

Naucz się elektroniki z programem Excel!

- Poznaj podstawy elektroniki na konkretnych przykładach
- Naucz się wyznaczać charakterystyki układów za pomocą Excela
- Dowiedz się, jak przy użyciu arkusza rozwiązywać elektroniczne problemy projektowe

# Elektronika z Excelem



Witold Wrotek



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 Wydawnictwo HELION 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 Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Redaktor prowadzący: Michał Mrowiec

Projekt okładki: Maciej Pasek

Materiały graficzne na okładce zostały wykorzystane za zgodą Shutterstock.

Wydawnictwo HELION  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE  
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie?eleexc>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Kody źródłowe wybranych przykładów dostępne są pod adresem:

<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/eleexc.zip>

ISBN: 978-83-246-4301-1

Copyright © Helion 2012

Printed in Poland.

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

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

# Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	<b>9</b>
<b>Rozdział 1. Tranzystor bipolarny</b> .....	<b>11</b>
1.1. Aproksymacja wyników pomiarów .....	13
1.2. Charakterystyka przejściowa .....	14
1.3. Charakterystyka wyjściowa .....	17
1.4. Punkt pracy tranzystora .....	18
1.5. Stabilizacja punktu pracy tranzystora .....	21
Pytania sprawdzające .....	23
<b>Rozdział 2. Elementy optoelektroniczne</b> .....	<b>25</b>
2.1. Źródła promieniowania .....	25
2.1.1. Zasilanie diody LED .....	26
2.1.2. Szeregowe połączenie diod LED .....	30
2.1.3. Równoległe połączenie diod LED .....	31
2.1.4. Sterowanie z bramki logicznej .....	32
2.2. Odbiorniki promieniowania .....	34
2.2.1. Fotorezystor .....	35
2.2.2. Fotodiody .....	38
2.2.3. Fototranzystor .....	40
Pytania sprawdzające .....	42
<b>Rozdział 3. Wzmacniacze</b> .....	<b>43</b>
3.1. Wzmacniacz m.cz .....	43
3.2. Badanie pasma przenoszenia wzmacniacza .....	49
3.3. Wzmacniacz odwracający .....	51
Pytania sprawdzające .....	52
<b>Rozdział 4. Generatory</b> .....	<b>53</b>
4.1. Generator przebiegu sinusoidalnego z tranzystorami .....	54
4.2. Generator fali prostokątnej ze wzmacniaczem operacyjnym .....	55
4.3. Generator fali prostokątnej z układem czasowym 555 .....	56
4.4. Generator fali prostokątnej z bramką NAND .....	59
Pytania sprawdzające .....	61
<b>Rozdział 5. Kształtowanie przebiegów</b> .....	<b>63</b>
5.1. Przeliczanie mierzonej wartości na decybele .....	63
5.2. Przeliczanie mierzonej wartości na nepery .....	64
5.3. Reaktancja pojemnościowa .....	65

5.4. Filtr dolnoprzepustowy .....	66
5.4.1. Charakterystyka przenoszenia .....	67
5.4.2. Charakterystyka fazowa .....	67
5.4.3. Częstotliwość odcięcia .....	69
5.5. Filtr górnoprzepustowy .....	69
5.5.1. Charakterystyka przenoszenia .....	70
5.5.2. Charakterystyka fazowa .....	70
5.5.3. Częstotliwość odcięcia .....	70
5.6. Układ całkujący .....	71
5.7. Układ różniczkujący .....	72
5.8. Klucz diodowy .....	74
5.9. Stabilizator z diodą Zenera .....	76
Pytania sprawdzające .....	77
<b>Rozdział 6. Układy cyfrowe kombinacyjne .....</b>	<b>79</b>
6.1. Sygnał cyfrowy .....	79
6.1.1. Analysis ToolPak .....	81
6.1.2. Konwersja liczb dziesiętnych .....	82
6.1.3. Konwersja liczb dwójkowych .....	83
6.1.4. Konwersja liczb szesnastkowych .....	83
6.1.5. Konwersja liczb ósemkowych .....	83
6.2. Funktory logiczne .....	83
6.2.1. Negacja .....	84
6.2.2. Suma logiczna .....	84
6.2.3. Iloczyn logiczny .....	85
6.3. Detektory stanów .....	86
6.3.1. Detektor Y(6) .....	86
6.3.2. Detektor Y(9) .....	87
6.3.3. Detektor Y(6,9) .....	88
6.4. Tabela prawdy — siatka Karnaugha .....	89
Pytania sprawdzające .....	90
<b>Rozdział 7. Układy cyfrowe sekwencyjne .....</b>	<b>93</b>
7.1. Przerzutnik RS .....	94
7.2. Przerzutnik D .....	97
7.2.1. Latch .....	97
7.2.2. Przerzutnik D wyzwalany zboczem .....	98
7.3. Przerzutnik J-K .....	100
7.4. Przerzutnik JK-MS .....	101
7.5. Sterowanie sygnalizacją świetlną .....	103
Pytania sprawdzające .....	104
<b>Rozdział 8. Liczniki i rejestry .....</b>	<b>105</b>
8.1. Licznik asynchroniczny .....	107
8.1.1. Licznik modulo n .....	108
8.2. Licznik synchroniczny .....	110
8.3. Rejestr .....	112
Zadania sprawdzające .....	114
<b>Rozdział 9. Przetworniki A/C i C/A .....</b>	<b>115</b>
9.1. Przetwornik A/C .....	116
9.1.1. Parametry podstawowe .....	116
9.2. Przetwornik C/A .....	117
9.2.1. Parametry podstawowe .....	118
9.3. Próbkowanie .....	118

9.4. Aliasing .....	119
9.5. Harmoniczne .....	119
9.6. Błąd kwantowania .....	121
Pytania sprawdzające .....	122
<b>Rozdział 10. Systemy mikrokomputerowe .....</b>	<b>123</b>
10.1. Arytmetyka binarna .....	124
10.1.1. Sumowanie binarne .....	124
10.1.2. Odejmowanie binarne .....	125
10.1.3. Mnożenie binarne .....	126
10.1.4. Dzielenie binarne .....	127
10.2. Wybrane rozkazy .....	130
10.2.1. Przesuwanie w lewo .....	130
10.2.2. Przesuwanie w lewo z przeniesieniem .....	131
10.2.3. Przesyłanie danych .....	132
Pytania sprawdzające .....	133
<b>Rozdział 11. Komunikacja radiowa i telewizyjna .....</b>	<b>135</b>
11.1. Propagacja fal elektromagnetycznych .....	136
11.2. Zakresy fal radiowych .....	137
11.3. Natężenie pola .....	138
11.4. Dipole UKF .....	139
11.5. Widoczność bezpośrednia .....	140
11.6. Kabel współosiowy .....	141
11.7. Zrozumiałość mowy .....	143
11.8. Modulacja amplitudy .....	143
Pytania sprawdzające .....	144
<b>Dodatek A Odpowiedzi do pytań .....</b>	<b>145</b>
Rozdział 1. ....	145
Rozdział 2. ....	145
Rozdział 3. ....	146
Rozdział 4. ....	147
Rozdział 5. ....	148
Rozdział 6. ....	150
Rozdział 7. ....	150
Rozdział 8. ....	151
Rozdział 9. ....	153
Rozdział 10. ....	154
Rozdział 11. ....	156
<b>Zakończenie .....</b>	<b>157</b>
<b>Skorowidz .....</b>	<b>159</b>



## Rozdział 3.

# Wzmacniacze

### 3.1. Wzmacniacz m.cz

Punkt pracy jest tylko jednym z parametrów opisujących pracę wzmacniacza. W tym rozdziale zajmiemy się zaprojektowaniem wzmacniacza o następujących parametrach (rysunek 3.1).

#### Rysunek 3.1.

Założenia  
projektowe

	A	B	C	D	E
1	Dane				
2	$K_u$ =	150	V/V przy $R_o=100k\Omega$		wzmacniacz m.cz.
3	$R_{we}$ =	2	$k\Omega$		tranzystor bipolarny
4	$f_d$ =	50	Hz		
5	$U_{we}$ =	1	mV		
6	$E_g$ =	12	V		
7	$R_g$ =	20	$\Omega$		

Symbole oznaczają:

$K_u$  — wzmacnienie napięciowe przy zadanej wartości rezystancji obciążenia  $R_o$ ,

$R_{we}$  — oporność wejściowa wzmacniacza,

$f_d$  — częstotliwość graniczna dolna,

$U_{we}$  — amplituda napięcia wejściowego,

$E_g$  — napięcie generatora,

$R_g$  — oporność wewnętrzna generatora.

Układ taki można wykonać na jednym tranzystorze, np. BC107. Do projektowania będzie potrzebna karta katalogowa elementu (rysunek 3.2).



Uwaga

Karty katalogowe większości elementów dostępne są w internecie. Poszukiwania najlepiej zacząć od wpisania w oknie wyszukiwarki symbolu elementu, np. BC107.

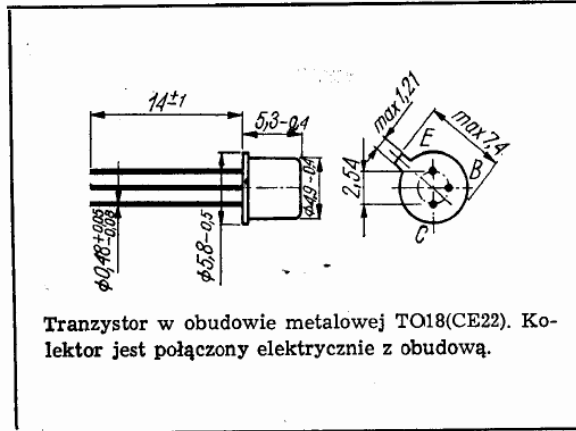
**Rysunek 3.2.**

Tranzystor BC107  
świetnie będzie się  
nadawał do  
projektowanego  
układu

Tranzystory krzemowe epiplanarne małej mocy małej częstotliwości.

Tranzystory BC107 i BC108 są przeznaczone do stosowania w układach stopni wejściowych i sterujących małej częstotliwości. Tranzystor BC109 jest przeznaczony do stosowania we wzmacniaczach m.c. o niskim poziomie szumów.

