



Roman Krasowski

PODSTAWY ELEKTRONIKI I TECHNIKI CYFROWEJ



WYŻSZA SZKOŁA ZARZĄDZANIA
I BANKOWOŚCI W KRAKOWIE

Wydawnictwo
Naukowe
Helion

Publikacja dofinansowana ze środków Wyższej Szkoły Zarządzania i Bankowości w Krakowie

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawca dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Redaktor prowadzący: Małgorzata Kulik
Recenzja naukowa: prof. dr hab. inż. Jacek Izydorczyk

Projekt okładki: Studio Gravite/Olsztyn
Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

Grafika na okładce została wykorzystana za zgodą AdobeStock.com.

Helion S.A.
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice
tel. 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
WWW: helion.pl (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
helion.pl/user/opinie/poelte
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-289-0975-5

Copyright © Helion S.A. 2024

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

Wstęp	11
ROZDZIAŁ 1. Podstawowe wiadomości o prawach, elementach i sygnałach używanych w elektronice	13
1.1. Podstawowe wiadomości o prawach stosowanych w elektronice	13
1.2. Źródła sygnałów	20
1.2.1. Źródło napięciowe	21
1.2.2. Źródło prądowe	24
1.3. Sygnały	27
1.3.1. Sygnały sinusoidalne	27
1.3.2. Inne sygnały	28
1.3.3. Częstotliwości graniczne i czas narastania	32
1.3.4. Porównanie sygnałów	34
1.3.5. Źródła sygnałów	35
1.3.6. Transmisja mocy — dopasowanie energetyczne obciążenia	35
1.4. Uogólnione prawo Ohma	36
1.5. Elementy bierne używane w elektronice	38
1.5.1. Rezystor	39
1.5.2. Kondensator	42
1.5.3. Cewka	46
1.6. Czwórnikowa reprezentacja obwodu kształtującego	49
1.7. Dzielnik napięcia zależny od częstotliwości	53
1.7.1. Wprowadzenie	53
1.7.2. Filtr dolnoprzepustowy	56
1.7.3. Filtr górnoprzepustowy	58
ROZDZIAŁ 2. Elementy półprzewodnikowe	61
2.1. Podstawowe własności półprzewodników	61
2.1.1. Poziomy energetyczne w atomie	61
2.1.2. Złącze p-n	70
2.1.3. Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza	73
2.1.4. Wybrane właściwości złącza	75
2.2. Technologia wytwarzania monolitycznych układów półprzewodnikowych	77

ROZDZIAŁ 3. Diody	81
3.1. Modele diod	81
3.1.1. Model diody idealnej	81
3.1.2. Model diody z uwzględnieniem napięcia progowego (dyfuzyjnego)	82
3.1.3. Model z uwzględnieniem napięcia progowego i rezystancji szeregowej złącza	82
3.2. Rodzaje diod	83
3.2.1. Diody prostownicze	83
3.2.2. Diody uniwersalne	85
3.2.3. Diody Zenera	86
3.2.4. Diody pojemnościowe — warikapry	88
3.2.5. Diody tunelowe	89
3.2.6. Diody Schottky'ego	90
3.2.7. Fotodiody	90
3.2.8. Fototranzystory	92
3.2.9. Diody elektroluminescencyjne LED (ang. Light-Emitting Diode)	92
ROZDZIAŁ 4. Przyrządy półprzewodnikowe objętościowe	95
4.1. Hallotrony	95
4.2. Termistory	97
4.3. Fotorezystory	98
ROZDZIAŁ 5. Układy diodowe	101
5.1. Podstawowe układy pracy (wybrane rozwiązania)	101
5.1.1. Prostowniki sieciowe	101
5.1.2. Stabilizatory napięcia	107
5.1.3. Układy automatycznego strojenia częstotliwości	109
5.2. Diody przełączające	110
5.3. Diodowe układy obcinające (przykłady)	113
5.4. Ogniwa fotowoltaiczne	114
5.5. Optoizolatory	115
ROZDZIAŁ 6. Tranzystory	117
6.1. Tranzystory bipolarne	118
6.1.1. Konfiguracje pracy tranzystora	118
6.1.2. Charakterystyki statyczne	121
6.1.3. Modele tranzystorów	127
6.2. Tranzystory polowe — unipolarne	129
6.2.1. Tranzystor polowy złączowy	129
6.2.2. Tranzystor polowy z izolowaną bramką	132
ROZDZIAŁ 7. Klasyfikacja wzmacniaczy	137
7.1. Wzmacniacz napięciowy	137
7.2. Wzmacniacz prądowy	138
7.3. Wzmacniacz transkonduktancyjny	138

7.4. Wzmacniacz transrezystancyjny	139
7.5. Wzmacniacz wielostopniowy	140
ROZDZIAŁ 8. Układy tranzystorowe	141
8.1. Zastosowanie parametrów h do analizy wzmacniacza tranzystorowego	141
8.2. Właściwości wzmacniaczy z tranzystorami bipolarnymi w różnych konfiguracjach	143
8.2.1. Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera (OE)	143
8.2.2. Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora (OC) — wtórnik emiterowy	145
8.2.3. Wzmacniacz w układzie wspólnej bazy (OB)	146
ROZDZIAŁ 9. Właściwości wzmacniaczy z tranzystorami polowymi	149
9.1. Układ ze wspólnym źródłem OS (WS)	149
9.2. Układ ze wspólnym drenem (wtórnik źródłowy) OD (WD)	150
9.3. Układ ze wspólną bramką	151
9.4. Układy zasilania tranzystorów unipolarnych	152
ROZDZIAŁ 10. Ciekawe układy tranzystorowe	153
10.1. Tranzystor jako źródło prądowe	153
10.2. Układ Darlingtona	158
ROZDZIAŁ 11. Wzmacniacze szerokopasmowe	159
11.1. Układ kaskodowy	162
ROZDZIAŁ 12. Wzmacniacze różnicowe	165
12.1. Definicja CMRR (ang. common mode rejection ratio) współczynnik tłumienia sygnału wspólnego	166
12.2. Wejściowe napięcie niezrównoważenia	168
12.3. Tranzystory polowe we wzmacniaczu różnicowym	168
ROZDZIAŁ 13. Wzmacniacze mocy	171
13.1. Wtórnik emiterowy	171
13.2. Komplementarne wtórnik emiterowe pracujące w klasie B	172
13.3. Komplementarne wtórnik emiterowe w klasie AB	174
13.4. Wzmacniacze mocy klasy C oraz D	176
13.5. Stopień mocy we wzmacniaczach operacyjnych	177
ROZDZIAŁ 14. Sprzężenie zwrotne — feedback	179
14.1. Wzmacniacz ze sprzężeniem zwrotnym	180
14.2. Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na właściwości wzmacniaczy	181
ROZDZIAŁ 15. Wzmacniacze operacyjne	185
ROZDZIAŁ 16. Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych	191
16.1. Wzmacniacz odwracający fazę	191
16.2. Wzmacniacz nieodwracający fazy	195
16.3. Sumator	196
16.4. Układ odejmujący	197

