

Witold Wrotek

# Schematy elektroniczne od podstaw

Elektronika  
bez oporu

Helion 

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

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

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

Redaktor prowadzący: Małgorzata Kulik

Projekt okładki: Studio Gravite / Olsztyn

Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

Grafika na okładce została wykorzystana za zgodą Shutterstock.com

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

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

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

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

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

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-8322-358-2

Copyright © Helion S.A. 2021, 2023

Printed in Poland.

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

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

# SPIS TREŚCI

<b>WSTĘP</b>	<b>7</b>
<b>1 ELEKTRYCZNOŚĆ</b>	<b>17</b>
Napięcie	19
Prąd	24
Oznaczenia	25
Moc	26
Podsumowanie	27
<b>2 POŁĄCZENIA</b>	<b>29</b>
Przewody i ścieżki	29
Etykiety	33
Co z połączeń wynika dla elektronika	35
Podsumowanie	37
<b>3 ZASILANIE</b>	<b>39</b>
Napięcie	41
Masa	44
Podsumowanie	48
<b>4 REZYSTANCJA</b>	<b>49</b>
Rezystor	49
Potencjometr czy rezystor zmienny	55
Termistor	58
Fotorezystor	59
Zagadki	61
Podsumowanie	63

<b>5</b>	<b>INDUKCYJNOŚĆ</b>	<b>65</b>
	Cewka lub dławik	66
	Cewka z rdzeniem	68
	Cewka z rdzeniem regulowanym	70
	Transformator z rdzeniem	71
	Transformator bez rdzenia	74
	Autotransformator lub transformator regulowany	76
	Podsumowanie	78
<b>6</b>	<b>POJEMNOŚĆ</b>	<b>79</b>
	Kondensator	83
	Kondensator elektrolityczny (biegunowy)	87
	Kondensator zmienny	88
	Łączenie pojemności	90
	Co jeszcze warto wiedzieć?	91
	Podsumowanie	92
<b>7</b>	<b>DIODA</b>	<b>93</b>
	Dioda LED	96
	Dioda Zenera (stabilizacyjna)	99
	Dioda pojemnościowa (warikap, waraktor)	100
	Mostek prostowniczy Graetza	101
	Podsumowanie	104
<b>8</b>	<b>TRANZYSTOR</b>	<b>107</b>
	Tranzystor bipolarny NPN	111
	Tranzystor bipolarny PNP	113
	WE, WB, WC	116
	Tranzystory polowe	119
	Podsumowanie	122
<b>9</b>	<b>ELEMENTY PRZEŁĄCZAJĄCE</b>	<b>123</b>
	Tyrystor (SCR) — tyrystor triodowy jednokierunkowy	123
	Jak sprawdzić, czy tyrystor jest sprawny?	127
	Diak — tyrystor diodowy dwukierunkowy	129
	Triak — tyrystor triodowy dwukierunkowy	130
	Przełącznik	133
	Podsumowanie	138

<b>A</b>	<b>SYMBOLE UŻYTE W KSIĄŻCE</b>	<b>141</b>
<b>B</b>	<b>PRZYKŁADY SCHEMATÓW</b>	<b>149</b>
	Włącznik schodowy	149
	Siła schematu	150
	Rozwiązywanie układów	150
	Bilans prądów	152
	Układ całkujący	153
	Układ różniczkujący	154
	Opóźnienie napięcia w stosunku do prądu	155
	Kształtowanie sygnałów	156
	Zbędny element?	157
	Dwa tyki logiki	160



# 4

## REZYSTANCJA

Ponieważ najlepiej zostaje w pamięci nie wykład, a przykład, zaczniemy od doświadczenia. Wykonamy rezystor.

### Rezystor



Potrzebne będą: kartka papieru, miękki ołówek, omomierz. Najpierw trzeba zmierzyć oporność czystego papieru (rysunek 4.1).



Rysunek 4.1. Tak miernik cyfrowy sygnalizuje, że mierzona wartość jest większa od ustawionego zakresu

Następnie kilka razy narysujmy ołówkiem linię w tym samym miejscu i zmierzmy jej oporność (rysunek 4.2).



