

REZISTOARE LINIARE FIXE

1. Scopul lucrării: Cunoașterea parametrilor caracteristici, a structurii constructive a diverselor tipuri de rezistoare cu terminale pentru inserție și pentru montarea pe suprafață; realizarea unor măsurători specifice.

2. Noțiuni teoretice: Rezistorul este o componentă electronică pasivă, cu caracter predominant rezistiv până la o anumită frecvență. Rezistența, parametru esențial al rezistorului, reprezintă raportul dintre tensiunea de la bornele sale și curentul ce străbate rezistorul în curent continuu.

Rezistoarele pot fi liniare sau neliniare, fixe sau variabile. În prezenta lucrare se studiază rezistoarele fixe liniare, care prezintă o caracteristică $U(I)$ liniară și valoarea rezistenței nu poate fi modificată în timpul utilizării rezistorului. Nu se studiază comportarea rezistoarelor în frecvență.

Unitatea de măsură a rezistenței este ohmul ($1\Omega = 1V / 1A$) cu multiplii și submultiplii săi: $1m\Omega = 10^{-3}\Omega$, $1k\Omega = 10^3\Omega$, $1M\Omega = 10^6\Omega$, $1G\Omega = 10^9\Omega$

2.1 Parametrii rezistoarelor

Rezistența nominală R_N , reprezintă valoarea rezistenței rezistorului dorită a se obține în procesul de fabricație și este înscrisă pe corpul rezistorului. Valorile nominale sunt standardizate internațional și sunt prezentate în Anexa 6.

Toleranța $t[\%]$, reprezintă abaterea maximă relativă a valorii reale R a rezistenței față de valoarea nominală R_N . Se poate determina cu relațiile:

$$t_+ = \frac{R_{\max} - R_N}{R_N}, \text{ toleranța pozitivă,} \quad (1)$$

$$t_- = \frac{R_{\min} - R_N}{R_N}, \text{ toleranța negativă,} \quad (2)$$

$$t = +/- - \max\{|t_-|, |t_+|\} = +/- - \max\left\{\frac{|R - R_N|}{R_N}\right\} \quad (3)$$

unde R reprezintă valoarea reală a rezistenței rezistorului.

Valorile toleranțelor sunt standardizate și sunt prezentate în tabelul 2. Toleranța t reprezintă toleranța rezultată în procesul de fabricație. Atât R_N cât și t se măsoară la temperatura camerei (20°C sau 25°C).

Intervalul temperaturilor de utilizare, $[T_m, T_M]$, reprezintă intervalul valorilor de temperatură T_m și T_M în care producătorul garantează buna funcționare a rezistorului. Temperaturile T_m , respectiv T_M , reprezintă temperatura minimă, respectiv maximă la care poate ajunge orice punct al rezistorului în timpul funcționării.

Puterea nominală $P_N[W]$, este puterea maximă la care poate fi supus un rezistor la o funcționare îndelungată într-un mediu ambiant cu temperatura egală cu temperatura nominală T_N . Este dată de relația:

$$P_N = D(T_M - T_N) = \frac{T_M - T_N}{R_{th}} \quad (4)$$

Coefficientul de disipație termică D [W/°C];

Rezistența termică R_{th} [°C/W], caracterizează transmisia căldurii de la elementul rezistiv la mediul ambiant. Relația de determinare rezultă din (4):

$$D = \frac{P_N}{T_M - T_N} = \frac{I}{R_{th}} \quad (5)$$

Temperatura nominală T_N [°C], reprezintă temperatura maximă a mediului ambiant în care poate funcționa un rezistor un timp îndelungat fiind solicitat la puterea nominală P_N.

Puterea termică maxim admisibilă P_{Aθ} [W], este un parametru de lucru și reprezintă puterea maximă la care poate fi solicitat un rezistor la o funcționare îndelungată într-un mediu ambiant cu temperatura T_a ∈ [T_m, T_M].

Se determină cu relațiile:

$$P_{A\theta} = P_N, \text{ pentru } T_a \leq T_N;$$

$$P_{A\theta} = P_N \frac{T_M - T_a}{T_M - T_N}, \text{ pentru } T_a \in (T_N, T_M) \quad (6)$$

Practic, în cataloage se prezintă graficul acestei dependențe, grafic numit diagramă de disipație sau mai precis de reducere a disipației („derating diagram”- engl.).

Tensiunea nominală (limită) V_N [V], reprezintă tensiunea maximă ce poate fi aplicată la bornele unui rezistor la funcționare îndelungată, fiind limitată din considerente de străpungere dielectrică. În practică, această tensiune nu înseamnă că se poate aplica unui rezistor indiferent de valoarea acestuia, deoarece intervine și limitarea datorată puterii disipate de rezistor. Valoarea rezistenței de la care se trece de la limitarea cauzată de puterea disipată la cea cauzată de tensiune, (=V_N) este reprezentată de rezistența critică.

Tensiunea maxim admisibilă V_A [V], reprezintă tensiunea maximă ce poate fi aplicată la bornele unui rezistor de o anumită valoare nominală R_N la o funcționare îndelungată.

$$V_A = \sqrt{P_N \cdot R_N} \leq V_N \quad (7)$$

Dacă temperatura mediului depășește T_N în locul puterii P_N se alege P_{Aθ}.

Rezistența critică R_c [Ω], este acea valoare a rezistenței unui rezistor căruia i se aplică la borne tensiunea nominală V_N și este solicitat la puterea nominală P_N.

$$R_c = \frac{V_N^2}{P_N} \quad (8)$$

Coefficientul de variație cu temperatura α_R, [ppm/°C], exprimă abaterea relativă a rezistenței rezistorului la modificarea temperaturii. În limba engleză este utilizată pe scară largă prescurtarea TCR – Temperature Coefficient of Resistance. Se definește cu relația:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (9)$$

Rezistența rezistoarelor are de regulă o variație liniară cu temperatura, rezultând în acest caz:

$$\alpha_R = \frac{\Delta R}{R_0} / ^\circ C \quad (10)$$

unde: ΔR este variația valorii rezistenței R₀ la variația temperaturii corpului său cu 1°C.

Factorul de zgomot F [μV/V], reprezintă raportul dintre valoarea tensiunii de zgomot ce apare la bornele rezistorului, exprimată în μV la aplicarea unei tensiuni continue de 1 V. Se mai utilizează și Indexul de zgomot măsurat în dB. NI=20log(F) [dB]

Elemente reactive parazite L, C

Orice rezistor prezintă elemente reactive de tip inductanță și capacitate ce depind de structura constructivă a rezistorului. Schema echivalentă a unui rezistor cu valoarea rezistenței R la frecvență înaltă este dată în figura 1.

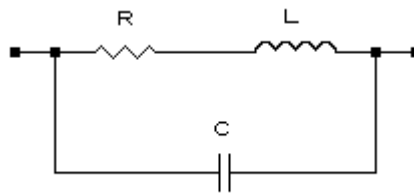


Fig.1 Schema echivalentă a unui rezistor.

Rezistența de izolație R_{iz} , este rezistența măsurată între terminalele rezistorului și corpul acestuia, măsurătoarea realizând-se în anumite condiții. Uneori producătorii de componente prezintă tensiunea (maximă) de străpungere a izolației elementului de protecție.

2.2 Structura constructivă a rezistoarelor

Rezistoarele prezintă în general o structură constructivă conform figurii 2.

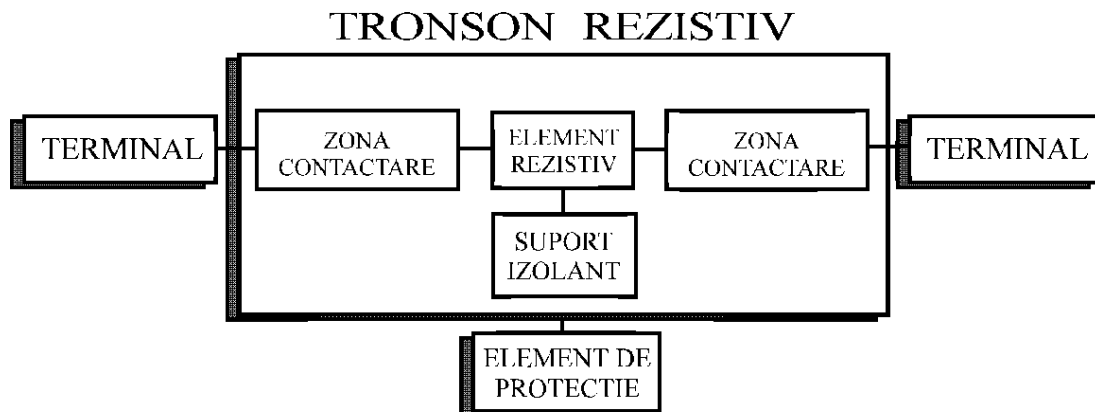


Fig.2 Structura constructivă a rezistorului.

