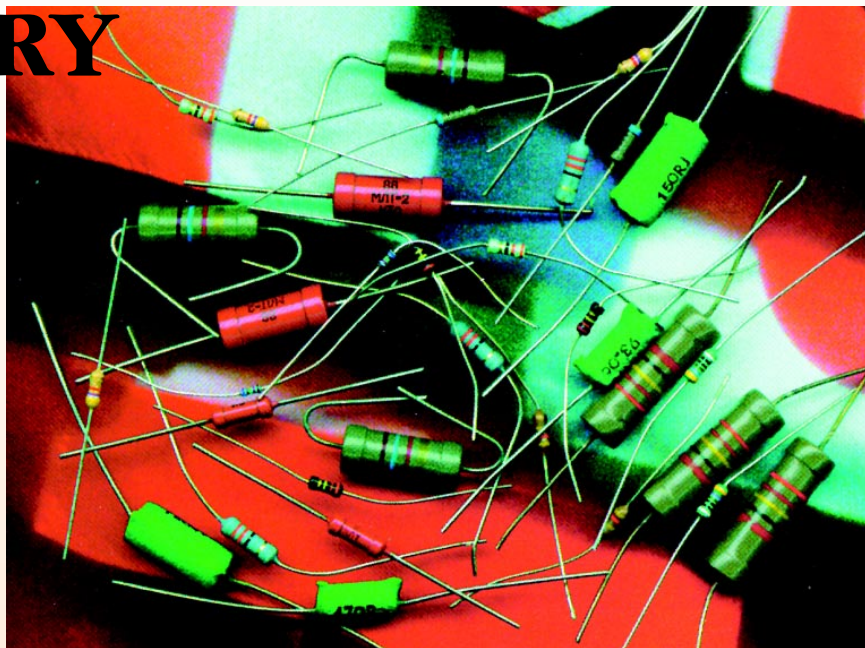


# REZYSTORY

## część 2



*Drogi Czytelniku!  
W moim drugim liście z cyklu korespondencyjnych lekcji elektroniki chciałbym dokończyć rozpoczęty przed miesiącem temat rezystorów. Pora już nauczyć się "odczytywać" wartości rezystorów na podstawie kolorowych kodów paskowych.*

Nauczenie się kolorów wcale nie jest trudne. Naucz się jak wierszyka kolejności kolorów:

czarny - brązowy - czerwony - pomarańczowy - żółty - zielony - niebieski - fioletowy - szary - biały.

Odpowiada to kolejnym cyfrom, uważa! - od zera do dziewięciu. I teraz znasz już cyfry. Ale to dopiero mniej niż połowa drogi.

Spotyka się też paski srebrne i złote.

Jak wiesz, ktoś kiedyś wykombinował, iż trzeba przyjąć pewne wartości nominalne i produkować elementy według tak przyjętych szeregów. Dlatego nie pytaj nigdzie na przykład o opornik 9,8 kiloohma, bo takiego nominalu nikt nie produkuje. W artykule znajdziesz tablice szeregów E3 - E192. Liczba obok literki E wskazuje na ilość pozycji dla jednej dekady, czyli na gęstość szeregu. Popularne rezystory, do których jesteś przyzwyczajony, wykonywane są według szeregów E12 i E24. Po analizie tego artykułu i po przeprowadzeniu zaproponowanych eksperymentów zaczniesz cenić te "nieokrągłe" nominały z szeregów E48, E96 i E192. Nie staraj się nauczyć na pamięć podanych szeregów - pamięć zostaw dla ważniejszych informacji. Z czasem liczby te same "wejdą ci do głowy". Proponuję ci, żebyś wykonał odbitkę ksero strony z tymi tablicami i zawsze miał ją "pod ręką". Dlaczego? Zaraz się przekonasz.

Teoretycznie klucz do zidentyfikowania "kolorowego" opornika jest bardzo prosty. Dla szeregów E12 - E48 wygląda następująco:

pierwszy pasek - pierwsza cyfra znacząca  
drugi pasek - druga cyfra znacząca  
trzeci pasek - mnożnik (czyli prościej ilość zer)

czwarty pasek - tolerancja.

