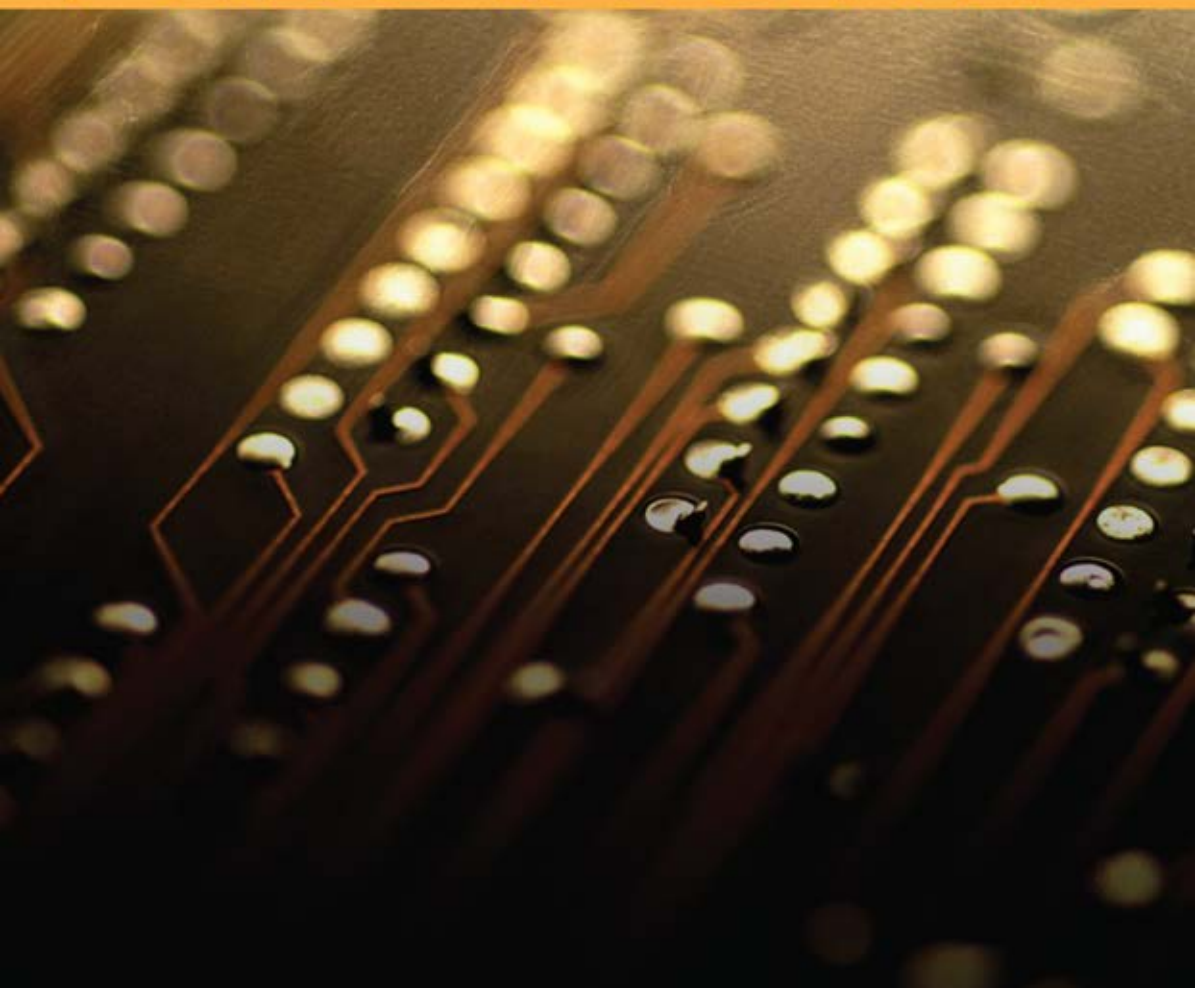


Harry Kybett, Earl Boysen

# ELEKTRONIKA

DLA KAŻDEGO

PRZEWODNIK



Spełnij marzenia  
— zaprojektuj swój pierwszy układ elektroniczny!



Tytuł oryginału: All New Electronics Self-Teaching Guide

Tłumaczenie: Julia Szajkowska

ISBN: 978-83-246-3740-9

Copyright © 2008 Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana.

All Rights Reserved. This translation published under license with the original publisher John Wiley & Sons, Inc.

Translation copyright © 2012 by Wydawnictwo Helion.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise without the prior written permission of the Publisher.

Wiley, the Wiley logo, and are related trade dress are trademarks or registered trademarks of John Wiley & Sons, Inc. and / or its affiliates in the United States and other countries, and may not be used without written permission. All other trademarks are the property of their respective owners. Wiley Publishing, Inc., is no associated with any product or vendor mentioned in this book.

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.

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/elekdk>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

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

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



# Spis treści

	<b>O autorze</b>	<b>9</b>
	<b>Wstęp</b>	<b>11</b>
<b>Rozdział 1.</b>	<b>Powtórzenie informacji o prądzie stałym i test wstępny</b>	<b>17</b>
	Przepływ prądu	17
	Prawo Ohma	20
	Szeregowe łączenie oporników	22
	Równoległe łączenie oporników	23
	Moc prądu	24
	Prądy o małym natężeniu	27
	Charakterystyka prądowo-napięciowa	28
	Dzielnik napięcia	30
	Dzielnik prądu	33
	Przełączniki	36
	Kondensatory w obwodach prądu stałego	38
	Podsumowanie	44
	Obwody prądu stałego — test wstępny	46
<b>Rozdział 2.</b>	<b>Dioda</b>	<b>51</b>
	Jak działa dioda?	52
	Dioda w doświadczeniu	56
	Przebicie diody	70
	Dioda Zenera	73
	Podsumowanie	80
	Test zrozumienia	80
<b>Rozdział 3.</b>	<b>Wprowadzenie do tranzystorów</b>	<b>85</b>
	Czym jest tranzystor?	86
	Doświadczenie	100
	Tranzystor połowy złączowy	109

