

Spis tablic / 12
Przedmowa / 13
Przedmowa do drugiego wydania angielskiego / 16
Przedmowa do pierwszego wydania angielskiego / 18

ROZDZIAŁ 1

Podstawy / 21
1.1. Wprowadzenie / 21
1.2. Napięcie, prąd i rezystancja / 22
1.2.1. Napięcie i prąd / 22
1.2.2. Zależność między napięciem i prądem: oporniki / 23
1.2.3. Dzielniki napięcia / 28
1.2.4. Źródła napięciowe i prądowe / 29
1.2.5. Układ równoważny Thévenina / 31
1.2.6. Rezystancja małosygnałowa / 35
1.2.7. Przykład: „Jest za gorąco!” / 36
1.3. Sygnały / 37
1.3.1. Sygnały sinusoidalne / 37
1.3.2. Amplitudy sygnałów i decybele / 38
1.3.3. Inne sygnały / 39
1.3.4. Poziomy logiczne / 41
1.3.5. Źródła sygnałów / 41
1.4. Kondensatory i układy prądu przemiennego / 42
1.4.1. Kondensatory / 42
1.4.2. Układy RC: zależność U i I od czasu / 46
1.4.3. Układy różniczkujące / 51
1.4.4. Układy całkujące (integratory) / 52
1.4.5. Nic nie jest doskonałe... / 54
1.5. Cewki indukcyjne i transformatory / 54
1.5.1. Cewki indukcyjne / 54
1.5.2. Transformatory / 57
1.6. Diody i układy z diodami / 58
1.6.1. Diody / 58
1.6.2. Prostowanie / 59
1.6.3. Filtrowanie napięć wyjściowych zasilaczy sieciowych / 60
1.6.4. Układy prostowników stosowane w zasilaczach sieciowych / 61
1.6.5. Stabilizatory / 63
1.6.6. Układowe zastosowania diod / 64
1.6.7. Obciążenie indukcyjne i zabezpieczenie diodowe / 67
1.6.8. Mały przerywnik: coś dobrego o cewkach / 69
1.7. Impedancja i reaktancja / 69
1.7.1. Analiza częstotliwościowa układów reaktancyjnych / 71
1.7.2. Reaktancja cewki indukcyjnej / 74
1.7.3. Napięcie i prąd jako liczby zespolone / 75
1.7.4. Reaktancje kondensatorów i cewek / 76
1.7.5. Uogólnione prawo Ohma / 76
1.7.6. Moc w układach reaktancyjnych / 77
1.7.7. Uogólniony dzielnik napięcia / 79
1.7.8. Filtry górnoprzepustowe RC / 79
1.7.9. Filtry dolnoprzepustowe RC / 81
1.7.10. Różniczkujące i całkujące układy RC w dziedzinie częstotliwości / 82
1.7.11. Cewki kontra kondensatory / 82
1.7.12. Wykresy wskazowe / 83
1.7.13. „Bieguny” i decybele na oktawę / 83
1.7.14. Obwody rezonansowe / 84
1.7.15. Filtry LC / 86
1.7.16. Inne zastosowania kondensatorów / 87

- 1.7.17. Uogólnione twierdzenie Thévenina / 87
- 1.8. Składamy wszystko razem – radio AM / 87
- 1.9. Inne elementy pasywne / 89
 - 1.9.1. Elementy elektromechaniczne: przełączniki / 89
 - 1.9.2. Elementy elektromechaniczne: przekaźniki / 92
 - 1.9.3. Złącza / 92
 - 1.9.4. Wskaźniki / 96
 - 1.9.5. Elementy regulowane / 97
- 1.10. Uwaga na pożegnanie: mylące oznakowania i mikroskopijne elementy / 99
 - 1.10.1. Montaż powierzchniowy: radości i smutki / 99
- Podsumowanie rozdziału 1 / 102

