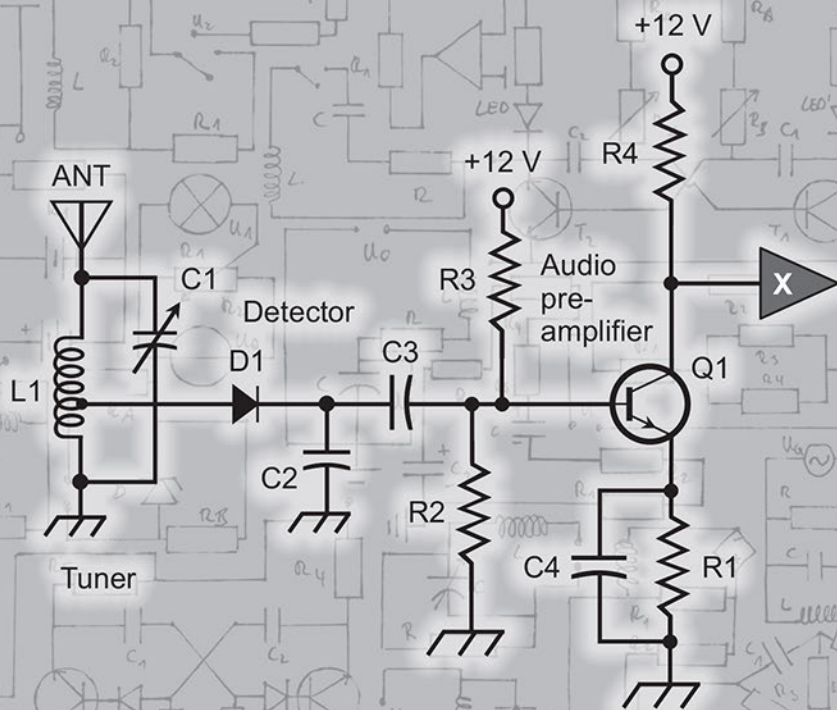


Przewodnik dla początkujących

Schematy elektroniczne i elektryczne

WYDANIE IV



Mc
Graw
Hill
Education

Stan Gibilisco

Helion

Tytuł oryginału: Beginner's Guide to Reading Schematics, Fourth Edition

Tłumaczenie: Anna Mizerska

z wykorzystaniem fragmentów Schematy elektroniczne i elektryczne. Przewodnik dla początkujących. Wydanie III w przekładzie Konrada Matuka

ISBN: 978-83-283-7524-6

Original edition copyright © 2018, 2014, 1991, 1983 by McGraw-Hill Education

All rights reserved.

Polish edition copyright © 2021 by Helion SA

All rights reserved.

McGraw-Hill Education, the McGraw-Hill Education logo, TAB, and related trade dress are trademarks or registered trademarks of McGraw-Hill Education and/or its affiliates in the United States and other countries and may not be used without written permission. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

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

Helion SA

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: 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/schel4>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- Lubię to! » Nasza społeczność

Spis treści

O autorze	7
Wstęp	9
1 Plan ogólny	11
<i>Schemat blokowy</i>	14
<i>Schemat ideowy</i>	15
<i>Symbolika stosowana na schematach</i>	16
<i>Połączenia pomiędzy podzespołami przedstawionymi na schemacie</i>	19
<i>Język symboliczny</i>	22
2 Schematy blokowe	27
<i>Prosty przykład</i>	27
<i>Schematy funkcjonalne</i>	28
<i>Ścieżki przepływu prądu i sygnału</i>	31
<i>Schemat technologiczny procesu</i>	34
<i>Ścieżki wykonywania programu</i>	39
<i>Podsumowanie</i>	41
3 Podzespoły i urządzenia	43
<i>Rezystory</i>	43
<i>Kondensatory</i>	49
<i>Cewki i transformatory</i>	53
<i>Przełącznik i przekaźniki</i>	59
<i>Przewody i kable</i>	64

6 Spis treści

<i>Diody i tranzystory</i>	68
<i>Wzmacniacze operacyjne</i>	72
<i>Lampy elektronowe</i>	74
<i>Ogniwa i baterie</i>	79
<i>Bramki logiczne</i>	80
<i>Podsumowanie</i>	82
4 Proste obwody	85
<i>Początki</i>	86
<i>Etykietowanie komponentów</i>	95
<i>Wykrywanie i diagnozowanie usterek z użyciem schematu</i>	102
<i>Bardziej złożony obwód</i>	107
<i>Łączenie schematu ideowego i blokowego</i>	110
<i>Wzmacniacz lampowy</i>	113
<i>Trzy podstawowe obwody logiczne</i>	116
<i>Podsumowanie</i>	121
5 Obwody złożone	123
<i>Identyfikacja bloków składowych</i>	123
<i>Podział na strony</i>	131
<i>Kolejne obwody</i>	135
<i>Przyzwyczajanie się do pracy ze złożonymi schematami</i>	146
<i>Obwody ze wzmacniaczami operacyjnymi</i>	152
<i>Podsumowanie</i>	162
6 Schematy do budowy i testów	165
<i>Twoja płytka prototypowa</i>	166
<i>Nawijanie drutów</i>	170
<i>Prądowe prawo Kirchhoffa</i>	172
<i>Napięciowe prawo Kirchhoffa</i>	177
<i>Rezystancyjny dzielnik napięcia</i>	180
<i>Diodowy układ obniżający napięcie</i>	187
<i>Niedopasowane żarówki połączone szeregowo</i>	193
<i>Galwanometr oparty na kompasie</i>	200
<i>Podsumowanie i wnioski</i>	207
A Symbole stosowane na schematach	209
B Rezystory — kod paskowy	225
C Dostawcy elementów	229
Dodatkowa lektura	231

O autorze

Stan Gibilisco jest inżynierem elektronikiem, matematykiem i radioamatorem, a także autorem kilku samouczków wydanych w ramach publikowanych przez wydawnictwo McGraw-Hill serii *DeMYSTiFieD* i *Know-It-All*. Jest również autorem lub współautorem kilkudziesięciu innych książek i artykułów technicznych. Jego książki ukazują się w wielu językach na całym świecie. Od 1966 Stan Gibilisco jest radiooperatorem hobbystą. Jego obecny znak wywoławczy to W1GV.

3

Podzespoły i urządzenia

Na mapie samochodowej symbole stosuje się w celu oznaczania miast, miejscowości, dróg głównych, dróg lokalnych, lotnisk, torowisk kolejowych i punktów charakterystycznych w terenie. Podobnie na schemacie ideowym stosuje się symbole do oznaczenia przewodów, rezystorów, kondensatorów, tranzystorów i innych podzespołów elektronicznych. Nowe symbole tworzy się dla każdego wynalezionej elementu.

Wskazówka

W poniższym rozdziale znajdziesz symbole większości elementów stosowanych w elektronice i elektrotechnice. Dodatek A (znajdujący się na końcu tej książki) zawiera rozszerzoną listę symboli przedstawioną w formie tabeli.

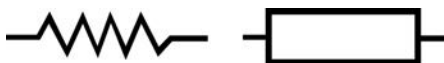
Rezystory

Rezystory są jednymi z najprostszych elementów elektronicznych. Stawiają one opór przepływającemu prądowi. Wartość oporu, jaką charakteryzuje się rezystor, jest mierzona w **omach** (Ω). W praktyce spotyka się rezystory o oporze w granicach od kilku omów do milionów omów.

44 Podzespoły i urządzenia

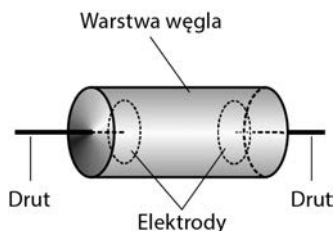
Rzadko spotykane są rezystory charakteryzujące się oporem mniejszym od jednego oma lub większym od setek milionów omów.

Niezależnie od charakteryzującego oporu wszystkie rezystory są przedstawiane na schematach za pomocą jednego z dwóch powszechnie stosowanych symboli widocznych na rysunku 3.1. Poziome linie znajdujące się po bokach każdego z oznaczeń symbolizują styki rezystora. Zwykle mają one formę drucików, jednakże czasem mogą być to bardziej złożone zaciski.



Rysunek 3.1. Standardowe symbole stosowane do oznaczenia rezystora o stałej wartości oporu elektrycznego; symbol z prostokątem jest częściej stosowany w europejskiej literaturze specjalistycznej; symbol z linią łamaną jest częściej spotykany w literaturze amerykańskiej

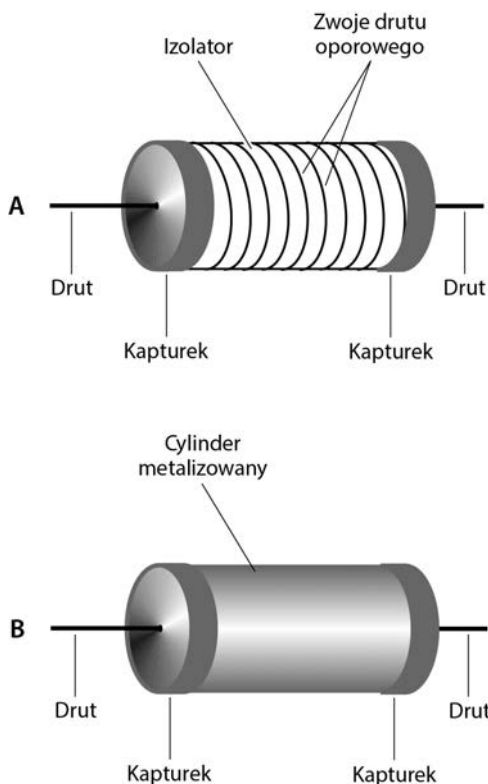
Na rysunku 3.2 przedstawiono „przezroczysty” **rezystor węglowy** z dwoma wyprowadzeniami, charakteryzujący się stałą wartością oporu elektrycznego. Na rysunku 3.3 znajdują się dwa rezystory innych typów: **rezystor drutowy** (A) oraz **rezystor metalizowany** (B). Każdy z rezystorów pokazanych na rysunkach 3.2 i 3.3 na schemacie zostałyby przedstawiony za pomocą symbolu widocznego na rysunku 3.1.



Rysunek 3.2. Budowa rezystora warstwowego węglowego

Wskazówka

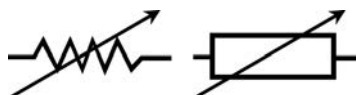
W celu lepszego dopasowania do schematu możesz obrócić niemal każdy symbol o 90 stopni, tak jak widać na rysunku 3.1. Jeśli to konieczne, możesz również odwrócić go do góry nogami lub tyłem na przód! Dopóki osoby czytające schemat będą wiedzieć, co dany symbol oznacza, jego kierunek nie ma znaczenia.



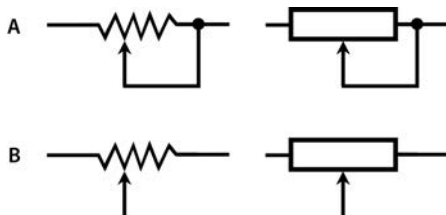
Rysunek 3.3. Budowa rezystora drutowego (A) oraz rezystora metalizowanego (B)

Rezystor nastawny charakteryzuje się tym, że możemy zmieniać wartość oporu elektrycznego, jakim się on charakteryzuje — rezystor jest wyposażony w pokrętło lub suwak. Użytkownik może ręcznie ustawić właściwą wartość oporu, która nie będzie ulegać zmianie do momentu przesunięcia suwaka lub obrócenia pokrętła. Z punktu widzenia układu rezystor taki posiada stałą wartość oporu.