Tranzystory BC107, BC108 i BC109 są komplementarne do tranzystorów BC177, BC178 i BC179.



Kolejnym krokiem jest wyznaczenie punktu pracy elementu. Warto odczytać, dla jakiego punktu pracy podawana jest większość parametrów (rysunek 3.3).

**Rysunek 3.3.**

Większość  
parametrów  
podawana jest dla  
 $I_C = 2 \text{ mA}$   
oraz  $U_{CE} = 5 \text{ V}$

Napięcie stałe między

bazą a emiterem

przy  $I_C = 2 \text{ mA}$ ,

$U_{CE} = 5 \text{ V}$

$U_{BE}$

0,55

0,64

0,7

V

Współczynnik

wzmocnienia prądowego\*

przy  $I_C = 10 \mu\text{A}$ ,

$U_{CE} = 5 \text{ V}$

$h_{21E}$

kl. A

—

60

—

—

kl. B

40

90

—

—

przy  $I_C = 100 \mu\text{A}$ ,

$U_{CE} = 5 \text{ V}$

$h_{21E}$

kl. A

—

100

—

—

kl. B

—

160

—

—

przy  $I_C = 2 \text{ mA}$ ,

$U_{CE} = 5 \text{ V}$

$h_{21E}$

kl. A

—

180

—

—

kl. B

—

290

—

—

przy  $I_C = 20 \text{ mA}$ ,

$U_{CE} = 5 \text{ V}$

$h_{21E}$

kl. A

—

220

—

—

kl. B

—

350

—

—



Dla zalecanego przez producenta punktu pracy można odczytać wzmocnienie prądowe  $h_{21E} = 180$  (rysunek 3.3).

Potrzebne będą jeszcze dwie wartości: częstotliwość graniczna  $f_T = 150 \text{ MHz}$  (rysunek 3.4) oraz napięcie  $U_{BE} = 0,64 \text{ V}$  (rysunek 3.3).

### Rysunek 3.4.

Częstotliwość graniczna tranzystora

Częstotliwość graniczna przy  $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $f = 100 \text{ MHz}$

$f_T$	150	400	—	MHz
-------	-----	-----	---	-----



Uwaga

Malenie wzmocnienie prądowego tranzystora wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału ogranicza zakres stosowalności elementu. Dlatego określono pasmo częstotliwości, w jakim tranzystor może pracować. Częstotliwość graniczna ogranicza to pasmo od góry.



Uwaga

Dla układu WE częstotliwość graniczna tranzystora  $f_T$  powinna być minimum 100 razy większa niż przewidywana górna granica pasma przenoszenia wzmacniacza.

Aby nie zaciemniać rysunków, pokazane zostały na nich tylko fragmenty tabel z karty katalogowej. W nagłówkach widnieją nazwy kolumn. Z tabeli pokazanej na rysunku 3.3 odczytano wartość  $U_{BE} = 0,64 \text{ V}$ , ponieważ jest to wartość średnia. Z tabeli pokazanej na rysunku 3.4 odczytano wartość  $f_T = 150 \text{ MHz}$ , ponieważ dotyczy ona tranzystora BC107. W kolejnych kolumnach zapisane są dane tranzystorów BC108 i BC109.



Uwaga

Im tranzystor ma wyższą górną częstotliwość pracy, tym bardziej finezyjne ma wykonanie i wyższą podatność na spalenie lub uszkodzenie. W trosce o niezawodność układu nie należy stosować elementów o bardziej wygórowanych parametrach niż to wynika z wymagań projektu.

Wzmacniacz może zostać wykonany w układzie OE, OC i OB.

### Wzmacniacz o wspólnym emiterze OE:

- ♦ Prąd wyjściowy jest prądem kolektora, jest więc  $h_{21E}$ -krotnie większy od prądu wejściowego — prądu bazy. Dlatego wzmocnienie prądowe tego układu jest duże.
- ♦ Stosując odpowiednio duży rezystor włączony między zasilaniem i kolektorem, można uzyskać na nim duży spadek napięcia, a więc i duże wzmocnienie napięciowe.
- ♦ Wzmacniacz ten charakteryzuje się więc dużym wzmocnieniem mocy.

- ◆ Wzrost napięcia wejściowego powoduje zwiększenie prądu bazy tranzystora, a więc zmniejszenie jego rezystancji między emiternem i kolektorem, czyli (z zasady dzielnika napięcia) spadek napięcia wyjściowego. Analogicznie, przy zmniejszającym się napięciu wejściowym nastąpi wzrost napięcia wyjściowego. Zachodzi więc odwrócenie fazy napięcia wyjściowego względem wejściowego.

### Wzmacniacz o wspólnym kolektorze OC:

- ◆ Ponieważ  $U_{WE} = U_{BE} + U_{WY}$ , układ ten ma wzmocnienie napięciowe  $(U_{WY} / U_{WE}) = (U_{WY} / (U_{WY} + U_{BE})) < 1$ .
- ◆ Prąd wyjściowy jest prądem emitera, jest więc  $h_{21E} + 1$  razy większy od prądu wejściowego — prądu bazy. Wzmocnienie prądowe jest więc duże.

### Wzmacniacz o wspólnej bazie OB:

- ◆ Prąd wejściowy jest prądem emitera  $I_{WE} = I_B * (h_{21E} + 1)$ .
- ◆ Prąd wyjściowy jest prądem kolektora  $I_{WY} = I_B * h_{21E}$ .
- ◆ Wzmocnienie prądowe opisane jest zależnościami  $(I_{WY} / I_{WE}) = (h_{21E} / (h_{21E} + 1)) < 1$ .
- ◆ Stosując odpowiednio duży rezystor włączony między zasilaniem i kolektorem, można uzyskać na nim duży spadek napięcia, a więc i duże wzmocnienie napięciowe.

Właściwości będzie łatwiej analizować, gdy ujęte zostaną w tabeli (tabela 3.1).

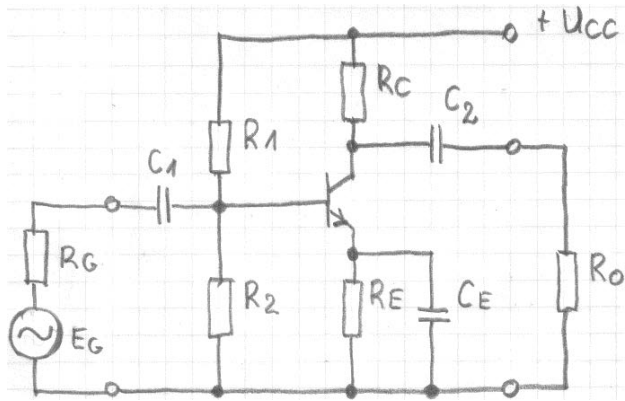
**Tabela 3.1.** Zakresy wartości parametrów wzmacniaczy tranzystorowych bipolarnych w zależności od układu pracy

Parametr \ Układ pracy	OE	OB	OC
Wzmocnienie napięciowe	50 i więcej	50 i więcej	< 1
Wzmocnienie prądowe	100 i więcej	< 1	100 i więcej
Rezystancja wejściowa	kilka kΩ	do 500 Ω	kilkadziesiąt kΩ
Rezystancja wyjściowa	kilka kΩ	kilkadziesiąt kΩ	do 500 Ω
Przesunięcie fazowe między sygnałem wejściowym i wyjściowym	180°	0°	0°
Pasma przenoszenia	małe	średnie	duże

W założeniach (rysunek 3.1) są narzucone: wzmocnienie napięciowe i rezystancja wejściowa. Tylko układ OE (rysunek 3.5) spełnia jednocześnie oba te wymagania.

**Rysunek 3.5.**

Schemat wzmacniacza w układzie OE

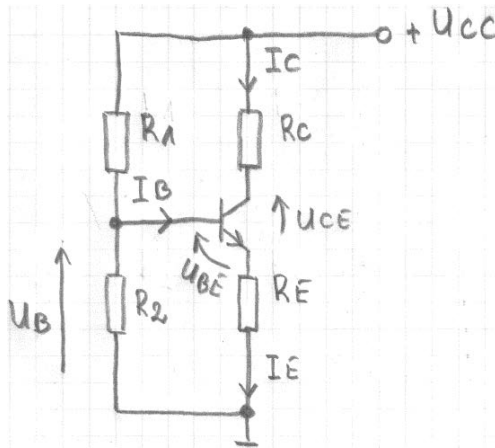


Warto jeszcze narysować dwa schematy:

- ♦ dla składowej stałej (rysunek 3.6),

**Rysunek 3.6.**

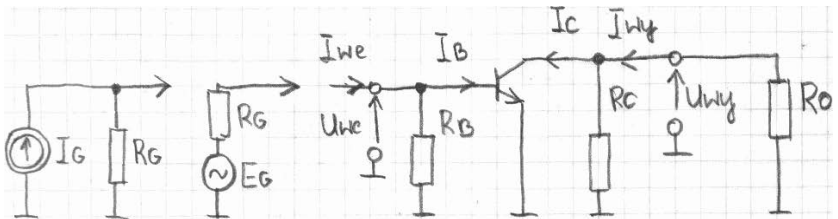
Schemat do wyznaczenia punktu pracy



- ♦ dla zakresu częstotliwości średnich (rysunek 3.7).

**Rysunek 3.7.**

Schemat dla częstotliwości średnich



Przy rysowaniu schematu dla składowej stałej, indukcyjności zastępuje się zwarcie, a pojemności rozwarciem.



