

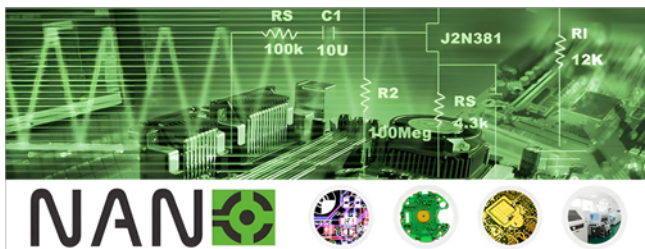
# **PORADNIK PROJEKTANTA PCB**

## **Przewodnik po komponentach elektronicznych**

**(Część I)**

## Nanotech Elektronik jest profesjonalnym producentem elektroniki

- Obwody drukowane
- Komponenty elektroniczne
- Montaż SMT i THT
- Projektowanie urządzeń
- Prototypy
- Serie produkcyjne



### Nasze możliwości technologiczne w zakresie montażu

Produkcja i montaż obwodów drukowanych	
Minimalna ilość zamówienia	od 1 sztuki
Maksymalny rozmiar PCB (X x Y)	automatyczny montaż SMT - 610 mm x 510 mm; montaż THT - bez ograniczeń
Minimalny rozmiar PCB (X x Y)	automatyczny montaż SMT - 50 mm x 50 mm; montaż THT - bez ograniczeń
Montaż podzespołów SMD	
Zakres rozmiarów podzespołów	0,4 mm x 0,2 mm (01005) do 45 mm x 100 mm
Wysokość podzespołów (maks)	15 mm
Rodzaje podzespołów	Chips: 01005, 0201, 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 1812, 2010, 2225, 2512 IC: PLCC18-PLCC84, LCC20-LCC84, SO, HSOP, SOJ18-SOJ44, MSOP8-MSOP10, SSOP8-SSOP64, HSOP20-HSOP44, TSSOP8-TSSOP80, TSOP28-TSOP56, TQFP32-TQFP176, LQFP32-LQFP256, QFP44-QFP304, CSP40-CSP56 (0,5), BGA46-BGA100 (0,75-0,8), LBGA48-LBGA280 (0,75-0,8), BGA81-BGA324 (1,0) up to LBGA1936 (1,0), BGA208(1,27) up to LBGA1225(1,27), BGA169 (1,5) up to LBGA 400, CBGA121 - CBGA1089
Dokładność montażu (X, Y)	50µm for chips 01005, 0201, 0402
	75µm for chips > 0402, SOIC
	30µm for QFPs

Jakość produktu jest zapewniona przez wielopoziomowy system kontroli na każdym etapie cyklu produkcyjnego. Wyprodukowany produkt będzie w pełni zgodny z dostarczonymi wymaganiami technicznymi i normami międzynarodowego stowarzyszenia producentów elektroniki (IPC).

# Spis treści

## Część I

- 1. Podstawowe informacje o komponentach elektronicznych**
  - 1.1 Klasyfikacja komponentów elektronicznych
  - 1.2 Rodzaje obudów komponentów elektronicznych
  - 1.3 Metody pakowania komponentów elektronicznych
  - 1.4 Struktura nazw komponentów (Part Number)
  - 1.5 Normy Pro-electron/EECA, JEDEC, JIS dotyczące nazewnictwa komponentów i ich obudów
  - 1.6 Szeregi E wartości rezystancji i pojemności
  - 1.7 Normy i wymagania branży motoryzacyjnej (Automotive)
- 2. Elementy pasywne**
  - 2.1 Rezystory
  - 2.2 Typy rezystorów
  - 2.3 Szczegóły zastosowania oraz dobór zamienników dla różnych typów rezystorów
  - 2.4 Kondensatory
  - 2.5 Główne parametry kondensatorów
  - 2.6 Typy kondensatorów
  - 2.7 Szczegóły zastosowania oraz dobór zamienników dla różnych typów kondensatorów

## Część II

- 2.8 Cewki indukcyjne, dławiki, komponenty EMI/EMC
  - 2.9 Transformatory
  - 2.10 Kwarce, filtry i rezonatory
  - 2.11 Bezpieczniki
  - 2.12 Pozostałe elementy pasywne
- 3. Elementy aktywne**
  - 3.1 Diody
  - 3.2 Tranzystory
  - 3.3 Układy scalone
  - 3.4 Pozostałe elementy aktywne

#### 4. Elementy optoelektroniczne

- 4.1 Diody LED
- 4.2 Optoizolatory
- 4.3 Wyświetlacze
- 4.4 Fotelementy
- 4.5 Pozostałe elementy optoelektroniczne

#### 5. Elementy elektromechaniczne

- 5.1 Złącza
- 5.2 Przekazniki
- 5.3 Przyciski i przełączniki
- 5.4 Przewody i kable
- 5.5 Pozostałe elementy elektromechaniczne

### Kontakty

W razie jakichkolwiek pytań zachęcamy do kontaktu z nami. Dzięki temu zawsze uzyskają Państwo wyczerpujące informacje zarówno w zakresie projektowania i konstrukcji obwodów, jak również praktyczne informacje określające czas wykonania i dostawy produktów. Zawsze chętnie i z przyjemnością dzielimy się naszą wiedzą oraz doświadczeniem, a także dbamy o najwyższą jakość wykonywanych przez nas projektów, co może potwierdzić grono naszych klientów w Polsce i poza granicami kraju.

Bardzo chętnie przygotowujemy szczegółowy kosztorys produkcji obwodów drukowanych, zakupu komponentów elektronicznych, prac montażowych, polegających na obsadzeniu komponentów na płytach PCB i innych dodatkowych prac. Dzięki temu będą Państwo mogli po przesłaniu do nas dokumentacji technicznej projektu poznać koszt produkcji zarówno pierwszej partii prototypowej, jak i koszt produkcji seryjnej.

Można też skontaktować się z nami telefonicznie pod numerem **+48 338 338 338** lub napisać do nas na adres e-mail: [biuro@nanotech-elektronik.pl](mailto:biuro@nanotech-elektronik.pl) (polska obsługa) lub [office@nanotech-elektronik.com](mailto:office@nanotech-elektronik.com) (w językach angielskim i niemieckim).

Z poważaniem,  
Zespół Nanotech Elektronik Sp. z o.o.

## 1. Podstawowe informacje o komponentach elektronicznych

**Komponent elektroniczny** (podzespół elektroniczny, element elektroniczny) to część układu elektronicznego, która pełni określoną funkcję i ma odrębną obudowę.

**Układ elektroniczny** to zbiór podzespołów (elementy elektroniczne, elementy łączące, elementy mechaniczne) połączonych zgodnie ze schematem elektrycznym w taki sposób, aby móc realizować konkretne zadanie poprzez manipulowanie sygnałami elektrycznymi i ich parametrami, takimi jak prąd, napięcie, częstotliwość itp.

**Schemat elektryczny** (schemat ideowy) to rysunek zawierający symbole graficzne elementów elektronicznych i połączeń między nimi.

Elementami łączącymi w ramach układu elektronicznego są poszczególne komponenty elektroniczne, zwykle występują jako przewody oraz przewodniki miedziane (ścieżki) na płytce drukowanej.

**Obwód drukowany** (płytką PCB - Printed Circuit Board) to sztywne (lub rzadziej giętkie) podłoże z dielektryku, z połączeniami elektrycznymi (ścieżki i otwory metalizowane, czyli przelotki) i punktami lutowniczymi (pady, czyli obszary do których są przylutowywane wyprowadzenia komponentów elektronicznych).



### 1.1 Klasyfikacja elementów elektronicznych

Komponenty elektroniczne można podzielić na trzy główne kategorie:




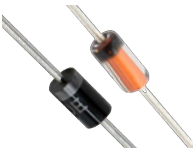

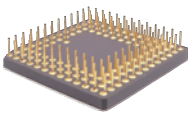

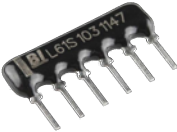


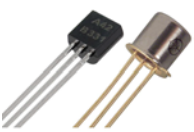

- **Komponenty aktywne (czynne)** – są to elementy układu elektrycznego, które w obecności źródła energii mogą wzmacniać sygnały elektryczne, sterować napięciem oraz prądem i przełączać sygnały. Charakterystyka prądowo-napięciowa elementu aktywnego jest nieliniowa. Przykłady: diody, tranzystory, układy scalone.
- **Komponenty pasywne (bierne)** – są to elementy, które nie mogą wzmacniać sygnałów w układzie elektrycznym. Niektóre elementy pasywne mogą magazynować energię elektryczną, jednakże w każdym elemencie pasywnym występują straty energii (w różnych stopniach). Charakterystyka prądowo-napięciowa elementu pasywnego jest liniowa. Przykłady: rezystory, kondensatory, cewki indukcyjne, transformatory.
- **Komponenty elektromechaniczne** – są to mechaniczne podzespoły, które sterują sygnałami elektrycznymi lub przesyłają je w jednym lub większej liczbie urządzeń elektrycznych. Elementy elektromechaniczne mogą mieć ruchome części. Przykłady: złącza, przekaźniki, przyciski, kable, przewody.

W ramach każdej z trzech wymienionych kategorii, względem metody montażu na płytce drukowanej, można podzielić wszystkie komponenty na dwie dodatkowe grupy: komponenty przewlekane (TH lub THT – Through Hole / Through Hole Technology) oraz komponenty powierzchniowe (SMD lub SMT – Surface Mount Device / Surface Mount Technology). Różnica polega na tym, że przy montażu komponentów THT na płytce drukowanej wymagane są otwory, w których lutowane są wyprowadzenia komponentów, natomiast komponenty SMD są lutowane bezpośrednio do płaskich padów na powierzchni płytki drukowanej.



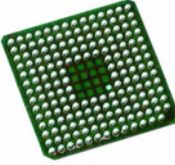

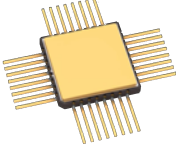
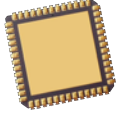
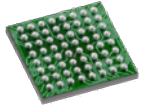
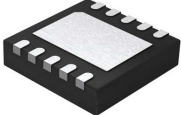
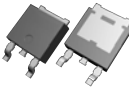
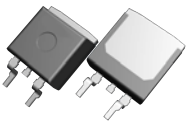
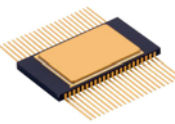
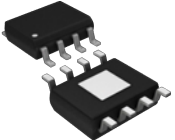

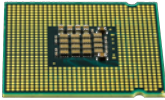


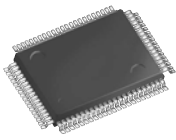
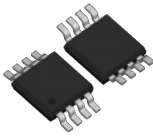


Niektóre komponenty mogą występować w technologii mieszanej – THT+SMD, na przykład złącza:


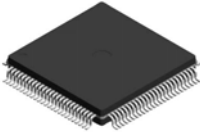

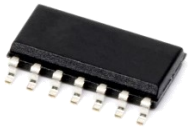



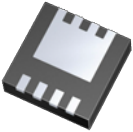
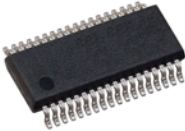
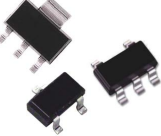
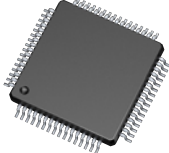



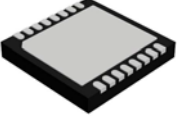



## 1.2 Rodzaje obudów komponentów elektronicznych

Obudowy podzespołów THT			
Axial (osiowe)	CERDIP, CDIP - Ceramic Dual In-line Package	DIL, DIP - Dual-In-line Package	DO - Diode Outline
			
PDIP - Plastic Dual-In-line Package	PGA - Pin Grid Array	Radial (radialne)	SIL, SIP - Single In-line Package
			
SDIP - Skinny Dual In-line Package	SPDIP - Shrink Plastic Dual-In-line Package	TO - Transistor Outline	ZIP - Zig-zag In-line package
			

## Obudowy podzespołów SMD

Chip - Capacitors, Resistors, Inductors	Chip Array - Multi Elements	BGA* - Ball Grid Array	BQFP - Bumper Quad Flat Pack
			
CQFP - Ceramic Quad Flat Pack	CLCC - Ceramic Leaded Chip Carrier	CSP - Chip Scale Package	DFN - Dual Flat No Lead
			
DPAK - Device Package	D2PAK - Device Squared Package	FP - Flat Pack, Dual Side	HSOP - Heatsink Small Outline Package
			
LCC - Leadless Chip Carrier	LGA - Land Grid Array	LQFP - 1.4mm Low Quad Flat Pack	MELF, MiniMELF, MicroMELF - Metal electrode leadless face
			
MQFP - Metric Quad Flat Pack	MSOP - Mini Small Outline Package	PLCC - J-Lead Plastic Leaded Chip Carrier	PQFP, QFP - Plastic Quad Flat Pack
			

<b>QFN - Quad Flat No Lead</b>	<b>QFP - Quad Flat Pack</b>	<b>QSOP - Quarter Small Outline Package</b>	<b>SO, SOIC, SOP - Small Outline IC</b>
			
<b>SOD - Small Outline Diode</b>	<b>SOJ - Small Outline J-Lead</b>	<b>SOL, SOM - Small Outline Large / Small Outline Medium</b>	<b>SON - Small Outline Non-leaded package</b>
			
<b>SSOP - Shrink Small Outline Package</b>	<b>SOT - Small Outline Transistor</b>	<b>TQFP - 1.0mm Thin Quad Flat Pack</b>	<b>TSOP - Thin small-outline package</b>
			
<b>TSSOP - Thin Shrink Small Outline Package</b>	<b>WLCSP - Wafer Level Chip Scale Package</b>	<b>VSON - Very-thin Small Outline Non-leaded package</b>	<b>VSOP - Very Small Outline Package</b>
			

\* Więcej o podzespołach typu BGA można dowiedzieć się z naszej broszury „**Projektujemy obwody drukowane z układami BGA**”, która jest dostępna na naszej stronie internetowej lub można dostać bezpłatny drukowany egzemplarz poprzez kontakt z naszym biurem w Warszawie.

