

SPIS TREŚCI

Wykaz najważniejszych oznaczeń i symboli
Zestawienie najważniejszych jednostek

CZĘŚĆ I. OBWODY PRĄDU STAŁEGO I OKRESOWEGO

1. Wiadomości podstawowe	19
1.1. Układ jednostek SI	19
1.1.1. Jednostki podstawowe i pochodne	19
1.1.2. Określenia jednostek podstawowych i uzupełniających	20
1.1.3. Jednostki główne i pokrewne	21
1.1.4. Niektóre jednostki stosowane w elektrotechnice	22
1.2. Sposoby pisania równań	24
1.2.1. Równania wielkościowe	24
1.2.2. Równania liczbowe	24
1.3. Pojęcia podstawowe	25
1.3.1. Uwagi ogólne	25
1.3.2. Wymuszenie i odpowiedź	26
1.3.3. Zwroty prądów i napięć	27
1.4. Układy liniowe i nieliniowe	28
1.5. Podstawowe właściwości obwodów elektrycznych	29
1.5.1. Uwagi ogólne	29
1.5.2. Podstawowe właściwości topologiczne	30
1.5.3. Liczba oczek obwodu	31
2. Liniowe obwody prądu stałego	32
2.1. I prawo Kirchhoffa	32
2.1.1. Sformułowanie I prawa Kirchhoffa	32
2.1.2. Rozgałęzienie prądów w połączeniu równoległym dwóch oporników	33
2.1.3. Uogólnione I prawo Kirchhoffa	33
2.1.4. Węzeł niezależny i zależny obwodu	33
2.2. Źródła energii	34
2.2.1. Źródło napięcia	34
2.2.2. Źródło prądu	36
2.3. II prawo Kirchhoffa	37
2.4. Moc w obwodach elektrycznych	41
2.4.1. Bilans mocy. Sprawność	41
2.4.2. Dopasowanie odbiornika do źródła	42

2.5. Połączenie równoległe dwóch źródeł napięcia	42
2.6. Obwody liniowe. Zasada superpozycji	44
2.6.1. Równania obwodu liniowego	44
2.6.2. Zastosowanie zasady superpozycji	44
2.7. Zastosowanie praw Kirchhoffa do obliczania obwodów elektrycznych	46
2.8. Metoda prądów oczkowych	48
2.9. Twierdzenie o wzajemności	52
2.10. Metoda potencjałów węzłowych	53
2.11. Układy równoważne	57
2.12. Przekształcenie wielopromieniowej gwiazdy na wielobok zupełny	58
2.13. Przekształcanie układów gwiazdowych i trójkątowych	59
2.13.1. Zamiana połączenia gwiazdowego na trójkątowe	59
2.13.2. Zamiana połączenia trójkątowego na gwiazdowe	60
2.13.3. Obliczanie rozpręgu prądów za pomocą przekształcania układów	61
2.14. Twierdzenie Thevenina	63
2.15. Twierdzenie Nortona	67
 3. Wiadomości podstawowe o prądach zmiennych	 69
3.1. Pojęcia podstawowe	69
3.2. Pasywne elementy idealne	70
3.2.1. Uwagi ogólne	70
3.2.2. Opornik idealny	71
3.2.3. Cewka idealna	71
3.2.4. Kondensator idealny	72
3.3. Moc i energia	73
3.3.1. Moc chwilowa	73
3.3.2. Moc i energia elementów idealnych	73
3.3.3. Moc czynna prądu okresowego	74
3.4. Wartość skuteczna prądów i napięć okresowych	75
3.5. Źródła energii	76
3.5.1. Źródła idealne	76
3.5.2. Źródła rzeczywiste	76
3.5.3. Źródła sterowane	77
3.6. Prawa Kirchhoffa	79
3.7. Równania oczkowe	80
3.7.1. Ogólna metoda postępowania	80
3.7.2. Obwody zawierające źródło prądu	82
3.7.3. Obwody zawierające źródła sterowane	83
3.8. Równania węzłowe	83
3.9. Obwody dualne	85
3.9.1. Uwagi ogólne	85
3.9.2. Wyznaczanie obwodów dualnych	86
 4. Prądy i napięcia sinusoidalne	 88
4.1. Wiadomości podstawowe	88
4.1.1. Określenia podstawowe	88
4.1.2. Kąt przesunięcia fazowego	90
4.1.3. Wartość skuteczna prądu sinusoidalnego	90
4.2. Opornik idealny w obwodzie prądu sinusoidalnego	91
4.3. Cewka idealna w obwodzie prądu sinusoidalnego	92
4.4. Kondensator idealny w obwodzie prądu sinusoidalnego	94
4.5. Połączenie szeregowe elementów R, L, C	96
4.6. Połączenie równoległe elementów R, L, C	99
4.7. Moc w obwodach prądu sinusoidalnego	102

