

Witold Wrotek

55 układów tranzystorowych

**Elektronika
bez oporu**

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

Projekt okładki: Studio Gravite / Olsztyn

Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

Grafika na okładce została wykorzystana za zgodą Shutterstock.com.

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <https://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<https://helion.pl/user/opinie/elebeo>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-283-9717-0

Copyright © Helion S.A. 2023

Printed in Poland.

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

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

SPIST TREŚCI

WSTĘP	9
Czy warto poświęcać czas na zrozumienie zasady działania tranzystora?	10
Jak czytać oznaczenia?	12
Tranzystor — uściślenie pojęć	13
Ile wynosi wzmocnienie tranzystora?	14
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	16
1. ZABEZPIECZENIE TRANZYSTORA PRZED PRZEBICIEM	17
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	22
2. STABILIZATOR NAPIĘCIA Z DIODĄ ZENERA	24
Skąd wiadomo, jakie jest napięcie znamionowe diody Zenera?	25
Czy sama dioda Zenera może być stabilizatorem?	26
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	32
3. STABILIZATOR NAPIĘCIA Z REDUKCJĄ TĘTNIENÍ	34
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	37
4. WTÓRNIK EMITEROWY	39
Jak wyznaczyć punkt pracy?	40
Jak zidentyfikować tranzystor?	46
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	49
5. CO TO JEST ŹRÓDŁO PRĄDOWE?	50
Najprostsze źródło prądowe	53
Bardzo dobre źródło prądowe	54
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	54

6. ŹRÓDŁA PRĄDOWE DLA PRAKTYKÓW	56
Źródło prądowe z diodą Zenera	58
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	59
7. ŹRÓDŁO PRĄDOWE Z KOMPENSACJĄ TEMPERATUROWĄ	61
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	65
8. ŹRÓDŁO PRĄDOWE W UKŁADZIE KASKODY	66
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	69
9. ŹRÓDŁO PRĄDOWE O WYDAJNOŚCI NIEZALEŻNEJ OD NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO	71
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	73
10. JAK WYTWORZYĆ SYGNAŁ SYMETRYCZNY?	74
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	77
11. WZMACNIACZ W UKŁADZIE WSPÓLNEGO EMITERA	79
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	83
12. WZMACNIACZ ZE WSPÓLNYM EMITEREM — MODYFIKACJA PROJEKTU	85
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	92
13. CZY ISTNIEJE WSPÓLNY EMITER BEZ WAD?	94
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	96
14. WTÓRNIK PRĄDOWY	97
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	98
15. WZMACNIACZ MOCY KLASY A	100
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	102
16. PRZECIWSOBNY WZMACNIACZ MOCY	104
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	106
17. WZMACNIACZ PRZECIWSOBNY ZE STABILIZACJĄ PUNKTU PRACY	108
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	110
18. UKŁAD DARLINGTONA	112
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	113
19. DLACZEGO UKŁAD DARLINGTONA DZIAŁA WOLNO?	116
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	118

20. UKŁAD SZIKLAIEGO	120
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	121
21. BOOTSTRAP	124
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	127
22. PARA RÓŻNICOWA	129
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	132
23. JAK ZWIĘKSZYĆ CMRR WZMACNIACZA RÓŻNICOWEGO?	134
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	136
24. JAK ZWALCZAĆ PASOŻYTY W TRANZYSTORACH?	138
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	141
25. STABILIZATOR NAPIĘCIA	143
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	146
26. WŁĄCZNIK Z TRANZYSTOREM MOS	148
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	152
27. POŁOWE ŹRÓDŁO PRĄDOWE	153
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	157
28. PRZELĄCZNIK ANALOGOWY	158
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	160
29. MULTIPLEKSER ANALOGOWY	162
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	165
30. FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY	168
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	170
31. INWERTER MOS	173
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	175
32. PRZERZUTNIK SCHMITTA	177
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	179
33. PRZERZUTNIK BISTABILNY	182
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	184
34. UNIWIBRATOR	187
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	190

35. MULTIWIATOR	192
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	195
36. GENERATOR PIERCE'A	197
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	200
37. GENERATOR COLPITSA	203
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	206
38. GENERATOR HARTLEYA	207
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	209
39. ZABEZPIECZENIE NADNAPIĘCIOWE	211
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	214
40. OGRANICZNIK BAKERA	216
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	219
41. FUNKCJA NOR	223
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	225
42. FUNKCJA OR	227
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	229
43. FUNKCJA AND	232
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	234
44. WSPÓLNA BAZA	236
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	239
45. WSPÓLNY KOLEKTOR	241
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	242
46. UKŁAD ZE SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM NAPIĘCIOWYM SZEREGOWYM	245
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	247
47. UKŁAD ZE SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM NAPIĘCIOWYM RÓWNOLEGŁYM	249
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	250
48. UKŁAD ZE SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM PRĄDOWYM RÓWNOLEGŁYM	252
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	254
49. UKŁAD ZE SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM PRĄDOWYM SZEREGOWYM	255
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	257

