
Spis treści

Wykaz oznaczeń.....	17
Uwagi prawne	19
Dedykacja	20
Wstęp.....	21
Przedmowa	23
1. Miejsce wzmacniacza operacyjnego na świecie	25
1.1. Problem.....	25
1.2. Rozwiązanie	26
1.3. Narodziny wzmacniacza operacyjnego.....	27
1.4. Era lamp elektronowych.....	27
1.5. Era tranzystorów.....	28
1.6. Era układów scalonych	28
2. Przegląd teorii obwodów	31
2.1. Wprowadzenie	31
2.2. Prawa fizyki	32
2.3. Reguła dzielnika napięcia.....	33
2.4. Reguła dzielnika prądu	34
2.5. Twierdzenie Thevenina	35
2.6. Zasada superpozycji	38
2.7. Tranzystor w układzie nasyconym.....	39
2.8. Wzmacniacz tranzystorowy	40
3. Idealny wzmacniacz operacyjny	43
3.1. Założenia dla idealnego wzmacniacza operacyjnego	43
3.2. Wzmacniacz nieodwracający	45
3.3. Wzmacniacz odwracający	46

3.4.	Sumator.....	47
3.5.	Wzmacniacz różnicowy	48
3.6.	Złożone obwody sprzężenia zwrotnego	49
3.7.	Wzmacniacze wizyjne.....	50
3.8.	Kondensatory	51
3.9.	Dlaczego idealny wzmacniacz operacyjny mógłby zniszczyć świat	53
3.10.	Podsumowanie.....	54
4.	Projektowanie układów ze wzmacniaczami jednonapięciowymi.....	55
4.1.	Porównanie pojedynczego i podwójnego zasilania	55
4.2.	Analiza obwodu	58
4.3.	Układ równań	62
4.3.1.	Przypadek 1. $U_{OUT} = +mU_{IN} + b$	63
4.3.2.	Przypadek 2. $U_{OUT} = +mU_{IN} - b$	67
4.3.3.	Przypadek 3. $U_{OUT} = -mU_{IN} + b$	69
4.3.4.	Przypadek 4. $U_{OUT} = -mU_{IN} - b$	71
4.4.	Podsumowanie.....	74
5.	Inne konfiguracje	75
5.1.	Kontinuum zastosowań	75
5.2.	Tłumik nieodwracający o zerowym przesunięciu poziomym	76
5.3.	Tłumik nieodwracający z dodatnim przesunięciem poziomym	76
5.4.	Tłumik nieodwracający z ujemnym przesunięciem poziomym.....	76
5.5.	Tłumik odwracający bez przesunięcia poziomym	77
5.6.	Tłumik odwracający z dodatnim przesunięciem poziomym	77
5.7.	Tłumik odwracający z ujemnym przesunięciem poziomym	78
5.8.	Wnioski	78
6.	Teoria sprzężenia zwrotnego i stabilności	79
6.1.	Po co studiować teorię sprzężenia zwrotnego?	79
6.2.	Schematy blokowe i ich przekształcanie	80
6.3.	Transmitancja i stabilność układu ze sprzężeniem zwrotnym	84
6.4.	Analiza sprzężenia zwrotnego metodą Bodego.....	85
6.5.	Wykresy wzmocnienia pętli stanowią klucz do zrozumienia stabilności	90
6.6.	Równanie drugiego stopnia i prognoza przerzutu/dzwonienia	93
7.	Nieidealny wzmacniacz operacyjny.....	95
7.1.	Wprowadzenie	95
7.2.	Przegląd wzorów w postaci kanonicznej	97
7.3.	Wzmacniacz nieodwracający	99