16.5. Układ mnożący napięcie przez stały współczynnik	197
16.6. Generator funkcji — układ logarytmujący	198
16.7. Generator funkcji wykładniczej	199
16.8. Źródło prądowe sterowane napięciem	199
16.9. Źródło prądowe z wykorzystaniem tranzystora	200
16.9.1. Źródło prądowe sterowane prądem — wtórnik prądowy (lustro prądowe)	200
16.10. Integrator — układ całkujący	201
16.10.1. Integrator nieodwracający	201
16.11. Układy różniczkujące	202
ROZDZIAŁ 17. Komparatory	203
ROZDZIAŁ 18. Filtry aktywne	205
18.1. Realizacja filtrów pierwszego rzędu	209
18.2. Filtry drugiego rzędu	210
18.3. Filtry pasmowo-przepustowe	213
ROZDZIAŁ 19. Układy zasilające	215
19.1. Transformatory sieciowe	216
19.2. Prostowniki sieciowe	216
19.3. Stabilizatory	216
19.3.1. Stabilizatory impulsowe	221
19.3.2. Modulator szerokości impulsów — Pulse Width Modulator (PWM)	225
ROZDZIAŁ 20. Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe	227
20.1. Przetwarzanie — pojęcia podstawowe	229
20.1.1. Parametry przetwarzania	229
20.1.2. Źródła błędów	231
20.1.3. Efekt aliasingu	234
20.2. Przetworniki analogowo-cyfrowe ADC	235
20.2.1. Przetworniki typu flash	236
20.2.2. Przetworniki licznikowe	237
20.2.3. Przetworniki typu delta-sigma $\Delta\Sigma$ jednobitowe	239
20.2.4. Przetworniki z podwójnym całkowaniem	240
20.3. Przetworniki cyfrowo-analogowe DAC	242
20.3.1. Przetworniki typu ważone R	242
20.3.2. Przetworniki typu R-2R	242
ROZDZIAŁ 21. Układy cyfrowe — podstawowe pojęcia, definicje	245
21.1. System binarny i algebra Boole'a	245
21.2. Układy cyfrowe	248
21.3. Sygnał cyfrowy	250
21.4. Podstawowe parametry układu cyfrowego	252
21.4.1. Szybkość działania	252
21.4.2. Moc pobierana/rozpraszana	253

21.4.3. Odporność na zakłócenia	253
21.4.4. Elastyczność łączeniowa	255
21.4.5. Skala integracji	256
ROZDZIAŁ 22. Podstawowe funktry logiczne	257
22.1. Negacja — NOT, NIE; inwerter, negator	257
22.2. Suma logiczna — OR, LUB	259
22.3. Suma logiczna zanegowana (negacja sumy logicznej) — NOR, LUB-NIE	260
22.4. Iloczyn logiczny — AND, I	261
22.5. Iloczyn logiczny zanegowany (negacja iloczynu logicznego) — NAND, I-NIE	262
22.6. Suma modulo — XOR, EXCLUSIVE-OR, WYŁĄCZNIE-LUB	263
ROZDZIAŁ 23. Funkcje większej ilości zmiennych	265
ROZDZIAŁ 24. Upraszczanie funkcji metodą tablic Karnaugh'a	269
ROZDZIAŁ 25. Podstawowe techniki realizacji	277
25.1. DTL (ang. Diode-Transistor Logic) / RTL (ang. Resistor-Transistor Logic)	277
25.2. TTL — Transistor Transistor Logic	278
25.2.1. Inne funktry logiczne realizowane w technologii TTL	283
25.2.2. Różne ciekawe rozwiązania powstałe na bazie technologii TTL	285
25.2.3. Zasady sterowania i układy sprzęgające	291
25.3. Technologia MOS — Metal Oxide Semiconductor	294
25.3.1. Realizacja podstawowych funktrów logicznych w technologii MOS	294
25.3.2. Realizacja podstawowych funktrów logicznych w technologii CMOS	295
25.3.3. Porównanie struktur wykonanych w technologii TTL oraz CMOS	298
ROZDZIAŁ 26. Przerzutniki	301
26.1. Przerzutniki bistabilne	301
26.1.1. Przerzutniki typu RS	301
26.1.2. Przerzutniki typu D	307
26.1.3. Przerzutniki typu JK	309
26.1.4. Realizacja różnych odmian	313
26.1.5. Podsumowanie wiadomości o przerzutnikach bistabilnych	314
26.2. Przerzutniki monostabilne	317
26.2.1. Detektor zbocza impulsu jako najprostsza realizacja	317
26.2.2. Realizacja umożliwiająca kształtowanie długości impulsu	317
26.2.3. Realizacja jako układ scalony	318
26.2.4. Timer 555	321

26.3. Przerzutniki astabilne — generatory fali prostokątnej	322
26.3.1. Przerzutniki astabilne — realizacja na kondensatorze	323
26.3.2. Przerzutniki astabilne — realizacja z użyciem bramek zlinearyzowanych	325
26.3.3. Realizacja stabilnego generatora drgań z użyciem kwarcu	327
26.3.4. Generator przebiegu prostokątnego stabilizowany rezonatorem kwarcowym	331
ROZDZIAŁ 27. Złożone, sekwencyjne układy cyfrowe	333
27.1. Liczniki	333
27.1.1. Liczniki asynchroniczne	334
27.1.2. Liczniki synchroniczne	336
27.1.3. Liczniki zliczające do dowolnego n	338
27.2. Liczniki rewersyjne	342
27.2.1. Mikrooperacja	346
27.3. Wybrane scalone liczniki firmowe	347
27.4. Generator sekwencji	348
27.5. Detektor sekwencji	350
ROZDZIAŁ 28. Hazard	353
ROZDZIAŁ 29. Automaty stanów skończonych FSM	357
29.1. Automaty Moore’a oraz Mealy’ego	359
29.1.1. Automat Moore’a	359
29.1.2. Automat Mealy’ego	360
29.2. Projekt detektora sekwencji 110	363
29.2.1. Realizacja projektu jako automat Moore’a	363
29.2.2. Realizacja projektu jako automat Mealy’ego	364
ROZDZIAŁ 30. Rejestry	367
30.1. Rejestry przesuwne	367
30.1.1. Rejestr SISO	367
30.1.2. Rejestr SIPO	368
30.1.3. Rejestr PISO	368
30.1.4. Rejestry równoległe PIPO	369
30.2. Rejestry uniwersalne	369
ROZDZIAŁ 31. Multipleksery	371
ROZDZIAŁ 32. Demultipleksery/dekodery	373
ROZDZIAŁ 33. Konwertery kodów	375
ROZDZIAŁ 34. Złożone kombinacyjne układy cyfrowe — przykłady	379
34.1. Klawiatura 64-stykowa	379
34.2. Sekwencyjne wyświetlanie cyfr	380

