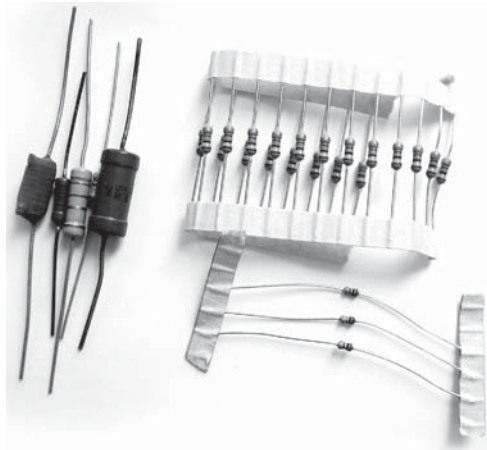


## 1.1. Rezystory stałe i nastawne

Rezystory (z łac. *resistere* – stawiać opór), nazywane również opornikami, są podstawowymi elementami obwodów elektronicznych. Są to elementy biernie, a ich głównym parametrem jest rezystancja, czyli opór, jaki stawiają prądowi płynącemu w obwodzie.

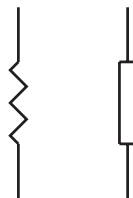
Jednostką rezystancji jest om ( $\Omega$ ). Zależność natężenia prądu w obwodzie od napięcia i występującej rezystancji opisuje prawo Ohma:  $I = U/R$ , zgodnie z którym prąd płynący w obwodzie jest wprost proporcjonalny do przyłożonego napięcia, a odwrotnie proporcjonalny do rezystancji. Rezystory mogą mieć rezystancję stałą lub nastawianą (potencjometry). Do rezystorów zalicza się też fotorezystory, warystory i termistory, w których rezystancja zależy od oświetlenia, napięcia lub temperatury. Rezystory stałe mogą być wykonywane jako: warstwowe, objętościowe i drutowe.



Fot. 1.1. Wygląd typowych rezystorów

Podstawowymi parametrami rezystora są:

- rezystancja znamionowa – rezystancja podawana przez producenta na obudowie rezystora; *rezystancja rzeczywista* może różnić się od rezystancji znamionowej, jednak musi mieścić się w podanej klasie tolerancji;
- tolerancja – inaczej klasa dokładności – jest to *podawane w procentach* dopuszczalne odchylenie rzeczywistej wartości rezystancji od wartości znamionowej;
- moc znamionowa – moc, jaka może być wydzielana (np. w postaci ciepła) przez dłuższy czas w rezystorze bez wpływu na jego parametry; przekroczenie tej wartości może prowadzić do nieakceptowalnych zmian wartości parametrów rezystora (np. rezystancji) lub jego uszkodzenia;
- napięcie graniczne – maksymalne napięcie, jakie może wystąpić na końcówkach rezystora bez obawy o jego zniszczenie;
- temperaturowy współczynnik rezystancji – współczynnik określający zmiany *rezystancji* rezystora pod wpływem zmian temperatury.



Rys. 1.2. Graficzne symbole rezystorów

### Oznaczenia rezystorów

Producenci podają w oznaczeniach rezystorów tylko najważniejsze parametry, czyli rezystancję znamionową, tolerancję i moc znamionową. W przypadku małych oporników, gdy nie ma miejsca na napisy, stosuje się oznaczenie kodowe: cyfrowo-literowe lub w postaci barwnych pasków.

W oznaczeniu cyfrowo-literowym (zgodnym z normą IEC) w miejscu przecinka dziesiętnego znajduje się litera oznaczająca mnożnik: R = 1, K = 1000, M = 1 000 000.

Zgodnie z amerykańską normą wojskową (MIL) trzecia cyfra oznaczenia jest wykładnikiem mnożnika potęgi 10, przez który należy pomnożyć dwie pierwsze cyfry, aby odczytać rezystancję znamionową (w  $\Omega$ ).

Tab. 1.1. Zestawienie typowych sposobów oznaczania cyfrowo-literowego rezystorów

Oznaczenie IEC	Oznaczenie MIL	Rezystancja
R47	R47	0,47 $\Omega$
6R8	6R8	6,8 $\Omega$
27R	270	27 $\Omega$
820R, K82	821	820 $\Omega$
4K7	472	4,7 k $\Omega$
56K	563	56 k $\Omega$
470K, M47	474	470 k $\Omega$
2M7	275	2,7 M $\Omega$
56M	566	56 M $\Omega$

Litera umieszczona na końcu oznaczenia	N	M	K	J	G	F
Tolerancja	30%	20%	10%	5%	2%	1%

Do oznaczania oporników najczęściej jest stosowany kod barwny. Jest to najprostszyspósb kodowania parametrów rezystora na małej powierzchni. Poszczególne kolory oznaczają cyfry zgodnie z tabelą 1.2. Na oporniku umieszczone są zwykle 4 lub 5 pasków. W systemie czteropaskowym dwa początkowe oznaczają wartość rezystancji, a trzeci to wykładnik potęgi 10 mnożnika, przez który należy ją pomnożyć. Czwarty pasek oznacza tolerancję.

Kod pięciopaskowy jest stosowany do oznaczania rezystorów o małej tolerancji (tzw. rezystory precyzyjne). W tym przypadku wartość rezystancji wskazują trzy początkowe paski, czwarty określa mnożnik, a piąty tolerancję. Jeśli w oznaczeniu zastosowano sześć pasków, to ten szósty oznacza współczynnik temperaturowy.

**Tab. 1.2.** Wartości liczbowe przypisane kolorom stosowanym w paskowych oznaczeniach wartości rezystancji

Kolor	Wartość		Mnożnik	Tolerancja ± %	Współczynnik temp. ± ppm/K
	1. pasek	2. pasek	3. pasek	4. pasek	Ostatni pasek
Czarny	0	0	× 1 Ω		250
Brązowy	1	1	× 10 Ω	1	100
Czerwony	2	2	× 100 Ω	2	50
Pomarańczowy	3	3	× 1 kΩ	3	15
Żółty	4	4	× 10 kΩ		25
Zielony	5	5	× 100 kΩ	0,5	20
Niebieski	6	6	× 1 MΩ	0	10
Fioletowy	7	7	× 10 MΩ	0	5
Szary	8	8		0,05	1
Biały	9	9			
Złoty			0,1 Ω	5	
Srebrny			0,01 Ω	10	
Brak				20	

### Szeregowe i równoległe łączenie rezystorów

Jak wynika z pierwszego prawa Kirchhoffa, rezystancja zastępcza obwodu z dwoma rezystorami połączonymi szeregowo (ciągłość prądu w obwodzie) jest równa sumie rezystancji tych rezystorów:

$$R = R_1 + R_2$$



**Rys. 1.3.** Szeregowe połączenie dwóch rezystorów

Przy szeregowym połączeniu rezystorów otrzymuje się wartość rezystancji wypadkowej większą niż największa rezystancja pośród połączonych rezystorów.

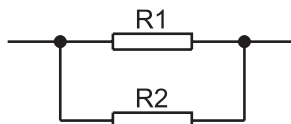
Z drugiego prawa Kirchhoffa wynika, że odwrotność rezystancji zastępczej (przewodność) obwodu z dwoma rezystorami połączonymi równoległe jest równa sumie odwrotności rezystancji tych rezystorów (wynika to z sumy prądów dopływających do węzłów przy tym samym spadku napięcia):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Po przekształceniu powyższego wyrażenia otrzymuje się:

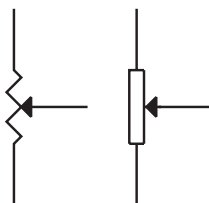
$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Przy równoległym łączeniu rezystorów otrzymuje się wartość rezystancji wypadkowej mniejszą niż wynosi najmniejsza łączona rezystancja.

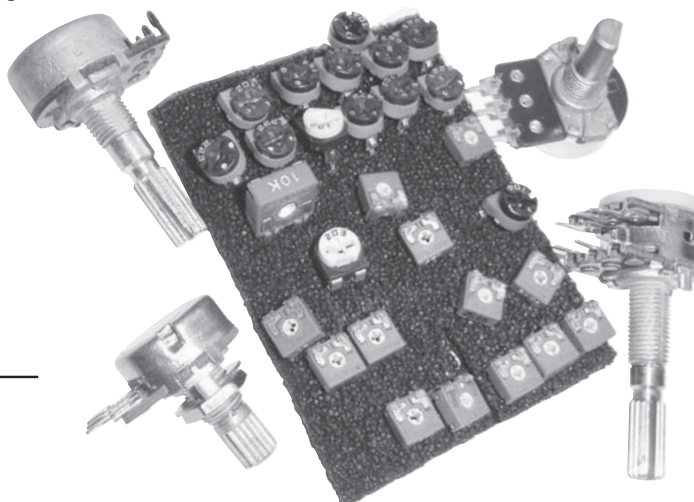


**Rys. 1.4.** Równoległe połączenie dwóch rezystorów

Potencjometr jest rezystorem, którego rezystancja może być zmieniana. Jest to element o trzech końcówkach, pełniący funkcję regulowanego dzielnika napięcia (trzecia końcówka – ślizgacz – jest wyjściem tego dzielnika). Zmiana wartości rezystancji jest powodowana zmianą położenia styku ślizgacza na ścieżce oporowej potencjometru. Ścieżkę oporową wykonuje się z węgla, cermetu, plastiku lub zwojów drutu oporowego.



**Rys. 1.5.** Symbole graficzne potencjometrów



**Rys. 1.6.** Wygląd kilku typów potencjometrów

Potencjometry są obrotowe albo suwakowe. Do precyzyjnej regulacji stosuje się potencjometry wieloobrotowe. Ważną cechą potencjometrów są ich charakterystyki regulacyjne oznaczone literami A, B, C. Potencjometry oznaczone literą A są liniowe, tzn. przyrost rezystancji jest proporcjonalny do kąta obrotu. W potencjometrach oznaczonych literą B (logarytmicznych) początkowo przyrost rezystancji jest duży, a przy większych kątach obrotu zmniejsza się (zgodnie z funkcją logarytmiczną). Natomiast w potencjometrach z literą C – wykładniczych – początkowo przyrost rezystancji jest mały, a przy większych kątach obrotu duży.



Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) sformułował dwa fundamentalne prawa pozwalające analizować złożone obwody elektryczne – zwane prawami Kirchhoffa (prądowe i napięciowe).



Georg Simon Ohm (1787–1854) jest odkrywcą podstawowego dla elektrotechniki prawa Ohma, ilustrującego zależność pomiędzy napięciem, rezystancją i prądem przez nią płynącym.

### Zastosowania

- ograniczanie natężenia prądu,
- podział napięcia,
- ustalanie punktów pracy tranzystorów,
- ustalanie stałej czasowej, np. obwodów RC (całkujących i różniczkujących).