7.4.	Wzmacniacz odwracający	100
7.5.	Wzmacniacz różnicowy	102
8.	Kompensacja wzmacniacza z napięciowym sprzężeniem zwrotnym	103
8.1.	Wprowadzenie	103
8.2.	Kompensacja wewnętrzna	104
8.3.	Zewnętrzna kompensacja, stabilność i wydajność	109
8.4.	Kompensacja metodą bieguna dominującego	110
8.5.	Kompensacja metodą redukcji wzmocnienia	113
8.6.	Kompensacja typu lead	114
8.7.	Zastosowanie dzielnika skompensowanego	118
8.8.	Kompensacja typu lead/lag	120
8.9.	Porównanie metod kompensacji	122
8.10.	Wnioski	123
9.	Analiza wzmacniacza z prądowym sprzężeniem zwrotnym	125
9.1.	Wprowadzenie	125
9.2.	Model wzmacniacza z prądowym sprzężeniem zwrotnym	126
9.3.	Wzór określający stabilność	127
9.4.	Nieodwracający CFA	128
9.5.	Odwracający CFA	129
9.6.	Analiza stabilności	131
9.7.	Dobór oporu sprzężenia zwrotnego	133
9.8.	Stabilność a pojemność wejściowa	135
9.9.	Stabilność a pojemność w gałęzi sprzężenia zwrotnego	136
9.10.	Kompensacja wpływu pojemności C_F i C_G	137
9.11.	Podsumowanie	138
10.	Porównanie wzmacniaczy z napięciowym i prądowym sprzężeniem zwrotnym .	139
10.1.	Wprowadzenie	139
10.2.	Precyzja	140
10.3.	Pasma przenoszenia	142
10.4.	Stabilność	144
10.5.	Impedancja wejściowa	146
10.6.	Porównanie wzorów	147
11.	Wzmacniacze operacyjne w pełni różnicowe	149
11.1.	Wprowadzenie	149
11.2.	Co to znaczy <i>w pełni różnicowy</i> ?	149
11.3.	Jak należy używać drugiego wyjścia?	150
11.4.	Różnicowe stopnie wzmocnienia	150

11.5.	Konwersja połączenia niesymetrycznego na różnicowe	151
11.6.	Praca z sygnałami wymagającymi dopasowania	153
11.7.	Nowa funkcja	154
11.8.	Zasada działania wejścia U_{OCM}	154
11.9.	Wzmacniacz pomiarowy	156
11.10.	Układy filtrów	157
11.10.1.	Filtry jednobiegunowe.....	157
11.10.2.	Filtry dwubiegunowe	158
11.10.3.	Filtry z wielopętlowym sprzężeniem zwrotnym	158
11.10.4.	Filtr bikwadratowy	160
12.	Szumy we wzmacniaczach operacyjnych — teoria i praktyka	161
12.1.	Wprowadzenie	161
12.2.	Charakterystyka.....	161
12.2.1.	Wartość skuteczna a międzyszczytowa szumu.....	162
12.2.2.	Poziom szumu	163
12.2.3.	Stosunek sygnał/szum	163
12.2.4.	Wiele źródeł szumu	163
12.2.5.	Jednostki miary szumu	164
12.3.	Rodzaje szumów	164
12.3.1.	Szum śrutowy	165
12.3.2.	Szum cieplny.....	167
12.3.3.	Szum migotania	169
12.3.4.	Szum wybuchowy	169
12.3.5.	Szum lawinowy	170
12.4.	Kolory szumów	170
12.4.1.	Szum biały	171
12.4.2.	Szum różowy.....	172
12.4.3.	Szum czerwony/brazowy.....	172
12.5.	Szumy wzmacniaczy operacyjnych.....	172
12.5.1.	Częstotliwość narożna szumów i szum całkowity	172
12.5.2.	Częstotliwość narożna.....	173
12.5.3.	Model szumowy wzmacniacza operacyjnego.....	175
12.5.4.	Szumy wzmacniacza odwracającego	176
12.5.5.	Szumy wzmacniacza nieodwracającego	177