Pierwszy pasek powinien być

umieszczony jak najbliżej brzegu, czyli na metalowym kapturku (obejmie), natomiast ostatni pasek powinien być szerszy od pozostałych.

Przykładowo: czerwony-czerwony-czerwony-żółty oznacza 2,2kΩ.

Jeśli trzeci pasek jest czarny, do dwóch cyfr znaczących nie dopisuje się żadnych zer. Na przykład oznaczenie: szary-czerwony-czarny daje wartość 82Ω.

Paski złoty i srebrny nie mogą wystąpić na pierwszych dwóch pozycjach jako cyfry znaczące. Kolor złoty na trzeciej pozycji oznacza mnożnik 0,1. Wtedy kod: zielony-brązowy-żółty daje wartość 5,1Ω. Pasek srebrny na miejscu mnożnika oznacza 0,01: czerwony-fioletowy-srebrny dawałby więc 0,27Ω. Jednak rezystory o nominalach poniżej 1W są najczęściej oznaczane cyframi.

Nie wspomnieliśmy dotychczas o ostatnim pasku, określającym tolerancję. Zgodnie z naszym wierszykiem pasek brązowy wskazuje na tolerancję 1%, czerwony - 2%; tolerancja 10% oznaczana jest paskiem srebrnym, a tolerancja 5% - złotym (!), a nie zielonym. Pasek zielony oznacza tolerancję 0,5%, innych kolorów pasków tolerancji pewnie nigdy w życiu nie spotkasz (niebieski - 0,25%, fioletowy - 0,1%, szary - 0,05%). Natomiast brak czwartego paska oznacza tolerancję 20%; tak nędznych rezystorów jednak prawie się już dziś nie spotyka.

W praktyce problem polega jednak często na tym, że nie będziesz potrafił stwierdzić "co poeta miał na myśli", czyli co to miał być za kolor: pomarańczowy, czy żółty; brązowy czy czarny; szary, niebieski, czy może fioletowy? Ponadto, czasem trudno określić, który pasek ma być pierwszy, który ostatni, bo paski naniesione są niedbale, żaden nie jest szerszy od pozostałych i wszystkie

umieszczone są mniej więcej na środku rezystora.

I właśnie przy takich wątpliwościach znakomitą pomocą w rozszyfrowaniu będą tabele szeregów i poniższe zasady:

Jeśli są cztery paski (występują dwie cyfry znaczące), to ostatni powinien być złoty albo srebrny, bo popularne rezystory wytwarzane są według szeregów E12 i E24. Na pewno nie znajdziesz oznaczenia typu: niebieski-szary-czerwony-zielony (6,8kΩ 0,5%), bo rezystory o tolerancji 0,5% zawsze są wytwarzane według szeregu E192, ewentualnie E96.

Z czterema paskami szybko więc sobie poradzisz. Ale spotkasz rezystory z pięcioma, a nawet sześcioma paskami. Tu zasady są podobne, tyle że występują trzy cyfry znaczące:

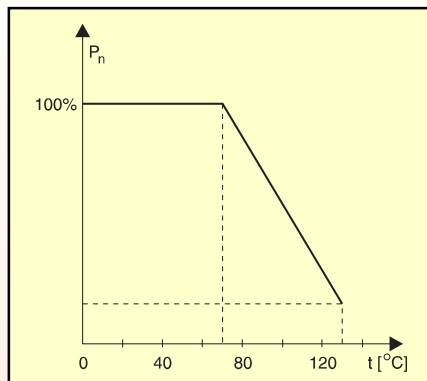
pierwszy pasek - pierwsza cyfra znacząca  
drugi pasek - druga cyfra znacząca  
trzeci pasek - trzecia cyfra znacząca  
czwarty pasek - mnożnik  
piąty pasek - tolerancja.  
ewentualny szósty pasek - współczynnik temperaturowy.