50. TRANZYSTOROWY GENERATOR RC Z PRZESUWNIKIEM FAZOWYM	259
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	262
51. SPRZĘGANIE UKŁADÓW CYFROWYCH Z KOMPARATORAMI I WZMACNIACZAMI OPERACYJNYMI	264
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	266
52. DOŁĄCZANIE OBCIĄŻEŃ DO WYJŚĆ UKŁADÓW LOGICZNYCH	268
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	270
53. PRZEŁĄCZANIE PRĄDÓW O DUŻYM NATĘŻENIU	272
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	274
54. STEROWANIE DIODY LED Z UKŁADU CYFROWEGO	276
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	278
55. STEROWANIE PRZEKAŹNIKIEM ZA POŚREDNICTWEM BRAMKI TTL LUB CMOS	280
Pytania dla lepszego tematu pojmowania	282

ZABEZPIECZENIE TRANZYSTORA PRZED PRZEBICIEM

Uszkodzenie tranzystora może spowodować nie tylko wiedziony ciekawością autor książki (rysunek w.2), ale również przekroczenie dopuszczalnych warunków pracy elementu. Złącze półprzewodnikowe jest niewielkich rozmiarów. Równie znikome są maksymalne moce wydzielane na tranzystorze i napięcia, które są dla niego bezpieczne (rysunek 1.1).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base	–	30	V
	2N2222A		–	40	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5V	
	2N2222A		–	6V	

Rysunek 1.1. Maksymalne napięcia pomiędzy elektrodami tranzystora⁷

Dla tranzystora 2N2222 maksymalne napięcie pomiędzy kolektorem i bazą (V_{CBO}) może wynosić do 60 V. Maksymalne napięcie pomiędzy kolektorem a emiterem (V_{CEO}) nie powinno przekroczyć 30 V. Znacznie odbiega od nich maksymalne napięcie pomiędzy emiterem i bazą (V_{EBO}). Wynosi ono zaledwie 5 V. Łatwo o jego przekroczenie.

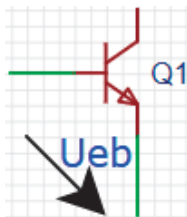
⁷ Źródło: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/15067/PHILIPS/2N2222/745/3/2N2222.html>; dostęp 2.05.2022.



Dłaczego bohaterem opowieści jest tranzystor 2N2222? Został on zaprezentowany na konferencji IRE w nowojorskim Coliseum w marcu 1962 r. Pod różnymi nazwami produkowany jest do dziś.

Obwody baza – emiter i baza – kolektor zachowują się jak diody. W warunkach normalnej pracy (tranzystor przewodzi) dioda baza – emiter jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia, a dioda baza – kolektor w kierunku zaporowym. Napięcie U_{be} tranzystora w stanie przewodzenia wynosi od około 0,6 do 0,7 V. W stanie głębokiego nasycenia może zbliżać się do 0,8 V. Dla tranzystora n-p-n napięcie U_{be} wyższy potencjał ma na bazie, a niższy na emiterze.

Napięcie U_{eb} (rysunek 1.2) ma wyższy potencjał na emiterze, a niższy na bazie. Złącze emiterowe spolaryzowane jest w kierunku zaporowym.



Rysunek 1.2. Złącze emiter – baza tranzystora 2N2222 spolaryzowane w kierunku zaporowym nie zostanie uszkodzone, dopóki napięcie nie przekroczy 5 V

Co się stanie, gdy maksymalne dopuszczalne napięcie zostanie przekroczone? Nastąpi nieodwracalne uszkodzenie tranzystora i popłynie prąd (rysunek 1.3).

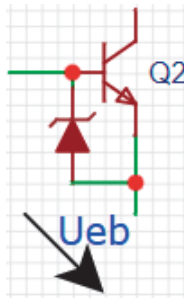
Czy można zabezpieczyć tranzystor przed przebicciem? Czy jest to bardzo kłopotliwe i kosztowne?

Zabezpieczenie jest możliwe i dosyć proste. Wystarczy równolegle ze złączem emiter – baza połączyć diodę półprzewodnikową (rysunek 1.4). Dioda musi być skierowana odwrotnie niż złącze emiterowe.

