

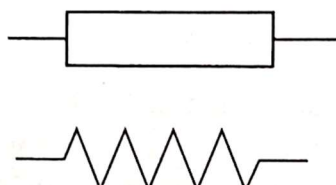
2.5

Rezystory

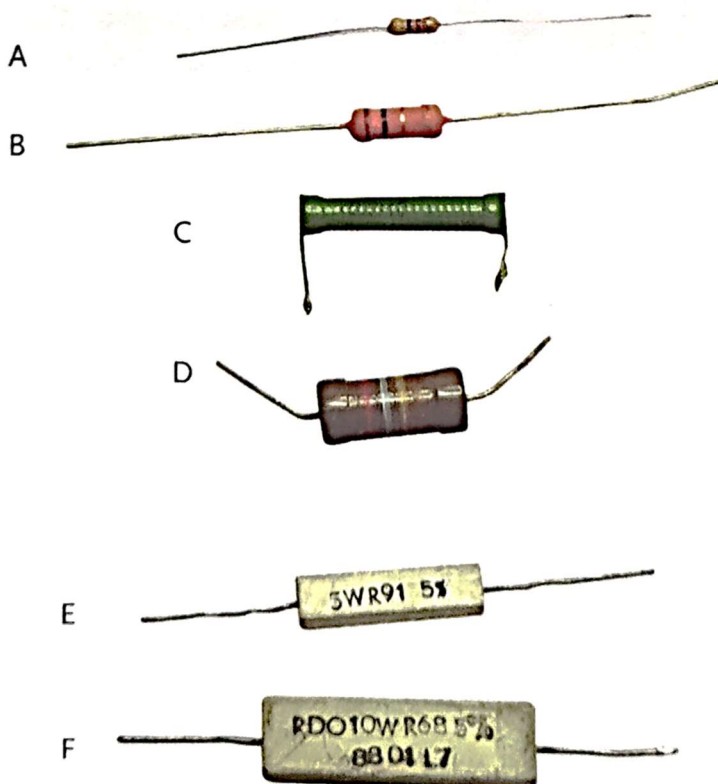
Z TEGO ROZDZIAŁU DOWIESZ SIĘ:

- jakich symboli używa się do oznaczania rezystorów,
- jakie są typowe wartości rezystorów.

Rezystory to najprostsze bierne elementy elektroniczne. Wykonuje się je w różnych technologiach. Oprócz wartości wskazującej na rezystancję, czyli opór dla przepływającego prądu, mają też oznaczenia związane z mocą. Dopuszczalna moc strat określa, ile mocy może się wydzielić na rezystorze bez zniszczenia go.



Rys. 2.31. Symbole rezystora: u góry – wersja używana w Polsce, na dole – symbol popularny w krajach anglosaskich i często wykorzystywany w programach komputerowych do projektowania obwodów



Rys. 2.32. Przykładowe rezystory: A, B – węglowe oznaczone kodem paskowym, C, D – drutowe oznaczone kodem paskowym, E, F – ceramiczne (E – rezystancja 0,91 Ω , moc 3 W, tolerancja 5%, F – rezystancja 0,68 Ω , moc 10 W, tolerancja 5%)

Rezystory mają różne rozmiary. Te najmniejsze, wykonane w technologii SMD, nie osiągają nawet 1 mm. Większe, przeznaczone do rozpraszania dużych mocy, liczą kilkanaście centymetrów.

Wartości rezystancji rezystorów podzielono na szeregi, które mają ścisły związek z tolerancjami rezystancji. Wartości w szeregu są ustalone według postępu geometrycznego i narastają wykładniczo z szybkością zależną od liczby wartości w szeregu. Przykładowo: jeśli szereg składa się z 5 liczb, to iloraz postępu geometrycznego jest równy pierwiastkowi piątego stopnia z 10 (czyli mniej więcej 1,58), a liczby tworzące szereg to: 10, 15, 22, 33, 47 i 68. Szeregowi temu przypisano tolerancję wartości 20%, dzięki czemu udaje się pokryć wszystkie pożądane wartości rezystancji w dekadzie. Przykładowo: $47 \Omega + 20\% = 56,4 \Omega$, a $68 \Omega - 20\% = 54,4 \Omega$, tak więc dokładność 20% pozwala na zabezpieczenie wszystkich wartości pomiędzy tymi, które bezpośrednio wynikają z danego szeregu.