## 1.2. Kondensatory

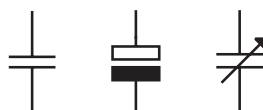
Pierwszy kondensator skonstruowano przypadkowo w roku 1746 w laboratorium uniwersytetu w Lejdzie. Wykonano go z butli zawierającej wodę, która była połączona drutem z maszyną elektrostatyczną. Po pewnym czasie pracy maszyny w butli zgromadził się bardzo duży ładunek. Tak więc pierwszy kondensator nosił nazwę butelka lejdejska. Kondensatory są elementami elektrycznymi mającymi zdolność do gromadzenia ładunku elektrycznego. Obok rezystorów są to najczęściej stosowane podzespoły w sprzęcie elektronicznym.

Głównym parametrem kondensatorów jest ich pojemność określana w faradach (F). Najczęściej podaje się ją w jednostkach wielokrotnie mniejszych od farada: pikofaradach ( $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ ), nanofaradach ( $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 1000 \text{ pF}$ ) i mikrofaradach ( $1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} = 1000 \text{ nF}$ ). Stosowane w układach elektronicznych kondensatory mają pojemności od pojedynczych pikofaradów do kilkudziesięciu faradów.

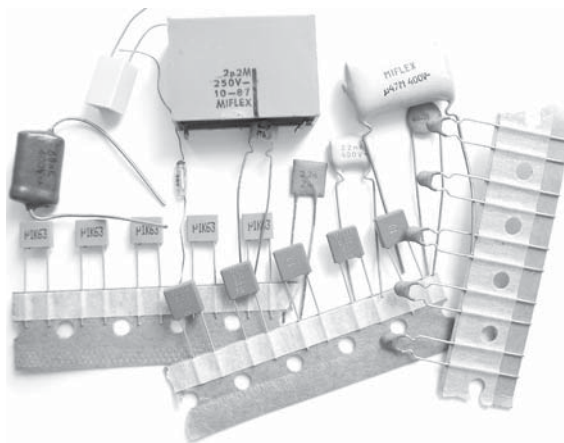
Kondensatory dzieli się na cztery zasadnicze grupy: kondensatory stałe; kondensatory dostrojeniowe (trymery), umożliwiające zmianę pojemności w niewielkim zakresie; kondensatory nastawne (zmienne) i dekadowe zapewniające skokowe zmiany pojemności w dużym przedziale wartości (kilka dekad).

Ze względu na materiał, którego użyto, produkowane są trzy rodzaje kondensatorów:

- kondensatory elektrolityczne,
- kondensatory ceramiczne,
- kondensatory z tworzyw sztucznych (foliowe).



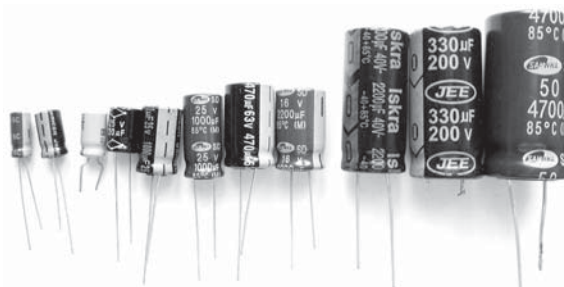
Rys. 1.7. Symbole kondensatorów: zwykłego, elektrolitycznego i trymera



Fot. 1.8. Wygląd kilku wybranych typów kondensatorów

### Kondensatory elektrolityczne

Wśród kondensatorów elektrolitycznych wyróżniamy kondensatory *alumińowe*, w których elektrody wykonane są ze zwiniętych taśm aluminiowych przedzielonych materiałem izolacyjnym (np. papierem nasączonym elektrolitem). Anoda jest pokryta warstwą tlenku glinu o grubości mniejszej od  $1\mu\text{m}$ , a katodą jest elektrolit wraz z przyległą do niego folią aluminiową. Właśnie ten tlenek jest dielektrykiem w kondensatorach elektrolitycznych. Kondensatory elektrolityczne aluminiowe są produkowane o wartościach pojemności od  $100\text{ nF}$  do  $1\text{F}$ .



Fot. 1.9. Wygląd kondensatorów elektrolitycznych

Kondensatory elektrolityczne *tantalowe* mają anodę wykonaną ze spiekane go proszku tantalowego, która ma strukturę porowatą. Dzięki takiej budowie uzyskuje się dużą powierzchnię anody przy zastosowaniu stosunkowo małej objętości. Metodami elektrochemicznymi wytwarza się na powierzchni izolacyjną warstwę pięciotlenku tantalum, która ma bardzo dobre właściwości dielektryczne. Porowatą anodę wypełnia się elektrolitem, którym jest dwutlenek manganu. Mniej popularne są kondensatory z elektrolitem żelowym. Pięciotlenek tantalum jest bardzo odporny na uszkodzenia, dlatego użyteczność kondensatorów tantalowych jest mniejsza niż aluminiowych, a prądy upływu praktycznie nie zmieniają się nawet po kilkuletnim okresie składowania bez napięcia. Kondensatory elektrolityczne tantalowe produkowane są o wartościach pojemności od  $100\text{ nF}$  do  $1\text{ mF}$ .

### Zastosowania

Kondensatory elektrolityczne stosowane są w obwodach zasilania jako kondensatory filtrujące i gromadzące energię. Wykorzystuje się je też jako kondensatory sprzęgające i blokujące w urządzeniach m.cz., to jest z sygnałem o częstotliwości do około 100 kHz.

### Rodzaje kondensatorów ceramicznych

#### Typ 1

Kondensatory ceramiczne tego typu są produkowane z dielektrykiem o przenikalności względnej 10...600. Charakteryzują się one małymi stratami, a ich współczynnik temperaturowy jest mały i mieści się w zakresie  $-1500...+150$  ppm/K. Umożliwia to łatwą kompensację temperaturową obwodów rezonansowych. Kondensatory ceramiczne typu 1 są produkowane dla niewielkiego zakresu pojemności znamionowej, to jest od 0,1 pF do 10 nF.

#### Typ 2 (ferroelektryczne)

Kondensatory ferroelektryczne mają znaczną pojemność od 100 pF do 1000 nF, przy tych samych rozmiarach co kondensatory typu pierwszego. Są jednak mało dokładne, a ich pojemność zależy silnie od temperatury otoczenia i częstotliwości. Z tego względu nie mogą być stosowane np. w obwodach rezonansowych, gdzie parametry zależą mocno od pojemności użytego kondensatora. Natomiast można je stosować w obwodach filtrujących napięcie zasilania i sprzęgających.

#### Typ 3 (półprzewodnikowe)

Kondensatory ceramiczne półprzewodnikowe mają podobne właściwości do ferroelektrycznych, ale mniejsze gabaryty. Zmniejszenie rozmiarów uzyskano dzięki specjalnej budowie opartej na porowatym spieku. Pojemności produkowanych kondensatorów mieszczą się w przedziale wartości od 100 pF do 10  $\mu$ F.

### Kondensatory z tworzyw sztucznych (foliowe)

#### Budowa

Kondensatory foliowe są zbudowane z dwóch wstęg folii aluminiowej przedzielonych folią z tworzywa sztucznego stanowiącą dielektryk. Kondensatory foliowe, tzw. metalizowane, mogą też mieć inną budowę. Okładziny stanowi cieniutka warstwa metalu (aluminium) naniesiona próżniowo na jedną lub obie strony folii z tworzywa. Kondensatory metalizowane mają w oznaczeniu literkę M – np. krajowe MKSE, KMP, KFMP, MKSP, czy zagraniczne MKT, MKP, MKC. Jako dielektryk stosuje się folię wykonaną z różnych materiałów i od rodzaju tego materiału zależą właściwości produkowanych kondensatorów.

#### Polistyrenowe (styrofleksowe)

Kondensatory polistyrenowe (w kraju mają oznaczenie KSF, a w Europie KS) są najbardziej stabilne spośród kondensatorów foliowych. Ich pojemność praktycznie nie zależy od częstotliwości, co jest wyjątkową cechą wśród kondensatorów foliowych. Kondensatory te mają niewielki ujemny współczynnik temperaturowy około  $-130$  ppm/K i cechują się niewielką zależnością pojemności od wilgotności otacza-

jącego powietrza. Straty dielektryczne są małe. Tylko kondensatory polistyrenowe charakteryzują się małą tolerancją, nawet 0,5%. Ujemny współczynnik temperaturowy kondensatorów kompensuje zmiany temperaturowe indukcyjności cewek ferrytowych, dlatego stosuje się je np. w telekomunikacyjnych filtrach LC. Pojemności kondensatorów polistyrenowych wynoszą od 10 pF do 100 nF.

### Poliestrowe

Kondensatory poliestrowe (krajowe oznaczenie MKSE, europejskie MKT) są stosowane powszechnie w sprzęcie elektronicznym w zakresie małych i średnich częstotliwości. Pojemność kondensatorów poliestrowych zależy od częstotliwości i temperatury. Są produkowane o pojemnościach od 100 pF do 100  $\mu$ F.

### Poliwęglanowe

Kondensatory poliwęglanowe (oznaczane w Europie symbolem MKC) mają pięciokrotnie mniejszą niż w przypadku MKT zależność pojemności od częstotliwości oraz małą zależność pojemności od temperatury (1% w zakresie  $-20...70^{\circ}\text{C}$ ).

### Polipropylenowe

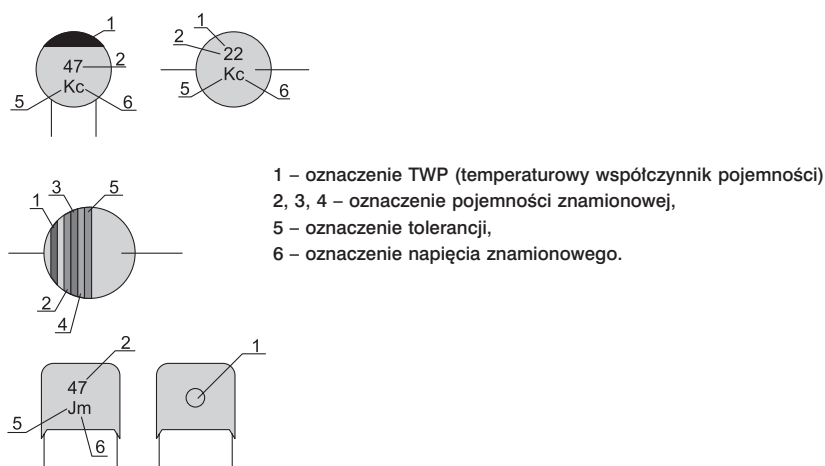
Kondensatory polipropylenowe (krajowe oznaczenia KMP, KFMP, a europejskie MKP) są przeznaczone przede wszystkim do pracy w obwodach impulsowych, w których występują napięcia i prądy o znacznej stromości zboczy. Takie właśnie kondensatory stosuje się w obwodach odchyłania odbiorników telewizyjnych i sieciowych zasilaczach impulsowych. Pojemności tych kondensatorów są z zakresu 1 nF...10  $\mu$ F.

### Zastosowania

Kondensatory foliowe znajdują zastosowanie w urządzeniach średniej częstotliwości oraz w obwodach RC generatorów i filtrów. Niektóre typy kondensatorów foliowych przeznaczone są do pracy w obwodach impulsowych.