ROZDZIAŁ 2

- Tranzystory bipolarne / 106
 - 2.1. Wprowadzenie / 106
 - 2.1.1. Pierwszy model tranzystora: wzmacniacz prądowy / 107
 - 2.2. Kilka podstawowych układów z tranzystorami / 108
 - 2.2.1. Klucz tranzystorowy / 108
 - 2.2.2. Przykłady układów przełącznikowych / 113
 - 2.2.3. Wtórnik emiterowy / 117
 - 2.2.4. Wtórnik emiterowy jako stabilizatory napięcia / 121
 - 2.2.5. Ustalanie punktu pracy wtórnik emiterowego / 122
 - 2.2.6. Źródło prądowe / 125
 - 2.2.7. Wzmacniacz ze wspólnym emiterem / 128
 - 2.2.8. Wtórnikowy układ symetryzujący / 129
 - 2.2.9. Transkonduktancja / 130
 - 2.3. Model Ebersa-Molla a podstawowe układy tranzystorowe / 132
 - 2.3.1. Poprawiony model tranzystora: wzmacniacz transkonduktancyjny / 132
 - 2.3.2. Konsekwencje modelu Ebersa-Molla: praktyczne reguły projektowe / 133
 - 2.3.3. O wtórniku emiterowym jeszcze raz / 135
 - 2.3.4. Wzmacniacz ze wspólnym emiterem jeszcze raz / 136
 - 2.3.5. Ustalanie punktu pracy wzmacniacza ze wspólnym emiterem / 139
 - 2.3.6. Dygresja: tranzystor doskonały / 144
 - 2.3.7. Lustra prądowe / 145
 - 2.3.8. Wzmacniacze różnicowe / 147
 - 2.4. Wybrane podzespoły wzmacniaczy / 152
 - 2.4.1. Wyjściowe stopnie przeciwobne / 152
 - 2.4.2. Połączenie Darlingtona / 156
 - 2.4.3. Bootstrap (kompensacja napięcia sygnału) / 159
 - 2.4.4. Podział prądu między tranzystory bipolarne połączone równolegle / 160
 - 2.4.5. Pojemności i efekt Millera / 161
 - 2.4.6. Tranzystory polowe / 163
 - 2.5. Ujemne sprzężenie zwrotne / 164
 - 2.5.1. Wstęp do teorii sprzężenia zwrotnego / 164
 - 2.5.2. Równanie na wzmocnienie / 165
 - 2.5.3. Wpływ sprzężenia zwrotnego na parametry wzmacniacza / 166
 - 2.5.4. Dwa ważne detale dotyczące układów ze sprzężeniem zwrotnym / 170
 - 2.5.5. Dwa przykłady wzmacniaczy tranzystorowych ze sprzężeniem zwrotnym / 171
 - 2.6. Kilka typowych układów tranzystorowych / 174
 - 2.6.1. Stabilizator napięcia / 174
 - 2.6.2. Układ stabilizacji temperatury / 175
 - 2.6.3. Prosty tranzystorowo-diodowy układ logiczny / 175
- Podsumowanie rozdziału 2 / 177

ROZDZIAŁ 3

- Tranzystory polowe / 185
 - 3.1. Wprowadzenie / 185

3.1.1. Właściwości tranzystorów polowych /	186
3.1.2. Rodzaje tranzystorów polowych /	189
3.1.3. Ogólne właściwości tranzystorów polowych /	191
3.1.4. Charakterystyki FET-ów /	193
3.1.5. Rozrzut produkcyjny parametrów tranzystora polowego /	195
3.1.6. Podstawowe układy z FET-ami /	197
3.2. Układy liniowe z tranzystorami polowymi /	198
3.2.1. Zestaw reprezentatywnych JFET-ów: krótki przegląd /	198
3.2.2. JFET-owe źródła prądowe /	200
3.2.3. Wzmacniacze z FET-ami /	205
3.2.4. Wzmacniacze różnicowe /	214
3.2.5. Generatory /	219
3.2.6. Wtórnik źródłowe /	219
3.2.7. FET-y jako oporniki o zmiennej rezystancji /	226
3.2.8. Prąd bramki tranzystorów polowych /	228
3.3. Więcej o JFET-ach /	231
3.3.1. Charakterystyki przejściowe JFET-ów /	232
3.3.2. Charakterystyki wyjściowe: konduktancja wyjściowa /	234
3.3.3. Zależność transkonduktancji od prądu drenu /	235
3.3.4. Zależność transkonduktancji od napięcia drenu /	237
3.3.5. Pojemności JFET-ów /	237
3.3.6. Dlaczego wzmacniacze z JFET-ami (a nie z MOS-ami)? /	238
3.4. FET-y jako klucze /	238
3.4.1. FET-owe klucze analogowe /	239
3.4.2. Niedoskonałości kluczy z FET-ami /	246
3.4.3. Kilka układów z FET-owymi kluczami analogowymi /	255
3.4.4. Klucze MOS w układach cyfrowych /	258
3.5. MOS-y mocy /	261
3.5.1. Duża impedancja, stabilność termiczna /	262
3.5.2. Parametry kluczy MOS mocy /	263
3.5.3. Sterowanie kluczami mocy za pomocą sygnałów cyfrowych /	275
3.5.4. Problemy związane z kluczami MOS mocy /	280
3.5.5. MOS kontra tranzystor bipolarny jako klucz silnoprądowy /	286
3.5.6. Kilka układów z MOS-ami mocy /	288
3.5.7. IGBT-y i inne półprzewodnikowe elementy mocy /	295
3.6. Liniowe zastosowania MOS-ów /	297
3.6.1. Wzmacniacz wysokonapięciowy /	297
3.6.2. Kilka układów z MOS-ami ze zubożanym kanałem /	299
3.6.3. Równoległe łączenie MOS-ów /	303
3.6.4. Przebicie cieplne /	306
Podsumowanie rozdziału 3 /	316