WARTO WIEDZIEĆ

Szeregi są tworzone z liczb normalnych, które tworzą ciąg geometryczny o ilorazie $\sqrt[n]{10}$, gdzie n jest wartością szeregu, np. 3, 6, 12, 24, 48, określającą liczbę elementów w szeregu. Na pomysł stworzenia takiego szeregu liczb wpadł w 1870 r. inżynier wojskowy Charles Renard. W 1952 r. ten standard został przyjęty przez ISO [ang. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION], międzynarodową organizację ustalającą normy techniczne.

2.5.1. Szeregi główne rezystorów

Szereg E stosuje się w elektronice do oznaczania rezystancji rezystorów, pojemności kondensatorów itp. Liczba po literze E opisuje, ile jest wartości rezystorów w typoszeregu, i pośrednio wskazuje na tolerancję wartości, z jaką wykonano rezystor.

W typoszeregach od E3 do E24 oznaczenia rezystorów składają się z dwóch cyfr i mnożnika. Parametr określający tolerancję jest opcjonalny. Szeregi E12 i E24 są powszechnie wykorzystywane w elektronice.

Tab. 2.6. Główne typoszeregi rezystorów

Typoszereg	E3	E6	E12	E24
Tolerancja	50%	20%	10%	5%
Wartości rezystancji (cyfry znaczące)	10	10	10	10
				11
			12	12
				13
		15	15	15
				16
			18	18
				20
	22	22	22	22
				24
			27	27

Tab. 2.6. cd. Główne typoszeregi rezystorów

Typoszeręg	E3	E6	E12	E24
				30
		33	33	33
				36
			39	39
				43
Wartości rezystancji (cyfry znaczące)	47	47	47	47
				51
			56	56
				62
		68	68	68
				75
			82	82
				91



WARTO WIEDZIEĆ

Typoszeręg E3 obecnie jest właściwie nieużywany ze względu na niewielką dokładność. Najczęściej w elektronice używa się typoszeręgów E6, E12 i E24.

Typoszeregi E48 i wyższe są rzadziej spotykane ze względu na cenę rezystorów. Rezystory z typoszeręgów E48 i kolejnych wykorzystuje się głównie w precyzyjnej aparaturze medycznej, pomiarowej itp. W sprzęcie konsumenckim niemal się ich nie spotyka.

2.5.2. Typoszeregi precyzyjne

Typoszeregi od E48 do E192 są szeregami rezystorów precyzyjnych i wymagają trzech cyfr znaczących, po których następują mnożnik i dodatkowe oznaczenia.

Typoszeregi precyzyjne cechują się tolerancjami: 2% dla E48, 1% dla E96 i 0,5% dla E192. W tych typoszeręgach istotną rolę odgrywa współczynnik temperaturowy, który zazwyczaj uwzględnia się w oznaczeniu rezystora.

Tab. 2.7. Typoszeregi rezystorów precyzyjnych

E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192
1,00	1,00	1,00	1,47	1,47	1,47	2,15	2,15	2,15	3,16	3,16	3,16	4,64	4,64	4,64	6,81	6,81	6,81
		1,01			1,49			2,18			3,20			4,70			6,90
	1,02	1,02		1,50	1,50		2,15	2,15		3,24	3,24		4,75	4,75		6,98	6,98
		1,04			1,52			2,23			3,28			4,81			7,06