### Oznaczenia kondensatorów stałych ceramicznych typu 1

Pojemność znamionowa w kodzie literowym w oznaczeniu polskim przedstawia się następująco: litery p, n, m zastępują mnożniki oraz przecinki między cyframi. Na przykład: oznaczenie p15 oznacza kondensator o pojemności 0,15 pF, 33 $\mu$ 2



Rys. 1.10. Cechowanie kondensatorów ceramicznych typu 1



Tab. 1.3. Oznaczenia barwne kondensatorów

Barwa paska (kropki)	Temp. współczynnik pojemności [ppm/K = 10 <sup>-6</sup> /1°C]	Pojemność znamionowa [pF]			Tolerancja pojemności	
		Pierwsza cyfra	Druga cyfra	Mnożnik	C < 10 pF	C ≥ 10 pF
		Pierwszy znak	Drugi znak	Trzeci znak	Czwarty znak	Piąty znak
Srebrny	–	–	–	0,01	–	±10%
Złoty	–	–	–	0,1	–	±5%
Czarny	0 (NPO)	–	0	1	–	±20% <sup>ZE)</sup>
Brązowy	–33 (N33)	1	1	10	±0,1 pF <sup>ZE)</sup>	±1% <sup>ZE)</sup>
Czerwony	–75 (N75)	2	2	100	±2 pF ±0,25 pF <sup>ZE)</sup>	±2%
Pomarańczowy	–150 (N150)	3	3	1000	–	–
Żółty	–220 (N220)	4	4	10 000	–	–
Zielony	–330 (N330)	5	5	100 000	±0,5 pF <sup>ZE)</sup>	±5% <sup>ZE)</sup>
Niebieski	–470 (N470)	6	6	–	±0,25 pF	–
Fioletowy	–750 (N750)	7	7	–	–	–
Szary	–	8	8	–	–	–
Biały	+33 (P33)	9	9	–	±1 pF	±10% <sup>ZE)</sup>
Ciemnoniebieski	+100 (P100)	–	–	–	–	–
Brak	–47 (N47)	–	–	–	±0,5 pF	±20%
Pomarańczowo- żółto-	pomarańczowy pomarańczowy	–1500 (N1500)	–	–	–	–
Żółto-	pomarańczowy	–2200 (N2200)	–	–	–	–
Zielono-	pomarańczowy	–3300 (N3300)	–	–	–	–
Niebiesko-	pomarańczowy	–4700 (N4700)	–	–	–	–
Czarno-	pomarańczowy	–5600 (N5600)	–	–	–	–
Czerwono-	fioletowy	+100 (P100)	–	–	–	–

<sup>ZE)</sup> wg oznaczeń zachodnioeuropejskich

Tab. 1.4. Temperaturowy współczynnik pojemności w kodzie literowym

Zakres temperaturowego współczynnika pojemności [ppm/K = 10 <sup>-6</sup> /1°C]	Kod	Oznaczenie pełne – kolor emalii pokrycia kondensatora	Barwa punktu lub paska na jednobarwnym pokryciu kondensatora	
+100	A	Granatowy	Ciemnoniebieski	
+33	B	Jasnoszary	Różowy	
0	C	Czarny	Czarny	
–33	H	Jasnobrązowy	Brązowy	
–47	N	Niebieski	Brak	
–75	L	Ciemnobrązowy	Czerwony	
–150	P	Pomarańczowy	Pomarańczowy	
–220	R	Żółty	Żółty	
–330	S	Zielony punkt na pokryciu jasnoszarym	Zielony	
–470	T	Biały	Niebieski	
–750	U	Czerwony	Fioletowy	
–1500	W	Zielony	Pomarańczowo-	pomarańczowy
–2200	K	–	Żółto-	pomarańczowy
–3300	D	–	Zielono-	pomarańczowy
–4700	E	–	Czarno-	pomarańczowy
+140...–870	SL	–	Szary	
+250...–1750	UM	–	Biały	

oznacza pojemność 33,2  $\mu\text{F}$ , a 150p pojemność 150 pF. W oznaczeniach zachodnich stosuje się regułę podobną do reguły kodowania wartości rezystancji zgodnie ze standardem MIL: dwie pierwsze cyfry są cyframi znaczącymi, a trzecia oznacza liczbę zer występujących po tych dwóch pierwszych cyfrach (wartość nominalna jest podawana w pF). Na przykład: 470 oznacza kondensator o pojemności 47 pF, 822 pojemność 8200 pF = 8,2 nF, a 125 pojemność 1 200 000 pF = 1,2  $\mu\text{F}$ .

### Oznaczenia kondensatorów stałych ceramicznych typu 2

Kondensatory produkcji zachodniej oznaczane są czterema bądź pięcioma paskami, przy czym trzy pierwsze oznaczają pojemność znamionową, czwarty tolerancję, a piąty napięcie znamionowe. Tolerancję oznacza się tak jak dla kondensatorów ceramicznych typu 1, a napięcie znamionowe następująco:

100 V – zielony,  
250 V – czerwony,  
400 V – żółty.

**Kondensator dostrojeniowy (trymer)** jest specjalnym rodzajem kondensatora, którego pojemność można płynnie zmieniać. Zazwyczaj jest stosowany razem z kondensatorami stałymi, aby precyzyjnie ustawić wymaganą wartość pojemności, np. dostroić obwód LC do częstotliwości rezonansowej. Funkcję dielektryka pełni zazwyczaj powietrze lub ceramika.

Jednym z kondensatorów o zmiennej, płynnie regulowanej pojemności jest kondensator strojeniowy stosowany do niedawna w obwodach strojeniowych odbiorników radiowych, zbudowany w formie agregatu przemieszczanych względem siebie płytek (elektrod) aluminiowych, z których jeden zespół stanowił stator, a drugi rotor (obracany wokół osi, na której był mocowany).

### Łączenie kondensatorów

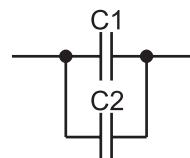
Dla dwóch kondensatorów połączonych szeregowo odwrotność ich pojemności zastępczej  $C$  jest równa sumie odwrotności pojemności składowych, czyli wzór na pojemność zastępczą jest podobny do wzoru na rezystancję zastępczą rezystorów połączonych równolegle:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

W przypadku szeregowego połączenia kondensatorów pojemność zastępcza jest mniejsza od najmniejszej pojemności spośród kondensatorów połączonych ze sobą.



Rys. 1.11. Szeregowe połączenie kondensatorów



Rys. 1.12. Równoległe połączenie kondensatorów

Dla dwóch kondensatorów połączonych równolegle pojemność zastępcza jest sumą pojemności składowych, czyli wzór na pojemność zastępczą jest podobny do wzoru na rezystancję zastępczą rezystorów połączonych szeregowo:

$$C = C1 + C2$$

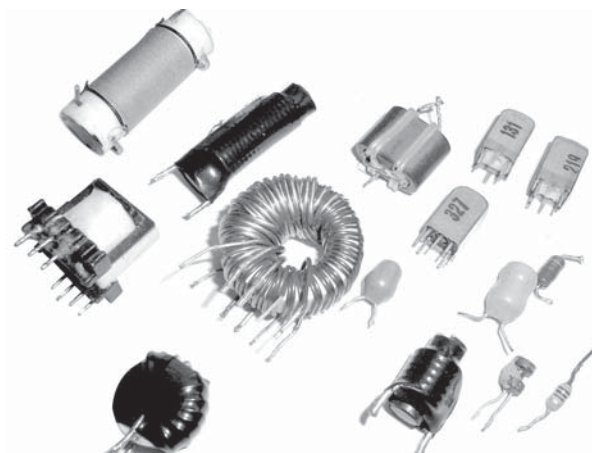
Dla równoległego połączenia kondensatorów pojemność zastępcza jest większa od pojemności każdego z połączonych kondensatorów.

#### Zastosowania

- filtrowanie napięć zasilających i polaryzujących (punkty pracy),
- sprzężenie zmiennoprądowe obwodów,
- obwody rezonansowe,
- filtry.

### 1.3. Elementy indukcyjne: cewki, dławiki, transformatory

Najprostszymi elementami indukcyjnymi są cewki (induktory). Cewka ma pewną liczbę zwojów przewodnika nawiniętych na powierzchni walca (cewka cylindryczna), na powierzchni pierścienia (cewka toroidalna) lub na płaszczyźnie (cewka spiralna lub płaska). Wewnątrz zwojów może znajdować się rdzeń z materiału diamagnetycznego lub ferromagnetycznego.



Fot. 1.13. Wygląd kilku typów cewek

Podstawowym parametrem cewki jest indukcyjność, tzn. zdolność cewki do wytworzenia na jej zwojach pola magnetycznego pod wpływem zmiennego napięcia, spowodowanego przepływem prądu zmiennego. Indukcyjność mierzy się w henrach (H). Zazwyczaj jest określana w jednostkach kilka rzędów wielkości mniejszych, to jest w mikrohenrach ( $\mu\text{H}$ ) lub milihenrach (mH). Parametrami szczytkowymi cewki są pojemność uzwojenia  $C_0$  oraz rezystancja  $R$  strat. Schemat zastępczy cewki przedstawiono na **rysunku 1.14**.

Indukcyjność cewki jest wprost proporcjonalna do kwadratu liczby zwojów oraz zależy od jej rozmiarów, kształtu, sposobu nawijania, zastosowanego rdzenia i ekranu. Pojemności między poszczególnymi zwojami i warstwami tworzą pojemność własną cewki, której wartość jest związana z rozmiarem i sposobem nawinięcia. Cewki o dużej średnicy mają dużą pojemność własną. Rezystancja strat  $R$  cewki jest rezystancją uzwojenia dla prądu stałego oraz charakteryzuje straty energii w rdzeniu. Dobroć cewki  $Q$  (od ang. *Quality*) jest opisana wzorem:

$$Q = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

gdzie  $\omega = 2\pi f$  jest pulsacją prądu przepływającego przez cewkę, a  $f$  jego częstotliwością.

Wartość dobroci cewek stosowanych w układach elektronicznych wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset. Zależy ona od indukcyjności, rezystancji strat, częstotliwości oraz określa stosunek reaktancji cewki ( $\omega L$  – oporności biernej) do rezystancji strat i jest miarą strat energii w uzwojeniu i rdzeniu cewki.

Wzór na reaktancję:

$$X_L = \omega L$$

Dla prądu stałego cewka przedstawia tylko rezystancję drutu miedzianego, którym została nawinięta. Wartość tej rezystancji zazwyczaj mieści się w przedziale 0,1  $\Omega$  do 10 k $\Omega$ . Przy zasilaniu prądem przemiennym cewka przedstawia tzw. reaktancję, której wartość wzrasta proporcjonalnie do częstotliwości napięcia.

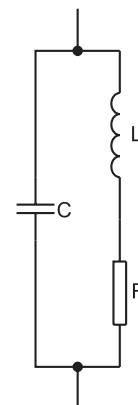
### Oznaczenia cewek – kod barwny

Kod paskowy oznaczania miniaturowych dławików przedstawiono w tabeli 1.5.