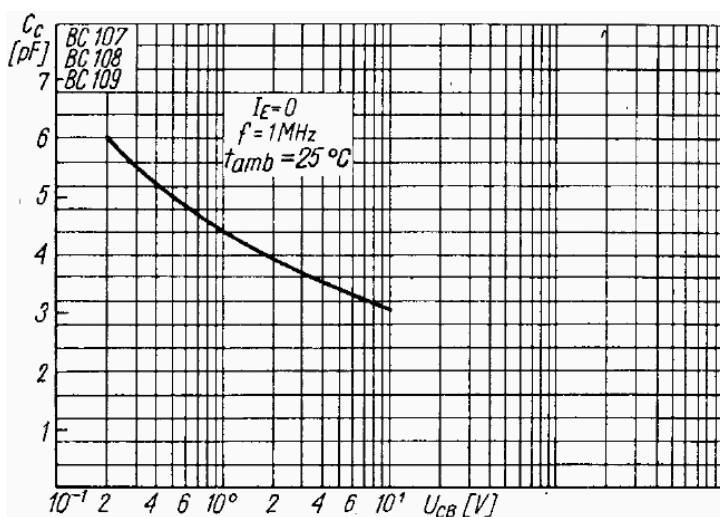
Uwaga

Przy rysowaniu schematu dla składowej zmiennej źródło napięcia stałego zastępuje się zwarcie do masy. Wszystkie elementy podłączone do źródła napięciowego na schemacie zastępczym podłącza się do masy.

Do obliczenia górnej częstotliwości granicznej wzmacniacza potrzebna jest znajomość pojemności złącza kolektora. Jest ona zależna od napięcia  $U_{CB}$ . Należy odczytać ją z charakterystyki (rysunek 3.8).

### Rysunek 3.8.

Zależność  
pojemności złącza  
 $C_c$  od napięcia  $U_{CB}$



Mamy już komplet danych i schematów. Można przystąpić do obliczeń.

W arkuszu *wzmacniacz\_mcz\_z\_tranzystorami\_bipolarnymi.xls* (rysunki 3.9 i 3.10) znajdują się dane i zależności umożliwiające zaprojektowanie wzmacniacza i obliczenie parametrów układu z rysunku 3.5.

	A	B	C	D	E	F
1	Dane					
2	Ku=	150	V/V przy $R_o=100k\Omega$		wzmacniacz m.cz.	
3	Rwe=	2	k $\Omega$		tranzystor bipolarny	
4	fd=	50	Hz		OE	
5	Uwe=	1	mV		Ucc=	12 V
6	Eg=	12	V		Cc=	4,5 pF
7	Rg=	0,02	k $\Omega$			
8	h21e=	180				
9	ft=	150	MHz			
10	Ube=	0,64	V			
11	Ut=	0,026	V			
12	le=	2	mA			
13	Uce=	5	V			
14	Ro=	100	k $\Omega$			

**Rysunek 3.9.** Dane umożliwiające zaprojektowanie wzmacniacza i obliczenie parametrów układu

**Rysunek 3.10.**

Wyliczone  
wartości  
elementów  
i parametrów  
wzmacniacza

B37		$f_n = 1000 \cdot (B8+1) / (2 \cdot \pi I) \cdot (B28 \cdot B7) / ((B8+B7)+B32)$		
	A	B	C	D
15	<b>Obliczenia</b>			
16	Rt=	2,34	kΩ	Rezystancja wejściowa tranzystora
17	Rc=	1,9887812	kΩ	Rezystancja w obwodzie kolektora
18	Re=	1,5112188	kΩ	Rezystancja w obwodzie emitera
19	Rb=	13,764706	kΩ	Rezystancja w obwodzie bazy
20	R2=	19,749361	kΩ	Rezystancja R2 dzielnika w obwodzie bazy
21	R1=	45,423529	kΩ	Rezystancja R2 dzielnika w obwodzie bazy
22	R1+R2=	65,17289	kΩ	Suma rezystancji dzielnika
23	$h_{21e} \cdot U_{cc} / 10 I_c =$	108	kΩ	Rezystancja obwodu bazy, aby $I_c \Rightarrow 10 \cdot I_c$
24	$(R1+R2) < h_{21e} \cdot U_{cc} / 10 I_c$	TAK		Warunek, aby prąd dzielnika $\geq 10 I_b$
25	Ce>	244,1275	μF	Pojemność emiterowa
26	C1>	15,757915	μF	Pojemność szeregową wejściową
27	C2>	0,3121028	μF	Pojemność szeregową wyjściową
28	Rb=	13,764706	kΩ	Rezystancja w obwodzie bazy
29	Eb=	3,6363636	V	Napięcie bazy - punkt pracy
30	Ic=	1,8773208	mA	Prąd kolektora - punkt pracy
31	Uce=	5,4293771	V	Napięcie kolektor-emiter - punkt pracy
32	Rt=	2,4929143	kΩ	Rezystancja wejściowa tranzystora
33	Rwe=	2,1106553	kΩ	Rezystancja wejściowa wzmacniacza
34	Rwy=	1,9887812	kΩ	Rezystancja wyjściowa wzmacniacza
35	Ku=	140,79906	V/V	Wzmocnienie napięciowe
36	Ki=	2,9717829	A/A	Wzmocnienie prądowe
37	fd=	43,451226	Hz	Dolna częstotliwość graniczna
38	fp=	833,33333	kHz	Górna częstotliwość graniczna tranzystora
39	fg=	100,73911	kHz	Górna częstotliwość graniczna wzmacniacza

Zmieniać możesz dane znajdujące się w części arkusza pokazanej na rysunku 3.9.

Wyniki obliczeń nie uwzględniają rzeczywistej wartości elementów dostępnych w szeregu. Aby układ rzeczywisty był jak najbardziej zgodny z projektem, zalecane jest stosowanie elementów z ciągu E24 o tolerancji do 5%.

## 3.2. Badanie pasma przenoszenia wzmacniacza

Wzmacniacz po zaprojektowaniu należy zmontować, uruchomić i przetestować.

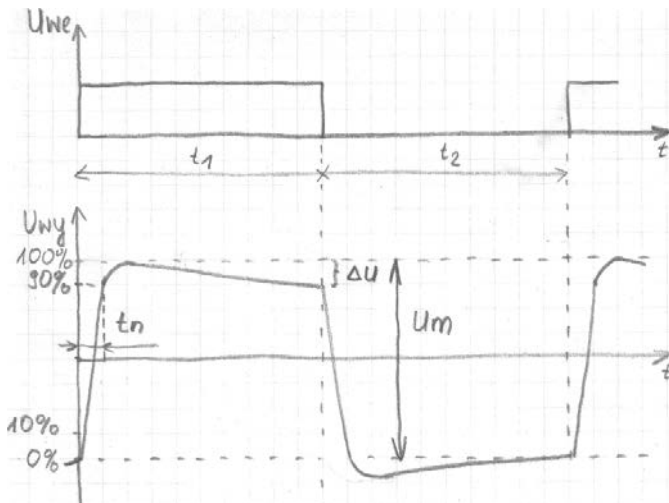
Istnieje prosta metoda określenia pasma przenoszenia układu. Polega ona na podawaniu na wejście wzmacniacza sygnału prostokątnego. Im bardziej odkształcony jest przebieg na wyjściu wzmacniacza, tym pasmo przenoszenia mniejsze. W przypadku wzmacniacza elektroakustycznego istotne są również kształt charakterystyki amplitudowej i fazowej oraz zawartość harmonicznych w sygnale wyjściowym. Samo testowanie przebiegiem impulsowym nie daje pełnej informacji o wzmacniaczu, ale pozwala na szybkie zorientowanie w jego paśmie przenoszenia i porównanie kilku układów.

Im bardziej wzmacniacz ogranicza pasmo przenoszonych sygnałów, tym deformacja zboczy impulsu wyjściowego jest większa. Na rysunku 3.11 pokazano przebiegi wejściowy i wyjściowy. Należy z niego odczytać dwie wartości:

- ◆  $t_n$  (czas narastania przebiegu wyjściowego), który jest zależny od górnej częstotliwości granicznej wzmacniacza,
- ◆  $\Delta U$  (zwis przebiegu wyjściowego), które jest zależne od dolnej częstotliwości granicznej wzmacniacza.

### Rysunek 3.11.

Przebiegi wejściowy i wyjściowy wzmacniacza



Na rysunku 3.12 pokazano arkusz *pasmo\_wzmacniacza.xls*. W polach od B2 do B5 należy wpisać wyniki pomiarów z zachowaniem jednostek miary podanych w kolumnie C.

### Rysunek 3.12.

Arkusz do wyznaczania częstotliwości granicznych wzmacniacza na podstawie odpowiedzi układu na przebieg impulsowy podany na wejście

B11		$f_c = 1000 / (2 * \text{PI}() * \text{B10})$		
	A	B	C	D
1	Dane			
2	$t_n =$	0,02	$\mu\text{s}$	
3	$t_1 =$	3	$\mu\text{s}$	
4	$\Delta U =$	0,006	V	
5	$U_m =$	5	V	
6				
7	Obliczenia			
8	$f_g =$	17,5	MHz	górna częstotliwość graniczna
9	$\Delta U \leq 0,0095 U_m$	Tak		warunek na wzór uproszczony
10	$t =$	2,5	ms	stała czasowa
11	$f_d =$	63,6619772	Hz	dolna częstotliwość graniczna

### 3.3. Wzmacniacz odwracający

Wzmacniacze oprócz realizacji na elementach dyskretnych mogą być wykonane przy wykorzystaniu układów scalonych. Często do tego celu używane są wzmacniacze operacyjne, stosowane m.in. we wzmacniaczach odwracających.



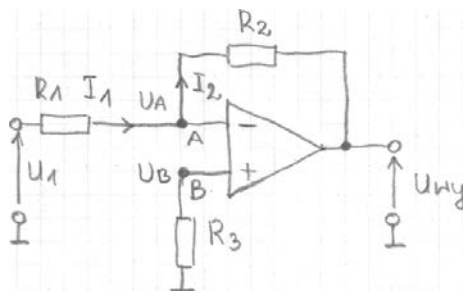
Wzmacniacz operacyjny jest skonstruowany tak, że jego obwód wyjściowy stara się zrobić wszystko, co konieczne, aby różnica napięć pomiędzy wejściami A i B była równa zero.

Na rysunku 3.13 pokazano schemat wzmacniacza odwracającego. Sygnał wejściowy przez rezystor  $R_1$  zostaje doprowadzony do wejścia odwracającego. Do tego samego wejścia przez rezystor  $R_2$  doprowadza się z wyjścia napięcie ujemne sprzężenia zwrotnego. Wejście nieodwracające zostaje uziemione.