ROZDZIAŁ 4

Wzmacniacze operacyjne / 321

4.1. Wprowadzenie w dziedzinę wzmacniaczy operacyjnych – „element doskonały” /	321
4.1.1. Sprzężenie zwrotne i wzmacniacze operacyjne /	322
4.1.2. Wzmacniacze operacyjne /	323
4.1.3. Złote reguły /	324
4.2. Podstawowe układy ze wzmacniaczami operacyjnymi /	324
4.2.1. Wzmacniacz odwracający /	324
4.2.2. Wzmacniacz nieodwracający /	325
4.2.3. Wtórnik napięciowy /	326
4.2.4. Wzmacniacz różnicy napięć /	326
4.2.5. Źródła prądowe /	327
4.2.6. Wzmacniacze całkujące (integratory) /	331
4.2.7. Ważne zalecenia dotyczące układów ze wzmacniaczami operacyjnymi /	332
4.3. Inne układy ze wzmacniaczami operacyjnymi /	333

4.3.1. Układy liniowe /	333
4.3.2. Układy nieliniowe /	339
4.3.3. Generator fali trójkątnej /	343
4.3.4. Układ do testowania napięcia zaciskającego kanał /	344
4.3.5. Generator impulsów o regulowanej szerokości /	346
4.3.6. Aktywny filtr dolnoprzepustowy /	347
4.4. Szczegółowy przegląd właściwości wzmacniacza operacyjnego /	347
4.4.1. Parametry rzeczywistych wzmacniaczy operacyjnych /	349
4.4.2. Wpływ niedoskonałości wzmacniacza operacyjnego na parametry układu /	361
4.4.3. Przykład: miliwoltomierz o dużej czułości /	367
4.4.4. Impedancja wyjściowa źródła prądowego a szerokości pasma i SR wzmacniacza operacyjnego /	369
4.5. Analiza wybranych układów ze wzmacniaczami operacyjnymi /	369
4.5.1. Aktywny detektor szczytowy /	369
4.5.2. Układ próbkująco-pamiętający /	371
4.5.3. Ogranicznik aktywny /	372
4.5.4. Przetwornik wartości bezwzględnej /	373
4.5.5. Wzmacniacz całkujący z bliska /	374
4.5.6. Układowe rozwiązanie problemu upływności FET-a /	376
4.5.7. Wzmacniacze różniczkujące /	377
4.6. Zasilanie wzmacniacza operacyjnego pojedynczym napięciem /	378
4.6.1. Ustalanie punktu pracy jednonapięciowych wzmacniaczy operacyjnych pracujących jako wzmacniacze napięć zmiennych /	379
4.6.2. Obciążenia pojemnościowe /	383
4.6.3. „Jednonapięciowe” wzmacniacze operacyjne /	384
4.6.4. Przykład: generator przestrajany napięciem /	386
4.6.5. Realizacja generatora: montaż przewlekany kontra powierzchniowy /	388
4.6.6. Detektor przejścia przez zero /	390
4.6.7. Tablica z parametrami wzmacniaczy operacyjnych /	391
4.7. Inne rodzaje wzmacniaczy i wzmacniaczy operacyjnych /	391
4.8. Kilka typowych układów ze wzmacniaczami operacyjnymi /	392
4.8.1. Wzmacniacz laboratoryjny ogólnego przeznaczenia /	392
4.8.2. Układ do wykrywania zwarć /	396
4.8.3. Wzmacniacz sygnału z czujnika prądu /	398
4.8.4. Całkujący monitor dawki promieniowania UV /	400
4.9. Kompensacja częstotliwościowa wzmacniaczy ze sprzężeniem zwrotnym /	403
4.9.1. Zależność wzmocnienia i przesunięcia fazy od częstotliwości /	404
4.9.2. Metody częstotliwościowej kompensacji wzmacniaczy /	405
4.9.3. Charakterystyki częstotliwościowe czwórnika sprzężenia zwrotnego /	408
Podsumowanie rozdziału 4 /	413