4.7.1. Moc czynna	102
4.7.2. Moc bierna i pozorna	103
4.7.3. Prąd czynny i bierny	105
5. Podstawy metody liczb zespolonych i wykresy wskazowe	106
5.1. Przedstawianie wielkości sinusoidalnych za pomocą liczb zespolonych	106
5.1.1. Liczby zespolone	106
5.1.2. Wartość zespolona napięcia i prądu	107
5.2. Wykresy wskazowe (wektorowe)	108
5.2.1. Wskazy wirujące	108
5.2.2. Wskazy nieruchome	109
5.2.3. Podstawowe właściwości wykresów wskazowych	110
5.3. Prawa Kirchhoffa w postaci zespolonej	111
5.3.1. Zależności podstawowe	111
5.3.2. Pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa	112
6. Liniowe obwody prądu sinusoidalnego	114
6.1. Równania zespolone elementów idealnych	114
6.1.1. Opornik idealny	114
6.1.2. Cewka idealna	115
6.1.3. Kondensator idealny	116
6.1.4. Przejście od równań dla wartości chwilowych do równań zespolonych	118
6.2. Prawo Ohma w postaci zespolonej	118
6.2.1. Impedancja	118
6.2.2. Admitancja	120
6.2.3. Zależności między rezystancją i reaktancją a konduktancją i susceptancją	122
6.3. Połączenia dwójników	123
6.3.1. Połączenie szeregowe	123
6.3.2. Połączenie równoległe	124
6.3.3. Układ drabinkowy	125
6.4. Połączenie szeregowe i równoległe elementów R, L, C	127
6.4.1. Połączenie szeregowe R, L, C	127
6.4.2. Przypadki szczególne	129
6.4.3. Połączenie równoległe R, L, C	130
6.4.4. Kondensator ze stratami	131
6.5. Moc zespolona	134
6.6. Źródła napięcia i prądu	137
6.7. Metody analizy liniowych obwodów prądu sinusoidalnego	137
6.7.1. Metoda praw Kirchhoffa	137
6.7.2. Zasada superpozycji	139
6.7.3. Metoda prądów oczkowych	140
6.7.4. Metoda potencjałów węzłowych	142
6.8. Układy równowazne	145
6.8.1. Zależności podstawowe	145
6.8.2. Przekształcenie trójkąt-gwiazda	145
6.9. Twierdzenie Thevenina i Nortona	146
6.9.1. Twierdzenie Thevenina	146
6.9.2. Twierdzenie Nortona	149
6.10. Przykłady zastosowań	150
6.10.1. Układ Hummela	150
6.10.2. Mostek Wheatstone'a prądu sinusoidalnego	152
6.10.3. Mostek Boucherota	154
6.10.4. Strata i spadek napięcia	155
6.10.5. Poprawianie współczynnika mocy [kompensacja mocy biernej]	157
6.10.6. Dopasowanie odbiornika do źródła przy prądzie sinusoidalnym	158