Impedancja wejściowa wzmacniacza jest bardzo duża, zatem wejście wzmacniacza operacyjnego nie pobiera żadnego prądu. Prąd o natężeniu  $I_1$  płynący przez rezystor  $R_1$  musi być równy prądowi  $I_2$  płynącemu przez rezystor  $R_2$ .

**Rysunek 3.13.**

Wzmacniacz odwracający



Zaprojektujemy wzmacniacz odwracający o następujących parametrach: wzmocnienie napięciowe  $k_U = 50 [V/V]$ , oporność wejściowa układu  $1 \text{ k}\Omega$ , częstotliwość graniczna wzmacniacza  $1 \text{ MHz}$ .

Na rysunku 3.14 pokazano arkusz *wzmacniacz\_odwracajacy.xls*. Pozwala on na wyliczenie wartości rezystorów i górnej częstotliwości granicznej układu.

**Rysunek 3.14.**

Arkusz do obliczeń parametrów wzmacniacza odwracającego

B11		fx =B4/B2		
	A	B	C	D
1	Dane			
2	ku=	50	V/V	
3	Rwe=	1	kΩ	
4	ft=	1	MHz	
5				
6				
7	Obliczenia			
8	R1=	1	kΩ	rezystor R1
9	R2=	50	kΩ	rezystor R2
10	R3=	0.98039216	kΩ	rezystor R3
11	fg=	0.02	MHz	górna częstotliwość graniczna

## Pytania sprawdzające

1. Który z typów tranzystorów (rysunek 3.15) przeznaczony jest do pracy w zakresie niższych częstotliwości?

### Rysunek 3.15.

Fragment karty katalogowej tranzystorów BC107, BC108, BC109

#### DANE TECHNICZNE

##### Wartości dopuszczalne parametrów eksploatacyjnych

Typ		BC107	BC108	BC109	
Napięcie kolektor-baza	$U_{CB0}$	45	20	20	V
Napięcie kolektor-emiter	$U_{CE0}$	45	20	20	V
Napięcie emiter-baza	$U_{EB0}$	5	5	5	V
Prąd kolektora	$I_C$	100	100	100	mA
Prąd szczytowy kolektora	$I_{CM}$	200	200	200	mA
Prąd bazy	$I_B$	20	20	20	mA
Temperatura złącza	$t_j$	448 K	(175°C)		
Temperatura składowania	$t_{stg}$	218...398 K			(-55...+125°C)
Moc tracona w kolektorze	$P_C$	300	300	300	mW

2. Jak zmieni się wartość rezystancji  $R_b$ , gdy w układzie zastosowany zostanie tranzystor klasy C (rysunek 3.16)?

### Rysunek 3.16.

Zależność współczynnika wzmocnienia prądowego od punktu pracy i klasy tranzystora BC107

Współczynnik wzmocnienia prądowego*					
przy $I_C = 10 \mu\text{A}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$		$h_{21E}$	kl. A	kl. B	kl. C
			60	90	130
przy $I_C = 100 \mu\text{A}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$		$h_{21E}$	100	160	300
przy $I_C = 2 \text{ mA}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$		$h_{21E}$	180	290	450
przy $I_C = 20 \text{ mA}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$		$h_{21E}$	220	350	600

3. Który z układów pracy tranzystora najmniej obciąża źródło sygnału i daje najwyższe wzmocnienie prądowe?
4. Co jest kryterium podziału układów pracy na OE, OC i OB?



## Rozdział 4.

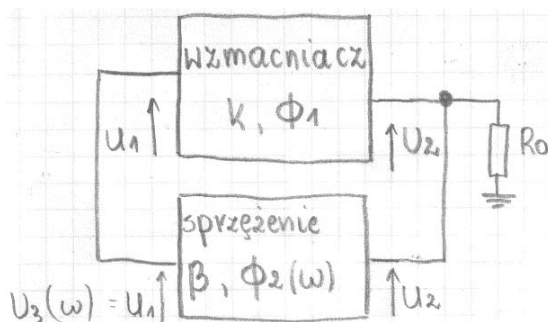
# Generatory

Generatory są układami służącymi do wytwarzania zmiennych przebiegów elektrycznych bez konieczności doprowadzania z zewnątrz jakiegokolwiek sygnału pobudzającego. Przetwarzają energię prądu stałego (z zasilacza) na energię drgań.

Na rysunku 4.1. pokazano schemat blokowy generatora. Składa się on z:

- ♦ wzmacniacza o wzmocnieniu  $k = U_2 / U_1$ ,
- ♦ obwodu sprzężenia zwrotnego  $\beta$ .

**Rysunek 4.1.**  
*Schemat blokowy generatora*



Wzmacniacz pomiędzy napięciem wejściowym  $U_1$  a napięciem wyjściowym  $U_2$  wprowadza przesunięcie fazowe  $\Phi_1$ . Wynosi ono zazwyczaj  $0^\circ$  lub  $180^\circ$ .

Do wyjścia wzmacniacza dołączone są:

- ♦ obciążenie  $R_0$ ,
- ♦ obwód sprzężenia zwrotnego  $\beta$ .

Zadaniem układu sprzężenia zwrotnego jest podanie części sygnału wyjściowego na wejście wzmacniacza.

Obwód sprzężenia zwrotnego  $\beta$  powinien być zaprojektowany tak, aby przesunięcie fazy pomiędzy sygnałami  $U_3$  i  $U_2$ , równe  $\Phi_2$ , było zależne od częstotliwości, zatem  $\Phi_2 = \Phi_2(\omega)$ . Właściwość taką wykazuje np. obwód rezonansowy  $LC$ .

W układzie będzie zachodziła generacja, gdy spełnione zostaną jednocześnie dwa warunki:

- ◆ warunek amplitudy  $\beta k = 1$ ,
- ◆ warunek fazy  $\Phi_1(\omega_0) + \Phi_2(\omega_0) = 0$ .



Uwaga

Warunek amplitudy zostanie spełniony, gdy sygnał na wejściu wzmacniacza podawany z układu sprzężenia zwrotnego będzie na tyle duży, aby na wyjściu wzmacniacza otrzymać sygnał o takim samym lub większym poziomie.



Uwaga

Warunek fazy zostanie spełniony, gdy maksimum sygnału na wejściu wzmacniacza, po przejściu przez wzmacniacz i układ sprzężenia zwrotnego, będzie wypadło zawsze w tym samym momencie.

Przy częstotliwości  $\omega_0$  wzmacniacz musi kompensować tłumienie wprowadzane przez obwód sprzężenia zwrotnego. Charakterystyka fazowa  $\Phi_1(\omega) + \Phi_2(\omega)$  musi przechodzić przez zero przy pulsacji  $\omega$ . Aby częstotliwość generowanego przebiegu była określona jednoznacznie, warunek fazy musi być spełniony tylko przy częstotliwości  $\omega_0$ .



Uwaga

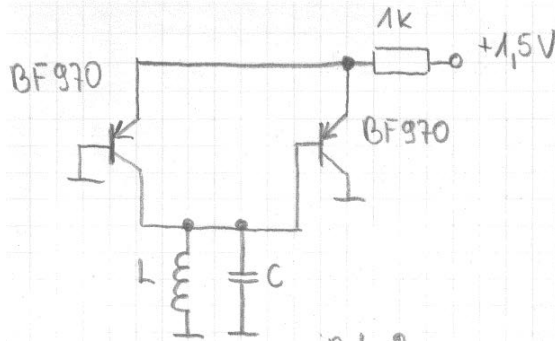
Warunek fazy decyduje o częstotliwości generacji.

Spełnienie warunku amplitudy decyduje o amplitudzie generowanego napięcia. Jeśli warunek amplitudy spełniony jest z nadmiarem, wzmacniacz ulega przesterowaniu. Napięcie wyjściowe zostaje zniekształcone — w skrajnym przypadku ma kształt prostokątny.

## 4.1. Generator przebiegu sinusoidalnego z tranzystorami

Na rysunku 4.2 pokazano schemat generatora. Znajduje się w nim równoległy układ rezonansowy. Wartości elementów  $L$  i  $C$  ustalają, przy jakiej częstotliwości nastąpi rezonans prądów. Gdy prąd cewki równa się prądowi kondensatora, obwód rezonansowy przestaje pobierać prąd ze źródła. Staje się przerwą w obwodzie, czyli ma nieskończenie dużą oporność. Prądy w kondensatorze i cewce nie są równe zero.

**Rysunek 4.2.**  
Prosty generator  
 tranzystorowy



Częstotliwość generowanych drgań zależy od wartości pojemności i indukcyjności. Na rysunku 4.3 pokazano arkusz kalkulacyjny *czestotliwosc\_rezonansowa.xls* umożliwiający wyliczenie częstotliwości rezonansowej obwodu. Przyjęto następujące wartości elementów:  $L = 390 \text{ mH}$ ,  $C = 1 \text{ nF}$ .

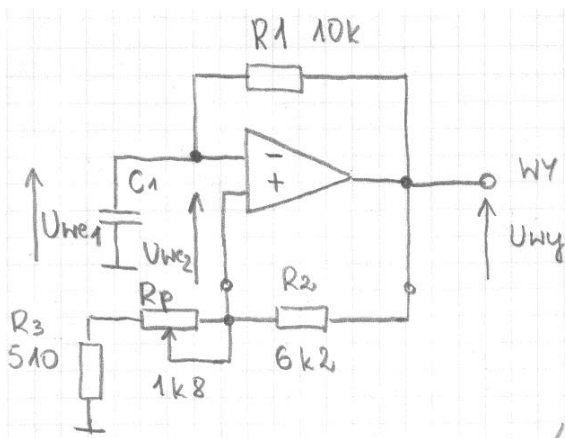
**Rysunek 4.3.**  
Po wpisaniu pojemności  
liczonej w faradach,  
a indukcyjności w henrach  
otrzymujemy częstotliwość  
w hercach

B6		$f_r = 1/(2*\pi()*(\text{PIERWIASTEK}(B2*B3)))$	
	A	B	C
1	Dane		
2	C=	0,000000001 F	
3	L=	0,39 H	
4			
5	Obliczenia		
6	f=	8059,123817	Hz częstotliwość rezonansowa obwodu

## 4.2. Generator fali prostokątnej ze wzmacniaczem operacyjnym

Na rysunku 4.4 pokazano generator fali prostokątnej (tzw. multiwibrator).