12.5.6.	Model szumowy wzmacniacza różnicowego	178
12.5.7.	Podsumowanie	178
12.6.	Kompletny przykład	178
13.	Parametry wzmacniacza operacyjnego	183
13.1.	Wprowadzenie	183
13.2.	Współczynnik temperaturowy wejściowego prądu niezrównoważenia αI_{IO}	186
13.3.	Współczynnik temperaturowy wejściowego napięcia niezrównoważenia αV_{IO} lub α_{VIO}	186
13.4.	Błąd wzmocnienia różnicowego A_D	187
13.5.	Margines wzmocnienia A_m	187
13.6.	Wzmocnienie napięciowe z otwartą pętlą A_{OL}	187
13.7.	Warunek wzmocnienia napięciowego dla dużych sygnałów A_V	188
13.8.	Wzmocnienie napięciowe różnicowe dla dużych sygnałów A_{VD}	188
13.9.	Pasmo wzmocnienia jednostkowego B_1	189
13.10.	Pasmo maksymalnego napięcia wyjściowego B_{OM}	189
13.11.	Pasmo BW	190
13.12.	Pojemność wejściowa C_I	190
13.13.	Sumacyjna pojemność wejściowa C_{ic} lub $C_{i(c)}$	191
13.14.	Różnicowa pojemność wejściowa C_{id}	191
13.15.	Pojemność obciążenia C_L (warunek)	191
13.16.	Tłumienie zmian napięcia zasilania $\Delta V_{DD\pm}$ (lub $CC\pm$)/ ΔV_{IO} lub k_{SVR}	192
13.17.	Współczynnik tłumienia sygnału sumacyjnego CMRR lub k_{CMR}	192
13.18.	Częstotliwość f (warunek)	193
13.19.	Iloczyn wzmocnienia i pasma GBW	193
13.20.	Prąd zasilania (stan wyłączenia) $I_{CC(SHDN)}$, $I_{DD(SHDN)}$	193
13.21.	Prąd zasilania I_{CC} lub I_{DD}	194
13.22.	Zakres prądu wejściowego I_I	194
13.23.	Wejściowy prąd polaryzacji I_{IB}	194
13.24.	Wejściowy prąd niezrównoważenia I_{IO}	195
13.25.	Wejściowy prąd szumów I_n	195
13.26.	Prąd wyjściowy I_O	195
13.27.	Prąd wyjściowy poziomu niskiego I_{OL} (warunek)	196
13.28.	Zwarciovyy prąd wyjściowy I_{OS} lub I_{SC}	196
13.29.	Współczynnik tłumienia zmian zasilania k_{SVR}	196
13.30.	Moc rozpraszana P_D	197
13.31.	Współczynnik tłumienia zmian zasilania PSRR	197

13.32. Rezystancja termiczna złącze-otoczenie Θ_{JA}	197
13.33. Rezystancja termiczna złącze-obudowa Θ_{JC}	199
13.34. Rezystancja wejściowa r_i	200
13.35. Różnicowa impedancja wejściowa (r_{id} lub $r_{i(d)}$)	201
13.36. Rezystancja obciążenia R_L (warunek).....	201
13.37. Rezystancja zera R_{null} (warunek).....	201
13.38. Rezystancja wyjściowa r_o	202
13.39. Rezystancja źródła R_S (warunek)	202
13.40. Transrezystancja z otwartą pętlą R_t	202
13.41. Szybkość zmian napięcia SR	202
13.42. Robocza temperatura otoczenia T_A (warunek)	204
13.43. Czas wyłączenia t_{DIS} lub $t_{(off)}$	204
13.44. Czas włączenia t_{EN} lub $t_{(on)}$	204
13.45. Czas opadania t_f	204
13.46. Współczynnik zniekształceń nieliniowych THD	205
13.47. Współczynnik zniekształceń nieliniowych plus szum THD+N	205
13.48. Maksymalna temperatura złącza T_J	207
13.49. Czas narastania t_r	207
13.50. Czas ustalania t_s	207
13.51. Temperatura przechowywania T_S lub T_{stg}	208
13.52. Napięcie zasilania V_{CC} lub V_{DD} (warunek)	208
13.53. Zakres napięcia wejściowego V_I (warunek lub parametr)	208
13.54. Wejściowe napięcie sumacyjne V_{IC} (warunek)	209
13.55. Zakres wejściowego napięcia sumacyjnego V_{ICR}	209
13.56. Wejściowe napięcie różnicowe V_{ID}	210
13.57. Zakres wejściowego napięcia różnicowego V_{DIR}	210
13.58. Napięcie włączenia $V_{IH-SHDN}$ lub $V_{(ON)}$	210
13.59. Napięcie wyłączenia $V_{IL-SHDN}$ lub $V_{(OFF)}$	210
13.60. Napięcie wejściowe V_{IN} (warunek)	211
13.61. Wejściowe napięcie niezrównoważenia V_{IO} lub V_{OS}	211
13.62. Równoważne wejściowe napięcie szumów V_n	212
13.63. Szum szerokopasmowy ($V_{N(PP)}$)	213
13.64. Napięcie wyjściowe poziomu wysokiego V_{OH} (warunek lub parametr) .	213
13.65. Napięcie wyjściowe poziomu niskiego V_{OL} (warunek lub parametr) ...	213
13.66. Maksymalne międzyszczytowe napięcie wyjściowe $V_{OM\pm}$	214
13.67. Miedzyszczytowe napięcie wyjściowe $V_{O(PP)}$ (warunek lub parametr) .	215
13.68. Skok napięcia $V_{(STEP)PP}$ (warunek)	215
13.69. Przesłuch X_T	215