	Podsumowanie	112
	Test zrozumienia	113
<b>Rozdział 4.</b>	<b>Tranzystor jako przełącznik</b>	<b>117</b>
	Włączanie tranzystora	118
	Wyłączanie tranzystora	124
	Dlaczego używamy tranzystora w charakterze przełącznika?	127
	Potrójny przełącznik tranzystorowy	136
	Alternatywny sposób realizowania przełączeń	140
	Przełączanie tranzystorów JFET	146
	Tranzystor JFET — doświadczenie	147
	Podsumowanie	151
	Test zrozumienia	151
<b>Rozdział 5.</b>	<b>Powtórzenie informacji o prądzie zmiennym i test wstępny</b>	<b>157</b>
	Generator	158
	Opornik w obwodzie prądu zmiennego	162
	Kondensator w obwodzie prądu zmiennego	164
	Cewka w obwodzie prądu zmiennego	166
	Rezonans	168
	Podsumowanie	170
	Test zrozumienia	171
<b>Rozdział 6.</b>	<b>Prąd zmienny w elektronice</b>	<b>173</b>
	Kondensatory w obwodach prądu zmiennego	173
	Kondensatory i oporniki łączone szeregowo	175
	Filtr górnoprzepustowy — doświadczenie	181
	Przesunięcie fazowe w obwodzie RC	187
	Opornik i kondensator połączone równolegle	192
	Elementy indukcyjne w układach prądu zmiennego	195
	Przesunięcie fazowe w obwodzie RL	201
	Podsumowanie	203
	Test zrozumienia	204
<b>Rozdział 7.</b>	<b>Obwody rezonansowe</b>	<b>209</b>
	Szeregowe łączenie kondensatorów i cewek	210
	Krzywa sygnału wyjściowego	220
	Wprowadzenie do układów drgających	234
	Podsumowanie	238
	Test zrozumienia	238
<b>Rozdział 8.</b>	<b>Wzmacniacze tranzystorowe</b>	<b>243</b>
	Praca ze wzmacniaczami tranzystorowymi	244
	Wzmacniacz tranzystorowy — doświadczenie	253
	Stabilny wzmacniacz	254
	Stabilizowanie	258
	Wtórnik emiterowy	267

---

Analiza układu wzmacniającego	273
Tranzystor JFET jako wzmacniacz	276
Wzmacniacz operacyjny	285
Podsumowanie	289
Test zrozumienia	289
<b>Rozdział 9. Generatory drgań</b>	<b>293</b>
Jak działa generator drgań?	294
Sprężenie zwrotne	303
Generator Colpittsa	308
Generator Hartleya	313
Generator Armstronga	314
Projektowanie generatora drgań	315
Typowe trudności z uruchomieniem generatora	319
Podsumowanie i zastosowania	324
Test zrozumienia	325
<b>Rozdział 10. Transformator</b>	<b>327</b>
Podstawa działania transformatora	327
Transformatory w obwodach łączności	336
Podsumowanie i zastosowania	340
Test zrozumienia	340
<b>Rozdział 11. Zasilacze</b>	<b>343</b>
Diody w obwodach prądu zmiennego. Pulsacje	344
Filtrowanie napięcia tętniącego	353
Podsumowanie	368
Test zrozumienia	368
<b>Rozdział 12. Wnioski i test końcowy</b>	<b>373</b>
Wnioski	373
Test końcowy	374
<b>Dodatek A Słowniczek</b>	<b>385</b>
<b>Dodatek B Spis symboli i skrótów</b>	<b>389</b>
<b>Dodatek C Przedrostki liczbowe</b>	<b>391</b>
<b>Dodatek D Standardowe wartości oporników</b>	<b>393</b>
<b>Dodatek E Materiały pomocnicze</b>	<b>395</b>
<b>Dodatek F Spis wzorów</b>	<b>399</b>
<b>Dodatek G Symbole stosowane w schematach obwodów elektronicznych</b>	<b>403</b>
<b>Skorowidz</b>	<b>405</b>



# Powtórzenie informacji o prądzie zmiennym i test wstępny

Aby zajmować się elektroniką, musisz dysponować podstawową wiedzą dotyczącą zagadnień związanych z prądem zmiennym. To z kolei wymaga poznania cech charakterystycznych sinusoidy, czyli wykresu funkcji sinusoidalnej.

**Sinusoida** przypomina kształtem falę na wodzie. Funkcja sinusoidalna jest wykorzystywana w elektronice do opisu zachowań napięcia i prądu o zmiennych amplitudach. Niektóre z sygnałów podawanych do układów prądu zmiennego (na przykład dostarczanych z sieci domowej) są opisywane funkcją sinusoidalną. Jej wykres pokazuje charakter zmian napięcia narastającego od wartości 0 woltów do wartości maksymalnej, a następnie spadek — również przez wartość zerową — do wartości minimalnej i powrót do wartości wyjściowej. W ciągu sekundy następuje pięćdziesiąt takich zmian, co oznacza, że częstotliwość sygnału wynosi 50 Hz (herców).

Podobną charakterystykę mają dźwięki wydawane przez instrumenty muzyczne. Występ orkiestry symfonicznej jest w rzeczywistości niczym innym, jak tylko generatorem bardzo skomplikowanych fal akustycznych, będących złożeniem wielu fal sinusoidalnych o różnych częstotliwościach.

Poznanie tematyki prądu zmiennego należy rozpocząć od zapoznania się z cechami funkcji sinusoidalnych. Później dowiesz się, w jaki sposób układy elektroniczne mogą generować fale sinusoidalne i jak mogą je zmieniać.

W tym rozdziale zajmiemy się następującymi zagadnieniami:

- zasadą pracy generatora,
- charakterystyką funkcji sinusoidalnej,
- napięciem międzyszczytowym i skutecznym,
- zachowaniem oporników w obwodach prądu zmiennego,
- reaktancją pojemnościową i indukcyjną,
- rezonansem.

## Generator

**1** Źródłem prądu w obwodach prądu stałego jest zazwyczaj bateria (czasami bateria słoneczna) podająca do układu stałe napięcie i prąd o stałym natężeniu.

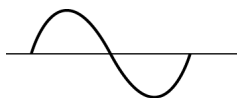
W obwodach prądu zmiennego źródłem napięcia jest najczęściej **generator** podający napięcie w postaci regularnego sygnału, na przykład opisanego funkcją sinus.

### Zadania

Narysuj pełny okres funkcji sinus.

#### Odpowiedź

Patrz rysunek 5.1.



Rysunek 5.1

**2** W laboratorium stosuje się różne źródła zmiennego napięcia. W dalszych rozważaniach będziemy się posługiwać określeniem **generator**, mając na myśli źródło napięcia opisywanego funkcją sinus. Urządzenia te pozwalają zmieniać napięcie i częstotliwość generowanej fali za pomocą przycisku lub pokrętki. Określa się je różnymi nazwami, w zależności od sposobu generowania zmiennego napięcia bądź zastosowania do badań. Największą popularnością cieszą się tak zwane **generatory funkcji** wytwarzające napięcia o różnych falach, na przykład kwadratowej czy trójkątnej. Generator funkcji przydaje się bardzo do testowania obwodów.