E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192
1,05	1,05	1,05	1,54	1,54	1,54	2,26	2,26	2,26	3,32	3,32	3,32	4,87	4,87	4,87	7,15	7,15	7,15
		1,06			1,56			2,23			3,36			4,93			7,23
	1,07	1,07		1,58	1,58		2,32	2,32		3,40	3,40		4,99	4,99		7,32	7,32
		1,09			1,60			2,34			3,44			5,05			7,41
1,10	1,10	1,10	1,62	1,62	1,62	2,37	2,37	2,37	3,48	3,48	3,48	5,11	5,11	5,11	7,50	7,50	7,50
		1,11			1,64			2,40			3,52			5,17			7,59
	1,13	1,13		1,65	1,65		2,43	2,43		3,57	3,57		5,23	5,23		7,68	7,68
		1,14			1,67			2,46			3,61			5,30			7,77
1,15	1,15	1,15	1,69	1,69	1,69	2,49	2,49	2,49	3,65	3,65	3,65	5,36	5,36	5,36	7,87	7,87	7,87
		1,17			1,72			2,52			3,65			5,42			7,96
	1,18	1,18		1,74	1,74		2,55	2,55		3,70	3,70		5,49	5,49		8,06	8,06
		1,20			1,76			2,58			3,74			5,56			8,16
1,21	1,21	1,21	1,78	1,78	1,78	2,61	2,61	2,61	3,79	3,79	3,79	5,62	5,62	5,62	8,25	8,25	8,25
		1,23			1,80			2,64			3,83			5,69			8,35
	1,24	1,24		1,82	1,82		2,67	2,67		3,88	3,88		5,76	5,76		8,45	8,45
		1,26			1,84			2,71			3,92			5,83			8,56
1,27	1,27	1,27	1,87	1,87	1,87	2,74	2,74	2,74	3,97	3,97	3,97	5,90	5,90	5,90	8,66	8,66	8,66
		1,29			1,89			2,77			4,07			5,97			8,76
	1,30	1,30		1,91	1,91		2,80	2,80		4,12	4,12		6,04	6,04		8,87	8,87
		1,32			1,93			2,84			4,17			6,12			8,98
1,33	1,33	1,33	1,96	1,96	1,96	2,87	2,87	2,87	4,22	4,22	4,22	6,19	6,19	6,19	9,09	9,09	9,09
		1,35			1,98			2,91			4,27			6,26			9,19
	1,37	1,37		2,00	2,00		2,94	2,94		4,32	4,32		6,34	6,34		9,31	9,31
		1,38			2,03			2,98			4,37			6,42			9,42
1,40	1,40	1,40	2,05	2,05	2,05	3,01	3,01	3,01	4,42	4,42	4,42	6,49	6,49	6,49	9,53	9,53	9,53
		1,42			2,08			3,05			4,48			6,57			9,65
	1,43	1,43		2,10	2,10		3,09	3,09		4,53	4,53		6,65	6,65		9,76	9,76
		1,45			2,13			3,12			4,59			6,73			9,88

2.5.3. Kody rezystorów przewlekanych

Z powodu małych wymiarów elementów rezystancyjnych oraz ich budowy przyjęło się oznaczać je kodami barwnymi. Dzięki temu, niezależnie od kierunku montażu, zawsze jest widoczny kod barwny, co umożliwia odczytanie znamionowej wartości rezystancji. Oznaczenie za pomocą nadruku wykonanego w postaci cyfrowej wiązałoby się z ryzykiem braku możliwości odczytania wartości rezystancji w przypadku montażu na płytce drukowanej. Poza tym kod barwny ze względu na wielkość jest czytelniejszy i trudniejszy do przypadkowego zmazania.