13.70. Impedancja wyjściowa Z_o	215
13.71. Transimpedancja z otwartą pętlą Z_t	216
13.72. Błąd fazy różnicowej Φ_D	217
13.73. Margines fazy Φ_m	217
13.74. Pasma dla nierównomierności poziomu 0,1 dB	217
13.75. Temperatura obudowy w czasie 60 s	217
13.76. Ciągła moc rozpraszana	217
13.77. Czas trwania prądu zwarcia	218
13.78. Dryft długoterminowy wejściowego napięcia niezrównoważenia	218
13.79. Temperatura wyprowadzeń przez 10 lub 60 s	218
14. Aparatura: łączenie czujników z przetwornikami A/C	219
14.1. Wprowadzenie	219
14.2. Typy czujników	224
14.3. Procedura projektowania	229
14.4. Przegląd specyfikacji układu	230
14.5. Charakterystyka napięcia odniesienia	231
14.6. Charakterystyka czujnika	232
14.7. Charakterystyka przetwornika A/C	233
14.8. Selekcja wzmacniacza operacyjnego	234
14.9. Projekt układu wzmacniacza	235
14.10. Test	241
14.11. Podsumowanie	241
15. Łączenie wzmacniaczy operacyjnych z przetwornikami A/C	243
15.1. Wprowadzenie	243
15.2. Informacje o układzie	244
15.3. Informacje o zasilaniu	244
15.4. Parametry sygnału wejściowego	245
15.5. Parametry przetwornika analogowo-cyfrowego	246
15.6. Parametry wzmacniacza operacyjnego	247
15.7. Decyzje dotyczące architektury	248
16. Radiokomunikacja: przetwarzanie sygnału pośredniej częstotliwości	253
16.1. Wprowadzenie	253
16.2. Urządzenia komunikacji bezprzewodowej	253
16.3. Wybór przetworników A/C i C/A	258
16.4. Czynniki wpływające na wybór wzmacniaczy operacyjnych	263
16.5. Filtry antyaliasingowe	265
16.6. Filtr odtwarzający do przetwornika C/A	266

16.7.	Układy zewnętrznych źródeł U_{REF} do przetworników A/C i C/A.....	268
16.8.	Szybki układ dopasowujący na wejściu analogowym	271
17.	Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w zakresie wielkich częstotliwości....	275
17.1.	Wprowadzenie	275
17.2.	Zalety wzmacniaczy operacyjnych	276
17.3.	Wady wzmacniaczy operacyjnych.....	276
17.4.	Napięciowe czy prądowe sprzężenie zwrotne?	276
17.5.	Przegląd tradycyjnych wzmacniaczy w.cz.	277
17.6.	Wzmocnienie wzmacniacza	281
17.7.	Parametry rozproszenia	281
17.8.	Współczynnik fali stojącej na wejściu i wyjściu – S_{11} i S_{22}	282
17.9.	Współczynnik odbicia	283
17.10.	Współczynnik transmisji z wejścia na wyjście S_{21}	284
17.11.	Współczynnik transmisji z wyjścia na wejście S_{12}	286
17.12.	Liniowość charakterystyki fazowej	287
17.13.	Nierównomierność charakterystyki amplitudowej.....	287
17.14.	Punkt kompresji –1 dB	288
17.15.	Punkt przecięcia charakterystyk dla zniekształceń dwutonowych, trzeciego rzędu	289
17.16.	Współczynnik szumów.....	290
17.17.	Wnioski	292
18.	Łączenie przetworników C/A z obciążeniem.....	293
18.1.	Wprowadzenie	293
18.2.	Charakterystyki obciążenia	294
18.2.1.	Obciążenie stałoprądowe.....	294
18.2.2.	Obciążenie zmiennoprądowe	294
18.3.	Zasada działania przetwornika C/A i jego specyfikacje	294
18.3.1.	Typy przetworników C/A — zrozumienie kompromisów	294
18.3.2.	Przetwornik C/A z drabinką oporową	294
18.3.3.	Przetwornik C/A z oporami ważonymi	295
18.3.4.	Przetwornik C/A z drabinką $R/2R$	296
18.3.5.	Przetwornik C/A typu sigma-delta	298
18.4.	Analiza błędów przetwarzania C/A	299
18.4.1.	Dokładność a rozdzielczość	299
18.4.2.	Analiza błędów stałoprądowych	300
18.4.3.	Analiza błędów zmiennoprądowych	301