Generatory oznacza się w schematach symbolem przedstawionym na rysunku 5.2. Kształt sinusoidy wewnątrz kółka oznacza, że jest to źródło prądu zmiennego o charakterze sinusoidalnym.



Rysunek 5.2



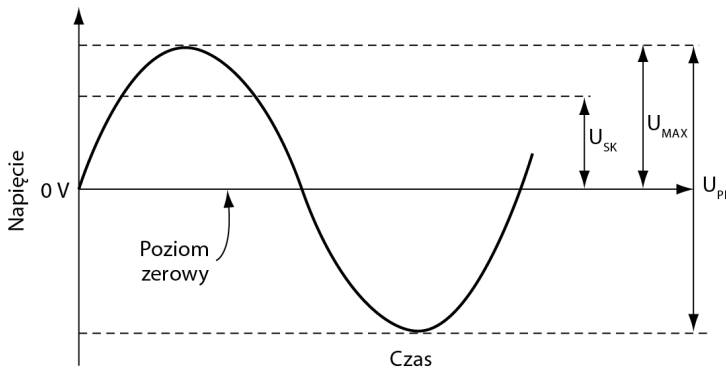
**Zadania**

- A. Jak nazywa się najpopularniejsze urządzenie laboratoryjne wykorzystywane do generowania przebiegu sygnału?
- B. Co oznacza skrót AC?
- C. Jak rozumieć znak sinusoidy wewnątrz symbolu generatora w schemacie obwodu?

**Odpowiedzi**

- A. Generator funkcji.
- B. Prąd zmienny.
- C. Tak oznaczony generator wytwarza sygnały sinusoidalne.

**3** Na rysunku 5.3 przedstawiliśmy niektóre z parametrów opisujących funkcję sinus. Na osiach wykresu dokładnie się odpowiednio napięcie i czas.



**Rysunek 5.3**

**Poziom zerowy** jest wygodnym punktem odniesienia do dokonywania pomiarów napięcia.

**Zadania**

- A. Po co wprowadza się poziom zerowy?
- B. W jakim punkcie najczęściej rozpoczyna się pomiar czasu?

**Odpowiedzi**

- A. To punkt odniesienia do pomiarów napięcia.

**B.** Pomiar czasu trwania zjawiska można rozpocząć w dowolnym punkcie przebiegu funkcji zmienności, ale najczęściej wybiera się któryś z punktów charakterystycznych, na przykład przecięcia krzywej z osią poziomu zerowego.

**4** W pomiarach napięcia szczególną uwagę zwraca się na trzy wielkości — **napięcie szczytowe** (MAX), **napięcie międzyszczytowe** (PP) oraz **napięcie skuteczne** (SK).

Podane niżej równania ujmują zależności pomiędzy napięciami szczytowym, międzyszczytowym oraz skutecznym w funkcji o przebiegu sinusoidalnym. Dla innych przebiegów (na przykład dla fali kwadratowej) zależności te są opisane innymi wzorami.

$$U_{MAX} = \sqrt{2} \cdot U_{SK},$$

$$U_{PP} = 2 \cdot U_{MAX} = 2\sqrt{2} \cdot U_{SK},$$

$$U_{SK} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_{MAX} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_{PP}}{2}.$$

Zapamiętaj też następujące zależności:

$$\sqrt{2} = 1,414, \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707.$$

### Zadanie

Znajdź napięcie skuteczne, jeśli napięcie międzyszczytowe wynosi 10 V.

#### Odpowiedź

$$U_{SK} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_{PP}}{2} = 0,707 \cdot \frac{10 \text{ V}}{2} = 3,535 \text{ V}.$$

**5** Przeprowadź obliczenia dla napięcia opisywanego funkcją sinus.

### Zadanie

Znajdź napięcie międzyszczytowe, jeśli napięcie skuteczne wynosi 2 V.

#### Odpowiedź

$$U_{PP} = 2\sqrt{2} \cdot U_{SK} = 2 \cdot 1,414 \cdot 2 \text{ V} = 5,656 \text{ V}.$$

**6** Przeprowadź obliczenia dla napięcia opisywanego funkcją sinus.

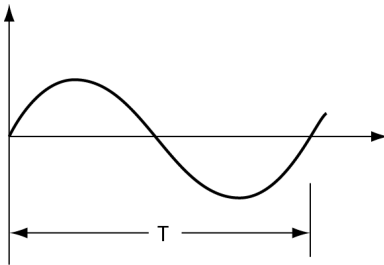
### Zadania

- A. Znajdź  $U_{SK}$ , gdy  $U_{PP} = 230 \text{ V}$ .  
 B. Znajdź  $U_{PP}$ , gdy  $U_{SK} = 120 \text{ V}$ .

### Odpowiedzi

- A. 81,33 V.  
 B. 340 V.

**7** Funkcję okresową o przebiegu sinusoidalnym opisuje się charakterystycznym parametrem czasowym. Pełny przebieg funkcji dokonuje się po tak zwanym **okresie**. Sytuację tę ilustruje rysunek 5.4. Wszystkie inne pomiary czasowe są wielokrotnością okresu bądź jego ułamkiem.



Rysunek 5.4

### Zadania

- A. Jak nazywa się pełny przebieg funkcji sinusoidalnej?  
 B. Jak nazywa się czas pełnego przebiegu funkcji sinusoidalnej?  
 C. Jakim wzorem wyraża się zależność częstotliwości funkcji od czasu pełnego przebiegu?  
 D. Co jest jednostką częstotliwości?  
 E. Określ częstotliwość fali sinusoidalnej o okresie 0,5 ms. Jaka będzie częstotliwość fali o okresie 40  $\mu\text{s}$ ?  
 F. Podaj okres fali o częstotliwości 60 Hz. Ile wynoszą okresy fal sinusoidalnych o częstotliwościach 12,5 Hz oraz 1 MHz?

**Odpowiedzi**

- A. Cykl.
- B. Okres, oznacza się go symbolem  $T$ .
- C.  $f = \frac{1}{T}$ .
- D. Podstawową jednostką częstotliwości jest jeden herc (Hz). Jeden herc jest równy jednemu cyklowi na sekundę.
- E. 2 kHz, 25 kHz.
- F. 16,7 ms, 80  $\mu$ s, 1  $\mu$ s.

**8** Wskaż poprawne stwierdzenia.

**Zadanie**

Która z funkcji może opisywać sygnał prądu zmiennego?