### 1.3 Metody pakowania komponentów elektronicznych

Komponenty elektroniczne wysyłane do odbiorcy zwykle pakowane są następująco:

Opakowania fabryczne, przydatne do montażu automatycznego	<b>Tube, Rail, Stick</b> Tuba 	<b>Tray</b> Tacka 	<b>Tape and Reel</b> Taśma na szpule, Rolka 
	<b>Cut Reel</b> Niestandardowa szpula z taśmą z odcinkiem końcowym i początkowym 	<b>Cut Tape</b> Taśma cięta z końcówkami (odcinki bez elementów na końcach o dł. przynajmniej 10-15 cm) 	<b>Ammo Pack Tape and Box</b> Taśma układana w pudełku 
Opakowania nie fabryczne, nie przydatne do montażu automatycznego	<b>Cut Tape</b> Zbyt krótkie taśmy cięte, bez końcówek (odcinki bez elementów na końcach) 	Pakowane pojedynczo w indywidualnych opakowaniach (np. torebkach foliowych) 	<b>Bulk</b> Pakowane zbiorczo w jednym opakowaniu 

Podczas zamawiania komponentów elektronicznych warto z góry sprawdzić jakie opcje pakowania będą dostępne u danego dostawcy. Jest to ważne pod kątem przydatności zamawianych elementów do montażu na liniach automatycznych oraz jako dodatkowe zabezpieczenie w przypadku pierwszych zamówień od nieznanych dostawców.

Przykładowo, jeśli dostawca komponentów przy zamówieniu większych ilości wysyła je w niefabrycznym opakowaniu, może być to sygnał o ich podejrzanym pochodzeniu (końcówki z różnych partii, refurbished lub odrzucone po testach elementy itp.).

W zależności od wymiarów (obudów) komponentów, fabryczne opakowania mogą zawierać różne standardowe ilości elementów. Na przykład rolka rezystorów w obudowie 0603 standardowo zawiera 5000 sztuk rezystorów, natomiast w obudowie 0402 lub 0201 – 10000 szt. W przypadku, kiedy komponenty zamawiane są w ilościach odbiegających od ilości fabrycznych, najczęściej będą dostarczane w postaci taśm ciętych (z końcówkami za dopłatą) lub niestandardowych rolek (z odcinkami końcowym i początkowym również za dopłatą).

Końcówki bez elementów są istotne pod względem montażu automatycznego (są potrzebne do prawidłowego zamocowania taśmy w maszynach montujących). Wymagania co do długości takich końcówek mogą się różnić w różnych montowniach, natomiast średnio jest to 10-15 cm.

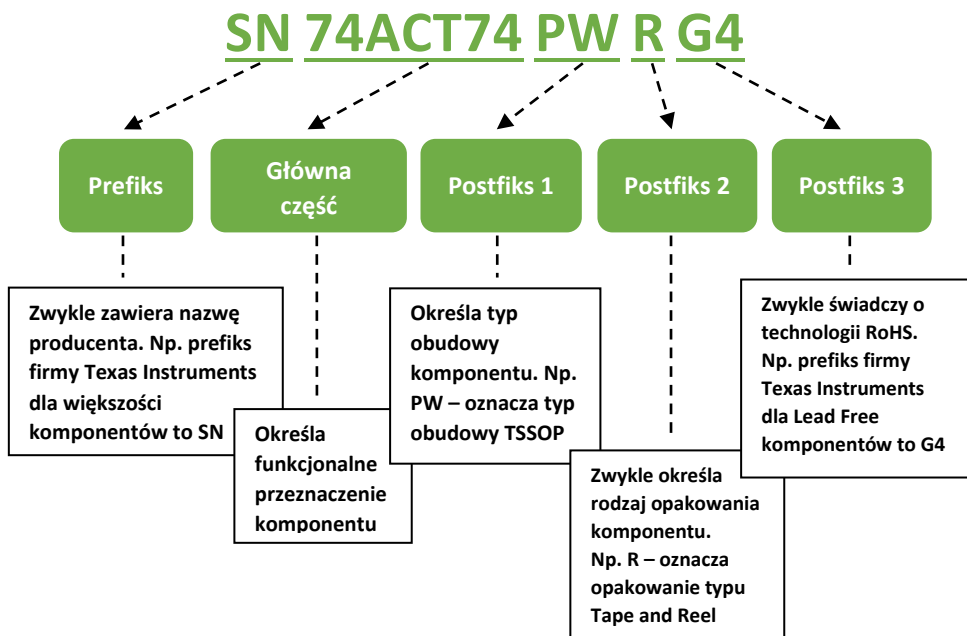
Zła wiadomość jest taka, że dostawcy zwykle pobierają dopłatę za przygotowania końcówek lub w ogóle nie oferują takiej opcji. W takim przypadku można zastanowić się nad zamówieniem większej ilości elementów (jeśli są tanie) niż jest to wymagane do realizacji montażu, przy czym część tych elementów będzie stracona na odcinkach służących do mocowania taśm w maszynach. Należy liczyć się z faktem, że montownia będzie musiała samodzielnie przygotować końcówki (istnieją materiały i narzędzia do tego), co wiąże się z dodatkowymi kosztami.

Wiedza na temat rodzajów opakowań jest przydatna również podczas identyfikacji nazw komponentów od różnych producentów, ponieważ bardzo często Part Numbers zawierają w sobie przyrostki, w których zakodowane są opcje pakowania. Więcej o tym w następnym rozdziale.

#### **1.4 Struktura nazw komponentów (Part Number)**

Przy doborze i zakupie komponentów elektronicznych podstawowym kryterium identyfikacji jest nazwa katalogowa producenta (Part Number), której struktura zależy od rodzaju komponentu. Niestety nie istnieje jeden standard dla struktury nazw katalogowych, wobec czego różni producenci mają własne podejście do jego tworzenia.

W większości przypadków nazwa katalogowa składa się z prefiksu, części głównej i postfiksów (na przykładzie komponentu producenta Texas Instruments):



### Przykłady prefiksów nazw katalogowych

Producent	Prefiks
Advanced Micro Devices	<b>AM</b>
Altera	<b>EP</b>
Analog devices	<b>AD</b>
Atmel	<b>AT</b>
Cypress Semiconductor	<b>CY</b>
Dallas Semiconductor	<b>DS</b>
Fairchild Semiconductor	<b>UA</b>
Hitachi	<b>HA, HD</b>
Infineon	<b>PEB</b>
Intel	<b>TN</b>
International Rectifier	<b>IR</b>
Intersil	<b>ISL</b>
ISSI	<b>IS</b>
Linear Technology	<b>LT, LTC</b>

Producent	Prefiks
Maxim Integrated	<b>MAX</b>
Microchip	<b>PIC</b>
Micron	<b>MT, IT</b>
Motorola	<b>MC</b>
National Semiconductor	<b>LM, DM</b>
NXP Semiconductors	<b>NE, TDA</b>
ON Semiconductor	<b>MC, N</b>
Philips	<b>HEF</b>
Renesas Technology	<b>HM</b>
ST Microelectronics	<b>ST</b>
Taiwan Semiconductor	<b>TS</b>
Texas Instruments	<b>LM, SN</b>
Toshiba	<b>TC</b>
Xilinx	<b>XC, XA</b>

## Przykłady postfiksów określających typ obudowy

Producent	Obudowa typu DIP	Obudowa typu SOIC	Obudowa typu TSSOP
Analog devices	N	R, RW	RU
Fairchild Semiconductor	N	M, WM	MTC
Intersil	P	B	V
Linear Technology	N, N8	S, SW	F,FW
Maxim Integrated	P	S	U
Microchip	P	SN, SL	ST
NXP Semiconductors	N	D	PW
ON Semiconductor	N	D, DW	DT
Renesas Technology	P	RP	T
ST Microelectronics	N, B	D, M	P, DW
Texas Instruments	N	D, DW	PW
Toshiba	P	FN, FW	FT

## Przykłady postfiksów określających rodzaj opakowania

Producent	Postfiks	Typ opakowania
Analog devices	Reel, Reel 7	Tape & Reel
Atmel	T	Tape & Reel
Fairchild Semiconductor	X	Tape & Reel
Intersil	TR	Tape & Reel
Linear Technology	TR	Tape & Reel
Maxim Integrated	T	Tape & Reel
National Semiconductor	X	Tape & Reel
NXP Semiconductor	115, 118, 135	Tape & Reel
	133, 143	Tape & Box
	112	Tube
ON Semiconductor	R2, T1, T3, T4	Tape & Reel
ST Microelectronics	RM13TR	Tape & Reel
Texas Instruments	R	Tape & Reel
Vishay	GS08	Tape & Reel 7"
	GS18	Tape & Reel 13"
	TR	Tape & Reel (TH)

## Przykłady prefiksów dla technologii bezołowiowej (RoHS Lead Free)

Producent	Prefiks
Altera	<b>N</b>
Analog devices	<b>Z</b>
Cypress Semiconductor	<b>X</b>
Fairchild Semiconductor	<b>NL</b>
Infineon	<b>G</b>
International Rectifier	<b>PBF</b>
Intersil	<b>Z</b>

Producent	Prefiks
Linear Technology	<b>PBF</b>
Maxim Integrated	<b>+</b>
National Semiconductor	<b>NOPB</b>
ON Semiconductor	<b>G</b>
Texas Instruments	<b>E4, G4</b>
Toshiba	<b>G</b>
Vishay	<b>E3, GE3</b>

### 1.5 Normy Pro-electron/EECA, JEDEC, JIS dotyczące nazewnictwa komponentów elektronicznych i ich obudów

Istnieje kilka tysięcy różnych typów diod, tranzystorów bipolarnych i polowych. Te urządzenia mają różne parametry w zależności od materiałów oraz technologii stosowanych. Aby nie pogubić się w różnorodności tych podzespołów powstało kilka standardów, obowiązujących przy nazewnictwie komponentów półprzewodnikowych.

De facto istnieje kilka standardów (schematów) numeracji półprzewodników:

- **EECA/PRO ELECTRON (UE)** - ten schemat numeracji diod, tranzystorów bipolarnych i FET powstał w Europie i jest szeroko stosowany w przypadku półprzewodników produkowanych w UE.
- **JEDEC (USA)** - ten schemat numeracji jest szeroko stosowany w przypadku diod i tranzystorów pochodzących z Ameryki Północnej.
- **JIS (Japan)** - ten system numeracji urządzeń półprzewodnikowych obowiązuje w przypadku półprzewodników pochodzących z Japonii.
- **Oryginalny schemat producenta** - istnieją pewne urządzenia, zwłaszcza wyspecjalizowane tranzystory bipolarne i niektóre FET, dla których producenci mogą zarezerwować prawa produkcyjne. W tych i podobnych przypadkach producenci będą stosowali własne schematy numeracji, które nie są zgodne ze standardowymi schematami branżowymi, a tym samym nie ujawniają specyfikacji i metod produkcji.

Poniżej pokazujemy, w jaki sposób tworzone są nazwy elementów półprzewodnikowych zgodnie z każdym standardem:

### EECA/PRO ELECTRON (UE)

<litera> <litera> <litera> <numer seryjny>[przyrostek]

Oznakowanie składa się z czterech elementów:

- **Pierwszym elementem** jest litera oznaczająca rodzaj materiału półprzewodnikowego stosowanego w urządzeniu:
  - o A - German;
  - o B - Krzem;
  - o C - Arsenek Galu;
  - o R - Inne materiały półprzewodnikowe.
- **Drugim elementem** jest litera oznaczająca rodzaj urządzenia półprzewodnikowego:
  - o A - Diody impulsowe małej mocy i uniwersalne;
  - o B - Diody pojemnościowe;
  - o C - Tranzystory małej mocy AF (Audio frequency);
  - o D - Tranzystory mocy AF;
  - o E - Diody tunelowe;
  - o F - Tranzystory małej mocy HF (High frequency);
  - o G - Urządzenia specjalnego przeznaczenia oraz złożone urządzenia zawierające kilka różnych elementów w jednej obudowie;
  - o H - Diody czułe magnetycznie;
  - o K - Hall-effect modulators;
  - o L - Tranzystory mocy HF;
  - o N - Optoizolatory;
  - o P - Urządzenia światłoczułe (fotodiody, fototranzystory itp.);
  - o Q - Urządzenia emitujące światło (diody LED, diody IR itp.);
  - o R - Urządzenia przełączające małej mocy - tyrystory (SCR lub Triak);
  - o S - Tranzystory małej mocy przełączające;
  - o T - Urządzenia przełączające dużej mocy - tyrystory (SCR lub Triak);
  - o U - Tranzystory mocy przełączające;
  - o X - Diody mnożące;
  - o Y - Diody prostownicze podwyższonej mocy;
  - o Z - Diody Zenera, Diody TVS.
- **Trzecim elementem** jest litera, która pojawia się tylko w przypadku urządzeń specjalnego przeznaczenia (przemysłowego, zawodowego, wojskowego itp.). Zwykle używane są litery "Z", "Y", "X" lub "W". W oznaczeniach urządzeń ogólnego przeznaczenia ten element nie występuje.