18.4.4.	Analiza błędów w.cz.	303
18.5.	Błędy i parametry przetwornika C/A	303
18.5.1.	Błędy i parametry stałoprądowe	303
18.5.2.	Błędy i parametry zmiennoprądowe	307
18.6.	Kompensacja pojemności przetwornika C/A.....	310
18.7.	Zwiększanie napięcia i prądu wyjściowego wzmacniacza buforowego ..	311
18.7.1.	Wzmacniacze prądowe	312
18.7.2.	Wzmacniacze napięciowe	313
18.7.3.	Wzmacniacze mocy	315
18.7.4.	Praca z pojedynczym zasilaniem i składowa stała	315
19.	Generatory sinusoidalne.....	317
19.1.	Co to jest generator sinusoidalny?	317
19.2.	Warunki generacji.....	318
19.3.	Warunek fazy.....	319
19.4.	Warunek amplitudy.....	321
19.5.	Wpływ parametrów elementu aktywnego (wzmacniacza operacyjnego) na generator.....	321
19.6.	Analiza układu generatora	323
19.7.	Układy generatorów sinusoidalnych	325
19.7.1.	Generator z mostkiem Wiena	325
19.7.2.	Generatory z przesuwnikami fazy i pojedynczym wzmacniaczem ..	331
19.7.3.	Generatory z buforowanymi przesuwnikami fazy	332
19.7.4.	Niezawodny generator.....	332
19.7.5.	Generator kwadraturowy	335
19.8.	Wnioski	336
20.	Metody projektowania filtrów aktywnych	337
20.1.	Wprowadzenie	337
20.2.	Podstawowe filtry dolnoprzepustowe	338
20.2.1.	Filtry dolnoprzepustowe Butterwortha	341
20.2.2.	Filtry dolnoprzepustowe Czebyszewa	341
20.2.3.	Filtry dolnoprzepustowe Bessela	343
20.2.4.	Dobroć Q filtru	344
20.2.5.	Podsumowanie	345
20.3.	Projektowanie filtrów dolnoprzepustowych	346
20.3.1.	Filtr dolnoprzepustowy pierwszego rzędu	346

20.3.2.	Filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu	349
20.3.3.	Filtry dolnoprzepustowe wyższego rzędu	353
20.4.	Projektowanie filtrów górnoprzepustowych	355
20.4.1.	Filtr górnoprzepustowy pierwszego rzędu	356
20.4.2.	Filtr górnoprzepustowy drugiego rzędu	357
20.4.3.	Filtry górnoprzepustowe wyższego rzędu	360
20.5.	Projektowanie filtrów środkowoprzepustowych	361
20.5.1.	Filtr środkowoprzepustowy drugiego rzędu	362
20.5.2.	Filtr środkowoprzepustowy czwartego rzędu (rozstrojony)	365
20.6.	Projektowanie filtrów środkowozaporowych	368
20.6.1.	Filtr aktywny podwójne T	370
20.6.2.	Filtr aktywny Wiena-Robinsona	371
20.7.	Projektowanie filtrów wszechprzepustowych	373
20.7.1.	Filtr wszechprzepustowy pierwszego rzędu	375
20.7.2.	Filtr wszechprzepustowy drugiego rzędu	375
20.7.3.	Filtry wszechprzepustowe wyższego rzędu	376
20.8.	Praktyczne wskazówki projektowe	378
20.8.1.	Polaryzacja układu filtru	378
20.8.2.	Wybór kondensatorów	381
20.8.3.	Wartości elementów	383
20.8.4.	Wybór wzmacniacza operacyjnego	383
20.9.	Tabele współczynników filtrów	385
21.	Szybkie i praktyczne metody projektowania filtrów dla początkujących	393
21.1.	Wprowadzenie	393
21.2.	Wybór charakterystyki filtru	393
21.3.	Filtr dolnoprzepustowy	395
21.4.	Filtr górnoprzepustowy	396
21.5.	Wąskopasmowy filtr środkowoprzepustowy (dla jednej częstotliwości)	397
21.6.	Szerokopasmowy filtr środkowoprzepustowy	399
21.7.	Filtr środkowozaporowy (tłumiący jedną częstotliwość)	400
21.8.	Filtr środkowozaporowy	402
21.9.	Podsumowanie charakterystyk filtrów	403
22.	Projektowanie filtrów o dużej szybkości działania	405
22.1.	Wprowadzenie	405
22.2.	Szybkie filtry dolnoprzepustowe	405

