

Spis treści

Od Autora	11
Wykaz ważniejszych skrótów	15
Wykaz ważniejszych oznaczeń	17
Wykaz ważniejszych oznaczeń na rysunkach	19
1. Wprowadzenie do telekomunikacji mikrofalowej	23
1.1. Rys historyczny	23
1.2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego	25
1.3. Łącze transmisyjne	27
1.4. Zastosowania technik radiokomunikacji	29
1.5. Podsumowanie	31
2. Propagacja fal w linii długiej	33
2.1. Wprowadzenie	33
2.2. Równania linii długiej	34
2.2.1. Linia dwuprzewodowa	34
2.2.2. Równania telegrafistów	35
2.2.3. Fale: postępująca i odbita	36
2.2.4. Stała propagacji	37
2.2.5. Impedancja charakterystyczna	39
2.3. Fale w jednorodnej przewodnicy falowej	39
2.3.1. Napięcie i prąd wzdłuż linii	39
2.3.2. Współczynnik odbicia	41
2.3.3. Fala stojąca	43
2.4. Przepływ mocy	46
2.4.1. Moce fal	46
2.4.2. Moc wydzielona w obciążeniu w warunkach niedopasowania	47
2.4.3. Dopasowanie energetyczne i moc dysponowana generatora	49
2.5. Transformacja impedancji	50
2.5.1. Równanie transformacji impedancji – linia bezstratna	50
2.5.2. Równanie transformacji impedancji – szczególne przypadki	51
2.5.3. Linie zwarta i rozwartą na końcu	53
2.6. Podsumowanie	55
3. Przewodnice falowe	57
3.1. Pole elektromagnetyczne i równania Maxwella	57
3.2. Fala płaska	59
3.2.1. Pola fali płaskiej	59
3.2.2. Parametry fali płaskiej	62
3.2.3. Odbicie i załamanie fali płaskiej	63
3.2.4. Rodzaje fal EM w przewodnicach falowych	64
3.3. Przewodnice typu TEM	66
3.3.1. Właściwości przewodnic TEM	66
3.3.2. Linia dwuprzewodowa	67

3.3.3. Linia współosiowa	68
3.4. Falowody	69
3.4.1. Falowód prostokątny	69
3.4.2. Falowód cylindryczny	72
3.5. Prowadnice mikrofalowych układów scalonych	73
3.5.1. Linia mikropaskowa	73
3.5.2. Linia koplanarna	74
3.5.3. Podłoża linii planarnych	75
3.6. Tłumienie przewodnic falowych	76
3.7. Podsumowanie	79
4. Wykres Smitha i dopasowanie impedancji	81
4.1. Wprowadzenie	81
4.2. Wykres Smitha	81
4.2.1. Normalizacja impedancji	81
4.2.2. Odzworowanie homograficzne	82
4.2.3. Konstrukcja wykresu Smitha	83
4.2.4. Wykres Smitha dla obciążeń aktywnych	85
4.2.5. Praca na wykresie Smitha	86
4.2.6. Transformacja impedancji na wykresie Smitha	87
4.3. Dopasowanie impedancji – rozwiązanie analityczne	89
4.3.1. Postawienie problemu	89
4.3.2. Przypadek 1: „Najpierw równolegle, potem szeregowo”	90
4.3.3. Przypadek 2: „Najpierw szeregowo, potem równolegle”	92
4.4. Dopasowanie impedancji – obwody o stałych skupionych	92
4.4.1. Dopasowanie impedancji o charakterze indukcyjnym	94
4.4.2. Dopasowanie impedancji o charakterze pojemnościowym	96
4.5. Dopasowanie impedancji – obwody o stałych rozłożonych	97
4.5.1. Obwody dopasowujące z odcinkami przewodnic falowych	97
4.5.2. Obwody dopasowujące z transformatoremi ćwierćfalowymi	100
4.5.3. Dopasowanie liniami o różnym Z_0	101
4.5.4. Obwody dopasowujące wieloelementowe	102
4.5.5. Szerokopasmowe obwody dopasowujące	103
4.6. Podsumowanie	107
5. Dwuwrotniki i wielowrotniki mikrofalowe	109
5.1. Wprowadzenie	109
5.2. Dwuwrotnik i jego macierze $[Z]$, $[Y]$ i $[A]$	109
5.2.1. Co to jest dwuwrotnik	109
5.2.2. Macierz impedancyjna $[Z]$	110
5.2.3. Macierz admitancyjna $[Y]$	111
5.2.4. Macierz tańcuchowa $[A]$	111
5.3. Macierze rozproszenia $[S]$ dwuwrotnika	112
5.3.1. Definicja macierzy rozproszenia	112
5.3.2. Właściwości macierzy rozproszenia	114
5.3.3. Macierz rozproszenia wielowrotnika	116
5.3.4. Macierz transmisyjna	117
5.4. Obwody zastępcze	118