Jednakże w przypadku obwodu, który wymaga zastosowania rezystora nastawnego niezbędne jest oznaczenie tego faktu na schemacie. Na rysunku 3.4 pokazano symbol rezystora nastawnego posiadającego dwa wyprowadzenia. Istnieją również rezystory nastawne posiadające trzy złącza. Na rysunku 3.5 przedstawiono przykładowe symbole rezystorów nastawnych posiadających trzy złącza — nazywa się je **potencjometrami** lub **reostatami** w zależności od ich konstrukcji.



Rysunek 3.4. Symbole rezystorów nastawnych posiadających dwa złącza



Rysunek 3.5. Alternatywne symbole rezystorów nastawnych zwanych potencjometrami lub reostatami (zależnie od konstrukcji); w rezystorze przedstawionym na rysunku A element przesuwany zwarto z jednym ze złączy, a na rysunku B zastosowano trzy wyprowadzenia

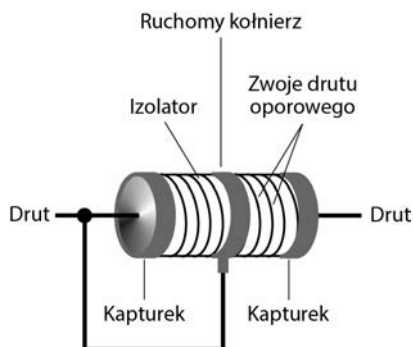
Czy wiesz, że...?

Reostat zawiera element oporowy w postaci nawiniętego drutu, a potencjometr zwykle zawiera warstwę węgla. Wartość oporu elektrycznego reostatu jest zmieniana krokowo. W przypadku potencjometrów wartość ta może być regulowana płynnie. Reostaty posiadają indukcyjność wraz z rezystancją, podczas gdy potencjometry mają czystą oporność, praktycznie bez żadnej indukcyjności.

Wskazówka

W przypadku schematów ideowych strzałka czasami symbolizuje zmienność jakiegoś elementu. Jednakże nie jest to reguła! Symbole tranzystorów, diod i półprzewodników również zawierają strzałki, jednakże nie oznaczają one, że elementy te są nastawne.

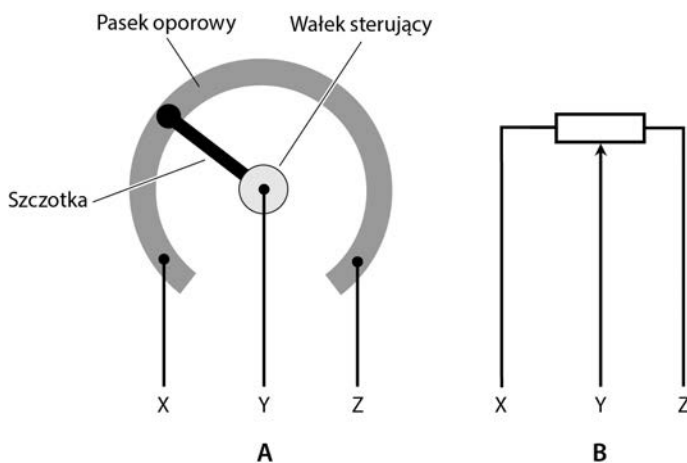
Na rysunku 3.6 przedstawiono budowę rezystora nastawnego zbudowanego na bazie drutu nawiniętego na korpus. Metalowy kołnierz przesuwający się wzdłuż rezystora można ustawić w różnych miejscach i uzyskać różne wartości oporu stawianego przez drut. Kołnierz



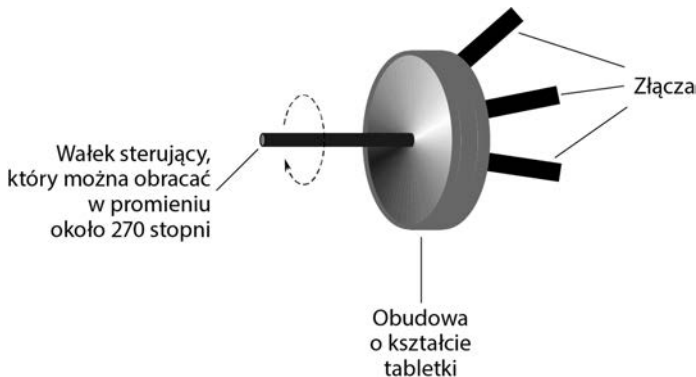
Rysunek 3.6. Budowa rezystora nastawnego zawierającego zwoje drutu oporowego

jest podłączony do giętkiego przewodnika, który jest zwarty z jednym ze złączy rezystora. Zmieniając położenie kołnierza, zmieniamy długość drutu oporowego, przez który przepływa prąd. Jeżeli prąd przepływa przez krótszy odcinek drutu, to wartość oporu elektrycznego stawianego przez element maleje.

Na rysunku 3.7 przedstawiono działanie potencjometru obrotowego (A) oraz jego symbol stosowany na schematach (B). Symbol posiada trzy niezależne złącza. Kiedy zmieniasz położenie pokrętki, zmienia się opór między stykiem środkowym a skrajnymi. Na rysunku 3.8 przedstawiono budowę typowego potencjometru.



Rysunek 3.7. Uproszczony schemat ilustrujący działanie potencjometru (A) oraz oznaczenie jego złączy na schemacie (B)



Rysunek 3.8. Schemat poglądowy pełnowymiarowego potencjometru, który może zostać zamontowany w przednim panelu urządzenia elektronicznego takiego jak np. odbiornik radiowy

Wskazówka

Możesz przekształcić pokazany na rysunku 3.6 drutowy rezystor nastawny na rezystor z trzema wyprowadzeniami. Wystarczy, że przewiesz połączenie między kołnierzem i lewą końcówką. Dzięki temu będziesz mógł zmieniać opór niezależnie między kołnierzem i dowolną końcówką. Na podobnej zasadzie możesz zmienić rezystor z trzema wyprowadzeniami na rezystor z dwoma poprzez zwarcie styku nastawnego z jedną z końcówek.

Schematyczny symbol rezystora nie mówi nam nic o wartości oporu, jakim się on charakteryzuje. Nie odczytamy z niego również mocy ani rodzaju rezystora. Obok symbolu można umieścić różne charakteryzujące go wielkości. Jednakże dane te zwykle umieszcza się w oddzielnej tabeli będącej listą elementów zastosowanych w układzie. Na schemacie — obok symbolu — umieszcza się odpowiednie oznaczenie alfanumeryczne, takie jak np. R1, R2, R3 itd.

Wskazówka

Wartość oporu rezystora charakteryzującego się stałą rezystancją można odczytać ze znajdujących się na nim kolorowych pasków. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w dodatku B.

Kondensatory

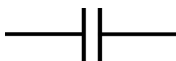
Kondensatory są elementami, które blokują prąd stały, a przepuszczają prąd przemienny. Służą one do przechowywania energii w postaci pola elektrycznego. Pojemność kondensatorów mierzymy w **faradach** (F). Farad jest bardzo dużą jednostką, w związku z czym większość spotykanych kondensatorów charakteryzuje się pojemnością mierzoną w małych ułamkach farada: **mikrofaradach** i **pikofaradach**. Korzystamy głównie z mikrofaradów (μF) będących milionową częścią farada (0,000 001 F), pikofaradów (pF) będących milionową częścią mikrofarada (0,000 001 μF) lub bilionową częścią farada (0,000 000 000 001 F).

Na rysunku 3.9 pokazano najpopularniejszy symbol kondensatora charakteryzującego się stałą pojemnością. Jego zaokrąglona strona powinna być połączona z masą lub z punktem w obwodzie, który jest bliżej masy. Czasami możesz spotkać również alternatywne symbole, takie jak pokazano na rysunku 3.10A lub B.

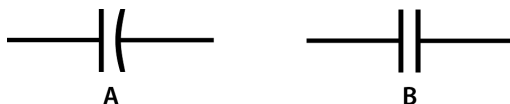
Istnieje wiele różnych typów kondensatorów. Niektóre z nich są **niespolaryzowane** — niezależnie od tego, jak wepniesz je w obwód, zawsze będą działały tak samo. Inne kondensatory są **spolaryzowane** — posiadają złącza dodatnie i ujemne. Musisz zachować ostrożność i podłączać je do układu zgodnie z zaznaczoną polaryzacją.

Wskazówka

Większość kondensatorów posiada tylko dwa złącza lub wyprowadzenia, jednakże czasem można natknąć się na egzemplarz posiadający trzy lub więcej. W przypadku takiego kondensatora powinieneś sprawdzić dokumentację techniczną, aby dowiedzieć się, jak podłączyć każdy z jego przewodów.



Rysunek 3.9. Standardowy symbol kondensatora charakteryzującego się stałą pojemnością



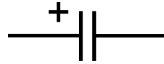
Rysunek 3.10. Alternatywne symbole kondensatorów charakteryzujących się stałą pojemnością; element oznaczony literą A jest kondensatorem spolaryzowanym; w elemencie B w charakterze izolatora zastosowano ciało stałe

Jeżeli symbol nie zawiera symboli polaryzacji, to oznacza on kondensator niespolaryzowany, który może mieć formę metalowych płytek oddzielonych ceramiką, mika, szkłem, papierem lub innym ciałem stałym będącym **dielektrykiem**. W niektórych kondensatorach rolę izolatora pełni powietrze lub próżnia. Dielektryk jest technicznym terminem określającym materiał będący izolatorem, który oddziela od siebie dwa główne elementy kondensatora. Typowy kondensator charakteryzujący się stałą pojemnością jest wykonany z dwóch małych płytek wykonanych z przewodnika, które są od siebie izolowane elektrycznie za pomocą warstwy dielektryka.

Na rysunku 3.11 przedstawiono symbol spolaryzowanego kondensatora elektrolitycznego. Symbol ten jest taki sam jak symbol kondensatora niespolaryzowanego, ale umieszczono po jego jednej stronie znak dodawania (+). Znak ten symbolizuje złącze, które należy podłączyć do dodatniej strony obwodu. Czasami kondensatory mogą być również oznaczone znakiem odejmowania (-) umieszczonym po drugiej stronie ich symbolu. Znak minusa może być dodatkowym oznaczeniem obok plusa lub go zastępować. Strona oznaczona minusem to wyprowadzenie ujemne, które powinno być podłączone do bardziej ujemnej części zewnętrznego obwodu.

Uważaj!

Nigdy nie podłączaj spolaryzowanego kondensatora na odwrót. Taka pomyłka może uszkodzić komponent. W skrajnych przypadkach kondensator może nawet gwałtownie wybuchnąć!



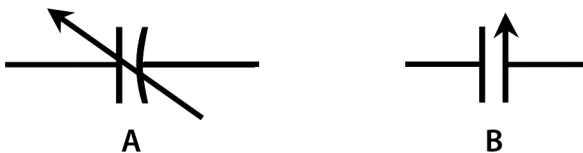
Rysunek 3.11. Symbol kondensatora spolaryzowanego; strona oznaczona znakiem dodawania (+) powinna być podłączona do miejsca w obwodzie, które charakteryzuje się bardziej dodatnią wartością napięcia niż miejsce, do którego zostanie podłączona druga strona kondensatora

Wszystkie omówione dotychczas kondensatory charakteryzują się stałą pojemnością. Nie możesz zmienić tej charakteryzującej je wartości, która jest określana w momencie produkcji. Jednakże istnieją specjalne kondensatory, które charakteryzują się tym, że można zmieniać ich pojemność. Są to tak zwane **kondensatory nastawne**. Wśród nich możemy wyróżnić wyspecjalizowane rodzaje, takie jak **kondensatory dostrojcze** i **kondensator wyrównawczy**.