Principala clasificare a rezistoarelor fixe liniare o constituie tehnologia de realizare a elementului rezistiv, diferențiindu-se din acest punct de vedere rezistoarele peliculare, cu folie metalică bobinate și de volum. Cele mai utilizate sunt rezistoarele peliculare, al căror element rezistiv este o peliculă rezistivă cu grosimi de la $0,1 \mu\text{m}$ la zeci de μm . Se disting mai multe tipuri și anume: peliculă de carbon, peliculă metalică (obținută prin tehnologia straturilor subțiri), glazură metalică (peliculă obținută prin tehnologia straturilor groase), peliculă din oxizi metalici.

3. **Rezistoarele cu peliculă de carbon** cu terminale axiale prezintă o structură conform figurii

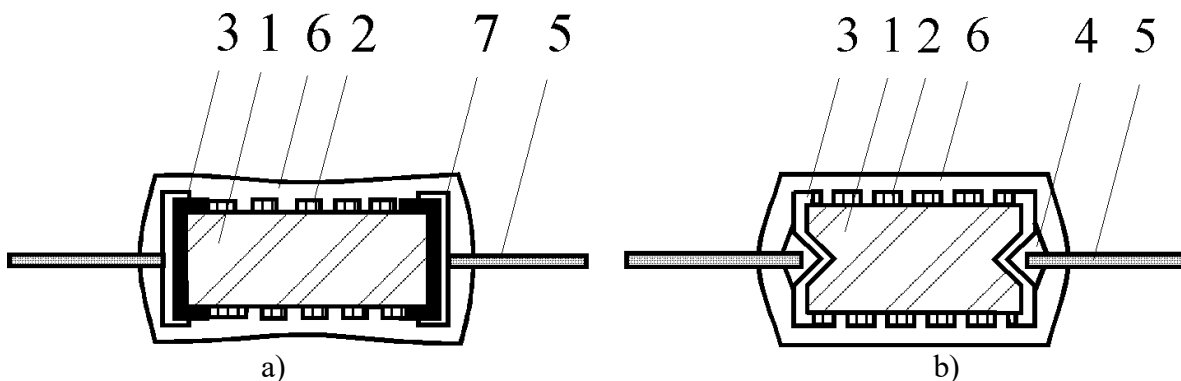


Fig.3 Structura constructivă a rezistoarelor cu peliculă de carbon cu terminale axiale

Conform figurii 3 rezistorul cu peliculă de carbon are următoarele părți constitutive:

1 - suportul izolant, sub formă cilindrică de diverse dimensiuni în funcție de puterea nominală a viitorului rezistor. Se realizează din materiale ceramice.

2 - elementul rezistiv, o peliculă de carbon depusă prin piroliză pe suportul izolant. Pentru creșterea valorii rezistenței, pelicula rezistivă, inițial sub formă cilindrică, se filetează cu discuri abrazive, rezultând în final un element rezistiv spiralat cu efecte asupra creșterii inductanței și capacității parazite a viitorului rezistor.

3 - o peliculă de nichel depusă electrochimic la capetele suportului izolant, în scopul realizării conexiunii terminal - element rezistiv.

4 - zona de lipire, ce realizează conexiunea terminalului la pelicula de Ni. Se realizează prin lipire cu aliaj de tipul Sn-Pb.

5 - terminal, din Cu cositorit, sub formă cilindrică de diverse diametre.

6 - elementul de protecție realizat dintr-un lac termorezistent.

Structura constructivă prezentată în figura 3.b corespunde rezistoarelor cu peliculă de carbon cu $P_N \in [0,25; 2]$ W cu terminale lipite. Alte variante sunt cele cu structura constructivă din figura 3.a, diferind doar prin zona de contactare și anume terminalul se sudează la un căpăcel de Ni(7), iar acesta este presat pe corpul rezistorului realizând contactul cu pelicula de Ni(3).

Rezistoare cu peliculă metalică

Structura constructivă a acestor rezistoare este asemănătoare cu cea prezentată în figura 3, singura diferență fiind doar elementul rezistiv. Specific acestor rezistoare este pelicula metalică (elementul rezistiv) care este realizată prin metode specifice tehnologiei straturilor subțiri (TSS), de unde și numele de rezistor cu peliculă subțire (Thin-Film). Pelicula are o grosime de la 50 nm la 1 μ m, fiind mult mai subțire față de pelicula groasă. Ca materiale rezistive pentru realizarea peliculei metalice se pot utiliza aliaje (Cr-Ni, Ni-Cr-Fe, Ni-Cu, Cr-Co, Cu-Mn-Ni), nitrura de tantal, cermeturi pe bază de oxizi metalici, etc. Se pot realiza și în două variante de tip SMD (Surface Mounted Devices- adică componente pentru montarea la suprafață) a) MELF (Metal-Electrode Leadless Face sau Metal-Electrode Face-Bonded) și paralelipipedică (chip).

Rezistoare cu peliculă din oxizi metalici

Aceste rezistoare au o construcție asemănătoare rezistoarelor cu peliculă de carbon și peliculă metalică. Pelicula rezistivă în majoritatea cazurilor este oxidul de staniu care se depune prin hidroliza clorurii de staniu și are o grosime de 0,5...1,5 μ m. Avantajul acestor rezistoare este posibilitatea încălzirii rezistenței până la o temperatură de 300°C, realizându-se astfel rezistoare peliculare de putere relativ ridicată și dimensiune mică. Fiind un echivalent pentru rezistoarele bobinate nu sunt utilizate în circuitele electronice unde precizia este importantă.

Rezistoarele cu glazură metalică au structura constructivă prezentată în figura 4.

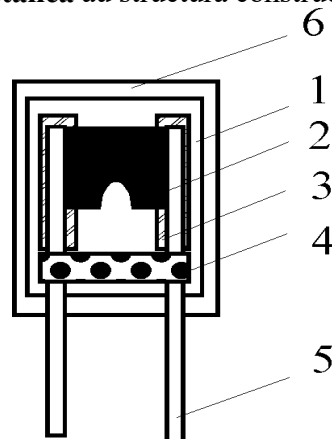


Fig.4 Structura constructivă a rezistorului cu glazură metalică.

Conform figurii 4, rezistorul cu glazură metalică este alcătuit din următoarele elemente:

1 - suportul izolant este realizat din alumină, un material cu o mare rezistență mecanică, ceea ce permite obținerea lui sub o formă aproape plană, grosimea fiind relativ mică, iar celelalte dimensiuni sunt proporționale cu puterea nominală a viitorului rezistor.

2 -elementul rezistiv, format dintr-o peliculă obținută prin depunerea serigrafică a unei paste rezistive. Este de formă dreptunghiulară sau pălărie. După depunerea serigrafică, tratament termic și alte operații tehnologice, pelicula rezistivă se ajustează la valoarea dorită cu ajutorul unui praf abraziv, adică se înlătură o anumită porțiune din peliculă până când se obține valoarea nominală cu toleranța dorită.

3- pelicula de Ag-Pd, depusă serigrafic în scopul conectării terminalului la elementul rezistiv.

4 - ambaza, o plăcuță de pertinax, utilizată în scopul creșterii rezistenței mecanice a rezistorului. Nu toate rezistoarele sunt prevăzute cu ambază.

5 - terminal din cupru cositorit

6 - element de protecție din rășină termodură.

Terminalele se conectează la pelicula de Ag-Pd prin lipire cu aliaje Sn-Pb .

O structură similară prezintă rezistoarele SMD de tip CHIP, rezistoarele de înaltă tensiune și rețelele rezistive (la acestea sunt evidente deosebirile ce rezultă conform numărului de rezistențe conținute de rețea). Rezistoarele pentru montarea pe suprafață tip SMD CHIP, au o structură constructivă conform figurii 5.

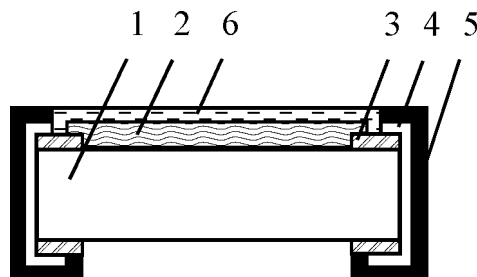


Fig.5 Structura constructivă a unui rezistor de tip SMD cu peliculă groasă.

1 - suport izolant din alumină;

2 - pelicula rezistivă groasă;

3 - pelicula de Ag-Pd.

4 - căpăcel de Ni.

5 - strat de aliaj de lipit (Nichel sau Pb 60%, Sn 40%,).

6 - pelicula de lac electroizolant.

Rezistoarele bobinate se obțin prin bobinarea unui conductor de înaltă rezistivitate (aliaje Cr-Ni, Cu-Ni) pe un suport izolant sub formă cilindrică. Constructiv prezintă o mai mare diversitate, putându-se clasifica astfel: cimentate, în corp ceramic și glazurate.

Rezistoarele bobinate cimentate prezintă structura constructivă din figura 6.

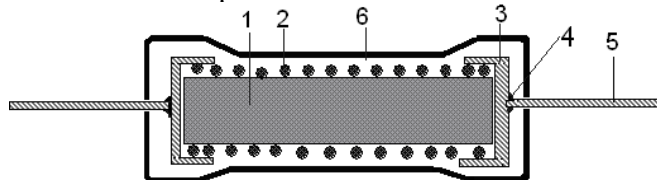


Fig.6 Structura constructivă a rezistorului bobinat cimentat. 1- suport dielectric din fibră de sticlă; 2 - element rezistiv; 3 - căpăcel metalic; 4 -sudură terminal – căpăcel; 5 - terminal; 6 - ciment siliconic.