Tab. 1.5. Kod paskowy do oznaczania indukcyjności miniaturowych dławików

Kolor	Cyfry znaczące	Mnożnik	Tolerancja
Srebrny	–	$\times 10$ nH	10%
Złoty	–	$\times 100$ nH	5%
Czarny	0	$\times 1$ $\mu$ H	–
Brazowy	1	$\times 10$ $\mu$ H	1%
Czerwony	2	$\times 100$ $\mu$ H	2%
Pomarańczowy	3	$\times 1$ mH	–
Zółty	4	$\times 10$ mH	–
Zielony	5	$\times 100$ mH	0,5%
Niebieski	6	$\times 1$ H	0,25%
Fioletowy	7	$\times 10$ H	0,1%
Szary	8	$\times 100$ H	–
Biały	9	$\times 1000$ H	–
Brak	–	–	20%

W oznaczeniu kodowym dławików umieszcza się cztery kolorowe paski na zewnętrznej warstwie dławika, zazwyczaj pokrytej farbą albo klejem. Paski pierwszy i drugi oznaczają cyfry znaczące wartości indukcyjności. Trzeci pasek oznacza wartość mnożnika, a czwarty tolerancję indukcyjności znamionowej. Jeżeli dławik



Rys. 1.14. Schemat zastępczy cewki

jest oznaczony tylko trzema paskami, to odpowiadającą im wartość odczytujemy jak wyżej, a brak czwartego paska oznacza tolerancję 20%. Dla przykładu dławik oznaczony paskami: brązowy-czerwony-czarny-srebrny ma indukcyjność znamionową 12  $\mu\text{H}$  i tolerancję 10%.

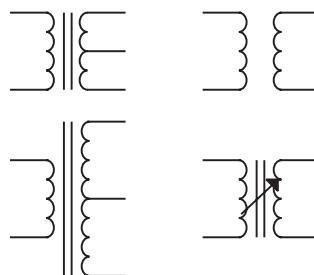
### Zastosowania

W obwodach elektronicznych cewki stosowane są do:

- blokowania napięć zmiennych,
- budowania obwodów rezonansowych,
- konstruowanie filtrów pasmowych,
- filtracji napięć zasilających,
- sprzęgania zmiennoprądowego wzmacniacza.

### Transformatory

Transformator jest elementem indukcyjnym zawierającym co najmniej dwie cewki. Pierwsza jest cewką wejściową, która stanowi uzwojenie pierwotne transformatora, a druga cewką wyjściową – uzwojeniem wtórnym. Jednym z parametrów transformatora jest przekładnia napięciowa pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a wtórnym. Jeśli przekładnia transformatora wynosi np. 10:1, oznacza to, że napięcie wyjściowe będzie dziesięciokrotnie niższe od napięcia wejściowego, natomiast prąd pobierany z uzwojenia wtórnego będzie dziesięciokrotnie większy niż prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym. Ważnym parametrem transformatora jest dopuszczalna moc bierna, jaka może być odbierana z jego uzwojenia wtórnego, wyrażona w woltoamperach [VA].



Rys. 1.15. Symbole transformatorów

Jej wartość zależy przede wszystkim od wymiarów rdzenia – im przekrój rdzenia jest większy, tym bardziej można obciążać transformator.

### Zastosowania

W urządzeniach elektronicznych transformatory są stosowane do:

- sprzęgania obwodów napięć przemiennych bez ich galwanicznego połączenia,
- transformacji napięć,
- transformacji rezystancji,
- uzyskiwania wysokich napięć.

Transformatory najczęściej są używane do transformowania napięcia sieciowego (tzw. transformator sieciowy). Praktycznie prawie każde urządzenie elektroniczne

zasilane z sieci energetycznej zawiera transformator sieciowy zapewniający niskie napięcie do zasilania jego układów elektronicznych.

## 1.4. Elementy półprzewodnikowe

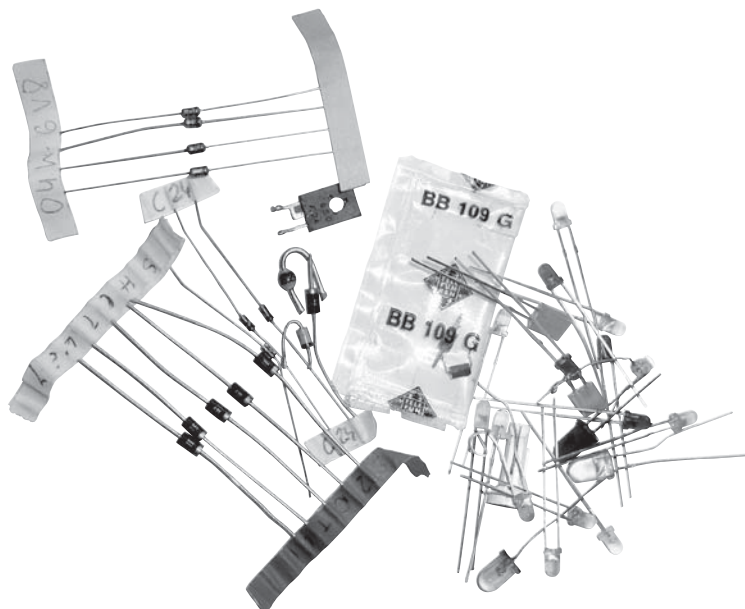
Elementy półprzewodnikowe są podzespołami, od których w zasadniczy sposób zależą funkcje i sposób działania układu elektronicznego. Najważniejszym materiałem używanym do produkcji elementów półprzewodnikowych, takich jak: hallotrony, diody, tranzystory, termistory, jest krzem.

### Diody

Diody półprzewodnikowe są jednymi z najczęściej stosowanych elementów półprzewodnikowych w układach elektronicznych. Charakteryzują się jednokierunkowym przewodzeniem prądu. Dioda półprzewodnikowa zawiera półprzewodnikowe złącze  $p-n$ , które może być wytworzone różnymi metodami technologicznymi.

Dioda ma dwa doprowadzenia – katodę i anodę (oznaczoną zwykle na obudowie kreską lub kropką). Przepływ prądu przez diodę jest możliwy tylko wtedy, gdy dodatni biegun źródła zasilania jest połączony z anodą, a do katody jest doprowadzony potencjał ujemny względem anody. Mówimy wtedy, że dioda została spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Jeżeli polaryzacja diody jest przeciwna, to dioda jest spolaryzowana w kierunku zaporowym i prąd nie płynie. Podczas przewodzenia spadek napięcia na diodach germanowych wynosi 0,2 V...0,3 V, a na krzemowych 0,4...0,7 V.

Ze względu na zastosowanie, diody dzielimy na: prostownicze, mieszające, impulsowe, stabilizacyjne (w tym Zenera), tunelowe, pojemnościowe, laserowe, luminescencyjne (świecące) itp. Do najczęściej stosowanych diod półprzewodnikowych można zaliczyć diody prostownicze.



Fot. 1. 16. Wygląd wybranych typów diod półprzewodnikowych



Rys. 1.17. Symbol diody



Rys. 1.18. Symbol diody Zenera

**Diody prostownicze** wykorzystuje się do prostowania napięć. Diody prostownicze mają napięcia przewodzenia o wartości 0,65...0,95 V, natomiast napięcia przebicia mają wartość od kilkudziesięciu do ponad 1000 V. Prądy przewodzenia, zależnie od przeznaczenia diody, mają wartość od kilkuset miliamperów do tysięcy amperów.

**Diody stabilizacyjne** stosuje się do stabilizowania napięcia, wykorzystując strome nachylenie ich charakterystyki wstecznej w zakresie przebicia. Diody stabilizacyjne mają taką samą charakterystykę w kierunku przewodzenia jak inne diody, natomiast nieco inną charakterystykę przy polaryzacji zaporowej. Po przekroczeniu pewnej wartości napięcia wstecznego, nazywanego napięciem stabilizacji, charakterystycznego dla danego typu diody, następuje gwałtowny przyrost prądu wstecznego przy prawie stałym napięciu. Przepływ prądu wstecznego ograniczonego do dopuszczalnej wartości nie powoduje zniszczenia diody stabilizacyjnej. Produkuje się diody stabilizacyjne o napięciu od około 3 do 200 V. Jako stabilizatory napięć niższych od 3 V stosuje się zwykle diody krzemowe połączone w kierunku przewodzenia. Łącząc szeregowo dwie diody, uzyskuje się napięcie około 1,4 V.

W diodach stabilizacyjnych wykorzystywane są dwa zjawiska, jakie mogą wystąpić podczas przebicia diody półprzewodnikowej:

- zjawisko Zenera (w diodach o napięciu stabilizacji do około 6...7 V),
- zjawisko powielania lawinowego (w diodach o napięciu stabilizacji powyżej 7 V).

**Diody pojemnościowe (warikapy)** charakteryzują się dużą i zmieniającą się pojemnością warstwy zaporowej. Diody pojemnościowe są tak skonstruowane, aby ta pojemność zmieniała się w szerokim zakresie wartości i w miarę liniowo w funkcji napięcia polaryzującego. Dzięki tym właściwościom diody pojemnościowe są stosowane w głowicach UKF odbiorników radiowych, tunerach TV itp. Wypierają one powietrzne kondensatory strojeniowe o zmiennej pojemności. Ponadto, diody pojemnościowe są stosowane w układach ARCz – automatycznej regulacji częstotliwości.

**Diody tunelowe** mają charakterystykę prądowo-napięciową w kierunku przewodzenia o kształcie N. Początkowo wraz ze wzrostem napięcia przewodzenia prąd narasta, a w zakresie napięcia przewodzenia od około 0,07 V do około 0,25 V prąd przewodzenia maleje i rezystancja dynamiczna diody (przyrostowa) jest ujemna (tzw. zjawisko rezystancji ujemnej). Dalej wraz ze wzrostem napięcia zwiększa się



Rys. 1.19. Symbol diody pojemnościowej



Rys. 1.20. Symbol diody tunelowej



Rys. 1.21. Symbol diody Schottky'ego

również natężenie prądu przewodzenia jak w zwykłych diodach. Diody tunelowe, kompensujące rezystancję strat obwodu rezonansowego, są stosowane w układach generacyjnych w.cz. dla sygnałów rzędu kilkuset megaherców.