Na rysunku 3.12 przedstawiono najczęściej spotykany symbol kondensatora nastawnego. Możliwość zmiany pojemności jest symbolizowana przez strzałkę biegnącą skośnie przez symbol kondensatora charakteryzującego się stałą pojemnością. Na rysunku 3.13A i B przedstawiono dwa alternatywne sposoby oznaczania tych komponentów. Wszystkie trzy symbole wskazują na to, że możesz dowolnie zmieniać pojemność kondensatora, bez względu na jego fizyczną budowę.



Rysunek 3.12. Standardowy symbol kondensatora nastawnego, bez rozróżnienia statora i rotora



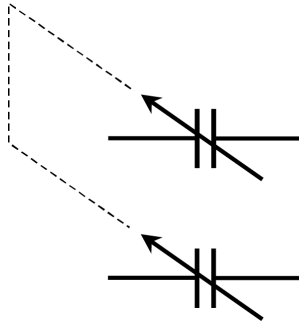
Rysunek 3.13. Alternatywne symbole kondensatorów nastawnych; na symbolu A łuk symbolizuje rotor, a linia prosta stator, zaś na symbolu B rotor jest oznaczony linią zakończoną strzałką

Powietrzny kondensator nastawny (w roli dielektryka zastosowano w nim powietrzne) występuje w sprzęcie radiowym (jako element dźwigni zespołu antenowego lub jako podzespół obwodu wyjściowego). Spotkać go można w wielu starych odbiornikach radiowych. Typowy powietrzny kondensator nastawny składa się z wielu płytek połączonych ze sobą elektrycznie w dwa zespoły. Płytki, które się obracają, tworzą **rotor**, a nieruchomy zestaw płytek tworzy **stator**. Wszystkie kondensatory nastawne są niespolaryzowane. Oznacza to, że prąd stały może wpływać do nich w dowolnym kierunku.

Wskazówka

W większości powietrznych kondensatorów nastawnych rotor powinien być podłączany do uziemienia niezależnie od polaryzacji przyłożonego zewnętrznego napięcia stałego. Rotor jest fizycznie połączony z wałkiem, którym obracasz. Uziemiając wałek z rotorem, minimalizujemy efekt **zewnętrznej pojemności**. Dzięki temu zabiegowi **pojemność ludzkiego ciała** nie zaburzy funkcjonowania urządzenia. Ponadto takie rozwiązanie chroni użytkownika przed porażeniem prądem, gdy ten, chcąc dostosować wartość pojemności, dotknie wałka bez dodanego na jego końcu izolowanego pokrętkła!

Czasami wiele oddzielnych kondensatorów nastawnych jest połączonych lub **zespoleonych** w obwodzie. Zespoleone podzespoły są stosowane do sterowania przynajmniej dwoma obwodami elektronicznymi jednocześnie. Pomimo że rotory są od siebie fizycznie oddzielone, mają wspólny wałek. Na rysunku 3.14 pokazano symbol dwóch kondensatorów nastawnych zespoleonych ze sobą. Wartości minimalnej i maksymalnej pojemności wszystkich elementów mogą, ale nie muszą być identyczne. Jednakże pojemności podzespołów będą modyfikowane jednocześnie. Gdy pojemność jednego kondensatora będzie zwiększana, zwiększana również będzie pojemność pozostałych.



Rysunek 3.14. Symbol dwóch zespolonych kondensatorów nastawnych

Wskazówka

Symbol kondensatora zastosowany na schemacie służy tylko do jego identyfikacji oraz określenia, czy jego pojemność jest stała, czy można ją zmienić. Symbol określa również polaryzację kondensatora. Wartości dotyczące danego elementu mogą być podane obok jego symbolu. Jednakże dane te zwykle umieszcza się w oddzielnej tabeli będącej listą elementów zastosowanych w układzie. Na schemacie — obok symbolu — umieszcza się odpowiednie oznaczenie alfanumeryczne, takie jak np. C1, C2, C3 itd.

Cewki i transformatory

Podstawowa **cewka** składa się z drutu nawiniętego na karkas w celu dodania do obwodu **indukcyjności**. Indukcyjność jest siłą, która przeciwdziała zmianom w prądach płynących w obwodzie. W przypadku prądu stałego cewka magazynuje energię elektryczną, ale nie zapewnia żadnego oporu dla samego prądu. Cewki mogą różnić się wielkością (od rozmiarów mikroskopijnych do gigantycznych), która zależy od wartości indukcyjności danego elementu, a także natężenia prądu, jaki może przez niego płynąć.

Jednostką pomiaru indukcyjności jest **henr** (H). Najczęściej stosuje się elementy, których indukcyjność mierzy się w **milihenrach** (mH) — $1 \text{ mH} = 0,001 \text{ H}$ — lub **mikrohenrach** (μH) — $1 \mu\text{H} = 0,001 \text{ mH} =$

0,000 001 H. Czasami napotkasz indukcyjność wyrażoną w **nanohenrach** (nH) — $1 \text{ nH} = 0,001 \text{ } \mu\text{H} = 0,000 \text{ } 000 \text{ } 001 \text{ H.}$ [AMI]

Na rysunku 3.15 pokazano podstawowy symbol **cewki powietrznej**. Złącza elementu są symbolizowane przez poziome linie połączone ze zwojami. Cewka powietrzna nie jest nawinięta na żadnym przedmiocie, który może wpływać na jej indukcyjność. Niektóre cewki powietrzne są wykonane z twardego drutu, który nie potrzebuje żadnego dodatkowego wzmocnienia. Pozostałe cewki są nawinięte na wzorniku wykonanym z plastiku lub ceramiki). Karkas cewki służy wtedy tylko i wyłącznie do wzmocnienia jej konstrukcji i utrzymania odpowiedniego kształtu, jednocześnie nie wpływając na wzrost indukcyjności.



Rysunek 3.15. Standardowy symbol cewki powietrznej lub induktora o rdzeniu powietrznym

Czy wiesz, że...?

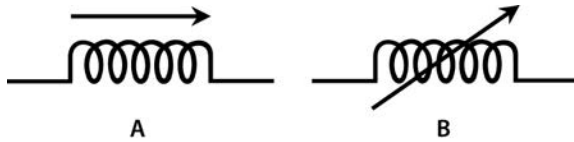
W niektórych starych odbiornikach radiowych stosowano cewki powietrzne nawinięte na małe papierowe cylindry pokryte woskiem, które swym wyglądem przypominały małe słomki. Niektórzy hobbysty nawijają cewki powietrzne na woskowane drewniane kołki! Żaden z tych materiałów nie powoduje znacznego wzrostu indukcyjności.

Na rysunku 3.16 pokazano symbol cewki powietrznej z dwoma odczepami. Omawiane wcześniej cewki posiadały dwa złącza lub przewody (po jednym na każdym z końców), jednakże cewki mogą posiadać trzy lub więcej odczepów. Elementy te posiadają dodatkowe kable podłączone do środkowej części zwojów. Maksymalną indukcyjność można uzyskać, podłączając cewkę do obwodu za pomocą skrajnych złączy. Dodatkowe odczepy pozwalają na uzyskanie niższej indukcyjności.



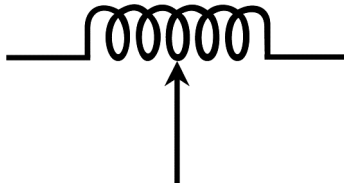
Rysunek 3.16. Symbol cewki powietrznej z dwoma odczepami

Cewki można również wyposażyć w ruchomy styk, który może być przesuwany wzdłuż uzwojenia. Suwak jest podłączony bezpośrednio do jednego z końców i pozwala na skracanie przewodu, a w efekcie na zmianę indukcyjności w sposób ciągły (w rzeczywistości, gdy przesuwasz styk, indukcyjność zmienia się skokowo, skoki są jednak bardzo małe). Cewka, której indukcyjność można zmieniać, jest prezentowana za pomocą symboli przedstawionych na rysunku 3.17A lub B.



Rysunek 3.17. Symbole cewek powietrznych o zmiennej indukcyjności. Na rysunku A strzałka została umieszczona nad symbolem cewki, a na rysunku B umieszczono ją skośnie na symbolu

W sprzęcie przeznaczonym do zadań związanych z falami radiowymi, które wymagają dużej mocy, stosuje się rozwiązanie alternatywne do metody zmiany indukcyjności poprzez ruchomy styk lub odczep. Cewka z litego, nagiego drutu jest nawinięta na ceramiczny cylinder (z otworem w środku), a wałek jest podłączony do dysku (lub zestawu dysków), które znajdują się w środku cylindra, abyś mógł równocześnie obracać cewką i cylindrem. Gdy cewka się obraca, wzdłuż niej porusza się mały styk w kształcie koła, co pozwala na płynną i ciągłą zmianę indukcyjności między „kółkiem” a jednym z końców. Taki element nazywany jest **cewką dostrojczą**. Często stosowany jest w tunerach antenowych i dopasownikach. Na rysunku 3.18 przedstawiono symbol cewki dostrojczej.

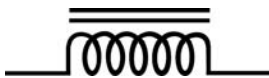


Rysunek 3.18. Symbol cewki dostrojczej z trzema wyprowadzeniami

Wskazówka

Symbol cewki dostrojczej może również reprezentować cewkę o zmiennej indukcyjności z ruchomym stykiem, który nie jest podłączony do żadnego z końców cewki.

Cewka zaprojektowana do pracy z prądem zmiennym, na przykład **dławik** 60 Hz stosowany w filtrach zasilaczy zwykle zawiera jeden zwój nawinięty na okrągły żelazny wzornik. Rdzeń wykonany z **materiału ferromagnetycznego** zastosowano zamiast omówionego pustego rdzenia powietrznego. Materiał ferromagnetyczny znacznie zwiększa **indukcję magnetyczną** wewnątrz zwojów cewki, co powoduje wzrost indukcji kilkaset razy (a czasami nawet kilka tysięcy razy) w stosunku do indukcji cewki powietrznej o tych samych wymiarach. Na rysunku 3.19 znajduje się symbol cewki o stałej indukcyjności o rdzeniu wykonanym z litego lub laminowanego żelaza. Symbol ten powstał w wyniku dodania dwóch równoległych linii do omówionego wcześniej podstawowego symbolu cewki. Czasami cewkę o rdzeniu wykonanym z żelaza przedstawia się za pomocą symbolu widocznego na rysunku 3.20 — linie umieszczono wewnątrz symbolu zwojów.



Rysunek 3.19. Symbol cewki o rdzeniu wykonanym z żelaza



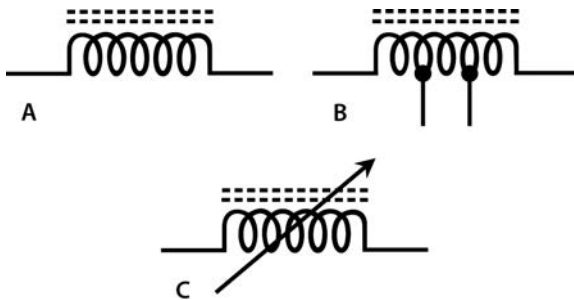
Rysunek 3.20. Alternatywny symbol cewki o rdzeniu wykonanym z żelaza

Czasami cewki z rdzeniem wykonanym z żelaza zawierają odczepy pozwalające na uzyskanie indukcyjności o innych wartościach. Od czasu do czasu spotkasz cewki o rdzeniu wykonanym z żelaza, których wartość może zmieniać się w sposób ciągły poprzez wkładanie rdzenia do cewki i wyciąganie go. Symbole takich elementów pokazano na rysunku 3.21A i B.