Kolor szóstego paska informuje o temperaturowym współczynniku rezystancji:

brązowy - 100ppm/K  
czerwony - 50ppm/K  
żółty - 25ppm/K  
pomarańczowy - 15ppm/K  
niebieski - 10ppm/K  
fioletowy - 5ppm/K

Zapamiętaj też raz na zawsze, że to straszne "pi-pi-em" to po prostu skrót "parts per million" czyli swojsko - części na milion:

1ppm = 1/1000000 = 10<sup>-6</sup>. Stąd np.:  
1% = 10000ppm = 10<sup>4</sup>ppm



Rys. 1.

$$100\text{ppm} = 0,01\%$$

Nie licz jednak na to, że na perskim jarmarku kupisz za grosze rezystory o współczynniku temperaturowym mniejszym niż 50ppm/K (0,005%/K). Jeśli w ogóle spotkasz "sześciopaskowy" rezystor, ostatni pasek będzie brązowy albo czerwony.

Przy oznaczeniach pięcio- i sześciopaskowych pomocą w "rozszyfrowaniu" oznaczenia będą tabele ciągów E48 (2%), E96 (1%) i E192 (0,5%). Bardzo rzadko, ale jednak można natknąć się też na dziwolągi; autor ma np. rezystory oznaczone czerwony-czerwony-czarny-brązowy-czerwony (według podanego klucza 220W 1% 20ppm/K). Ale według jedno-procentowego szeregu E96 powinno być 221W, nie 220W. Być może jest to wyrób oznakowany kodem Siemens, niezgodnym z zaleceniami IEC, gdzie trzeci pasek oznacza mnożnik, czwarty - tolerancję (czarny = tolerancja wg specyfikacji klienta) a piąty - trzecią cyfrę znaczącą. Tylko dlaczego pojawił się szósty pasek?

Jak by nie było, nie bój się tych dziwnych pięciopaskowych oznaczeń - jak się pomału przekonasz, rezystory produkowane według tych "gęstych" szeregów są po prostu lepsze.

Podam ci jeszcze na przykładach inne sposoby kodowania parametrów według różnych norm:

wartość	wg IEC	wg MIL
0,15W	R15	-
1W	1R0	1R0
39W	39R	390
120W	120R	121
5,6kW	5k6	562
33kW	33k	333
470kW	470k	474
2,7MW	2M7	275
15MW	15M	156.

Niekiedy w oznaczeniach literkę R pomija się i np. zapis 180 oznacza 180W.

Jeśli w oznaczeniu spotkasz dodatkową literkę, to będzie ona oznaczać tolerancję:

- N ±30%
- M ±20%
- K ±10%
- J ±5%
- H ±2,5%

- G ±2%
- F ±1%
- D ±0,5%
- C ±0,2%
- B ±0,1%
- R1 ±1W (!).

Przykładowo 2k7K = 2,7kW 10%, 4R3J = 4,3W 5%. W niektórych rezystorach również podstawowy kolor obudowy rezystora niesie jakąś informację, ale dla amatora będzie to zbyt trudne do ustalenia, nie są to bowiem zasady znormalizowane i poszczególne firmy ustalają własne reguły.

Teraz już na pewno poradzisz sobie z rozszyfrowaniem rezystancji i tolerancji. Niestety, muszę cię zasmucić - z takiego oznaczenia nie dowiesz się nic na temat dopuszczalnej mocy strat. A można tu się natknąć na duże niespodzianki. Przyzwoity krajowy rezystor MFR o obciążalności 0,25W ma maksymalne wymiary = 3,4mm l = 7,2mm. Tymczasem firma Vitrohm proponuje rezystory tej samej lub lepszej klasy serii GP (1% 50ppm/K) o obciążalności 0,4W (typ 490) i wymiarach = 1,6mm l = 4mm! Natomiast rezystory GP serii 491 przy wymiarach nadal znacznie mniejszych niż MFR 0,25W - = 2,5mm l = 6mm - mają obciążalność 0,6W!