- A. Funkcja o przebiegu sinusoidalnym.
- B. Funkcja będąca złożeniem wielu fal sinusoidalnych o różnych częstotliwościach i amplitudach.
- C. Linia prosta.

**Odpowiedzi**

A i B.

**Opornik w obwodzie prądu zmiennego**

**9** Prąd zmienny może przepływać przez różne elementy układu, tak jak prąd stały. Oporniki w obwodzie reagują na przepływ prądu zmiennego tak samo jak na przepływ prądu stałego.

**Zadanie**

Załóżmy, że do obwodu podawany jest sygnał zmienny o napięciu międzyszczytowym 10 V, przepływający przez dziesięcioomowy opornik. Jaki prąd popłynie przez ten opornik?

**Odpowiedź**

Skorzystaj z prawa Ohma:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{10 \Omega} = 1 \text{ A}_{\text{PP}}.$$

Ponieważ podano napięcie międzyszczytowe, obliczony prąd jest również wielkością międzyszczytową.

**10** Do obwodu z dwudziestoomowym opornikiem podawany jest sygnał o napięciu skutecznym 10 V.

**Zadanie**

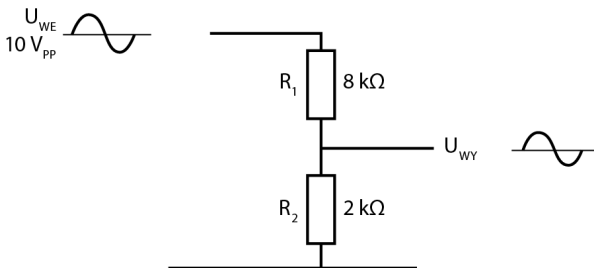
Oblicz prąd płynący przez opornik.

**Odpowiedź**

$$I = \frac{10 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,5 \text{ A}_{\text{SK}}.$$

Ponieważ w zadaniu podano napięcie skuteczne, wyznaczona wartość natężenia jest również wartością skuteczną.

**11** Do obwodu z dzielnikiem napięcia podawany jest sygnał zmienny o napięciu międzyszczytowym równym 10 V (rysunek 5.5).



Rysunek 5.5

**Zadanie**

Określ napięcie wyjściowe  $U_{\text{WY}}$ .

**Odpowiedź**

$$U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ V} \cdot \frac{2 \text{ k}\Omega}{8 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ V} \cdot \frac{2 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V}_{PP}.$$

**Kondensator w obwodzie prądu zmiennego**

**12** Kondensator stawia opór przepływowi prądu zmiennego.

**Zadania**

- A. Jak nazywa się opór stawiany przepływowi prądu przez kondensator?  
 B. Do jakiej wielkości charakteryzującej obwody prądu stałego można przyrównać ten parametr?

**Odpowiedzi**

- A. Reaktancja.  
 B. Można porównać ją do rezystancji.

**13** Reaktancję, tak samo jak rezystancję, opisuje się odpowiednim wzorem.

**Zadania**

- A. Podaj wzór na reaktancję.  
 B. Opisz zmienne użyte w równaniu.  
 C. W jaki sposób zmienia się reaktancja kondensatora, gdy częstotliwość sygnału rośnie?

**Odpowiedź**

- A.  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ .  
 B.  $X_C$  — reaktancja pojemnościowa podawana w omach,  
 $f$  — częstotliwość sygnału podawana w hercach,  
 $C$  — pojemność kondensatora podawana w faradach.  
 C. Wraz ze wzrostem częstotliwości reaktancja kondensatora spada.

**14** Przyjmij, że pojemność kondensatora wynosi  $1 \mu\text{F}$ , a częstotliwość sygnału podawanego przez generator —  $1 \text{ kHz}$ .

### Zadanie

Znajdź reaktancję kondensatora. (Uwaga:  $\frac{1}{2\pi}$  to około  $0,159$ ).

### Odpowiedź

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

$$f = 1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz},$$

$$C = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}.$$

Zatem:

$$X_C = \frac{0,159}{10^3 \cdot 10^{-6}} = 160 \Omega.$$

**15** Przeprowadź teraz dwa proste obliczenia. Wyznacz reaktancję kondensatora  $X_{C1}$  dla sygnału o częstotliwości  $1 \text{ kHz}$  oraz reaktancję  $X_{C2}$  dla drugiej, podanej w zadaniu częstotliwości.

### Zadania

Oblicz  $X_{C1}$  oraz  $X_{C2}$ .

A.  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$

B.  $C = 100 \mu\text{F}$ ,  $f = 2 \text{ kHz}$

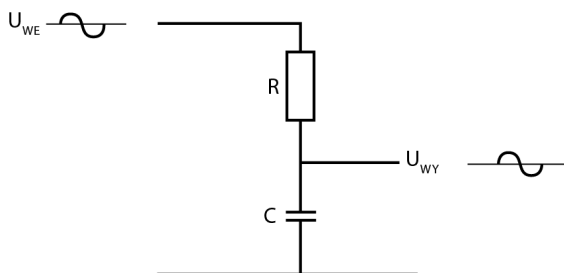
### Odpowiedzi

A. Dla częstotliwości  $f = 100 \text{ kHz}$   $X_{C1} = 1600 \Omega$ , dla częstotliwości  $f = 100 \text{ Hz}$   $X_{C2} = 16\,000 \Omega$ .

B. Dla częstotliwości  $f = 100 \text{ kHz}$   $X_{C1} = 1,6 \Omega$ , dla częstotliwości  $f = 2 \text{ kHz}$   $X_{C2} = 0,8 \Omega$ .

Układ zawierający szeregowo połączone opornik i kondensator (w sposób przedstawiony na rysunku 5.6) działa jako dzielnik napięcia.

Wprawdzie ten dzielnik podaje na wyjściu zmniejszone napięcie, tak samo jak dzielnik zbudowany z dwóch oporników, ale różni się od tego ostatniego jedną zasadniczą cechą. Gdybyś sprawdził sygnały wejściowy i wyjściowy na



Rysunek 5.6

oscylloskopie, przekonaliśmy się, że są one przesunięte w stosunku do siebie. O takich sygnałach mówimy, że są „przesunięte w fazie”. **Faza** to bardzo istotne pojęcie, niezbędne do zrozumienia pewnych aspektów działania układów elektronicznych. W rozdziale 6. omówimy szczegółowo związek pojęcia fazy i wybranych obwodów prądu zmiennego. Do zagadnień związanych z fazą powrócimy też podczas dyskusji o wzmacnianiu sygnałów.