ROZDZIAŁ 5

Układy precyzyjne /	419
5.1. Metody projektowania precyzyjnych układów ze wzmacniaczami operacyjnymi /	420
5.1.1. Precyzja a dynamika układu /	420
5.1.2. Bilans błędów /	420
5.2. Przykład: miliwoltomierz jeszcze raz /	421
5.2.1. Wyzwanie: 10 mV, 1%, 10 MΩ, zasilanie pojedynczym napięciem 1,8 V /	421
5.2.2. Rozwiązanie: precyzyjne źródło prądowe ze wzmacniaczem operacyjnym z grupy RRIO /	422
5.3. Wnioski: bilans błędów, brakujące parametry /	425
5.4. Inny przykład: precyzyjny wzmacniacz z zerowaniem napięcia wyjściowego /	426
5.4.1. Opis układu /	427
5.5. Bilans błędów układu precyzyjnego /	429
5.5.1. Bilans błędów /	429
5.6. Błędy wprowadzane przez elementy bierne /	430
5.6.1. Oporniki ustalające wzmocnienie /	431
5.6.2. Kondensator pamięciowy /	431
5.6.3. Przełącznik uruchamiający proces zerowania /	433

5.7. Błędy wprowadzane przez obwód wejściowy wzmacniacza /	434
5.7.1. Impedancja wejściowa /	434
5.7.2. Wejściowy prąd polaryzacji /	434
5.7.3. Wejściowe napięcie niezrównoważenia /	437
5.7.4. Tłumienie sygnału wspólnego /	440
5.7.5. Tłumienie zmian napięć zasilających /	440
5.7.6. Wzmacniacz z zerowaniem napięcia wyjściowego: błędy wejściowe /	440
5.8. Błędy wprowadzane przez obwód wyjściowy wzmacniacza /	442
5.8.1. Szybkość zmian napięcia wyjściowego: rozważania ogólne /	442
5.8.2. Szerokość pasma a czas ustalania odpowiedzi /	444
5.8.3. Zniekształcenia przejścia oraz impedancja wyjściowa /	448
5.8.4. Bufory dużej mocy o wzmacnieniu 1 V/V /	449
5.8.5. Błąd wzmacnienia /	449
5.8.6. Nieliniowość wzmacnienia /	450
5.8.7. Błąd fazy i „aktywna kompensacja” fazy /	452
5.9. Wzmacniacze operacyjne RRIO: dobre, złe i paskudne /	454
5.9.1. Kłopoty ze stopniem wejściowym /	454
5.9.2. Kłopoty ze stopniem wyjściowym /	456
5.10. Wybór precyzyjnego wzmacniacza operacyjnego /	459
5.10.1. „Siedem precyzyjnych wzmacniaczy operacyjnych” /	459
5.10.2. Liczba wzmacniaczy w obudowie /	466
5.10.3. Napięcie zasilania, zakres napięć wejściowych /	467
5.10.4. Praca z pojedynczym napięciem zasilania /	467
5.10.5. Napięcie niezrównoważenia /	468
5.10.6. Napięcie szumu /	469
5.10.7. Prąd polaryzacji /	471
5.10.8. Prąd szumu /	473
5.10.9. CMRR i PSRR /	475
5.10.10. GBW, fT, SR i „m” oraz czas ustalania odpowiedzi /	476
5.10.11. Zniekształcenia nieliniowe /	477
5.10.12. „Dwa z trzech to nie jest złe”: tworzenie doskonałego wzmacniacza operacyjnego /	480
5.11. Wzmacniacze z autozerowaniem (z przerywaczową stabilizacją zera) /	482
5.11.1. Właściwości wzmacniaczy operacyjnych z autozerowaniem /	483
5.11.2. Kiedy użyć wzmacniacza operacyjnego z autozerowaniem /	487
5.11.3. Wybieranie wzmacniacza z autozerowaniem /	487
5.11.4. Różności na temat autozerowania /	492
5.12. Projekty mistrzów: multimetry cyfrowe o dużej dokładności firmy Agilent /	494
5.12.1. To jest niewykonalne! /	495
5.12.2. Błąd – to jest wykonalne! /	495
5.12.3. Schemat blokowy: prosta architektura układu /	495
5.12.4. Stopień wejściowy 6,5-cyfrowego multimetru 34401A /	496
5.12.5. Stopień wejściowy 7,5-cyfrowego multimetru 34420A /	498
5.13. Wzmacniacze różnicy napięć, różnicowe i pomiarowe: wprowadzenie /	501
5.14. Wzmacniacz różnicy napięć /	503
5.14.1. Podstawowe układy pracy /	503
5.14.2. Kilka zastosowań /	505
5.14.3. Więcej o niektórych parametrach /	509
5.14.4. Odmiany układowe /	514
5.15. Wzmacniacz pomiarowy /	516
5.15.1. Pierwszy (lecz naiwny) pomysł /	516
5.15.2. Klasyczny wzmacniacz pomiarowy z trzema wzmacniaczami operacyjnymi /	517
5.15.3. Rozważania na temat stopnia wejściowego /	518
5.15.4. Wzmacniacz pomiarowy własnej konstrukcji /	521
5.15.5. Wariacje na temat skutecznej ochrony wejścia /	523
5.16. Rozmaitości o wzmacniaczach pomiarowych /	524
5.16.1. Prąd wejściowy i szum /	525
5.16.2. Tłumienie sygnału wspólnego /	525