**Rysunek 4.4.**  
Generator fali  
prostokątnej



Elementem czynnym jest wzmacniacz operacyjny. Pracuje on jako komparator. Porównuje napięcie  $U_{WE2}$  ustalone przez dzielnik napięciowy z napięciem  $U_{WE1}$  panującym na kondensatorze  $C_1$ .

Elementy  $C_1$  i  $R_1$  tworzą układ całkujący. Ich wartości określają częstotliwość powtarzania sygnału generatora.

Rezystory  $R_2$ ,  $R_3$  i  $R_P$  połączone są w układzie dzielnika napięcia. Tworzy on pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Na rysunku 4.5 pokazano arkusz kalkulacyjny *multiwibrator.xls* umożliwiający wyliczanie częstotliwości przebiegu generowanego. Zmieniając położenie suwaka potencjometru  $R_P$ , można regulować poziom napięcia  $U_{WE2}$ , a pośrednio częstotliwość przebiegu generowanego.

#### Rysunek 4.5.

Format naukowy  
ułatwia  
zorientowanie się  
w rzędzie wielkości  
wartości widniejącej  
w komórce

	B12	fx = (2*B2*B3)*LN(((1+B10)/(1-B10)))	
	A	B	C
1	Dane		D
2	C1=	1,00E-09 F	
3	R1=	1,00E+04 Ω	
4	R2=	6,20E+03 Ω	
5	R3=	5,10E+02 Ω	
6	Rpmin=	0,00E+00 Ω	
7	Rpmax=	2,00E+03 Ω	
8			
9	Obliczenia		
10	βmin=	7,60E-02	minimalny współczynnik sprzężenia
11	βmax=	2,88E-01	maksymalny współczynnik sprzężenia
12	Tmin=	3,05E-06 s	okres generowanego przebiegu minimalny
13	Tmax=	1,19E-05 s	okres generowanego przebiegu maksymalny
14	f1=	3,28E+05 Hz	częstotliwość generowanego przebiegu maksymalna
15	f2=	8,43E+04 Hz	częstotliwość generowanego przebiegu minimalna

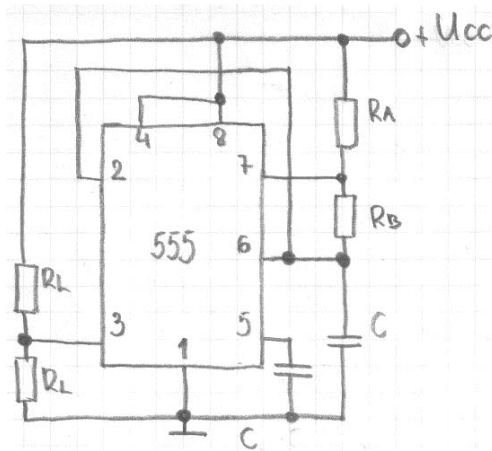
## 4.3. Generator fali prostokątnej z układem czasowym 555

Na rysunku 4.6 pokazano generator fali prostokątnej zbudowany przy wykorzystaniu układu czasowego 555 (źródło <http://www.national.com/ds/LM/LM555.pdf>).

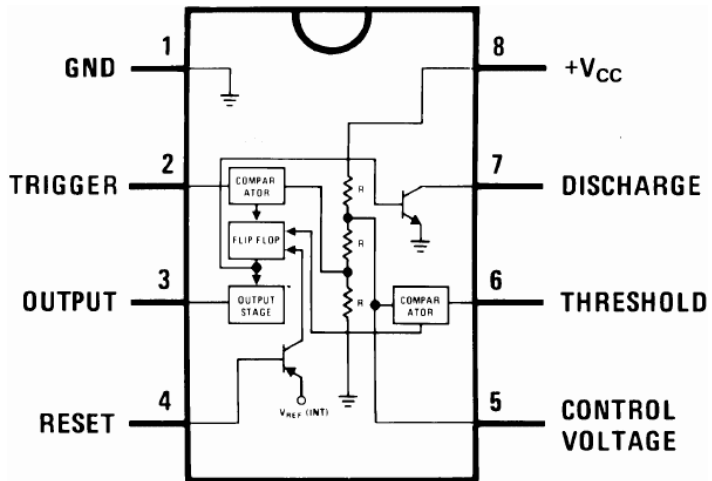
Symbol układu scalonego jest „czarną skrzynką”. Aby lepiej zrozumieć zastosowane rozwiązanie, należy zapoznać się z budową schematu blokowego i przeznaczeniem wyprowadzeń (rysunek 4.7).

Układ pokazany na rysunku 4.6 ma zwarte wyprowadzenia 2. oraz 6. Dzięki temu wyzwała on sam siebie i może pracować jako multiwibrator.

**Rysunek 4.6.**  
Multiwibrator  
zbudowany przy  
wykorzystaniu  
układu 555



**Rysunek 4.7.**  
Schemat blokowy  
układu 555



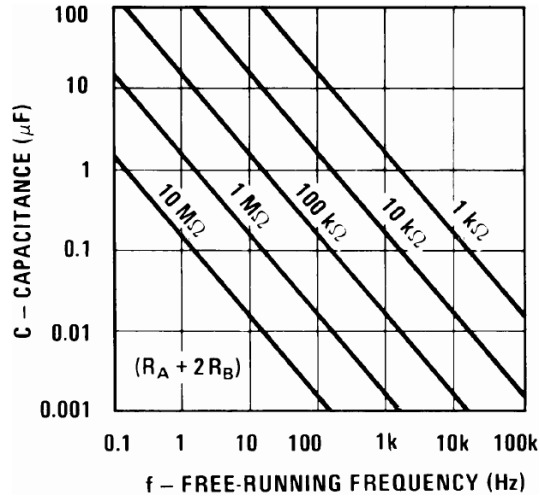
Kondensator  $C$  ładuje się prądem płynącym przez rezystory  $R_A$  i  $R_B$ , zaś rozładowuje przez  $R_B$ . Długość cyklu pracy może być więc regulowana przez zmianę proporcji między wartościami obu rezystorów.

Kondensator pracuje w zakresie napięć od  $1/3 U_{CC}$  do  $2/3 U_{CC}$ . Czasy ładowania i rozładowania zależne są od wartości napięcia zasilającego.

Na rysunku 4.8 pokazano wykres służący do szybkiego dobierania wartości elementów. Oś pionowa wyskalowana jest w wartościach pojemności  $C$  liczonej w  $\mu\text{F}$ . Oś pozioma wyskalowana jest w częstotliwości przebiegu generowanego liczonej w Hz.

Chcemy zaprojektować układ, który będzie generował przebieg o częstotliwości 15 kHz. Stan wysoki na wyjściu ma trwać około dwóch razy dłużej niż stan niski.

**Rysunek 4.8.**  
Wykres do szybkiego  
projektowania  
multiwibratora  
z wykorzystaniem  
układu 555



Projektowanie rozpoczynamy od rysunku 4.8. Z przecięcia linii poprowadzonej dla częstotliwości 15 kHz i prostej dla  $R_A + 2R_B = 10\text{ k}\Omega$  odczytujemy wartość pojemności  $C$ .

Na rysunku 4.9 pokazano fragment arkusza *multiwibrator\_555.xls*. Zostały w nim wpisane wartości odczytane z rysunku 4.8.

**Rysunek 4.9.**  
Dla przyjętych  
wartości elementów  
układ będzie  
generował przebieg  
o częstotliwości  
14,6 kHz

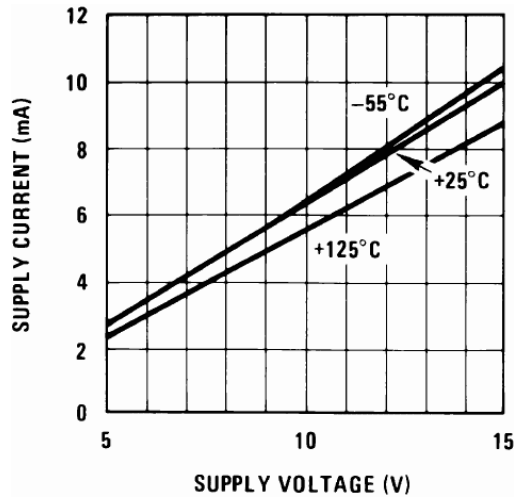
B10		$f_x = 1/B9$	
	A	B	C
1	Dane		
2	Ra=	3,90E+03 $\Omega$	
3	Rb=	3,00E+03 $\Omega$	
4	C=	1,00E-08 F	
5			
6	Obliczenia		
7	t1=	4,78E-05 s	czas ładowania (stan wysoki na wyjściu)
8	t2=	2,08E-05 s	czas rozładowania (stan niski na wyjściu)
9	T=	6,86E-05 s	okres generowanego przebiegu
10	f=	1,46E+04 Hz	częstotliwość generowanego przebiegu

W obliczeniach nie zostały uwzględnione rzeczywiste wartości elementów. Aby generowany przebieg miał parametry maksymalnie zbliżone do założeń, należy jako  $R_A$  i  $R_B$  zamontować potencjometry wraz z rezystorami szeregowymi. Zmieniając położenie suwaka potencjometru, należy uzyskać oczekiwane parametry przebiegu.

Układ 555 może pracować przy napięciu zasilającym w przedziale od +5 V do +15 V. Wraz ze wzrostem wartości  $U_{CC}$  rośnie również pobór prądu (rysunek 4.10). Oś pozioma została wyskalowana w wartościach napięcia zasilającego. Oś pionowa została wyskalowana w wartościach natężenia prądu pobieranego ze źródła.

**Rysunek 4.10.**

Zużycie energii  
warto wziąć pod  
uwagę przy  
urządzeniach  
o zasilaniu  
baterijnym

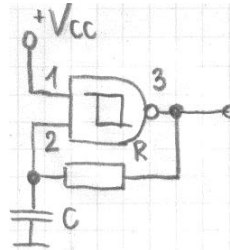


## 4.4. Generator fali prostokątnej z bramką NAND

Jednym z najprostszych generatorów składających się z układu scalonego, rezystora i kondensatora jest układ pokazany na rysunku 4.11.