7. Obwody zawierające cewki magnetycznie sprzężone	161
7.1. Cewki magnetycznie sprzężone	161
7.1.1. Zależności podstawowe	161
7.1.2. Znak indukcyjności wzajemnej	162
7.1.3. Kilka cewek magnetycznie sprzężonych	164
7.2. Prawa Kirchhoffa dla obwodów zawierających cewki magnetycznie sprzężone	164
7.2.1. Prawa Kirchhoffa dla wartości chwilowych	164
7.2.2. Prawa Kirchhoffa w postaci zespolonej	166
7.3. Połączenie szeregowe i równoległe cewek magnetycznie sprzężonych	167
7.3.1. Połączenie szeregowe	167
7.3.2. Połączenie równoległe	168
7.4. Transformator bezrdzeniowy	169
7.4.1. Równania i schemat zastępczy	169
7.4.2. Impedancja wejściowa	171
7.4.3. Bilans mocy	172
7.4.4. Transformator idealny	172
8. Rezonans w obwodach elektrycznych	174
8.1. Wiadomości podstawowe	174
8.2. Rezonans napięć w połączeniu szeregowym elementów R, L, C	175
8.2.1. Zależności podstawowe	175
8.2.2. Zjawiska energetyczne	176
8.2.3. Rozstrojenie bezwzględne i względne	177
8.2.4. Szerokość pasma przepuszczania	178
8.2.5. Napięcie na cewce i kondensatorze	180
8.3. Rezonans prądów w połączeniu równoległym elementów R, L, C	182
8.3.1. Zależności podstawowe	182
8.3.2. Rozstrojenie bezwzględne i względne	182
8.4. Rezonans prądów w układach złożonych	184
8.4.1. Dwójnik zawierający trzy elementy	184
8.4.2. Dwójnik zawierający cztery elementy	185
8.5. Charakterystyki częstotliwościowe dwójników reaktancyjnych	186
8.5.1. Określenie charakterystyki częstotliwościowej	186
8.5.2. Charakterystyki częstotliwościowe cewki i kondensatora	187
8.5.3. Charakterystyki częstotliwościowe połączenia szeregowego i równoległego cewki i kondensatora	187
8.5.4. Podstawowe właściwości charakterystyk częstotliwościowych	189
9. Układy trójfazowe i wielofazowe	191
9.1. Określenie i podstawowe właściwości układów trójfazowych	191
9.2. Podstawowe zależności i pojęcia dotyczące układów trójfazowych	193
9.2.1. Połączenie gwiazdowe	193
9.2.2. Połączenie trójkątowe	195
9.3. Obliczanie układów trójfazowych	195
9.4. Symetryczne układy trójfazowe	197
9.4.1. Połączenie gwiazdowe	197
9.4.2. Połączenie trójkątowe	200
9.5. Moc układów trójfazowych	203
9.5.1. Moc czynna i bierna	203
9.5.2. Moc chwilowa symetrycznego układu trójfazowego	205
9.6. Pomiar mocy układów trójfazowych	206
9.6.1. Układy symetryczne	206
9.6.2. Układy niesymetryczne	207
9.7. Symetryczne układy wielofazowe	209
9.7.1. Zależności podstawowe	209