- **Czwartym elementem** jest trzy- lub czterocyfrowy numer seryjny urządzenia. Jeśli numer zawiera dwie cyfry (np. BCV26): produkt jest zwykle używany w urządzeniach przemysłowych lub profesjonalnych. Jeśli numer produktu zawiera trzy cyfry (np. BF194): urządzenie to jest zwykle używane w sprzęcie konsumenckim (np. rozrywkowym itp.).

W oznaczeniach niektórych półprzewodników mogą być również obecne dodatkowe elementy. Na przykład przyrostek, który odzwierciedla podział urządzeń tego samego typu na różne wersje według parametrów.

W takim przypadku dodatkowy kod jest dodawany do notacji głównej (może być również łącznikiem lub ułamkiem).

W przypadku tranzystorów mogą być zastosowane następujące dodatkowe kody: A – mały współczynnik wzmocnienia, B – średni, C – wysoki.

Korzystając ze schematu numeracji można wnioskować, że tranzystor o numerze BC107 jest silikonowym tranzystorem audio małej mocy, natomiast BC847C to silikonowy tranzystor audio małej mocy o wysokim wzmocnieniu.

W przypadku takich komponentów jak diody Zenera, często stosuje się dodatkowy kod zawierający informacje o napięciu stabilizacji i jego tolerancji ("A" - 1%, "B" - 2%, "C" - 5%, "D" - 10%, "E" - 15%). Jeśli napięcie stabilizacji nie jest liczbą całkowitą, to zamiast przecinka umieszcza się literę V. W dodatkowym kodzie dla diod prostowniczych wskazana będzie maksymalna wartość napięcia wstecznego.

Na przykład BZY88C4V7 jest specjalną krzemową diodą Zenera o numerze rejestracyjnym 88, napięciu stabilizacji 4,7 V z maksymalnym odchyleniem tego napięcia od wartości znamionowej  $\pm 5\%$ .

### JEDEC (USA)

<cyfra> <litera> <numer seryjny> [przyrostek]

- Pierwsza cyfra służy do identyfikacji typu półprzewodników (1 dla diod, 2 dla tranzystorów BJT, 3 dla tranzystorów FET, 4 dla optoizolatorów).
- Litera - zawsze litera "N".
- Numer seryjny to dwu-, trzy- lub czterocyfrowy numer, który odzwierciedla kolejny numer rejestracyjny komponentu półprzewodnikowego w EIA.
- Przyrostek - odzwierciedla podział komponentów tego samego typu na różne wersje według typowych parametrów. Przyrostek może składać się z jednej lub więcej liter.

Na przykład: 1N4148 – dioda krzemowa; 1N4001-1N4007 - dioda prostownicza krzemowa do 1A; 2N2222A – tranzystor; 4N25 – optoizolator.

## JIS (Japonia, Azja)

<cyfra> <S> <litera> <numer seryjny><litera> [przyrostek]

- **Pierwszym elementem** jest cyfra odzwierciedlająca liczbę p-n złącz w elemencie (0 - fotodiody; 1 - diody, 2 - tranzystory BJT lub FET, 3 - tranzystory FET z dwiema bramkami).
- **Drugim elementem** jest litera " S " oznaczająca elementy półprzewodnikowe.
- **Trzecim elementem** jest litera oznaczająca rodzaj elementu półprzewodnikowego:
  - A - PNP tranzystory HF (High frequency);
  - B - PNP tranzystory AF (Audio frequency);
  - C - NPN tranzystory HF;
  - D - NPN tranzystory AF;
  - E - Diody;
  - F - Tyrystory (SCR);
  - G - Diody Gunna, diody tunelowe;
  - H - UJT tranzystory (jednozłączowe);
  - J - Tranzystory JFET / MOSFET z P-kanalem;
  - K - Tranzystory JFET / MOSFET z N-kanalem;
  - M - Triak;
  - Q - Diody LED;
  - R - Diody prostownicze;
  - S - Diody sygnałowe;
  - T - Diody lawinowe;
  - V - Diody pojemnościowe;
  - Z - Diody Zenera.
- **Czwartym elementem** jest numer seryjny (rejestracyjny) komponentu.
- **Piątym elementem** jest modyfikacja komponentu ("A" - pierwsza, "B" - druga itd.).
- Po standardowym oznaczeniu może nastąpić dodatkowy przyrostek ("N", "M", "S") odzwierciedlający niektóre specjalne właściwości komponentu.

Pomimo faktu, że istnieją standardy branżowe w celu generowania nazw komponentów półprzewodnikowych, niektórzy producenci nadal mają swoje systemy kodowania nazw:

- MJ – Motorola, urządzenia mocy, metalowa obudowa.
- MJE - Motorola, urządzenia mocy, plastikowa obudowa.
- MPS - Motorola, urządzenia małej mocy, plastikowa obudowa.
- MRF – Motorola, tranzystory HF.
- TIP - Texas Instruments, tranzystory mocy, plastikowa obudowa.
- TIS - Texas Instruments, tranzystory małej mocy, plastikowa obudowa.

## 1.6 Szeregi E wartości rezystancji i pojemności

Wartości znamionowe większości produkowanych przemysłowo elementów elektronicznych (rezystancja rezystorów, pojemność kondensatorów, indukcyjność małych cewek indukcyjnych) nie są arbitralne, podporządkują się natomiast tak zwanym szeregom liczbowym, oznaczanym jako E6, E12, E24, E48, E96 i E192. Liczba obok litery E oznacza liczbę wariantów wartości nominalnych, przypadających na jedną dekadę. Oprócz tego każdy szereg odpowiada określonej tolerancji w nominałach komponentów:

<b>E6</b>	20%	1.0	-	1.5	-	2.2	-	3.3	-	4.7	-	6.8	-
<b>E12</b>	10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
<b>E24</b>	5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.6
<b>E48</b>	2%	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.40	1.47	1.54	1.62	1.69
		1.78	1.87	1.96	2.05	2.15	2.26	2.37	2.49	2.61	2.74	2.87	3.01
		3.16	3.32	3.48	3.65	3.83	4.02	4.22	4.42	4.64	4.87	5.11	5.36
		5.62	5.90	6.19	6.49	6.81	7.15	7.50	7.87	8.25	8.66	9.09	9.53
<b>E96</b>	1%	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
		1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
		1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32
		2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01	3.09
		3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
		4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
		5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
		7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76
<b>E192</b>	0,5% 0,25% 0,1%	1.00	1.01	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13	1.14
		1.15	1.17	1.18	1.20	1.21	1.23	1.24	1.26	1.27	1.29	1.30	1.32
		1.33	1.35	1.37	1.38	1.40	1.42	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52
		1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.64	1.65	1.67	1.69	1.72	1.74	1.76
		1.78	1.80	1.82	1.84	1.87	1.89	1.91	1.93	1.96	1.98	2.00	2.03
		2.05	2.08	2.10	2.13	2.15	2.18	2.21	2.23	2.26	2.29	2.32	2.34
		2.37	2.40	2.43	2.46	2.49	2.52	2.55	2.58	2.61	2.64	2.67	2.71
		2.74	2.77	2.80	2.84	2.87	2.91	2.94	2.98	3.01	3.05	3.09	3.12
		3.16	3.20	3.24	3.28	3.32	3.36	3.40	3.44	3.48	3.52	3.57	3.61
		3.65	3.70	3.74	3.79	3.83	3.88	3.92	3.97	4.02	4.07	4.12	4.17
		4.22	4.27	4.32	4.37	4.42	4.48	4.53	4.59	4.64	4.70	4.75	4.81
		4.87	4.93	4.99	5.05	5.11	5.17	5.23	5.30	5.36	5.42	5.49	5.56
		5.62	5.69	5.76	5.83	5.90	5.97	6.04	6.12	6.19	6.26	6.34	6.42
		6.49	6.57	6.65	6.73	6.81	6.90	6.98	7.06	7.15	7.23	7.32	7.41
		7.50	7.59	7.68	7.77	7.87	7.96	8.06	8.16	8.25	8.35	8.45	8.56
		8.66	8.76	8.87	8.98	9.09	9.20	9.31	9.42	9.53	9.65	9.76	9.88

Przykładowo rezystor o czwartej wartości (1,8) z szeregu E12 może mieć jedną z następujących wartości znamionowych:

1,8Ω	18Ω	180Ω	1,8kΩ	18kΩ	180kΩ	1,8MΩ	18MΩ	180MΩ	...
------	-----	------	-------	------	-------	-------	------	-------	-----

W praktyce czasem zdarzają się sytuacje, kiedy w dokumentacji do komponentu elektronicznego (w schemacie lub w BOM-ie) można znaleźć, np. opornik o rezystancji 50Ω, która odbiega od standardowych wartości według szeregów E. Najczęściej przyczyną tego jest błąd na etapie tworzenia dokumentacji, wobec czego podczas przygotowania do produkcji urządzenia wymagany będzie dobór zamiennika o standardowej wartości maksymalnie zbliżonej do tej podanej w dokumentacji. W tym przypadku, zamiennikiem teoretycznie mógłby być opornik 49,9Ω (E96) lub 51Ω (E24).

Tak czy inaczej, dobór zamiennika musi bazować na dokładnej wiedzy o wymaganiach do każdego konkretnego elementu schematu. Czasem drobna różnica w parametrach jest dopuszczalna a czasem może być krytyczna względem funkcjonowania całego układu. W naszym przypadku, jeśli opornik jest np. prostym ogranicznikiem prądu do LED-u, to zamiennikiem może być opornik z każdą podaną wartością (w teorii 51Ω będzie bardziej dostępny u większości dostawców), natomiast w przypadku linii sygnałowych, najlepsze będzie zastosowanie opornika 49,9Ω (maksymalnie zbliżony do standardowej impedancji linii transmisyjnych).

Oczywiście, w ofercie niektórych dostawców można znaleźć niestandardowy opornik 50Ω, natomiast będzie on znacznie droższy i często z ograniczoną dostępnością w porównaniu do innych standardowych komponentów. Podsumowując szeregi E wartości nominalów mogą służyć pomocą podczas doboru zamienników podzespołów biernych, natomiast zamienniki należy dobierać bardzo ostrożnie bazując na dobrej wiedzy o funkcjonowaniu układów w których są stosowane.

## 1.7 Normy i wymagania branży motoryzacyjnej (Automotive)

Na potrzeby branży samochodowej, która do produkcji samochodów używa coraz więcej elektroniki, kilku wiodących producentów z tej branży (Ford, General Motors, Chrysler) stworzyły organizację AEC (Automotive Electronic Council), która wyznacza standardy i stawia wymagania dotyczące komponentów elektronicznych pod względem ich jakości i niezawodności. Komponenty spełniające te normy mogą być używane w rygorystycznych warunkach branży samochodowej.

Ogólne zwiększone wymagania dotyczące takich komponentów:

- odporność na wibracje i wstrząsy
- odporność na wilgoć
- działanie w szerokim zakresie podwyższonych temperatur
- funkcjonowanie przy niestabilnym zasilaniu
- stabilność pracy w warunkach zakłóceń iskrowych
- dłuższy okres żywotności

Najczęściej spotykane normy dla elektroniki samochodowej to:

- **AEC-Q100** (*Stress Test Qualification for Integrated Circuits*) – norma do układów scalonych
- **AEC-Q101** (*Stress Test Qualification for Automotive Grade Discrete Semiconductors*) – analogiczna norma do dyskretnych półprzewodników (diody, tranzystory itp.)
- **AEC-Q200** (*Stress Test Qualification for Passive Components*) – norma dla komponentów biernych (rezystory, kondensatory, cewki indukcyjne itp.)

W ramach standardów AEC-Qxx producenci komponentów dla branży motoryzacyjnej wprowadzają liczne testy (oprócz standardowych) w rozszerzonych zakresach temperatur w celu zakwalifikowania ich do różnych klas:

Klasa	Zakres temperatur, °C	Typowe zastosowanie
0	-50...+150	w dowolnym miejscu samochodu
1	-40...+125	w większości przypadków pod maską
2	-40...+105	najcieplejsze miejsca w kabinie pasażerskiej
3	-40...+85	w większości przypadków w kabinie pasażerskiej
4	0...+70	nie są kwalifikowane do branży motoryzacyjnej

## 2. Elementy pasywne

### 2.1 Rezystory

Rezystor (opornik) jest podstawowym elementem obwodów elektrycznych. Głównym zadaniem rezystora jest opieranie się przepływowi prądu i tworzenie spadku napięcia. Wynika to z tego, że rezystor jest elementem o wystarczająco słabej przewodności. Rezystory mają zazwyczaj dwa (lub trzy) niepolarne wyprowadzenia do podłączenia do obwodu elektrycznego.