- 5.16.3. Impedancja źródła a CMRR / 529
- 5.16.4. EMI i ochrona wejścia / 533
- 5.16.5. Usuwanie napięcia niezerównoważenia i maksymalizacja CMRR / 533
- 5.16.6. Dołączanie obciążenia / 534
- 5.16.7. Polaryzacja wejść wzmacniacza / 534
- 5.16.8. Zakres napięć wyjściowych / 534
- 5.16.9. Przykład zastosowania: źródło prądowe / 534
- 5.16.10. Inne konfiguracje / 535
- 5.16.11. Wzmacniacze pomiarowe przerywaczowe i z autozerowaniem / 538
- 5.16.12. Wzmacniacze pomiarowe o programowalnym wzmocnieniu / 538
- 5.16.13. Wytwarzanie wyjściowego sygnału różnicowego / 541
- 5.17. Wzmacniacze w pełni różnicowe / 541
- 5.17.1. Wzmacniacze różnicowe: pojęcia podstawowe / 549
- 5.17.2. Przykład zastosowania wzmacniacza różnicowego: szerokopasmowe łącze analogowe / 552
- 5.17.3. Przetworniki A/C z wejściem różnicowym / 552
- 5.17.4. Dopasowanie impedancji / 556
- 5.17.5. Kryteria wyboru wzmacniacza różnicowego / 557
- Podsumowanie rozdziału 5 / 562

ROZDZIAŁ 6

Filtry / 567

- 6.1. Wprowadzenie / 567
- 6.2. Filtry pasywne / 567
 - 6.2.1. Charakterystyki częstotliwościowe filtrów RC / 567
 - 6.2.2. O doskonałych właściwościach filtrów LC / 570
 - 6.2.3. Kilka prostych przykładów / 570
 - 6.2.4. Filtry aktywne: przegląd / 575
 - 6.2.5. Podstawowe parametry filtrów / 578
 - 6.2.6. Rodzaje filtrów / 580
 - 6.2.7. Realizacje filtrów / 586
- 6.3. Układy filtrów aktywnych / 586
 - 6.3.1. Układy ZNSN / 588
 - 6.3.2. Projektowanie filtrów ZNSN za pomocą uproszczonej tablicy / 588
 - 6.3.3. Filtry modelujące zmienne stanu / 592
 - 6.3.4. Filtry z czwórnikiem podwójne T / 597
 - 6.3.5. Filtry wszechprzepustowe / 598
 - 6.3.6. Filtry z przełączanymi kondensatorami / 599
 - 6.3.7. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów / 603
 - 6.3.8. Rozmaitości na temat filtrów / 607
- Podsumowanie rozdziału 6 / 608