## Cewka w obwodzie prądu zmiennego

**16 Cewka indukcyjna**, zwana też zwojnicą, jest zazwyczaj wykonana z drutu nawiniętego na rdzeń z miękkiego żelaza. Czasami zwoje umieszcza się na rdzeniu z materiału nieprzewodzącego.

### Zadania

- Powiedz, czy reaktancja cewki w obwodzie prądu zmiennego jest duża, czy mała. Odpowiedź uzasadnij.
- Czy rezystancja cewki w obwodzie prądu stałego jest duża, czy mała?
- Co łączy reaktancję w obwodzie prądu zmiennego z rezystancją w obwodzie prądu stałego?
- Podaj wzór na obliczanie reaktancji indukcyjnej.

### Odpowiedzi

- Reaktancja cewki ( $X_L$ ) w obwodzie prądu zmiennego potrafi przyjmować dość wysokie wartości, ponieważ wokół cewki powstaje pole elektromagnetyczne, które generuje prąd płynący w kierunku przeciwnym do prądu będącego źródłem pola.
- Rezystancja cewki ( $r$ ) umieszczonej w obwodzie prądu stałego jest zazwyczaj dosyć niska, równa oporowi drutu, z którego wykonany jest ten element.



C. Nic.

D.  $X_L = 2\pi fL$ , gdzie  $L$  — indukcyjność cewki wyrażana w henrach. Zgodnie z równaniem reaktancja cewki będzie rosła wraz ze wzrostem częstotliwości przepływającego przez nią sygnału.

**17** Przyjmij, że indukcyjność cewki wynosi 10 H, a częstotliwość sygnału to 100 Hz.

### Zadanie

Oblicz reaktancję cewki.

### Odpowiedź

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 10 \text{ H} = 6280 \Omega.$$

**18** Spróbuj rozwiązać teraz następujące dwa zadania. W każdym przypadku znajdź reaktancję cewki dla 1 kHz  $X_{L1}$  oraz reaktancję  $X_{L2}$  dla drugiej podanej częstotliwości.

### Zadania

A.  $L = 1 \text{ mH}$  (0,001 H),  $f = 10 \text{ kHz}$ .

B.  $L = 0,01 \text{ mH}$ ,  $f = 5 \text{ MHz}$ .

### Odpowiedzi

A.  $X_{L1} = 6,28 \cdot 10^3 \cdot 0,001 = 6,28 \Omega.$

$$X_{L2} = 6,28 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,001 = 62,8 \Omega.$$

B.  $X_{L1} = 6,28 \cdot 10^3 \cdot 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,0628 \Omega.$

$$X_{L2} = 6,28 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot 10^{-3} = 314 \Omega.$$

Obwód zawierający cewkę i opornik połączone szeregowo działa jak dzielnik napięcia, tak samo jak miało to miejsce w przypadku połączonych ze sobą szeregowo opornika i kondensatora. Także w tym przypadku zależność pomiędzy napięciem wejściowym a napięciem wyjściowym nie jest tak prosta jak przy dzielniku zbudowanym z samych oporników. Tego rodzaju obwody omówimy szczegółowo w rozdziale 6.

## Rezonans

**19** Obliczenia, które wykonywałeś w poprzednio omówionych zadaniach, wykazały, że reaktancja pojemnościowa spada ze wzrostem częstotliwości sygnału, natomiast reaktancja indukcyjna wzrasta, gdy częstotliwość sygnału rośnie. Dla połączonych szeregowo cewki i kondensatora istnieje jedna częstotliwość sygnału, przy której ich reaktancje są sobie równe.

### Zadania

- A. Jak nazywa się ta częstotliwość?  
 B. Podaj wzór pozwalający obliczyć jej wartość. Aby go poznać, przyjmij  $X_L = X_C$  i wyznacz z niego częstotliwość.

### Odpowiedzi

A. Częstotliwość rezonansowa.

B.  $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$ . Po przekształceniu tego równania i wyznaczeniu z niego  $f$  otrzymasz wzór pozwalający obliczyć częstotliwość rezonansową  $f_R$ :

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

**20** Kondensator i cewka połączone równolegle również dzielą pewną częstotliwość rezonansową, jednak w tym przypadku wyznaczenie jej nie jest tak proste jak przy połączeniu szeregowym. Analizowanie połączenia równoległego jest utrudnione, ponieważ cewka zawsze charakteryzuje się pewną opornością wewnętrzną, co utrudnia prowadzenie obliczeń. Jednak w określonych warunkach analiza połączenia równoległego staje się podobna do analizy połączenia szeregowego. Ma to miejsce, gdy reaktancja cewki wyrażona w omach jest przynajmniej dziesięć razy większa od wewnętrznego oporu tego elementu ( $r$ ). Wtedy wzór pozwalający wyznaczyć częstotliwość rezonansową przyjmuje postać identyczną z tym wyznaczanym dla połączenia szeregowego. W dalszych rozważaniach będziesz często korzystać z tego przybliżenia.

### Zadania

Sprawdź, czy dla podanych parametrów cewek ich reaktancja jest dziesięciokrotnie wyższa od ich wewnętrznej rezystancji. Częstotliwość rezonansowa jest podana w zadaniu.

- A.  $f_R = 25 \text{ kHz}$ ,  $L = 2 \text{ mH}$ ,  $r = 20 \ \Omega$ .  
 B.  $f_R = 1 \text{ kHz}$ ,  $L = 33,5 \text{ mH}$ ,  $r = 30 \ \Omega$ .

### Odpowiedzi

- A.  $X_L = 314 \ \Omega$ , co oznacza, że reaktancja jest przeszło dziesięć razy większa od oporu wewnętrznego.  
 B.  $X_L = 210 \ \Omega$ , co oznacza, że reaktancja jest mniej niż dziesięć razy większa od oporu wewnętrznego.

**UWAGA** W rozdziale 7. znajdziesz informacje dotyczące połączeń równoległych i szeregowych obwodów rezonansowych. Przedstawimy wtedy wiele przydatnych sposobów rozwiązywania tych problemów.

**21** Określ częstotliwość rezonansową ( $f_R$ ) dla podanych cewek i kondensatorów przy połączeniu szeregowym i równoległym. Przyjmij, że opór wewnętrzny cewek jest tak mały, że można go pominąć.

### Zadania

Wyznacz wartość  $f_R$ .

- A.  $C = 1 \ \mu\text{F}$ ,  $L = 1 \text{ H}$ .  
 B.  $C = 0,2 \ \mu\text{F}$ ,  $L = 3,3 \text{ H}$ .