Ponieważ większość hobbystów kupuje rezystory pochodzące z różnych, często przypadkowych i niepowtarzalnych źródeł, pożytek z podanych tu cennych informacji z konieczności nie może być pełny. W zasadzie tylko konstruktor-profesjonalista mający dostęp do katalogów konkretnych firm może zamówić rezystory o potrzebnych parametrach - amatorzy muszą sobie radzić nieco inaczej. A przecież co jakiś czas przyjdzie ci wykonać jakiś układ pomiarowy i chciałbyś uzyskać powtarzalne i stabilne parametry. Czy potrafisz odróżnić rezystor węglowy klasy RWW od metalowego MŁT? A jakie parametry mają często spotykane na rynku rezystory produkcji czeskiej albo byłego NRD? Nie masz szans określić tego na podstawie katalogów. Włącz więc wreszcie swą lutownicę. Rezystory masz już przygotowane - do tej próby weź tylko małe rezystory o mniej więcej jednakowej wielkości (popularne ćwiartki i ósemki). Dołączaj teraz po kolei rezystory do miernika cyfrowego, zapisuj rezystancję w stanie zimnym, a potem podgrzewaj każdy opornik mniej więcej w jednakowy sposób. Ja podgrzewałem lutownicą nóżkę rezystora w odległości około 1mm od korpusu. Zapisz teraz rezystancję każdego opornika w stanie gorącym. Następnie zo-

staw je w spokoju, aż ostygną do temperatury pokojowej i znów zmierz i zapisz ich rezystancję. Wykonaj to porządnie i dokładnie. Przeanalizuj wyniki. Ja podam ci swoje wnioski, ale ty nie bądź leniwy - wykonaj to ćwiczenie i przekonaj się... jaki złom nagromadziłeś w swych zapasach.

Ja przebadałem w ten sposób ponad 50 rezystorów. Niektóre moje wyniki od najgorszych do najlepszych wyglądają następująco:

Rezystor brązowy-czarny-niebieski-żółty (10Mw 5%) niewiadomej produkcji kupiony na perskim. Na zimno - 10,26Mw, na gorąco - 6,55Mw (!), po ostygnięciu - 10,15Mw. Zauważ, że po podgrzaniu symulującym wlutowanie w płytkę rezystancja zmieniła się, bagatela, o 37%! A nominalna tolerancja ma wynosić 5%! Po ostygnięciu rezystancja nie wróciła też do początkowej wartości - "rozjechała się" o ponad 1%. Takiego rezystora nie można użyć do żadnego prawdziwego przyrządu pomiarowego. Ale popatrz dalej:

Rezystor "na oko" MŁT 0,25W oznaczony 2M7. W stanie gorącym rezystancja spadła z 2,688Mw do 2,290Mw czyli o 15% - on także nie nadaje się do żadnych precyzyjnych urządzeń.

***Dobieranie lub łączenie popularnych, tanich rezystorów w celu osiągnięcia dokładnie określonych wartości bardzo często zupełnie nie ma sensu. Pamiętaj o tym, że podczas lutowania rezystancja taniego rezystora węglowego może się trwale zmienić o ponad 1%. Także jeśli przepływający prąd podgrzeje rezystor i jego temperatura znacznie się zwiększy, rezystancja może "uciec" nawet poza nominalny zakres tolerancji.***

Podobnie rezystor brązowy-czarny-zielony-żółty (1Mw 5%). Przed próbą: 1017,0kW, na gorąco 896kW (-12%), po ostygnięciu 1005,0kW, czyli też "rozjechał się" o ponad 1%. Ale już radziecki rezystor C2-14 o nominalnie 988kW (szereg E192!) miał wyniki odpowiednio: 987kW; 983kW; 987kW. Podgrzanie zmieniło rezystancję tylko o 0,4%, a po ostygnięciu powrócił on do pierwotnej wartości. Ten rezystor świetnie nadaje się do zastosowania w dokładnym przyrządzie pomiarowym.

Z kolei rezystory niebieski-szary-żółty-żółty (680kW 5%) zmniejszyły swą rezystancję po podgrzaniu o 8...10%. Tej samej klasy oporniki: brązowy-czarny-żółty-żółty (100kW 5%) zmniejszyły rezystancję o 4...6% a po ostygnięciu rezystancja różniła się o 0,2...1% od początkowej. Rezystory MŁT 0,125W 100kW zmniejszyły rezystancję o 3,3%, ale powróciły do pierwotnej wartości z dokładnością 0,2%. Dla dobrego rezystora MFR 0,125W rezystancja wynosiła kolejno: 99,74kW; 100,04kW (+0,3%), 99,82kW (<0,1%). Z tego nominalu najlepszy okazał się jednak niepozorny, miniaturowy (= 1,6mm l = 4mm) rezystorek oznaczony brązowy-czarny-żółty-żółty - 100kW