Conform figurii 6, rezistorul bobinat cimentat este constituit din:

1 - suportul izolant, realizat din fibră de sticlă, sub formă cilindrică, de diverse dimensiuni în funcție de puterea nominală a viitorului rezistor.

2 - elementul rezistiv, obținut prin bobinarea unui conductor de Cr-Ni pe suportul izolant.

3 - căpăcelul de Ni, prin intermediul căruia se conectează terminalul la elementul rezistiv. Terminalul este sudat de căpăcel, iar conexiunea căpăcel-element rezistiv se realizează prin strângere.

4 – sudură terminal, căpăcel.

5 - terminal realizat din Cu cositorit.

6 - elementul de protecție realizat din ciment siliconic.

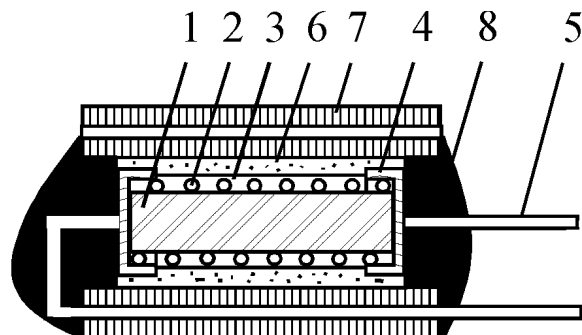


Fig.7 Rezistor bobinat în corp ceramic.

În fig.7 este prezentată structura constructivă a unui rezistor bobinat în corp ceramic, în care:

1 - suport izolant din fibră de sticlă

2 - element rezistiv obținut prin bobinarea unui conductor de înaltă rezistivitate.

3 - ciment siliconic pentru rigidizarea elementului rezistiv (protecție împotriva vibrațiilor).

4 - căpăcel de Ni, având același rol ca și la rezistorul bobinat cimentat.

5 - terminal

6 - nisip cuarțos, cu ajutorul căruia se umple spațiul din interiorul corpului ceramic după introducerea tronsonului rezistiv, pentru îmbunătățirea conducției termice.

7 - corp ceramic având dublu rol, pentru protecția rezistorului împotriva factorilor externi și scăderea rezistenței termice de convecție. Poate avea secțiunea circulară, pătrată, sau profilată, de diverse dimensiuni, în funcție de puterea nominală a rezistorului.

8 - ciment pentru etanșarea la capete a rezistorului.

Rezistoare de volum

Rezistoarele de volum (Carbon composition în engleză) sunt rezistoare la care, spre deosebire de cele peliculare, conducția curentului electric are loc în întreg corpul rezistorului. Acesta este realizat din granule de carbon și un liant de tipul unei rășini formaldehidice. Elementul rezistiv este în cazul rezistoarelor de volum și suportul mecanic al rezistorului.

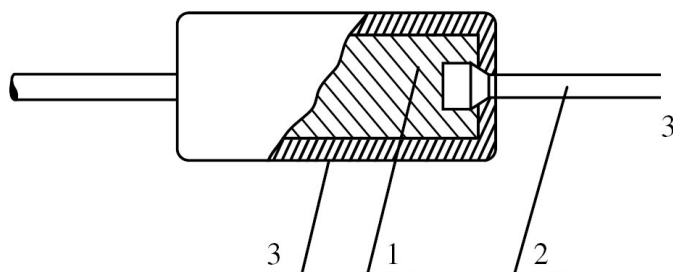


Fig.8 Rezistor de volum, 1- elementul rezistiv pe bază de carbon, 2- terminale, 3- element de protecție presat (poate lipsi la unele variante)

Rezistoarele de volum pe bază de carbon nu sunt rezistoare foarte performante. Ele nu au toleranțe mici (nu pot fi ajustate) nici nu sunt foarte stabile cu temperatura (coef. de temperatură

mare) și cu tensiunea (coef. de variație cu tensiunea mare). Principalul avantaj al acestora este capacitatea de a suporta suprasarcini mari fără a se deteriora, datorită distribuirii energiei în întreg volumul rezistorului și nu numai în pelicula rezistivă ca în cazul rezistoarelor peliculare. De asemenea, mai demult au fost utilizate pentru inductanța parazită foarte redusă a lor. Datorită structurii compozite ele prezintă un zgomot de curent foarte mare. Au fost și sunt utilizate pe scară largă în aparatura industrială din SUA, mai puțin în Europa, și au dovedit în ultimii aproape 60 de ani de utilizare o fiabilitate foarte bună.

2.3. Influența toleranței globale a rezistoarelor asupra parametrilor circuitelor electronice

Valoarea unui rezistor utilizat într-un circuit electronic poate avea o abatere mai mare sau mai mică față de valoarea nominală, dependentă de toleranța rezistorului, variația temperaturii și a coeficientului de variație cu temperatura precum și alte abateri datorate diversilor factori cum sunt: umiditatea, vibrațiile, șocurile termice și electrice, etc.

Toate aceste influențe pot fi puse în evidență prin toleranța globală, dată de relația:

$$t_g = t_f + t_T + \sum_{i=1}^n t_i \quad (11)$$

unde:

t_g este toleranța globală;

t_f - toleranța de fabricație;

t_i - toleranța datorată influenței factorului i ;

t_T - toleranța datorată variației temperaturii ce se determină cu relația: $t_T = \pm |\alpha_R| \Delta T_{\max}$

$$\Delta T_{\max} = \max \{ (T_{\max} - T_0), (T_0 - T_{\min}) \}$$

unde: $T_0 = 25^\circ\text{C}$, temperatura la care se măsoară valoarea nominală R_N .

T_{\max} , T_{\min} reprezintă temperatura maximă, respectiv minimă la care poate ajunge temperatura unui rezistor funcționând într-un mediu ambiant cu $T_a \in [T_{\min}, T_{\max}]$ și disipând puterea P .

$$T_{\max} = T_{\max} + \frac{P}{D}$$

$$T_{\min} = T_{\min}$$

Considerând un circuit electronic caracterizat de un parametru f , dependent de valorile rezistențelor utilizate în circuit prin relația:

$$f = f(R_1, R_2, \dots, R_n) \quad (12)$$

Cunoscându-se toleranțele rezistoarelor se poate determina toleranța parametrului f cu relația:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial R_i} \frac{R_i}{f} \right| t_i \quad (13)$$

unde t_f este toleranța parametrului f datorată toleranțelor t_i ale rezistoarelor R_i .

Cunoscându-se coeficienții de variație cu temperatura α_i ale rezistoarelor R_i , coeficientul de variație cu temperatura al parametrului f se determină cu relația:

$$\alpha_f = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{f} \frac{\partial f}{\partial R_i} \alpha_i \quad (14)$$

2.4 Codificarea rezistoarelor

Rezistoarele sunt caracterizate de un cod specific tuturor componentelor electronice. Cele de producție românească au un cod alfanumeric, de exemplu RCG1050, RBA3004, etc. Partea literală a codului sugerează familia din care face parte rezistorul, iar partea numerică de obicei are legătură cu puterea nominală, dimensiuni, sau alte detalii constructive.

Codificarea dimensiunilor rezistoarelor SMD paralelipipedice (chip)

Pentru codificarea acestora, la fel ca la condensatoarele SMD, este larg întâlnită convenția de notare ce utilizează miimea de inch, unitate numită mil. 1 mil = 1/1000 inch. Un inch este egal cu 25,4 mm. Se obișnuiește să se aproximeze 40 mils=1mm, ceea ce înseamnă că se transformă milimetrii în mils prin înmulțire cu 40. De exemplu 3mm=120 mils., 0,5mm=20 mils, etc.

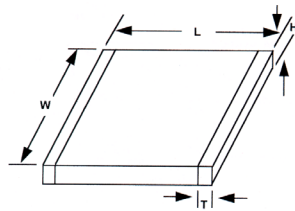


Fig. 9 Cotele rezistorului SMD paralelipipedic tip chip

De exemplu, rezistorul cu codul 1206 are, conform convenției de notare, aproximativ latura mare L de 120 mils=3mm și latura mică W de 60 mils=1,5mm. Celelalte cote (H și T) sunt definite în foile de catalog.

2.5 Parametrii rezistoarelor studiate la laborator

Înainte de orice parametru trebuie trecut la identificarea rezistorului. În cazul plăcii de laborator sunt utilizate numere de referință ale componentelor R1, R2, RME1, RN2, etc. Pe baza tabelului cu codul producătorului, de ex. 4608X-104-221/331L pentru rețeaua rezistivă RN1 se poate trece la studiul foilor de catalog. O informație utilă este dată de prezența marcajului pe corpul rezistorului. Trebuie precizat de la început că modalitatea de marcare este specifică fiecărui tip de rezistor în parte și este obligatorie consultarea foilor de catalog ale respectivelor rezistoare. Totuși, se respectă câteva reguli cum ar fi regulile de marcare în codul culorilor, conform IEC publicația 62, codul în codul mantisă + exponent, codul EIA96, marcarea în clar a rezistenței nominale și a toleranței și la unele rezistoare bobinate a puterii nominale.