ROZDZIAŁ 35. Układy arytmetyczne	383
35.1. Sumatory	383
35.1.1. Sumator dwójkowy — półsumator	383
35.1.2. Pełny sumator	384
35.2. Subtraktory (układy odejmujące)	385
35.3. Sumowanie wielobitowe — metody przyspieszania sumowania	387
35.3.1. Antycypowanie przeniesień	387
35.3.2. Sumowanie szeregowo	389
ROZDZIAŁ 36. Kody zapisu liczb ze znakiem	391
36.1. Komplementer (układ realizujący przeniesienie do jeden U1)	391
36.2. Komplementer do dwóch U2	392
ROZDZIAŁ 37. Układy stosowane w jednostkach wykonawczych procesorów	393
37.1. Sumator dziesiętny BCD	393
37.2. Komparatory	394
37.3. Układy generowania i kontroli parzystości	395
37.4. Jednostki arytmetyczno-logiczne ALU	395
ROZDZIAŁ 38. Programowalne struktury logiczne — układy PLD (ang. Programmable Logic Devices)	399
38.1. Układy SPLD	400
38.2. Układy CPLD	407
38.3. FPGA — Field programmable Gate Array — programowalne matryce brankowe	412
38.3.1. Konfigurowalne bloki logiczne	412
38.3.2. Moduły logiczne	414
38.4. Programowanie za pomocą języków opisu sprzętu — HDL (ang. Hardware Description Language)	418
38.5. Podstawowe elementy — jednostki projektowe VHDL	421
38.6. Przykład kompletnego opisu	423
38.7. Diagram przepływu	425
38.7.1. Symulacja funkcjonalna	427
38.7.2. Synteza	427
38.7.3. Programowa realizacja — Software Implementation	428
38.7.4. Symulacja czasowa (ang. timing simulation)	429
38.7.5. Device programming (downloading)	429
Literatura	431
Skorowidz	433

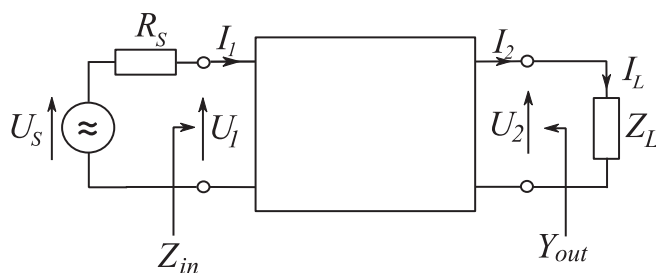
ROZDZIAŁ 8.

Układy tranzystorowe

Projektowanie wzmacniaczy tranzystorowych jest bardzo skomplikowane, zwłaszcza że różni się ono w przypadku projektowania różnych typów wzmacniaczy. Wygląda inaczej, gdy projektowane są wzmacniacze małej, a inaczej — gdy dużej mocy, różnie dla wzmacniaczy mało- lub wielkosygnałowych czy też wzmacniaczy niskiej bądź wysokiej częstotliwości. Dlatego poniżej zostanie przedstawiona tylko metoda projektowania wzmacniaczy małowartościowych, gdzie bardzo często korzysta się z uproszczonych metod projektowania, w szczególności tych z wykorzystaniem macierzy hybrydowej h . Może być ona interesująca dla osób, które dogłębniej pragną poznać tajniki elektroniki analogowej. W praktyce w dzisiejszych projektach podstawą są **wzmacniacze operacyjne** będące bardzo złożonymi wielostopniowymi wzmacniaczami zaprojektowanymi przez wyspecjalizowane firmy. Tak więc wszystko, co będzie dalej pokazane, ma służyć jedynie wytłumaczeniu, jak skonstruowany jest wzmacniacz operacyjny.

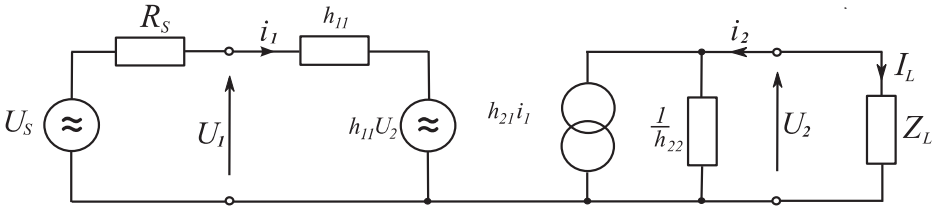
8.1. Zastosowanie parametrów h do analizy wzmacniacza tranzystorowego

Pełna konfiguracja układowa dla analizy powinna również obejmować źródło sygnału oraz obciążenie wzmacniacza.



RYSUNEK 8.1. Model wzmacniacza uwzględniający sygnał źródła oraz obciążenie

Wprowadzając do czwórnika model macierzowy typu h tranzystora bipolarnego, otrzymujemy:



RYSUNEK 8.2. Ten sam model, ale dodatkowo uwzględniający opis macierzowy tranzystora

Wprowadzając cztery podstawowe parametry opisujące każdy wzmacniacz, otrzyma się następujące relacje:

Wzmocnienie prądowe:

$$K_I = \frac{I_L}{I_1} = -\frac{I_2}{I_1}$$

Dla powyższego schematu będzie to zapis w postaci:

$$K_I = -\frac{h_{21}}{1 + h_{22}Z_L}$$

Z uwzględnieniem rezystancji źródła R_S :

$$K_{I_S} = -\frac{I_2}{I_1} = K_I \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_I R_S}{Z_i + R_S}$$

Wzmocnienie napięciowe:

$$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k_I Z_L}{Z_i}$$

z uwzględnieniem rezystancji źródła:

$$K_{U_S} = \frac{U_2}{U_S} = K_U \frac{U_1}{U_S} = \frac{K_I Z_L}{Z_i + R_S}$$

Impedancja wejściowa:

$$Z_i = \frac{U_1}{I_1}$$

$$Z_i = h_{11} + h_{12}K_I Z_L = h_{11} - \frac{h_{21}h_{12}}{Y_L + h_{22}}$$

Wniosek: impedancja wejściowa jest funkcją impedancji obciążenia.

Admitancja wyjściowa:

$$Y_o = \frac{1}{Z_o}$$

$$Y_o = \frac{I_2}{U_2} \text{ przy } U_S = 0 \text{ oraz } Z_i = \infty$$

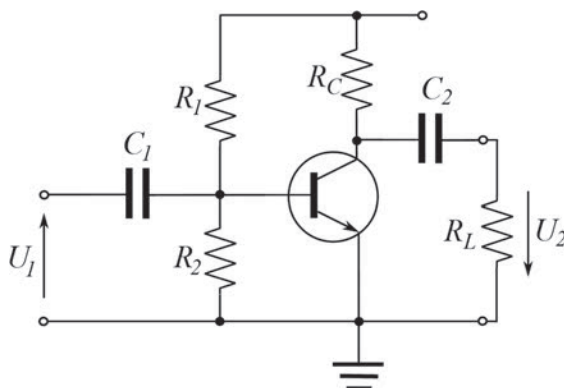
$$Y_o = h_{22} - \frac{h_{21}h_{12}}{h_{11} + R_S}$$

Wniosek: admitancja wyjściowa jest funkcją rezystancji źródła.

