134
4.2.5. Wzajemność opisu szumów w dziedzinie czasu i częstotliwości	140

4.3. Jitter	145
4.4. Modele szumowe generatorów	148
4.4.1. Model szumowy generatora dwójnikowego	149
4.4.2. Model szumowy generatora czwórnikowego	160
Literatura	161
5. Generatory częstotliwości wzorcowych	163
5.1. Wstęp	163
5.2. Generatory kwarcowe	165
5.2.1. Stałość częstotliwości generatora kwarcowego	166
5.3. Rezonatory nadprzewodzące	170
5.4. Wzorce atomowe	172
5.4.1. Masery	175
5.4.2. Wzorce pasywne	179
5.4.3. Wzorce optyczne	192
5.4.4. Zegar pulsarowy	202
Literatura	203
6. Synchronizacja generatorów	205
6.1. Synchronizacja bezpośrednia (przez injekcję)	205
6.2. Pętla synchronizacji ze sprzężeniem częstotliwościowym (FLL)	210
6.3. Pętla synchronizacji ze sprzężeniem fazowym (PLL)	211
6.3.1. Detektor fazy – podstawowy element pętli synchronizacji fazowej	215
6.3.2. Właściwości dynamiczne pętli fazowej w stanie synchronizmu	223
6.3.3. Stabilność pętli fazowej	230
6.3.4. Szumy w pętli fazowej	235
6.3.5. Inne rodzaje pętli synchronizacji fazowej	236
6.3.6. Zastosowania pętli synchronizacji fazowej	237
Literatura	238
7. Synteza częstotliwości	239
7.1. Elementarne operacje w dziedzinie częstotliwości	239
7.1.1. Powielanie częstotliwości	239
7.1.2. Dzielenie częstotliwości	250
7.1.3. Szumy fazowe dzielników częstotliwości	259
7.2. Bezpośrednia synteza cyfrowa	260
7.2.1. Idea cyfrowej syntezy częstotliwości	260
7.2.2. Generator sterowany numerycznie (NCO)	263
7.2.3. Przetwornik kształtu przebiegu generowanego	271
7.3. Bezpośrednia synteza analogowa	285
7.4. Synteza częstotliwości w pętli synchronizacji fazowej (PLL)	290
7.4.1. Synteza z podziałem całkowitym (<i>Integer-N</i>)	290
7.4.2. Sumowanie częstotliwości w pętli fazowej PLL	296
7.4.3. Synteza z podziałem ułamkowym (<i>Fractional-N</i>)	297
7.4.4. Synteza z podharmonicznym detektorem fazy	302
7.4.5. Szumy fazowe syntezer PLL	304
Literatura	307