Pe corpul oricărui rezistor se inscripționează numai o parte din parametrii ce îl caracterizează, de regulă rezistența nominală, apoi toleranța și uneori puterea nominală și mai rar coeficientul de variație cu temperatura .

Rezistența nominală se marchează pe corpul oricărui rezistor, utilizându-se fie codul culorilor, fie marcarea în clar (un cod alfanumeric). Pe corpul rezistorului nu se marchează simbolul Ω ci numai cifrele corespunzătoare valorii; pentru valori mari, de ordinul k Ω sau M Ω , în locul virgulei se pune ordinul de multiplicare K, respectiv M. Pentru valori mai mici în jurul unităților de ohmi se utilizează litera R. În tabelul 2 sunt prezentate câteva exemple.

Tabelul 1 Exemple de inscripționare

Inscripționare	0.1	1	8R2	82R	510	1k	3k3	33k	820k	1M	1M8	10M
RN [Ω]	0,1	1	8,2	82	510	1000	3300	33000	820000	10^6	$1,8 \cdot 10^6$	10^7

Toleranța se marchează pe corpul oricărui tip de rezistor, utilizându-se marcarea în codul culorilor, codul literal conform tabelului 2 sau marcarea în clar, când se inscripționează pe corpul

rezistorului valoarea toleranței cu sau fără simbolul %.

Tabelul 2 Codul literal pentru marcarea toleranței rezistoarelor.

Toleranța [%]	±0,005	±0,001	±0,02	±0,05	±0,1	±0,25	±0,5	±1	±2	±2,5	±5	±10	±20
Cod literal	E	L	P	W	B	C	D	F	G	H	J	K	M

Rezistoarele SMD chip se marchează de regulă în codul mantisă+exponent care poate avea 3 sau 4 cifre semnificative. Regula este valabilă (și se poate aplica) de obicei la valori peste 10 Ω pentru varianta cu 3 cifre și peste 100 Ω pentru cea cu 4 cifre. Primele cifre (mantisă) reprezintă cifrele semnificative ale valorii nominale iar ultima cifră (exponentul) este puterea lui 10 pentru exprimarea valorii, sau pe scurt multiplicatorul. Exemple de marcaj, 101, 473, 224, 560, 3010, 5112. Valorile nominale sunt, după regula anterioară: $10 \times 10^1 = 100 \Omega$, $47 \times 10^3 = 47k\Omega$, $22 \times 10^4 = 220k\Omega$, $56 \times 10^0 = 56\Omega$, $301 \times 10^0 = 301\Omega$, $511 \times 10^2 = 51,1 k\Omega$.

OBS: Valorile nominale cu 2 cifre semnificative corespund seriilor de valori cu toleranțe mai mari ca 2%, iar valori nominale cu 3 cifre semnifică toleranțe mai mici ca 2%, inclusiv.

Pentru rezistoare de dimensiuni foarte mici se poate aplica codul EIA 96 care reduce cu o cifră numărul caracterelor marcate, vezi Anexa 4.

Coefficientul de variație cu temperatura, α_R , (TCR) se marchează uneori pe corpul rezistoarelor în codul culorilor (6 bare colorate) Fiecare firmă poate avea un cod specific, de exemplu pentru rezistoarele din seria RPM produse de IPEE Curtea de Argeș codul era: **a** pentru $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$, **b** pentru $\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ și **c** pentru $\pm 250\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

Puterea nominală se marchează (în clar) numai la anumite rezistoare bobinate și la unele cu oxizi metalici, rezistoare care sunt utilizate în special pentru valorile mari ale acestui parametru.

Alți parametri se identifică din foile de catalog, cu precizarea că este posibil ca producătorul să nu prezinte anumiți parametri pe care îi consideră nerelevanți. De exemplu, în cazul rezistoarelor bobinate nu se prezintă factorul de zgomot, deși are valori mici, ele nefiind utilizate în aplicații de tip semnal mic. În cazul rezistoarelor de volum nici aici nu este dat factorul de zgomot, cunoscut fiind ca având valori mari, deoarece ele au alte aplicații decât amplificatoarele de zgomot mic.

3. Desfășurarea lucrării:

3.1 Se trece la completarea tabelului 6a din Anexa 2, în care nu sunt incluse rețelele rezistive. Acestea având câteva elemente specifice vor avea un tabel separat, tabelul 6b. Pentru tipurile de rezistoare prezentate în figura 10 se determină parametrii marcați și ceilalți parametri ce caracterizează rezistoarele respective cu ajutorul foilor de catalog. Toate datele, atât cele măsurate, cât și cele determinate se trec în tabelul de forma celui prezentat în Anexa 2.

Mod de lucru:

- Se identifică rezistoarele după codul din tabelul 5, Anexa 1. Codul permite în majoritatea cazurilor identificarea univocă a valorii nominale și a toleranței precum și a celorlalți parametri specifici.
- Se identifică valoarea nominală și toleranța și unde este cazul puterea nominală după marcaj, marcajul fiind considerat prioritar față de cod. Eventualele diferențe ce apar între cod și marcaj putând fi cauzate de plantarea pe placă a unui rezistor echivalent.
- Se studiază și marcajul în codul culorilor, apoi se aplică la un anumit număr de rezistoare.
- Se trece la studiul foilor de catalog pentru completarea tabelului 6. Pentru a parcurge cât mai

multe tipuri de rezistoare se va alege la început câte un rezistor din fiecare categorie, urmând a completa ulterior rubricile pentru celelalte exemplare. Placa de laborator este prezentată în figura 10.

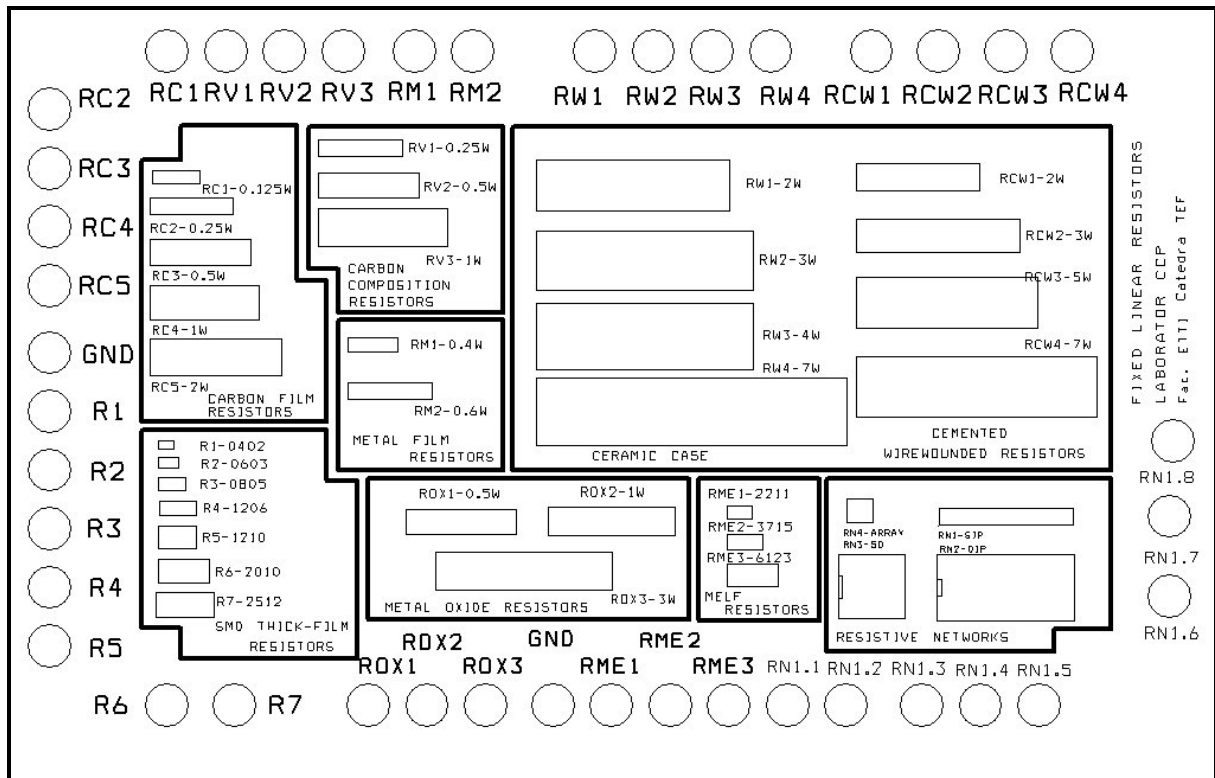


Fig.10 Desenul plăcii pentru studiul rezistoarelor.

Rezistoarele au fost împărțite în 8 grupe: 1. Rezistoare cu peliculă de carbon RC1-RC5, 2. Rezistoare SMD tip chip, rezistoare cu peliculă groasă R1-R7, 3. Rezistoare de volum RV1-RV3, 4. Rezistoare cu peliculă metalică RM1-RM2, 5. Rezistoare SMD tip MELF (cilindrice) RME1-RME3, 6. Rezistoare cu oxizi metalici ROx1-ROx3, 7. Rezistoare bobinate: în corp ceramic RW1-RW4 și cimentate RCW1-RCW4, 8. Rezistoare integrate, rețele rezistive RN1-RN4.