ROZDZIAŁ 7

Generatory i układy czasowe / 611

- 7.1. Generatory / 611
 - 7.1.1. Ogólnie o generatorach / 611
 - 7.1.2. Generatory relaksacyjne / 611
 - 7.1.3. 555 – klasyczny czasowy układ scalony / 615
 - 7.1.4. Inne scalone generatory relaksacyjne / 620
 - 7.1.5. Generatory sygnału sinusoidalnego / 625
 - 7.1.6. Generatory kwarcowe / 635
 - 7.1.7. Większa stałość częstotliwości: generatory TCXO, OCXO i jeszcze lepsze / 645
 - 7.1.8. Synteza częstotliwości: DDS i PLL / 646
 - 7.1.9. Generatory kwadraturowe / 649
 - 7.1.10. Drżenie okresu generatora (jitter) / 653
- 7.2. Układy czasowe / 654
 - 7.2.1. Impulsy wyzwalane skokiem napięcia / 654
 - 7.2.2. Przerzutniki monostabilne / 658

7.2.3. Przykład zastosowania przerzutników monostabilnych: układ ograniczania szerokości impulsu i współczynnika wypełnienia / 664
7.2.4. Układy czasowe z licznikami cyfrowymi / 665
Podsumowanie rozdziału 7 / 670