## KOD BARWNY

Wartość rezystancji w omach, współczynnik temperaturowy w ppm/K ( $10^{-6}/K$ )

	Cyfry znaczące	Mnożnik	Tolerancja	Współczynnik temperaturowy	
srebrny	-	x0,01	±10%	-	srebrny
złoty	-	x0,1	±5%	-	złoty
czarny	0	x1	-	±250	czarny
brązowy	1	x10	±1%	±100	brązowy
czerwony	2	x10 <sup>2</sup>	±2%	±50	czerwony
pomarańczowy	3	x10 <sup>3</sup>	±15		pomarańczowy
żółty	4	x10 <sup>4</sup>		±25	żółty
zielony	5	x10 <sup>5</sup>	±0,5%	±20	zielony
niebieski	6	x10 <sup>6</sup>	±0,25%	±10	niebieski
fioletowy	7	x10 <sup>7</sup>	±0,1%	±5	fioletowy
szary	8	x10 <sup>8</sup>	-	±1	szary
biały	9	x10 <sup>9</sup>	-	-	biały
brak	-	-	±20%	-	brak

### PRZYKŁADY (kod barwny)

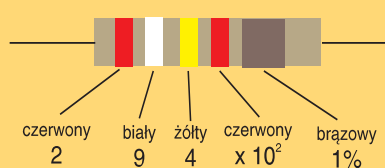
pierwszy pasek blisko końca rezystora



3,9 MΩ 20%

#### TRZY PASKI

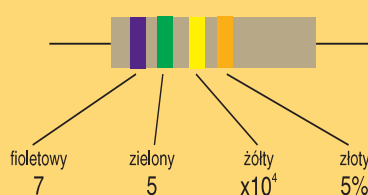
ostatni pasek szerszy o 50...100%



29,4 kΩ 1%

#### PIĘĆ PASKÓW

pierwszy pasek blisko końca rezystora



750 kΩ 5%

#### CZTERY PASKI

ostatni pasek szerszy o 50...100%



6,81 kΩ 0,5% 50 ppm/K

#### SZEŚĆ PASKÓW

### PRZYKŁADY (kod literowo - cyfrowy)

Wartość rezystancji	Według IEC	Według MIL	Tolerancja	Współczynnik temperaturowy	kod
0,22Ω	R22	-	N - ±30%	100ppm/K	TO
3,9Ω	3R9	3R9	M - ±20%	50ppm/K	T2
75Ω	75R	750	K - ±10%	25ppm/K	T9
910Ω	910R lub K91	911	J - ±5%	15ppm/K	T10
1,8kΩ	1K8	182	G - ±2%	10ppm/K	T13
62kΩ	62K	623	F - ±1%	5ppm/K	T16
470kΩ	470K lub M47	474	D - ±0,5%	2ppm/K	T18
5,6MΩ	5M6	565	C - ±0,25%		
36MΩ	36M	366	B - ±0,1%		
1,54kΩ	1K54	1541	W - ±0,05%		
43,2kΩ	43K2	4322	P - ±0,002%		
931kΩ	931K	9313	L - ±0,001%		
1,24MΩ	1M24	1244	E - ±0,0005%		

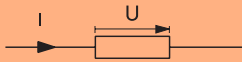
# TABELE CiągÓW

E6			E12			E24			E6			E12			E24		
1.0			1.0			1.0			3.3			3.3			3.3		
			1.2			1.1						3.9			3.6		
			1.5			1.2						4.7			3.9		
			1.8			1.3						5.6			4.3		
			2.2			1.5						6.8			4.7		
			2.7			1.6						8.2			5.1		
						1.8									5.6		
						2.0									6.2		
						2.2									6.8		
						2.4									7.5		
						2.7									8.2		
						3.0									9.1		