Jak działa zabezpieczenie? Gdy potencjał bazy jest wyższy niż kolektora, dioda zabezpieczająca jest spolaryzowana w kierunku zaporowym. Stanowi ona rozwarcie. Tranzystor może zostać wprowadzony w stan przewodzenia lub nasycenia.



Rysunek 1.3. Prąd i woda zachowują się podobnie. Przebiecie zaporowej bariery powoduje ich niekontrolowany przepływ⁸



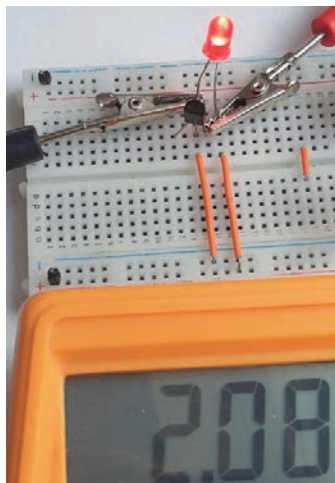
Rysunek 1.4. Zabezpieczenie przed wstecznym przebieciem emiter – baza tranzystora

Sytuacja zmienia się, gdy napięcie na bazie jest niższe od napięcia na emiterze. Dopóki nie przekroczy 0,6 V, dioda zabezpieczająca nie wpływa na działanie układu. Gdy dioda zacznie przewodzić, utrzymuje napięcie od około 0,6 V do 0,7 V, w zależności od typu diody i płynącego przez nią prądu.

Dioda zabezpieczająca połączona jest równolegle ze złączem emiter – baza. Spadek napięcia na elementach połączonych równolegle jest identyczny. Zatem napięcie na chronionym złączu emiter – baza nie przekracza napięcia przewodzenia diody.

⁸ Źródło: <https://pixabay.com/photos/high-speed-picture-ultra-slow-motion-2068463/>; dostęp 2.05.2022.

Był wykład, a teraz pora na przykład (rysunek 1.5). Baza tranzystora (BC547C) podłączona została do masy (szyna oznaczona znakiem $-$). Emiter tranzystora podłączony został do napięcia V_{CC} o wartości $+5\text{ V}$ (szyna oznaczona znakiem $+$). Równolegle ze złączem emiter – baza podłączona jest dioda LED. Spolaryzowana jest tak, żeby przy wstecznej polaryzacji złącza tranzystora przewodziła. Oczywiście można użyć innej diody półprzewodnikowej. Dioda LED ma tę zaletę, że świeceniem sygnalizuje spolaryzowanie złącza emiterowego w kierunku zaporowym. Jej napięcie przewodzenia jest niższe od maksymalnego napięcia na spolaryzowanym zaporowo złączu emiterowym tranzystora.



Rysunek 1.5. Złącze emiterowe tranzystora chronione przed przebiciem przez diodę LED

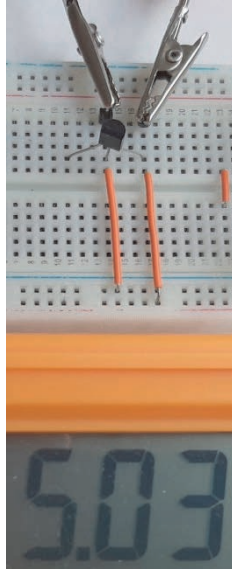
Układ zasilany jest ze źródła o wartości $+5\text{ V}$. Mimo to napięcie U_{eb} wynosi $2,08\text{ V}$. Jest niższe od maksymalnego dopuszczalnego napięcia wstecznego na złączu emiterowym.

Dalszy wzrost napięcia zasilającego nie spowoduje przekroczenia dozwolonego napięcia.



Układ pokazany na rysunku 1.4 nie jest całkowicie bezawaryjny. Bardzo duże napięcie wsteczne może spowodować uszkodzenie diody. Aby zminimalizować prawdopodobieństwo takiego zdarzenia, należy zastosować diodę o parametrach dopuszczalnych dobranych z odpowiednim zapasem.

Usunięcie diody z układu powoduje, że na złączu emiterowym odłoży się napięcie zasilania (rysunek 1.6).

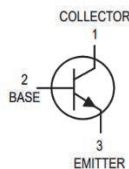


Rysunek 1.6. Napięcie na złączu emiterowym tranzystora po odłączeniu diody LED

Tranzystor przetrwał wszystkie eksperymenty (rysunek 1.8). Był chroniony przez diodę (rysunek 1.5), a napięcie na wstecznie spolaryzowanym złączu emiterowym nie przekroczyło wartości maksymalnej (rysunek 1.7).