Głównymi parametrami rezystorów są:

- **Rezystancja znamionowa** (jest głównym parametrem) – wartość rezystancji, jaką ma komponent, w normalnych warunkach pracy;
- **Moc rezystora** – wartość dopuszczalnej mocy rozpraszania na komponencie. Może być wskazana w jednostkach mocy (Watt), lub jako maksymalne dopuszczalne napięcie rezystora (stosunek kwadratu napięcia i rezystancji). Zwykle moc rezystora dobierana jest z marginesem około 25% do maksymalnej możliwej mocy (na podstawie obliczeń) podczas pracy w układzie elektronicznym. Zamiana rezystora o danej mocy na rezystor o mocy mniejszej nie jest dozwolona, ponieważ po przekroczeniu znamionowej mocy podczas eksploatacji, rezystor ulega nieodwracalnemu uszkodzeniu;
- **Odchylenie od wartości znamionowej** (tolerancja, błąd) – względna (w procentach) lub bezwzględna (w omach) wartość rezystancji, o którą może zmienić się określona wartość rezystora. Zwykle rezystory mają symetryczny błąd, np.  $\pm 5\%$ ;
- **Temperaturowy współczynnik rezystancji ( $\alpha$  lub TWR)** - wartość, która pokazuje, jak bardzo rezystancja rezystora może się zmienić, gdy zmienia się jego temperatura. Zwykle podaje się ją w PPM (parts per million), czyli o ile milionowych ułamków zmieni się wartość przy zmianie temperatury na jednostkę;
- **Maksymalne napięcie robocze** – napięcie, które może być przyłożone do rezystora bez powodowania naruszenia jego działania;
- **Temperatura robocza** – zakres temperatur, w którym rezystor zachowuje wartości głównych parametrów podczas pracy w układzie elektrycznym

W niektórych układach elektrycznych takie dodatkowe cechy rezystorów, jak pojemność pasożytnicza, indukcyjność pasożytnicza, poziom szumu własnego, mogą być znaczące, ale w praktyce potrzeba doboru rezystorów pod kątem takich parametrów występuje raczej rzadko.

## 2.2 Typy rezystorów

W tabelicy poniżej można zobaczyć klasyfikację rezystorów według typów i technologii produkcji. Przyjrzymy się najczęściej spotykanym typom rezystorów.

Klasyfikacja rezystorów										
Rodzaj	Rezystory stałej rezystancji			Rezystory zmiennej rezystancji			Rezystory o rezystancji uzależnionej			
	Standardowy rezystor	Drabinka rezystorowa	Potencjometr	Trymer	Rheostat	Fotorezystor	Warystor	Termistor PTC/NTC	Magneto rezystor	
Symbol IEC										
Symbol ANSI										
Rodzaj materiału / technologia										
Folia węglowa	•	•	•	•						
Folia metalowa	•	•	•	•	•					
Warstwa z tlenku metalu	•						•			
Drutowe	•			•	•					
Przewodzący plastik			•	•	•					
Kompozyt węglowy	•				•					
Kompozyt metalowy							•		•	
Półprzewodnik						•			•	

**2.2.1 Rezystory rezystancji stałej** względem technologii można podzielić na następujące grupy:

- **Rezystory węglowe (Carbon film resistors)**

Występują w obudowach typu **Axial** i **MELF**.

Cienka warstwa czystego węgla osadza się na izolacyjnym cylindrycznym rdzeniu. W warstwie węglowej wykonuje się cięcie spiralne, aby zwiększyć ścieżkę oporową.



Rezystory węglowe mają zakres mocy znamionowej od 0,125 W do 5 W. Dostępne rezystancje mieszczą się w zakresie od 1 ohm do 10 Megaohm. Zakres temperatury pracy mieści się od -55 °C do +155 °C. Maksymalny zakres napięcia roboczego wynosi od 200 do 600 voltów.

Względem tolerancji i stabilności parametrów nieco przegrywają z rezystorami warstwowymi metalowymi i metalowo-tlenkowymi, które cieszą się większą popularnością.

Typowe tolerancje zawierają się w 2%, 5%, 10%, 20%. Temperaturowy współczynnik rezystancji zwykle wynosi od 200 do 1500 ppm/°C.

- **Rezystory warstwowe metalowe (Metal film resistors)**

Występują w obudowach typu **Axial** i **MELF**.

Rezystory warstwowe metalowe konstrukcyjnie są takie same jak rezystory węglowe, natomiast główną różnicą jest to, że zamiast warstwy węgla stosuje się warstwę metalu (lub mieszaninę tlenków metali, np. niklu i chromu lub mieszaninę metali i szkła, którą nazywa się szklivem metalowym – metal glaze). Podobnie jak w przypadku folii węglowej, wartość rezystancji jest regulowana przez cięcie spiralnych rowków.



Rezystory warstwowe metalowe są obecnie najczęściej stosowaną formą rezystorów osiowych przelotowych. Oferują one bardzo dobrą wydajność przy

niższych kosztach i dlatego zostały powszechnie przyjęte, z wyjątkiem niektórych konkretnych zastosowań.

Stabilność, temperaturowy współczynnik rezystancji i tolerancja są lepsze niż w przypadku rezystorów węglowych. Typowe tolerancje wynoszą od 0,1% do 2%, temperaturowy współczynnik rezystancji wynosi od 50 do 100 ppm/°C. Zakres temperatury pracy od -55 °C do +175 °C.

- **Rezystory metalowo-tlenkowe (Metal oxide film resistors)**

Występują w obudowach typu **Axial**.

Są podobne do rezystorów warstwowych metalowych z tą różnicą, że materiałem oporowym jest warstwa z tlenku metalu (np. tlenek cyny). Te trwałe rezystory charakteryzują się lepszą niezawodnością i stabilnością niż rezystory z warstwą metalową. Ponadto temperatura pracy jest wyższa. Dlatego są częściej stosowane w aplikacjach wymagających wysokiej wytrzymałości.



Typowe tolerancje wynoszą od 1% do 10%, temperaturowy współczynnik rezystancji wynosi średnio 300 ppm/°C. Zakres temperatury pracy typowo od -55 °C do +205 °C.

- **Rezystory foliowe metalowe (Foil resistors)**

Występują w obudowach typu **Radial** i **SMD Chip**.

Rezystory foliowe wynalezione w latach 60-tych XX wieku, do dziś są najbardziej dokładnym i stabilnym typem. Elementem rezystancyjnym jest cienka folia metalowa (zwykle Nichrom z dodatkami), która jest spojona na podłożu ceramicznym. Grubość folii wynosi kilka mikrometrów. Nierozzerwalnie związane z konstrukcją mechaniczną charakteryzują się bardzo niskim temperaturowym współczynnikiem rezystancji. Są używane do zastosowań o wysokich wymaganiach dotyczących precyzji.



Rezystory foliowe charakteryzują się niskim temperaturowym współczynnikiem rezystancji, dobrą stabilnością długoterminową, niskim poziomem szumów, niską pojemnością, szybką stabilizacją termiczną i brakiem indukcyjności.

Typowe tolerancje zaczynają się od 0,001%, temperaturowy współczynnik rezystancji od 0,1 ppm/°C. Zakres temperatury pracy od -55 °C do +125 °C.

- **Rezystory drutowe (Wirewound resistors)**

Występują w obudowach typu **Axial** i **Radial**.

Elementem rezystancyjnym jest izolowany metalowy drut (zwykle chromonikielina), który jest nawinięty wokół rdzenia ceramicznego, plastikowego lub z włókna szklanego. Mogą być produkowane z dużą dokładnością i mają doskonałe właściwości dla niskich wartości rezystancji i wysokiej mocy znamionowej.



Typowe tolerancje wynoszą od 1% do 10%, natomiast w przypadku precyzyjnych serii tolerancje mogą zaczynać się od 0,005%. Temperaturowy współczynnik rezystancji w przedziale małych rezystancji może wynosić od 20 do 50 ppm/°C.

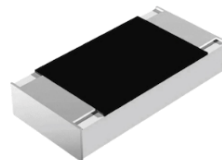
Drugą zaletą rezystorów drutowych jest moc znamionowa, która może sięgać nawet 1000W (wówczas obudowy rezystorów wykonywane są w formie radiatora). Niektóre serie rezystorów drutowych posiadają rozszerzony zakres temperatur pracy (do 450 °C).

Ponieważ rezystory drutowe w zasadzie są cewkami - mają większą niepożądaną indukcyjność niż inne typy rezystorów, choć nawijanie drutu w odcinkach o naprzemiennie odwróconym kierunku może zminimalizować indukcyjność. Inne techniki wykorzystują uzwojenie bifilarne.

- **Rezystory grubowarstwowe (Thick film resistors)**

Występują w obudowach typu **SMD Chip** i **Axial**.

Materiałem oporowym jest specjalna pasta oparta na tlenkach Rutenu, Irydu lub Renu (również określana jako Cermet - kompozyt ceramiczno-metalowy). Warstwa rezystancyjna jest drukowana na podłożu ceramicznym z tlenku glinu w temperaturze 850 °C. Po spiekaniu pasty na nośniku warstwa staje się szklana co sprawia, że jest dobrze chroniona przed wilgocią.



Rezystory na podstawie Cermetu mają podobne właściwości do rezystorów warstwowych metalowych (metal film resistors) i są zwykle używane do

wytwarzania rezystorów SMD (w tym drabinek rezystorowych) oraz rezystorów do zakresów wysokiej częstotliwości. Rezystory grubowarstwowe mają dobry temperaturowy współczynnik rezystancji, niski poziom szumu własnego i dobre wartości napięć znamionowych.

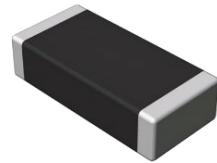
Obecnie są to zdecydowanie najczęściej stosowane rezystory w urządzeniach elektronicznych, które mają najniższy koszt w porównaniu z jakąkolwiek inną technologią.

Temperaturowy współczynnik rezystancji zwykle wynosi od 50 do 200 ppm/°C, tolerancje wynoszą średnio od 0,5% do 5%.

- **Rezystory cienkowarstwowe (Thin film resistors)**

Występują w obudowach typu **SMD Chip** i **Axial**.

Warstwa oporowa (chromonikiel lub cermety na podstawie azotku tantalum, tlenku rutenu, tlenku ołowiu lub innych) jest osadzana próżniowo na podłożu dielektrycznym (tlenek glinu, krzem lub szkło). Tworzy to jednolitą warstwę metaliczną o grubości około 0,1 μm. Fototrawienia lub przycinania laserowego używa się do tworzenia rowków w warstwie metalu aby zwiększyć ścieżkę oporu i skalibrować wartość rezystancji.



Rezystory cienkowarstwowe są zwykle używane do precyzyjnych zastosowań. Charakteryzują się stosunkowo wysokimi tolerancjami, niskimi temperaturowymi współczynnikami rezystancji i niskim poziomem szumu własnego. Ponadto w przypadku zastosowań w układach o wysokiej częstotliwości działają one lepiej niż grubowarstwowe, ponieważ mają znacznie mniejszą pojemność i indukcyjność pasywną.

Temperaturowy współczynnik rezystancji zwykle wynosi od 25 do 50 ppm/°C, tolerancja wynosi średnio od 0,1% do 1%.

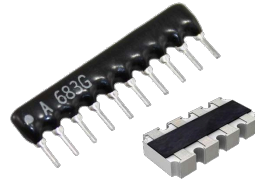
Lepsza wydajność rezystorów cienkowarstwowych wiąże się z kosztami, które mogą być wielokrotnie wyższe niż cena rezystorów grubowarstwowych.

Typowe przykłady zastosowania rezystorów cienkowarstwowych obejmują sprzęt medyczny, instalacje audio, precyzyjne urządzenia sterujące i urządzenia pomiarowe.

- **Drabinki rezystorowe (Resistor networks or arrays)**

Występują w obudowach typu **SMD Chip** i **SIP**.

Drabinki rezystorowe obejmują kilka rezystorów (zwykle 4+) umieszczonych w jednej obudowie, przy czym same rezystory mogą mieć osobne wyprowadzenia lub mogą być połączone w ten czy inny obwód.



Typowe zalety korzystania z drabinek rezystorowych:

- Mniejsza liczba komponentów, wobec czego szybszy montaż.
- Lepsze dopasowanie dryfu wartości poszczególnych rezystorów, dzięki tej samej obudowie.
- Oszczędność miejsca na płycie PCB: nie zawsze, ale w skomplikowanych układach jak najbardziej.
- Koszt BOM - niekoniecznie, ale przy większych ilościach rezystorów na pewno.

Dlaczego nie zawsze są wykorzystywane:

- Dostępność - nie są tak powszechne jak pojedyncze rezystory.
- Sprzężenie między rezystorami, powoduje szczególnie ryzyko w przypadku małych obwodów.
- Koszt BOM - przy mniejszych ilościach, może być droższy niż w przypadku pojedynczych rezystorów.

Zwykle drabinki rezystorowe wykonywane są w technologii grubowarstwowej w przypadku elementów SMD lub w technologii rezystorów warstwowych metalowych dla elementów przelotowych.