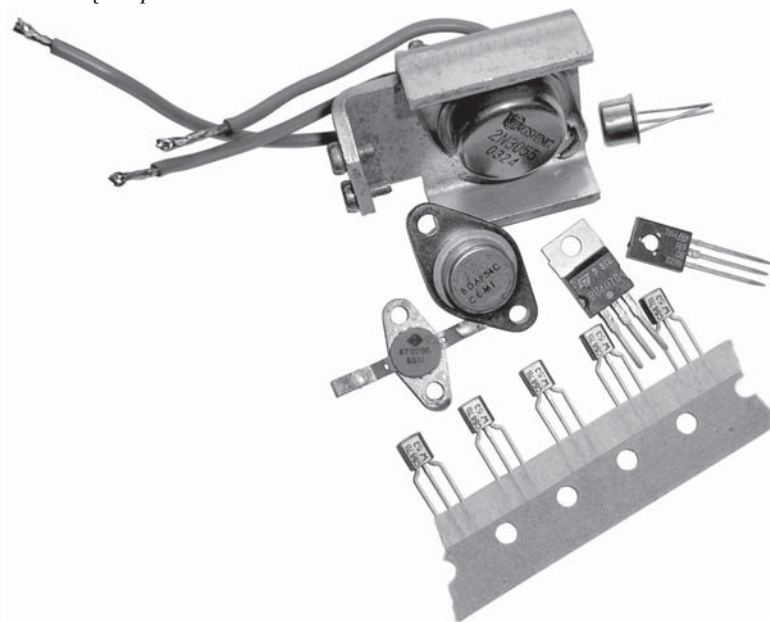
**Diody Schottky'ego** zamiast złącza  $p-n$  mają złącze metal-półprzewodnik, które też wykazuje właściwości prostownicze (przepuszczanie prądu w jednym kierunku). Czas przełączania diody (z kierunku przewodzenia do zaporowego, czyli wyłączenia) jest rzędu 100 ps. Oprócz tego diody Schottky'ego mają mniejsze napięcie przewodzenia niż diody krzemowe ( $U_F$  mieści się w przedziale 0,3 V...0,5 V). Najczęściej są stosowane jako szybkie klucze przełączające.

### Tranzystory

Pierwszy tranzystor skonstruowano w roku 1947 w Bell Telephone Laboratories. Wynalzcami byli John Bardeen, Walter Houser Brattain oraz William Bradford Shockley, za co otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w roku 1956. Wynalezienie tranzystora uważa się za przełom w elektronice, zastąpił on bowiem duże, zawodne lampy elektronowe, dając początek coraz większej miniaturyzacji przyrządów i urządzeń elektronicznych.

**Tranzystor** jest trójkońcówkowym elementem półprzewodnikowym, mającym zdolność *wzmacniania* sygnału elektrycznego. Tranzystory dzieli się na bipolarne i unipolarne. W tranzystorach bipolarnych przepływ prądu jest powodowany przez dwa rodzaje nośników ładunku elektrycznego: elektrony i dziury. W tranzystorach unipolarnych w przewodzeniu bierze udział tylko jeden rodzaj nośników.

**Tranzystor bipolarny** tworzą trzy, naprzemiennie ułożone warstwy półprzewodnika o różnym rodzaju przewodnictwa ( $n-p-n$  albo  $p-n-p$ ), na styku których powstają dwa złącza  $p-n$ .



Fot. 1.22. Wygląd wybranych typów tranzystorów



Tranzystor ma trzy końcówki przyłączone do warstw półprzewodnika, nazywane:

- emiter (E),
- baza (B),
- kolektor (C).

Sposób polaryzacji tych złączy określa konfigurację pracy tranzystora. Między warstwą emitera i bazą powstaje złącze emiter-baza (inaczej złącze emitera), a między bazą a kolektorem złącze kolektor-baza (inaczej złącze kolektora). W stanie normalnej pracy (wzmacnianie) złącze emiter-baza musi być spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze kolektor-baza w kierunku zaporowym. Z praktycznego punktu widzenia istotne są jeszcze stany:

- wyłączenie tranzystora (stan zatkania): złącza emitera i kolektora są spolaryzowane w kierunku zaporowym,
- włączenie (nasycenie): obydwie złącza są spolaryzowane w kierunku przewodzenia.

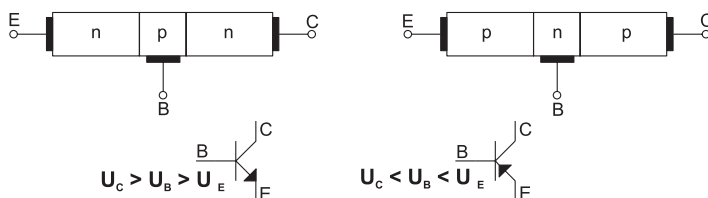
**Tranzystor polowy, tranzystor unipolarny (FET – Field Effect Transistor)** jest elementem wzmacniającym, w którym sterowanie przepływającym prądem odbywa się za pomocą pola elektrycznego. Jest to element trójkońcówkowy z elektrodami: źródła (S od angielskiej nazwy *source*), drenu (D – *drain*) i bramki (G – *gate*). Natężenie prądu płynącego między źródłem a drenem jest regulowane (sterowane) napięciem podawanym na bramkę względem źródła.

W tranzystorach polowych prąd bramki praktycznie nie płynie (jest rzędu mikro-, nanoamperów), dzięki temu elementy te charakteryzują się bardzo dużą rezystancją wejściową. Rozróżnia się dwa rodzaje tranzystorów polowych:

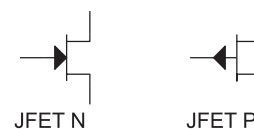
1. Złączowe (JFET, *Junction FET*) – regulacja prądu źródło-dren następuje wskutek zmian grubości warstwy przejściowej złącza spolaryzowanego zaporowo.

Rozróżnia się tranzystory ze złączem:

- *p-n* (PNFET),
  - metal-półprzewodnik (*MEtal-Semiconductor FET*, MESFET).
2. Z izolowaną bramką (IGFET, *Insulated Gate FET*) – bramka jest odizolowana od kanału warstwą dwutlenku krzemu. Tranzystory te określa się inaczej jako MISFET (*MEtal-Insulator-Semiconductor FET*), częściej MOSFET (*MEtal-Oxide-Semiconductor FET*) lub krócej MOS. Ze względu na rodzaj kanału tranzystory MOS dzieli się na:
    - tranzystory z kanałem zubożanym, w których przy braku napięcia bramka-źródło jest kanał łączący źródło z drenem (tranzystory z kanałem wbudowanym),



**Rys. 1.23.** Symbole tranzystorów *npn* i *pnp* oraz przykłady ich polaryzacji w zakresie aktywnym normalnej pracy



**Rys. 1.24.** Symbole tranzystorów JFET



Ze względu na sposób wykonania układy scalone dzieli się na:

- monolityczne, w których wszystkie elementy, zarówno czynne, jak i bierne, zrobione są w monokrystalicznej strukturze półprzewodnika. Monolityczne układy scalone mogą być wykonane w technologii bipolarnej i unipolarnej (MOS).
- hybrydowe, w których na płytce wykonane z izolatora nanoszone są warstwy przewodnika oraz materiału rezystywnego, które następnie są wytrawiane, tworząc układ połączeń elektrycznych oraz rezystory. Do tak utworzonych połączeń dołącza się indywidualne, miniaturowe elementy elektroniczne (w tym układy monolityczne).

Ze względu na grubość warstw różni się układy:

- cienkowarstwowe (warstwy ok. 2 mikrometrów),
- grubowarstwowe (warstwy od 5 do 50 mikrometrów).

W postaci układów scalonych są wykonywane zarówno układy analogowe (liniowe), jak i cyfrowe.

## 1.5. Termistory

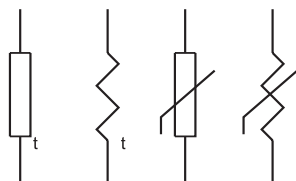
Termistorami nazwano elementy rezystancyjne, których rezystancja zależy bardzo silnie od temperatury. Rozróżnia się termistory o ujemnym i dodatnim temperaturowym współczynniku rezystancji.

Dla termistorów o ujemnym temperaturowym współczynniku rezystancji stosowane jest oznaczenie NTC (*Negative Temperature Coefficient*). Rezystancja tych termistorów zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Termistory o dodatnim temperaturowym współczynniku rezystancji oznaczają się PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Nazywa się je również *pozystorami*, gdyż wzrost temperatury powoduje zwiększanie się ich rezystancji.

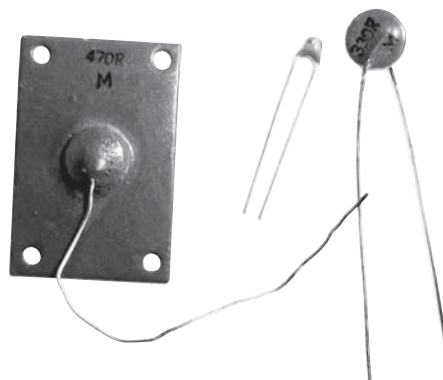
Kolejną grupą termistorów są elementy, których rezystancja zmienia się skokowo pod wpływem temperatury. Stosuje się dla nich oznaczenie CTR.

Termistory są wytwarzane z tlenków manganu lub z mieszanin tlenków manganu oraz tlenków innych metali: glinu, litu, kobaltu, miedzi, żelaza. Natomiast podstawowym materiałem do produkcji pozystorów PTC są związki tytanu i baru.

Rozmiary i kształty termistorów są związane z ich zastosowaniami. Termistory płytkowe (o większej powierzchni) mają większą moc i są używane w układach



Rys. 1.27. Symbole termistora



Fot. 1.28. Wygląd przykładowych termistorów

automatyki i sterowania. Natomiast miniaturowe są przeznaczone do urządzeń pomiarowych.

Jako parametry termistorów podaje się moc całkowitą  $P_{\text{tot}}$  i temperaturę otoczenia  $t_{\text{amb}}$ . Najważniejszymi parametrami charakterystycznymi są rezystancja nominalna  $R_{25}$  mierzona w temperaturze 25°C i temperaturowy współczynnik rezystancji  $\alpha_{25}$ .

#### Zastosowania

- czujniki temperatury w układach kompensujących zmiany parametrów obwodów przy zmianie temperatury, w układach zapobiegających nadmiernemu wzrostowi prądu, do pomiarów temperatury,
- elementy kompensujące zmianę oporności innych elementów elektronicznych, ograniczniki natężenia prądu (bezpieczniki elektroniczne), np. termistory typu CTR, wbudowane w akumulatory, zapobiegają ich uszkodzeniu w wyniku zwarcia lub zbyt szybkiego ładowania.

## 1.6. Warystory

Warystor jest elementem rezystancyjnym, którego rezystancja zmienia się pod wpływem doprowadzonego napięcia. Jeżeli napięcie się zwiększa, to rezystancja warystora maleje. Zależność spadku napięcia na warystorze od przepływającego przez niego prądu jest określona wzorem:

$$U = CI^B$$

gdzie  $C$  i  $B$  są stałymi zależnymi od materiału, z którego wykonano warystor, od jego technologii i rozmiarów.  $B$  nazywa się współczynnikiem nieliniowości. Jest on podawany w katalogach jako parametr charakterystyczny. Parametrem dopuszczalnym jest moc, która może być tracona w warystorze. Podstawowym parametrem jest napięcie charakterystyczne, czyli spadek napięcia na warystorze wywołany przepływem prądu o określonej wartości np. 1, 10, 100 mA. Napięcie to jest zależne od typu warystora i może mieć wartość od kilku do kilkuset woltów. Warystory produkowane są w kształcie walcowym, przypominającym zwykły rezystor, albo płytkowym, przypominającym kształtem kondensator. Materiałem, z którego produkuje się warystory, jest węgiel krzemu (SiC – karborund).