**Rysunek 4.11.**

Generator  
z bramką NAND

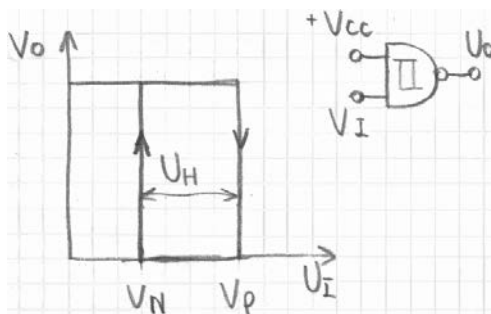


Zastosowanie inwertera w układzie Schmitta CMOS zabezpiecza generator przed wzbudzeniem się na częstotliwościach harmonicznych.

Użycie układu wykonanego w technologii CMOS jest warunkiem wzbudzenia generatora. Oporność wejściowa TTL jest bardzo mała w porównaniu z CMOS. Włączona jest równolegle do pojemności. W efekcie nie dojdzie do naładowania kondensatora.

Przerzutnik Schmitta ma dwa progi przełączania. Dla napięcia narastającego obowiązuje próg górny  $U_P$ , dla opadającego dolny  $U_N$ . Odległość między progami określa się mianem szerokości pętli histerezy  $U_H$  (rysunek 4.12).

**Rysunek 4.12.**  
Charakterystyka  
przełajciowa  
przerzutnika  
Schmitta



Histereza zabezpiecza przed wpływem szumu na funkcjonowanie układu. Szum mógłby bowiem powodować ciągle przełączanie między dwoma przeciwnymi stanami w sytuacji, gdy sygnał wejściowy oscyluje wokół poziomu progowego.

Z karty katalogowej układu CD4093B (źródło <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4093b.pdf>) można odczytać wartości napięć określających pętlę histerezy (rysunki od 4.13 do 4.15).

#### STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTER- ISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>DD</sub> (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								MIN.	TYP.	MAX.	
Quiescent Device Current, I <sub>DD</sub> Max.	-	0,5	5	1	1	30	30	-	0.02	1	μA
	-	0,10	10	2	2	60	60	-	0.02	2	
	-	0,15	15	4	4	120	120	-	0.02	4	
	-	0,20	20	20	20	600	600	-	0.04	20	

**Rysunek 4.13.** Nagłówek tabeli

Negative Trigger Threshold Voltage V <sub>N</sub> Min.	-	a	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.9	-	V
	-	a	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.9	-	
	-	a	15	4	4	4	4	4	5.8	-	
	-	b	5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.3	-	
	-	b	10	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	5.1	-	
	-	b	15	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	7.3	-	

**Rysunek 4.14.** Wartości napięcia V<sub>N</sub>

Dane odczytujemy dla napięcia zasilania  $U_{CC} = 5\text{ V}$  i temperatury otoczenia  $+25^\circ\text{C}$ . Przyjmujemy wartości  $R = 50\text{ k}\Omega$  oraz  $C = 100\text{ nF}$ .



Positive Trigger Threshold Voltage $V_p$ Min.	-	a	5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.9	-	V
	-	a	10	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	5.9	-	
	-	a	15	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	8.8	-	
	-	b	5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	3.3	-	
	-	b	10	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	7	-	
	-	b	15	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	9.4	-	

**Rysunek 4.15.** Wartości napięcia  $V_p$ . Na rysunku 4.16 pokazano fragment arkusza Schmitt.xls. Umożliwia on obliczenie częstotliwości przebiegu generowanego przez układ z rysunku 4.11.

### Rysunek 4.16.

Arkusz do wyznaczania częstotliwości przebiegu generowanego w układzie z rysunku 4.11

B9		fx = (B5*B6)*LN(((B4-B3)/(B4-B2)))		
	A	B	C	D
1	Dane			
2	$V_p$ =	2,90E+00 V		
3	$V_n$ =	1,90E+00 V		
4	$V_{cc}$ =	5,00E+00 V		
5	R=	5,00E+04 $\Omega$		
6	C=	1,00E-07 F		
7				
8	Obliczenia			
9	tw=	1,95E-03 s		czas trwania stanu wysokiego na wyjściu
10	tn=	2,11E-03 s		czas trwania stanu niskiego na wyjściu
11	T=	4,06E-03 s		okres generowanego przebiegu
12	f=	2,46E+02 Hz		częstotliwość generowanego przebiegu



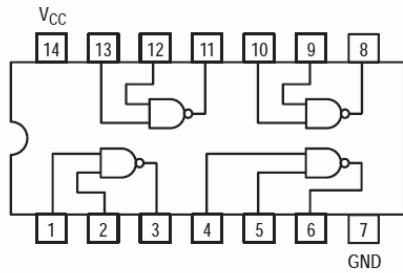
Uwaga

Ponieważ wartości napięć progowych histerezy zależą od wielu czynników (producenta i egzemplarza układu, napięcia zasilania, temperatury itp.), generator zbudowany według schematu z rysunku 4.11 nie może pełnić funkcji precyzyjnego źródła przebiegów impulsowych.

## Pytania sprawdzające

1. Kiedy zostanie spełniony warunek amplitudy?
2. Kiedy zostanie spełniony warunek fazy?
3. Na czym polega rezonans prądów?
4. Gdzie należy stosować przerzutnik Schmitta?
5. Korzystając z fragmentu karty katalogowej pokazanej na rysunku 4.17 i szkicu układu z rysunku 4.18, podaj:
  - a) wartość napięcia  $U_{CC}$ ,
  - b) wejście układu,
  - c) wyjście układu,
  - d) przeznaczenie układu.

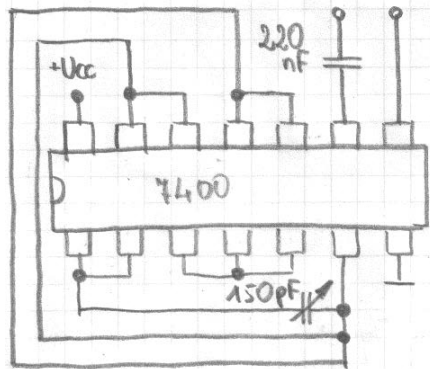
**Rysunek 4.17.**  
*Fragment karty katalogowej układu SN74LS00*



#### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
$T_A$	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
$I_{OH}$	Output Current – High			-0.4	mA
$I_{OL}$	Output Current – Low			8.0	mA

**Rysunek 4.18.**  
*Szkic układu*



# Skorowidz

$\beta$ , 19, 21, 65

$\Delta U$ , 50

$\lambda$ , 137

$\phi$ , 137

0110.xls, 86

'163, 105

'195, 112, 153

1N4148, 75

-3 dB, 69, 70

45° przesunięcie fazowe, 69, 70

515 nm (długość fali), 35

555, 56

dobieranie wartości elementów, 57

zużycie energii, 59

730 nm (długość fali), 35

7493, 152

74LS00, 32, 34

'93, 109

## A

A/C, 115

absorpcja, 136

aliasing, 118

aliasing.xls, 154

AM, 143

amplituda napięcia wejściowego, 43

analogowy sygnał, 79

Analysis ToolPak, 80

instalacja, 81, 82

AND, 85

and.xls, 85

anoda, 25

antena\_natezenie\_pola.xls, 138

arkusz kalkulacyjny, korzyści z użytkowania, 9

arytmetyka binarna, 124

asynchroniczny układ, 93

## B

B, 64

baza tranzystora, polaryzacja, 18

BC107, 43, 45

BC108, 45

BC109, 45

bel, 64

bezpośrednie przetwarzanie częstotliwości  
na napięcie, 117

BIN, 82

bin2.xls, 83

binarna arytmetyka, 124

binarne

dzielenie, 127

mnożenie, 126

odejmowanie, 125

sumowanie, 124

bit znaku liczby, 126

błąd

bezwzględny, przetwornik C/A, 118

kwantyzacji, 153

przetwornik A/C, 117

względny, przetwornik C/A, 118

bramka

logiczna, 32, 84

NAND, 59

prąd wyjściowy, 32

## C

C/A, 115, 117

carry, 131

CD4093B, 60

CdS, 35

CdSe, 35

- charakterystyka
    - dioda Zenera, 76
    - fazowa,
      - filtr górnoprzepustowy, 70
      - filtr, 67
    - prądowo-napięciowa fototranzystora, 40
    - przejściowa, 14
    - przenoszenia,
      - filtr dolnoprzepustowy, 70
      - filtr, 67
    - statyczna tranzystora, 11
    - tranzystora bipolarnego, 13
    - wejściowa, 13
    - wyjściowa, 13
      - tranzystora, 12, 17
      - złącza półprzewodnikowego, 18
  - clock, 94
  - CMOS
    - bramka NAND, 59
  - cyfrowy sygnał, 79
  - czas
    - konwersji, przetwornik A/C, 116
    - narastania, 72
      - przebiegu wyjściowego, 50
    - reakcji
      - fotorezystora, 35
      - funktora, 87
  - czestotliwosc\_rezonansowa.xls, 55
  - częstotliwości harmoniczne, 119
    - wzbudzenie, 59
  - częstotliwość, 137
    - generacji, 54
    - graniczna dolna, 43
    - odcinka, filtr, 69, 70
    - pobierania próbek, 118
    - przebiegu generowanego, 56
  - czułość fototranzystora, 40
- D**
- D, 97, 98
  - dB, 64
  - DEC, 82
  - dec2.xls, 82
  - DEC2BIN, 125, 129
  - decybel.xls, 63
  - detektor
    - promieniowania świetlnego, 40
    - stanów logicznych, 86
  - dex2bin, funkcja, 80
  - dioda
    - elektroluminescencyjna, 25
      - układ pracy, 26
    - IR, 25
    - LED, 25, 26
      - charakterystyka, 26
      - połączenie równoległe, 31
      - połączenie szeregowe, 30
      - sterowanie, 32
    - prąd, 26
    - świecąca, 25
    - unkt pracy, 29
    - Zenera, 76
  - dioda\_LED\_punkt\_pracy\_01, 27
  - dioda\_LED\_punkt\_pracy\_02, 29
  - dioda\_LED\_punkt\_pracy\_04, 31
  - dioda\_LED\_punkt\_pracy\_05, 33
  - dipol
    - pętlowy z reflektorem i direktorem, 139
    - pętlowy, 139
      - prosty, 139
  - dipol\_petlowy.xls, 139
  - dipol\_petlowy\_r\_d.xls, 140
  - dipol\_prosty.xls, 139
  - długość fali, 137
  - dokładność wykonania rezystora, 28
  - dolna częstotliwość graniczna wzmacniacza, 50
  - drabinka rezystorowa, 116, 117
  - drżania zestyków, 151
  - dwójkowy system, 82
  - dzielenie binarne, 127
    - zasady, 128
  - dzielnik napięciowy sterowany częstotliwością, 66, 69
  - dziesiętny system, 82
- E**
- E12 (szereg), 28
  - E24 (szereg), 28
  - E3 (szereg), 28
  - E6 (szereg), 28
  - E<sub>B</sub>, 11
  - E<sub>C</sub>, 11
  - efekt pamięciowy fotorezystora, 35
  - Eg, 43
  - elektroluminescencja, 26
- F**
- fala
    - elektromagnetyczna, 135
      - nośna, 144
    - prostokątna, generator, 55
  - fala\_elektromagnetyczna\_czas\_propagacji.xls, 136
  - fala\_elektromagnetyczna\_okres\_czestotliwosc.xls, 137