E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192	E48	E96	E192
100	100	100	162	162	162	261	261	261	422	422	422	681	681	681
		101			164		264			427				690
		102		165	165		267	267		432	432		698	698
		104			167		271			437			706	706
105	105	105	169	169	169	274	274	274	422	422	422	715	715	715
		106			172		277			448			723	723
		107		174	174		280	280		453	453		732	732
		109			176		284			459			741	741
110	110	110	178	178	178	287	287	287	464	464	464	750	750	750
		111			180		291			470			759	759
		113		182	182		294	294		475	475		768	768
		114			184		298			481			777	777
115	115	115	187	187	187	301	301	301	487	487	487	787	787	787
		117			189		305			493			796	796
		118		191	191		309	309		499	499		806	806
		120			193		312			505			816	816
121	121	121	196	196	196	316	316	316	511	511	511	825	825	825
		123			198		320			517			835	835
		124		200	200		324	324		523	523		845	845
		126			203		328			530			856	856
127	127	127	205	205	205	332	332	332	536	536	536	866	866	866
		129			208		336			542			876	876
		130		210	210		340	340		549	549		887	887
		132			213		344			556			898	898
133	133	133	215	215	215	348	348	348	562	562	562	909	909	909
		135			218		352			569			920	920
		137		221	221		357	357		576	576		931	931
		138			223		361			583			942	942
140	140	140	226	226	226	365	365	365	590	590	590	953	953	953
		142			229		370			597			965	965
		143		232	232		374	374		604	604		976	976
		145			234		379			612			988	988
147	147	147	237	237	237	383	383	383	619	619	619			
		149			240		388			626				
150	150	150	243	243	243		392	392		634	634			
		152			246		397			642				
154	154	154	249	249	249	402	402	402	649	649	649			
		156			252		407			657				
		158		255	255		412	412		665	665			
			160		258		417			673				

## PODSTAWOWE WZORY

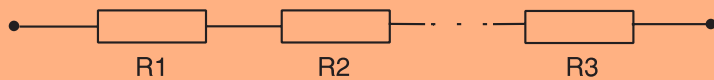


$$R = \frac{U}{I} \quad P = U * I \quad U = \frac{P}{I} \quad I = \frac{P}{U}$$

$$U = I * R \quad P = \frac{U^2}{R} \quad U = \sqrt{P * R} \quad R = \frac{U^2}{P}$$

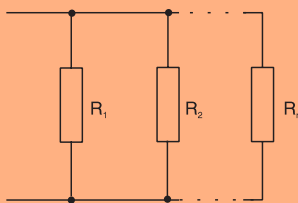
$$I = \frac{U}{R} \quad P = I^2 * R \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

### Połączenie szeregowe rezystorów



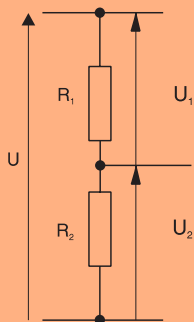
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

### Połączenie równoległe rezystorów



$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### Dzielniki napięcia

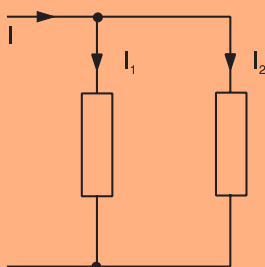


$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * U$$

### Rozpływ prądów



$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * I$$



5%, którego rezystancja wyniosła: 100,0kW; 99,90kW (-0,1%); 99,97kW (0,03%)!

W okolicach 10...20kW sytuacja wyglądała tak:

MFR 0,25W o nominalnie 9,09kW: 9,131kW; 9,109kW (-0,24%); 9,131kW (0%)!

Węglowy brązowy-czarny-pomarańczowy-złoty (10kW 5%): 10,256kW; 9,630 (-6,1%); 10,280kW (+0,2%!).

MŁT 18kW 0,25W: 17,855kW; 18,151kW (+1,6%); 17,855kW.

Podobnie było z opornikami o mniejszej rezystancji. Odchyłki w stanie gorącym nie przekraczały dla rezystorów MFR wartości 1%, dla innych dochodziły do 5%.

Jeszcze raz zachęcam cię, żebyś wykonał takie próby ze swoimi rezystorami. Choć na podstawie takich eksperymentów nie określisz dokładnie temperaturowego współczynnika rezystancji, jednak zorientujesz się, że większość twoich rezystorów zupełnie nie nadaje się do precyzyjnych układów. Nie znaczy to, że są one nieprzydatne - w większości układów mimo wszystko znakomicie spełnią swoją rolę.

Zwróć jeszcze uwagę na rysunek 1 przedstawiający zależność dopuszczalnej mocy traconej w rezystorach MŁT od temperatury otoczenia. Z rysunku tego wynika, że dopuszczalna temperatura warstwy rezystancyjnej nie może przekraczać +130°C. Dla innych rezystorów maksymalna temperatura warstwy rezystancyjnej może być nieco inna. Dla węglowych: +125°C, dla metalowych MFR i podobnych: +155°C. Ponadto prawie wszystkie rezystory można obciążać mocą znamionową tylko wtedy, jeśli temperatura otoczenia nie przekracza +70°C, ale w praktyce jest to warunek łatwy do spełnienia.

Rozważ teraz następujący przykład: masz zbudować dokładny termometr. W układzie występuje nowoczesny układ scalony - źródło napięcia wzorcowego o stabilności 50ppm/K (0,005%/K). Napięcie to jest jednak za wysokie i zastosowałeś dzielnik zawierający obok rezystora MFR także rezystor węglowy RWW albo metalowy MŁT, których wartość dokładnie dobrałeś za pomocą cyfrowego multimetru. Jeśli temperatura wewnątrz przyrządu wyniesie, powiedzmy +50oC, a przez rezystory będzie płynął znaczny prąd to może się okazać, że temperatura warstwy czynnej rezystora może wynieść +70...+100oC. Jeśli nawet przed wlutowaniem mierzyłeś rezystor węglowy w temperaturze pokojowej, to w czasie pracy jego rezystancja może zmienić się nawet o 2...4%. Nawet rezystor MFR o współczynniku temperaturowym w granicach  $\pm 100$ ppm/K może w takich samych warunkach zmienić swą rezystancję o 0,5%. Czy to będzie precyzyjny dzielnik, jeśli jedna z rezystancji zmieni się o kilka procent? Jaka będzie dokładność i stabilność twojego termometru?

## Jakie z tego wypływają wnioski?

Dla osiągnięcia wymaganej stałości należy więc stosować sprawdzone dobre rezystory metalowe, i w żadnym wypadku nie obciążać ich pełną mocą znamionową.

Nie wspominałem ci do tej pory nic o szumach rezystorów. Temat ten będę gruntownie omawiał w ramach cyklu "Notatnika praktyka" na łamach Elektroniki Praktycznej. Powiem ci tylko krótko: tanie "czteropaskowe" oporniki węglowe, a także metalowe typu MŁT i podobne, szumią nawet dziesięciokrotnie więcej niż dobre "pięcio-paskowe" rezystory metalowe. Wiem, że będziesz próbował budować różne wzmacniacze akustyczne. A może już próbowałeś i zniechęciłeś się beznadziejnie dużymi szumami? Wiedz, że jedną z przyczyn twojego niepowodzenia mogły być rezystory.

Czy już jesteś przekonany, że w pierwszych stopniach niskoszumnych przedwzmacniaczy powinieneś stosować właśnie te drogie, precyzyjne rezystory metalowe o tolerancji 1% i małym współczynniku temperaturowym? Choć akurat wąska tolerancja i stabilność temperaturowa nie będą najistotniejsze w sprzęcie audio, takie właśnie rezystory powinieneś zastosować ze względu na szumy.

Teraz już chyba zrozumiałeś dlaczego w firmowym sklepie warto zapłacić za dobry metalowy rezystor o tolerancji 1% i stabilności  $\pm 50$ ppm/K dziesięć razy więcej niż za oporniki niewiadomego pochodzenia oferowane "na perskim" w paczkach po sto sztuk.

A teraz weź wszystkie przebadane rezystory i nożem usuń lakier z ich powierzchni. Przypatrz się dobrze warstwie przewodzącej. Jak ukształtowana jest warstwa czynna? Czy widzisz, że ma ona nacięcia w formie spirali? Czy zauważyłeś, że poszczególne rezystory mają różne ilości naciętych "zwojów"? Ile twoich oporników nie ma nacięć, a warstwa czynna jest jednolita? Znalazłeś chociaż jeden?

Dzięki tym zwojom zwiększa się długość ścieżki oporowej i można uzyskać większą rezystancję. Ale zauważ, że rezystory o nominalach poniżej kilooma też mają nacięcia i to czasem w większej ilości niż oporniki kilkudziesięciokiloomowe! Ale nacięcia w kształcie spirali tworzą przecież zwoje cewki - twoje rezystory mają więc pewną indukcyjność. Ponieważ będziesz chciał budować także układy w.cz., nie zapomnij o tym fakcie. Co prawda w układach w.cz. rzadko stosuje się oporniki o dużych rezystancjach (z wieloma naciętymi zwojami), jednak i rezystory o mniejszych nominalach mają pewną szkodliwą indukcyjność (i także pojemność). Do częstotliwości, powiedzmy 10MHz możesz się tym zupełnie nie przejmować, ale dla częstotliwości rzędu dziesiątek i setek megaherców twoje rezystory będą raczej słabymi cewkami lub kiepskimi obwodami rezonansowymi, a nie rezystorami.

Z tymi spiralnymi nacięciami wiąże się jeszcze jedna historia. Wyglądałoby na to, że rezystor 10M $\Omega$  o obciążalności 0,25W mógłby pracować w warunkach 1500V, 150 $\mu$ A, bo daje to moc 0,225W. Tak jednak nie jest! Jeśli tak wysokie napięcie rozłoży się na długości ścieżki oporowej, może się zdarzyć, iż napięcie między poszczególnymi zwojami będzie na tyle duże, że nastąpi przebicie między sąsiednimi zwojami. Zagrożenie to związane jest właśnie z obecnością wąskich nacięć międzyzwojowych. Dlatego producenci podają zawsze dopuszczalne napięcie kategorii, które dla rezystorów wielkości "ósemki" (1/8W) wynosi przeważnie 150...250V, a dla "czwartek" - 200...400V. Ograniczenia tego nie można lekceważyć. Jeśli więc chcesz stosować zwykłe rezystory w obwodach wysokonapięciowych musisz szeregowo połączyć kilka jednakowych oporników.

Dochodzisz pomału do końca eksperymentów z rezystorami. Powiedziałem ci, że "po drodze" sporo zepsujesz. Weź teraz mocne szczypce i spróbuj przełamać każdy rezystor na połowę. Popatrz, co widzisz na przełomie. Czy wszystkie twoje rezystory mają biały, porcelanowy środek? W takim razie wszystkie twoje oporniki są rezystorami warstwowymi, żaden nie jest rezystorem masowym, zapomnij więc o książkowych klasyfikacjach dzielących oporniki na warstwowe i masowe. Jako masowe wykonywane są, choć i to nie jest regułą, rezystory bezindukcyjne do w.cz. i rezystory wysokonapięciowe.

Jeśli masz jakieś rezystory drutowe (RDC, RDCO itp.) poświęć też po jednym, połam je i zobacz jak są zbudowane. Rezystory drutowe mają zwykle dobre współczynniki temperaturowe i szumowe. Jednak ze względu na swoją budowę najczęściej nie nadają się do układów w.cz.

Do dziś wiele rezystorów najwyższej klasy to rezystory drutowe. Prawdopodobnie jednak nigdy w życiu nie dostaniesz do ręki takiego rezystora o współczynniku temperaturowym np. 2ppm/K. Natomiast spotykane powszechnie rezystory drutowe są rezystorami o większej mocy strat - kika do kilkudziesięciu watów. Warto wiedzieć, że popularne rezystory RDCO mają niewielki współczynnik temperaturowy  $\pm 100 \pm 200$ ppm/k w zależności od rezystancji.

No cóż... zakończyłeś pierwsze zajęcia w swoim małym laboratorium. Czy dowiedziałeś się czegoś nowego? Mam nadzieję, że przeprowadziłeś podane eksperymenty i wiesz już czego możesz spodziewać się po swoich rezystorach.

Nie zapomnij też umieścić w łatwo dostępnym miejscu "ściągawki" z tabelkami i szeregami - zapewniam cię, że często będziesz z niej korzystał.

Na kolejnych zajęciach zajmiesz się innymi podzespołami.

**Cześć**  
**Piotr Górecki**