8.2. Właściwości wzmacniaczy z tranzystorami bipolarnymi w różnych konfiguracjach

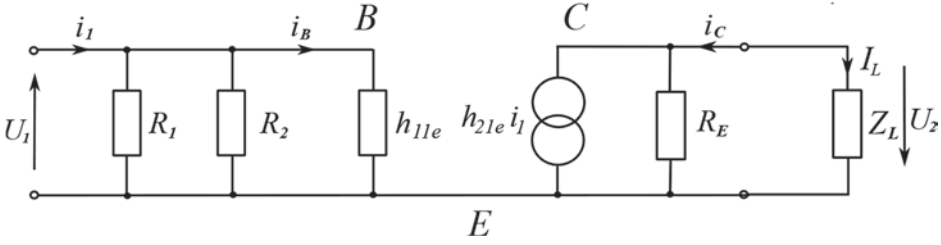
8.2.1. Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera (OE)

Aby nie wprowadzać zakłóceń stałoprądowych dla zdefiniowanego w projekcie wyjściowego punktu pracy tranzystora (punkt Q na charakterystyce z rysunku 6.13), należy dołączyć źródło sygnału poprzez szeregowo zapięty kondensator C_1 . To samo należy zrobić od strony wyjścia. Tym samym taki rozbudowany o kondensatory sprzęgające układ z rysunku 6.12 będzie wyglądał następująco, przy czym układ reprezentuje sobą filtr środkowoprzepustowy.



RYСУNEK 8.3. Wzmacniacz pasmowy w konfiguracji OE

Schemat zastępczy tego wzmacniacza dla zakresu małych i średnich częstotliwości będzie następujący (rysunek 8.4).



RYСУNEK 8.4. Schemat zastępczy wzmacniacza w konfiguracji OE

Interesujące nas podstawowe parametry to:

- wzmacnienie napięciowe K_u ;
- wzmacnienie prądowe K_i ;
- oporność/impedancja wejściowa R_{we} ;
- oporność/impedancja wyjściowa R_{wy} .

Ze schematu

$U_1 = h_{11e} \cdot i_b$ — przyjmując bardzo małe prądy dzielnika R_1, R_2

$$U_2 = h_{21e} \cdot i_b (R_C \parallel R_L)$$

zatem

$$K_u = -\frac{U_2}{U_1} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} (R_C \parallel R_L)$$

$$K_i = -\frac{i_2}{i_1}$$

$$i_2 = h_{21e} i_b \frac{R_C}{R_L + R_C}$$

$$i_1 = i_b \frac{h_{11e} + R_B}{R_B}$$

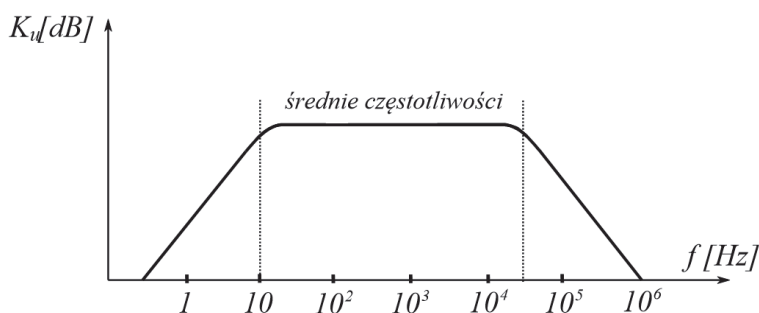
tak więc $K_i = -h_{21e} \frac{R_C}{R_L + R_L} \frac{R_B}{h_{11e} + R_B}$ granicznie przybiera wartość $\approx -h_{21e}$

$$Z_i = R_B \parallel h_{11e} \text{ granicznie } \approx h_{11e}$$

$$Z_{wy} = \frac{1}{Y_o} \parallel R_L, \text{ gdzie } Y_o = h_{22} - \frac{h_{21}h_{12}}{h_{11} + R_S} \approx h_{22e}$$

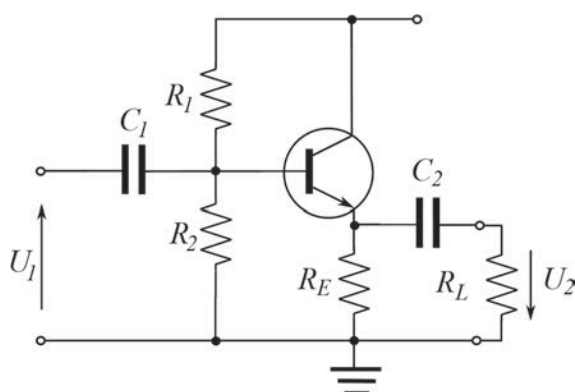
$$Z_{wy} = \frac{1}{h_{22e}} \parallel R_C \text{ praktycznie przy bardzo dużym } h_{22e} \text{ impedancja wyjściowa } Z_{wy} = R_C.$$

Typowa charakterystyka przenoszenia tego wzmacniacza jest pokazana na rysunku 8.5.



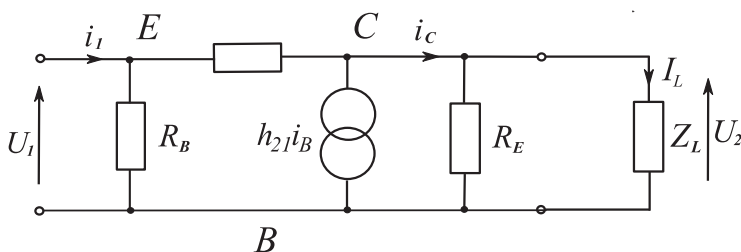
RYSUNEK 8.5. Charakterystyka przenoszenia wzmacniacza w konfiguracji OE

8.2.2. Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora (OC) — wtórnik emiterowy



RYSUNEK 8.6. Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora (OC)

Schemat zastępczy dla średnich częstotliwości przedstawia rysunek 8.7:



RYSUNEK 8.7. Schemat zastępczy wzmacniacza w konfiguracji OC

Tak jak wcześniej: podstawowe parametry wzmacniacza są opisane następującymi formułami:

$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_E}{r_e + R_E} \approx 1$, gdzie r_e jest opornością wewnętrzną tranzystora pomiędzy bazą i emiterem.

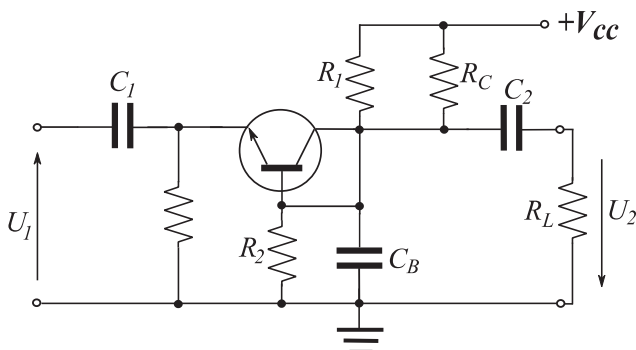
$$K_i = \frac{i_2}{i_1} = \beta; \text{ pamiętamy, że } h_{21e} = \beta$$

$$Z_{in} = R_B \parallel \beta R_E$$

$$Z_{out} = R_E \parallel r_e \approx r_e$$

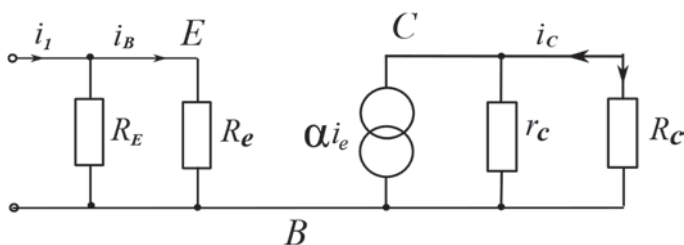
Nazwa **wtórnik emiterowy** bierze się z cechy charakterystycznej wzmacniacza OC, jaką jest wzmocnienie napięciowe na poziomie jednostkowym. Wzmacniacz OC na swoim wyjściu wtóruje napięcie wejściowe.