Amplifier Transistors

NPN Silicon



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	65	45	30	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	80	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	6.0			Vdc

BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

Rysunek 1.7. Maksymalne napięcie V_{EBO} tranzystora BC547C wynosi 6 V⁹

⁹ Źródło: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2895/MOTOROLA/BC547C.html>; dostęp 2.05.2022.



Rysunek 1.8. Tranzystor po eksperymentach ma nadal zdolność wzmacnienia h_{FE}

Pytania dla lepszego tematu pojmowania

1. Przekroczenie wartości dopuszczalnego napięcia U_{EB} powoduje:
 - a) że złącze ulega przebiciu, zachowuje się jak dioda Zenera (stabilizuje napięcie),
 - b) konieczność zakupu nowego tranzystora,
 - c) zatkanie złącza aż do momentu usunięcia nadmiarowych nośników przez rekombinację.
2. W tranzystorze 2N2222 maksymalne napięcie U_{EB} :
 - a) jest równe maksymalnemu napięciu U_{CB} ,
 - b) jest równe maksymalnemu napięciu U_{CE} ,
 - c) jest kilka razy mniejsze od napięć U_{CB} i U_{CE} .
3. Napięcie U_{BE} tranzystora w stanie przewodzenia wynosi:
 - a) od około 0,6 do 0,7 V,
 - b) 2,08 V,
 - c) 5 V.
4. W stanie przewodzenia złącze emiterowe tranzystora n-p-n spolaryzowane jest:
 - a) w kierunku przewodzenia,
 - b) w kierunku zaporowym,
 - c) na przemian w obu stanach, gdyż w jednym kierunku płyną elektrony, a w drugim dziury.

- 5.** Zabezpieczenie tranzystora przed przebicciem złącza emiterowego w kierunku zaporowym polega na:
- a)** podłączeniu szeregowo z tranzystorem elementu, na którym powstaje spadek napięcia,
 - b)** podłączeniu równoległe z tranzystorem elementu, na którym powstaje spadek napięcia mniejszy od dopuszczalnego dla tranzystora,
 - c)** podłączeniu elementu sygnalizującego świeceniem przekroczenie dopuszczalnego napięcia.

Odpowiedzi:

1 b, 2 c, 3 a, 4 a, 5 b

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 

55 układów tranzystorowych

**Elektronika
bez oporu**

Układy elektroniczne – od teorii do praktyki

Najnowsza książka Witolda Wrotka liczy – jak wskazuje tytuł – 55 rozdziałów, które stanowią stopniowe wprowadzenie w świat elektroniki, a konkretnie tranzystorów i zbudowanych na ich podstawie układów. Treść zawarta w tym przystępnym przewodniku została zilustrowana licznymi schematami i niejednokrotnie żartobliwymi fotografiami z równie zabawnymi podpisami. Z wciągającej lektury czytelnik dowie się między innymi, jak czytać oznaczenia na schematach układów elektronicznych, a także czym są baza, Bootstrap, dziury, para różnicowa czy przebicia.

Ponadto początkujący adepci elektroniki uzyskają odpowiedzi na różne, niejednokrotnie przekornie postawione pytania. Na przykład: czy warto poświęcać czas na zrozumienie zasady działania tranzystora? Lub: jak zwalczać pasożyty w tranzystorach? Zdobędą też wiedzę na temat budowy wzmacniaczy, sprzęgania układów cyfrowych z komparatorami i wzmacniaczami operacyjnymi.

Każdy rozdział kończy się zestawem pięciu pytań (wraz z odpowiedziami), sprawdzających stan wiedzy i poziom zrozumienia omawianych zagadnień.

- **Zabezpieczenie tranzystora przed przebiciem**
- **Stabilizator napięcia z diodą Zenera**
- **Stabilizator napięcia z redukcją tętnień**
- **Wtórnik emiterowy, filtr dolnoprzepustowy**
- **Układy Darlingtona i Sziklaiego**
- **Przełącznik i multiplekser analogowy**
- **Przerzutnik bistabilny, uniwibrator, multiwibrator**
- **Generator Colpittsa i Hartleya, ogranicznik Bakera, przerzutnik Schmitta**
- **Funkcje: NOR, OR, AND**

Z tranzystorami i układami za pan brat

Helion 		KOD KORZYŚCI Sięgnij po więcej! ► 	
	helion.pl	ISBN 978-83-283-9717-0	
	HELION SA ul. Kościuszki 1c 44-100 Gliwice tel.: 32 230 98 63 helion@helion.pl	 9 788328 397170	
Cena: 59,90 zł			