9.7.2. Połączenie gwiazdowe	210
9.7.3. Połączenie wielokątowe	211
9.8. Moc symetrycznych układów wielofazowych	212
9.8.1. Moc czynna i bierna	212
9.8.2. Moc chwilowa	212
9.9. Niesymetryczny układ dwufazowy	213
10. Składowe symetryczne	215
10.1. Zależności podstawowe	215
10.2. Filtry składowych symetrycznych	217
10.2.1. Filtry składowej zerowej	217
10.2.2. Filtry składowej zgodnej i przeciwnej prądu	218
10.2.3. Filtry składowej zgodnej i przeciwnej napięcia	219
10.3. Moc w metodzie składowych symetrycznych	221
10.4. Impedancje układów trójfazowych	222
10.4.1. Zależności podstawowe	222
10.4.2. Sieci dla składowych symetrycznych	223
10.5. Obliczanie prądów i napięć w przypadku asymetrii poprzecznej	224
10.5.1. Zależności podstawowe	224
10.5.2. Jednoprzewodowe zwarcie doziemne	227
10.5.3. Zwarcie dwuprzewodowe	228
10.5.4. Doziemne zwarcie dwóch przewodów	229
10.6. Obliczanie prądów i napięć w przypadku asymetrii podłużnej	231
10.6.1. Zależności podstawowe	231
10.6.2. Przerwa w jednym przewodzie	232
10.6.3. Przerwa w dwóch przewodach	233
11. Czwórnik i filtry	235
11.1. Podstawowe określenia	235
11.2. Równania czwornika pasywnego	236
11.2.1. Równanie admitancyjne	236
11.2.2. Równanie impedancyjne	238
11.2.3. Równanie łańcuchowe	240
11.2.4. Równania mieszane	241
11.2.5. Zależność równań czwornika od zwrotu prądu wyjściowego	242
11.3. Czwórnik odwracalny i symetryczny	243
11.3.1. Czwórnik odwracalny	243
11.3.2. Zmiana strony zasilania czwornika	245
11.3.3. Czwórnik symetryczny	246
11.4. Parametry falowe czwornika symetrycznego	247
11.4.1. Impedancja falowa	247
11.4.2. Stała przenoszenia	248
11.4.3. Przekładnia mocy	249
11.5. Równania łańcuchowe czwornika symetrycznego zawierające funkcje hiperboliczne	249
11.6. Stan jałowy i stan zwarcia czwornika symetrycznego	251
11.7. Czwórnik T, II, X	252
11.7.1. Czwórnik T	252
11.7.2. Czwórnik II	254
11.7.3. Symetryczny czwórnik X	255
11.8. Połączenie łańcuchowe	257
11.8.1. Zależności podstawowe	257
11.8.2. Czwórnik symetryczny	260
11.9. Połączenie szeregowo i równoległe czworników	260
11.9.1. Połączenie szeregowo	260
11.9.2. Połączenie równoległe	263

11.9.3. Połączenie szeregowo-równoległe	265
11.9.4. Połączenie równoległo-szeregowe	266
11.10. Określenie i klasyfikacja filtrów elektrycznych	266
11.11. Właściwości podstawowe filtrów reaktancyjnych	267
11.11.1. Zależności podstawowe	267
11.11.2. Wyznaczanie zakresów przepuszczania i tłumienia	268
11.12. Przykłady filtrów reaktancyjnych	270
11.12.1. Filtr dolnoprzepustowy	270
11.12.2. Filtr górnoprzepustowy	271
11.12.3. Filtr pasmowy	273
11.13. Filtry RC	274
12. Krzywe wskazowe (wektorowe)	277
12.1. Uwagi ogólne	277
12.2. Przekształcenie $1/z$	278
12.3. Przekształcenie okręgu i prostej	279
12.3.1. Przekształcenie okręgu nie przechodzącego przez początek układu współrzędnych	279
12.3.2. Przekształcenie okręgu przechodzącego przez początek układu współrzędnych	280
12.3.3. Przykłady	282
12.4. Równania podstawowych krzywych wskazowych	283
12.5. Wykresy kołowe o postaci $\frac{A+kB}{C+kD}$	284
13. Okresowe prądy niesinusoidalne	287
13.1. Uwagi ogólne	287
13.2. Szereg Fouriera	287
13.3. Analiza harmoniczna	289
13.4. Symetryczne krzywe okresowe	290
13.4.1. Funkcje nieparzyste	290
13.4.2. Funkcje parzyste	291
13.4.3. Funkcje o odwrotnej zgodności półokresów	291
13.4.4. Jednoczesne występowanie dwóch symetrii	293
13.5. Wartości średnie i skuteczne	295
13.5.1. Wartości średnie	295
13.5.2. Wartość skuteczna	296
13.6. Obwody liniowe zasilane okresowymi napięciami niesinusoidalnymi	298
13.7. Rezonans przy okresowych prądach niesinusoidalnych	300
13.8. Wpływ indukcyjności i pojemności na wyższe harmoniczne prądu i napięcia	302
13.9. Moc okresowych prądów niesinusoidalnych	303
13.9.1. Moc czynna	303
13.9.2. Moc bierna i pozorna	304
13.10. Współczynnik szczytu i kształtu	305
13.10.1. Określenia	305
13.10.2. Siła elektromotoryczna indukowana w cewce	306
13.11. Wyższe harmoniczne w układach trójfazowych	307
13.11.1. Zależności podstawowe	307
13.11.2. Układy gwiazdowe	308
13.11.3. Układy trójkątowe	309
13.12. Szereg Fouriera w postaci zespolonej	309
14. Linia długa	312
14.1. Wiadomości podstawowe	312
14.2. Równania telegrafistów	313
14.3. Równania linii długiej	314
14.4. Parametry falowe linii długiej	316
14.5. Zjawiska falowe w linii długiej	317