8.2.3. Wzmacniacz w układzie wspólnej bazy (OB)



RYСУNEK 8.8. Wzmacniacz w układzie wspólnej bazy OB

Schemat zastępczy wzmacniacza dla średnich częstotliwości jest następujący (rysunek 8.9).



RYСУNEK 8.9. Schemat zastępczy wzmacniacza w konfiguracji OB

Podstawowe parametry są następujące:

$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_C}{r_e}$, gdzie r_e to oporność wewnętrzna tranzystora pomiędzy bazą i emiterem

$$K_i = \frac{i_2}{i_1} \approx \alpha = 1$$

$$Z_{in} = r_e$$

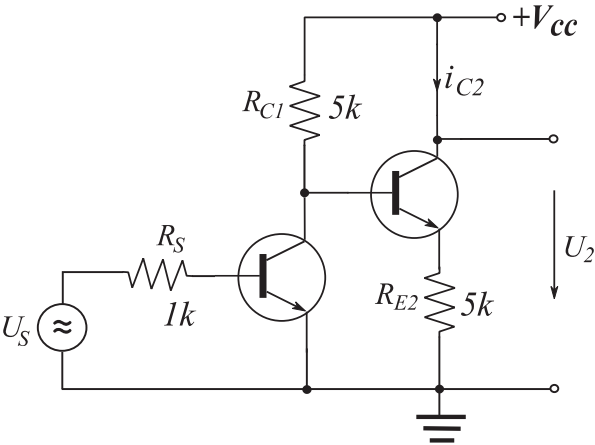
$$Z_{out} = r_c$$

Przedstawione właściwości zostały zestawione w celach porównawczych w tabeli 8.1.

TABELA 8.1. Właściwości wzmacniaczy w różnych konfiguracjach

Parametr	OE	OC	OB
Wzmocnienie napięciowe K_u	Duże, ok. 100	Małe < 1	Duże, ok. 100
Wzmocnienie prądowe K_i	Duże, ok. 100	Duże, ok. 60	Małe < 1
Wzmocnienie mocy K_p	Bardzo duże	Średnie	Średnie
Rezystancja wejściowa R_{in}	Średnia (kilką kΩ)	Duża (setki kΩ) Zależne od R_L	Mała (dziesiątki Ω)
Rezystancja wyjściowa R_{out}	Średnia (dziesiątki kΩ)	Mała (kilkadziesiąt Ω) Zależne od R_S	Duża (pojedyncze MΩ) Zależne od R_L
Faza Φ	180 stopni Odwraca fazę	0 stopni Nie odwraca fazy	0 stopni Nie odwraca fazy

Mając na uwadze przedstawione powyżej podstawowe właściwości wszystkich trzech typów wzmacniaczy, w celu wykonania wzmacniacza o określonych właściwościach wymienionych w rozdziale klasyfikującym wzmacniacze praktycznie stosuje się kaskadowe połączenie określonych typów w celu uzyskania pożądanych parametrów. Przykład pokazuje schemat z rysunku 8.10.



RYSUNEK 8.10. Przykładowy wzmacniacz kaskadowy OE-OC

Skorowidz

A

AC, Alternating Current, 21
ADC, Analog to Digital Converter, 227
admitancja, 37
algebra Boole'a, 246
aliasing, 234
ALM, Adaptive Logic Module, 416, 417
amperomierz, 15
ASIC, Application Specific Integrated Circuit, 399
atom, 61–66
automaty stanów skończonych, FSM, 357
 Mealy'ego, 360
 detektor sekwencji 110, 364
 diagram stanów, 360, 361
 schemat blokowy, 361
 tabela przejść, 361
 Moore'a, 359
 detektor sekwencji 110, 363
 diagram stanów, 359, 360
 schemat blokowy, 357, 359
 tabela przejść, 360

B

bramka, 130
 AND, 261, 283
 NAND, 262, 278, 281, 285–287, 295, 297
 NOR, 260, 277, 284, 294, 297
 NOT, 257
 OR, 259, 284
 trzystanowa TTL, 289
 TTL-S, 285
 XOR, 263
 z otwartym kolektorem typu OC, 289
bufor, 258

C

cewka, L, 36, 46–49
charakterystyka
 baterii, 23
 bramki
 CMOS, 297
 Schmitta, 286
 TTL, 254, 282, 283

bufora, 326
diody, 73
 pojemnościowej, 88
 prostowniczej, 84
 rzeczywistej, 83
 tunelowej, 89
 Zenera, 87
efektu Halla, 96
filtra
 amplitudowa, 207
 Bessela, 208
 dolnoprzepustowego, 56, 205
 górnoprzepustowego, 59
fotodiody, 91
przenoszenia wzmacniacza, 31
przetworników ADC i DAC, 231
reaktancji kwarcu, 329
stabilizatora, 219
termistora, 98
 tranzystora, 121–124, 131, 134, 152
triaka, 113
tyrystora, 111
wzmacniacza, 145, 194
złącza, 73

CLB, Configurable Logic Block, 412, 414
CMOS, 297, 298
CMRR, common mode rejection ratio, 166
CPLD, Complex Programmable Logic Device, 407, 408
cyfrowe układy scalone, 400
czas narastania, 32
częstotliwość graniczna, 32, 159, 206
czułość półprzewodników, 99
czerwornik, 49–53, 121, 205

D

DAC, Digital to Analog Converter, 227
DC, Direct Current, 21
dekoder, 373, 375
demultiplekser, 373
detektor
 sekwencji, 350–352
 zbocza impulsu, 308, 317

diagram przepływu, 425
 konfigurowanie układu, 429
 programowa realizacja, 428
 symulacja czasowa, 429
 symulacja funkcjonalna, 427
 synteza, 427
 diament, 65
 diodowe układy obcinające, 113
 diody
 idealne, 81, 82
 pojemnościowe, 88, 89
 polowe, 155
 półprzewodnikowe, 71, 73–76
 prostownicze, 83, 84
 przełączające, 110
 rzeczywiste, 83
 Schottky'ego, 90
 tunelowe, 89, 90
 uniwersalne, 85
 Zenera, 86, 87, 217
 domieszkowanie, 68, 70
 donor, 68
 dopasowanie energetyczne, 35
 dren, 130
 drgania zestyków, switch contact bounce, 304
 DTL, Diode-Transistor Logic, 277
 dwójnik, 13, 38
 dyfuzja, 79
 dzielnik napięcia, 17, 18
 obciążony, 18
 reprezentowany przez czwórnik, 50
 typu CR, 56, 58
 typu RC, 56
 zależny od częstotliwości, 53
 dziura, 67

E

efekt
 Halla, 95
 Millera, 160, 161
 piezoelektryczny odwrotny, 328
 elektronowolt, 66
 elektrony, 63
 epitaksja, 78