#### Zastosowania

- do zabezpieczania urządzeń elektronicznych przed przepięciami,
- do ograniczania napięcia i jego stabilizacji.

## 1.7. Elementy optoelektroniczne

Elementami optoelektrycznymi są nazywane elementy, w których następuje przetwarzanie energii promieniowania optycznego (przede wszystkim widzialnego i podczerwonego) w energię elektryczną lub odwrotnie – energii elektrycznej w promieniowanie optyczne. Elementy optoelektroniczne „wrażliwe” (fotoczule) na światło (fotodetektory) to: fototryistory, fotodiody i fototranzystory, natomiast świecące to diody elektroluminescencyjne.

### Fotodioda

Fotodioda jest to półprzewodnikowy element bierny ze złączem *p-n*. Brak polaryzacji w momencie oświetlenia półprzewodnika powoduje, że w złączu powstaje siła elektromotoryczna. Istotną zaletą fotodiod jest duża częstotliwość pracy. Mogą one przetwarzać sygnały świetlne o częstotliwości do kilkudziesięciu megaherców. Natomiast wadą jest dość silna zależność prądu fotodiody od temperatury.

### Zastosowania

- czujniki fotoelektryczne w automatyce,
- w układach zdalnego sterowania,
- w układach pomiarowych wielkości elektrycznych i nieelektrycznych np. do pomiaru odległości, stężeń i zanieczyszczeń roztworów, częstotliwości i amplitudy drgań, naprężeń itp.

### Fototranzystor

Fototranzystor jest półprzewodnikowym elementem trójwarstwowym *pnp* lub *npn*, czyli tranzystorem, w którym prąd kolektora  $I_c$  jest sterowany strumieniem światła padającego na bazę. W fototranzystorze zmiany strumienia świetlnego powodują znacznie większe zmiany prądu niż w fotodiodzie, ponieważ fototranzystor jest elementem wzmacniającym.

Fototranzystor umożliwia zatem modulację (zmianę) prądu za pomocą promieniowania świetlnego i jednocześnie za pomocą sygnałów elektrycznych, pod warunkiem że baza ma wyprowadzenie na zewnątrz obudowy tranzystora.

W porównaniu z fotodiodą fototranzystor ma dużo większą czułość, ale też większy prąd ciemny, większą bezwładność i większą zależność parametrów od temperatury.

### Zastosowania

- fotodetektory w transoptorach,
- czujniki fotoelektryczne w automatyce i układach pomiarowych.

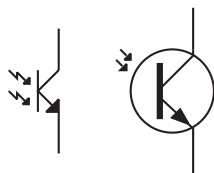
### Fototrystor

Fototrystorem nazywamy tyrystor umieszczony w specjalnej obudowie, umożliwiającej oddziaływanie promieniowania świetlnego na jego przełączanie ze stanu blokowania do przewodzenia.

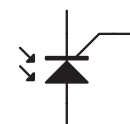
Im większe jest napięcie anoda–katoda fototryстора, tym energia promieniowania świetlnego potrzebna do przełączenia jest mniejsza. Istotną cechą fototryстора jest to, że po przełączeniu w stan przewodzenia utrzymuje się w nim nawet po zaniku



Rys. 1.29. Symbol fotodiody



Rys. 1.30. Symbol fototranzystora



Rys. 1.31. Symbol fototryстора

impulsu świetlnego. Wykonywane są przede wszystkim z krzemu i wykorzystywane jako np. przekaźniki fotoelektryczne.

### Fotorezystory

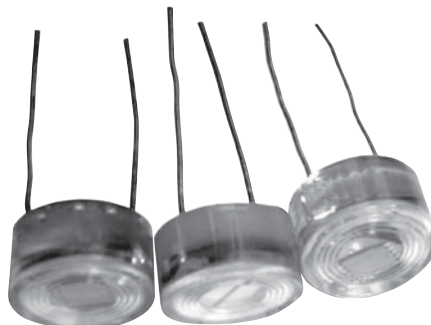
Rezystancja fotorezystora zmienia się pod wpływem padającego promieniowania i nie zależy od kierunku przyłożonego napięcia, podobnie jak rezystancja zwykłego rezystora. Oświetlenie fotorezystora powoduje zwiększenie przepływającego prądu (zmniejsza się jego rezystancja).

Fotorezystory wykonuje się najczęściej w postaci cienkich półprzewodnikowych warstw monokrystalicznych lub polikrystalicznych naniesionych na izolacyjne (np.



Rys. 1.32. Symbol fotorezystora

szklane) podłoże. Materiał światłoczuły jest między metalowymi elektrodami, które mają zazwyczaj kształt grzebieniowy. Nad powierzchnią światłoczułą umieszcza się okienko.



Fot. 1.33. Wygląd typowych fotorezystorów

### Zastosowania

- wykrywanie i ostrzeżenie w systemach przeciwpożarowych,
- pomiar natężenia otaczającego światła,
- wykrywanie zanieczyszczeń rzek i zbiorników wodnych.

### Diody elektroluminescencyjne (LED)

**Diody elektroluminescencyjne**, zwane diodami świecącymi (LED – *Light Emitting Diode*), emitują promieniowanie w zakresie widzialnym i podczerwonym. Promieniowanie jest wytwarzane w wyniku rekombinacji promienistej dziur i elektronów, jaka zachodzi w złączu *p-n* diody półprzewodnikowej spolaryzowanej w kierunku przewodzenia. Intensywność świecenia zależy od wartości doprowadzonego prądu, przy czym zależność ta jest liniowa w dużym zakresie zmian prądu.



**Rys. 1.34.** Symbol diody LED

Diody elektroluminescencyjne są wytwarzane ze złożonych materiałów półprzewodnikowych, otrzymywanych z pierwiastków z III i V grupy układu okresowego, np. GaAs, GaP, GaAsP, o odpowiednim domieszkowaniu. Barwa promieniowania emitowanego przez diody LED zależy od materiału i jego domieszkowania. Diody emitują promieniowanie o barwach: niebieskiej, żółtej, zielonej, pomarańczowej, czerwonej.

Obudowy, metalowe lub z tworzyw sztucznych, są zamknięte soczewkami z tworzyw sztucznych, formującymi wiązkę promieniowania. Pozwalają one uzyskać optymalny kształt charakterystyki kątowej promieniowania, z przestrzennym rozkładem natężenia promieniowania względem osi optycznej.

Zalety diod elektroluminescencyjnych:

- mały pobór prądu,
- mała wartość napięcia zasilającego,
- duża sprawność,
- mała moc strat,
- małe rozmiary,
- duża trwałość,
- duża wartość luminacji.

### Zastosowania

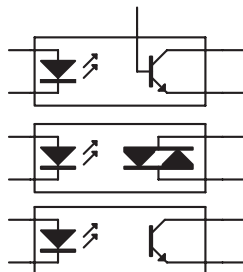
Diody elektroluminescencyjne są najbardziej rozpowszechnionymi elementami optoelektronicznymi. Stosuje się je jako:

- sygnalizatory włączenia lub sygnalizatory określonego stanu pracy urządzeń elektrycznych, takich jak sprzęt radiowo-telewizyjny i aparatura pomiarowa,
- wskaźniki w windach i telefonach,
- elementy podświetlające przełączniki i skale,
- wskaźniki poziomu cieczy, np. paliwa, oleju, wody w samochodzie,
- wskaźniki poziomu dostrojenia sygnału itp. w przyrządach pomiarowych oraz w sprzęcie powszechnego użytku.

Diody elektroluminescencyjne, które emitują promieniowanie podczerwone, wykorzystuje się w łączach światłowodowych, a także w urządzeniach zdalnego sterowania np. w urządzeniach alarmowych i w pilotach do urządzeń RTV.

### Transoptory

Fotodetektory możemy sprzęgać z diodami elektroluminescencyjnymi w celu przesłania sygnałów na drodze optycznej. W ten sposób jest możliwe przekazywanie sygnałów z jednego układu do drugiego, przy ich galwanicznym odseparowaniu. Tak powstały przyrząd nazywamy transoptorem.



Rys. 1.35. Przykładowe symbole transoptorów

Transoptor jest więc półprzewodnikowym elementem optoelektronicznym, składającym się z fotoemitera i fotodetektora, umieszczonych we wspólnej obudowie.

Transoptor może być:

- zamknięty – transmisja promieniowania między diodą i fotodetektorem następuje za pomocą światłowodu,
- otwarty – transmisja promieniowania między diodą i fotodetektorem następuje w powietrzu.

W transoptorze rolę fotoemitera w obwodzie wejściowym spełnia zwykle dioda elektroluminescencyjna. Na wyjściu transoptora może znajdować się fotodioda lub fototranzystor.

#### Zastosowania

- do galwanicznego rozdzielania obwodów, np. w technice wysokich napięć,
- w technice pomiarowej i automatyce,
- w sprzęcie telekomunikacyjnym i komputerowym.

Transoptory spełniają również rolę potencjometrów bezstykowych oraz przekaźników optoelektronicznych, wykorzystywanych do budowy klawiatury kalkulatorów i komputerów.

W układach sygnalizacyjnych i zabezpieczających są stosowane jako:

- wyłączniki krańcowe,
- czujniki otworów,
- czujniki położenia, wskaźniki poziomu cieczy.

## 1.8. Przetworniki elektroakustyczne

Głośniki to urządzenia elektromagnetyczne przekształcające sygnał elektryczny w falę akustyczną. Zakres częstotliwości, w którym głośnik wytwarza falę ciśnienia proporcjonalnie do napięcia (z dopuszczalnym odchyleniem), nazywa się pasmem przenoszenia głośnika. Pierwszy głośnik magnetoelektryczny, nazywany powszechnie głośnikiem dynamicznym, skonstruował w 1924 roku C.W. Rice i E.W. Kellogg (USA).

Ze względu na zastosowania głośniki możemy podzielić na:

- uniwersalne,
- do zestawów głośnikowych (kolumn).





Rys. 1.36. Symbole głośników



Fot. 1.37. Wygląd typowych głośników miniaturowych

Ze względu na zakres przenoszonych częstotliwości głośniki dzielimy na:

- niskotonowe,
- średniotonowe,
- wysokotonowe.

W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego głośniki dzielimy na:

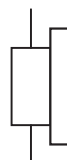
- magnetoelektryczne o ruchomej cewce (dynamiczne),
- elektromagnetyczne,
- piezoelektryczne,
- pojemnościowe.