3.2. Se măsoară rezistența rezistoarelor pentru care există contacte de măsură și sunt plantate pe montajul din figura 10 cu ajutorul punții RLC. În referat se calculează t_m toleranța rezultată în urma măsurării, cu relația:

$$t_m = \frac{R_m - R_N}{R_N} \quad (15)$$

cu R_m , valoarea rezistenței măsurate, R_N rezistența nominală.

3.3 Se trece la completarea tabelului 6b pentru rețelele rezistive, prin identificarea componentelor și studiul foilor de catalog. La aranjamentul rezistoarelor se va scrie după caz: izolate, tip bus, tip terminație sau dublă terminație etc., conform foilor de catalog.

3.4 Se determină influența toleranței rezistoarelor unui divizor rezistiv, asupra tensiunii de la ieșirea divizorului. Se folosește un montaj ce utilizează rețeaua rezistivă RN1 realizat conform schemei din figura 11.

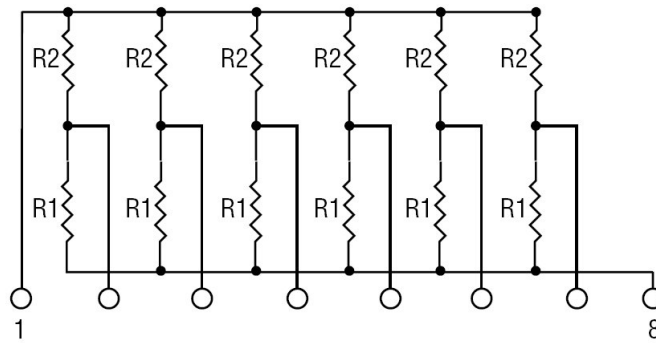


Fig.11 Schema electrică pentru determinarea influenței toleranței rezistoarelor asupra tensiunii divizorului utilizând rețeaua rezistivă RN1

Se conectează între pinii RN1 și RN8 care corespund pinilor 1 și 8 ai rețelei rezistive o tensiune $U_A=5V$, de la sursa de alimentare, borna MINUS fiind la pinul RN8 care se consideră masă în acest caz. Se măsoară cu un multimetru tensiunea față de masă la pinii RN2 până la RN7. Rezultatele se trec în tabelul 3. Se inversează polaritatea tensiunii între pinii 1 și 8 și se măsoară tensiunea la pinii 2-7 față de pinul 1. Se trec datele în tabel.

Tabelul 3 Tensiunea la ieșirea divizorului format din elementele rețelei rezistive

		U_A	U_{RN2}	U_{RN3}	U_{RN4}	U_{RN5}	U_{RN6}	U_{RN7}	U_N
Caz 1 RN1 la borna PLUS	Tensiune $U[V]$	(5V)							(calc.)
	$t [%]$								
Caz 2 RN8 la borna PLUS	Tensiune $U[V]$	(5V)							(calc.)
	$t [%]$								

Cu ajutorul măsurătorilor se pun în evidență eventualele abateri datorate toleranțelor rezistoarelor t_1 , respectiv t_2 ale rezistoarelor R_1 , respectiv R_2 , Tensiunea la ieșirea divizorului, U în cazul cu borna de masă la pinul 8 are expresia:

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_A \quad (16)$$

Dacă se alimentează cu PLUS la pinul RN8 și MINUS la pinul 1 iar tensiunea la ieșire se măsoară față de pinul 1 atunci expresia tensiunii de ieșire din expresia (16) se inversează R_1 cu R_2 .

Se apreciază calitativ toleranța t_u față de situația „ideală” adică atunci când rezistoarele au valorile nominale. Se utilizează relația 17:

$$t_u = \frac{U - U_N}{U_N} \quad (17)$$

unde U_N reprezintă valoarea calculată a tensiunii cu R_1 și R_2 având rezistența egală cu valoarea nominală.

3.5. Se măsoară rezistența între diferiți pini ai rețelei rezistive. Datorită faptului că rezistoarele nu sunt izolate, toate rezistoarele contribuie la valoarea rezistenței. Rezultatele se trec în tabelul 4.

Tabelul 4

Pini de măsură	1-8	1-2	2-3	2-4	2-8
R măsur. [Ω]					
Rcalc [Ω]					

Se vor calcula în referat valorile teoretice (schemă și explicații) și se va completa tabelul 4.

4. Întrebări, concluzii, prelucrări de date:

4.1 Pe baza împărțirii realizate pe placa de laborator prezentați comparativ cele 8 familii de rezistoare discrete și integrate. Se vor prezenta principalele elemente distinctive, detalii constructive, principalele caracteristici, parametri care se evidențiază la o anumită categorie, domenii de aplicație.

4.2. Având în vedere rezultatele obținute la punctul 3.1 (tabelul 6a) realizați comparația rezistoarelor din punctul de vedere al parametrilor incluși în tabel.

4.3. Comparați toleranța măsurată t_m cu cea marcată t , conform datelor obținute în tabelul 6. De ce există diferențe între t_m și t ? Ce semnifică valoarea acestei diferențe? Toleranța este bine să fie pozitivă? Dar negativă?

4.4 Pe baza tabelului 6b și a foilor de catalog realizați comparația rețelelor rezistive din punctul de vedere al parametrilor incluși în tabel. Ce avantaje prezintă rețelele rezistive din punct de vedere al variației cu temperatura?

4.5 Calculați puterea disipată de rețeaua rezistivă și de fiecare rezistor în parte la tensiunea de alimentare de 1 V și de 10V. Aceleași cerințe dacă se alege rețeaua cu codul 4608X-104-161/241L.

4.6 Calculați toleranța globală a divizorului rezistiv de la punctul 3.4 considerând că există numai o pereche de rezistoare R_1 și R_2 cu datele din catalog iar temperatura mediului ambiant este de 85°C în cazurile a) tensiunea de alimentare U_A este precisă și riguros constantă ($t_{UN}=0$, $\alpha_{UN}=0$) și are valoare mică care permite neglijarea puterii disipate în rezistoare, $U_A=1\text{V}$, b) $t_{UN}=\pm 5\%$, $\alpha_{UN}=0$, $U_A=1\text{V}$, c) $t_{UN}=\pm 5\%$, $\alpha_{UN}=\pm 500\text{ ppm}/^\circ\text{C}$, $U_A=1\text{V}$, d) $t_{UN}=0$, $\alpha_{UN}=0$ $U=10\text{V}$ e) $t_{UN}=\pm 5\%$, $\alpha_{UN}=0$, $U_A=10\text{V}$, f) $t_{UN}=\pm 5\%$, $\alpha_{UN}=\pm 500\text{ ppm}/^\circ\text{C}$, $U_A=10\text{V}$. Se vor comenta rezultatele și diferențele dintre cele 6 situații.

4.7. Determinați toleranțele globale ale rezistoarelor de tip peliculă de carbon și peliculă metalică considerând că au toleranțele de fabricație egale. Dacă nu există rezistoare cu toleranțe egale se va alege ca valoare comună cea mai mică toleranță. Se presupune că rezistoarele funcționează într-un mediu ambiant cu temperatura $T_a \in [-10, 100]^\circ\text{C}$ și nu disipă putere. Comentați rezultatele. Ce concluzie rezultă din această comparație ?

4.8. Calculați rezistența rețelei rezistive între pinii prezentați în tabelul 4, punctul 3.5. Comparați rezultatele cu cele din măsurători.

4.9. Determinați coeficienții de disipație termică D , respectiv rezistențele termice de convecție pentru minim 2 rezistoare din fiecare familie. Comparați coeficienții de disipație termică ai rezistoarelor de același tip, dar de puteri diferite și cei ai rezistoarelor de tipuri diferite, dar de aceeași putere. De ce există diferențe între acești coeficienți? Prezentați datele sub formă de tabel.

4.10. Determinați tensiunea maxim admisibilă a câte unui rezistor din fiecare tip, de rezistență minimă, considerând că funcționează într-un mediu ambiant cu temperatura $T_a \in [-10, 100]^\circ\text{C}$.

4.11. Determinați puterea termică maxim admisibilă $P_{A\theta}$ a tuturor categoriilor de rezistoare de pe placa de laborator, considerând că acestea funcționează la temperatura de 100°C . Prezentați datele sub formă de tabel.

4.12. Explicați influența soluției constructive asupra elementelor parazite ale tipurilor de rezistoare măsurate. Comparați din acest punct de vedere rezistoarele, încercând o aproximare a relațiilor de calcul pentru inductanța și capacitatea parazită.

4.13. De ce rezistoarele bobinate se contactează prin strângere și nu prin lipire?

4.14. În funcție de frecvența semnalului la care este utilizat un rezistor, acesta poate avea:

- 1) o comportare rezistivă;
- 2) o comportare inductivă;
- 3) o comportare capacitivă;
- 4) realizează o amplificare a semnalului.