5.4.1. Obwody zastępcze T i π	118
5.4.2. Twierdzenie o transformatorze	119
5.4.3. Obwody zastępcze dwuwrotnika bezstratnego	120
5.4.4. Obwody zastępcze nieciągłości linii mikropaskowej	121
5.5. Grafy przepływu sygnału	122
5.5.1. Podstawowe definicje	122
5.5.2. Podstawowe działania	123
5.5.3. Elementy grafu	124
5.5.4. Reguła Masona	124
5.6. Grafy w obwodach mikrofalowych	127
5.6.1. Grafy prostych obwodów	127
5.6.2. Przykłady zastosowań	128
5.7. Warunki stabilności dwuwrotnika	130
5.7.1. Dwuwrotnik i jego sąsiedzi	130
5.7.2. Stabilność bezwarunkowa i warunkowa dwuwrotnika	131
5.8. Podsumowanie	132
6. Pasywne i aktywne elementy obwodów mikrofalowych	135
6.1. Wprowadzenie	135
6.2. Złącza i przejścia	136
6.2.1. Złącza linii współosiowej	136
6.2.2. Złącza i przejścia falowodowe	137
6.3. Elementy o stałych skupionych	138
6.3.1. Rezystory	138
6.3.2. Indukcyjności i pojemności	139
6.4. Tłumiki i przesuwniki fazy	141
6.4.1. Uwagi ogólne	141
6.4.2. Tłumiki stałe	141
6.4.3. Tłumiki i przesuwniki fazy regulowane	142
6.5. Dzielniki mocy	143
6.5.1. Rozgałęzienie współosiowe typu T	143
6.5.2. Dzielnik Wilkinsona	145
6.5.3. Rozgałęzienia falowodowe	146
6.6. Sprzęgacze kierunkowe	147
6.6.1. Zasada działania i parametry sprzęgacza kierunkowego	147
6.6.2. Wielootworowy sprzęgacz falowodowy	149
6.6.3. Sprzęgacze zbliżeniowe na linii mikropaskowej	149
6.6.4. Przykłady struktur sprzęgaczy na linii mikropaskowej	150
6.7. Mikrofalowe diody półprzewodnikowe	152
6.7.1. Diody Schottky'ego	152
6.7.2. Diody waraktorowe	153
6.7.3. Diody p - i - n	154
6.8. Tranzystory mikrofalowe	156
6.8.1. Uwagi ogólne	156
6.8.2. Tranzystory bipolarne	156
6.8.3. Tranzystory polowe	158
6.9. Podsumowanie	160