Rysunek 3.21. Symbole cewek o rdzeniu wykonanym z żelaza, które posiadają odczepy (A) lub są regulowane (B)

Przy wysokich częstotliwościach rdzenie wykonane z bryły żelaza lub z laminowanego żelaza nie są wystarczająco wydajne do pracy w cewkach indukcyjnych. Inżynierowie powiedzieliby, że charakteryzują się zbyt dużymi **stratami**. Przy częstotliwościach przekraczających kilka kiloherców (kHz) do zwiększenia indukcyjności ponad wartość generowaną przez cewkę wyposażoną w rdzeń wykonany z materiału **nieferromagnetycznego** (takiego jak powietrze, plastik, ceramika czy drewno) niezbędne staje się zastosowanie specjalnego rdzenia. Zwykle rdzenie takie wykonuje się z materiału żelaznego rozbitego na małe kawałki, które pokryte są klejącą warstwą izolującą. Materiał po rozdrobieniu i zaizolowaniu jest ściskany tak, aby tworzył jednolity element — **rdzeń ze sproszkowanego żelaza**. Na rysunku 3.22 przedstawiono symbole cewek wyposażonych w tego typu rdzeń.

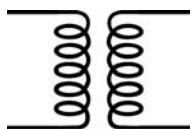


Rysunek 3.22. Symbole cewek z rdzeniem ze sproszkowanego żelaza o stałej wartości indukcyjności (A), z dodatkowymi odczepami (B) oraz o regulowanej wartości indukcyjności (C)

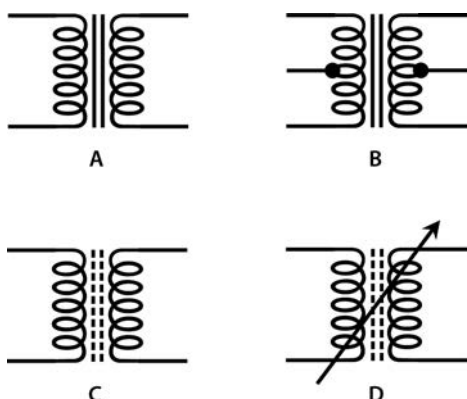
Wskazówka

Symbole cewek wyposażonych w rdzeń ze sproszkowanego żelaza są niemalże identyczne jak symbole cewek wyposażonych w rdzeń monolityczny lub laminowany. Dodatkowe linie zastosowane w symbolach są przerywane. Cewki tego typu mogą być wyposażone w dodatkowe odczepy lub mogą mieć konstrukcję pozwalającą na płynną regulację indukcji.

Transformator składa się z kilku cewek nawiniętych na różne rdzenie lub nawiniętych na różne obszary tego samego rdzenia. Na rysunku 3.23 przedstawiono symbol transformatora o rdzeniu powietrznym. Symbol ten składa się z dwóch przeciwstawionych sobie cewek o rdzeniu powietrznym. Na rysunku 3.24. przedstawiono symbole transformatorów o rdzeniach wykonanych z żelaza. Transformatory A i B mają lite lub laminowane rdzenie, a C i D sproszkowane.



Rysunek 3.23. Symbol transformatora o rdzeniu powietrznym



Rysunek 3.24.

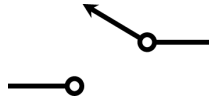
A — transformator o litym lub laminowanym rdzeniu żelaznym;
 B — transformator o litym lub laminowanym rdzeniu żelaznym, który posiada dodatkowe odczepy;
 C — transformator o rdzeniu ze sproszkowanego żelaza;
 D — transformator regulowany o rdzeniu ze sproszkowanego żelaza

W transformatorze napięcie wyjściowe może być równe napięciu wejściowemu, ale często jego wartość jest różna. W **transformatorze pod-**

wyższającym napięcie wyjściowe jest wyższe niż wejściowe. W **transformatorze obniżającym** napięcie wyjściowe jest niższe niż wejściowe. Symbole transformatorów tego typu znajdziesz w dodatku A.

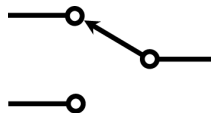
Przełącznik i przekaźniki

Przełącznik jest elementem, za pomocą którego możesz połączyć lub przerwać jedną lub więcej ścieżek przepływu prądu. Na rysunku 3.25 przedstawiono symbol przełącznika SPST (z ang. *single-pole single-throw* — pojedynczy przełącznik jednopozycyjny). Komponent ten może zerwać obwód w jednym punkcie lub wykonać w nim przerwę. Jest to zwyczajny przełącznik działający na zasadzie włącz-wyłącz.



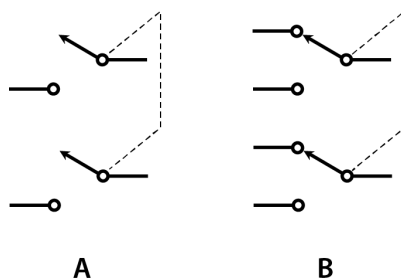
Rysunek 3.25. Symbol przełącznika SPST

Na rysunku 3.26 przedstawiono przełącznik SPDT (z ang. *single-pole dual-throw* — pojedynczy przełącznik dwupozycyjny). Złącze wejściowe przełącznika jest symbolizowane przez styk znajdujący się u podstawy strzałki, a złącza wyjściowe są symbolizowane przez styki, na które może wskazywać strzałka. Przełącznik ten służy do wyboru jednego z dwóch obwodów wyjściowych (górnego lub dolnego), ale nie do obu jednocześnie.



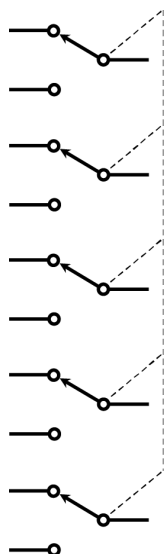
Rysunek 3.26. Symbol przełącznika SPDT

Niektóre przełączniki posiadają więcej złączy wejściowych. Na rysunku 3.27 (część A) pokazano symbol przełącznika DPST (z ang. *dual-pole single-throw* — podwójny przełącznik jednopozycyjny), a na części B tego samego rysunku pokazano symbol przełącznika DPDT (z ang. *dual-pole dual-throw* — podwójny przełącznik dwupozycyjny).



Rysunek 3.27. A — symbol przełącznika DPST; B — symbol przełącznika DPDT

Niektóre przełączniki składają się z jeszcze większej ilości podzespołów. Element pokazany na rysunku 3.28 posiada pięć złączy wejściowych. Każde z nich może być podłączone do jednego z dwóch złączy wyjściowych. Taki przełącznik można określić mianem „pięciokrotnego przełącznika dwupozycyjnego” (5PDT).

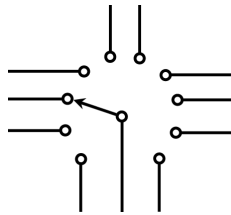


Rysunek 3.28. Symbol 5PDT (pięciokrotnego dwupozycyjnego)

Uwaga!

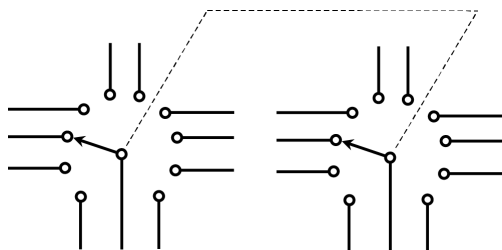
W przypadku wszystkich przełączników pokazanych na rysunkach 3.27 i 3.28 musisz przełączać wszystkie złącza wejściowe w jednym momencie. Innymi słowy, nie możesz zmienić położenia jednego złącza bez zmiany pozostałych.

Przełącznik 5PDT można określić mianem **przełącznika wielostykowego**. Do kategorii tej można zaliczyć większość przełączników posiadających przynajmniej dwa złącza wyjściowe. Na przykład przełącznik obrotowy może mieć jedno złącze wejściowe i dziesięć pozycji złącza wyjściowego. Przykład takiego podzespołu pokazano na rysunku 3.29. Technicznie rzecz biorąc, jest to pojedynczy przełącznik dziesięciopozycyjny (SP10T)!



Rysunek 3.29. Symbol przełącznika obrotowego — pojedynczego przełącznika dziesięciopozycyjnego (SP10T)

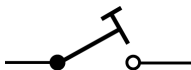
Czasami można się spotkać z zespolonymi przełącznikami obrotowymi. Wcześniej omówiono zespolone potencjometry. Teraz mamy do czynienia z podobnym zabiegiem — przełączniki są ze sobą połączone tak, aby były przełączane jednocześnie. Na rysunku 3.30 pokazano symbol zespołu dwóch przełączników obrotowych. Przerzywana linia informuje odbiorcę o tym, że przełączniki naśladują swoje działania. Natomiast linie ze strzałkami wskazują na położenie złączy wyjściowych, które są ze sobą zsynchronizowane. Jeżeli przełącznik z lewej strony jest ustawiony tak, aby kierował sygnał na złącze wyjściowe o numerze trzy, to przełącznik znajdujący się z prawej strony również będzie kierował sygnał do swojego trzeciego wyjścia.



Rysunek 3.30. Symbol dwóch zespolonych ze sobą przełączników obrotowych; przedstawiony komponent posiada dwa wejścia i dziesięć wyjść (jest to przełącznik typu 2P10T)

Czy wiesz, że...?

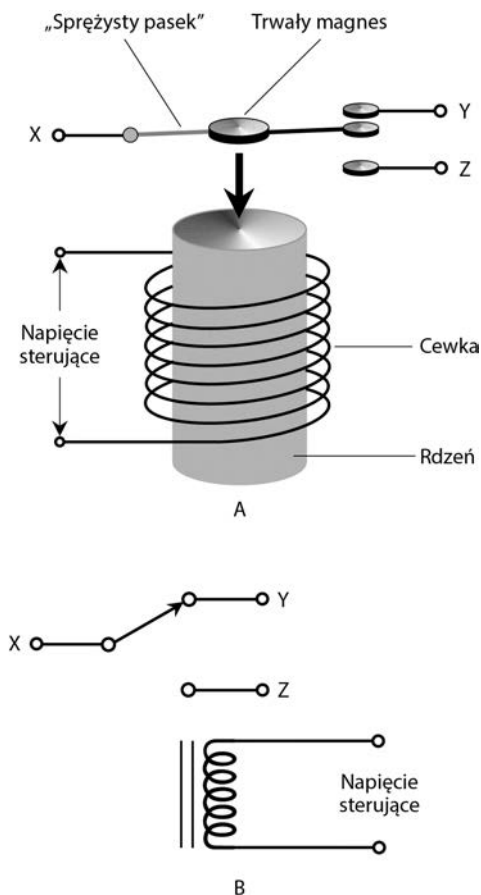
Niektórzy wyposażają swoje amatorskie radia w specjalny przełącznik nazywany **kluczem kodu Morse'a**. To niezbyt dziś popularne urządzenie, zwane również **kluczem ręcznym**, zwierra lub przerywa obwód w celu ręcznego kodowania znaków przez radiooperatora. Jest to przełącznik typu SPST wyposażony w dźwignię, która gdy operator ją puści, jest odbijana przez sprężynę do pozycji rozwierającej obwód. Na rysunku 3.31 przedstawiono symbol tego elementu.