fala elektromagnetyczna\_zakresy\_dekadowo.xls, 137  
 fala elektromagnetyczna\_zakresy\_tradycyjnie.xls, 137  
 Fałsz, 83  
 fd, 43  
 fdp.xls, 67  
 fdp\_charakterystyka.xls, 67  
 fdp\_czo.xls, 69  
 fdp\_faza.xls, 67  
 fgp.xls, 69  
 fgp\_charakterystyka.xls, 70  
 fgp\_czo.xls, 70  
 fgp\_faza.xls, 70  
 filtr  
   dolnoprzepustowy, 66, 71  
   górnoprzepustowy, 69, 72  
 flip flop, 94  
 fotodioda, 38  
 fotodioda\_kierunek\_przewodzenia.xls, 39  
 fotodioda\_kierunek\_zaporowym.xls, 39  
 fotoprzewodnictwo, 40  
 fotorezystor, 35  
   czas reakcji, 35  
   efekt pamięciowy, 35  
 fotorezystor\_zmiana\_pradu\_kolektora\_01.xls, 37  
 fotorezystor\_zmiana\_pradu\_kolektora\_02.xls, 37  
 fototranzystor, 40  
   stan nasycenia, 41  
 fototranzystor\_tryb\_nasycenia.xls, 42  
 $f_T$ , 45  
 funkcja, minimalizacja, 89  
 funktor  
   czas reakcji, 87  
   logiczny, 84

**G**

generacja  
   częstotliwość, 54  
   warunki, 54  
 generator  
   fali prostokątnej, 55, 56, 59  
   schemat blokowy, 53  
   tranzystorowy, 55  
 german, 21, 22  
 górna częstotliwość graniczna wzmacniacza, 50  
 Graya kod, 89

**H**

H, 83  
 $h_{21E}$ , 45  
 harmoniczne, 119

hazard, 87  
 herc, 137  
 HEX, 82  
 hex2.xls, 83  
 High, 83  
 histereza, 59  
 Hz, 137

**I**

$I_B$ , 11, 13, 19  
 $I_C$ , 11, 13  
 $I_{CB0}$ , 21  
 $I_{CE0}$ , 40  
 idealny sygnał cyfrowy, 119  
 $I_E$ , 11, 19  
 iloczyn logiczny, 85  
 iloczyn\_binarnie.xls, 127  
 iloraz\_binarnie.xls, 128  
 iloraz\_niecałkowity\_binarnie.xls, 129  
 indukcyjności zwarte na schemacie, 19  
 inwerter w układzie Schmidta, 59  
 $I_{OH}$ , 32  
 $I_{OL}$ , 33  
 $I_p$ , 40  
 IR, 25

**J**

jaka\_C\_dla\_Xc.xls, 65  
 jaka\_f\_dla\_Xc.xls, 65  
 JK-MS, 101

**K**

kabel  
   koncentryczny, 141  
   współosiowy, 141  
 Karnaugh\_2.xls, 89  
 Karnaugh\_3.xls, 89  
 Karnaugh\_4.xls, 90  
 katoda, 25  
 klucz diodowy, 149  
   szeregowy, 74  
 klucz\_diodowy.xls, 74  
 kod  
   Graya, 89  
   z uzupełnieniem do dwóch, 126  
 kombinacyjny układ, 79  
 komparator, 116  
 koncentryczny.xls, 141  
 kondensator  
   krzywa ładowania, 72  
   w obwodzie prądu zmiennego, 65

konwersja

częstotliwości na napięcie, 117

liczb dziesiętnych na dwójkowe, 80

Kreator wykresów, 14

krzem, 21, 22

krzywa ładowania kondensatora, 72

krzywizna Ziemi, 140

Ku, 43

kwantowanie.xls, 121

kwantyzacja, 121

## L

L, 83

latch, 97

LDR, 35

LED, 25, 26

sterowanie, 32

liczba ujemna w systemie binarnym, 126

licznik, 105

asynchroniczny, 107

modulo n, 108

synchroniczny, 110

licznik\_mod\_n\_bin.xls, 108

Licznik\_synchro.xls, 110

Light Dependent Resistor, 35

logiczna 1, 79

logiczne 0, 79

logotomy, 143

Low, 83

## Ł

ładowanie kondensatora, 72

## M

Master, 98, 102

minimalizacja funkcji, 89

mnożenie

binarne, 126

pod kreską, 126

moc wydzielana przez płynący prąd, 27

modulacja amplitudy, 143

modulo 13, 152

n, 108

Most Significant Bit, 116

MOV, 132

MOV\_R3\_A.xls, 132

mowa\_pasma.xls, 143

MSB, 116

multiwibrator, 55

multiwibrator.xls, 56

multiwibrator\_555.xls, 58

## N

nachylenie prostej obciążenia dla prądu stałego,  
18

najbardziej znaczący bit, 116

NAND, 59, 98, 100

zastosowanie, 94

napięcie

baza-emiter, 21

generatora, 43

kolektor-emiter, 13

przewodzenia, 26

wejściowe, baza-emiter, 13

zasilania, 33

natężenie

oświetlenia, 35

poła elektrycznego, 138

prądu kolektora, 13

negator, 84

neper, 64

neper.xls, 64

niewidzialne promieniowanie, 25

NOR, 95, 96

not.xls, 84

Np, 64

## O

OB, 46

obwód sprzężenia zwrotnego, 53

OC, 46

OCT, 82

oct2.xls, 83

odbiornik promieniowania, 25, 34

odczyt danych z urządzenia zewnętrznego, 112

odejmowanie binarne, 125

odwrocenie fazy napięcia, 46

OE, 45, 46

okres, 137

oporność

falowa, 141

wejściowa wzmacniacza, 43

wewnętrzna generatora, 43

OR, 84

or.xls, 84

ostrość zboczy impulsów, 119

oświetlenie

natężenie, 35

wykrywanie, 36

oznaczenia wejść układów scalonych, 97

## P

pamięć  
 operacyjna, 123  
 stała, 123

pasmo przenoszenia, 46, 49

pasmo\_wzmacniacza.xls, 50

pętla  
 dodatniego sprzężenia zwrotnego, 56  
 histerezy, 59

pobieranie próbek, częstotliwość, 118

pojemności  
 rozwarne na schemacie, 19  
 złącza kolektora, 48

polaryzacja bazy tranzystora, 18

pole elektromagnetyczne, 135

pole elektryczne, natężenie, 138

połączenie równoległe diod LED, 31

połączenie szeregowo diod LED, 30

potencjometryczny układ zasilania, 18

prawa Murphy'ego, 157

Prawda, 83

prawo Ohma, 27

prąd  
 bazy, 13  
 ciemny, 38, 40  
 diody, 26  
 fotoelektryczny, 40  
 jasny, 40  
 kolektora, zmiana, 21  
 wsteczny, 38  
 wyjściowy bramki, 32  
 zerowy kolektora, 21, 22

prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej, 136

promieniowanie  
 niewidzialne, 25  
 odbiornik, 25, 34  
 w kolorze czerwonym, 27  
 widzialne, 25  
 źródło, 25

próbkowanie, 118

przełączanie przełącznika mechanicznego, 150

przerzutnik, 94  
 D, 97, 98  
 dwutaktowy, 102  
 J-K, 100  
 JK-MS, 101  
 RS, 94  
 Schmitta, 59  
 T, 111

przesunięcie  
 bitowe w lewo, 130, 131  
 fazowe, 46, 67

przesyłanie danych, 132

przetwornik  
 A/C, 116  
 analogowo-cyfrowy, 115  
 C/A, 117  
 cyfrowo-analogowy, 115  
 typu „flash”, 116  
 z bezpośrednim porównaniem napięć, 116

przewodnik\_natezenie\_pola.xls, 138

punkt pracy, 44  
 diody, 29  
 stabilizacja, 21  
 tranzystora, 19  
 współczynnik stałości, 21

## R

R-2R, 117

RAM, 123

$R_C$ , 18

$R_E$ , 18

reaktancja pojemnościowa, 65

reaktancja\_pojemnościowa.xls, 65

reflektometr, 136

rejestr, 112  
 przesuwny, 112  
 równoległy, 113

RESET, 100

rezonans prądów, 54

rezystancja  
 obciążenia, 43  
 wejściowa, 46  
 wyjściowa, 46

rezystor  
 dokładność wykonania, 28  
 ograniczający, 30, 31  
 sterowany częstotliwością, 65