7. Rezonatory i filtry mikrofalowe	161
7.1. Wprowadzenie	161
7.2. Obwody rezonansowe i rezonatory	161
7.2.1. <i>Obwód rezonansowy szeregowy</i>	161
7.2.2. <i>Obwód rezonansowy równoległy</i>	164
7.2.3. <i>Rezonatory – definicje ogólne</i>	165
7.3. Rezonator jako obciążenie toru	166
7.3.1. <i>Obwód zastępczy</i>	166
7.3.2. <i>Reflektancja rezonatora</i>	169
7.4. Rezonator włączony transmisyjnie	171
7.4.1. <i>Obwód zastępczy</i>	171
7.4.2. <i>Macierz rozproszenia rezonatora transmisyjnego</i>	172
7.5. Rezonator włączony reakcyjnie	173
7.5.1. <i>Obwód zastępczy</i>	173
7.5.2. <i>Macierz rozproszenia rezonatora włączonego reakcyjnie</i>	175
7.6. Przegląd konstrukcji rezonatorów	176
7.6.1. <i>Rezonatory współosiowe</i>	176
7.6.2. <i>Rezonatory falowodowe</i>	177
7.6.3. <i>Rezonatory mikropaskowe</i>	180
7.6.4. <i>Rezonatory dielektryczne</i>	181
7.6.5. <i>Rezonatory ferrimagnetyczne</i>	183
7.6.6. <i>Rezonatory Fabry’ego–Perota</i>	184
7.7. Parametry filtrów	185
7.7.1. <i>Podstawowe wiadomości</i>	185
7.7.2. <i>Charakterystyki filtrów</i>	187
7.7.3. <i>Podstawowe struktury filtrów</i>	189
7.8. Przykłady realizacji filtrów	190
7.8.1. <i>Linia o skokowo zmiennej impedancji</i>	190
7.8.2. <i>Linia okresowo obciążona</i>	191
7.8.3. <i>Łańcuch sprzężonych rezonatorów</i>	191
7.9. Podsumowanie	192
8. Anteny	193
8.1. Wprowadzenie	193
8.2. Parametry anten	193
8.2.1. <i>Pole EM wokół anteny</i>	193
8.2.2. <i>Charakterystyki promieniowania anteny</i>	194
8.2.3. <i>Wzmocnienie i kierunkowość anteny</i>	196
8.3. Przykłady konstrukcji anten	197
8.3.1. <i>Anteny dipolowe</i>	197
8.3.2. <i>Anteny tubowe</i>	199
8.3.3. <i>Anteny paraboliczne</i>	200
8.3.4. <i>Anteny helikalne (śrubowe)</i>	202
8.3.5. <i>Anteny Yagi–Uda</i>	203
8.3.6. <i>Anteny planarne</i>	204
8.3.7. <i>Szyki antenowe</i>	205
8.4. Podsumowanie	208

9. Wzmacnianie i wzmacniacze mikrofalowe	211
9.1. Wprowadzenie	211
9.2. Definicje wzmocnienia	212
9.2.1. Wzmocnienie mocy	212
9.2.2. Skuteczne i dysponowane wzmocnienia mocy	214
9.2.3. Unilateralne wzmocnienie mocy	216
9.3. Wzmacniacz tranzystorowy jednostopniowy	217
9.3.1. Przygotowanie tranzystora	217
9.3.2. Podstawowa struktura wzmacniacza	219
9.3.3. Wzmocnienie wzmacniacza	220
9.3.4. Wzmacniacz jednostopniowy szerokopasmowy	222
9.4. Wzmacniacz tranzystorowy dwustopniowy	223
9.4.1. Podstawowa struktura wzmacniacza	223
9.4.2. Rola obwodów wzmacniacza	224
9.5. Tranzystorowe wzmacniacze mocy	224
9.5.1. Charakterystyki tranzystora mocy	224
9.5.2. Praca w klasie A, AB, B i C	226
9.5.3. Kształt impulsu a harmoniczne	227
9.5.4. Sprawność wzmacniacza mocy	229
9.6. Szumy wzmacniaczy tranzystorowych	230
9.7. Zestawienie parametrów wzmacniaczy tranzystorowych	230
9.8. Podsumowanie	231
10. Generacja i generatory mikrofalowe	233
10.1. Wprowadzenie	233
10.2. Warunki generacji	233
10.2.1. Struktura i elementy generatora	233
10.2.2. Admitancyjny warunek generacji	235
10.2.3. Reflektancyjny warunek generacji	238
10.2.4. Generator w układzie transmisyjnym	239
10.3. Tranzystor w obwodzie aktywnym generatora	241
10.3.1. Struktura obwodu aktywnego	241
10.3.2. Grzbiet oscylacyjny tranzystora	242
10.3.3. Techniki przestrajania oscylatorów	244
10.4. Generator z waraktorem	245
10.4.1. Obwód rezonansowy z diodą waraktorową	245
10.4.2. Oscylator przestrajany waraktorem	247
10.5. Generator z rezonatorem ferrimagnetycznym	248
10.6. Generator z rezonatorem dielektrycznym	248
10.7. Stabilizacja i synteza częstotliwości	249
10.8. Podsumowanie	251
11. Detekcja i przemiana częstotliwości	253
11.1. Wprowadzenie	253
11.2. Detektor diodowy	253
11.2.1. Obwód z rezystorem nieliniowym	253
11.2.2. Proces detekcji z diodą Schottky'ego	255
11.2.3. Parametry detektora diodowego	257