Rysunek 3.31. Symbol ręcznego klucza służącego do nadawania kodu Morse'a

Nie zawsze możesz umieścić przełącznik blisko obwodu lub systemu, którym ma sterować. Wyobraź sobie, że chcesz przełączać radioodbiornik/radionadajnik (lub **aparaturę nadawczo-odbiorczą**) między dwiema różnymi antenami z miejsca oddalonego od nich o 50 metrów. Anteny odbierają sygnał za pomocą kabli koncentrycznych przewodzących prąd fal radiowych, który musi być zamknięty w przewodach, jeśli chcesz, żeby system działał poprawnie. Gdy punkt **rozgałęzienia kabla** leży daleko od miejsca, gdzie chcesz umieścić przełącznik, możesz w zamian zastosować **przełącznik**, który dzięki **elektromagnesowi** umożliwia zdalne przełączanie. Przełącznik musisz zamontować na rozgałęzieniu kabla. Elektromagnes przełącznika możesz połączyć z przełącznikiem za pomocą kabla przewodzącego prąd stały.

Na rysunku 3.32A przedstawiono funkcjonalny schemat przekaźnika, a rysunek 3.32B pokazuje jego symbol. „Sprężysty pasek” przytrzymuje ruchomą dźwignię, nazywaną **twornikiem**, po jednej stronie (twornik w tym przypadku będzie całkowicie podniesiony do góry), gdy przez cewkę elektromagnetyczną nie przepływa prąd. W tych warunkach wyprowadzenie X łączy się z wyprowadzeniem Y, ale nie z Z. Gdy przez cewkę przepływa wystarczający prąd stały, twornik przechodzi na drugą stronę (czyli całkowicie w dół w tym przypadku) i łączy wyprowadzenie X z Z zamiast z Y.



Rysunek 3.32. A — schemat funkcjonalny przekaźnika SPDT, B — symbol tego przekaźnika

Przełącznik normalnie zamknięty zwiera obwód, gdy przez cewkę elektromagnesu nie przepływa prąd, a przerywa go, gdy prąd płynie. („Normalny” w tym przypadku znaczy „brak prądu w cewce”). Natomiast **przełącznik normalnie otwarty** zwiera obwód, gdy przez cewkę elektromagnesu przepływa prąd, a przerywa go, gdy prąd nie płynie. Przełącznik pokazany na rysunku 3.32 może działać jako normalnie otwarty lub normalnie zamknięty, w zależności od tego, które styki wybierzesz. To urządzenie może również przełączać pojedynczą linię między dwoma różnymi obwodami.

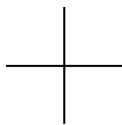
Wariacje na temat

Rysunek 3.32 pokazuje przełącznik z przełącznikiem w postaci dźwigni SPDT. Prostsze przełączniki mają dźwignie SPST, a te bardziej skomplikowane są wyposażone w zestawy dźwigni z wieloma złączami wejściowymi i jednym lub dwoma złączami wyjściowymi.

Przewody i kable

Na schematach linia prosta powszechnie symbolizuje przewód. Większość obwodów zawiera wiele elementów przewodzących. Rysując schemat skomplikowanego obwodu, zrozumiesz, że krzyżowanie się kabli jest czymś, czego nie sposób uniknąć (niezależnie od tego, czy krzyżujące się przewody są ze sobą połączone).

Na rysunku 3.33 pokazano dwa przewody, które musiały krzyżować się na schemacie, jednakże nie istnieje pomiędzy nimi połączenie w rzeczywistym obwodzie. Budując układ przedstawiony na schemacie, nie będziesz musiał krzyżować przewodów blisko miejsca oznaczonego na schemacie. Linie muszą krzyżować się na schemacie, aby przedstawić kable łączące różne punkty układu w czytelny sposób.

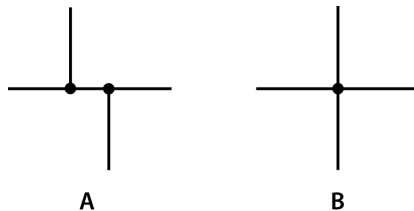


Rysunek 3.33. Symbol krzyżujących się przewodów, pomiędzy którymi nie wykonano połączenia galwanicznego

Aha!

W rzeczywistości obwody są elementami trójwymiarowymi, jednakże ich schematy muszą być wykonane na płaszczyźnie dwuwymiarowej. Aby podołać temu wymogowi, osoba tworząca schematy musi stosować się do pewnych zasad, które pozwolą na właściwą interpretację schematu przez czytelnika. Pewnego dnia techniczne instrukcje obsługi w formie cyfrowej będą hologramami 3D, które będziesz mógł obejść i obejrzeć z każdej strony (może nawet będziesz mógł przechodzić przez niektóre symbole jak duch). Jednak na razie pozostaje to w strefie marzeń.

Na rysunku 3.34 pokazano dwa sposoby symbolicznego oznaczania punktów, w których krzyżujące się kable **powinny być** połączone elektrycznie. Na rysunku A jeden z przewodników został „podzielony na dwie części”, a więc wydaje się, że połączenie przewodów wykonano w dwóch różnych miejscach. Taki zabieg wyraża dość jasno to, że dwa przewody (pionowy został podzielony na dwie części, a poziomy pozostał nienaruszony) są ze sobą połączone elektrycznie. Połączenie to jest symbolizowane za pomocą czarnych kropek. Na rysunku B przedstawiono przewody przecinające się pod kątem prostym, a pojedyncza kropka symbolizuje punkt, w którym są połączone. Metoda przedstawiona na rysunku B może wydawać się lepsza, jednakże sprawia ona, że schemat jest mniej czytelny. Czytelnik może przeoczyć czarną kropkę i pomyśleć, że przewody nie powinny być połączone. Metoda zastosowana w przykładzie A sprawia, że do takiego przeoczenia nie dojdzie.

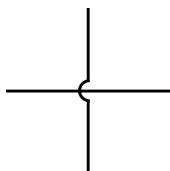


Rysunek 3.34. A — preferowany symbol dwóch przewodów połączonych elektrycznie; B — alternatywny symbol takiego samego połączenia

Ojej!

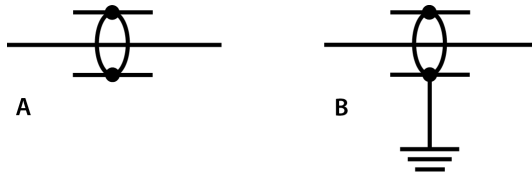
Niektórzy czytelnicy mogą przeoczyć kropkę na symbolu B przedstawionym na rysunku 3.34, a inni mogą omyłkowo dostrzec kropkę na rysunku 3.33 (gdzie tak naprawdę jej nie ma)! Tak więc konstruktor może zewrzeć ze sobą kable, które nie powinny być ze sobą łączone. Rysując schemat, unikaj takich dwuznaczności.

Na niektórych starszych schematach oznaczano krzyżujące się przewody tak jak na rysunku 3.35. W rzeczywistości te przewody nie są ze sobą połączone. Jedna z linii ma łuk, który sprawia wrażenie, że „przeskakuje” nad drugą. Taka symbolika (która moim zdaniem nigdy nie powinna wyjść z użycia) sprawiała, że osoba czytająca schemat nigdy nie miała wątpliwości, czy dane przewody są ze sobą połączone elektrycznie, czy też nie.



Rysunek 3.35. Stosowany kiedyś (wyraźny) symbol przewodów, które krzyżowały się na schemacie, ale w rzeczywistości nie były ze sobą połączone elektrycznie

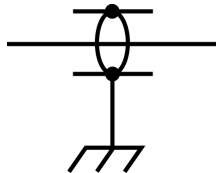
Kabel składa się z dwóch lub więcej przewodników otoczonych wspólnym izolującym kołnierzem. Zwykle kable nieekranowane nie są oznaczane w jakiś specjalny sposób na schematach ideowych — przedstawia się je, umieszczając obok siebie kilka równoległych linii symbolizujących przewody. Zaznaczając na schemacie kable ekranowane, należy zastosować dodatkowe symbole. Na rysunkach 3.36A i B przedstawiono przykłady oznaczeń kabli ekranowanych, które są często stosowane do przedstawienia **kabli koncentrycznych**. Kable koncentryczne składają się z umieszczonej w ich środku **żyły**, która jest otoczona cylindrycznym **ekranem** wykonanym z materiału będącego przewodnikiem. Na rysunku 3.36A ekran nie łączy się z niczym konkretnym, ale na rysunku 3.36B ekran łączy się z uziemieniem. Warstwa izolująca, nazywana **dielektrykiem**, oddziela środkową żyłę od ekranu. W większości kabli koncentrycznych jest to polietylen, który może być spieniony lub posiadać formę ciała stałego.



Rysunek 3.36. A — symbol kabla koncentrycznego o niezziemionym ekranie; B — symbol kabla koncentrycznego, którego ekran należy uzemieć

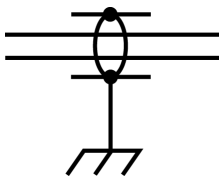
Wskazówka

Na rysunku 3.37 znajduje się symbol kabla koncentrycznego, którego ekran jest połączony z **podstawą montażową** (metalową płytą pełniącą funkcję podstawy układu). Podstawa montażowa może być połączona z uzziemieniem, jednakże nie jest to reguła. Np. w samochodzie nie ma uzziemienia, a więc obudowa (podstawa montażowa) CB radia będzie połączona z ramą pojazdu, która w tym wypadku jest jego najlepszą możliwą formą.



Rysunek 3.37. Symbol kabla koncentrycznego, którego ekran jest połączony z podstawą montażową

W niektórych kablach pojedynczy ekran otacza kilka przewodów. Na rysunku 3.38 pokazano symbol dwużyłowego kabla ekranowanego, gdzie ekran połączony jest z masą. Symbol ten przypomina symbol kabla koncentrycznego, jednakże dodano w nim dodatkową linię symbolizującą drugi przewód. Im więcej żył biegnie w danym kablu, tym więcej równoległych linii będzie przebiegać przez elipsę znajdującą się w środkowej części omawianego symbolu. Na przykład, gdyby kabel z rysunku 3.38 miałby pięć żył przewodu, to przez elipsę przebiegałoby pięć poziomych linii.



Rysunek 3.38. Symbol dwużyłowego kabla ekranowanego, którego ekran połączony jest z podstawą montażową

Diody i tranzystory

Na rysunku 3.39 przedstawiono podstawowy symbol **diody półprzewodnikowej**. W symbolu tym strzałka i linia pionowa symbolizują wewnętrzne elementy diody, a linie poziome, po lewej i po prawej stronie, symbolizują jej złącza. Strzałka symbolizuje **anodę**, a krótka prosta pionowa linia, do której dotyka grot strzałki, symbolizuje **katodę**.



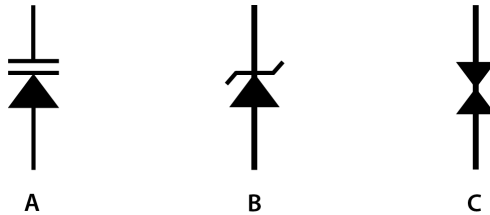
Rysunek 3.39. Symbol diody ogólnego stosowania

Dioda idealna przewodzi elektrony, gdy te poruszają się w kierunku przeciwnym do zwrotu strzałki — wtedy gdy do anody dochodzi prąd o napięciu dodatnim w stosunku do potencjału anody. Inżynierowie nazywają to zjawisko **polaryzacją przewodzenia**. Idealna dioda nie przewodzi, gdy katoda ma dodatnie napięcie w stosunku do anody. Z kolei taki stan przez inżynierów jest nazywany **zaporowym**. Ale oczywiście nic nie jest idealne w tym niedoskonałym wszechświecie.

O!