Tab. 2.8. Kody barwne rezystorów przewlekanych

Kolor paska	Wartość		Mnożnik	Tolerancja $\pm\%$	Współczynnik temperaturowy $\pm\text{ppm/K}$
	1. pasek	2. pasek	3. pasek	4. pasek	6. pasek
czarny		0	1 Ω		250
brązowy	1	1	10 Ω	1	100
czerwony	2	2	100 Ω	2	50
pomarańczowy	3	3	1 k Ω		15
żółty	4	4	10 k Ω		25
zielony	5	5	100 k Ω	0,5	20
niebieski	6	6	1 M Ω	0,25	10
fioletowy	7	7	10 M Ω	0,1	5
szary	8	8	100 M Ω	0,05	1
biały	9	9	1 G Ω		
brak paska	0,1 Ω 0,01 Ω			20	
żółty				5	
srebrny				10	

Jeżeli paski są trzy, to każdy z nich symbolizuje rezystancja, przy czym trzeci zawsze oznacza mnożnik, a tolerancja wynosi 20%.



Rys. 2.33. Rezystor o rezystancji 12 k Ω i tolerancji 20%

Jeżeli paski są cztery, to pierwsze trzy oznaczają oporność, a czwarty symbolizuje tolerancję.



Rys. 2.34. Rezystor o rezystancji 150 k Ω i tolerancji 0,5%

Jeżeli pasków jest pięć, to trzy pierwsze oznaczają rezystancję, czwarty symbolizuje mnożnik, a piąty – tolerancję.



Rys. 2.35. Rezystor o rezystancji 2,2 k Ω i tolerancji 5%

Jeżeli pasków jest sześć, mamy do czynienia z rezystorem precyzyjnym; trzy pierwsze paski oznaczają rezystancję, czwarty symbolizuje mnożnik, piąty – tolerancję, a szósty – współczynnik temperaturowy.



Rys. 2.36. Rezystor precyzyjny o rezystancji 680 k Ω , tolerancji 0,5% i współczynniku temperaturowym 10 ppm/K

WARTO WIEDZIEĆ

Wszystkie rezystory są w jakiś sposób zależne od temperatury. To zjawisko opisuje się za pomocą współczynnika temperaturowego. Jednostką najczęściej stosowaną jest ppm/K [ang. PART PER MILION / KELVIN] (milionowa część na 1 stopień, 10⁻⁶/K). Współczynnik temperaturowy zmienia się zależnie od typu rezystora i wynika z zastosowanych materiałów. Przykładowo: rezystory węglowe mają duży ujemny współczynnik (od -200 do -2000 ppm/K, zależnie od wartości rezystancji), podczas gdy istnieją specjalne rezystory metalizowane o współczynniku poniżej ± 1 ppm/K.

Przykładowo: współczynnik 1 ppm/K dla rezystora 1 M Ω oznacza wzrost rezystancji o 1 Ω na każdy Kelvin przyrostu temperatury.

2.5.4. Kody rezystorów SMD

W przypadku elementów przeznaczonych do montażu powierzchniowego nie stosuje się oznaczeń kolorami, lecz cyframi i literami.

WARTO WIEDZIEĆ

Tworzeniem standardów i norm w elektronice zajmuje się kilka instytucji o zasięgu międzynarodowym. Opracowują i udostępniają one dokumentację. Często w dokumentacji lub branżowej literaturze można spotkać się z oznaczeniem EIA, JEDEC i innych, po których występuje ciąg liczbowy. Litery oznaczają akronim nazwy instytucji, a liczba – numer dokumentu/standardu.

EIA [ang. ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE] – Sojusz Przemysłu Elektronicznego.

ANSI [ang. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE] – Amerykański Narodowy Instytut Normalizacyjny. Przykładowo: EIA-485 jest dokumentem opisującym standard transmisji szeregowej RS485.

Kody 3-cyfrowe

Za pomocą kodów 3-cyfrowych koduje się rezystory z typoszeregu E24 o tolerancji 5%. Pierwsze dwie cyfry oznaczają rezystancję, a trzecia to mnożnik w postaci liczby zer, np.:

100 – 10 Ω – trzecia cyfra oznacza zero zer, więc jest to 10 Ω ,

683 – 68 k Ω

226 – 22 M Ω .