F

fala prostokątna, 29, 30
 filtr
 aktywny, 209
 bierny, 206
 dolnoprzepustowy, 56, 205
 całkowanie sygnałów, 58
 pierwszego rzędu, 209
 transmitancja, 206, 209, 212
 ze wzmacniaczem separującym, 209

górnoprzepustowy, 58
 różniczkowanie sygnału, 59
 Sallena-Keya, 211, 212
 transmitancja, 210
 pasmowo-przepustowy, 213, 214
 pasywny drugiego rzędu, 210
 środkowoprzepustowy, 60
 z dodatnim sprzężeniem zwrotnym, 211

filtry

Bessela, 208
 Butterwortha, 207
 Czebyszewa, 207
 drugiego rzędu, 210
 pierwszego rzędu, 209
 fotodiody, 90, 91
 foton, 62
 fotorezystor, 98
 fototranzystor, 92
 FPGA, Field programmable Gate Array, 412
 bloki logiczne, CLB, 412, 414
 moduły logiczne, ALM, 414, 416, 417
 struktura bazowa, 412
 struktura LUT, 416
 układy ulotne, 415
 FSM, Finite State Machine, 357
 funkcje logiczne
 typu POS, 266, 272
 typu SOP, 266, 271
 funktor logiczny
 iloczyn logiczny, 261
 iloczyn logiczny zanegowany, 262
 negacja, 257
 suma logiczna, 259
 suma logiczna zanegowana, 260
 suma modulo, 263

G

GB, Gain Bandwith, 184
 generator
 drgań prostokątnych, 327
 fali prostokątnej, 322
 funkcji, 198
 funkcji wykładniczej, 199
 parzystości, 395
 przebiegu prostokątnego, 326, 331
 przeniesień antycypowanych, 389
 sekwencji, 348, 349

H

hallotrony, 95, 96
 harmoniczne, 30
 hazard
 dynamiczny, 354
 statyczny, 353, 355
 HDL, Hardware Description Language, 418

I

iloczyn
 logiczny, AND, I, 261, 262
 logiczny trzech zmiennych, 265
 logiczny zanegowany, NAND, I-NIE, 262
 sum POS, 266
 impedancja, 14, 36
 integrator, 201
 nieodwracający, 201
 inwerter, negator, 257, 258
 inżynieria wsteczna, 348

J

jednostka arytmetyczno-logiczna ALU, 395
 język
 HDL, 418
 Verilog, 418
 VHDL, 418, 421, 423
 JFET, Junction Field Effect Transistor, 117, 129
 jon, 63

K

klasy pracy wzmacniacza, 172–176
 klawiatura 64-stykowa, 379
 kod
 BCD, 376
 Greya, 270
 koder, 376
 komparator, 203
 czterobitowy, 394
 komplementer
 do dwóch, 392
 do jeden, 391
 kondensator, C, 36, 42–45
 konduktancja, 37
 kontroler parzystości, 395
 konwersja sygnału prądowego, 127
 konwerter
 kodu BCD, 273
 obniżający napięcie, 222
 odwracający polaryzację napięcia, 224
 podwyższający napięcie, 223
 przekształcający napięcie stałe, 223
 przełączający DC-DC, 221, 222
 konwertery kodów, 375
 dekoder, 375
 enkoder, 376
 koder, 376
 konwerter/driver, 376
 struktura konwertera/drivera, 376
 układ 74148, 377
 krzemionka, 77
 kwant energii, 62

L

LED, Light-Emitting Diode, 92
 liczba zespolona, 36
 licznik dekadowy 74192, 343
 liczniki, 333
 asynchroniczne, 334
 modulo 5, 339
 modulo 6, 338
 modulo 8, 334, 335
 przebiegi czasowe, 334–336, 343
 realizacja, 334, 336
 firmowe, 347
 rewersyjne, 342
 graf przejść, 358
 mikrooperacje, 346
 realizacja, 342, 346
 synchroniczne, 336
 modulo 16, 337
 przeniesienia równoległe, 337
 realizacja, 336, 342
 sprzężenia, 337
 zliczające do dowolnego n, 338
 lustro prądowe, 200
 LUT, Look-UP Table, 411

M

macierz
 admitancyjna y, 127
 hybrydowa h, 127
 rozproszenia s, 127
 macrocela, 404
 masa pozorną, virtual ground, 192
 mikrooperacja, 346
 moc elektryczna, 35, 39
 modulator szerokości impulsów, PWM, 177, 225
 molekuła, 63
 monokryształ, 77
 MOS, Metal Oxide Semiconductor, 294, 295
 MOSFET, Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, 117
 mostek Graetza, 106
 multiplexer, 371

N

napięcie, U, 14
 progowe, Threshold voltage, 130
 negacja, NOT, NIE, 257

O

obciążenie, R, 13
 obwód
 elektryczny, 13
 obciążony impedancją, 36
 rezonansowy, 109, 110
 typu Over Voltage Protection, 220
 ogniwo fotowoltaiczne, 114
 opisy układów cyfrowych, 418, 419
 oporność wewnętrzna, 22
 optoizolatory, 115

P

panel fotowoltaiczny, 114
 parametry
 h, 128, 141
 macierzowe, 128
 pasmo
 przewodnictwa, 65
 walencyjne, 65
 pasywne elementy, 37
 PIPO, Parallel In Parallel Out, 367
 PISO, Parallel In Serial Out, 367
 PLA, Programmable Logic Array, 400
 PLD, Programmable Logic Devices, 399
 pojemności pasożytnicze, 160
 pole wzmocnienia, GB, 184
 połączenie
 równoległe, 13
 szeregowe, 15
 pomiar prądu, 15
 półprzewodniki, 61
 samoistne, 67
 technologia wytwarzania, 77
 typu n, 68, 69
 typu p, 69
 półprzewodnikowe przyrządy objętościowe, 95
 półsumator, 383
 prawa de Morgana, 248
 prawo
 Kirchhoffa, 16, 17, 44
 Ohma, 15, 17, 36
 prąd, I, 13
 dziurowy, 72
 elektronowy, 72
 przesunięcia, 43
 programowalne struktury logiczne, PLD, 399
 diagram przepływu, 425
 układy CPLD, 407
 układy FPGA, 412
 układy SPLD, 400
 prostownik
 dwupołówkowy, 104
 jednopołówkowy, 101

mostkowy, 105, 106
 sieciowy, 216
 przerwa energetyczna, 66
 przerzutnik
 JK
 graf przejść, 316
 przebiegi czasowe, 309
 realizacja, 313
 tabela prawdy, 309, 316
 tabela przejść, 316
 tabela wzbudzeń, 316, 345
 JK MS
 przebiegi czasowe, 311
 schemat blokowy, 311
 struktura, 311
 sygnały SET, 312
 RS
 asynchroniczny, 301–303
 graf przejść, 315
 synchroniczny, 305–307
 tabela prawdy, 314
 tabela przejść, 314
 tabela wzbudzeń, 314
 zbudowany z bramek NAND, 302
 typu D
 graf przejść, 316
 przebiegi czasowe, 308
 realizacja, 313
 struktura, 307
 symbole, 307
 tabela prawdy, 307, 315
 tabela przejść, 315
 tabela wzbudzeń, 315
 układ różniczkujący, 308
 typu T, 310
 realizacja, 313
 schemat, 310
 tabela prawdy, 310
 przerzutniki
 astabilne, 322, 325
 bramka Schmitta, 324
 bramki zlinearyzowane, 325
 generator drgań prostokątnych, 327
 generator przebiegu prostokątnego, 331
 realizacja, 323, 325
 Timer 555, 323
 bistabilne
 typu D, 307
 typu JK, 309
 typu RS, 301
 monostabilne, 317
 kształtowanie długości impulsu, 317
 moduł scalony 74121, 318
 przebiegi czasowe, 320
 realizacja, 317, 318, 321