**Rysunek 4.2.** 164,1 k $\Omega$ . Taką rezystancję ma narysowana kreska.  
Twoja może mieć inną

Sondy omomierza przysuń jedną do drugiej, a następnie oddal je. Sprawdź, jaki będzie to miało wpływ na wskazania omomierza.

Zatem wykonaliśmy rezystor węglowy, ponieważ grafit znajdujący się w ołówku jest jedną z odmian węgla.

Na skalę przemysłową rezystory produkowane są oczywiście inaczej. Na ich powierzchni jest napylna warstwa węgla, a następnie wycina się ścieżkę o takiej długości, aby miała zadaną rezystancję (rysunek 4.3).



**Rysunek 4.3.** Przez warstwę lakieru prześwituje wycięta ścieżka





Poprawną nazwą elementu z rysunku 4.3 jest **rezystor**, a wartością wnoszoną do obwodu jest **rezystancja**. Równie często można spotkać się z nazwami **opornik** i **oporność**. W pracy dyplomowej należy raczej używać dwóch pierwszych terminów.

Rezystory stałe mogą być różnie wykonane (rysunek 4.4). Uzależnione jest to między innymi od mocy, która może wydzielić się na elemencie. Oczywiście im rezystor większy, tym moc będzie wyższa. „Kostka” pokazana na rysunku 4.4 to rezystor o mocy znamionowej 5 W. Sąsiadujący z nim największy rezystor w kształcie walca ma moc znamionową 1 W.



Rysunek 4.4. Im większy rezystor, tym większa powierzchnia chłodzenia i wyższa moc znamionowa



Co zrobić, gdy rezystor o dużej mocy uległ uszkodzeniu, a mamy elementy o mniejszej mocy? Można zastąpić go połączonymi szeregowo dwoma rezystorami o mocy i rezystancji o połowę niższej lub połączonymi równolegle dwoma rezystorami o mocy o połowę niższej, a rezystancji dwa razy wyższej. Łączna moc połączonych rezystorów będzie dwa razy wyższa niż każdego osobno.

Jeżeli na rezystorze jest wystarczająca ilość miejsca, można wydrukować na nim moc i rezystancję znamionową. W dobie miniaturyzacji zazwyczaj nie ma tyle miejsca. Stosowany jest więc kod paskowy. Kolory i ich układ nie są przypadkowe (tabela 4.1).



Wadą kodu paskowego jest konieczność jego znajomości albo dysponowania ściągawką lub aplikacją do dekodowania informacji. Zaletą kodu paskowego jest to, że element można zamontować dowolnie, bez zwracania uwagi na to, czy napis na nim jest widoczny.

Tabela 4.1. Międzynarodowy kod kolorów

Barwa	1. pierścień lub kropka = 1. cyfra	2. pierścień lub kropka = 2. cyfra	3. pierścień lub kropka = liczba zer (mnożnik)	4. pierścień lub kropka = tolerancja
Czarna	0	0	-	
Brązowa	1	1	0	±1%
Czerwona	2	2	00	±2%
Pomarańczowa	3	3	000	
Żółta	4	4	0000	
Zielona	5	5	00000	
Niebieska	6	6	000000	
Fioletowa	7	7	0000000	
Szara	8	8	00000000	
Biała	9	9	000000000	
Złota			*0,1	±5%
Srebrna			*0,01	±10%
Bez barwy				±20%

Jaki nominal ma rezystor na obrazku 4.5?



Rysunek 4.5. Kolor złoty zarezerwowany jest dla tolerancji

Najpierw trzeba go ustawić paskiem złotym po prawej stronie. Następnie odczytujemy z tabeli:

- pasek czerwony to liczba 2,
- pasek niebieski to liczba 6,
- pasek czerwony to liczba zer, czyli 00,
- pasek złoty to tolerancja wynosząca  $\pm 5\%$ .