Podstawowe parametry głośnika:

- *moc znamionowa głośnika* – jest to wartość mocy elektrycznej pozornej, którą głośnik może być obciążony w sposób ciągły bez zauważalnych uszkodzeń mechanicznych i nadmiernych zniekształceń dźwięku.
- *moc muzyczna głośnika* – moc ta jest liczbowo większa o 20...100% od mocy znamionowej głośnika, zależnie od jego rodzaju i konstrukcji. Moc muzyczna jest określana przy przebiegu sinusoidalnym o częstotliwości 250 Hz i mniejszej, włączanym na krótkie okresy (do 2 sekund). Wartość mocy muzycznej odpowiada mocy takiego sygnału, przy której nie pojawiają się sygnały nieprawidłowej pracy głośnika.
- *impedancja znamionowa głośnika* – najmniejsza wartość impedancji przy częstotliwości leżącej powyżej rezonansu mechanicznego układu drgającego. Oblicza się ją dla tej częstotliwości jako stosunek napięcia doprowadzonego do cewki drgającej głośnika do natężenia prądu płynącego przez cewkę. W głośniku magnetoelektrycznym o ruchomej cewce impedancja cewki jest około 25% większa niż jej rezystancja. Jeżeli więc rezystancja cewki jest równa  $4 \Omega$  (dla prądu stałego), wówczas możemy przyjąć impedancję cewki równą około  $5 \Omega$ . Impedancja cewki zmienia się wraz z częstotliwością.
- *częstotliwość rezonansu mechanicznego głośnika* – najmniejsza częstotliwość, przy której impedancja głośnika osiąga swoje pierwsze maksimum, licząc w kierunku częstotliwości rosnących.
- *częstotliwość graniczna głośnika*:
  - a) *częstotliwość graniczna dolna* – częstotliwość rezonansu mechanicznego badanego głośnika,

- b) *częstotliwość graniczna górna* – częstotliwość, przy której ciśnienie akustyczne wytwarzane przez głośnik spada o 10 dB poniżej średniej wartości ciśnienia akustycznego w środkowej części pasma przenoszenia głośnika.
- *charakterystyka przenoszenia głośnika* – (charakterystyka częstotliwościowa, charakterystyka przetwarzania) jest zależnością względnego ciśnienia akustycznego mierzonego na osi głośnika w określonej odległości od niego w funkcji częstotliwości przy stałej wartości amplitudy napięcia sinusoidalnego. Użyteczne pasmo przenoszenia głośnika określa się jako pasmo wyznaczone częstotliwością rezonansową głośnika i górną częstotliwością graniczną.

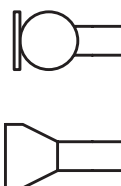
W niektórych aplikacjach alternatywą dla głośników są słuchawki. Są to urządzenia przetwarzające energię elektryczną na energię akustyczną o stosunkowo niewielkiej mocy. Moc przetwarzanego sygnału może być niewielka, rzędu kilkunastu miliwatów. Dla porównania głośniki zwykle potrzebują dostarczenia mocy większej od 0,25 W.



Rys. 1.38. Symbol słuchawki

## 1.9. Mikrofony

Mikrofon to urządzenie służące do przetwarzania fal dźwiękowych (energii akustycznej) na energię elektryczną. Mikrofon przemienia drgania akustyczne powietrza, wywołane przez mowę, śpiew, muzykę, na odpowiednie zmiany natężenia prądu lub napięcia.



Rys. 1.39. Symbole mikrofonów

W zależności od zasady działania rozróżnia się następujące typy mikrofonów:

- *Stykowe (węglowe)* – działają na zasadzie zmiany rezystancji proszku węglowego pod naciskiem membrany. Mikrofony węglowe przetwarzają tylko sygnały w wąskim paśmie częstotliwości akustycznych od 200 do 4000 Hz. Mikrofony węglowe nie nadają się do przenoszenia muzyki. Były powszechnie stosowane w aparatach telefonicznych starego typu.
- *Pojemnościowe* działają na zasadzie zmiany pojemności elektrycznej kondensatora o specjalnej konstrukcji pod wpływem zmiennego ciśnienia akustycznego; mają bardzo lekką membranę i małe wymiary. Zalety tych mikrofonów to: bardzo szerokie pasmo przenoszenia, mała nierównomierność charakterystyki

częstotliwościowej, dobra charakterystyka kierunkowa, duża skuteczność, małe zniekształcenia, mała wrażliwość na wstrząsy.

Mikrofon pojemnościowy jest mikrofonem ciśnieniowym. Mikrofon ten ma płaską (równomierną) charakterystykę przenoszenia w zakresie od 40 do 15 000 Hz.

- *Elektretowe* należą do grupy mikrofonów pojemnościowych, w których jako membranę zastosowano folię elektretową. Użycie folii pozwoliło na znaczne obniżenie napięcia zasilającego mikrofon. Zaletą mikrofonu elektretowego jest wyeliminowanie źródła napięcia polaryzującego, bardzo małe wymiary, mała wrażliwość na wstrząsy mechaniczne, szerokie pasmo przenoszenia. Mikrofony te są stosowane w rozwiązaniach amatorskich i w sprzęcie powszechnego użytku.
- *Piezoelektryczne* – odznaczają się dużą wiernością odtwarzania, mogą pracować w szerokim zakresie częstotliwości (do 18 kHz). Ich zaletą są małe wymiary oraz niewielki koszt. Wadą tych mikrofonów jest wrażliwość na wpływy atmosferyczne i duża pojemność własna.
- *Dynamiczne* – w mikrofonie dynamicznym w polu magnesu trwałego porusza się cewka połączona z membraną. Pod względem budowy mikrofony dynamiczne podobne są do głośników dynamicznych, z tym że są wielokrotnie mniejsze. Średnica membrany nie przekracza 40 mm, a membrana wykonana jest zazwyczaj z folii tworzywa sztucznego. Mikrofony dynamiczne wiernie odtwarzają dźwięki o częstotliwości od 30 Hz do 10 kHz. Rezystancja wewnętrzna mikrofonu jest nieduża i mieści się w zakresie od kilkudziesięciu omów do kilkuset omów. Mikrofony te bardzo często wymagają zastosowania transformatorów, których zadaniem jest dopasowanie rezystancji mikrofonu do rezystancji wejściowej wzmacniacza.

### Parametry mikrofonów

- *Skuteczność* jest to stosunek napięcia elektrycznego skutecznego, indukowanego między końcówkami mikrofonu, do wartości skutecznej ciśnienia akustycznego  $p$  na jego membranę przy stałej częstotliwości:

$$S = \frac{U}{p} \left[ \frac{\text{mV}}{\mu\text{b}} \right]$$

gdzie:

$S$  – skuteczność mikrofonu

$U$  – napięcie wyjściowe

$p$  – ciśnienie akustyczne

Skuteczność mikrofonu wynosząca 0,1 mV/ $\mu\text{b}$  oznacza, że na jego wyjściu otrzymuje się napięcie 0,1 mV przy dźwięku, który wywołuje ciśnienie akustyczne działające na mikrofon równe 1  $\mu\text{b}$ .

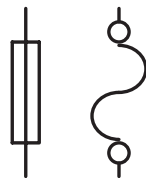
- *Charakterystyka przenoszenia* określa zdolność mikrofonu do przetworzenia sygnału akustycznego na sygnał elektryczny tak, aby wartości amplitud obu sygnałów były proporcjonalne w całym częstotliwościowym paśmie przenoszenia sygnałów. Charakterystyka przenoszenia powinna być maksymalnie płaska.

- *Charakterystyka kierunkowości* mikrofonu jest zależnością skuteczności mikrofonu przy danej częstotliwości od kąta, pod jakim pada na mikrofon fala dźwiękowa. Inaczej mówiąc, przedstawia diagram linii oznaczających, z jakiego kierunku wykorzystamy czułość mikrofonu. W zależności od mikrofonu, uzyskać możemy następujące charakterystyki: dookólną, nerkową, supernerkową, ósemkową. Nazwy te pochodzą od kształtów diagramów. Przykładowo mikrofon o charakterystyce dookólnej zarejestruje jednolicie każdy dźwięk pochodzący z każdego kierunku.
- *Impedancja wyjściowa* jest to impedancja cewki drgającej lub innego układu wyjściowego (np. transformatora mikrofonowego) mierzona na zaciskach wyjściowych mikrofonu przy danej częstotliwości.

## 1.10. Osprzęt elektroniczny

### Bezpieczniki

W sprzęcie elektronicznym powszechnego użytku najczęściej stosuje się bezpieczniki topikowe, w których następuje przerwanie obwodu elektrycznego wskutek stopienia drutu po przekroczeniu wartości dopuszczalnego prądu. Wkładką topikową jest najczęściej rurka szklana zamknięta z obydwu stron metalowymi kapturkami. Wewnątrz rurki znajduje się drut łączący kapturki, zwany topikiem. Takie druty wykonuje się z wolframu, srebra lub chromonikieliny. Często wewnątrz rurki szklanej umieszcza się piasek, którego zadaniem jest gaszenie powstającego łuku elektrycznego.



Rys. 1.40. Najczęściej stosowane symbole bezpieczników

Bezpieczniki topikowe możemy podzielić na:

- *Bezpieczniki topikowe szybkie* – wewnątrz rurki szklanej mają tylko drut, który topi się pod wpływem ciepła. Najczęściej są stosowane w obwodach sieciowych, gdzie duży prąd występuje tylko w przypadku awarii, np. po pierwotnej stronie transformatora.
- *Bezpieczniki topikowe zwłoczne* – jak sama nazwa wskazuje, potrzebują więcej czasu od momentu wystąpienia przeciążenia do chwili wyłączenia prądu. Wewnątrz stosuje się druty z naniesionym stopem cynowo-ołowiowym, czasami z dodatkowym grzejnikiem (wewnątrz znajduje się spiralka z drutu oporowego). Ciepło dostarczane przez drut lub grzejnik powoduje roztopienie kropli lutownia i przerwanie obwodu elektrycznego. W bezpiecznikach tego rodzaju bardzo często stosuje się piasek kwarcowy do szybkiego gaszenia łuku elektrycznego. Bezpieczniki zwłoczne stosuje się wszędzie tam, gdzie przy włączeniu płynie chwilowo duży prąd (np. przy włączaniu silników elektrycznych czy ładowa-

niu kondensatorów elektrolitycznych w zasilaczach), a następnie prąd maleje do wartości ustalonej. Bezpiecznik szybki w takim miejscu uległby spaleni.

Bezpieczniki charakteryzują się następującymi parametrami:

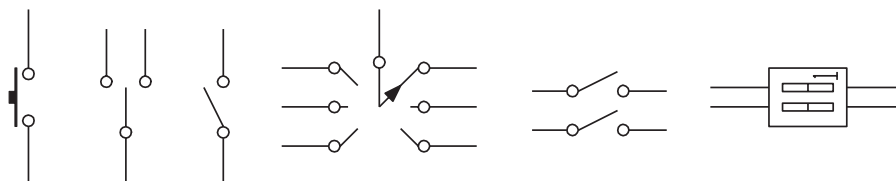
- *Prąd znamionowy* – maksymalny prąd, przy którym bezpiecznik nie powinien zadziałać,
- *Napięcie znamionowe* – maksymalne napięcie, które bezpiecznik może wyłączyć bez powstania niegasnącego łuku elektrycznego.