4.15. Puterea nominală a unui rezistor este dependentă de:

- 1) tensiunea aplicată la bornele rezistorului;
- 2) dimensiunile geometrice ale rezistorului;
- 3) rezistența nominală;
- 4) tipul materialului utilizat la realizarea elementului rezistiv.

5. Întrebări suplimentare

a. Explicați influența elementului rezistiv asupra parametrilor unui rezistor.

b. Explicați influența elementelor componente ale unui rezistor, realizate din materiale izolante (suportul izolant, elementul de protecție) asupra parametrilor săi.

c. Explicați influența zonei de contactare asupra parametrilor unui rezistor.

d. Ce influență are asupra unui rezistor depășirea puterii nominale? Dar depășirea tensiunii nominale, respectiv a tensiunii admisibile?

e. Cum este influențată funcționarea unui rezistor de depășirea (spre valori negative) a temperaturii minime?

f. Cum considerați că este influențată funcționarea unui rezistor de șocurile termice, respectiv electrice? Care din rezistoarele de pe placa de laborator credeți că sunt mai sensibile și care mai puțin la astfel de influențe?

6. Conținutul referatului

6.1. Rezumat date teoretice;

6.2. Datele experimentale, prelucrarea lor, concluzii, interpretări, determinări;

6.3. Răspunsuri la întrebări.

Notă: Referatul trebuie redactat de mână (nu se iau în considerare referatele tehnoredactate).

Bibliografie

1. Cătuneanu V. ș.a., „Tehnologie electronică”, Ed. Didactică și Pedagogică, București 1984.
2. Svasta P. ș.a., „Rezistoare – Proprietăți, Construcție, Tehnologie, Aplicații”, Cavaliotti, 2007.
3. Svasta P. ș.a., „Tehnologie electronică, Componente pasive (îndrumar de laborator)”, editura UPB 1990.
4. Svasta P. ș.a., „Componente electronice pasive – probleme”, editura UPB, 2005.
5. ***, <http://www.yageo.com/e>;
6. ***, <http://www.koaspeer.com/>;
7. ***, <http://www.vishay.com/>;
8. ***, <http://www.bourns.com/>;
9. www.cetti.ro

Nr.crt	Nume ref.	Tip rezistor	Cod fabricant	Fabricant
1.	R1	Rezistor peliculă groasă SMD 0402	2322 70570151	PHYCOMP(YAGEO)
2.	R2	Rezistor peliculă groasă SMD 0603	232270260103	PHYCOMP(YAGEO)
3.	R3	Rezistor peliculă groasă SMD 0805	232273061181	PHYCOMP(YAGEO)
4.	R4	Rezistor peliculă groasă SMD 1206	232271161224	PHYCOMP(YAGEO)
5.	R5	Rezistor peliculă groasă SMD 1210	SR732ETTD10R0F	Koa
6.	R6	Rezistor peliculă groasă SMD 2010	232276162202	PHYCOMP(YAGEO)
7.	R7	Rezistor peliculă groasă SMD 2512	232276260221	PHYCOMP(YAGEO)
8.	RC1	Rezistor peliculă carbon 0.125W	MCCFR0W8	Multicomp
9.	RC2	Rezistor pelicula carbon 0.25W	MCCFR0W4J0563A50	Multicomp
10.	RC3	Rezistor pelicula carbon 0.5W	MCCFR0S2xxxxxx	Multicomp
11.	RC4	Rezistor pelicula carbon 1W	Nu este utilizat	
12.	RC5	Rezistor pelicula carbon 2W	Nu este utilizat	
13.	RV1	Rezistor volum 0.25 W	CBT25J15R	Tyco Electronics
14.	RV2	Rezistor volum 0.5 W	CBT50J680K	Tyco Electronics
15.	RM1	Rezistor peliculă metalică 0,4 W	MRS25 180K 1%.	Vishay
16.	RM2	Rezist peliculă metalică 0,6 W	MRS25 15R8 1%.	Vishay
17.	ROX1	Rezistor oxizi metalici 0,5W	Nu este utilizat	
18.	ROX2	Rezistor oxizi metalici 1W	MO1S-100RJI	Welwyn
19.	ROX3	Rezistor oxizi metalici 3W	MO3S-10RJI	Welwyn
20.	RME1	Rezistor peliculă metal SMD MELF 0102	231216511102	Vishay-BC Comp.
21.	RME2	Rezistor peliculă metal SMD MELF 0204	2312 142 71803	Vishay-BC Comp.
22.	RME3	Rezistor peliculă metal SMD MELF 0207	2312 195 11503	Vishay-BC Comp.
23.	RW1	Rezistor bobinat corp ceramic 2W	Nu este utilizat	
24.	RW2	Rezistor bobinat corp ceramic 3W	Nu este utilizat	
25.	RW3	Rezistor bobinat corp ceramic 5W	SQP5-6R8JB14	Welwyn
26.	RW4	Rezistor bobinat corp ceramic 7W	SQP7S-0R68JB15	Welwyn
27.	RCW1	Rezistor bobinat cimentat WA83 2W	Nu este utilizat	
28.	RCW2	Rezistor bobinat cimentat WA84 3W	WA84-12RJI	Welwyn
29.	RCW3	Rezistor bobinat cimentat WA85 5W	WA85Z-100RJI	Welwyn
30.	RN1	Rețea rezistivă SIP8	4608X-104-221/331L	BOURNS
31.	RN2	Rețea rezistivă DIP16	4116R-1-101LF	BOURNS
32.	RN3	Rețea rezistivă SO14	4814P-T01-472LF	BOURNS
33.	RN4	Rețea rezistivă 1206 tip RNA310	235023010479	PHYCOMP(YAGEO)

Tabelul 6a. Rezistoare discrete

Nr. crt.	Nume ref.	R _N	t [%]	PN [W]	α [ppm/°C]	UN [V]	T _m [°C]	T _M [°C]	T _N [°C]	F [μV/V] sau NI [dB]	Riz [GΩ] sau Uiz [V]	R măsur.	t [%] calc.
1.	R1												
2.	R2												
3.	R3												
4.	R4												
5.	R5												
6.	R6												
7.	R7												
8.	RC1												
9.	RC2												
10.	RC3												
11.	RC4												
12.	RC5												
13.	RV1				N/A								
14.	RV2				N/A								
15.	RM1									N/A	N/A		
16.	RM2									N/A	N/A		
17.	ROX1									N/A			
18.	ROX2									N/A			
19.	ROX3									N/A			
20.	RME1										N/A		
21.	RME2										N/A		
22.	RME3										N/A		
23.	RW1									N/A			
24.	RW2									N/A			
25.	RW3									N/A			
26.	RW4									N/A			
27.	RCW1									N/A			
28.	RCW2									N/A			
29.	RCW3									N/A			

Tabelul 6b. Rezistoare integrate - rețele rezistive

Nr. crt	Nume ref.	Aranjare rezistoare în capsulă	R1 [Ω]	R2 [Ω]	t[%]	PN capsulă [W]	PN rezistor [W]	α [ppm/°C]	VN [V]	T _m [°C]	T _M [°C]	T _N [°C]	Riz [GΩ] sau Uiz [V]
1	RN1												
2	RN2												
3	RN3												
4	RN4												

ANEXA 3 – Explicații privind parametrii rezistoarelor din Anexa 2

Notă Anumite câmpuri din tabelul din Anexa 2 sunt hașurate („gray out”) sau este folosit termenul N/A – Not Available. Unele rezistoare nu au fost disponibile la distribuitorii de componente și lipsesc în totalitate de pe placă. Pentru anumite rezistoare producătorii nu oferă anumite informații. Acest lucru poate fi o urmare a domeniului de aplicație al diferitelor rezistoare unde acei parametri nu sunt relevanți. În această anexă se prezintă unele explicații suplimentare.

Puterea Nominală P_N

Acest parametru este egal cu puterea disipată maximă a unui rezistor atunci când temperatura mediului ambiant este cel mult egală cu temperatura numită nominală T_N , în general T_N este 70°C . Puterea nominală poate fi exprimată în clar sau chiar poate fi marcată pe corpul rezistoarelor, ca în cazul rezistoarelor bobinate. Uneori se poate utiliza forma $P_{70}=\dots\text{W}$, această exprimare oferind simultan valoarea puterii nominale și a temperaturii nominale, peste care puterea trebuie redusă. În unele cazuri puterea nominală se identifică din graficul de reducere numit diagrama de disipație sau „derating diagram” în engleză, care exprimă puterea admisibilă a rezistorului (adică puterea la care poate fi încărcat acesta) în funcție de temperatura ambiantă. E bine să se aibă în vedere că temperatura ambiantă nu este neapărat egală cu temperatura aerului la care produsul este utilizat. Temperatura mediului ambiant la care poate ajunge un produs în funcționare poate fi mult mai mare ca cea a mediului ambiant, de exemplu în domeniul autovehiculelor. În timpul utilizării unui rezistor, temperatura acestuia crește până la valoarea maximă T_M . Acest parametru se consideră că nu poate fi depășit în nici o situație, nici chiar în impulsuri scurte, unde puterea de vârf a impulsului poate depăși puterea de regim permanent, puterea admisibilă. Puterea nominală a unui rezistor a fost aleasă în corelație cu temperatura maximă și cea nominală. Astfel, la o temperatură a mediului ambiant egală cu T_N un rezistor care disipă o putere egală cu P_N va atinge temperatura T_M , sau în practică cel mult egală cu T_M . Pentru simplificare, chiar dacă temperatura mediului ambiant e mai mică ca T_N , puterea la care va fi încărcat rezistorul nu va depăși P_N .