Najczęściej spotykane rezystory pochodzą od takich producentów jak Panasonic, Vishay, Royal Ohm, Yageo, Walsin, KOA Speer Electronics, Ohmite, Stackpole Electronics, ROHM

### **Rezystory antysiarczkowe (Anti-Sulfur resistors)**

Srebro jest najczęściej stosowanym materiałem używanym na kontaktach wewnętrznych (wyprowadzeniach) rezystorów chipowych. Jednak gdy srebro jest narażone na działanie siarki w zanieczyszczonym środowisku, przekształca się w siarczek srebra i tworzy obwód otwarty w miejscu kontaktów. W produktach o

wysokiej niezawodności, które są narażone na działanie środowiska, należy używać tak zwanych rezystorów antysiarczkowych, produkowanych z materiałów odpornych na powstanie tego efektu.

Zanieczyszczenie siarką w rezystorach chipowych było przede wszystkim problemem przemysłu motoryzacyjnego, lecz w ciągu ostatnich kilku lat przeniosło się na inne gałęzie przemysłu, w związku z czym wielu producentów ma obecnie w ofercie rezystory antysiarczkowe. Należy o tym pamiętać przy wyborze i zakupie komponentów do zastosowań, w których wymagana jest wysoka niezawodność układów elektronicznych.

### 2.2.2 Rezystory o rezystancji zmiennej

**Rezystory o rezystancji zmiennej** są to rezystory, których wartość rezystancji elektrycznej może być regulowana. Zwykle regulacja rezystancji odbywa się poprzez przesunięcie za pomocą zewnętrznych środków suwaka, który służy wyprowadzeniem środkowym i ma kontakt z elementem oporowym o dwóch wyprowadzeniach końcowych.

Do rezystorów rezystancji zmiennej należą:

- **Potencjometry (Potentiometers)**

Występują głównie w wersjach THT.

Potencjometr jest urządzeniem rezystancyjnym, które ma trzy wyprowadzenia i działa jako dzielnik napięcia. Wytwarza bezstopniowy sygnał wyjściowy napięcia, który jest proporcjonalny do fizycznego położenia suwaka wzdłuż elementu oporowego.



Jako materiał elementu oporowego w potencjometrach może występować:

**Kompozyt węglowy:** zastosowany materiał jest mieszaniną materiału wypełniającego i węgla, osadzoną na podłożu z żywicy fenolowej. Potencjometry węglowo-kompozytowe są najczęściej stosowanym typem rezystorów zmiennych. Charakteryzują się niskimi kosztami i rozsądnymi właściwościami szumu i zużycia.

**Cermet:** cermet, jak sama nazwa wskazuje, jest materiałem kompozytowym składającym się z ceramiki i metalu. Ma to szczególne zastosowanie tam, gdzie mogą wystąpić wysokie temperatury. Dają również niższy poziom szumu niż te

oferowane przez potencjometry węglowo-kompozytowe. Mają stabilny i niski temperaturowy współczynnik rezystancji. Z drugiej strony są dość drogie i często mają ograniczoną ilość cykli regulacji.

**Tworzywo przewodzące:** potencjometry wykonane z przewodzącego tworzywa sztucznego mają bardzo płynną regulację i dobrą rozdzielczość, często potrafią wykonywać miliony cykli regulacji. Ograniczeniem jest dość mała moc i dość wysokie koszty. Często używany w sprzęcie high-end (audio), gdzie ważna jest wysoka rozdzielczość i niski poziom szumów.

**Drut:** potencjometry drutowe są najdroższym rodzajem. Jak sama nazwa wskazuje są one wytwarzane przez nawijanie "cewki" drutu oporowego na rdzeniu dielektrycznym. Potencjometry te są często używane jako układy o dużej mocy lub niskiej rezystancji.

Praktycznie wszystkie potencjometry można podzielić na dwie kategorie względem zależności rezystancji od ruchu suwaka:

**Potencjometry liniowe:** dla tego typu potencjometrów istnieje liniowa zależność między rezystancją a przesunięciem suwaka wzdłuż toru opornego, tzn. dla każdego kolejnego stopnia obrotu lub kroku przesunięcia suwaka opór będzie się różnił o tę samą wartość.

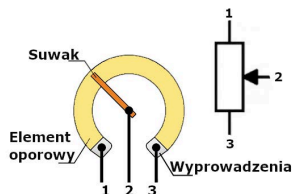
**Potencjometry logarytmiczne:** zależność między rezystancją a przesunięciem suwaka wzdłuż toru opornego jest logarytmiczna. W tym przypadku potencjometry mają stosunkowo niewielką zmianę rezystancji w pierwszej części przesuwu suwaka, która im dalej przesuwa się suwak, tym szybciej się zmienia. Powodem tego jest to, że charakterystyka przestrzegania głośności przez ludzkie ucho jest logarytmiczna, a zastosowanie potencjometrów o tych samych właściwościach pozwala na realizację regulacji głośności, która będzie dość równomiernie odbierana przez ucho.

W ofercie niektórych producentów zarówno można znaleźć potencjometry z charakterystyką odwrotnie logarytmiczną lub antylogarytmiczną, chociaż nie są tak powszechne jak standardowe potencjometry logarytmiczne.

Względem konstrukcji potencjometry dzielą się na obrotowe lub suwakowe.

## Potencjometry obrotowe

Najczęściej spotykany typ potencjometru w którym suwak porusza się po okrągłej ścieżce oporowej.



Typ	Opis	Zastosowanie
<i>Jednoobrotowe</i>	Pojedynczy obrót o około 270 stopni lub 3/4 pełnego obrotu	Do zastosowania w układach, w których pojedynczy obrót zapewnia wystarczającą rozdzielczość sterowania.
<i>Wieloobrotowe</i>	Wielokrotne obroty (najczęściej 5, 10 lub 20) dla zwiększenia precyzji regulowania. Konstrukcja polega na tym, że suwak posuwa się wzdłuż spirali lub stosuje się przekładnię ślimakową.	Do zastosowania w układach, w których wymagana jest wysoka rozdzielczość sterowania.
<i>Wielosekcyjne</i>	Dwa potencjometry (lub więcej) są połączone na jednym wale, co pozwala na równoległe ustawienie dwóch kanałów. Najczęściej występują w postaci potencjometrów jednoobrotowych o tej samej rezystancji.	Używane na przykład do sterowania głośnością w stereofonicznych systemach audio lub innych układach, w których 2 lub więcej kanałów muszą być sterowane równoległe.
<i>Koncentryczne</i>	Podwójny potencjometr, w którym dwa potencjometry są indywidualnie regulowane za pomocą koncentrycznych wałków. Pozwala to na wykorzystanie dwóch elementów sterujących wykonanych konstrukcyjnie w jednym module.	Są na przykład używane w systemach audio, gdzie regulatory głośności i tonu są połączone w jednym module.
<i>Połączone z serwem</i>	Zmotoryzowany potencjometr, który może być automatycznie regulowany zdalnie za pomocą serwomotoru.	Stosowane tam, gdzie wymagana jest ręczna i automatyczna regulacja. Często spotykany w systemach audio, gdzie pilot zdalnego sterowania może obracać pokrętkę regulacji głośności.

## Potencjometry suwakowe

Potencjometr, w którym suwak porusza się po ścieżce oporowej w linii prostej.

Typ	Opis	Zastosowanie
<i>Pojedyncze</i>	Pojedynczy liniowy potencjometr suwakowy.	Do jednokanałowego sterowania lub pomiaru odległości. Są często wykonane z przewodzącego tworzywa sztucznego.
<i>Podwójne</i>	Podwójny potencjometr suwakowy, w którym jeden suwak steruje dwoma potencjometrami równolegle.	Często używany do sterowania stereo w profesjonalnych systemach audio lub innych aplikacjach, w których kontrolowane są dwa równoległe kanały.
<i>Przesuwne wielobrotowe</i>	Zbudowany z wrzeciona uruchamiającego liniowy suwak potencjometru. Wrzeciono wielobrotowe (najczęściej 5, 10 lub 20) dla zwiększenia precyzji.	Stosowane tam, gdzie wymagana jest wysoka precyzja i rozdzielczość.
<i>Połączone z serwem</i>	Potencjometr suwakowy, który może być automatycznie regulowany przez silnik serwa.	Stosowane tam, gdzie wymagana jest ręczna i automatyczna regulacja. Na przykład w mikserach studyjnych, gdzie potencjometry suwakowe mogą być automatycznie ustawione na zapisaną konfigurację.

- **Trymery (Trim pots)**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**

Trymer to mały potencjometr, który służy do regulacji, strojenia lub kalibracji w układach elektronicznych. Jako materiał elementu oporowego najczęściej wykorzystuje się kompozyt węglowy lub cermet. Charakterystyka rezystancji trymerów praktycznie zawsze jest liniowa.



Trymery są zwykle montowane na płytkach drukowanych (mogą występować zarówno w technologii przelotowej jak i w technologii do montażu powierzchniowego – SMD) i są regulowane za pomocą śrubokręta.

Trymery mogą osiągać dość wysoką rozdzielczość regulacji rezystancji, natomiast charakteryzują się dość krótką żywotnością, która wynosi średnio do 200 cykli. Idea zastosowania trymerów polega na tym, że służą do wstępnej regulacji na etapie uruchomienia obwodu elektrycznego, później nie są już regulowane.

Względem precyzji regulowania rezystancji trymery można podzielić na:

### Jednoobrotowe

Trymery jednoobrotowe są bardzo powszechne i stosowane tam, gdzie rozdzielczość jednego obrotu jest wystarczająca.



### Wielobrotowe

Dla lepszej precyzji regulacji są stosowane trymery wielobrotowe. Ilość obrotów wynosi średnio 5-25. Konstrukcyjnie oparte są na przekładniach ślimakowych lub gwintach pociągowych. Z powodu bardziej skomplikowanej konstrukcji są droższe, natomiast pod kątem wytrzymałości i mocy elektrycznej są lepsze.



- **Reostaty (Rheostats)**

Występują w wersjach THT.

Reostat jest rezystorem zmiennym, który służy do sterowania prądem. Konstrukcja jest bardzo podobna do konstrukcji potencjometrów, różnicą jest to, że reostat posiada dwa wyprowadzenia, ponieważ kontakt suwakowy jest połączony z jednym z końcowych kontaktów. W przeciwieństwie do potencjometrów, reostaty muszą przenosić znaczny prąd, dlatego w większości przypadków elementem oporowym jest nawinięty drut.



Istnieje kilka rodzajów reostatów:



## Typowe wartości rezystorów o rezystancji zmiennej

Ponieważ potencjometry i trymery są rezystorami o rezystancji zmiennej, większość z tych komponentów ma typowe wartości w następującym zakresie wielokrotności:

Typowe wartości potencjometrów (wielokrotności)					
10	20	22	25	47	50

Zdecydowanie najczęściej używaną wartością dla potencjometrów jest 10k $\Omega$ , ale inne, również bardzo popularne wartości to 1k $\Omega$ , 5k $\Omega$ , 50k $\Omega$  i 100k $\Omega$ .

Najczęściej spotykane rezystory zmienne pochodzą od takich producentów jak Bourns, Vishay, TT Electronics/BI

### 2.2.3 Rezystory o rezystancji uzależnionej

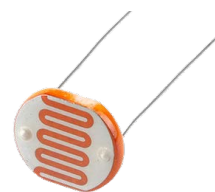
Do rezystorów o rezystancji uzależnionej należą:

- **Fotorezystory (Photoresistors)**

Występują głównie w wersjach **THT**.

Fotorezystory, znane również jako rezystory zależne od światła (Light Dependent Resistors - LDR), są światłoczułymi komponentami najczęściej używanymi do wskazywania obecności lub braku światła oraz do pomiaru natężenia światła. W ciemności ich rezystancja jest bardzo wysoka, czasami dochodzi nawet do 1 M $\Omega$ , ale gdy LDR jest wystawiony na działanie światła, rezystancja

drastycznie spada, nawet do kilku omów, w zależności od natężenia światła. LDR mają czułość, która jest uzależniona od długości fali światła i są urządzeniami nieliniowymi.



Nowoczesne fotorezystory wykonane są z siarczku ołowiu, selenku ołowiu, antymoniku indu, a najczęściej siarczku kadmu i selenku kadmu. Popularne typy z siarczku kadmu często są oznaczone jako fotorezystory CdS. Należy zauważyć, że urządzenia zawierające ołów lub kadm nie są zgodne z RoHS i są zakazane do użytku w krajach, które przestrzegają tych przepisów.

Parametry techniczne fotorezystorów:

- **Maksymalna moc** - jest to moc, jaką urządzenie jest w stanie rozproszyć w danym zakresie temperatur.
- **Maksymalne napięcie robocze** - ponieważ urządzenie oparte jest na półprzewodnikach, należy przestrzegać maksymalnego napięcia roboczego. Zwykle wartość podawana jest dla 0 luksów, czyli w ciemności.
- **Długość fali (szczytowa)** - ta specyfikacja fotorezystora określa długość fali maksymalnej czułości. W niektórych przypadkach będą podane krzywe ogólnej zależności. Długość fali określona jest w nm.
- **Rezystancja podczas naświetlania** - jest kluczowym parametrem dla każdego fotorezystora. Często, ze względu na pewne rozbieżności może być podawana minimalna i maksymalna rezystancja w określonych warunkach oświetleniowych, np. 10 luksów. Stan "w pełni włączony" może być również podany przy określonym oświetleniu, np. 100 luksów.
- **Rezystancja bez naświetlania (w ciemności)** - rezystancja w całkowitej ciemności. Określana jest zawsze po upływie jakiegoś czasu od momentu stanu bez naświetlania, ponieważ fotorezystory dość wolno przetwarzają się do typowej rezystancji w ciemności.