Zapisujemy liczby kolejno i uzyskujemy:

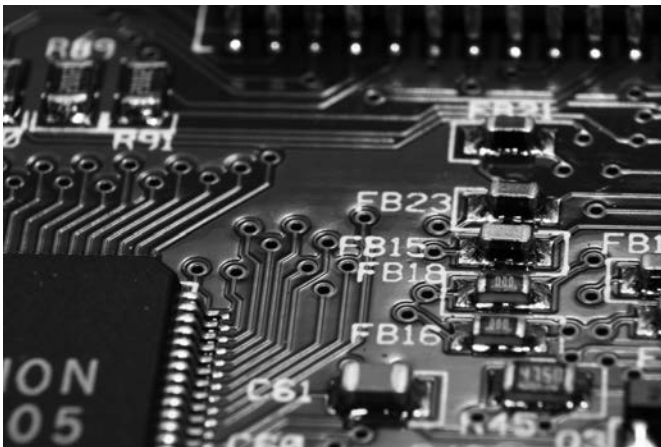
$$2600 \pm 5\% = 2,6 \text{ k}\Omega \pm 5\%.$$

Zamontowanie rezystora warto poprzedzić oszacowaniem, jaka się na nim wydzieli moc. W przypadku prądu stałego trzeba w tym celu przemnożyć spadek napięcia na rezystorze przez natężenie prądu, który przez niego popłyynie. Korpus rezystora z rysunku 4.5 ma około 6 mm długości. Elementy takie umożliwiają wydzielanie mocy rzędu 0,125 W.

Im większa moc, tym większy rezystor jest potrzebny. Informacja o tym, jaką moc wytrzyma rezystor, podana jest w karcie katalogowej lub na pudełku.

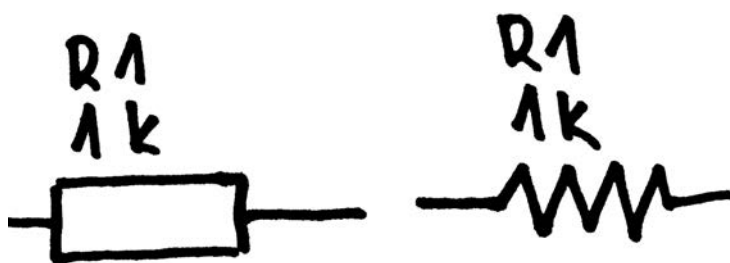
Co się stanie, jeśli wydzielana na rezystorze moc będzie wyższa od maksymalnej dopuszczalnej? Zacznie wzrastać jego temperatura. Będzie brzydko pachniał, lakier na nim zrobi się ciemny, aż wreszcie rezystor przestanie przewodzić lub nawet się zapali.

W zminiaturyzowanych urządzeniach można coraz częściej spotkać elementy zamontowane powierzchniowo, a w tym i rezystory SMD. Nazwa ich pochodzi od słów *Surface Mount Device*, czyli elementy do montażu powierzchniowego, a są one znacznie mniejsze (rysunek 4.6) niż pokazane na wcześniejszych ilustracjach.



Rysunek 4.6. Płytką drukowana wykonana w technologii montażu powierzchniowego  
(źródło: <https://pixabay.com/pl/photos/p%C5%82yta-z-obwodami-drukowanymi-1539113/>)

Wiemy już, jak wygląda rezystor w układzie. Na rysunku 4.7 pokazano, jak jest rysowany na schemacie.



Rysunek 4.7. Symbole rezystorów używane w Europie (po lewej) i w USA (po prawej)



Rezystory nie są produkowane zawsze o tej samej wartości. Ich nominały są zależne od tego, do jakiego szeregu należą, czyli z jaką tolerancją wartości zostały wykonane. Szereg E3 zawiera tylko trzy wartości (10, 22 i 47). W szeregu E6 jest sześć wartości (10, 15, 22, 33, 47, 68) itd. W szeregu E3 są elementy z tolerancją wartości 50%. Do szeregu E6 należą elementy o tolerancji 20%. W praktyce oznacza to, że można uzyskać pokrycie całych dekad potrzebnych wartości przy stosunkowo niewielkiej liczbie standardowych elementów nominalnych.