### Odpowiedzi

- A.  $f_R = \frac{0,159}{\sqrt{10^{-6} \cdot 1}} = 160 \text{ Hz}$ .  
 B.  $f_R = \frac{0,159}{\sqrt{3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}}} = 6,2 \text{ kHz}$ .

**22** Rozwiąż teraz dwa ostatnie zadania.

### Zadania

Wyznacz wartość  $f_R$ .

- A.  $C = 10 \ \mu\text{F}$ ,  $L = 1 \text{ H}$ .  
 B.  $C = 0,0033 \ \mu\text{F}$ ,  $L = 0,5 \text{ H}$ .

**Odpowiedzi**A.  $f_R = 50 \text{ Hz}$  (w przybliżeniu).B.  $f_R = 124 \text{ kHz}$ .

Znajomość zagadnienia rezonansu staje się niezbędna, jeżeli chcesz analizować bardziej złożone układy elektroniczne, na przykład filtry czy oscylatory.

**Filtry** to obwody elektroniczne mogące blokować wybrane częstotliwości lub przekazywać dalej sygnały o określonych częstotliwościach. Stosuje się je powszechnie między innymi w radioodbiornikach i odbiornikach telewizyjnych. **Oscylatory** to obwody generujące ciągły sygnał wyjściowy bez konieczności podawania im sygnału wejściowego. Oscylatory stosowane w obwodach rezonansowych wytwarzają fale o przebiegu sinusoidalnym. (Więcej na temat oscylatorów dowiesz się z rozdziału 9.).

**Podsumowanie**

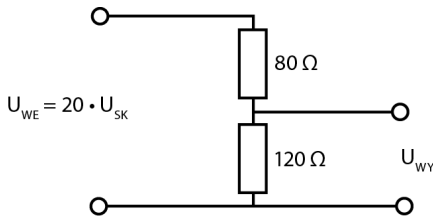
Poniżej znajdziesz zestawienie najważniejszych informacji z tego rozdziału.

- W obwodach prądu zmiennego bardzo często wykorzystuje się sygnały o przebiegu sinusoidalnym.
- Najczęściej stosowanym generatorem sygnałów jest tak zwany generator funkcji.
- $U_{MAX} = \sqrt{2} \cdot U_{SK}, U_{PP} = 2\sqrt{2} \cdot U_{SK}$ .
- $f = \frac{1}{T}$ .
- $I_{PP} = \frac{U_{PP}}{R}, I_{SK} = \frac{U_{SK}}{R}$ .
- Reaktancja pojemnościowa jest opisywana wzorem  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ .
- Reaktancję indukcyjną oblicza się z równania  $X_L = 2\pi fL$ .
- Częstotliwość rezonansowa jest opisywana wzorem  $f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

## Test zrozumienia

Podane niżej zadania sprawdzą Twoją znajomość zagadnień przedstawionych w tym rozdziale. Do prowadzenia obliczeń użyj osobnej kartki papieru. Później porównaj otrzymane wyniki z odpowiedziami umieszczonymi na końcu rozdziału.

- Na podstawie podanych wartości maksymalnych i międzyszczytowych wyznacz wartości skuteczne danych wielkości.
  - $U_{MAX} = 12 \text{ V}$ ,  $U_{SK} =$
  - $U_{MAX} = 80 \text{ mV}$ ,  $U_{SK} =$
  - $U_{PP} = 100 \text{ V}$ ,  $U_{SK} =$
- Na podstawie podanej wartości skutecznej wyznacz odpowiednie wartości międzyszczytowe i maksymalne.
  - $U_{SK} = 120 \text{ V}$ ,  $U_{MAX} =$
  - $U_{SK} = 100 \text{ mV}$ ,  $U_{MAX} =$
  - $U_{SK} = 12 \text{ V}$ ,  $U_{PP} =$
- Na podstawie danej wartości wyznacz okres lub częstotliwość.
  - $T = 16,7 \text{ ms}$ ,  $f =$
  - $f = 15 \text{ kHz}$ ,  $T =$
- Znajdź całkowity prąd płynący przez przedstawiony na rysunku 5.7 układ oraz spadek napięcia na oporniku  $R_2$  ( $U_{WY}$ ).



Rysunek 5.7

- Wyznacz reaktancję dla podanych elementów.
  - $C = 0,16 \mu\text{F}$ ,  $f = 12 \text{ kHz}$ ,  $X_C =$
  - $L = 5 \text{ mH}$ ,  $f = 30 \text{ kHz}$ ,  $X_L =$
- Znajdź częstotliwość rezonansową podanych elementów.
  - $C = 1 \mu\text{F}$ ,  $X_C = 200 \Omega$ ,  $f =$
  - $L = 50 \mu\text{H}$ ,  $X_L = 320 \Omega$ ,  $f =$
- Ile będzie wynosić częstotliwość rezonansowa kondensatora i cewki połączonych szeregowo i opisanych wartościami z podpunktów A i B zadania 5.?

8. Ile wyniosłaby częstotliwość rezonansowa kondensatora i cewki połączonych równolegle i opisanych wartościami z podpunktów A i B zadania 6.? Przy jakim założeniu otrzymany wynik będzie poprawny?

### Odpowiedzi do testu zrozumienia

Jeśli otrzymane odpowiedzi nie zgadzają się z kluczem, powtórz problemy podane w nawiasach, zanim przejdziesz do następnego rozdziału.

1.	A. 8,5 V (wartość skuteczna).	(problemy 4 – 6)
	B. 56,6 V (wartość skuteczna).	
	C. 35,4 V (wartość skuteczna).	
2.	A. 169,7 V (wartość maksymalna).	(problemy 4 – 6)
	B. 141,4 mV (wartość maksymalna).	
	C. 33,9 V (wartość międzyszczytowa).	
3.	A. 60 Hz.	(problem 7.)
	B. 66,7 $\mu$ s.	
4.	I = 0,1 A (wartość skuteczna).	(problemy 9 – 11)
	$U_{wy}$ = 12 V (wartość skuteczna).	
5.	A. 82,9 $\Omega$ .	(problemy 14. i 17.)
	B. 942,5 $\Omega$ .	
6.	A. 795,8 Hz.	(problemy 14. i 17.)
	B. 1,02 kHz.	
7.	5,63 kHz.	(problem 19.)
8.	711,8 Hz. Należy założyć, że wewnętrzny opór cewki jest tak mały, iż można go pominąć.	(problem 20.)