### • Warystory (Varistors)

Występują w wersjach **SMD** i **THT**

Warystor jest rezystorem zależnym od napięcia (Voltage Dependent Resistor - VDR), przy czym zależność rezystancji od napięcia ma nieliniową charakterystykę. Rezystancja warystorów maleje wraz ze wzrostem napięcia. W przypadku nadmiernego wzrostu napięcia rezystancja warystora drastycznie spada. Takie zachowanie sprawia, że nadają się one do ochrony obwodów podczas skoków napięcia.



Warystory są przydatne do krótkotrwałej ochrony w przypadku wysokich napięć przejściowych (rzędu 1-1000 mikrosekund). Nie nadają się jednak do walki z trwałymi przepięciami. Jeśli energia impulsu, mierzona w dżulach (J), znacznie przekracza bezwzględne maksymalne wartości wytrzymałości warystora, powoduje to jego zniszczenie.

Najważniejsze typy warystorów to:

**Warystory z tlenków metali** – są najczęstszym typem warystorów i mogą być określane jako warystowy MOV (Metal Oxide Varistor). Warystory MOV zbudowane są ze spiekanej matrycy ziaren tlenku cynku (ZnO) lub tlenku bizmutu ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ).

**Warystory z węgla krzemu** - warystory wykonane z węgla krzemu (SiC) były dość powszechnie używane, zanim na rynku pojawiły się warystory MOV. Obecnie warystory z węgla krzemu stosowane są w aplikacjach o dużej mocy i wysokim napięciu.

Niektóre z ważniejszych parametrów warystorów są podsumowane poniżej:

- **Napięcie warystora (maks.) lub Napięcie stabilizacji (Varistor voltage (Max) lub Clamping voltage):** Jest to napięcie, przy którym warystor zaczyna wykazywać znaczną przewodność.
- **Napięcie znamionowe AC/DC lub Napięcie pracy (Maximum AC/DC voltage lub Rated voltage):** Napięcie to, podane jako AC lub DC, jest maksymalnym napięciem, przy którym urządzenie może być używane. Zwykle należy uwzględnić bezpieczny margines między napięciem znamionowym, a faktycznym napięciem przy którym warystor będzie używany przez dłuższy czas, przy czym musi to być zrównoważone pod względem napięcia stabilizacji i wymaganego poziomu ochrony. Niektórzy producenci podają te wartości z uwzględnionym marginesem bezpieczeństwa warystora.
- **Szczytowy prąd udarowy (Peak surge current):** Maksymalny prąd impulsu określonego kształtu fali i określonego czasu trwania, który może być zastosowany bez powodowania awarii urządzenia. Chociaż warystor poradzi sobie z tym przepięciem, większość producentów uważa prąd udarowy za jednorazowe zdarzenie, po którym należy wymienić warystor.
- **Maksymalna energia impulsu:** jest to energia, wyrażona w dżulach, którą urządzenie może rozproszyć.
- **Pojemność:** Warystory MOV mają stosunkowo wysoką pojemność. W przypadku zastosowań w układach o niskiej częstotliwości nie powoduje to komplikacji, jednak może to być problem, gdy warystory są używane z liniami danych itp. Konieczne jest sprawdzenie wartości pojemności warystora w przypadku, kiedy planuje się go używać w układach o wysokiej częstotliwości. Typowe warystory MOV mogą mieć pojemności między 100 a 1000 pF, chociaż dostępne są też wersje o niskiej pojemności.

- **Termistory (Thermistors)**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Termistor jest rezystorem, którego rezystancja jest dość wyraźnie uzależniona od temperatury. W przeciwieństwie do większości innych rezystorów, termistory zwykle mają ujemny temperaturowy współczynnik rezystancji, co oznacza, że rezystancja maleje wraz ze wzrostem temperatury. Te typy nazywane są termistorami typu NTC

(Negative Temperature Coefficient). Termistory o dodatnim temperaturowym współczynniku rezystancji nazywane są termistorami typu PTC (Positive Temperature Coefficient). Często termistory NTC wykonane są z proszków tlenków metali, które są sprężane i spiekane w wysokiej temperaturze. Stosowane materiały obejmują  $Mn_2O_3$ , NiO,  $Cr_2O_3$ , CuO,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  itp. Mogą być również wytwarzane z półprzewodników o różnym stopniu domieszkowania.



### **Termistory NTC**

Termistory typu NTC są stosowane, gdy wymagana jest zmiana rezystancji w szerokim zakresie temperatur. Są często używane jako czujniki temperatury w zakresie od  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , chociaż mogą być produkowane do pomiaru znacznie niższych lub wyższych temperatur. Ich popularność wynika z ich szybkiej reakcji, niezawodności i niskiej ceny.

### **Termistory PTC**

Istnieją dwa typy termistorów PTC, które mają bardzo różne cechy, z których jeden wykazuje liniowy wzrost, podczas gdy drugi wykazuje nagłą zmianę rezystancji.

**Termistory przełączające:** termistory przełączające typu PTC mają wysoce nieliniową krzywą. Rezystancja początkowo spada nieznacznie wraz ze wzrostem temperatury, a następnie w temperaturze krytycznej (zwanej temperaturą przełączenia, przejścia lub temperaturą Curie) rezystancja gwałtownie wzrasta, działając w ten sposób praktycznie jako przełącznik. Najczęstsze temperatury przełączania mieszczą się w zakresie od  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . To czyni je idealnymi do zastosowania w wielu urządzeniach zabezpieczających. Przełączeniowe termistory zwykle są wykonane z materiałów polikrystalicznych, w tym węgla

baru lub tlenku tytanu z dodatkiem takich materiałów jak tantal, krzemionka lub mangan itp. Często są używane do samoregulujących elementów grzejnych i samo-resetującego zabezpieczenia nadprądowego.

**Silistory:** termistory PTC oparte na półprzewodniku jako materiale podstawowym i charakteryzują się liniową zależnością rezystancji od temperatury, dzięki czemu znajdują zastosowanie w czujnikach temperatury. Zwykle wykonane są z domieszkowanego krzemu.

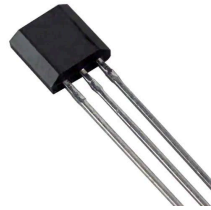
Niektóre z ważniejszych parametrów termistorów :

- **Typ termistora** - pierwszą decyzją, którą należy podjąć przy wyborze termistora, jest upewnienie się, że wybrano właściwy typ. Trzeba liczyć się nie tylko z podziałem na typy NTC lub PTC, ale także na dodatkowe typy - przełączające i silistory.
- **Rezystancja** - jest naturalnie jednym z kluczowych parametrów. Termistory mogą być wykonane z różnymi wartościami rezystancji od  $\Omega$  do wielu k $\Omega$ .
- **Tolerancja** - jak w przypadku każdego rezystora, istnieje tolerancja standardowej rezystancji. Przyjmuje się to jako wartość w temperaturze, dla której podano rezystancję. Wartości  $\pm 2\%$ ,  $\pm 3\%$  i  $\pm 5\%$  są często spotykane.
- **Stała materiałowa B** - znana również jako wartość  $\beta$ , jest parametrem podawanym w stopniach Kelvina i określa zależność rezystancji od temperatury. Na podstawie tego parametru można przybliżyć krzywą charakterystyczną tej zależności.
- **Stała czasu,  $\tau$**  - reakcja na zmiany temperatury wymaga czasu, a głównym parametrem mierzącym tę odpowiedź jest stała czasu termistora.
- **Współczynnik rozpraszania ciepła  $\delta$**  - jest to ważna cecha termistora, ponieważ przez termistor płynie pewien prąd podczas działania w obwodzie, co powoduje samonagrzewanie się termistora. Ta specyfikacja określa zależność między zastosowaną mocą a samonagrzewaniem termistora.
- **Zakres temperatury pracy** - jest to zakres temperatur, dla których termistor jest przeznaczony. Aby zapewnić niezawodność i precyzję, termistor nie powinien pracować poza określonym zakresem temperatur.
- **Moc znamionowa** - w przypadku zastosowań czujnikowych rozpraszanie mocy jest utrzymywane na niskim poziomie, aby zapobiec samonagrzewaniu się, ale w niektórych okolicznościach mogą istnieć powody do rozproszenia większej mocy. Wartość mocy znamionowej nie powinna być przekroczona. Aby uzyskać największą niezawodność, często termistor powinien działać na poziomie tylko 50-66% mocy znamionowej.

- **Magnetorezystory (Magneto Resistors)**

Występują głównie w wersjach THT.

Rezystory magnetyczne MDR (Magnetic Dependent Resistors) mają zmienną rezystancję zależną od natężenia pola magnetycznego. Magnetorezystory często są zbudowane z długich cienkich warstw permalaju (stop składający się z 81% niklu i 19% żelaza).



Magnetorezystory mogą być używane do pomiaru obecności, siły i kierunku pola magnetycznego. Zastosowane ich jako urządzeń wykrywających pole magnetyczne obejmuje:

- Kompas elektroniczny
- Magnetometria (pomiar natężenia i kierunku pola magnetycznego)
- Czujniki położenia (kątowe, obrotowe, liniowe)
- Wykrywanie metali żelaznych
- Wykrywanie pojazdów i ruchu

### 2.3 Szczegóły zastosowania rezystorów oraz dobór zamienników

W praktyce najczęściej powstaje potrzeba doboru rezystorów chipowych, ponieważ są obecne prawie w każdym obwodzie elektronicznym, a ich liczba wynosi średnio od 20 do 40% wszystkich komponentów w BOM-ie.

Jeśli naszym zadaniem jest zakup komponentów elektronicznych według BOM-u, może się okazać, że zamiast konkretnych Part Numbers mamy podane tylko podstawowe wartości rezystorów lub rezystor o podanym konkretnym Part Number nie jest dostępny. W takim przypadku musimy wiedzieć na co mamy zwracać uwagę przy doborze rezystorów.

Najpierw musimy ustalić podstawowe parametry każdego rezystora, czyli wartość rezystancji, tolerancję i rodzaj obudowy. W większości przypadków będzie to wystarczająca informacja do doboru rezystorów. W przypadku niektórych projektów będziemy musieli uwzględnić nieco więcej parametrów. Wymóg zapewnienia tych parametrów może polegać między innymi na tym, że w BOM-ie są informacje wprost na to wskazujące lub Part Number, który chcemy zastąpić, wskazuje na komponent o dodatkowych parametrach niż standardowe chipowe rezystory.

Do tych dodatkowych rozszerzonych parametrów można odnieść większy zakres napięć roboczych, zakres temperatur, nieco większą moc (rezystory o tej samej

obudowie mogą być różnej mocy), temperaturowy współczynnik rezystancji, technologię i materiały z których jest wyprodukowany rezystor.

Musimy mieć na uwadze zarówno to, czy urządzenie, do którego dobieramy komponenty będzie używane w rygorystycznych warunkach pracy i czy konieczne jest zastosowanie rezystorów spełniających wymagania przemysłu motoryzacyjnego AEC-Q200 (patrz rozdział 1.7) lub odpornych na związki siarki, tzw. przeciw siarczokowych (patrz rozdział 2.2.1).

Teraz, gdy mamy wszystkie niezbędne informacje, można rozpocząć wyszukiwanie odpowiednich rezystorów na stronach producentów lub dostawców komponentów elektronicznych.

## 2.4 Kondensatory

Głównymi parametrami kondensatorów, które należy wziąć pod uwagę przy wyborze i zakupie kondensatorów są:

- **Pojemność** - nominalna pojemność jest prawdopodobnie najważniejszym parametrem kondensatora. Podstawową jednostką pojemności jest Farad, natomiast w większości obwodów elektronicznych najczęściej spotykane są kondensatory o pojemnościach podanych w pikofaradach (pF), nanofaradach (nF) i mikrofaradach (μF). Czasami kondensatory mogą być oznaczone na dwa sposoby. Na przykład 100nF jest tym samym co 0,1 μF.
- **Tolerancja** - wartość tolerancji to zakres, w jakim rzeczywista wartość kondensatora może różnić się od podanej lub nominalnej wartości i jest często wyrażana w procentach, chociaż dla wartości kilku pikofaradów może być wyrażona jako wartość rzeczywista, tj. 22pF ±1pF, itd.
- **Maksymalne napięcie robocze** - maksymalne ciągłe napięcie, które może być przyłożone do kondensatora. Zwykle odnosi się do największego napięcia DC, które można zastosować. W przypadku kondensatorów przeznaczonych do działania w obwodach ze zmiennym prądem będzie podana wartość maksymalnego napięcia AC, należy jednak pamiętać, że odnosi się to do napięcia RMS, a nie do wartości szczytowej, która jest  $\sqrt{2}$  lub 1,414 razy większa. Często wytyczne projektowe przewidują, że kondensatory nie powinny pracować powyżej 50% wartości napięcia roboczego.
- **Zakres temperatur roboczych** - wszystkie kondensatory mają ograniczony zakres temperatur roboczych, niezależnie od tego, czy są to kondensatory ceramiczne, elektrolityczne, tantalowe, czy jakiegokolwiek innego typu. Natomiast temperatura pracy jest szczególnie ważna w przypadku kondensatorów elektrolitycznych, ponieważ ich oczekiwana żywotność gwałtownie spada wraz ze wzrostem temperatury.