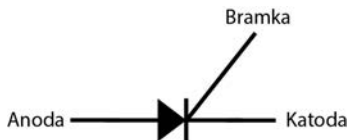
W rzeczywistości, aby przez diodę półprzewodnikową zaczął płynąć prąd, musisz przyłożyć pewne napięcie, nazywane **napięciem przebicia**. Również jeśli polaryzacja w kierunku zaporowym osiągnie zbyt dużą wartość i przekroczy tak zwane **przebiecie lawinowe**, komponent będzie przewodził jak ten z polaryzacją w kierunku przewodzenia. Dokładne wartości napięcia przebicia i przebiecia lawinowego nie są takie same dla wszystkich diod. Napięcie przebicia waha się zazwyczaj od 0,3 V do 1,5 V, a przebiecie lawinowe ma wartość z zakresu od kilku woltów do kilku tysięcy woltów.

Na rysunku 3.40 zaprezentowano symbole trzech wyspecjalizowanych diod: **diody pojemnościowej** (A) — może ona pod wpływem prądu stałego o regulowanym napięciu pełnić funkcję kondensatora o zmiennej pojemności; **diody Zenera** (B) — może ona pełnić rolę regulatora napięcia w układach zasilających; **diody Gunna** (C) — może ona działać w charakterze generatora drgań lub wzmacniacza w układach charakteryzujących się częstotliwościami znajdującymi się w paśmie mikrofalowym.



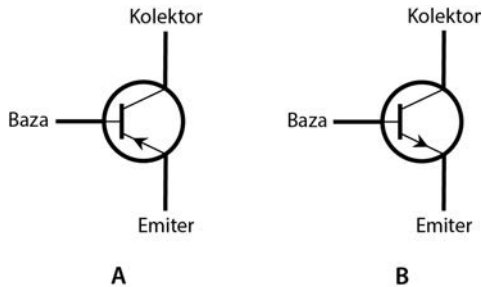
Rysunek 3.40. Symbol diody pojemnościowej (A), diody Zenera (B) i diody Gunna (C)

Tyrystor jest diodą półprzewodnikową wyposażoną w dodatkowy element i odpowiadające mu złącze. Symbol tego komponentu znajduje się na rysunku 3.41. Tyrystor jest zwykle (ale nie zawsze) oznaczany za pomocą symbolu diody (czasami umieszczonej w okręgu), do której dołączono dodatkowy element sterujący zwany **bramką** (ukośna linia biegnąca od grotu strzałki). We wszystkich symbolach przewód znajdujący się u podstawy grotu strzałki jest **anodą** danego komponentu, a przewód podłączony do prostej pionowej linii (znajdującej się na końcu grotu strzałki) jest **katodą**.



Rysunek 3.41. Symbol tyrystora

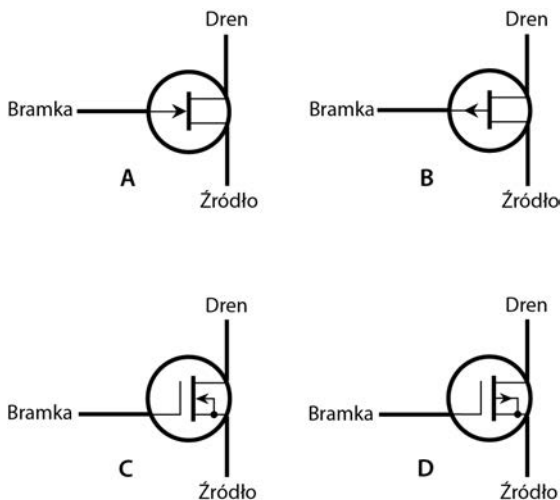
Na rysunku 3.42 pokazano symbol **tranzystora bipolarnego**. Po lewej stronie znajduje się tranzystor typu *npn*, a po prawej *npn*. Strzałka w symbolu tranzystora typu *npn* jest zwrócona w kierunku prostej linii symbolizującej bazę (elektrodę). Strzałka w symbolu tranzystora typu *npn*



Rysunek 3.42. Symbol tranzystora bipolarnego typu pnp (A) i symbol tranzystora bipolarnego typu npn (B)

jest zwrócona w kierunku przeciwnym do bazy. Czasami w symbolach oznaczających tranzystory bipolarnie pomija się okrąg otaczający bazę, emiter i kolektor.

Poza tranzystorami bipolarnymi istnieje również wiele innych typów tranzystorów. Na rysunku 3.43 pokazano symbole czterech wymienionych niżej rodzajów tranzystorów:



Rysunek 3.43. Symbol tranzystora polowego złączowego (JFET) z kanałem typu n (A), symbol tranzystora polowego złączowego (JFET) z kanałem typu p (B), symbol tranzystora polowego typu metal-tlenek-półprzewodnik (MOSFET) z kanałem typu n (rysunek C); symbol tranzystora polowego typu metal-tlenek-półprzewodnik (MOSFET) z kanałem typu p (rysunek D)

- tranzystor polowy złączowy (JFET) z kanałem typu n (symbol A);
- tranzystor polowy złączowy (JFET) z kanałem typu p (symbol B);
- tranzystor polowy typu metal-tlenek-półprzewodnik (MOSFET) z kanałem typu n (rysunek C);
- tranzystor polowy typu metal-tlenek-półprzewodnik (MOSFET) z kanałem typu p (rysunek D);

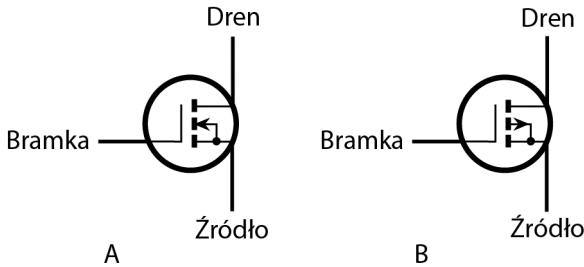
„Wąż ogrodowy” z prądem

W tranzystorze polowym ścieżka, którą prąd płynie bezpośrednio od źródła do drenu, to **kanał**. Możemy go przyrównać do węża ogrodowego, który możesz ścisnąć do pewnego stopnia przez nadeńpięcie na niego. Siła nacisku „Twojej stopy na wąż” zależy od napięcia przebiecia przyłożonego między bramką a źródłem.

Wskazówka

Tranzystory bipolarne i polowe mogą być wykonane z różnych materiałów będących półprzewodnikami lub mieszkankami typu metal-tlenek. Symbol tranzystora nie informuje osoby czytającej schemat o tym, z jakiego materiału został wykonany dany komponent. Oznaczenie na schemacie ma informować tylko o funkcjonalności danego elementu.

Tranzystor z kanałem zubożanym ma otwarty (przewodzący) kanał, gdy między źródłem a bramką nie zostało przyłożone napięcie przebiecia. Po jego przyłożeniu kanał się zwęzi, a w końcu się całkowicie zamknie po przekroczeniu **natężenia progowego**. Czasami w obwodach elektrycznych spotkasz się z innym rodzajem tranzystora MOFSET — **tranzystorem z kanałem wzbogacanym**. Jego kanał jest normalnie zamknięty, dopóki nie przyłożysz napięcia przebiecia między źródłem i bramką. Wtedy kanał otwiera się szerzej wraz ze wzrostem wartości napięcia przebiecia. Na rysunku 3.44A pokazano symbol tranzystora MOFSET ze wzbogacanym kanałem typu n , na rysunku 3.44B widać symbol tranzystora MOFSET ze wzbogacanym kanałem typu p .



Rysunek 3.44. A — tranzystor MOFSET ze wzbożaczonym kanałem typu n , B — tranzystora MOFSET ze wzbożaczonym kanałem typu p

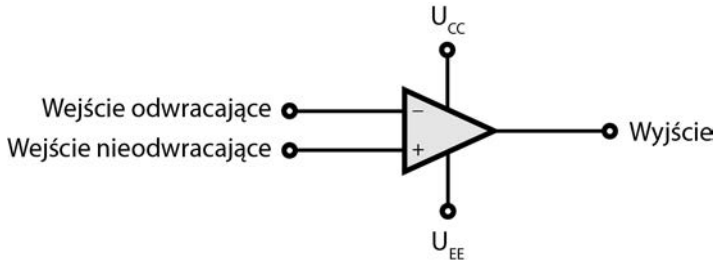
Wzmacniacze operacyjne

Wzmacniacz operacyjny to wyspecjalizowany układ scalony złożony z połączonych ze sobą tranzystorów bipolarnych, oporników, diod i/lub kondensatorów, który ma za zadanie wytwarzać lub zmieniać sygnał. (Poza wzmacniaczami operacyjnymi istnieje niezliczona ilość typów układów scalonych. Na rysunku 3.45 pokazano ogólny symbol układu scalonego). Czasami w jednym układzie scalonym może znajdować się jeden lub więcej wzmacniaczy operacyjnych, i tak na przykład spotykamy **podwójne** lub **poczwórne wzmacniacze operacyjne**.



Rysunek 3.45. Ogólny symbol układu scalonego

Rysunek 3.46 przedstawia symbol wzmacniacza operacyjnego. Urządzenie to ma dwa wejścia: **nieodwracające**, oznaczone znakiem plusa (+), oraz **odwracające**, oznaczone znakiem minusa (-). Kiedy sygnał wchodzi do wejścia nieodwracającego, to fala wyjściowa ma **zgodną fazę** (ułożona „prawidłową stroną do góry”) z falą wejściową. Gdy sygnał wchodzi



Rysunek 3.46. Symbol wzmacniacza operacyjnego

do wejścia odwracającego, to fala wyjściowa ma **przeciwną fazę** (ułożona „do góry nogami”) z falą wejściową. Urządzenie ma dwa złącza zasilania, jedno dla emiterów wbudowanych tranzystorów bipolarnych (U_{EE}), a drugie dla kolektorów (U_{CC}).

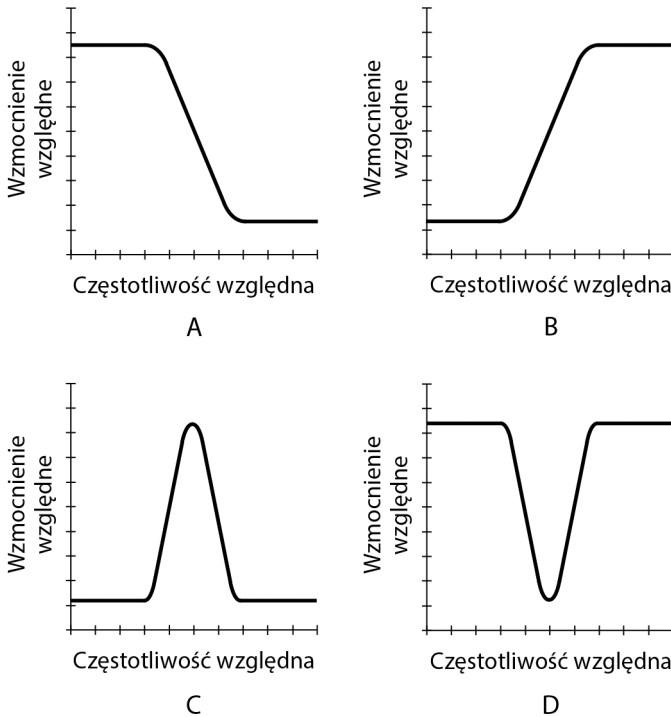
Między wyjściem a wejściem odwracającym możesz umieścić opornik, co spowoduje **ujemne sprzężenie zwrotne** zmniejszające lub kontrolujące wzmocnienie. Im mniejsza jest wartość opornika, tym mniejsze wzmocnienie, gdyż sprzężenie zwrotne rośnie. Taki stan rzeczy określa się mianem **układu zamkniętego**.