Spotykane są również szeregi: E12 –  $\pm 10\%$ , E24 –  $\pm 5\%$ , E48 –  $\pm 2\%$ , E96 –  $\pm 1\%$ , E192 –  $\pm 0,5\%$ . Im większa dokładność wykonania elementu, tym wyższa jest jego cena.



Na rezystorach o dużej dokładności po pasku tolerancji znajduje się jeszcze jeden pasek kodu barwnego. Informuje on o temperaturowym współczynniku rezystancji: brązowy — 100 ppm/K, czerwony — 50 ppm/K, żółty — 25 ppm/K, pomarańczowy — 15 ppm/K, niebieski — 10 ppm/K, fioletowy — 5 ppm/K.



Skrót **ppm** pochodzi od słów *parts per milion*. Zatem 1 ppm = 1/1 000 000, zaś 100 ppm = 0,01%. **K** oznacza zmianę temperatury o jeden stopień.



Dla osiągnięcia stałości rezystancji należy stosować w układach rezystory metalowe i nie obciążać ich pełną mocą.

## Potencjometr czy rezystor zmienny

Potencjometr montażowy (rysunek 4.8) służy do ustawienia rezystancji podczas uruchamiania obwodów i dobierania ich parametrów. Potem układ jest zamykany w obudowie. Potencjometr montażowy musi zajmować mało miejsca.



Rysunek 4.8. Potencjometr (z lewej) i potencjometr montażowy (z prawej)

Potencjometr służy do częstej regulacji. Za jego pomocą ustawiana jest np. głośność radioodbiornika, intensywność oświetlenia.

Ponieważ nasze zmysły mają różną wrażliwość, stosowane są potencjometry o trzech charakterystykach: liniowej — oznaczenie B, logarytmicznej — oznaczenie A (rysunek 4.9) i wykładniczej — oznaczenie C.



**Rysunek 4.9. Potencjometry o wartości nominalnej 100 k $\Omega$  oraz charakterystykach: liniowej (po lewej) i logarytmicznej (po prawej)**



Charakterystyka potencjometru oznacza, jak zmienia się jego rezystancja, mierzona pomiędzy nóżką środkową a skrajną, w trakcie obrotu suwaka.

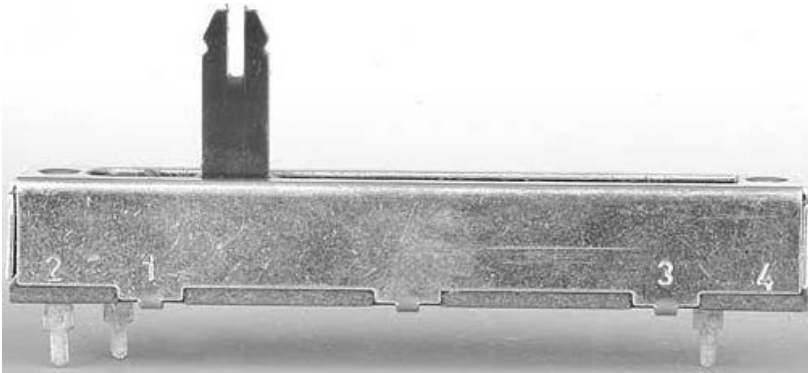


Wymieniając potencjometry, należy zwracać uwagę nie tylko na ich rozmiary i nominały, ale też na charakterystykę. Użycie np. do regulacji wzmocnienia siły głosu potencjometrów o charakterystyce B zamiast C spowoduje, że układ nie będzie miał płynnej regulacji, lecz kręcąc potencjometrem, spowodujemy, że sygnał w głośniku pojawi się „nagle” i to od razu dość silny.