14.5.1. Fala pierwotna i odbita	317
14.5.2. Prędkość fali w linii bez strat	319
14.6. Odbicie fal na końcu linii długiej	321
14.7. Linia nieodkształcająca	323
14.8. Linia bez strat	324
14.8.1. Zależności podstawowe	324
14.8.2. Stan jałowy linii	325
14.8.3. Stan zwarcia linii	326
14.8.4. Linia obciążona reaktancją	328
14.9. Impedancja wejściowa linii długiej	328

CZĘŚĆ II. STANY NIEUSTALONE 331

15. Stany nieustalone	331
15.1. Pojęcia podstawowe	331
15.1.1. Składowe przejściowe i ustalone	331
15.1.2. Równania różniczkowe dla składowych	332
15.1.3. Wymuszenie i odpowiedź w stanie nieustalonym	334
15.1.4. Równania ciągłości	335
15.2. Obwody zawierające szeregowe połączenie elementów R, L	335
15.2.1. Wzór Helmholtza	335
15.2.2. Włączenie napięcia stałego	337
15.2.3. Zwarcie gałęzi	338
15.2.4. Zmiana rezystancji	339
15.2.5. Włączenie napięcia sinusoidalnego	340
15.3. Obwody zawierające szeregowe połączenie elementów R, C	342
15.3.1. Wzór Helmholtza	342
15.3.2. Ładowanie kondensatora	343
15.3.3. Wyladowanie kondensatora	345
15.3.4. Włączenie napięcia sinusoidalnego	347
15.4. Stany nieustalone w szeregowym połączeniu elementów R, L, C	349
15.5. Szeregowe połączenie elementów R, L, C zasilane napięciem stałym	353
15.5.1. Wyladowanie kondensatora	353
15.5.2. Ładowanie kondensatora	356
15.6. Szeregowe połączenie elementów R, L, C zasilane napięciem sinusoidalnym	359
15.7. Stany nieustalone w obwodach rozgałęzionych	360
16. Zastosowanie przekształcenia Laplace'a do analizy stanów nieustalonych	365
16.1. Uwagi ogólne	365
16.2. Podstawowe wzory i twierdzenia	366
16.3. Obliczanie przekształcenia odwrotnego	369
16.3.1. Twierdzenie o rozkładzie	369
16.3.2. Wzór Heaviside'a	370
16.3.3. Pierwiastki zespolone	371
16.3.4. Pierwiastki wielokrotne	372
16.4. Impedancja i admitancja operatorowa	373
16.4.1. Impedancja dwójnika	373
16.4.2. Admitancja operatorowa	476
16.4.3. Układ drabinkowy	377
16.5. Prawo Ohma w postaci operatorowej	377
16.6. Prawa Kirchhoffa w postaci operatorowej	381
16.6.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa	381
16.6.2. Drugie prawo Kirchhoffa	382

16.6.3. Obwody nie zawierające cewek magnetycznie sprzężonych	382
16.6.4. Schemat zastępczy obwodu z niezerowymi warunkami początkowymi	387
16.6.5. Obwody zawierające cewki magnetycznie sprzężone	388
16.7. Twierdzenie Thevenina	389
16.8. Twierdzenie Nortona	393
16.9. Funkcja impulsowa	395
16.9.1. Zakłócenie równań ciągłości	395
16.9.2. Funkcja impulsowa Diraca	397
16.10. Równania oczkowe i węzłowe w postaci operatorowej	401
16.10.1. Równania oczkowe	401
16.10.2. Równania węzłowe	403
17. Analiza stanów nieustalonych w liniach długich	405
17.1. Wstęp	405
17.2. Równania linii długiej w postaci operatorowej	405
17.2.1. Zależności podstawowe	405
17.2.2. Włączenie napięcia do linii o długości nieskończonej	407
17.2.3. Włączenie napięcia do linii o długości skończonej	408
17.2.4. Linia długa obciążona falowo	409
17.3. Włączenie napięcia do linii bez strat o długości nieskończonej	409
17.3.1. Zależności podstawowe	409
17.3.2. Włączenie napięcia zmiennego	410
17.3.3. Włączenie napięcia zmiennego przez opornik	411
17.4. Włączenie napięcia do linii bez strat o długości skończonej	412
17.4.1. Włączenie napięcia stałego do linii w stanie jałowym	412
17.4.2. Włączenie napięcia sinusoidalnego do linii w stanie zwarcia	416
17.5. Włączenie napięcia do linii nieodkształcającej	418
17.5.1. Uwagi ogólne	418
17.5.2. Linia o długości nieskończonej	419
17.6. Linia Kelvina	420
17.6.1. Uwagi ogólne	420
17.6.2. Włączenie napięcia stałego do linii o długości nieskończonej	420
17.6.3. Włączenie napięcia stałego w stanie zwarcia	421
18. Funkcje charakteryzujące liniowe obwody elektryczne	424
18.1. Wstęp	424
18.2. Określenie transmitancji	424
18.3. Transmitancje obwodu elektrycznego	426
18.3.1. Dwójniki	426
18.3.2. Czwórniki	427
18.3.3. Podstawowe właściwości transmitancji	429
18.4. Odpowiedź przejściowa i ustalona	431
18.5. Stabilność układów liniowych	432
18.5.1. Konieczny i dostateczny warunek stabilności	432
18.5.2. Równanie charakterystyczne	435
18.6. Bieguny i zera transmitancji	436
18.7. Odpowiedź jednostkowa i impulsowa	438
18.7.1. Odpowiedź jednostkowa	438
18.7.2. Odpowiedź impulsowa	441
18.7.3. Zależność między odpowiedzią impulsową a jednostkową	444
18.8. Wymuszenie wykładnicze	445
18.8.1. Sygnał wykładniczy	445
18.8.2. Odpowiedź ustalona układu na wymuszenie wykładnicze	446
18.9. Transmitancja widmowa	447
18.9.1. Zależności podstawowe	447
18.9.2. Wyznaczanie transmitancji widmowej na podstawie rozkładu biegunów i zer	448

18.10. Charakterystyki częstotliwościowe	449
18.10.1. Zależności podstawowe	449
18.10.2. Charakterystyka amplitudowo-fazowa	451
18.11. Wzór całkowity dla odpowiedzi jednostkowej	453
18.11.1. Zależności podstawowe	453
18.11.2. Wzór przybliżony	456
18.12. Wzór całkowity dla odpowiedzi na wymuszenie sinusoidalne	459
18.12.1. Zależności podstawowe	459
18.12.2. Odpowiedź układu na wymuszenie $A \sin \omega_0 t$	460
18.12.3. Odpowiedź układu na wymuszenie $A \cos \omega_0 t$	463
18.12.4. Wzór przybliżony	464
 19. Schematy blokowe. Grafy sygnałowe	467
19.1. Wstęp	467
19.2. Schematy blokowe	467
19.2.1. Pojęcia podstawowe	467
19.2.2. Połączenie łańcuchowe i równoległe	470
19.3. Sprzężenie zwrotne	471
19.3.1. Zależności podstawowe	471
19.3.2. Dodatnie i ujemne sprzężenie zwrotne	473
19.4. Przekształcanie schematów blokowych	474
19.5. Grafy sygnałowe	479
19.5.1. Uwagi ogólne	479
19.5.2. Pojęcia podstawowe	479
19.6. Wyznaczanie grafów sygnałowych	481
19.7. Przekształcanie grafów sygnałowych	484
19.8. Wzór dla transmitancji grafu sygnałowego	488
 20. Elementy analizy macierzowej obwodów	490
20.1. Wstęp	490
20.2. Prawa Kirchhoffa w postaci macierzowej	490
20.2.1. Uwagi ogólne	490
20.2.2. Pierwsze prawo Kirchhoffa	491
20.2.3. Drugie prawo Kirchhoffa	493
20.2.4. Zależności między macierzami łączącymi	595
20.3. Macierze impedancji i admitancji gałęziowych	496
20.3.1. Macierz impedancji gałęziowych	496
20.3.2. Macierz admitancji gałęziowych	498
20.4. Równania oczkowe i węzłowe w postaci macierzowej	499
20.4.1. Równania oczkowe	499
20.4.2. Równania węzłowe	501
20.5. Równania stanu	501
20.6. Jednorodne równanie stanu	503
20.6.1. Rozwiązanie jednorodnego równania stanu	503
20.6.2. Wzór Sylwestera	505
20.6.3. Przykład jednorodnego równania stanu	506
20.7. Rozwiązanie równania stanu	507
20.7.1. Rozwiązanie ogólne	507
20.7.2. Macierz tranzycyjna	509
20.7.3. Zastosowanie maszyn matematycznych	510
 21. Synteza dwójników pasywnych	512
21.1. Wstęp	512
21.2. Funkcje energetyczne	513
21.3. Funkcje rzeczywiste dodatnie	517

21.3.1. Określenie funkcji rzeczywistej dodatniej	517
21.3.2. Właściwości funkcji rzeczywistych dodatnich	518
21.4. Dwójniki reaktancyjne	519
21.4.1. Zależności podstawowe	519
21.4.2. Własności funkcji reaktancyjnej	522
21.5. Dwójniki RC i RL	523
21.5.1. Impedancja dwójników RC i admitancja dwójników RL	523
21.5.2. Impedancja dwójników RL i admitancja dwójników RC	525
21.6. Dwójniki RLC	528
21.6.1. Metoda kolejnego wyodrębniania biegunów i zer	528
21.6.2. Metoda rozkładu na ułamek łańcuchowy	531
22. Zastosowanie przekształcenia Fouriera	534
22.1. Przekształcenie Fouriera. Gęstość widmowa	534
22.2. Podstawowe wzory i twierdzenia	535
22.2.1. Uwagi ogólne	535
22.2.2. Twierdzenie o liniowości	536
22.2.3. Twierdzenie o zmianie znaku zmiennej	536
22.2.4. Twierdzenie o podobieństwie	536
22.2.5. Twierdzenie o przesunięciu	537
22.2.6. Twierdzenie o opóźnieniu	537
22.2.7. Przekształcanie pochodnych	537
22.2.8. Przekształcanie całki	538
22.2.9. Twierdzenie o pochodnej gęstości widmowej	538
22.2.10. Twierdzenie o splocie	539
22.2.11. Wzór Parsewala	540
22.2.12. Przekształcenie funkcji impulsowej Diraca	541
22.3. Przykłady obliczania gęstości widmowej	542
22.4. Przekształcenie odwrotne	547
22.4.1. Uwagi ogólne	547
22.4.2. Obliczanie przekształcenia odwrotnego za pomocą residuów	547
22.4.3. Wzór całkowy	549
22.5. Obliczanie odpowiedzi układów liniowych	550
22.6. Gęstość widmowa funkcji okresowych	553

CZĘŚĆ III. OBWODY NIELINIOWE 555

23. Obwody nieliniowe prądu stałego	555
23.1. Uwagi ogólne	555
23.2. Szeregowe połączenie elementów nieliniowych	556
23.3. Równoległe połączenie elementów nieliniowych	557
23.4. Obwody zawierające jeden element nieliniowy	558
24. Obwody nieliniowe prądu okresowego	560
24.1. Pojęcia podstawowe	560
24.1.1. Charakterystyki elementów nieliniowych	560
24.1.2. Odształcanie wielkości sinusoidalnych	562
24.1.3. Uwagi ogólne	563
24.2. Elementy warunkowo-nieliniowe	563
24.3. Aproksymacja charakterystyk nieliniowych	564
24.3.1. Uwagi ogólne	564
24.3.2. Aproksymacja za pomocą wielomianu	564
24.3.3. Aproksymacja za pomocą funkcji wykładniczej	566

24.4. Metoda graficzno-analityczna rozwinięcia w szereg Fouriera	567
24.4.1. Uwagi ogólne	567
24.4.2. Metoda trzech rzędnych	567
24.4.3. Metoda pięciu rzędnych	568
24.5. Parametry statyczne i dynamiczne	568
24.5.1. Opór statyczny	568
24.5.2. Opór dynamiczny	569
24.5.3. Parametry statyczne i dynamiczne cewki i kondensatora	572
24.6. Cewka z rdzeniem stalowym	573
24.6.1. Uwagi ogólne	573
24.6.2. Odkształcenie prądu w uzwojeniu cewki	573
24.6.3. Wpływ strat w rdzeniu	576
24.6.4. Równania i schemat zastępczy cewki z rdzeniem stalowym	577
24.7. Transformator z rdzeniem stalowym	580
24.7.1. Zależności podstawowe	580
24.7.2. Równania i schemat zastępczy transformatora	584
24.8. Ferrerezonans napięć i prądów	587
24.8.1. Ferrerezonans napięć	587
24.8.2. Ferrerezonans prądów	589
24.8.3. Stabilizacja napięcia	590
24.9. Potrojenie częstotliwości	592
24.9.1. Układ zawierający trzy cewki nieliniowe	592
24.9.2. Układ zawierający trzy transformatory	592
24.10. Cewka z rdzeniem stalowym zasilana prądem stałym i zmiennym	594
24.11. Podwojenie częstotliwości	595
24.12. Prostowanie prądu sinusoidalnego	598
24.12.1. Zależności podstawowe	598
24.12.2. Prostowanie półfalowe (jednopołówkowe)	599
24.12.3. Prostowanie całofalowe (dwupołówkowe)	600
24.13. Obwody zawierające prostowniki i kondensator	601
24.13.1. Obwód zawierający jeden prostownik	601
24.13.2. Obwód zawierający dwa prostowniki	603
24.14. Obwody zawierające prostowniki i cewkę	603
24.14.1. Obwód zawierający jeden prostownik	603
24.14.2. Obwód zawierający dwa prostowniki	605
24.15. Obwody zasilane napięciem stałym i sinusoidalnym	606
24.16. Drgania relaksacyjne	607
25. Analiza obwodów nieliniowych	609
25.1. Wstęp	609
25.2. Metoda linearyzacji jednoodcinkowej	610
25.2.1. Uwagi ogólne	610
25.2.2. Obwód zasilany napięciem stałym	610
25.2.3. Obwód zasilany napięciem sinusoidalnym	612
25.3. Metoda linearyzacji wieloodcinkowej	613
25.4. Metoda aproksymacji analitycznej	616
25.5. Metoda „krok po kroku”	619
25.6. Metoda całkowania graficznego	621
25.7. Metoda Preismana	622
25.8. Płaszczyzna fazowa	623
25.8.1. Określenie płaszczyzny fazowej i trajektorii fazowej	623
25.8.2. Podstawowe własności trajektorii fazowych	625
25.8.3. Cykl graniczny	627
25.9. Metoda bilansu harmoniczných	628
25.9.1. Uwagi ogólne	628

25.9.2. Przybliżone rozwiązanie równania Duffinga	628
25.9.3. Zmiany skokowe amplitudy drgań	630
25.10. Metoda małego parametru	631
25.10.1. Uwagi ogólne	631
25.10.2. Przykład równania jednorodnego	632
25.10.3. Przykład równania niejednorodnego	635
25.10.4. Podharmoniczne	637
25.11. Metoda pierwszej harmonicznej	638
Tablice przekształceń Laplace'a	641
Literatura	645