11.3. Mieszacz diodowy	259
11.3.1. Obwód z rezystorem nieliniowym i dwoma źródłami	259
11.3.2. Produkty przemiany częstotliwości	260
11.3.3. Schemat ideowy i działanie mieszacza	261
11.3.4. Parametry mieszacza	263
11.3.5. Produkty intermodulacji	266
11.4. Obwody mieszaczy	268
11.4.1. Mieszacze zrównoważone	268
11.4.2. Mieszacze tranzystorowe	269
11.5. Podsumowanie	270
12. Modulacja i demodulacja sygnału	271
12.1. Wprowadzenie	271
12.2. Sygnały analogowe i cyfrowe	272
12.2.1. Sygnały okresowe	272
12.2.2. Sygnały analogowe i cyfrowe	274
12.2.3. Przetworniki analog-cyfra ADC i cyfra-analog DAC	276
12.3. Modulacja analogowa	278
12.3.1. Podstawowe definicje	278
12.3.2. Analogowa modulacja amplitudy	278
12.3.3. Analogowa modulacja częstotliwości	281
12.3.4. Analogowa modulacja fazy	284
12.3.5. Modulatory i demodulatory analogowe	286
12.4. Modulacja cyfrowa	290
12.4.1. Podstawowe pojęcia	290
12.4.2. Cyfrowa modulacja amplitudy – ASK	291
12.4.3. Cyfrowa modulacja częstotliwości – FSK	293
12.4.4. Cyfrowa modulacja fazy – PSK	294
12.4.5. Cyfrowa modulacja QAM	295
12.5. Podsumowanie	299
13. Radiolinie	301
13.1. Wprowadzenie	301
13.2. Warunki propagacji fal	301
13.2.1. Propagacja fal w atmosferze	301
13.2.2. Tłumienie fal w troposferze	304
13.3. Radiolinia	306
13.3.1. Systemy radiolinii	306
13.3.2. Równanie transmisji mocy	307
13.3.3. Radiolinia – nadajnik i odbiornik	308
13.3.4. Radiolinia – transponder	311
13.4. Szumy w układach odbiorników	312
13.4.1. Ogólne uwagi o szumach	312
13.4.2. Szumy termiczne	313
13.4.3. Parametry szumowe dwuwrotnika	315
13.4.4. Parametry szumowe obwodów odbiornika	317
13.4.5. Szumy odbierane przez antenę	320
13.5. Multipleksacja	321

13.5.1. Multipleksacja z modulacją QAM	321
13.5.2. Multipleksacja z podziałem częstotliwości	323
13.5.3. Multipleksacja na podnośnych	325
13.5.4. Multipleksacja z podziałem czasu	326
13.6. Podsumowanie	329
14. Systemy radiokomunikacji	331
14.1. Wprowadzenie	331
14.2. Telefonía komórkowa – telekomunikacja mobilna	331
14.2.1. System telefonii komórkowej	331
14.2.2. Kolejne generacje telefonii komórkowej	335
14.3. Telewizja kablowa	337
14.4. Radiokomunikacja satelitarna	339
14.5. Sieć telekomunikacyjna	344
14.6. Radionawigacja	345
14.6.1. Hiperboliczny system radionawigacji	345
14.6.2. Satelitarny system radionawigacji	346
14.7. Radary	349
14.7.1. Zasada działania radaru	349
14.7.2. Radar dopplerowski	351
14.8. Radioastronomia	352
14.9. Podsumowanie	355
15. Zadania i problemy	357
15.1. Wprowadzenie	357
15.2. Linia długa i przewodnice falowe	357
15.2.1. Zadania rozwiązane i zadania do rozwiązania	357
15.2.2. Pytania i problemy	366
15.3. Wykres Smitha i dopasowanie impedancji	366
15.3.1. Zadania rozwiązane i zadania do rozwiązania	366
15.3.2. Pytania i problemy	373
15.4. Dwuwrotniki i rezonatory mikrofalowe	373
15.4.1. Zadania rozwiązane i zadania do rozwiązania	373
15.4.2. Pytania i problemy	381
15.5. Radiolinie	381
15.5.1. Zadania rozwiązane i zadania do rozwiązania	381
15.5.2. Pytania i problemy	389
15.6. Podsumowanie	390
Bibliografia książek i stron internetowych	391
O Autorze	393