ROZDZIAŁ 8

Elementy i układy niskoszumowe / 674

8.1. „Szum” / 675

8.1.1. Szum cieplny (Johnsona, Nyquista) / 676

8.1.2. Szum śrutowy / 677

8.1.3. Szum typu $1/f$ (szum migotania, szum strukturalny) / 678

8.1.4. Szum wybuchowy / 679

8.1.5. Szum o ograniczonym pasmie / 680

8.1.6. Zakłócenia / 681

8.2. Stosunek sygnał-szum oraz współczynnik szumu / 681

8.2.1. Widmowa gęstość mocy szumu i szerokość pasma / 681

8.2.2. Stosunek sygnał-szum / 682

8.2.3. Współczynnik szumu / 682

8.2.4. Temperatura szumowa / 683

8.3. Szum wzmacniacza z tranzystorem bipolarnym / 684

8.3.1. Widmowa gęstość napięcia szumu e_n / 685

8.3.2. Widmowa gęstość prądu szumu i_n / 687

8.3.3. Napięcie szumu tranzystora bipolarnego jeszcze raz / 689

8.3.4. Przykład prostego projektu: głośnik jako mikrofon / 691

8.3.5. Szum śrutowy w źródłach prądowych i wtórnikiach emiterowych / 692

8.4. Wyznaczanie e_n z wykresów współczynnika szumu F / 695

8.4.1. Krok 1: zależność F od I_C / 695

8.4.2. Krok 2: zależność F od R_{syg} / 696

8.4.3. Krok 3: obliczanie e_n / 696

8.4.4. Krok 4: widmo napięcia szumu e_n / 697

8.4.5. Widmo prądu szumu i_n / 697

8.4.6. Gdy nie masz możliwości wyboru punktu pracy układu / 698

8.5. Projektowanie układów niskoszumowych z tranzystorami bipolarnymi / 698

8.5.1. Przykład obliczenia współczynnika szumu / 699

8.5.2. Wykreślanie napięcia szumu wzmacniacza dla danych e_n i i_n / 700

8.5.3. Rezystancja szumowa / 700

8.5.4. Wykresy jako sposób porównania właściwości szumowych układów / 701

8.5.5. Niskoszumowe wzmacniacze z tranzystorami bipolarnymi: dwa przykłady / 702

8.5.6. Minimalizowanie szumu: tranzystory bipolarne, FET-y i transformatory / 704

8.5.7. Przykład projektu: przedwzmacniacz – „detektor błyskawic” za 40 centów / 704

8.5.8. Wybór niskoszumowego tranzystora bipolarnego / 708

8.5.9. Wyzwanie projektowe: ekstremalnie niskoszumowy beztransformatorowy przedwzmacniacz do mikrofonu wstęgowego / 717

8.6. Projektowanie układów niskoszumowych z JFET-ami / 721

8.6.1. Napięcie szumu złączowego tranzystora polowego / 722

8.6.2. Prąd szumu złączowego tranzystora polowego / 727

8.6.3. Przykład projektu: niskoszumowy szerokopasmowy wzmacniacz hybrydowy z JFET-ami / 728

8.6.4. Projekty mistrzów: niskoszumowy przedwzmacniacz SR560 / 730

8.6.5. Wybieranie JFET-ów do układów niskoszumowych / 733

8.7. Pojedynek między tranzystorami bipolarnymi a tranzystorami polowymi przedstawiony na wykresach / 735

8.7.1. Szum tranzystorów MOS / 737

8.8. Szumy we wzmacniaczu różnicowym i we wzmacniaczu ze sprzężeniem zwrotnym / 738

8.9. Szum w układach ze wzmacniaczami operacyjnymi / 739

8.9.1. Przewodnik po tablicy 8.3: wybieranie niskoszumowych wzmacniaczy operacyjnych / 739

8.9.2. Współczynnik tłumienia zmian napięcia zasilającego / 762

8.9.3. Podsumowanie: wybór niskoszumowego wzmacniacza operacyjnego / 762

- 8.9.4. Niskoszumowe wzmacniacze pomiarowe i wzmacniacze wizyjne / 763
- 8.9.5. Niskoszumowe hybrydowe wzmacniacze operacyjne / 763
- 8.10. Transformatory sygnałowe / 765
- 8.10.1. Niskoszumowy wzmacniacz szerokopasmowy z transformatorem w obwodzie sprzężenia zwrotnego / 766
- 8.11. Szum we wzmacniaczach transimpedancyjnych / 767
- 8.11.1. Problem ze stabilnością: podsumowanie / 768
- 8.11.2. Szum wejściowy wzmacniacza / 768
- 8.11.3. Problem szumu enC / 769
- 8.11.4. Szum wzmacniacza transrezystancyjnego / 770
- 8.11.5. Przykład: szerokopasmowy JFET-owy wzmacniacz sygnału z fotodiody / 771
- 8.11.6. Szum kontra wzmocnienie we wzmacniaczu transimpedancyjnym / 773
- 8.11.7. Ograniczanie pasma sygnału wyjściowego wzmacniacza transimpedancyjnego / 774
- 8.11.8. Kompozytowe wzmacniacze transimpedancyjne / 775
- 8.11.9. Redukcja pojemności źródła sygnału techniką bootstrapowania / 779
- 8.11.10. Separacja pojemności źródła sygnału za pomocą układu ze wspólną bazą / 781
- 8.11.11. Wzmacniacz transimpedancyjny z pojemnościowym sprzężeniem zwrotnym / 786
- 8.11.12. Przedwzmacniacz skaningowego mikroskopu tunelowego / 786
- 8.11.13. Osprzęt do testowania przydatny do kompensacji i kalibracji / 789
- 8.11.14. Uwaga końcowa / 789
- 8.12. Pomiary parametrów szumowych i generatory szumu / 789
- 8.12.1. Pomiary bez użycia generatora szumu / 790
- 8.12.2. Przykład: układ do pomiaru parametrów szumowych tranzystora bipolarnego / 791
- 8.12.3. Pomiary z użyciem generatora szumu / 791
- 8.12.4. Generatory szumu i generatory sygnałowe / 794
- 8.13. Ograniczanie szerokości pasma oraz pomiary wartości skutecznej napięcia / 798
- 8.13.1. Ograniczanie szerokości pasma / 798
- 8.13.2. Obliczanie pasmowego napięcia szumu / 801
- 8.13.3. Asymetryczna filtracja niskoczęstotliwościowego szumu wzmacniacza operacyjnego / 803
- 8.13.4. Wyznaczanie częstotliwości granicznej $1/f$ / 804
- 8.13.5. Pomiar napięcia szumu / 806
- 8.13.6. Pomiar prądu szumu / 808
- 8.13.7. Inny sposób: zmontuj własny przyrząd pracujący w zakresie pojedynczych $fA/\sqrt{("HZ")}$ / 811
- 8.13.8. Szumowe rozmaitości / 814
- 8.14. Poprawa stosunku S/N przez zmniejszenie szerokości pasma / 815
- 8.14.1. Detekcja synchroniczna / 816
- 8.15. Szum zasilacza / 819
- 8.15.1. Powielacz pojemności / 820
- 8.16. Zakłócenia, ekranowanie i uziemianie / 821
- 8.16.1. Sygnały zakłócające / 821
- 8.16.2. Problem mas / 825
- 8.16.3. Problem mas przy łączeniu przyrządów ze sobą / 826
- Ćwiczenia dodatkowe do rozdziału 8 / 833
- Podsumowanie rozdziału 8