- **Typ dielektryka** - zależy od materiału izolacyjnego, zastosowanego w kondensatorze. Jest to jeden z głównych parametrów kondensatora, ponieważ określa jego charakterystykę temperaturową, czyli odchylenie pojemności od wartości nominalnej w zależności od zmiany temperatury. Typ dielektryka posiada swój własny system kodowania: pierwszy symbol oznacza dolną granicę zakresu temperatur roboczych, drugi symbol oznacza górną granicę zakresu temperatur roboczych, trzeci symbol oznacza tolerancję. Przykład: dielektryk X7R ma zakres temperatur pracy w  $-55 \dots +125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , przy czym tolerancja pojemności wynosi  $\pm 15\%$ .
- **Rezystancja ESR (The Equivalent Series Resistance)** - jest to całkowita rezystancja kondensatorów (składa się z rezystancji prądu AC przy wyższych częstotliwościach oraz prądu stałego DC w wyprowadzeniach oraz okładkach). Dotyczy głównie kondensatorów elektrolitycznych (może wynosić nawet kilka omów), i ulega pogorszeniu z upływem czasu.
- **Częstotliwość rezonansowa kondensatora** - jest to częstotliwość, przy której pojemność kondensatora i indukcyjność wyprowadzeń oraz obudowy tworzą szeregowy obwód rezonansowy. Zwykle podawana jest dla kondensatorów przeznaczonych do układów o wysokiej częstotliwości. Najczęściej są to kondensatory ceramiczne.
- **Prąd upływu/ Rezystancja dielektryka (Leakage current/ Leakage resistance)** - te parametry wskazują ilość prądu przepływającego przez kondensator. Prąd upływu powstaje w wyniku tego, że kondensatory nie są doskonałymi izolatorami. Superkondensatory i aluminiowe kondensatory elektrolityczne zwykle mają podane wartości prądu upływu, ale w przypadku kondensatorów ceramicznych lub kondensatorów foliowych, w których prąd upływu jest minimalny, zwykle podaje się wartości rezystancji. Prąd upływu i rezystancja mogą mieć poważny wpływ, np. w obwodzie wysokiego napięcia, gdy nawet małe poziomy prądu upływowego mogą spowodować zauważalne ilości rozpraszanego ciepła.
- **Prąd tętniący (Ripple current)** - to prąd płynący przez kondensator w momencie kiedy jego obciążenie okresowo się zmienia. Taki prąd powoduje duży poziom ciepła rozpraszanego w kondensatorze, dlatego maksymalne znaczenie prądu tętniącego jest ważnym parametrem, który trzeba brać pod uwagę przy doborze kondensatorów działających w układach z dużymi prądami.
- **Czas życia** – podawany przez producenta czas ciągłej pracy kondensatora w określonych warunkach (temperatura, obciążenia prądowe), w wyniku czego kondensator traci nie więcej, niż 20% wartości swych głównych parametrów (pojemność znamionowa, ESR i inne).

Klasyfikacja kondensatorów														
Polaryzacja	Kondensatory stałej pojemności						Kondensatory zmiennej pojemności			Pozostałe rodzaje kondensatorów				
	polarne			niepolarne			niepolarne	polarne		niepolarne	polarne			
Rodzaj	Aluminiowe	Tantalowe	Niobowe	Hybrydowe	Ceramiczne	Foliowe	Papierowe	Mikowe	Drabinkokondensatorów	Kondensatory nastawne	Trymery	Wariakapy	Kondensatory przelotowe	Superkondensatory
Symbol IEC														
Symbol ANSI														
Rodzaj dielektryka / technologia														
Tytanian baru					•				•		•		•	
Tritlenek diglinu	•													
Tlenek tantalu		•												
Tlenek niobu			•											
Polimery PE, PP, PET						•								
Papier							•							
Milka								•						
Folia metalowa													•	
Polimer przewodzący				•									•	•
Półprzewodnik												•		
Elektrolit, węgiel aktywowany														•
Jon litu														•

## 2.5 Typy kondensatorów

W tabelicy powyżej można zobaczyć klasyfikację kondensatorów według typów i technologii produkcji. Dalej rozpatrzemy najczęściej spotykane typy kondensatorów.

### 2.6.1 Standardowe kondensatory pojemności stałej

- **Kondensatory elektrolityczne aluminiowe**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory elektrolityczne aluminiowe wykorzystują cechę chemiczną aluminium, który w kontakcie z określonym elektrolitem tworzy bardzo cienką warstwę tlenku izolacyjnego, która działa jako dielektryk.



Kondensatory te mają dość dużą pojemność (od 1  $\mu\text{F}$  w górę), ale mają słabe właściwości w wyższych zakresach częstotliwości i zwykle nie są stosowane w układach o częstotliwościach powyżej 100KHz. Do mankamentów można doliczyć duże prądy upływu, niższą tolerancję, ograniczony czas żywotności. Standardowo rezystancja ESR jest dość wysoka, natomiast w ofercie producentów można znaleźć specjalny typ kondensatorów aluminiowych oznakowanych jako Low ESR – czyli z niską rezystancją ESR.

Żywotność kondensatora elektrolitycznego podawana jest w godzinach przy maksymalnej temperaturze pracy. Przy każdym spadku temperatury pracy o 10°C żywotność kondensatora ulega podwojeniu, tak więc dla kondensatora o żywotności 2000 godzin przy temperaturze 105°C, może wydłużyć się czterokrotnie przy temperaturze pracy 85°C.

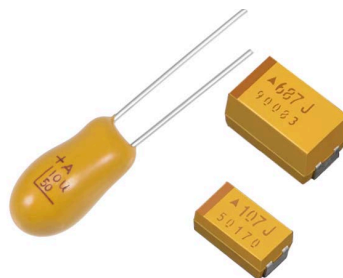
Warto wspomnieć, że kondensatory elektrolityczne aluminiowe zwykle mają dość ograniczony okres przechowywania (od kilku miesięcy do dwóch lat w zależności od zastosowanych materiałów i technologii). Nieużywana warstwa tlenku ulega pogorszeniu i musi zostać odbudowana w procesie zwanym reformowaniem kondensatorów. Można to osiągnąć poprzez podłączenie kondensatora do źródła napięcia przez rezystor i powolne zwiększanie napięcia, aż warstwa tlenku zostanie całkowicie odbudowana. Dlatego jeśli kondensator pozostaje niepolaryzowany przez dłuższy czas, należy go zreformować przed użyciem.

- **Kondensatory elektrolityczne tantalowe**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory tantalowe wykonane są z tantal, który stawi anodę pokrytą warstwą tlenku ( $Ta_2O_5$  - działa jako dielektryk), otoczoną przewodzącą katodą (może to być tlenek manganu -  $MnO_2$  lub utwardzony polimer). Zastosowanie tantal pozwala na bardzo cienką warstwę dielektryczną.

Skutkuje to wyższą wartością pojemności w stosunku do objętości, lepszą charakterystyką częstotliwościową w porównaniu do wielu innych typów kondensatorów i doskonałą stabilnością w czasie.



Podstawową różnicą między kondensatorami tantalowymi i aluminiowymi (poza materiałami okładek) jest elektrolit. Elektrolit jest materiałem stałym w kondensatorze tantalowym i cieczą w kondensatorze aluminiowym.

Ze względu na stały elektrolit kondensatory tantalowe są bardzo stabilne w czasie, a ich pojemność nie zmienia się znacząco z wiekiem, zwłaszcza w porównaniu do aluminiowych kondensatorów elektrolitycznych. Są niezawodne, gdy są prawidłowo obsługiwane, a ich okres przechowywania (Shelf Life) jest praktycznie nieograniczony.

Minusem stosowania kondensatorów tantalowych jest ich niekorzystny tryb awarii (prowadzi do zwarcia obwodu), który może powodować nagły wzrost temperatury podzespołu, co może skutkować zapaleniem lub małym wybuchem.

Kondensatory tantalowe nie mają wysokich napięć roboczych, 35V jest zwykle maksymalnym napięciem, a niektóre kondensatory mają wartości nawet tylko około kilku woltów.

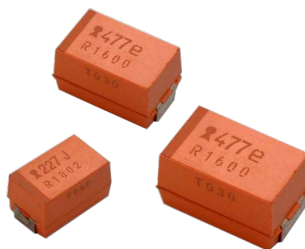
Należy zauważyć, że kondensatory tantalowe mają oznakowany na obudowie terminal dodatni, w przeciwieństwie do aluminiowych kondensatorów elektrolitycznych, które mają oznakowany terminal ujemny.

- **Kondensatory elektrolityczne niobowe**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory niobowe są podobne do kondensatorów tantalowych (różnica polega na zastosowaniu tlenku niobu zamiast tlenku tantalu). Są głównie stosowane w systemach w których priorytetem jest bezpieczeństwo, ponieważ mają bezpieczny tryb awarii - w odróżnieniu od kondensatorów tantalowych, niobowe podczas awarii tworzą

obwód otwarty, czyli obwód z wysoką impedancją. Zwykle stosowane są w układach cyfrowych gdzie napięcia robocze nie przekraczają 10V.



- **Kondensatory elektrolityczne hybrydowe**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Podobnie jak tradycyjne elektrolityczne kondensatory aluminiowe, kondensatory hybrydowe składają się z nawiniętej struktury z folii aluminiowej i papieru w metalowej puszcze. Innowacją jest elektrolit, który łączy w sobie konwencjonalne mokre ciecze i nowoczesny przewodzący polimer. Polimer znacznie obniża rezystancję szeregową ESR, podczas gdy mokry elektrolit maksymalizuje powierzchnię styków i zwiększa tolerancję napięcia.

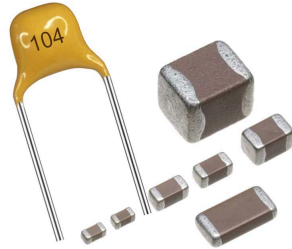


Kondensatory hybrydowe pojawiły się jako wysoce obiecujące komponenty do zastosowań motoryzacyjnych, ponieważ przede wszystkim zapewniają bardzo wysoką zdolność pod względem prądów tętniących. To pomaga zmniejszyć zarówno liczbę wymaganych komponentów jak i rozmiar obwodów drukowanych przeznaczonych do branży motoryzacyjnej, co skutkuje bardziej usprawnioną konstrukcją samochodową.

- **Kondensatory ceramiczne**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory ceramiczne są najczęstszym rodzajem kondensatorów, które można znaleźć w prawie każdym urządzeniu elektronicznym. Wśród tej grupy kondensatorów można wyróżnić: kondensatory przewlekane, jednowarstwowe oraz wielowarstwowe kondensatory chipowe.



Kondensatory ceramiczne przewlekane są komponentem w kształcie dysku, "kropielek" lub w innym kształcie (może być bardzo różnorodny i niestandardowy w zależności od producenta) z przewodowymi wyprowadzeniami. Charakterystycznymi cechami kondensatorów przewlekanych są wysokie wartości maksymalnego napięcia roboczego, ale stosunkowo małe wartości pojemności.

Ceramiczne kondensatory jednowarstwowe zwykle występują w postaci dysków. Mają stosunkowo dużą pojemność przy małych rozmiarach, która wynosi od 1 pF do 220 nF. Maksymalne napięcie robocze sięga zwykle nie więcej niż 50 V. Takie kondensatory mają dość mały prąd upływowy i niską indukcyjność, mogą pracować z wysoką częstotliwością i mają dużą stabilność pojemności wraz ze wzrostem temperatury. Kondensatory te można stosować w obwodach prądu stałego, zmiennego i impulsowego.

Wielowarstwowe ceramiczne kondensatory chipowe (MLCC - Multilayer Ceramic Capacitors) stanowią najszybciej rozwijający się rynek w porównaniu do pozostałych typów kondensatorów. MLCC są stosowane we wszystkich dziedzinach elektroniki: konsumenckiej, motoryzacyjnej, wojskowej, medycznej, przemysłowej itp.

MLCC, posiadają cenne cechy, wśród których można wymienić: szeroki zakres pojemności nominalnych, szeroki zakres napięć roboczych, standardowe rozmiary, które pozwalają na łatwe korzystanie z zamienników od różnych producentów, od samego początku odgrywają kluczową rolę w technologii montażu powierzchniowego.

Typ dielektryka kondensatorów ceramicznych określa charakterystykę temperaturową kondensatora, czyli odchylenie pojemności od wartości nominalnej w zależności od zmiany temperatury. Typ dielektryka posiada swój własny system kodowania: pierwszy symbol oznacza dolną granicę zakresu temperatur roboczych, drugi symbol oznacza górną granicę zakresu temperatur roboczych, trzeci symbol

oznacza tolerancję. Przykład: dielektryk X7R ma zakres temperatur pracy między -55 ... +125 °C, przy czym tolerancja pojemności wynosi  $\pm 15\%$ .

W zależności od typu dielektryka kondensatory ceramiczne można podzielić na kilka klas:

- Klasa I - kondensatory tej klasy mają bardzo wysoką stabilność pojemności, jak i niskie straty dielektryczne w obwodach z wykorzystaniem efektu rezonansu częstotliwości.
- Klasa II – kondensatory z bardzo dobrym stosunkiem pojemności do wymiarów geometrycznych. Są zwykle używane jako kondensatory buforowe, blokujące lub sprzęgające.
- Klasa III – pozostałe, niesklasyfikowane w pierwszych dwóch klasach.