Kody 4-cyfrowe

Kody 4-cyfrowe są stosowane do rezystorów z typoszeregu E96 o tolerancji 1%. Pierwsze trzy cyfry oznaczają rezystancję, a czwarta określa liczbę zer, np.:

1000 – 100 Ω ,

4703 – 470 k Ω ,

9762 – 97,6 k Ω .

Kody 3-cyfrowe z podkreśleniem

Kody 3-cyfrowe z podkreśleniem stosuje się dla typoszeregu E24 o tolerancji 1%. Podkreślona jest środkowa cyfra, np.:

100 – 10 Ω – trzecia cyfra oznacza zero zer, więc jest to 10 Ω ,
683 – 68 k Ω ,
226 – 22 M Ω .

Oznaczenie rezystorów o rezystancji poniżej 10 Ω

Z poprzednich przykładów wynika, że najniższa rezystancja przy kodowaniu to 10 Ω , a jej oznaczenie to 100. Aby rozwiązać problem małych rezystancji, używa się litery R, pełniącej funkcję przecinka, np.:

1R0 – 1 Ω ,
0R22 – 0,22 Ω ,
0R01 – 0,01 Ω .

Kodowanie zgodne z EIA-96

Omówione powyżej sposoby kodowania wartości rezystorów są proste i intuicyjne. Kodowanie EIA-96 okazuje się o wiele bardziej skomplikowane. EIA-96 bazuje na typoszeregu E96. Każdej wartości przypisano kod liczbowy, a mnożnikowi – literowy (zob. tab. 2.9).

Tab. 2.9. Mnożniki w kodowaniu EIA-96

Litera	Mnożnik		
F	100 000	10^5	100 k Ω
E	10 000	10^4	10 k Ω
D	1000	10^3	1 k Ω
C	100	10^2	100 Ω
B	10	10^1	10 Ω
A	1	10^0	1 Ω
X lub S	0,1	10^{-1}	0,1 Ω
Y lub R	0,01	10^{-2}	0,01 Ω

Tab. 2.10. Kody wartości rezystorów o tolerancji 1% (zgodnie z EIA-96)

Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	215	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	370	72	549	88	806

Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96	Kod 1%	E96
09	121	25	178	41	261	57	379	73	562	89	825
10	124	26	182	42	267	58	388	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	397	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

ZAPAMIĘTAJ

Kody dla tolerancji innych niż 1% oznaczają zupełnie inne wartości niż kody dla tolerancji 1%. Aby je rozróżnić, stosuje się odmienne oznaczenie literowe. Dla tolerancji 1% mnożnik umieszcza się po kodzie cyfrowym, np. 10C, a dla tolerancji wyższych niż 1% – przed kodem cyfrowym, np. B25.

Tab. 2.11. Kody rezystancji dla rezystorów o tolerancji innej niż 1% (zgodnie z EIA-96)

Kod 2%	Liczba	Kod 2%	Liczba	Kod 5%	Liczba	Kod 5%	Liczba	Kod 10%	Liczba
01	100	13	330	25	100	37	330	49	100
02	110	14	360	26	110	38	360	50	120
03	120	15	390	27	120	39	390	51	150
04	130	16	430	28	130	40	430	52	180
05	150	17	470	29	150	41	470	53	220
06	160	18	510	30	160	42	510	54	270
07	180	19	560	31	180	43	560	55	330
08	200	20	620	32	200	44	620	56	390
09	220	21	680	33	220	45	680	57	470
10	240	22	750	34	240	46	750	58	560
11	270	23	820	35	270	47	820	59	680
12	300	24	910	36	300	48	910	60	820

Dla tolerancji 2% i 5% liczba jest tożsama z typoszeregiem E24, dla tolerancji 10% odpowiednikiem jest typoszereg E12.

Przykłady oznaczeń:

10C – 12,4 k Ω ,

C10 – 24 k Ω , tolerancja 2%,

B25 – 1 k Ω , tolerancja 5%,

A60 – 820 Ω , tolerancja 10%.