- regeneracja impulsów, 320
- Timer 555, 321
- zasada wyzwalania, 319
- przetwornice napięcia stałego, 221
- przetwornik
 - analogowo-cyfrowy, ADC, 227
 - typu delta-sigma, 239
 - typu flash, 236
 - typu two step flash, 237
 - z podwójnym całkowaniem, 240, 241
 - z sukcesywną aproksymacją, 237, 238
 - ze zliczaniem bezpośrednim, 237, 238
 - cyfrowo-analogowy, DAC, 227
 - typu R-2R, 242
 - typu ważone R, 242
- przetworniki
 - aliasing, 234
 - błędy, 229–233
 - parametry przetwarzania, 229
- PWM, Pulse Width Modulation, 176, 225

R

- reaktancja, 37
- rejestr
 - PIPO, 369
 - PISO, 368
 - SIPO, 368
 - SISO, 367
- rejestry, 367
 - przesuwne, 367
 - równoległe, 369
 - uniwersalne, 369
- rezonator kwarcowy, 328
- rezystancja, 37
 - Thevenina, 19
- rezystor, R, 14, 36, 39–41
- równanie Schockleya, 73
- różnica potencjałów, 14
- RTL, Register Transfer Level, 419
- RTL, Resistor-Transistor Logic, 277

S

- schemat
 - blokowy
 - automatu Mealy'ego, 361
 - automatu Moore'a, 359
 - automatu stanów skończonych, 357
 - detektora sekwencji, 350
 - toru zasilającego, 215
 - układów PAL, 404
 - układu CPLD, 407
 - zastępczy
 - rezonatora kwarcowego, 328
 - rezystora, 38

- SCR, Silicon Controlled Rectifier, 110
- SEM, siła elektromotoryczna, 17, 21
- siła elektromotoryczna indukcji, 46
- SIPO, Serial In Parallel Out, 367
- SISO, Serial In Serial Out, 367
- skok jednostkowy, 31
- SMD, Surface-Mount Device, 41
- SNR, Signal to Noise Ratio, 229
- spadek napięcia, 14
- SPLD, Simple Programmable Logic Device, 399
 - struktura SOP, 402
 - układ GAL, 404
 - układ PAL, 403
 - układ PLA, 401
- sprzężenie zwrotne, feedback, 179
 - dodatnie, regeneracyjne, 181
 - napięciowe, 156, 179
 - prądowe, 157, 180
 - schemat wzmacniacza, 180
 - ujemne, degeneracyjne, 181
 - właściwości wzmacniaczy, 181
- stabilizator, 216
 - liniowy kompensacyjny, 218
 - parametry, 217
 - projektowanie, 219
 - scalony napięcia, 219
 - schemat, 217
 - zabezpieczenie nadnapięciowe, 220
 - impulsowy, 221
 - napięcia, 107, 108, 221–223
- stała czasowa, τ , 44
- studnia potencjałowa, 65
- subtraktor, 385–387
- suma
 - iloczynów SOP, 266
 - logiczna, OR, LUB, 259, 260
 - logiczna trzech zmiennych, 265
 - logiczna zanegowana, NOR, LUB-NIE, 260, 261
 - moduło, XOR, EXCLUSIVE-OR, WYŁĄCZNIK-LUB, 263
- sumator, 196
 - czterobitowy, 388
 - dwójkowy, 383
 - dziesiętny BCD, 393
 - pełny, 384, 385, 388
- sumowanie
 - szeregowo, 389
 - wielobitowe, 387
- susceptancja, 37
- sygnał
 - cyfrowy, 250
 - liniowo narastający, 28
 - piłokształtny, 28
 - prostokątny, 29, 30
 - sinusoidalny, 27

sygnały

porównanie, 34

źródła, 35

symbol

bufora, 258

cewki, 38, 46

czwórnika, 50

demultipleksera, 373

diody, 81

LED, 92

pojemnościowej, 88

prostowniczej, 83

Schottky'ego, 90

tunelowej, 89

Zenera, 86

fotodiody, 90

fotorezystora, 98

fototranzystora, 92

hallotronu, 96

iloczynu logicznego, 261

iloczynu logicznego zanegowanego, 262

inwertera, 258

kondensatora, 38, 42

mostka Graetza, 106

multipleksera, 371

negacji, 257

obciążenia rezystywnego, 14

półsumatora, 383

przerzutnika synchronicznego SR, 305

przerzutnika typu D, 307

rezonatora kwarcowego, 327

rezystora, 39

subtraktora, 385, 386

sumatora, 384

sumy logicznej, 259

sumy logicznej zanegowanej, 261

sumy modulo, 263

termistora, 97

tranzystora, 118

tranzystora polowego, 133

triaka, 112

wzmacniacza operacyjnego, 185

wzmacniacza/bufora, 325

źródła napięciowego, 21

źródła prądowego, 24

system binarny, 245

szczelinomierz, 116

szereg Fouriera, 29, 54

T

tabela Karnaugh, 341, 345, 349, 351

dla czterech zmiennych, 271

dla pięciu zmiennych, 276

dla sześciu zmiennych, 276

projektowanie układów cyfrowych, 273

sterownika segmentu b, 275

upraszczanie funkcji logicznych, 269

tablica LUT, 411

termistor, 97, 98

transformator sieciowy, 216

transkonduktancja, 150

transmitancja, H, 52, 206

napięciowa, 52

operatorowa, 206

tranzystory

jako źródło prądowe, 153

normalnie włączone, 133–135

normalnie wyłączone, 133

bipolarne, 117, 118

działanie, 119

konfiguracje, 118

konwersja sygnałów prądowych, 126

modele macierzowe, 127

obszary pracy, 124

obszary zabronione, 124

schemat wzmacniacza, 126

współczynnik wzmocnienia

prądowego, 120

polowe, 130, 149

FET, 134

struktura, 131

z izolacją bramki MOSFET, 117

z izolowaną bramką, 132

zasilanie, 152

złączowe, 129–132

złączowe JFET, 117

unipolarne, 117, *Patrz* tranzystory polowe

triak, 112, 113

TTL, Transistor Transistor Logic, 278–291

szybkie bramki TTL-S, 285

układy sprzęgające, 291

wyjścia WIRE-AND, 290

zasady sterowania, 291

twierdzenie

Nortona, 20

Thevenina, 19

tyrystor, 110–112

U

układ

całkujący, 201

cyfrowy, 249–256

elastyczność łączeniowa, 255

kombinacyjny, 249

kształt impulsu, 251

moc pobierana, 253

obciążalność wyjściowa, 255

odporność na zakłócenia, 253

sekwencyjny, 250

skala integracji, 256

szybkość działania, 252

Darlingtona, 158
 logarytmujący, 198
 mnożący napięcie, 197
 odejmujący dwa napięcia, 197
 przestrajania częstotliwości, 109
 różniczkujący, 202
 scalony SN7400, 278
 scalony SN7485, 394
 sterowania obrotami wiertarki, 112
 sumujący napięcia wejściowe, 196
 wspólnego emitera, OE, 143
 wspólnego kolektora, OC, 145
 wspólnej bazy, OB, 146
 układy
 arytmetyczne, 383
 CPLD, 407
 cyfrowe, 245
 klawiatura 64-stykowa, 379
 sekwencyjne, 333
 sekwencyjne wyświetlanie cyfr, 380
 sterowania klawiaturą, 379
 złożone, 333
 złożone kombinacyjne, 379
 cyfrowe programowalne
 języki opisu sprzętu, 418
 struktury PLD, 399
 diodowe, 101
 FPGA, 412
 SPLD, 400
 tranzystorowe, 141, 153
 zasilające, 215
 upraszczanie funkcji logicznych, 269
 kod Greya, 270
 urządzenia zasilające, 215