$R_g$ , 43

RL A, 130

RL.xls, 130

RLC A, 131

RLC.xls, 131

$R_o$ , 43

rozdzielczość.xls, 154

ROM, 123

Rotate Left Accumulator, 130  
 with Carry, 131

rozdzielczość  
 przetwornik A/C, 116  
 przetwornik C/A, 118

roznica\_binarnie.xls, 125

rozwiązanie technologicznie poprawne, 29

równoległy układ rezonansowy, 54

RS, 94  
 RS-NAND.xls, 94  
 RS-NAND-WYKR.xls, 95, 96  
 RS-SYNCHR-TCH.xls, 97  
 Rwe, 43  
 rzeczywiste wartości elementów, 58

## S

schemat  
 blokowy generatora, 53  
 dla  
 częstotliwości średnich, 47  
 składowej stałej, 19  
 wzmacniacz OE, 47  
 do wyznaczenia punktu pracy, wzmacniacz  
 OE, 47  
 wzmacniacza tranzystorowego, 18  
 Schmitta przerzutnik, 59  
 sekwencyjny układ, 93  
 selenek kadmu, 35  
 SET, 100  
 siarczek kadmu, 35  
 siatka Karnaugha, 89  
 składowa stała, separacja, 18  
 Slave, 98, 102  
 SN74LS00, 62  
 spadek napięcia na  
 diodzie, 33  
 wyjściu bramki, 33  
 sprzężenie zwrotne, 53  
 stabilizator z diodą Zenera, 76  
 stan  
 na szynach magistrali, zapisanie, 112  
 nasycenia, 41  
 niski, 79, 83  
 odcięcia, 41  
 poprzedni, 93  
 wewnętrzny, 93  
 wysoki, 79, 83  
 sterowanie diody LED, 32  
 stosunek  
 mocy, 64  
 napięcie, 64  
 prądów, 64  
 strumień  
 elektronów, 12  
 wody, 12  
 suma logiczna, 85  
 suma\_binarnie.xls, 124  
 sumowanie binarne, 124  
 sygnalizacja świetlna, 103  
 sygnalizator.xls, 103

sygnał  
 analogowy, 79  
 cyfrowy, 79  
 idealny, 119  
 modulujący, 144  
 zegarowy, 94  
 synchroniczny układ, 94  
 synteza.xls, 119  
 system  
 binarny, 80  
 liczba ujemna, 126  
 dwójkowy, 80, 82  
 dziesiętny, 82  
 szeregi główne rezystorów, 28  
 szerokość pętli histerezy, 59  
 szesnastkowy układ, 82  
 szybkie mnożenie przez liczbę 2, 130

## T

T, 137  
 tabela prawdy, 89  
 tablica charakterystyczna, 98  
 temperatura, wpływ na parametry tranzystora, 21  
 tłumienie\_kabla.xls, 142  
 tłumienosc\_triset.xls, 141  
 tłumienie kabla, 141  
 tn, 50  
 transkoder, 116  
 tranzystor bipolarny,  
 charakterystyka, 13  
 przejściowa, 14  
 statyczna, 11  
 wyjściowa, 12  
 wyjściowa, 17  
 działanie, 12  
 germanowy, 22  
 krzemowy, 22  
 punkt pracy, 19  
 rola wzmacniająca, 12  
 tryb przełącznika, 41  
 właściwości, 11  
 wpływ temperatury, 21  
 wyniki pomiarów, 13  
 tranzystor\_pomiary\_01.xls, 13  
 tranzystor\_punkt\_pracy\_01.xls, 20  
 tranzystor\_zmiana\_pradu\_kolektora\_01.xls, 22  
 twierdzenie  
 Kotelnikowa-Shannona, 118  
 Nyquista-Shannona, 118



**U**

U<sub>2</sub>, 126  
 U<sub>BE</sub>, 11, 13, 19, 21, 36, 45  
 U<sub>BEP</sub>, 19, 36  
 U<sub>C</sub>, 27, 33  
 U<sub>CB</sub>, 11, 48  
 U<sub>CC</sub>, 19  
 U<sub>CE</sub>, 11, 13, 19  
 U<sub>D</sub>, 33  
 U<sub>E</sub>, 19  
 układ\_calkujacy.xls, 72  
 układ\_rozniczkujacy.xls, 73  
 układ
 

- asynchroniczny, 93, 97
- całkujący, 56, 71
- dwójkowy, 82
- dziesiętny, 82
- kombinacyjny, 79, 86
- liczbowy, 82
- rezonansowy równoległy, 54
- różniczkujący, 72
- sekwencyjny, 93
- sprężenia zwrotnego, 53
- synchroniczny, 94, 97
- szesnastkowy, 82
- WE, 18
- wejścia-wyjścia, 123
- zasilania potencjometryczny, 18

U<sub>OL</sub>, 33  
 urządzenia zewnętrzne, 123  
 Uwe, 43  
 uzupełnienie do dwóch, kod, 126

**W**

wartości elementów rzeczywiste, 58  
 wartość binarna, 80  
 warunek
 

- amplitudy, 54
- fazy, 54
- wzbudzenia generatora, 59

WC, 40  
 WE, 11, 18, 40  
 widocznosc\_bezposrednia.xls, 140  
 widoczność bezpośrednia, 140  
 widzialne promieniowanie, 25  
 właściwości tranzystora bipolarnego, 11  
 wpływ natężenia oświetlenia na wartość prądu
 

- fotodiody, 38

wspólny emiter, 11  
 współczynnik
 

- stabilizacji,
  - dioda Zenera, 77
  - zalecane wartości, 22

stałości punktu pracy, 21  
 wzmocnienia prądowego, 20, 21  
 wygładzenie wierzchołków impulsów, 119  
 wykrywania oświetlenia, 36  
 wyniki pomiarów tranzystora, 13  
 wyzwalanie
 

- poziomem, 97
- zbochem, 97

wzbudzenie na częstotliwościach harmonicznych, 59  
 wzmacniacz
 

- małych częstotliwości, 18
- odwracający, 51
- operacyjny, 51, 56
- tranzystorowy, 18
- WE, obwód
  - wejściowy, 11
  - wyjściowy, 11

wzmacniacz\_mcz\_z\_tranzystorami\_bipolarnymi.xls, 48  
 wzmacniacz\_odwracajacy.xls, 51  
 wzmacniająca rola tranzystora, 12  
 wzmocnienie
 

- mocy duże, 45
- napięciowe, 43, 46
  - <1, 46
  - duże, 45, 46
- prądowe, 45, 46
  - <1, 46
  - duże, 45, 46

wzory, zestaw podręczny, 27

**X**

X<sub>C</sub>, 65

**Z**

z uzupełnieniem do dwóch, kod, 126  
 zależności pomiędzy prądem, napięciem, rezystancją i mocą, 27  
 zamiana
 

- liczby dwójkowej, 83
- liczby ósemkowej, 83
- liczby szesnastkowej, 83

zapamiętywanie
 

- bitów, 112
- informacji, 93

zasięg fal decymetrowych, 140  
 zbocza impulsów, 119  
 Zener.xls, 76  
 Zener1.xls, 77  
 zjawisko
 

- elektroluminescencji, 26
- fotoprzewodnictwa, 40

złącze  
  emiterowe, 11  
  kolektorowe, 11  
  pojemność, 48  
  półprzewodnikowe, charakterystyka, 18  
zmiana  
  prądu kolektora, 21  
  napięcia wyjściowego, dioda Zenera, 77  
znacznik przeniesienia, 131  
zniekształcenia, 119

zrozumiałość  
  mowy, 143  
  sylabowa, 143  
ZU2, 126  
zwiększenie ostrości zboczy impulsów, 119  
zwis przebiegu wyjściowego, 50

## Ż

źródło  
  prądu o wydajności zależnej od natężenia  
  oświetlenia, 38  
  promieniowania, 25  
  sygnału, 11

# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ 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 WYDAWNICZA

 **Helion SA**

# Elektronika z Excelem

- Budowa i zasada działania podstawowych elementów elektronicznych
- Przegląd najczęściej wykorzystywanych układów analogowych
- Sposoby przetwarzania sygnałów analogowych na cyfrowe i na odwrót
- Podstawy techniki cyfrowej i mikroprocesorowej
- Zagadnienia związane z nadawaniem, propagacją i odbiorem sygnałów radiowych oraz telewizyjnych

Excel na dobre zagościł w szkołach, firmach i instytucjach naukowych, w których wykorzystywany jest do rozwiązywania różnorodnych problemów obliczeniowych: od przeprowadzania symulacji, wyznaczania trendów i wskaźników, poprzez generowanie różnych zestawień, porównań i podsumowań danych, aż po tworzenie na ich podstawie charakterystyk i wykresów. Aplikacja ta znajduje też zastosowanie w wielu dziedzinach techniki, wspomagając zarówno proste rachunki czy działania związane z wyceną kosztów realizacji projektów, jak i zaawansowane obliczenia inżynierskie.

Jeśli chcesz poznać podstawy elektroniki i dowiedzieć się, jak wykorzystać arkusz kalkulacyjny do rozwiązywania typowych problemów z tej dziedziny, sięgnij po książkę *Elektronika z Excelem*. Dzięki niej łatwo zrozumiesz działanie najważniejszych elementów i układów elektronicznych analogowych oraz cyfrowych, a także nauczysz się wykorzystywać program Excel do wyznaczania parametrów układów elektronicznych, wykreślenia charakterystyk czy prezentacji otrzymanych wyników. Książka okaże się nieocenioną pomocą, jeśli chcesz poznać metodykę eksperymentów elektronicznych bez angażowania laboratorium i nauczyć się wykonywać solidne sprawozdania z zajęć laboratoryjnych.

**Przekonaj się, jak wiele możesz zrobić w Excelu  
— bez laboratorium elektronicznego!**

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa



**Helion**

Nr katalogowy: 7726

Sprawdź najnowsze promocje:

🔗 <http://helion.pl/promocje>

Książki najchętniej czytane:

🔗 <http://helion.pl/bestsellery>

Zamów informacje o nowościach:

🔗 <http://helion.pl/nowosci>



Księgarnia internetowa:

<http://helion.pl>



Zamówienia telefoniczne:

**0 801 339900**



**0 601 339900**

**Helion SA**

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel.: 32 230 98 63

e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)

<http://helion.pl>



ISBN 978-83-246-4301-1



**Cena 34,90 zł**

**Informatyka w najlepszym wydaniu**