22.3.	Szybkie filtry górnoprzepustowe	406
22.4.	Szybkie filtry środkowoprzepustowe	406
22.4.1.	Modyfikacja struktury Deliyannisa	407
22.4.2.	Porównanie zmodyfikowanej struktury Dliyannisa i struktury MFB	409
22.4.3.	Wyniki badań laboratoryjnych	411
22.5.	Szybkie filtry środkowozaporowe	413
22.5.1.	Wyniki symulacji	414
22.5.2.	Wyniki badań laboratoryjnych	416
22.5.3.	Wyniki badań przy częstotliwości 1 MHz	416
22.5.4.	Wyniki badań przy częstotliwości 100 kHz	418
22.5.5.	Wyniki badań przy częstotliwości 10 kHz	419
22.6.	Wnioski	420
23.	Zasady projektowania obwodów drukowanych	423
23.1.	Uwagi ogólne	423
23.1.1.	Płytką drukowaną jest komponentem projektu układu	423
23.1.2.	Ważna rola prototypu	424
23.1.3.	Źródła zakłóceń	424
23.2.	Konstrukcja mechaniczna płytki drukowanej	425
23.2.1.	Wybór materiału odpowiedniego do zastosowania	425
23.2.2.	Ile warstw powinna mieć płytkę?	427
23.2.3.	Zestawianie obwodu: Kolejność warstw	429
23.3.	Uziemienie	430
23.3.1.	Najważniejsza zasada: Rozdzielaj masy	430
23.3.2.	Inne zasady uziemiania	430
23.3.3.	Dobry przykład	432
23.3.4.	Ważny wyjątek	433
23.4.	Charakterystyki częstotliwościowe elementów pasywnych	434
23.4.1.	Oporniki	434
23.4.2.	Kondensatory	435
23.4.3.	Cewki	436
23.4.4.	Niespodziewane elementy pasywne na płytce drukowanej	437
23.5.	Odsprzęganie	444
23.5.1.	Układy cyfrowe: Główny problem dla układów analogowych	444

23.5.2.	Wybór odpowiedniego kondensatora.....	445
23.5.3.	Odsprężanie na poziomie układu scalonego	446
23.5.4.	Odsprężanie na poziomie płytki drukowanej	446
23.6.	Izolacja wejść i wyjść	447
23.7.	Obudowy	447
23.7.1.	Montaż przewlekany.....	449
23.7.2.	Montaż powierzchniowy.....	450
23.7.3.	Niewykorzystane wzmacniacze	451
23.8.	Podsumowanie.....	451
23.8.1.	Ogólne.....	451
23.8.2.	Struktura płytki	451
23.8.3.	Elementy	452
23.9.	Trasowanie ścieżek	452
23.10.	Blokowanie	452
24.	Projektowanie niskonapięciowych układów ze wzmacniaczami operacyjnymi... ..	453
24.1.	Wprowadzenie	453
24.2.	Zakres dynamiczny.....	455
24.3.	Stosunek sygnał/szum	457
24.4.	Zakres napięcia sumacyjnego.....	459
24.5.	Zakres napięcia wyjściowego	463
24.6.	Wyłączanie i mały pobór prądu zasilania.....	464
24.7.	Projektowanie obwodów jednonapięciowych	465
24.8.	Interfejs łączący czujnik z przetwornikiem A/C	466
24.9.	Interfejs łączący przetwornik C/A z siłownikiem	468
24.10.	Porównanie wzmacniaczy operacyjnych	472
24.11.	Podsumowanie.....	474
25.	Podstawowe błędy popełniane przy stosowaniu wzmacniaczy operacyjnych	477
25.1.	Wprowadzenie	477
25.2.	Wzmacniacz operacyjny pracujący przy wzmacnieniu mniejszym od jedności (lub mniejszym niż w specyfikacji).....	477
25.3.	Wzmacniacz operacyjny jako komparator.....	479
25.3.1.	Komparator	481
25.3.2.	Wzmacniacz operacyjny	481
25.4.	Niewłaściwe zabezpieczenie niewykorzystanych sekcji.....	482
25.5.	Wzmocnienie składowej stałej	484
25.6.	Źródło prądowe	484