# Skorowidz

## A

admitancja przejściowa, 282  
amper, 27  
amperomierz, 57  
amplituda, 176  
analiza układu wzmacniającego, 273  
anoda, 52

## B

baza, 87  
bipolarny tranzystor złączowy, 85  
BJT, bipolar junction transistor, 85  
Boysen Earl, 9  
bramka, 109, 146

## C

cewka indukcyjna, 166  
indukcyjność, 167  
reaktancja, 166  
rezystancja, 166  
charakterystyka  
prądowo-napięciowa, 28  
prądowo-napięciowa diody, 57  
wzmacniacza idealnego, 286  
wzmacniacza operacyjnego, 286  
cykl, 162, 359  
częstotliwość, 168  
dolna, 221  
drgań, 293  
górna, 221  
rezonansowa, 168, 214, 305

## D

dioda 1N4001, 59  
dioda baza-emiter, 88  
dioda baza-kolektor, 88  
dioda idealna, 56  
dioda Zenera, 73  
napięcie przebicia, 74  
diody, 51, 347  
półprzewodnikowe, 80  
przebiecie, 70  
spalenie, 77  
spolaryzowane w kierunku przewodzenia, 54  
wstecznie spolaryzowane, 55  
długość fali, 359  
dobór oporników, 260  
dobór oporników stabilizacyjnych, 272  
dobroć niska, 229  
dobroć obwodu, 225  
dobroć wysoka, 229  
dodatnie sprzężenie zwrotne, 295, 383  
dodawanie wektorów, 189  
domieszkowanie, 52  
dopasowanie impedancyjne, 336  
dren, 109  
drgania, 295  
drugie prawo Kirchhoffa, 32, 45  
dzielnik napięcia, 30, 167  
dzielnik prądu, 33

## E

efekt tranzystorowy, 93  
elektrony, 19  
emiter, 87

**F**

faza, 166, 329  
filtr, 170, 173  
  dolnoprzepustowy, 184  
  górnoprzepustowy, 181  
  środkowoprzepustowy, 223  
  środkowozaporowy, 223  
filtrowanie jednokrotne, 361  
filtrowanie napięcia tętniącego, 353  
funkcja arcus tangens, 189  
funkcja sinusoidalna, 157  
funkcja wykładnicza, 40

**G**

generator, 158  
generator drgań, 293, 307, 383  
  Armstronga, 304, 314  
  Colpittsa, 305, 308  
  Hartleya, 304, 313  
  projektowanie, 316  
  uruchamianie, 319  
generator funkcji, 158  
generowanie przepływu prądu, 18

**H**

henr, 167

**I**

impedancja, 177  
  dzielnika napięcia, 218  
  linii, 336  
  obwodu LC, 322  
  obwodu RLC, 211  
  układu, 218  
  wewnętrzna, 298  
  wyjściowa, 269  
  wyjściowa transformatora, 337  
indukcyjność cewki, 167  
izolator, 51

**J**

JFET, junction field effect transistors, 85

**K**

kanal N, 109  
katoda, 52  
kąt nachylenia prostej, 29  
kąt przesunięcia fazowego, 189, 190, 202  
kierunek przepływu elektronów, 19  
kierunek przepływu prądu, 19, 53  
kiloom, 27

kolektor, 87  
kondensator, 38, 164  
  łączenie równoległe, 42  
  łączenie szeregowo, 43  
kondensator emiterowy, 263  
krzywa przejściowa, 277  
krzywa rezonansowa uniwersalna, 231  
krzywa sygnału wyjściowego, 220  
krzywa U-I, 57

**L**

lampa próżniowa, 51  
liczba zwojów, 331  
linia, 336  
logika boolowska, 117

**Ł**

ładowanie kondensatora, 40  
łączny opór układu, 31

**M**

megaom, 27  
metoda Armstronga, 304  
metoda Colpittsa, 304  
metoda Hartleya, 304  
mikroamper, 27  
miliamper, 27  
moc, 25, 45  
moc wyjściowa transformatora, 335  
moc znamionowa, 26  
moc źródła, 44  
MOSFET, metal oxide silicon field effect transistor, 85

**N**

napięcie, 20, 44  
  bramka – źródło, 284  
  dren – źródło, 278  
  kolektor – emiter, 102, 248  
  kolektora, 244  
  maksymalne, 233  
  międzyszczytowe, 160, 333  
  nasylenia, 119  
  odcięcia, 149  
  progowe diody, 61  
  przewodzenia, 62  
  skuteczne, 160, 333  
  stałe, 244  
  szczytowe, 160, 213  
  średnie, 364  
  wejściowe, 30  
  wyjściowe, 31, 197  
  wyjściowe transformatora, 330, 335



natężenie, 20, 27, 35  
 natężenie całkowite, 34

**O**

obciążenie, 118, 354  
 obciążenie rezonansowe, 299  
 obciążenie tranzystora, 285  
 obszar progowy, 61  
 obszar typu P, 88  
 obwód drgający, 238  
 obwód LC, 301  
 obwód RC, 187  
 obwód RL, 201  
 obwód RLC, 210  
 obwód zasilacza, 355  
 odczep środkowy, 330, 334  
 okres, 161  
 opornik, 26, 44, 162
 

- łączenie równoległe, 23, 44
- łączenie szeregowe, 22, 44

 opornik sprzężenia zwrotnego, 288  
 opornik stabilizujący, 258  
 oporność obciążenia, 251  
 oporność wejściowa tranzystora, 251  
 opór, 23, 30  
 opór układu, 23  
 opór wewnętrzny, 269  
 opór zastępczy, 23, 24, 193  
 oscylatory, 170, 234  
 oscylator sinusoidalny, 293  
 osłabianie sygnału, 179

**P**

pasmo przenoszenia, 221  
 pierwsze prawo Kirchhoffa, 35, 45  
 PIV, peak inverse voltage, 72  
 pojedynczy przełącznik dwupozycyjny, 36  
 pojedynczy przełącznik jednopozycyjny, 36  
 pojemność całkowita, 43, 45  
 polaryzacja diody, 350  
 pole magnetyczne, 236  
 potencjometr, 58  
 poziom zerowy, 159  
 półprzewodnik, 51  
 prawa Kirchhoffa, 32, 35, 45  
 prawo Ohma, 20, 44  
 prąd
 

- bazy, 90, 114, 120, 245, 257
- bramki, 114
- drewnu, 116, 277
- elektryczny, 18
- emitera, 257
- kolektora, 96, 120, 244, 257
- nasycenia, 148, 278
- obciążenia, 118