Wskazówka

Jeśli nie umieścisz opornika między wyjściem a wejściem odwracającym, wzmacniacz będzie działał w tak zwanym **układzie otwartym**. W tym przypadku, jeśli wyślesz sygnał do jednego z wejść, urządzenie wytworzy swoje maksymalne wzmocnienie, równe wielokrotności napięcia rzędu wielu tysięcy woltów! Może to zdestabilizować obwód i spowodować niekontrolowane drgania.

Jeśli w operacyjnym wzmacniaczu odwracającym ze sprzężeniem zwrotnym zastosujesz układ RC (obwód złożony z opornika i kondensatora), wzmocnienie będzie zależeć od częstotliwości sygnału wejściowego. Za pomocą określonej oporności rezystora i pojemności kondensatora możesz stworzyć czuły na częstotliwość filtr, który ma dowolną z czterech niżej wymienionych cech (zobacz rysunek 3.47):

- **filtr dolnoprzepustowy** przepuszczający sygnały o niskiej częstotliwości (A),



Rysunek 3.47. Wykresy zależności wzmocnienia od częstotliwości.

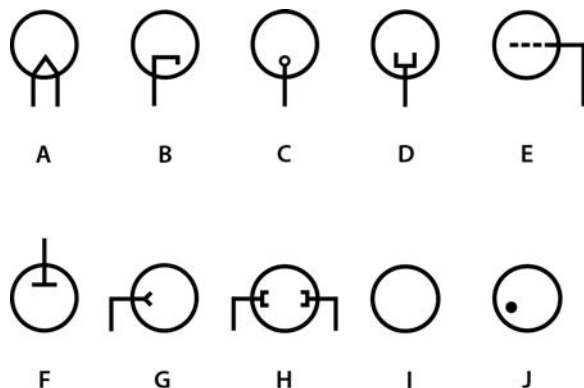
A — dolnoprzepustowy, B — górnoprzepustowy, C — rezonans maksymalny, D — rezonans minimalny

- **filtr górnoprzepustowy** przepuszczający sygnały o wysokiej częstotliwości (B),
- **filtr z maksymalnym rezonansem** — maksymalne wzmocnienie pojedynczej częstotliwości (C),
- **filtr z minimalnym rezonansem** — minimalne wzmocnienie pojedynczej częstotliwości (D).

Lampy elektronowe

Lampy elektronowe nie są już tak powszechne jak kilka dekad temu, jednakże wciąż stosuje się je w wielu układach. Rysowanie symbolu lampy elektronowej powinieneś zacząć od dość dużego okręgu, wewnątrz

którego należy umieścić elementy określające typ stosowanej przez Ciebie lampy. Na rysunku 3.48 przedstawiono powszechnie stosowane symbole elementów wewnętrznych lamp elektronowych.



Rysunek 3.48. Symbole elementów wewnętrznych lamp elektronowych:

A — katoda żarzona bezpośrednio; B — katoda żarzona pośrednio;

C — katoda zimna; D — fotokatoda; E — siatka; F — anoda;

G — elektroda odchyłająca; H — elektrody formujące wiązkę;

I — symbol bańki lampy próżniowej; J — symbol bańki lampy wypełnionej gazem

Dobra uwaga

Mała kropka na rysunku 3.48J oznacza, że lampa nie jest całkowicie próżniowa, ale wypełniona jest rozcieńczonym gazem. Jest to przykład lampy elektronowej, która nie jest tak naprawdę lampą próżniową. Wszystkie lampy próżniowe są lampami elektronowymi, jednak w odwrotną stronę to stwierdzenie nie zawsze jest prawdziwe.

Na rysunku 3.49 przedstawiono schemat **diody próżniowej**. Składa się ona z **anody** i **katody**. Gdy przez omawiany element przepływa prąd, to tak jak w przypadku diody półprzewodnikowej anoda charakteryzuje się bardziej dodatnim potencjałem od katody. Gdy na anodzie jest mniejsze napięcie niż na katodzie, urządzenie w zasadzie nie przewodzi prądu. Katoda emituje elektrony, które podążają przez próżnię w kierunku anody. Aktywny **żarnik**, przypominający miniaturową żarówkę małej

mocy, podgrzewa katodę — ułatwia to emisję elektronów. Na rysunku 3.49 żarnik został pominięty w celu uproszczenia symbolu. Zabieg ten często się stosuje podczas rysowania symboli lamp, w których żarnik i katoda są oddzielnymi komponentami znajdującymi się wewnątrz lampy. Rozwiązanie takie nosi nazwę katody **żarzonej pośrednio**.

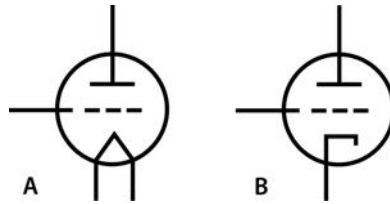


Rysunek 3.49. Symbol diody próżniowej o katodzie żarzonej pośrednio; lampa zawiera żarnik, jednakże symbol pomija ten element, ponieważ umieszczenie dodatkowego symbolu żarnika sprawiłoby, że schemat byłby mniej czytelny

Wskazówka

Symbolicznie wszystkie elementy lampy umieszcza się wewnątrz kółka lub elipsy, które symbolizuje bańkę lampy elektronowej. W przypadku niektórych schematów kółko jest pomijane. Nie jest to jednak standardowa praktyka.

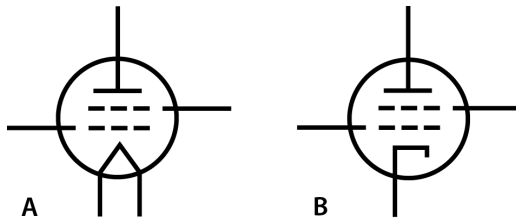
Na rysunku 3.50 pokazano symbole dwóch wersji **triody**. Lampa ta ma budowę podobną do omówionej wcześniej diody, jednakże zawiera dodatkową siatkę, która jest symbolizowana przez linię przerywaną. Jest jeszcze jedna różnica (w przypadku symbolu A). Widzisz ją? Przyjrzyj się uważnie katodzie. Lampa z rysunku 3.50A posiada **katodę żarzoną bezpośrednio** — katoda i żarnik są fizycznie tym samym elementem! Ujemne napięcie katody jest podłączone bezpośrednio do przewodu żarnika. Symbol B (zobacz rysunek 3.50) przedstawia triodę o katodzie żarzonej pośrednio. Na rysunku żarnik znajduje się wewnątrz katody będącej metalowym cylindrem umieszczonym pionowo w bańce lampy.



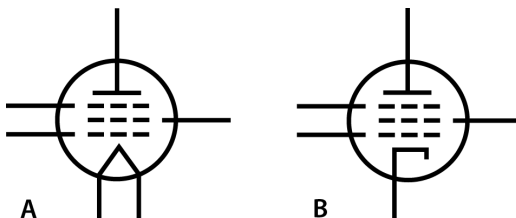
Rysunek 3.50. Symbol triody o żarzeniu bezpośrednim (A) oraz symbol triody o katodzie żarzonej pośrednio (B)

Tetrody posiadają dwie siatki. Są one symbolizowane przez dwie linie przerywane (zobacz rysunek 3.51). Górna siatka tetrody (znajdująca się bliżej anody) nazywana jest **ekranem siatki** (lub po prostu **ekranem**). Na rysunku 3.52 pokazano symbol **pentody** — lampy posiadającej trzy siatki — czyli składającej się z pięciu elementów. Środkowa siatka pentody jest ekranem, a górna siatka jest nazywana **siatką hamującą**.

Symbole na rysunkach 3.51A i 3.52A ilustrują lampy o katodzie żarzonej bezpośrednio, a rysunki 3.51B i 3.52B symbolizują lampy o katodzie żarzonej pośrednio.



Rysunek 3.51. Symbol tetrody o katodzie żarzonej bezpośrednio (A) i symbol tetrody o katodzie żarzonej pośrednio

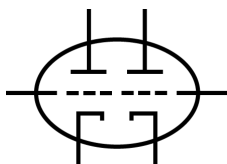


Rysunek 3.52. Symbol pentody o katodzie żarzonej bezpośrednio (A) i symbol pentody o katodzie żarzonej pośrednio

Analizuj kierunek przepływu prądu

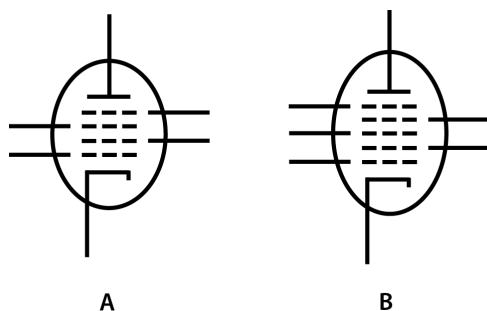
W lampach przedstawionych na omówionych dotychczas symbolach elektrony przepływają w kierunku od góry do dołu. Są one wyrzucane z katody, przechodzą przez siatkę lub siatki (o ile lampa je zawiera) i wpadają do anody. Prawdopodobnie czasami natkniesz się na symbol lampy, który będzie „leżał na boku”. W takiej sytuacji po prostu pamiętaj o tym, że w normalnych warunkach użytkowania lampy elektrony przemieszczają się od katody do anody.

Niektóre lampy składają się z dwóch oddzielnych, niezależnych zestawów elektrod umieszczonych we wspólnej bańce. Lampy takie można określić mianem **lamp podwójnych**. Jeżeli oba zestawy elektrod są identyczne, to taki podzespół możemy nazwać **podwójną diodą**, **podwójną triodą**, **podwójną tetrodą** lub **podwójną pentodą**. Na rysunku 3.53 znajduje się symbol podwójnej triody o katodach żarzonych pośrednio.



Rysunek 3.53. Symbol podwójnej triody o katodach żarzonych pośrednio

W niektórych starszych odbiornikach radiowych i telewizyjnych stosowane były lampy posiadające cztery lub pięć siatek. Lampy te składały się więc z sześciu lub siedmiu elementów i nazywano je **heksodą** i **heptodą**. Lampy takie były stosowane do **miksowania** — procesu polegającego na nakładaniu na siebie dwóch sygnałów radiowych o różnych częstotliwościach w celu uzyskania sygnału będącego ich różnicą lub sumą. Na rysunku 3.54 znajduje się symbol heksody (A) i heptody (B). Heptoda jest czasem określana mianem **konwertera posiadającego pięć siatek**.



Rysunek 3.54. Symbol heksody (A) i symbol heptody, nazywanej również kontwerterem z pięcioma siatkami (B); oba przedstawione symbole odnoszą się do lamp o katodach żarzonych pośrednio.

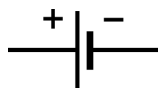
Wskazówka

Nie spotkasz heksod ani heptod we współczesnych układach elektronicznych, jednakże jeżeli chcesz pracować nad starymi odbiornikami radiowymi, to powinieneś zapoznać się z ich działaniem. Pamiętaj o jednym — wymiana tych lamp jest bardzo trudna — ich zakup jest prawie niemożliwy. Z antykami obchodź się ostrożnie!

Ogniwa i baterie

Ogniwa i baterie są powszechnie stosowane do zasilania układów elektronicznych. Na rysunku 3.55 przedstawiono symbol pojedynczego **ogniwa elektrochemicznego**. Ogniwo takie znajdziesz np. w latarce. Charakteryzuje się ono prądem stałym o napięciu 1,5 V.