W klasie I najczęściej spotykane dielektryki to NPO/COG. W klasie II - X8R, X7R, X6R, X5R, X7S, Z5U, Y5V.

W tabeli poniżej podajemy system kodowania dielektryków dla klasy II:

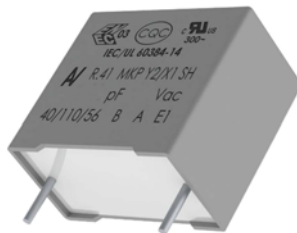
Symbol dla dolnej granicy zakresu temperatur roboczych	Liczba dla górnej granicy zakresu temperatur roboczych	Symbol dla tolerancji pojemności
X = -55 °C	4 = +65 °C	P = $\pm 10\%$
Y = -30 °C	5 = +85 °C	R = $\pm 15\%$
Z = +10 °C	6 = +105 °C	L = $\pm 15\%$ lub +15/-40% powyżej 125 °C
	7 = +125 °C	S = $\pm 22\%$
	8 = +150 °C	T = +22/-33%
	9 = +200 °C	U = +22/-56%
		V = +22/-82%

Najczęściej spotykani producenci MLCC na rynku Polskim to: Kemet, Vishay, Yageo, Samsung, Murata, Walsin.

- **Kondensatory foliowe**

Występują w wersjach THT.

Kondensatory foliowe to kondensatory, które wykorzystują wyjątkowo cienką folię z tworzywa sztucznego jako dielektryk. Istnieje wiele rodzajów kondensatorów foliowych, w tym z folii poliestrowej, polipropylenowej, polistyrenowej, folii PTFE.



Kondensatory foliowe mają dobrą stabilność i żywotność, dużą niezawodność oraz bardzo niską średnią awaryjność. Mają niewielką rezystancję ESR i indukcyjność własną, a w rezultacie bardzo niskie współczynniki rozpraszania energii elektrycznej. Mogą być wykonane tak, aby wytrzymać napięcia w zakresie kilowoltów a także bardzo wysokie impulsy prądu udarowego.

Szczególną grupę kondensatorów foliowych stanowią tzw. kondensatory klasy X i klasy Y. Kondensatory te pomagają zminimalizować generowanie zakłóceń EMI/RFI i powstanie negatywnych skutków związanych z odbieranymi zakłóceniami EMI/RFI przez różne urządzenia elektroniczne.

Nazwa klas pochodzi od sposobu łączenia tych kondensatorów w obwodach elektrycznych (patrz rysunek).



W zależności od wartości maksymalnych napięć roboczych kondensatory klas X i Y są dodatkowo sklasyfikowane (zgodnie z IEC 60384-14):

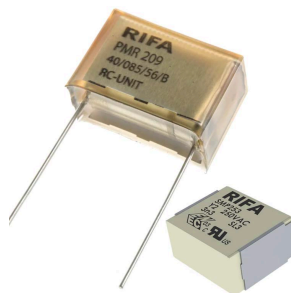
- Podklasa X3 - szczytowy impuls napięcia mniejszy lub równy 1,2 kV
- Podklasa X2 - szczytowy impuls napięcia mniejszy lub równy 2,5 kV
- Podklasa X1 - od 2,5 kV do mniej lub równo 4,0 kV
  
- Podklasa Y4 - napięcie do 150VAC
- Podklasa Y3 - napięcie mniejsze lub równe 150VAC do 250VAC
- Podklasa Y2 - napięcie mniejsze lub równe 150VAC do 300VAC
- Podklasa Y1 - napięcie mniejsze lub równe 500VAC

Podczas gdy kondensatory X2 i Y2 są odpowiednie do zastosowań w urządzeniach przeznaczonych do użytku domowego, kondensatory bezpieczeństwa X1 i Y1 są stosowane w warunkach przemysłowych.

### • Kondensatory papierowe

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

W metalizowanych kondensatorach papierowych papier pełniący rolę dielektryka jest powlekany cienką warstwą cynku lub aluminium i walcowany w postaci cylindra. Cały cylinder jest pokryty woskiem, aby chronić go przed środowiskiem.



Kondensatory papierowe mają następujące cechy:

- Zakres pojemności jest szeroki, a napięcia robocze są wysokie.
- Niskie koszty produkcji i prosta technika.
- Temperatura pracy wynosi zwykle od 85°C do 100°C.
- Brak stabilności chemicznej i termicznej, dzięki czemu są podatne na starzenie.
- Występują znaczne starty dielektryczne.
- Kondensatory papierowe są zwykle stosowane w obwodach o niskich częstotliwościach i obwodach prądu stałego.

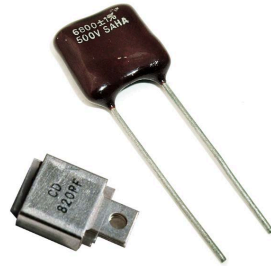
Kondensatory papierowe nie są spolaryzowane, jednak korpus kondensatora jest zwykle oznaczony paskiem na jednym końcu. Pasma wskazuje terminal, który jest podłączony do zewnętrznej okładki kondensatora. Terminal ten powinien być podłączony do części obwodu o niższym potencjale (jako środek ostrożności w układach o wysokim napięciu).

- **Kondensatory mikowe**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory mikowe wykonywane są metodą pokrycia okładek mikowych srebrem i układania ich w stopy celem osiągnięcia wymaganej pojemności.

Kondensatory mikowe posiadają stosunkowo niewielką wartość pojemności: zwykle od kilku pF do kilku nF. Napięcia robocze mogą sięgać 1000 Volt lub więcej do specjalnych zastosowań .



Kondensatory mikowe są bardzo stabilne i dokładne. Średni temperaturowy współczynnik pojemności wynosi około 50 ppm/°C.

Ich głównym zastosowaniem jest praca w układach wysokiego napięcia lub układach RF o dużej mocy, gdzie stabilność ma ogromne znaczenie.

- **Drabinki kondensatorów**

Występują głównie w wersjach **SMD**.

Drabinki kondensatorowe obejmują kilka kondensatorów (zwykle 4+) umieszczonych w jednej obudowie. Najczęściej spotykane są drabinki z kondensatorów MLCC w wersji SMD.

Podobne do drabinek rezystorów (patrz rozdział 2.2.1) drabinki kondensatorowe służą do zaoszczędzenia miejsca na płytkach PCB i do obniżania kosztów montażu oraz zakupu elementów przy dużych ilościach produkowanych układów.

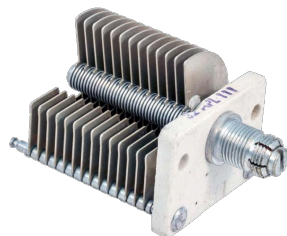


## 2.6.2 Kondensatory pojemności zmiennej

- **Kondensatory zmienne (nastawne)**

Występują w wersji **THT**.

Kondensator zmienny - kondensator, którego pojemność elektryczną można zmieniać mechanicznie.



Kondensatory zmienne stosowane są w obwodach oscylacyjnych i innych obwodach zależnych od częstotliwości, w celu zmiany ich częstotliwości rezonansowej - na przykład w obwodach korekcji charakterystyki częstotliwościowej wzmacniaczy, generatorów, urządzeń antenowych.

Konstrukcyjne kondensatory zmienne można podzielić na trzy typy:

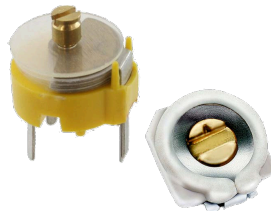
- z dielektrykiem powietrznym
- z dielektrykiem stałym
- próżniowe

Pojemność kondensatorów zmiennych o mechanicznej zmianie pojemności jest zwykle przedstawiana w zakresie od kilku do kilkudziesięciu lub kilkuset pikofaradów.

#### • Kondensatory trymowe

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Kondensatory trymowe są kondensatorami zmiennymi, które służą do wstępnej kalibracji sprzętu podczas produkcji lub serwisowania. Nie są przeznaczone do interakcji z użytkownikiem końcowym. Kondensatory trymowe są prawie zawsze montowane bezpośrednio na płytce drukowanej, dzięki czemu użytkownik nie ma do nich dostępu, a ustawianie odbywa się podczas wstępnego strojenia układu za pomocą małego śrubokręta.



Istnieją dwa rodzaje kondensatorów trymowych: z dielektrykiem powietrznym i dielektrykiem ceramicznym. Oba typy wykorzystują działanie obrotowe do zmiany wartości pojemności. Konstrukcja kondensatorów trymowych jest podobna do konstrukcji ich większego wariantu, kondensatora zmiennego.

Kondensatory trymowe oparte na ceramicznych dielektrykach są małe, niedrogie i łatwo dostępne na taśmie lub rolce do użytku podczas montażu automatycznego. Kondensatory te mogą być określone w zakresie pojemności do około 120 pF i doskonale nadają się do zastosowań wymagających małych rozmiarów i niskich kosztów.

Elementy te są dostępne z nominalnym temperaturowym współczynnikiem pojemności od 0 do 750 ppm/°C. Dryf pojemności zwykle wynosi około  $\pm 1\%$  do  $\pm 5\%$ , podczas gdy maksymalne napięcia pracy wynoszą około 200 VDC lub mniej.

## 2.6.3 Pozostałe kondensatory

- **Superkondensatory**

Występują w wersjach **SMD** i **THT**.

Superkondensator jest wyspecjalizowaną formą kondensatora elektrolitycznego, który oferuje niezwykle wysoki poziom pojemności - czasami nawet do wielu faradów.



Podobnie jak tradycyjne kondensatory, superkondensatory mają dwie metalowe okładki. Okładki pokryte są węglem aktywnym, który jest porowatym materiałem przypominającym gąbkę. Okładki zanurzone są w elektrolicie, który zawiera jony dodatnie i ujemne. W miarę ładowania elektrody węglowe mają dwie warstwy ładunku pokrywające ich powierzchnie. Odległość między dwiema warstwami ładunku na elektrodach jest niezwykle mała, co oznacza, że osiągalne są bardzo wysokie poziomy pojemności.

Warto przyrzeć się porównaniu typowego superkondensatora z zastosowaną obecnie technologią akumulatorów litowo-jonowych o dużej pojemności:

Parametr	Superkondensator	Akumulator litowo-jonowy
Napięcie jednej komórki	2.3 - 2.7V	3.6V
Czas naładowania	1 - 10 sekund	10 - 60 minut
Cykle naładowania / rozładowania	~ 1 mln	500 - 3000
Samorozładowanie	~ 50%/miesiąc	~ 5%/miesiąc
Gęstość energii (W*h/kg)	~5	100 - 200
Stabilność napięcia wyjściowego	zła	dobra
Bezpieczeństwo podczas eksploatacji	Stosunkowo bezpieczne	Mniej bezpieczne, mogą wybuchnąć w rzadkich przypadkach przy nadużyciu
Koszty za W*h	~ 20 jedn.	~ 1 jedn.
Czas życia	~ 10 lat	~ 5 lat
Zakres temperatur pracy	~ -40 to +65°C	~ 0 to +40°C

- **Kondensatory przelotowe**

Występują w wersjach THT.

Kondensator przelotowy jest kondensatorem z trzema wyprowadzeniami, służy do zmniejszania wpływu wysokich częstotliwości na obwody elektroniczne.



Specjalna konstrukcja kondensatora zasilającego zapewnia niską indukcyjność równoległą i oferuje doskonałą zdolność do redukcji szumów w obwodach cyfrowych do 5 GHz.

Kondensatory te są idealnym wyborem do tłumienia EMI, szerokopasmowego filtrowania I/O lub linii zasilających Vcc.

## **2.7 Szczegóły zastosowania oraz dobór zamienników dla różnych typów kondensatorów**

W praktyce najczęściej powstaje potrzeba doboru kondensatorów chipowych MLCC, ponieważ są obecne prawie w każdym obwodzie elektronicznym, a ich liczba wynosi średnio od 10 do 25% wszystkich komponentów w BOM-ach.

Jeśli naszym zadaniem jest zakup komponentów elektronicznych według BOM-u, może okazać się, że zamiast konkretnych Part Numbers mamy podane tylko podstawowe wartości kondensatorów lub kondensator o podanym konkretnym Part Number nie jest dostępny. W takim przypadku musimy wiedzieć na co mamy zwracać uwagę przy doborze kondensatorów.

Najpierw należy ustalić podstawowe parametry wyszukiwanego kondensatora, czyli pojemność, tolerancję, napięcie robocze, rodzaj dielektryka i typ obudowy. W większości przypadków będzie to wystarczająca informacja do doboru kondensatorów.

Musimy mieć na uwadze czy urządzenie, do którego dobieramy komponenty będzie używane w rygorystycznych warunkach pracy i czy konieczne jest zastosowanie kondensatorów spełniających wymagania przemysłu motoryzacyjnego AEC-Q200 (patrz rozdział 1.7).

Teraz, gdy mamy wszystkie niezbędne informacje, można rozpocząć wyszukiwanie konkretnych kondensatorów na stronach producentów lub dostawców komponentów elektronicznych.