W

warikapy, 88
 warstwa zaporowa, 70
 wartość skuteczna, 27
 warystory, 88
 węzeł, 15
 wiązania
 kowalentne, 64
 molekularne, 63
 wir, 18
 woltomierz, 15
 wspólna
 baza OB, 162
 bramka, 151
 wspólne źródło OS, WS, 149
 wspólny
 dren OD, WD, 150
 emiter OE, 160
 kolektor OC, 161
 współczynnik

wzmocnienia prądowego β , 121, 159
 wzmocnienia prądowego α , 120
 zawartości harmonicznych h , 182
 wtórnik
 emiterowy, 146, 171
 emiterowy komplementarny, 173
 napięciowy, 195
 wypełnienie, 29
 wyświetlacz siedmiosegmentowy, 380
 wzmacniacz, 31
 kaskadowy OE-OC, 147
 kaskodowy, 162, 163
 mocy
 klasy, 173–176
 punkt pracy, 152, 173–176
 wtórnik emiterowy, 171, 173
 zniekształcenia skrośne, 175
 napięciowy, 137
 operacyjny, 141
 generator funkcji, 198, 199
 integrator, 201
 karta katalogowa, 187, 188
 komparatory, 203
 nieodwracanie fazy, 195
 odwracanie fazy, 191
 OPAMP, 185
 schemat, 186
 schemat zastępczy, 189
 stopień mocy, 177
 struktura wewnętrzna, 188
 sumator, 196
 układ mnożący napięcie, 197
 układ odejmujący, 197
 układy różniczkujące, 202
 źródła prądowe, 199
 prądowy, 138
 różnicowy, 165
 niesymetryczny, 169
 symetryczny, 170
 tranzystory polowe, 168
 wejściowe napięcie niezrównoważenia,
 168
 współczynnik CMRR, 166
 zmiany napięcia, 193
 szerokopasmowy, 159
 układ kaskodowy, 162
 transkonduktancyjny, 138
 transrezystancyjny, 139
 tranzystorowy
 parametry h , 141
 w układzie OE, 156, 157
 w konfiguracji OB
 efekt Millera, 162
 parametry, 146
 schemat zastępczy, 146
 właściwości, 147

wzmacniacz

- w konfiguracji OC
 - efekt Millera, 161
 - parametry, 145
 - schemat zastępczy, 145
 - właściwości, 147
 - w konfiguracji OD, 150
 - parametry, 151
 - schemat zastępczy, 151
 - w konfiguracji OE, 143–145, 156
 - charakterystyka przenoszenia, 145
 - parametry, 144
 - pojemności pasożytnicze, 160
 - schemat zastępczy, 144
 - właściwości, 147
 - w konfiguracji OS, 149
 - parametry, 149
 - schemat zastępczy, 149
 - wielostopniowy, 140
 - ze sprzężeniem zwrotnym, 180
- wzmacniacze
- admitancja wyjściowa, 143
 - impedancja wejściowa, 142
 - impedancja wyjściowa, 183
 - parametry, 183
 - redukcja zniekształceń harmoniczných, 182
 - stabilność, 182
 - wpływ sprzężenia, 183
 - wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego, 181
 - wrażliwość, 181
 - wzmocnienie napięciowe, 142
 - wzmocnienie prądowe, 142
 - z tranzystorami polowymi, 149, 152

wzmocnienie

- różnicowe, Differential, 166
- wspólne, Common, 166

Z

- zapis liczb ze znakiem, 391
- zasilacz
 - impulsowy, 223, 224
 - z ograniczeniem prądowym, 220
- złącze
 - charakterystyka prądowo-napięciowa, 73
 - pojemność, 76
 - półprzewodnikowe, p-n, 70–72
- zwis, 31

Ź

- źródła sygnałów, 35
- źródło, 13, 130
 - idealne, 21, 22
 - napięciowe, 21, 22
 - prądowe
 - model nierealizowalny, 26
 - model rzeczywisty, 25
 - sterowane napięciem, 199
 - sterowane prądem, 200
 - tranzystorowe, 153, 200
 - zmodyfikowane, 154

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion 

Lekko, łatwo i przyjemnie o sprawach nie zawsze prostych

Książka powstała z myślą o studentach informatyki i o każdym, kto przygotowuje się do pracy w zawodzie związanym z programowaniem i administrowaniem sieciami. A także z innymi obszarami, w których wiedza i umiejętności z zakresu informatyki są kluczowe, ale w których niebagatelne znaczenie ma również znajomość podstaw elektroniki. Ponieważ zagadnienia związane z elektroniką analogową oraz cyfrową nie zawsze są łatwe do zrozumienia, autor postanowił zaprezentować je w przystępnej formie.

Czytelnik znajdzie więc w książce wiele rysunków i schematów wyjaśniających poglądowo kolejne tematy. Została ona pomyślana tak, by stymulować wyobraźnię odbiorcy w kierunku samodzielnego zrozumienia, co dany układ czy schemat przedstawia i jak działa. Przewodnik zawiera wiedzę o elektronice w zakresie, w jakim powinien ją opanować każdy przyszły absolwent informatyki, który chce się legitymować wykształceniem technicznym na solidnym, wartościowym dla pracodawców poziomie.

- **Poznaj prawa, elementy i sygnały stosowane w elektronice**
- **Dowiedz się, jak działają elementy półprzewodnikowe, diody, tranzystory**
- **Zrozum rolę wzmacniaczy i komparatorów**
- **Przyjrzyj się najważniejszym układom, na których bazuje elektronika**

Roman Krasowski — doktor inżynier w dziedzinie elektroniki, specjalizujący się w aparaturze elektronicznej. Jego kariera naukowa związana jest ściśle z Akademią Górniczo-Hutniczą, a potem z Wyższą Szkołą Zarządzania i Bankowości. Współtworzył pierwszy Instytut Informatyki w AGH, gdzie prowadził zajęcia z elektroniki i budowy sprzętu komputerowego. W trakcie kariery naukowej odbył liczne staże naukowe, między innymi w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej pod Moskwą, a także na Uniwersytecie w Brescii we Włoszech, będącym filią Politechniki Mediolańskiej. Brał udział w wielomiesięcznej ekspedycji naukowo-eksploracyjnej w Andach w Peru. Uczestniczył w wielu misjach jako ekspert Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu. W wolnym czasie lubi podróżować własnym kamperem po Europie.

Helion 



helion.pl



HELION S.A.
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
helion@helion.pl

KOD KORZYŚCI
Sięgnij po więcej! ▶



ISBN 978-83-289-0975-5



Cena: 89,00 zł