Puterea nominală este palierul graficului aflat la temperaturi mai mici ca T_N , T_N fiind temperatura de la care începe scăderea puterii. Panta de scădere a puterii admisibile este constantă și graficul atinge valoarea puterii zero în dreptul temperaturii maxime T_M . Panta drepte de scădere a puterii este dependentă de parametrul numit rezistență termică a rezistorului R_{th} , exprimat în K/W . Rezistența termică este un parametru care caracterizează capacitatea rezistorului de a evacua puterea în mediul ambiant și se consideră constantă pentru o utilizare „normală” a rezistorului, montat pe placa de circuit imprimat și în condiții de convecție naturală. Rezistența termică într-o primă aproximație se consideră că nu depinde de materialele utilizate ci doar de aria de convecție a rezistorului și condițiile de disipație (coeficientul de transfer termic prin convecție). Pentru rezistoarele SMD considerațiile anterioare sunt parțial adevărate. În acest caz, mai mult de jumătate din puterea disipată se evacuează către circuitul imprimat, fiind date recomandări de proiectare a circuitului imprimat de către producătorul de componente.

În mod evident, un rezistor cu arie de convecție mare, deci care are dimensiuni mari poate disipa o putere mare. La rezistoarele bobinate, utilizarea unui corp ceramic cu dimensiuni mult mai mari ca ale elementului rezistiv conduce la o putere nominală mai mare. O putere nominală mare, la aceleași dimensiuni, se poate însă obține și cu materiale cu T_M mai mare.

Revenind la panta graficului de scădere a puterii disipate, pentru rezistoare cu aceiași parametri T_N și T_M , o rezistență termică mică (transfer termic bun) conduce la o dreaptă mai înclinată iar o rezistență termică mare corespunde unei pante mai lente și unei puteri nominale mai mici. Unele rezistoare au o diagramă de disipație trunchiată la o anumită temperatură T_M , la care graficul nu a atins încă puterea nulă, putând fi create confuzii privind identificarea T_N , atunci când diagrama nu este atent interpretată. Această limitare a temperaturii maxime poate fi determinată de materialele utilizate în rezistor, care impun limite suplimentare, de ex. elementul de protecție. Pot fi limitări date de zona de

contactare și pot fi alte considerente legate de lipirea componentei pe circuitul imprimat. Deci, deși rezistența termică (dimensiuni și condiții de disipație) a rezistorului ar permite o temperatură ambiantă mai mare, aceasta e limitată. De exemplu, pentru rezistoarele cu oxizi metalici, cu foia de catalog prezentată la laborator, graficul punctat ar atinge puterea nulă la 240°C, dar temperatura maximă este limitată la 155°C.

Coeficientul de variație cu temperatura

În general rezistoarele au precizat coeficientul de variație cu temperatura a rezistenței (TCR – Temperature Coefficient of Resistance-engl.) notat cu α și exprimat în [ppm/°C]. Acesta poate fi pozitiv, negativ sau dat ca un număr care poate avea semnul \pm .

Rezistoarele bazate pe peliculă metalică și cele bobinate au de obicei coeficient de temperatură pozitiv, cele cu carbon negativ iar cele în straturi groase au un coeficient de temperatură cu semnul \pm . Interpretarea acestui semn este prezentată în continuare. Structura complexă neomogenă a rezistoarelor cu straturi groase face ca și variația cu temperatura să aibă un grad mare de variabilitate pentru o gamă de rezistoare. Se obișnuiește să se considere o temperatură de referință, de ex. 25°C și se măsoară variația cu temperatura atunci când se scade temperatura la T_m (-55°C), respectiv se crește la T_M (+155°C). Variația cu temperatura conține astfel un TCR rece „cold TCR” și un TCR cald „hot TCR”. Pe cele două domenii un rezistor poate să își scadă sau să își crească monoton rezistența. De ex. un rezistor poate avea un TCR rece de +170 ppm/°C și un TCR cald de -120 ppm/°C. Pentru simplificare și în mod acoperitor producătorul va preciza $\alpha = \pm 200$ ppm/°C. Se pot reprezenta grafic două drepte ale variației rezistenței cu temperatura cu pantele ce corespund la -200 ppm/°C și + 200 ppm/°C, aceste drepte delimitând o zonă, un gabarit în care se vor afla toate rezistoarele cu parametrii respectivi. Rezistoarele cu valori foarte mici sau foarte mari au de regulă coeficienți de temperatură mai mari în valoare absolută.

Tensiunea nominală U_N

Tensiunea nominală este valoarea maximă a tensiunii care se poate aplica rezistorului, fără ca acesta să se străpungă. Străpungerea dielectrică este cauzată de depășirea valorii unui anumit câmp electric, numit rigiditate dielectrică. Depășirea acestei valori cauzează, de cele mai multe ori ireversibil, transformarea dielectricului în conductor electric. Tensiunea nominală depinde de rigiditatea dielectrică a materialelor utilizate la realizarea rezistorului: materiale pentru suportul izolator (substrat), elementul rezistiv și elementul de protecție. Tensiunea nominală depinde de distanța dintre terminale (mărimea corpului componentei). O distanță mare conduce la o valoare mai redusă a câmpului electric la aceeași tensiune aplicată. În unele cazuri poate interveni, pe lângă materialele enumerate anterior și rigiditatea dielectrică a aerului înconjurător.

Pe scurt, tensiunea nominală este o caracteristică a tipodimensiunii rezistorului, de exemplu rezistoarele din seria SR73 cu dimensiunea 1210 de la Koa au toate aceeași tensiune nominală, indiferent de valoarea nominală. Totuși, trebuie avut în vedere că tensiunea nominală se poate aplica unui rezistor numai dacă valoarea rezistenței acestuia este mai mare ca rezistența critică R_{cr} , de ordinul 100-300 k Ω pentru rezistoarele uzuale. Având în vedere că rezistoarele bobinate au valori mult mai mici decât aceste numere, de multe ori nu se precizează tensiunea nominală pentru rezistoarele bobinate, U_N fiind un parametru lipsit de relevanță. Așadar, tensiunea maximă care se poate aplica rezistoarelor bobinate este limitată de depășirea puterii admisibile, înainte de a putea avea loc străpungerea. Situația ar putea fi diferită în cazul impulsurilor foarte scurte de tensiune mare, dar pentru acest gen de solicitare trebuie cerute informații suplimentare de la producător.

Factorul de zgomot F sau indicele de zgomot NI

Factorul de zgomot F exprimat în $\mu V/$ sau un parametru echivalent, indicele de zgomot (Noise Index) exprimat în dB, $NI=20\log(F)$, oferă o valoare numerică a zgomotului unui rezistor. Acest zgomot este o combinație între zgomotul termic și cel de curent, fiind măsurat într-o anumită bandă de frecvență,

cu frecvența superioară nu mai mare de 1-2 KHz, pentru a avea încă o valoare măsurabilă a zgomotului de curent, acesta scăzând cu frecvența, mai este numit și „Zgomot 1/f”. Zgomotul termic este „alb”, valoarea acestuia este aceeași în orice bandă de frecvență. Cele mai cunoscute aparate sunt ale firmei Quan-tech, zgomotul măsurat fiind numit „Quan-tech Noise”.

Rezistoarele cu zgomot mic sunt cele cu elementul rezistiv omogen, elementul rezistiv compozit având un zgomot mai mare. Cel mai mare zgomot îl au rezistoarele de volum (Carbon composition resistors), urmează în ordine descrescătoare cele cu straturi groase, peliculă de carbon, oxizi metalici, peliculă metalică, și cel mai mic zgomot este la rezistoarele cu element rezistiv metalic, cele bobinate și cu folie metalică (nu sunt prezente în platforma de laborator). În general, la toate rezistoarele, factorul de zgomot crește cu valoarea rezistenței.

În ultimii 15-20 ani acest parametru și-a mai pierdut din importanță, utilizarea rezistoarelor discrete în etajele de intrare ale amplificatoarelor de frecvență mare (Etaje „Front-end”) fiind azi mult mai redusă în favoarea circuitelor integrate specializate. Chiar atunci când sunt necesare, zgomotul rezistoarelor este mai mic decât al dispozitivelor semiconductoare. Totuși, există unele aplicații de nișă unde zgomotul poate crea probleme iar anumiți producători oferă încă date despre factorul de zgomot.

Rezistența de izolație Riz și tensiunea de izolație Uiz.