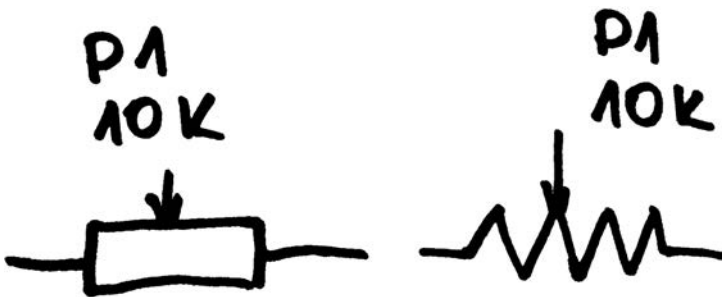
Wartość nominalna potencjometru to rezystancja mierzona pomiędzy dwiema skrajnymi nóżkami.

Inną popularną wersją potencjometru jest potencjometr suwakowy (rysunek 4.10). Suwak przesuwany jest w nim nie po ścieżce okrągłej, a prostej.



Rysunek 4.10. Potencjometr suwakowy

Na rysunku 4.11 pokazano, jak potencjometry są zaznaczane na schematach w Europie (z lewej) i USA (z prawej).



Rysunek 4.11. Symbole potencjometrów

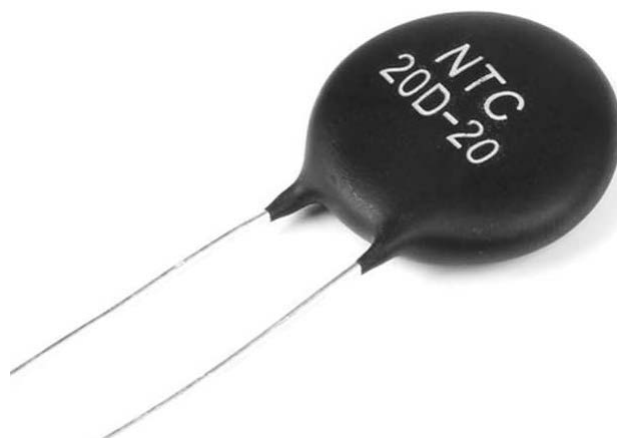


Podczas regulacji suwak potencjometru przesuwany jest po ścieżce oporowej. W rezultacie powstaje pył, który może powodować, że ustawianie dokładnej wartości nastęrcza trudności. Przed wymianą potencjometru można spróbować usunąć zabrudzenia z jego wnętrza strumieniem sprężonego powietrza. Jeśli nadal będzie sprawiać problemy, można do wnętrza potencjometru, na ścieżkę oporową, wpuścić kilka kropli preparatu **Kontakt**, a następnie poruszać suwakiem potencjometru.

## Termistor

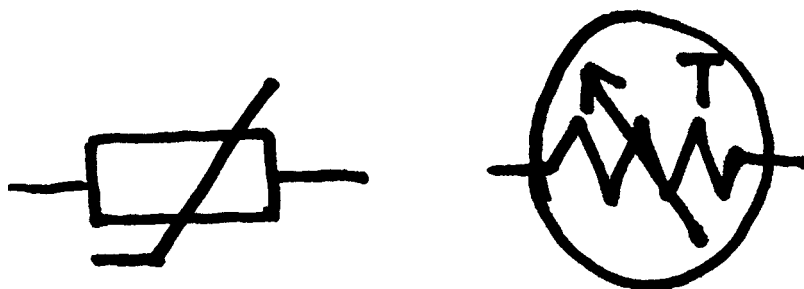
W przypadku rezystora zmiana rezystancji w zależności od temperatury otoczenia jest zjawiskiem niekorzystnym. Istnieją rozliczne zastosowania, w których zmiana rezystancji może być wykorzystana do pomiaru temperatury. Są to np. termometry elektroniczne czy układy wyłączające prąd podczas ładowania akumulatora telefonu w przypadku nadmiernego wzrostu temperatury.

**Termistor** jest rezystorem półprzewodnikowym (rysunek 4.12).



Rysunek 4.12. Termistor

Na schematach używane są dwa symbole (rysunek 4.13).