- płynący przez diodę, 66
- rdzenia, 116
- stały, 28, 46
- wyjściowy transformatora, 335
- zmienny, 162

 projektowanie generatora, 316  
 prosta obciążenia, 247  
 prostowanie, 348  
 prostowanie pełnookresowe, 351  
 prostownik pełnookresowy, 350, 351  
 prostownik półokresowy, 348  
 PRV, peak reverse voltage, 72  
 przebiecie, 71  
 przebieg sygnału, 188, 368  
 przebieg sygnału wyjściowego, 345  
 przebieg zmienności napięcia, 349  
 przeciwfaza, 329  
 przedrostki, 391  
 przekładnia transformatora, 331, 339  
 przełączanie, 117  
 przełączanie tranzystorów JFET, 146  
 przełącznik, 112
 

- elektryczny, 237
- mechaniczny, 36, 138, 140
- tranzystorowy, 117, 127
- tranzystorowy potrójny, 136
- tranzystorowy wielopozycyjny, 130

 przesunięcie fazowe, 188, 189, 201  
 pulsacje, 344  
 punkt nasycenia, 248  
 punkt odcięcia, 248  
 punkt pracy, 254
**R**

reaktancja, 164, 177
 

- cewki, 166, 196, 210, 216
- cewki i kondensatora, 213
- indukcyjna, 166, 170
- kondensatora, 164, 210
- pojemnościowa, 164, 170, 174

 rezonans, 168, 209  
 rezystancja, 26, 177
 

- cewki, 166
- diody, 61
- lampy, 74
- zastępcza, 23

 rezystory mocy, 393  
 rozładowanie kondensatora, 356  
 równoległe łączenie, 23, 42  
 różnica faz, 188

**S**

schemat
 

- dzielnika napięcia, 195
- generatora Armstronga, 314

- schemat
  - generatora Colpittsa, 308
  - generatora Hartleya, 313
- separator obciążeń, 270
- simens, 282
- sinusoida, 157
- skuteczność transformatora, 335
- spadek napięcia, 30, 45, 64
- spalenie diody, 77
- sprężenie zwrotne, 237, 288, 303
- stabilizowanie punktu pracy, 245, 259
- stabilizowanie tranzystora, 245
- stabilizowanie wzmacniacza, 296
- stała czasowa, 39, 45, 357
- stałoprądowe napięcie kolektora, 251
- stan nasycenia, 106
- stan tranzystora, 112
- stopień wzmocnienia, 301
- sygnał wyjściowy, 281
- symbole, 389
- symbole graficzne, 403
- szczytowe napięcie wsteczne, 72
- szeregowe łączenie, 22, 43
- szeregowy obwód RLC, 211
- szerokość pasma przenoszenia, 223, 224
- szerokość połówkowa, 221

### T

- temperatura, 256
- testowanie obwodów, 158
- tętniący sygnał stały, 353
- transformator, 327
  - obniżający napięcie, 332
  - podnoszący napięcie, 332
  - separacyjny, 332
- transkonduktancja, 282
- tranzystor, 86, 144
  - 2N3643, 101, 102
  - bipolarny, 85
  - BJT, 109, 112
  - JFET, 109, 112, 147, 276
  - nnp, 90
  - polowy, 85
  - polowy złączowy, 85, 109
  - pnp, 90
  - włączanie, 122
  - wyłączanie, 124
- typ N, 52
- typ P, 52

### U

- ujemne sprzężenie zwrotne, 294, 383
- układ
  - drgający, 234
  - elektryczny, 44

- oscylatora, 294
- RLC, 215
- scalony, 128, 285
- stabilizujący, 277
- wzmacniacza, 255
- wzmacniającego, 264
- uruchamianie generatora, 319
- uzwojenie pierwotne, 327
- uzwojenie wtórne, 328

### W

- wartości oporów, 393
- wartość maksymalna sygnału, 358
- woltomierz, 57
- wspólna baza, 298
- wspólne źródło, 279
- wspólny emiter, 296
- wspólny kolektor, 267
- współczynnik
  - kierunkowy prostej, 30, 248
  - wzmocnienia stałoprądowego, 249
  - wzmocnienia zmiennoprądowego, 249
- wtórnik emiterowy, 267, 270
- wygasanie drgań, 237
- wykres wskazowy, 189, 202
- wzmacniacz
  - dwustopniowy, 266
  - jednotranzystorowy, 243
  - JFET, 279
  - niestabilny, 252
  - operacyjny, 243, 285
  - stabilny, 254
  - wspólnej bazy, 298
- wzmocnienie
  - napięciowe, 255, 281
  - napięciowe wzmacniacza, 251, 265, 283, 297
  - prądowe, 97, 113, 115
- wzory, 399
- wzrost wzmocnienia, 301

### Z

- zasilacze, 343
- złącze baza-emiter, 125
- złącze p-n, 52
- zmienne napięcie wyjściowe, 251
- zniekształcenia, 295

### Ż

- źródło, 109
- źródło napięcia, 158

# 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**

# Skutecznie projektuj układy elektroniczne!

Czy zastanawiałeś się kiedykolwiek, jak działają otaczające Cię urządzenia elektroniczne? Kim są osoby, które potrafią je zaprojektować, wykonać i zagwarantować ich poprawne funkcjonowanie? A może marzyłeś, żeby zbudować swój własny układ elektroniczny?

Aha, kiwasz twierdząco głową. A zatem ta książka musi znaleźć się w Twoim koszyku! Ma ona już blisko trzydziestoletnią historię i trzymało ją w rękach wielu elektroników hobbystów. Dzięki przejrzystym opisom i licznym przykładom nawet kompletny laik błyskawicznie opanuje przedstawiony materiał. Równania opisujące prąd stały i zmienny, prawo Ohma, oporniki, diody i tranzystory to tylko część elementów świata elektroniki, które już za chwilę przestaną być Ci obce! Dołącz do grona elektroników i spełnij marzenia o budowaniu własnych układów elektronicznych!

Poznaj świat elektroniki:

- równania opisujące prąd stały i zmienny
- prawo Ohma
- możliwości oporników
- zasady działania generatorów

Nr katalogowy: 8533



Księgarnia internetowa:  
<http://helion.pl>



Zamówienia telefoniczne:  
**0 801 339900**



**0 601 339900**

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa

Sprawdź najnowsze promocje:  
• <http://helion.pl/promocje>  
Książki najchętniej czytane:  
• <http://helion.pl/bestsellery>  
Zamów informacje o nowościach:  
• <http://helion.pl/nowości>



**Helion**

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>

sięgnij po **WIĘCEJ**



KOD KORZYŚCI

Cena:  
59,00 zł



ISBN 978-83-246-3740-9

9 788324 637409

Informatyka w najlepszym wydaniu