Baterie elektrochemiczne, które posiadają wyższe napięcie znamionowe, składają się z wielu ogniw połączonych szeregowo (ujemny biegun jednego ogniwa jest połączony z dodatnim biegunem kolejnego ogniwa). Symbol baterii składającej się z wielu ogniw przedstawiono na rysunku 3.56.

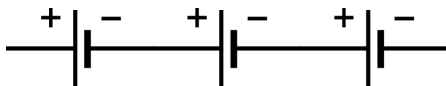


Rysunek 3.55. Symbol pojedynczego ogniwa elektrochemicznego



Rysunek 3.56. Symbol zamkniętej baterii elektrochemicznej składającej się z wielu ogniw

Symbol baterii składającej się z wielu ogniw to po prostu umieszczone obok siebie symbole ogniw, pomiędzy którymi nie znajdują się żadne linie rozdzielające. Jeżeli obwód wymaga zasilania kilkoma oddzielnymi ogniwami połączonymi szeregowo, to możesz narysować połączenie szeregowe kilku ogniw połączonych — pomiędzy symbolami ogniw umieść symbol przewodu. Na rysunku 3.57 pokazano przykład trzech ogniw połączonych szeregowo.



Rysunek 3.57. Symboliczne oznaczenie szeregowego połączenia trzech ogniw elektrochemicznych tworzących baterię

Wskazówka

Jeżeli ogniwa są umieszczone w zasobniku łączącym je szeregowo, na schemacie możesz zastosować symbol baterii (zobacz rysunek 3.56). Nie musisz używać symbolu z odpowiednią liczbą ogniw umieszczonych obok siebie (tak jak na rysunku 3.57).

Standardową praktyką jest umieszczanie znaków określających polaryzację ogniw lub baterii. Niestety niektóre osoby tworzące schematy pomijają te oznaczenia. W takim przypadku polaryzację baterii należy określić poprzez analizę pozostałych elementów znajdujących się w obwodzie. (Zazwyczaj dłuższa linia połączona jest ze złączem dodatnim, ale nie zawsze tak jest).

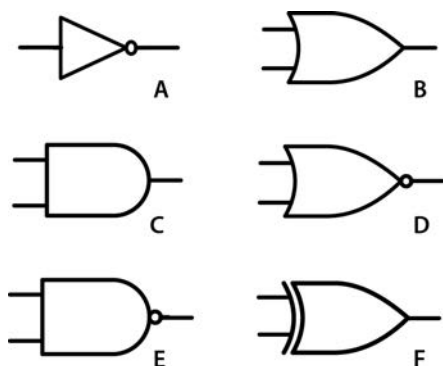
Bramki logiczne

Wszystkie cyfrowe układy elektroniczne zawierają przełączniki wykonujące określone operacje logiczne. Przełączniki te nazywa się **bramkami logicznymi**. Posiadają one przynajmniej jedno wejście (może być

ich wiele) i jedno wyjście. Urządzenia logiczne mogą przyjmować dwa stany określone przez cyfry 0 i 1. Cyfra 0 nazywana jest „stanem niskim”, a cyfra 1 „stanem wysokim”.

- **Bramka negacji**, zwana również **bramką NOT**, posiada jedno wejście i jedno wyjście. Na wyjściu generowany jest sygnał odwrotny do sygnału wejściowego. Jeżeli sygnał wejściowy określa wartość 1, to na wyjściu otrzymujemy 0. Jeżeli sygnał wejściowy określa wartość 0, to na wyjściu otrzymujemy 1. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58A.
- **Bramka sumy logicznej**, zwana również **bramką OR**, posiada zwykle dwa wejścia (teoretycznie może posiadać ich więcej). Jeżeli wszystkie sygnały wejściowe reprezentują wartość 0, to na wyjściu otrzymujemy 0. Jeżeli którykolwiek z sygnałów wejściowych określa wartość 1, to na wyjściu otrzymamy wartość 1. Matematycy powiedzieliby, że bramka ta wykonuje **działanie sumy logicznej** — na wyjściu otrzymujemy wartość 1 również wtedy, gdy obie zmienne wejściowe mają wartość 1. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58B.
- **Bramka iloczynu logicznego**, zwana również **bramką AND**, posiada zwykle dwa wejścia (teoretycznie może posiadać ich więcej). Jeżeli oba (wszystkie) sygnały wejściowe mają wartość 1, to na wyjściu bramki generowana jest wartość 1. Jeżeli którykolwiek z sygnałów wejściowych ma wartość 0, to na wyjściu generowana jest wartość 0. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58C.
- Za bramką OR można umieścić bramkę NOT. Takie połączenie daje nam **bramkę binegacji** (zwaną również **bramką NOR**). Jeżeli oba (wszystkie) sygnały wejściowe mają wartość 0, na wyjściu bramki generowana jest wartość 1. Jeżeli którykolwiek z sygnałów wejściowych ma wartość 1, to na wyjściu generowana jest wartość 0. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58D.
- Za bramką AND można umieścić bramkę NOT. Takie połączenie daje nam **bramkę NAND**. Jeżeli oba (wszystkie) sygnały wejściowe mają wartość 1, to na wyjściu generowana jest wartość 0. Jeżeli którykolwiek z sygnałów wejściowych ma wartość 0, to na wyjściu generowana jest wartość 1. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58E.
- **Bramka alternatywy wykluczającej**, zwana również **bramką XOR**, posiada dwa wejścia i jedno wyjście. Jeżeli na obu wejściach podawany jest ten sam sygnał (dwa zera lub dwie jedynki), to na wyjściu

generowana jest wartość 0. Jeżeli na dwóch wejściach podawany jest różny sygnał, to na wyjściu bramki pojawia się wartość 1. Działanie takie w matematyce określane jest mianem **alternatywy wykluczającej**. Jej symbol został pokazany na rysunku 3.58F.



Rysunek 3.58. Symbol bramki logicznej NOT (A), symbol bramki logicznej OR (B), symbol bramki logicznej AND (C), symbol bramki logicznej NOR (D), symbol bramki logicznej NAND (E), symbol bramki logicznej XOR (F)

Ściąga

W tabeli 3.1 opisano w skróconej formie funkcje sześciu najczęściej używanych bramek logicznych.

Podsumowanie

W elektronice stosuje się wiele innych symboli, które nie zostały omówione w tym rozdziale. Dodatek A zawiera obszerną listę symboli stosowanych na schematach obwodów. Poza symbolami opisanymi w tym rozdziale spotkasz się również z symbolami złączy i wtyczek, kryształów piezoelektrycznych, lamp, mikrofonów, mierników, anten i innych komponentów elektronicznych.

Tabela 3.1. Charakterystyka bramek logicznych

Bramka	Liczba wejść	Uwagi
NOT	1	Zmienia stan wejścia na przeciwny.
OR	2 lub więcej	Wyjście ma stan wysoki, jeśli jedno z wejść ma stan wysoki. Wyjście ma stan niski, jeśli wszystkie wyjścia mają stan niski.
AND	2 lub więcej	Wyjście ma stan niski, jeśli jedno z wejść ma stan niski. Wyjście ma stan wysoki, jeśli wszystkie wyjścia mają stan wysoki.
NOR	2 lub więcej	Wyjście ma stan niski, jeśli jedno z wejść ma stan wysoki. Wyjście ma stan wysoki, jeśli wszystkie wyjścia mają stan niski.
NAND	2 lub więcej	Wyjście ma stan wysoki, jeśli jedno z wejść ma stan niski. Wyjście ma stan niski, jeśli wszystkie wyjścia mają stan wysoki.
XOR	2	Wyjście ma stan wysoki, jeśli stany wejść są różne. Wyjście ma stan niski, jeśli stany wszystkich są takie same.

Zapamiętanie tych wszystkich symboli może wydawać się trudne, jednakże praktyka i prawidłowa identyfikacja podzespółów sprawi, że z czasem będziesz odczytywał schematy samodzielnie, bez pomocy tej książki. Najlepszym sposobem na nauczenie się symboli jest analizowanie prostych schematów i zagłębienie do dodatku A za każdym razem, gdy natkniesz się na nieznaną Ci symbol. Po kilku godzinach będziesz w stanie zacząć analizować bardziej złożone schematy, ponownie zagłębując do dodatku A, gdy natkniesz się na nieznaną Ci symbol. Po kilku weekendach będziesz znał większość symboli stosowanych na schematach obwodów elektrycznych — widząc symbol na schemacie, będziesz go od razu rozpoznawał bez dłuższego zastanawiania się.

W elektryce i elektronice większość symboli jest oparta na budowie danego komponentu. Symbole można podzielić na pewne grupy, które mają ze sobą coś wspólnego. Na przykład istnieje wiele różnych tranzystorów, jednakże są one przedstawiane przez podobne do siebie symbole. To samo można powiedzieć o innych symbolach — symbolach diod, rezystorów, kondensatorów, cewek, transformatorów, mierników, lamp i innych podzespołów elektronicznych. To stwierdzenie jest prawdziwe dla **większości** symboli, ale **nie wszystkich**. Kilka „zbuntowanych” symboli przeciwstawia się tej zasadzie. Jedyne, co możesz zrobić w ich przypadku, to zapamiętać je, podrapać się w głowę i uśmiechnąć.

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 — czytelna mapa po elektronicze!

Każdy elektronik musi korzystać ze schematów: dobrze narysowane i opisane, stanowią cenną pomoc podczas budowy obwodu czy naprawy sprzętu. Ułatwiają zrozumienie zasad działania prostych obwodów oraz zorientowanie się w trakcie pracy z bardziej złożonymi systemami. Jednak dla początkujących elektroników czytanie schematu to prawdziwe wyzwanie: niezrozumiałe symbole i połączenia między nimi zniechęcają do analizy. Tymczasem prawda jest taka, że zgłębianie dowolnej dziedziny związanej z elektroniką wymaga swobody w posługiwaniu się schematami.

To kolejne, przejrzane i uzupełnione wydanie znakomitego przewodnika po schematach elektrycznych i elektronicznych. W ramach lektury poznasz podstawy logiczne schematów, nauczysz się rysować i łączyć poszczególne symbole w funkcjonalne układy oraz korzystać ze schematów zarówno prostych obwodów, jak i złożonych urządzeń. Znajdziesz tu również techniki pomocne przy lekturze nawet bardzo skomplikowanych schematów. Dowiesz się, jak identyfikować komponenty i połączenia pomiędzy nimi, a także co oznaczają etykiety podzespołów. Dzięki temu przewodnikowi zyskasz solidne podstawy do dalszego zgłębiania dowolnej dziedziny związanej z elektroniką, od amatorskiej radiołączności po łączność kosmiczną, od dźwięku wielokanałowego po wirtualną rzeczywistość.

W książce między innymi:

- schematy ideowe, schematy blokowe i schematy wykonawcze
- proste i złożone obwody
- budowa płytki eksperymentalnej i zastosowanie jej do budowy układów
- wykrywanie i usuwanie usterek sprzętu elektronicznego
- elektronika cyfrowa i obwody funkcjonalne

Stan Gibilisco — inżynier elektronik, matematyk i radioamator. Autor książek i artykułów technicznych, szczególnie ceniony za napisanie kilku znakomych samouczków. Jego książki ukazują się w wielu językach na całym świecie. Radioamatorstwem zajmuje się od 1966 roku, jego obecny znak wywoławczy to W1GV.

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

Sprawdź nasze szkolenia!



AKADEMIA IT & BUSINESS
HELIONSZKOLENIA.PL

KOD KORZYŚCI
Stęgnij po więcej!



ISBN 978-83-283-7524-6



9 788328 375246

Cena: 49,00 zł



Mc
Graw
Hill
Education

INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU