

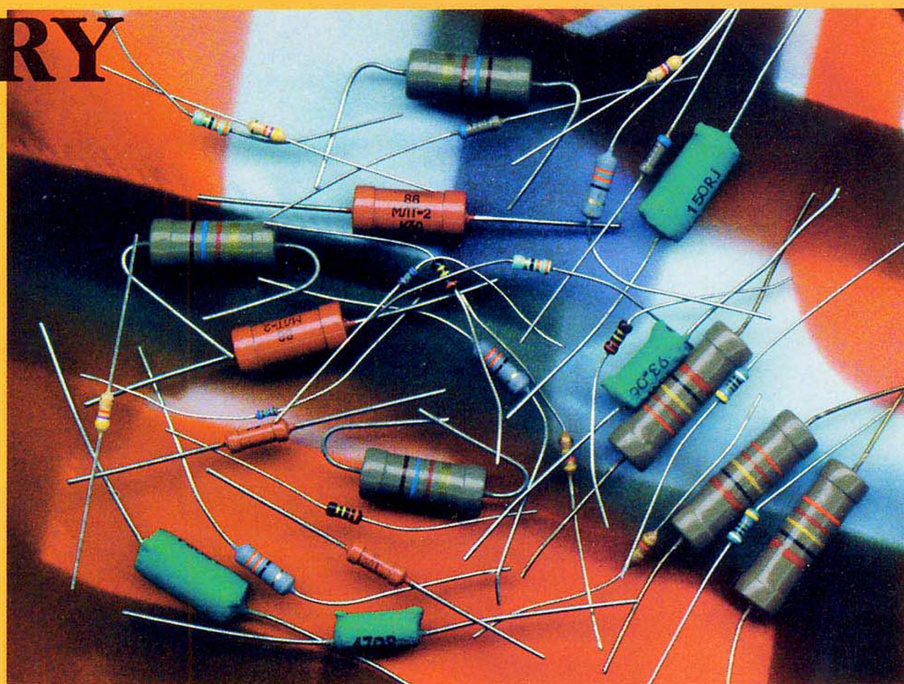
REZYSTORY

część 1

Drogi Czytelniku!

Mam okazję niezwykłą. Nie mogę jej zmarnować. Redakcja EdW dała mi stałą rubrykę z przeznaczeniem na korespondencyjne lekcje elektroniki. Będę pisał listy do Was. Żle mówię. Będę pisał listy do każdego z Was. Wyobraź sobie Czytelniku, że jest to list pisany osobście do Ciebie. Ja, Autor będę Twoim przewodnikiem. Myślę, że się zaprzyjaźnimy, dlatego nie będę zwracać się do ciebie oficjalnie (w poprzednim zdaniu ostatni raz napisałem Autor i Twoim z dużej litery). Jeśli jesteś młody i dopiero rozpoczynasz swą przygodę z elektroniką wiedz, że ten cykl jest specjalnie dla ciebie. Jeśli masz niegłupich kolegów, którzy jeszcze nie zetknęli się z praktyczną stroną elektroniki, powiedz im, że mają świetną szansę bezboleśnie zapoznać się z tą dziedziną. Czytając moje listy poznasz od strony praktycznej elementy elektroniczne, zbudujesz i zbadasz najważniejsze podstawowe układy, nauczysz się właściwie korzystać z danych katalogowych. A... zapomniałem powiedzieć: sporo przy tym zepsujesz.

A i ty, drogi czytelniku, któremu włosy się już przeredziły, a żona i dzieci nie pozwalają zajmować się kochanymi "drucikami" wiedz, że nie zapomnę o tobie. W czasach gdy dorastałeś, nie miałeś dostępu do upragnionych części, literatura była szczerze mówiąc uboga i często fatalnie napisana: te parę książek, często przepisywanych z wcześniejszych źródeł, schematy, które "chodzą" tylko na papierze... Potem wypadłeś trochę z głównego kursu i teraz zastanawiasz się czasem, czy oby nadążasz jeszcze za błyskawicznym postępem. A jeśli nawet uważasz, że nieźle sobie radzisz ze składaniem różnych układów, także nie lekceważ tego cyklu - co prawda niektóre fragmenty pominiesz z lekkim uśmieszkiem, ale na pewno znajdziesz smakowite "rodzynki", a ponadto uporządkujesz cały ten bałagan, jaki przez te lata nagromadził ci się w głowie.



Na początek bierzesz na warsztat ... nie może być inaczej - oczywiście, rezystory. W mądrych książkach nazywałeś się, że rezystory dzielą się na objętościowe (masowe), warsztatowe, drutowe. Coś słyszałeś, że mogą być rezystory węglowe, albo węglowe kompozytowe, metalowe, metalizowane itd. To wszystko prawda, ale czy te wiadomości są ci potrzebne? Z pewnością nie wszystkie. Nie lekceważ jednak wszystkich jajogłowych specjalistów, pisarzy lubujących się w takich klasyfikacjach i uczonych grzebiących się w teorii. Wielu z nich rzeczywiście ma dobrze i gęsto poukładane pod sufitem; jednak większość ich wiedzy nie jest potrzebna tobie, praktykowi chcącemu budować użyteczne układy. Jeśli wejdziesz głęboko w elektronikę, docenisz i tych jajogłowych teoretyków, ale na razie przygotuj lutownicę, nóż monterski i mocne szczypce (choćby "kombinerki"). Przygotuj też wszystkie swoje oporniki (ściślej mówiąc - rezystory). Masz też już chyba miernik cyfrowy. Bez takiego miernika się nie obejdziesz; do zadań jakie ci będę proponował wystarczy nawet najtańszy multimetr za 30...40 złotych, ale jeśli cię stać, to kup droższy miernik jakiegś znanej firmy.

Jak wyglądają te twoje oporniki? Jeśli masz jakieś przedpotopowe duże rezystory oznaczone OWZ, to możesz je spokojnie wyrzucić do kosza. Jeśli natomiast znajdziesz rezystory typu AT, ML, czy RMG, nie wyrzucaj ich - mają one bardzo dobre parametry. Za chwilę zaczniesz coś robić, wcześniej zajrzyj jednak do ramek zawierających podstawowe, niezbędne informacje teoretyczne. W ramach podam ci to, co KAŻDY ELEKTRONIK MUSI WIEDZIEĆ.

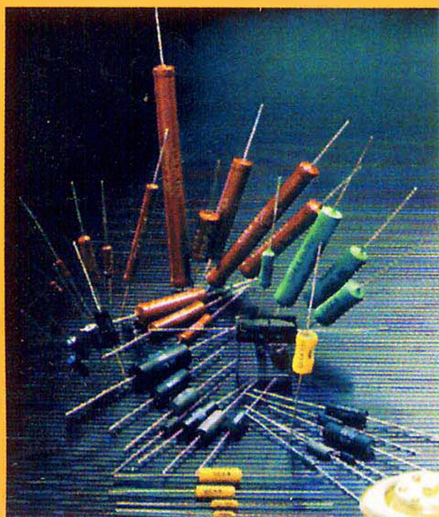
Chcę cię jeszcze zapytać, czy dokładnie rozumiesz sens mocy związanej z rezystancją? Nie będę cię odpytywał z fizyki, ale musisz pamiętać, że prąd elektryczny niesie pewną energię. Przy przepływie prądu przez rezystancję część tej energii zostaje wydzielona w postaci energii cieplnej. Czy to dobrze, czy źle?

Tylko w przypadku grzejników elektrycznych cieszymy się z zamianą energii elektrycznej na ciepło. W elektronice jest inaczej. Czy słyszałeś o pierwszych komputerach zbudowanych z wykorzystaniem tysięcy lamp elek-

tronowych, pobierających (i jednocześnie wydzielających w postaci ciepła) tyle energii elektrycznej co średniej wielkości miasto? Dziś pierwszy lepszy kilkunastolatek ma na biurku komputer o nieporównywalnie większej mocy obliczeniowej i szerszych możliwościach, pobierający kilka watów mocy. Informacja nie niszczy energii, ale do jej przetworzenia trzeba zużyć jakąś energię. I co najgorsze traci się ją w postaci ciepła.

Inny przykład: wzmacniacz klasy A w studiu melomana zużywa kilkaset watów energii elektrycznej. Tymczasem dla zaspokojenia wyrafinowanych potrzeb tego melomana potrzeba co najwyżej kilka, kilkadziesiąt miliwatów energii akustycznej trafiającej do jego ucha. Skąd taka rozrzutność i marnotrawstwo? Po prostu nie umiemy w inny sposób odtworzyć dźwięku o odpowiedniej jakości. Podobnie jest we wszystkich urządzeniach elektronicznych: nie umiemy zrealizować naszych celów bez zużycia energii, nie jest to zresztą do końca możliwe. Tak działają wszystkie funkcjonujące układy: żywe i martwe. W organizmach żywych ktoś zrealizował wspaniałe funkcje znikomym nakładem energii: nie wspominając już o ludzkim mózgu nadmiernym, że węże i żmije mają "wbudowane" termometry rozróżniające temperatury rzędu 0,01°C, nietoperze mają superprecyzyjne sonary zużywające mikro-, czy miliwaty energii. Nasze opracowania długo jeszcze nie dorównają takim genialnym konstrukcjom, zapamiętajmy jednak raz na zawsze: energia cieplna wydzielająca się w urządzeniach elektronicznych to zło konieczne, które należy jak najbardziej minimalizować. Celem nie jest zużywanie energii elektrycznej, tylko zrealizowanie jakichś zadań. A w układach elektronicznych właśnie rezystancje odpowiedzialne są za większość strat cieplnych.

Jeśli w tym momencie powiesz, że nie jesteś skąpy i gotów jesteś zapłacić za całą tę użytą energię, to nie rozumiesz zagadnienia do końca. Oprócz tego, że energia kosztuje weź pod uwagę, iż wydzielanie ciepła jest związane ze wzrostem temperatury. Tymczasem wiele istotnych parametrów



podzespołów elektronicznych zależy od temperatury. Jeśli zbagatelizujesz ten fakt, nigdy nie będziesz "rasowym" elektronikiem. W prostych amatorskich układach wpływ temperatury można prawie zawsze pominąć, ale jeśli chcesz zostać fachowcem i planujesz budowę bardziej złożonych, niezawodnych i precyzyjnych przyrządów o ściśle określonych parametrach, wiedz że pominięcie tego zagadnienia przysporzy ci wielu rozczarowań. Wcześniej czy później staniesz oko w oko z przedstawionym problemem. Dlatego już na początku sprawdź w praktyce co ci grozi. Wybierz więc ze swoich zbiorów po jednym rezystorze z różnych nominalów. Postaraj się znaleźć zarówno rezystory kilku, kilkunastoomowe, jak i te "największe" megaomowe.

Czy umiesz "rozszyfrować" wartość każdego rezystora, jaki wpadnie ci w rękę? Kolorowy kod paskowy cię przeraża? Masz z nim trochę kłopotów? Zanim przeczytasz dalsze linijki zajrzyj wcześniej do ramki zatytułowanej "Parametry rezystorów najważniejsze dla praktyka".

c.d. w EdW 2/96

Parametry rezystorów najważniejsze dla praktyka

Rezystancja nominalna - jest to rezystancja, jaką powinien mieć rezystor. Przyjęto standardowe wartości nominalne określone według szeregów E12...E192.

Tolerancja (klasa dokładności) - ponieważ ze względu na rozrzuty produkcyjne rezystory nie mają rezystancji dokładnie zgodnej z rezystancją znamionową, podaje się maksymalne dopuszczalne odchyłki. Wyraża się to w procentach wartości znamionowej.

Moc znamionowa - jest to największa dopuszczalna moc wydzielana na rezystorze przy pracy ciągłej przy temperaturze otoczenia mniejszej niż +70°C (dla niektórych typów +40°C).

Napięcie graniczne - maksymalne napięcie stałe (lub amplituda napięcia zmiennego), jakie może być dołączone do rezystora w sposób ciągły. (w praktyce parametr ten dotyczy tylko rezystorów o nominalach rzędu setek i tysięcy kiloomów).

Temperaturowy współczynnik rezystancji - oznaczany w krajowych źródłach TWR, lub z angielska TCR, określa zmiany rezystancji pod wpływem temperatury. Czym mniejsza wartość TCR, tym bardziej stabilny rezystor. Wartość TCR podaje się w %/K, ppm/K lub $10^{-6}K^{-1}$.

Współczynnik szumów - określa szumy wprowadzane przez rezystor. Ponieważ szumy zależą od przyłożonego napięcia stałego, wartość współczynnika szumów wyraża się zazwyczaj w $\mu V/V$.

Oprócz tego w katalogach można znaleźć szereg innych parametrów: moc kategorii, napięcie izolacji lub rezystancję izolacji, rezystancję krytyczną, napięciowy współczynnik rezystancji, rezystancję termiczną, współczynniki niezawodności, współczynnik nieliniowości, współczynnik stabilności długoczasowej, dopuszczalne zmiany rezystancji po próbach termicznych, klimatycznych itp.

Parametry te zostaną szczegółowo omówione w cyklu Notatnika Praktyka w siostrzanym czasopiśmie Elektronika Praktyczna.

ABC

Niektóre materiały, na przykład metale, węgiel (sadza, grafit) przewodzą prąd elektryczny - jedne lepiej drugie gorzej. Tylko tzw. nadprzewodniki idealnie przewodzą prąd elektryczny. Kawalek drutu, walek grafitowy stwarzają przepływającemu prądowi pewien opór - mówimy, że mają one jakąś rezystancję. W artykule terminy rezystancja i opór używane są wymiennie, choć nie jest to do końca ściśle.

A co to jest rezystor? To najpopularniejszy element elektroniczny, zwykle zbudowany w postaci waleczka z dwoma wyprowadzeniami osiowymi; w układzie służący najczęściej do ograniczenia prądu lub uzyskania wymaganych napięć.

Najważniejszym parametrem rezystora jest, jak by nie było, rezystancja, oznaczana literą R. Jest to w uproszczeniu zdolność do przeciwstawiania się przepływowi prądu. Bardzo dobrą analogią jest tu... rura wodociągowa. Ciśnienie wody odpowiada napięciu elektrycznemu (oznaczenie U), przepływ wody to natężenie prądu (I), potocznie zwane po prostu prądem. Gruba rura o dużym przekroju stawia przepływającej wodzie niewielki opór. Cieniutka rurka o małym przekroju stawia oczywiście znaczny opór. Również zawór hydrauliczny lub zwykły kran wodociągowy jest odpowiednikiem naszej rezystancji, i to nawet zmiennej. Jeśli ciśnienie w instalacji (napięcie zasilające obwód) jest stałe, to przepływ wody (prądu) zależy od oporu (rezystancji). Przykład ten znakomicie ilustruje słynne prawo Ohma głoszące, że prąd w obwodzie jest wprost proporcjonalny do przyłożonego napięcia, a odwrotnie proporcjonalny do rezystancji (oporu). Zgadza się to z intuicją, potwierdza także analogia hydrauliczna: czym większe ciśnienie tym więcej wody przepływa przez odkręcony kran, czym większy opór - tym mniej wody.

Prawo Ohma i związane z tym trzy wzory należy zrozumieć i pamiętać o każdej porze dnia i nocy. Dla wspomnienia pamięci rysuje się trójkąt ułatwiający zapamiętanie trzech fundamentalnych zależności wynikających z prawa Ohma:

$$(1) I = U / R$$

$$(2) R = U / I$$

$$(3) U = I * R$$

Trójkąt ten wygląda następująco:

U

I R

Na cześć pana Ohma jego imieniem nazwano jednostkę rezystancji (Ω to jakby V / A, wolt podzielony przez amper). Dany element ma opór jednego oma jeśli napięcie jednego wolta wywołuje w nim przepływ prądu o wartości jednego ampera.

Ponieważ 1Ω to mała rezystancja, w elektronice powszechnie używa się jednostek będących wielokrotnościami oma:

$$1k\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega = 1000000\Omega = 10^6\Omega$$

$$1G\Omega = 1000M\Omega = 1000000k\Omega = 10^9\Omega$$

Analogia hydrauliczna prowadzi do wniosku, że taki sam opór możemy uzyskać stosując krótką rurkę o małym przekroju, jak też długą rurę o przekroju znacznie większym. Jest to prawda, w elektronice jest podobnie. Rozumowanie to prowadzi do kolejnego wzoru potrzebnego często w praktyce do obliczenia rezystancji danego odcinka przewodu:

$$(4) R = (\rho * l) / S$$

gdzie l - długość przewodu, S - pole przekroju, ρ - stała charakterystyczna dla danego materiału zwana rezystywnością.

Elektronik stosuje przewody miedziane; jeśli długość podana jest w metrach, pole przekroju w mm^2 , to dla $Cup = 0,017\Omega mm^2/m$.

Analogia hydrauliczna pomaga też zrozumieć co się dzieje przy łączeniu oporów szeregowo lub równolegle. Przy połączeniu szeregowym rezystancje po prostu się dodają:

$$(5) R = R1 + R2 + ...$$

Przy połączeniu równoległym wypadkowy opór jest na pewno mniejszy od najmniejszego oporu składowego. Niestety nie jest to zależność aż tak prosta jak poprzednio:

$$(6) R = 1 / (1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + ...)$$

Dla dwóch rezystorów wypadkową rezystancję oblicza się w praktyce ze wzoru:

$$(7) R = R1 * R2 / (R1 + R2)$$

Nie będę cię męczył omawianiem przewodności, która jest odwrotnością rezystancji - jednostkę przewodności na cześć pana Siemensa nazwano simens, ma ona wymiar odwrotności oma, czyli A / V. Pojęcie przewodności jest bardzo rzadko używane w praktyce amatorskiej. Jedynie w katalogach tranzystorów polowych i niektórych wzmacniaczy napotkasz parametr mający wymiar A / V lub mA/V. I tu podam ci ciekawostkę:

Elektronicy to jednak naród wesółków i dowcipnisiów. Nie zdziw się więc, gdy w jakimś poważnym, opasłym katalogu napotkasz na przykład taki parametr: 3,2mmho (lub 5,5mMHO). Toż to nic innego jak "odwrotność" OHMa - 3,2mmho to to samo co 3,2mA/V czyli 3,2mS (milisimensa).

Podczas przepływu prądu przez opór wydzielą się pewna moc strat w postaci ciepła. Moc ta zależy zarówno od napięcia, jak i prądu według zależności:

$$(8) P = U * I$$

W praktyce często potrzebne są wzory pochodne:

$$(9) P = I^2 * R$$

$$(10) P = U^2 / R$$

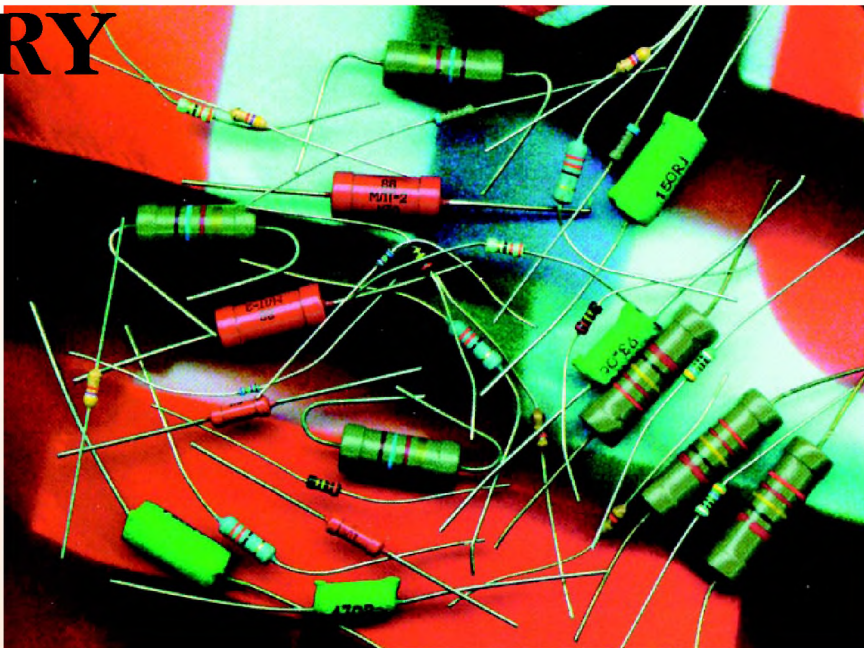
$$(11) U = (P / R)^{1/2}$$

$$(12) R = U^2 / P$$

itd...

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, uwaga! - 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 kilooma, 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" nominaly 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-złoty oznacza 2,2kw.

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-złoty daje wartość 5,1Ω. Pasek srebrny na miejscu mnożnika oznacza 0,01; czerwony-fioletowy-srebrny dawałby więc 0,27Ω. Jednak rezystory o nominalach poniżej 1Ω 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 (6,8kw 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

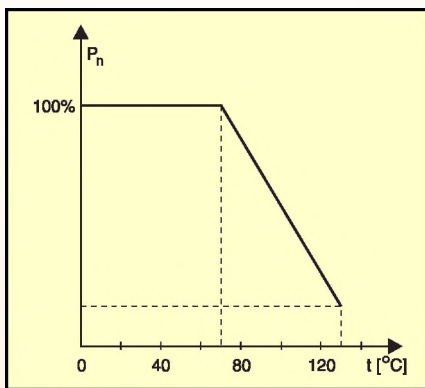
żółty - 25ppm/K
pomarańczowy-15ppm/K

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 = 10⁻⁶. Stąd np.:

1% = 10000ppm = 10⁴ppm



Rys. 1.

100ppm = 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-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 literę, 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. Przywoity 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 osiemki). 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 przebadalem 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 wlotowanie 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 nominale 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	-	$\times 0,01$	$\pm 10\%$	-	srebrny
złoty	-	$\times 0,1$	$\pm 5\%$	-	złoty
czarny	0	$\times 1$	-	± 250	czarny
brązowy	1	$\times 10$	$\pm 1\%$	± 100	brązowy
czerwony	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$	± 50	czerwony
pomarańczowy	3	$\times 10^3$	± 15		pomarańczowy
żółty	4	$\times 10^4$		± 25	żółty
zielony	5	$\times 10^5$	$\pm 0,5\%$	± 20	zielony
niebieski	6	$\times 10^6$	$\pm 0,25\%$	± 10	niebieski
fioletowy	7	$\times 10^7$	$\pm 0,1\%$	± 5	fioletowy
szary	8	$\times 10^8$	-	± 1	szary
biały	9	$\times 10^9$	-	-	biały
brak	-	-	$\pm 20\%$	-	brak

PRZYKŁADY (kod barwny)

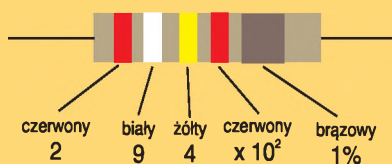
pierwszy pasek blisko końca rezystora



3,9 MΩ 20%

TRZY PASKI

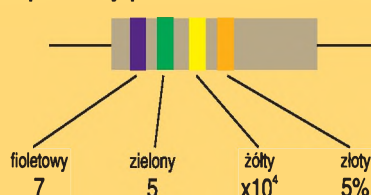
ostatni pasek szerszy o 50...100%



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)

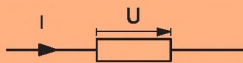
Wartość rezystancji	Według IEC	Według MIL	Tolerancja	Współczynnik temperaturowy	kod
0,22W	R22	-	N - $\pm 30\%$	100ppm/K	T0
3,9W	3R9	3R9	M - $\pm 20\%$	50ppm/K	T2
75W	75R	750	K - $\pm 10\%$	25ppm/K	T9
910W	910R lub K91	911	J - $\pm 5\%$	15ppm/K	T10
1,8kW	1K8	182	G - $\pm 2\%$	10ppm/K	T13
62kW	62K	623	F - $\pm 1\%$	5ppm/K	T16
470kW	470K lub M47	474	D - $\pm 0,5\%$	2ppm/K	T18
5,6MW	5M6	565	C - $\pm 0,25\%$		
36MW	36M	366	B - $\pm 0,1\%$		
1,54kW	1K54	1541	W - $\pm 0,05\%$		
43,2kW	43K2	4322	P - $\pm 0,002\%$		
931kW	931K	9313	L - $\pm 0,001\%$		
1,24MW	1M24	1244	E - $\pm 0,0005\%$		

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			267			432			698
		104			167			271			437			706
105	105	105	169	169	169	274	274	274	422	422	422	715	715	715
		106			172			277			488			723
		107			174			280			453			732
		109			176			284			459			741
110	110	110	178	178	178	287	287	287	464	464	464	750	750	750
		111			180			291			470			759
		113			182			294			475			768
		114			184			298			481			777
115	115	115	187	187	187	301	301	301	487	487	487	787	787	787
		117			189			305			493			796
		118			191			309			499			806
		120			193			312			505			816
121	121	121	196	196	196	316	316	316	511	511	511	825	825	825
		123			198			320			517			835
		124			200			324			523			845
		126			203			328			530			856
127	127	127	205	205	205	332	332	332	536	536	536	866	866	866
		129			208			336			542			876
		130			210			340			549			887
		132			213			344			556			898
133	133	133	215	215	215	348	348	348	562	562	562	909	909	909
		135			218			352			569			920
		137			221			357			576			931
		138			223			361			583			942
140	140	140	226	226	226	365	365	365	590	590	590	953	953	953
		142			229			370			597			965
		143			232			374			604			976
		145			234			379			612			988
147	147	147	237	237	237	383	383	383	619	619	619			
		149			240			388			626			
150		150			243			392			634			
		152			246			397			642			
154	154	154	249	249	249	402	402	402	649	649	649			
		156			252			407			657			
		158			255			412			665			
			160		258			417			673			

PODSTAWOWE WZORY

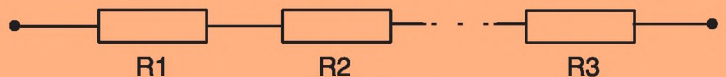


$$R = \frac{U}{I} \quad P = U \cdot I \quad U = \frac{P}{I} \quad I = \frac{P}{U}$$

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

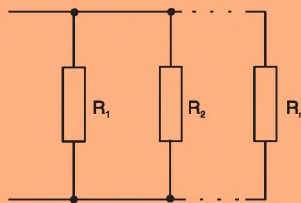
$$I = \frac{U}{R} \quad P = I^2 \cdot R \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

Połączenie szeregowe rezystorów



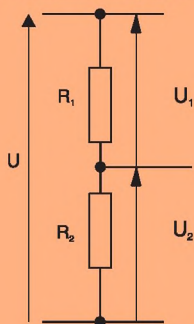
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Połączenie równoległe rezystorów



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

Dzielniki napięcia

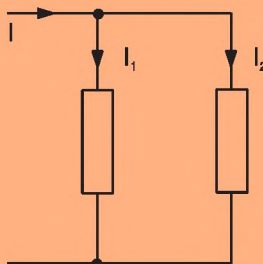


$$U = U_1 + U_2$$

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

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

Rozpływ prądów



$$I = I_1 + I_2$$

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

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

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

W okolicach 10...20k Ω sytuacja wyglądała tak:

MFR 0,25W o nominalne 9,09k Ω : 9,131k Ω ; 9,109k Ω (-0,24%); 9,131k Ω (0%!).

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

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

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 +50°C, a przez rezystory będzie płynął znaczny prąd to może się okazać, że temperatura warstwy czynnej rezystora może wynieść +70...+100°C. 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 ± 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 "pięciopaskowe" 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 ± 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 kiloma też mają nacięcia i to czasem w większej ilości niż oporniki kilkudziesięciokilomowe! Ale nacięcia w kształcie spirali tworzą przecież zwoje cewki - twoje rezystory mają więc pewną indukcyjność. Ponieważ będziesz chciał budować także układy w.c.z., nie zapomnij o tym fakcie. Co prawda w układach w.c.z. 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 Ω o obciążalności 0,25W mógłby pracować w warunkach 1500V, 150 μ 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 zwykle 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 szczytce 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.c.z. 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.c.z.

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 ± 100 - ± 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