Bezpieczniki topikowe są wytwarzane według następującego szeregu wartości prądu znamionowego: 32 mA; 40 mA; 50 mA; 63 mA; 80 mA; 100 mA; 125 mA; 160 mA; 200 mA; 250 mA; 315 mA; 400 mA; 500 mA; 630 mA; 800 mA; 1 A; 1,25 A; 1,6 A; 2 A; 2,5 A; 4 A; 5 A, 6,3 A.

Bezpieczników nie należy naprawiać, a spalony trzeba wymienić na nowy, tego samego typu i o tym samym prądzie znamionowym. Wymiany bezpieczników (każdego typu) przeprowadza się zawsze przy wyłączonym napięciu zasilającym.

### Przełączniki

Przełączniki to ogólna nazwa elementów służących do ręcznego łączenia obwodów elektrycznych. Dzieli się je na grupy w zależności od sposobu pracy i budowy.



Rys. 1.41. Symbole przełączników różnego rodzaju

Ze względu na konstrukcję mechaniczną rozróżnia się przełączniki:

- Przełączniki przechylne (dźwigienkowe) – wymagają zwykle znacznej siły do przełączania oraz odznaczają się dużym skokiem.
- Przełączniki suwakowe – nie mają równie jednoznacznych położeń jak dźwigienkowe. Używa się ich w obwodach niskonapięciowych i niskoprądowych.
- Mikroprzełączniki – w konstrukcji mikroprzełącznika zastosowano płytkę sprężystą dołączoną do styku ruchomego, która może przyjmować tylko dwa położenia skrajne, przemieszczając wraz ze sobą styk. Każde położenie pośrednie jest niestabilne. Dzięki temu uzyskuje się dokładne i jednoznaczne położenie robocze styku. Czas przełączania jest bardzo krótki.

Ze względu na sposób działania przełączniki dzielimy na:

- Zwykle – przełączane z szybkością np. wciskanego przycisku, przechylanej dźwigni.
- Błyskawiczne – przełączane sprężyną napinaną przez wciskany klawisz. Stosowane do włączania i wyłączania napięć zasilających, gdzie przy powolnym przełączaniu mógłby powstać łuk elektryczny.

Ze względu na sposób pracy rozróżnia się przełączniki:

- dwustabilne – przełączniki dwustabilne dzieli się na przełączniki niezależne tzn. takie, których stan nie zależy od innych przełączników oraz współzależne, zwalniane przez wciśnięcie innego przełącznika;

- chwilowe, o jednym położeniu stabilnym, do którego powracają, jeśli nie są podtrzymywane.

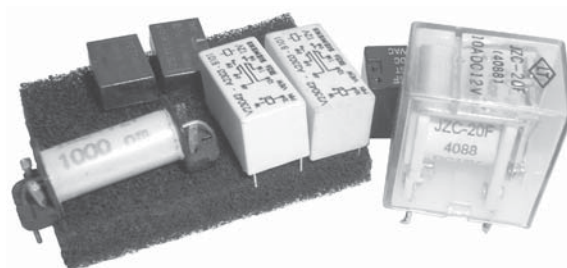
Każdy rodzaj przełącznika ma swoje przeznaczenie i należy pamiętać, że może być łatwo uszkodzony przy przeciążeniu styków za dużym prądem. W przypadku zbyt dużego napięcia w przełączniku może nastąpić przebicie. Podstawowymi parametrami przełączników są: maksymalne napięcie robocze oraz maksymalny prąd przewodzenia i łączenia.

W urządzeniach elektronicznych przełączniki stosujemy do:

- włączania i wyłączania prądu lub napięcia,
- przełączania zakresów przyrządów pomiarowych wielozakresowych,
- przełączania podzakresów w odbiornikach radiowych,
- sterowania układami elektronicznymi.

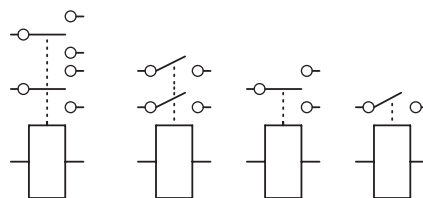
### Przełączniki

Przełączniki są to przełączniki sterowane sygnałem elektrycznym. Pomimo dużych zalet diod i tranzystorów zapewniających bardzo szybkie i bezstykowe przełączanie, w układach elektronicznych nie można zrezygnować z mechanicznych elementów przełączających.



Fot. 1.42. Wygląd kilku popularnych typów przełączników

Przełączniki przede wszystkim wykorzystuje się do sterowania obwodami wysokoprądowymi i wysokonapięciowymi. Przełącznik składa się z zestawu styków (kontaktów), które są przełączane pod wpływem pola magnetycznego wytwarzanego w cewce magnetycznej. Cewka taka jest zasilana ze źródła prądu i sterowana poprzez włącznik ręczny lub tranzystor. Włącznik może być umieszczony w dowolnej odległości od cewki przełącznika i połączony z nim przewodami.



Rys. 1.43. Symbole kilku rodzajów przełączników

### Kontaktrony

Zwykle przełączniki są narażone na działanie kurzu, wilgoci i korozji. Z tego względu, w celu zapewnienia dużej niezawodności i trwałości, zestyki (dwa płaskie ję-

zyczki metalowe wykonane ze stopu żelazowo-niklowego) umieszcza się w rurce szklanej wypełnionej gazem obojętnym. Jest to najczęściej mieszanina azotu i wodoru, zapobiegająca iskrzeniu i wypalaniu zestyków. Przekładniki takie nazywa się kontaktronami lub przekładnikami hermetycznymi.

W układach elektronicznych przekładniki stosuje się do:

- zastąpienia włącznika ręcznego,
- wykonywania przełączeń dużych prądów przy małej mocy sterowania cewką.

### Żarówki

Żarówki miniaturowe o niewielkiej mocy mają wiele zastosowań w urządzeniach elektronicznych, przede wszystkim są wykorzystywane jako elementy sygnalizacyjne. Ostatnio zaczynają być wypierane przez diody LED, lecz miniaturowe żarówki są nadal prostsze i tańsze w produkcji.



Rys. 1.44. Symbol żarówki



Fot. 1.45. Wygląd kilku popularnych typów żarówek

Najczęściej stosowane w gospodarstwie domowym są żarówki z gwintem o oznaczeniach: E5,5, E6, E10, E14, E27, gdzie cyfry oznaczają zewnętrzną średnicę gwintu w milimetrach. Żarówki z trzonkiem bagnetowym oznaczają się BA7, BA9s, BA15s i są one używane raczej w zastosowaniach profesjonalnych.

W urządzeniach elektronicznych żarówki stosuje się do:

- optycznych wskaźników przepływu prądu,
- sygnalizacji stanu pracy,
- podświetlania wyświetlaczy.

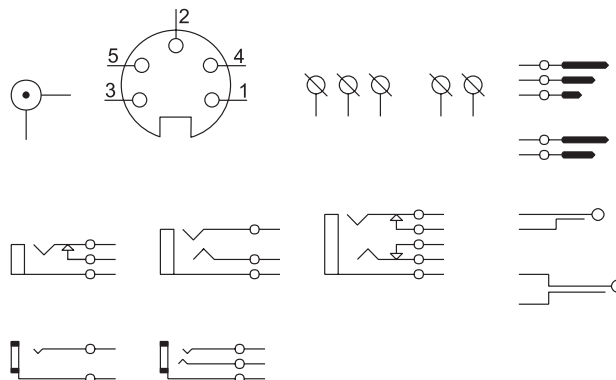
### Gniazda i wtyki

W sprzęcie elektronicznym powszechnego użytku stosuje się wiele różnych rodzajów gniazd i wtyków służących do łączenia urządzeń za pomocą kabli. Gniazda zazwyczaj zamontowane są w urządzeniach, a wtyki stanowią zakończenia kabli.

## 1.11. Chemiczne źródła zasilania

Chemiczne źródła zasilania dzieli się na:

- źródła pierwotne (ogniwa), które dostarczają energii elektrycznej w wyniku reakcji chemicznych zużywających ich elementy i składniki chemiczne w sposób nieodwracalny – są źródłami jednorazowego użytku,
- źródła wtórne (akumulatory), które oddają energię dostarczoną im w czasie procesu ładowania.



**Rys. 1.46.** Symbole złączy różnego typu

Do grupy ogniw pierwotnych zalicza się:

- ogniwa cynkowo-węglowe,
- ogniwa alkaliczne,
- ogniwa tlenkowo-srebrowe,
- ogniwa rtęciowe,
- ogniwa litowe,
- ogniwa cynkowo-powietrzne.

Najczęściej spotykanym źródłem pierwotnym są ogniwa kubkowe cynkowo-węglowe. Ogniwo takie składa się z kubka cynkowego, będącego jednocześnie jego obudową i elektrodą ujemną, elektrody dodatniej w postaci pałeczki węglowej zakończonej kontaktem mosiężnym, włożonej w woreczek z depolaryzatorem oraz elektrolitu. Depolaryzator ma za zadanie wiązanie wodoru wydzielanego podczas rozładowywania ogniwa i powodującego zmniejszenie się siły elektromotorycznej. Elektrolitem jest wodny roztwór chlorku amonu (salmiak) z dodatkiem innych soli, natomiast depolaryzatorem jest dwutlenek manganu  $MnO_2$  (braunsztyt).

Inną budowę mają ogniwa alkaliczne, które są zamknięte w obudowie stalowej, stanowiącej elektrodę dodatnią. Elektrodą ujemną jest pręcik stalowy włożony do woreczka z opilkami cynkowymi. Pozostałą przestrzeń wypełnia depolaryzator z grafitem. Elektrolitem jest wodorotlenek potasu (KOH).



**Fot. 1.47.** Wygląd kilku popularnych typów ogniw chemicznych



**Rys. 1.48.** Symbol baterii dwóch ogniw połączonych szeregowo



Do grupy ogniw wtórnych zalicza się:

- akumulatory ołowiowe (kwasowe),
- akumulatory niklowo-kadmowe NiCd,
- akumulatory niklowo-metaliczno-wodorkowe NiMH,
- akumulatory litowo-jonowe Li-Ion.

Akumulatory niklowo-kadmowe charakteryzują się dużą gęstością zgromadzonej energii, możliwością poboru dużych prądów, długim czasem funkcjonowania i dużą liczbą cykli ładowania i rozładowania. Ogniwo jest zbudowane z kadmowej elektrody ujemnej i niklowej dodatniej. Elektrolitem jest wodny roztwór wodorotlenku potasu. W celu zapobieżenia zwarcia, elektrody są przedzielone porowatym separatorem, wykonanym najczęściej z tworzywa sztucznego. Akumulatory NiCd zawierają szkodliwy kadm!

Akumulatory niklowo-metaliczno-wodorkowe charakteryzują się najwyższą gęstością energii z ogniw używanych w sprzęcie powszechnego użytku. Płytką niklową jest elektrodą dodatnią, a ujemną specjalny stop metali ziem rzadkich, niklu, manganu, magnezu, aluminium i kobaltu. Akumulatory NiMH nie zawierają metali ciężkich, zanieczyszczających otoczenie.