25.7.	Wzmacniacz ze sprzężeniem prądowym: zwarcie opornika w sprzężeniu zwrotnym.....	485
25.8.	Wzmacniacz ze sprzężeniem prądowym: Kondensator w obwodzie sprzężenia zwrotnego	487
25.9.	Wzmacniacz w pełni różnicowy: Niepoprawne obciążenie niesymetryczne	487
25.10.	Wzmacniacz w pełni różnicowy: Niepoprawny punkt pracy	489
25.11.	Wzmacniacz w pełni różnicowy: Niepoprawny zakres napięcia sumacyjnego	490
25.12.	Błąd numer 1 przy projektowaniu	491
A.	Kolekcja układów jednonapięciowych	493
A.1.	Wprowadzenie	493
A.2.	Wzmacniacz pomiarowy	493
A.3.	Uproszczony wzmacniacz pomiarowy	494
A.4.	Obwód T w sprzężeniu zwrotnym	495
A.5.	Integrator odwracający	495
A.6.	Integrator odwracający z kompensacją prądu wejściowego	497
A.7.	Integrator odwracający z kompensacją dryftu	498
A.8.	Integrator odwracający z mechanicznym zerowaniem	498
A.9.	Integrator odwracający z elektronicznym zerowaniem	499
A.10.	Integrator odwracający z rezystancyjnym zerowaniem.....	500
A.11.	Integrator nieodwracający z buforem odwracającym	501
A.12.	Aproksymacja integratora nieodwracającego	501
A.13.	Podwójny integrator	502
A.14.	Integrator różnicowy	502
A.15.	Integrator zmiennoprądowy	503
A.16.	Integrator ze składową proporcjonalną	503
A.17.	Układ różniczkujący odwracający	504
A.18.	Układ różniczkujący z filtracją szumu	505
A.19.	Układ różniczkująco-proporcjonalny.....	505
A.20.	Podstawowy układ generatora z mostkiem Wiena.....	506
A.21.	Układ generatora z mostkiem Wiena o nieliniowym sprzężeniu zwrotnym	507
A.22.	Generator z mostkiem Wiena i układem AGC	508
A.23.	Generator kwadraturowy	509
A.24.	Klasyczny generator z przesuwnikami fazy	509
A.25.	Generator z buforowanymi przesuwnikami fazy	510
A.26.	Niezawodny generator	511
A.27.	Generator sygnału trójkątnego.....	512

A.28.	Tłumik	513
A.29.	Symulacja indukcyjności	515
A.30.	Filtry środkowoprzepustowe i środkowozaporowe z jednym wzmacniaczem operacyjnym i układem podwójne T	516
A.31.	Źródło stałego prądu	518
A.32.	Źródło napięć o przeciwnej polaryzacji	518
A.33.	Wzmacniacz mocy	519
A.34.	Wartość bezwzględna	520
A.35.	Wartość szczytowa	520
A.36.	Precyzyjny prostownik jednopółwkowy	520
A.37.	Precyzyjny prostownik dwupółwkowy I	521
A.38.	Precyzyjny prostownik dwupółwkowy II	522
A.39.	Regulator barwy dźwięku	522
A.40.	Filtry o kształtowanej charakterystyce	523
B.	Dopasowanie wzmacniaczy różnicowych	527
B.1.	Wprowadzenie	527
B.2.	Dopasowanie wzmacniacza różnicowego	528
B.3.	Wejście odwracające	530
B.4.	Wejście nieodwracające	531
B.5.	Napięcie różnicowe	532
B.6.	Testowanie wyników	533
B.6.1.	Wzmocnienie równe 0,5	533
B.6.2.	Wzmocnienie równe 1	534
	Bibliografia	535