Rysunek 4.13. Po lewej oznaczenie termistora stosowane w Europie, a po prawej symbol termistora używany w USA i Japonii



W zależności od technologii wykonania termistory dzieli się na:

- **NTC** (ang. *Negative Temperature Coefficient* — ujemny współczynnik temperaturowy) — rezystancja maleje ze wzrostem temperatury.
- **PTC** (ang. *Positive Temperature Coefficient* — dodatni współczynnik temperaturowy) — rezystancja rośnie ze wzrostem temperatury.
- **CTR** (ang. *Critical Temperature Resistor*) jest nieliniowym rezystorem o skokowej zmianie rezystancji w wąskim przedziale temperatury.

Termistor opisywany jest przez następujące parametry:

- typ (NTC, PTC lub CTR),
- rezystancja nominalna mierzona dla temperatury pokojowej,
- temperaturowy współczynnik rezystancji TWR,
- temperatura krytyczna,
- maksymalna moc  $P$ ,
- tolerancja.

## Fotorezystor

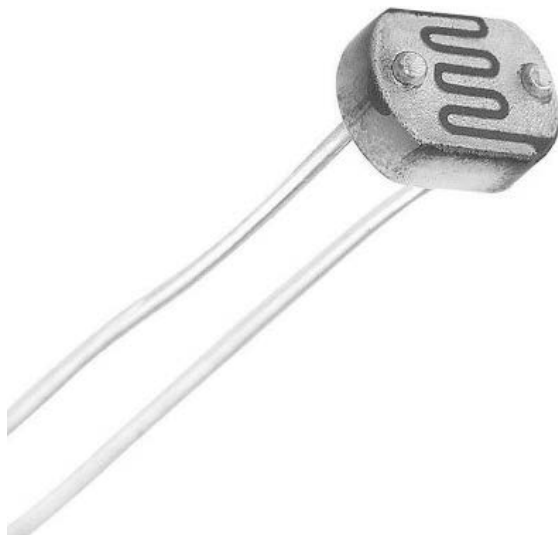
**Fotorezystor** jest opornikiem półprzewodnikowym. Jego rezystancja ulega zmianie pod wpływem padającego na powierzchnię promieniowania elektromagnetycznego: widzialnego lub podczerwieni.

Im oświetlenie jest słabsze, tym rezystancja elementu wyższa. Na rysunku 4.14 pokazano fotorezystor. Na rysunku 4.15 widoczny jest symbol fotorezystora.

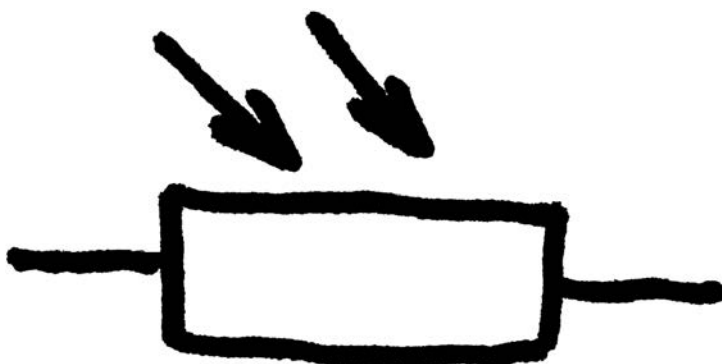


Zakres częstotliwości promieniowania odpowiadający maksymalnej czułości jest zależny od materiału użytego do produkcji elementu.

---



Rysunek 4.14. Fotorezystor



Rysunek 4.15. Symbol fotorezystora

Fotorezystor opisywany jest przez:

- rezystancję, jaką ma element przy braku oświetlenia (**rezystancja ciemna**);
- rezystancję fotorezystora po oświetleniu powierzchni (**rezystancja jasna**);
- dopuszczalne maksymalne napięcie pracy fotorezystora (napięcie maksymalne  $U_{max}$ );
- moc wydzielaną w czasie pracy ciągłej i niepowodującą trwałych uszkodzeń fotorezystora (maksymalna moc  $P_{max}$ );

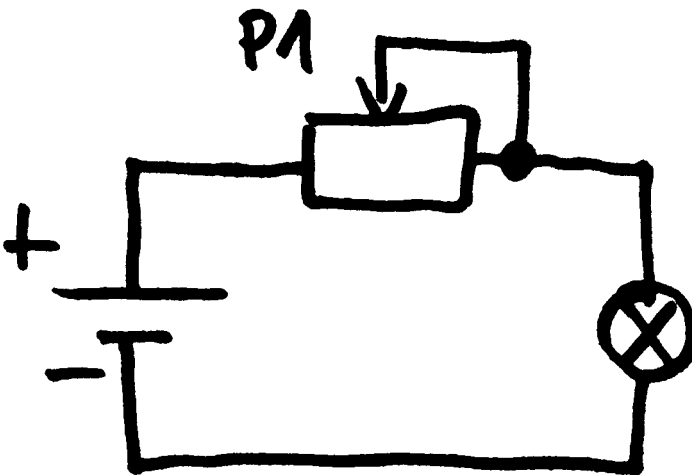
- zależność rezystancji fotorezystora RE od natężenia oświetlenia E (charakterystyka rezystancyjno-oświetleniowa).

## Zagadki

Gdy poznawałem podstawy elektroniki, trudność sprawiało mi kojarzenie różnych faktów. Najszybszy postęp w biegłym posługiwaniu się wiedzą dało mi rozwiązywanie zagadek. Dwie z nich znajdziesz w dalszej części rozdziału.

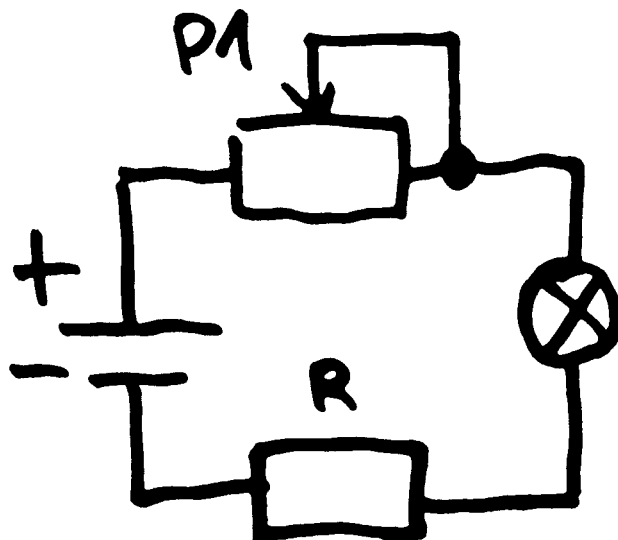
### Zagadka 1.

W układzie przedstawionym na rysunku 4.16 połączone w szereg zostały: bateria, potencjometr i żarówka (kółko z krzyżykiem). Podczas zmniejszania rezystancji potencjometru żarówka świeci coraz jaśniej. W pewnym momencie przestaje świecić. Ulega spaleni. Jak zabezpieczyć układ przed zbyt dużym natężeniem prądu?



Rysunek 4.16. W skrajnym położeniu suwaka rezystancja potencjometru wnoszona do układu wynosi zero

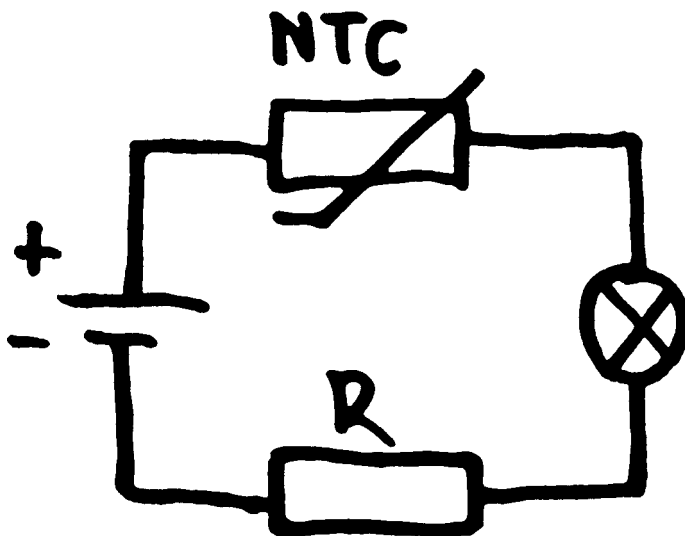
Dołączenie w szereg rezystora (rysunek 4.17) powoduje, że nawet gdy rezystancja potencjometru będzie wynosiła zero, prąd będzie ograniczany przez rezystor R.



Rysunek 4.17. Stała rezystancja R sumuje się z rezystancją potencjometru i żarówki

### Zagadka 2.

Zmianę jakiego parametru: oświetlenia czy temperatury będzie sygnalizował układ z rysunku 4.18?



Rysunek 4.18. Jaki czynnik zewnętrzny ma wpływ na rezystancję elementu NTC?

Litery NTC oznaczają termistor, którego rezystancja obniża się wraz ze wzrostem temperatury. Zatem im wyższa będzie temperatura termistora, tym bardziej zmaleje sumaryczna rezystancja układu. Przy pewnej wartości natężenia prądu żarówka zacznie świecić i wraz ze wzrostem temperatury termistora będzie świeciła coraz intensywniej.


## **Podsumowanie**

- Potencjometry mają nie tylko liniową zależność od rezystancji od ruchu suwaka, ale także logarytmiczną i wykładniczą.
- Termistor ma rezystancję zależną od temperatury.
- Fotorezystor ma rezystancję zależną od oświetlenia.



# PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

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

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

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

GRUPA  
**Helion**

# Schematy elektroniczne od podstaw

Elektronika  
bez oporu

## Odkryj wspaniały świat elektroniki!

- Do czego służą różne części elektroniczne?
- Jak czytać poszczególne rodzaje schematów?
- Co sprawia, że układ działa tak, a nie inaczej?

Rezystory, kondensatory, cewki, diody, tranzystory... Przeciętny zjadacz chleba traci wątek już w tym momencie, a to zaledwie kilka podstawowych typów elementów elektronicznych, z których można zbudować nieskończoną liczbę obwodów pełniących rozmaite funkcje. Urządzenia elektroniczne są wszędzie, mimo to niewielu z nas naprawdę rozumie ich działanie i potrafi naprawić choćby najprostsze z nich. Dlaczego?

Powodów jest wiele. Elektronika wydaje się skomplikowana, działania poszczególnych elementów zwykle nie widać gołym okiem, a dodatkowo wiele z nich zdaje się wyglądać identycznie. Poza tym schematy ideowe nie odwzorowują wprost fizycznego rozmieszczenia części na płytkach drukowanych. Wszystko to sprawia, że elektronika wielu ludziom jawi się nowoczesnym rodzajem magii. Czy można coś na to poradzić?

Oczywiście! Możesz się o tym przekonać dzięki tej książce! Autor udowadnia, że nikt nie przychodzi na świat z wiedzą tajemną, a elektroniki po prostu można się nauczyć. Podręcznik krok po kroku wprowadza w jej arkania, przedstawiając podstawowe informacje o elektryczności i połączeniach, wyjaśniając zjawiska oporu, pojemności i indukcyjności oraz tłumacząc zasadę działania podstawowych elementów półprzewodnikowych.

- Fizyczne podstawy elektroniki
- Połączenia elektryczne
- Zasilanie obwodów
- Rezystory i potencjometry
- Cewki i transformatory
- Różne rodzaje kondensatorów
- Diody i tranzystory
- Proste układy tranzystorowe

**Przekonaj się, że elektronika to nic trudnego!**

<b>Helion</b> 		<b>KOD KORZYŚCI</b> Sięgnij po więcej! 	
 <a href="http://helion.pl">helion.pl</a>			
 <b>HELION SA</b> ul. Kościuszki 1c 44-100 Gliwice tel.: 32 230 98 63 helion@helion.pl	ISBN 978-83-8322-358-2		
	 9 788383 223582		
<b>Cena: 49,00 zł</b>			