În cazul rezistoarelor parametrul Riz se referă la izolația elementului de protecție. Se măsoară în anumite condiții, conectând o sursă de înaltă tensiune între cele două terminale ale rezistorului conectate împreună și un electrod metalic aplicat pe corpul rezistorului. Rezistoarele cu un element de protecție bun izolator și cu grosime mare au desigur o rezistență de izolație mare, de ex. rezistoarele bobinate în corp ceramic. Parametrul Riz este important pentru rezistoare utilizate la înaltă tensiune, unde un eventual contact accidental cu alte elemente ale circuitului sau cu un operator uman nu trebuie să genereze un curent de scurgere important. Valori uzuale pentru Riz sunt peste $1G\Omega$. Unii producători oferă tensiunea de izolație, Uiz, acea tensiune care se poate aplica în condiții de siguranță, fără străpungere între corpul rezistorului și terminale. Deși sunt diferiți, cei doi parametri Riz și Uiz exprimă același lucru și anume capacitatea de izolație a elementului de protecție, și oferă proiectantului o primă indicație despre gradul de izolație.

ANEXA 4 – Codul EIA-96

Cod numeric pentru cifrele semnificative

Cod	Valoare	Cod	Valoare	Cod	Valoare	Cod	Valoare
01	100	25	178	49	316	73	562
02	102	26	182	50	324	74	576
03	105	27	187	51	332	75	590
04	107	28	191	52	340	76	604
05	110	29	196	53	348	77	619
06	113	30	200	54	357	78	634
07	115	31	205	55	365	79	649
08	118	32	210	56	374	80	665
09	121	33	215	57	383	81	681
10	124	34	221	58	392	82	698
11	127	35	226	59	402	83	715
12	130	36	232	60	412	84	732
13	133	37	237	61	422	85	750
14	137	38	243	62	432	86	768
15	140	39	249	63	442	87	787
16	143	40	255	64	453	88	806
17	147	41	261	65	464	89	825
18	150	42	267	66	475	90	845
19	154	43	274	67	487	91	866
20	158	44	280	68	499	92	887
21	162	45	287	69	511	93	909
22	165	46	294	70	523	94	931
23	169	47	301	71	536	95	953
24	174	48	309	72	549	96	976

Cod literal pentru multiplicator.

Cod literal	S	R	A	B	C	D	E	F
Multiplicator	10^{-2}	10^{-1}	100	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5

Codul se utilizează pentru toleranțe de $\pm 0,1\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1\%$. Această marcare, față de varianta anterioară (cod alfanumeric varianta 3) reduce marcarea cu un digit. De exemplu, dacă este marcat pe un rezistor 10C, rezultă $R_N = 12,4\text{ k}\Omega$.

ANEXA 5 – Codul culorilor conform IEC 62

Culoare	Cifră semnificativă	Multiplicator	Toleranță (%)	Coeficientul de variație cu temperatura (ppm/°C)
Negru	0	1	-	±250
Maro	1	10	±1	±100
Roșu	2	10 ²	±2	±50
Oranj	3	10 ³	-	±15
Galben	4	10 ⁴	-	±25
Verde	5	10 ⁵	±0,5	±20
Albastru	6	10 ⁶	±0,25	±10
Indigo	7	10 ⁷	±0,1	±5
Gri	8	10 ⁸	±0,05	±1
Alb	9	10 ⁹	-	-
Auriu	-	10 ⁻¹	±5	-
Argintiu	-	10 ⁻²	±10	±200
Fără culoare	-	-	±20	-

Utilizând codul culorilor se poate marca rezistența nominală, toleranța, coeficientul de variație cu temperatura și uneori fiabilitatea (rata de defectare). Pentru marcarea rezistenței nominale, în funcție de toleranță sunt necesare două sau trei cifre semnificative. Marcarea este utilizată pentru rezistoarele de formă cilindrică, atât cu terminale pentru inserție, cât și pentru montarea pe suprafață.

Ordinea de citire a culorilor este de la capătul cel mai apropiat (vezi figura 1 a și b) sau ultima culoare este de aproximativ două ori mai lată decât celelalte (vezi figura 1 c, d, e, f). Marcarea din figura 1a este utilizată pentru rezistoare cu toleranțe de ±20 %, când se marchează numai rezistența nominală cu trei inele colorate.

Exemplu: Se consideră un rezistor cu peliculă de carbon marcat cu culorile roșu (C_1), roșu (C_2), portocaliu (m), rezultă $R_N = 22 \cdot 10^3 \Omega = 22 \text{ k}\Omega$.

Marcarea din figura 1b este utilizată pentru rezistoare cu toleranță de ±10 % și ±5 % (fără să se marcheze coeficientul de variație cu temperatura, cum sunt de exemplu rezistoarele cu peliculă de carbon). În acest caz se marchează rezistența nominală (culorile C_1 , C_2 , m) și toleranța.

Exemplu: Se consideră un rezistor marcat cu culorile roșu (C_1), galben (C_2), maro (m) și auriu, rezultă $R_N = 24 \cdot 10 \Omega = 240 \Omega$ cu toleranța $t = \pm 5 \%$.

Marcarea din figura 1c este utilizată pentru marcarea rezistenței nominale și a toleranței, toleranța fiind mai mică decât ±2,5 %. În acest caz apare ca necesară a treia cifră semnificativă C_3 . Coeficientul de variație cu temperatura, atunci când este marcat este ultima culoare (vezi figura 1 d și e) sau un punct colorat în conformitate cu figura 1f.

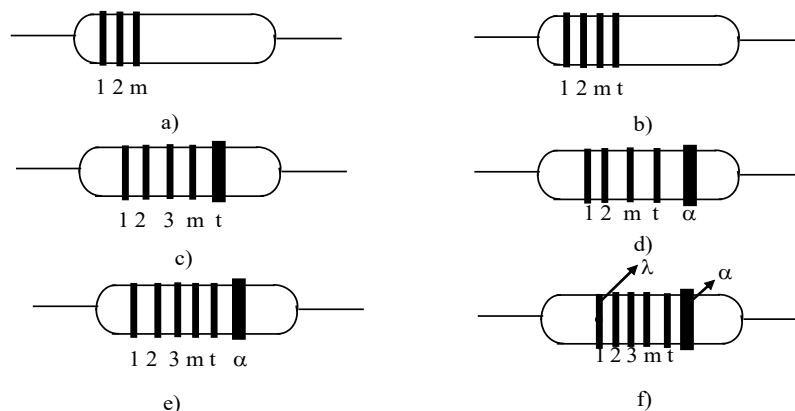


Figura 1. Marcarea rezistoarelor în codul culorilor: 1-prima cifră semnificativă; 2 - a doua cifră semnificativă; 3 - a treia cifră semnificativă; m – multiplicator; t – toleranță; α - coeficient de temperatură; λ - fiabilitate (rata de defectări).

E6	E12	E24	E48	E96	E192	E6	E12	E24	E48	E96	E192	E6	E12	E24	E48	E96	E192	E6	E12	E24	E48	E96	E192
±20%	±10%	±5%	±2%	±1%	±0,5%	±20%	±10%	±5%	±2%	±1%	±0,5%	±20%	±10%	±5%	±2%	±1%	±0,5%	±20%	±10%	±5%	±2%	±1%	±0,5%
100	100	100	100	100	100																		
				101	101		180	180	178	178	178				316	316	316		560	560	562	562	562
				102	102						180						320					562	562
				104	104						182					324	324					576	576
			105	105	105						184						328					583	583
				106	106				187	187	187		330	330	330	332	332				590	590	590
				107	107						189						336					597	597
				109	109						191					340	340					604	604
		110	110	110	110						193						344					612	612
				111	111				196	196	196				348	348	348		620	619	619	619	619
				113	113						198						352					626	626
				114	114			200		200	200					357	357					634	634
				115	115					205	205			360		361	361					642	642
				117	117				205	205	205				365	365	365			649	649	649	649
				118	118						208					370	370					657	657
	120			120	120						210					374	374					665	665
				121	121						213						379					673	673
				122	122				215	215	215						383	383				681	681
				123	123						218						388					690	690
				124	124	220	220	220		221	221		390	390			392	392				698	698
				126	126						223						397					706	706
				127	127				226	226	226				402	402	402				715	715	715
				129	129						229						407					723	723
		130		130	130						232						412	412				732	732
				132	132						234						417					741	741
				133	133				237	237	237				422	422	422		750	750	750	750	750
				135	135			240		240	240					427						759	759
				137	137						243			430		432	432					768	768
				138	138						246					437						777	777
				140	140				249	249	249				442	442	442				787	787	787
				142	142						252						448					796	796
				143	143						255					453	453					806	806
				145	145						258					459	459					816	816
				147	147				261	261	261				464	464	464		820	820	825	825	825
150	150	150		149	149						264		470	470			470					835	835
				150	150						267						475					845	845
				152	152		270	270			271						481					856	856
				154	154				274	274	274				487	487	487				866	866	866
				156	156						277						493					876	876
				158	158						280					499	499					887	887
		160		160	160						284					505	505					898	898
				162	162				287	287	287			510	511	511	511		910	909	909	909	909
				164	164						291					517						919	919
				165	165						294					523	523					931	931
				167	167						298					530	530					942	942
				169	169			300	301	301	301				536	536	536			953	953	953	953
				172	172						305					542	542					965	965
				174	174						309					549	549					976	976
				176	176						312					556	556					988	988

Anexa 6
Valorile nominale ale serilor E6 ... E192