

LUCRAREA 2

Materiale conductoare. Rezistoare

Proprietățile materialelor conductoare

Conductivitatea materialelor metalice

Tipurile principale de materiale conductoare utilizate în electronică sunt conductoarele metalice (conductoarele cu conductivitate electronică).

Relația conductivității unui material conductor cu defecte în rețeaua cristalină este:

$$\rho = \frac{m}{e^2 n \tau_T} + \frac{m}{e^2 n \tau_d} \quad (2.1)$$

unde:

- m – este masa electronului;
- e – sarcina electronului;
- n – numărul electronilor de conducție în unitatea de volum;
- τ_T – constantă de timp de relaxare specifică proceselor de interacțiune cu rețeaua cristalină a metalului (la temperatura camerei); τ_T variază pentru diverse metale între $(1...4)10^{-14}$ s
- τ_d – este constanta de timp de relaxare specifică interacțiunii purtătorilor de sarcină cu defectele rețelei cristaline; la temperatura camerei și pentru metalele fără defecte $\tau_d \gg \tau_T$ astfel încât al doilea termen este neglijabil.

Rezistivitatea materialelor metalice variază cu temperatura prin intermediul constantei de timp de relaxare τ_T care scade cu creșterea temperaturii datorită intensificării oscilațiilor rețelei cristaline. Pentru domenii mici de temperatură această variație poate fi aproximată cu o dreaptă:

$$\rho_T = \rho_{T1} (1 + \alpha_\rho \Delta T) \quad (2.2)$$

unde:

- ρ_T – se numește coeficient de temperatură al rezistivității;
- ΔT – este variația de temperatură în jurul temperaturii T .

Rezistivitatea materialelor metalice variază de asemenea sub influența solicitărilor mecanice care duc la deformări ale rețelei cristaline. Dacă deformările sunt elastice variațiile amplitudinii de oscilație a nodurilor rețelei cristaline conduc la creșterea rezistivității în cazul întinderii și la scăderea rezistivității prin comprimare. Rezistivitatea poate fi calculată aproximativ cu relația:

$$\rho_1 = \rho_0 (1 \pm \varphi \sigma_n) \quad (2.3)$$

unde:

- ρ_0 – este rezistivitatea materialului nesolicitat mecanic;
- σ_n – tensiunea mecanică;

- φ – coeficient mecanic al rezistivității
(în relația 2.3 semnul “+” corespunde întinderii, iar semnul “-” comprimării).

Supraconductibilitatea

Prin scăderea temperaturii influența interacțiunii purtătorilor de sarcină cu rețeaua cristalină scade și, corespunzător, în relația (2.1) primul termen devine la temperaturi joase neglijabil în comparație cu al doilea. Ținând cont de acestea ar fi normal ca pe măsură ce temperatura tinde spre 0K rezistivitatea materialului să tindă lent spre 0 (fig.2.1). Pentru majoritatea metalelor neferomagnetice (și în special cele cu conductibilitate mai slabă la temperatura normală) s-au observat abateri de la regula expusă mai sus și anume, la o temperatură T_{sc} mai mare de 0K, rezistivitatea materialului se anulează brusc (materialul devine supraconductor), simultan cu transformarea materialului din paramagnetic în diamagnetic. Explicația supraconductibilității constă în formarea, pentru temperaturi mai mici decât T_{sc} , a unor perechi stabile de electroni cu moment cinetic și moment magnetic de spin egale și de semn opus care se pot deplasa liber în cristal.

Pentru temperaturi $T < T_{sc}$ starea de supraconductibilitate poate înceta dacă materialului i se aplică un anumit câmp magnetic H_{sc} dat de relația:

$$H_{sc} = H_0 \left[1 - \left(\frac{\delta T}{T_{sc}} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

unde:

- H_0 – este o funcție de material și reprezintă câmpul necesar pentru anularea supraconductibilității la temperatura de 0K.

În tabelul 2.1 sunt cuprinse temperaturile H_0 și valorile lui T_{sc} pentru unele metale și aliaje supraconductoare.

Material	T_{sc}	$\mu_0 H_0$	Densitatea maximă a curentului
Niobiu	9,5	-	-
Plumb	7,2	-	-
Tantal	4,48	-	-
Staniu	3,7	-	-
Indiu	3,37	-	-
Molibden	1	-	-
Nb_3Sn	18,2	>25	>2 10^9
V_3Ga	16,8	>35	>5 10^8

Ca aplicații, materialele supraconductoare sunt folosite pentru realizarea dispozitivelor rapide de memorie (criotroane). În fază experimentală aliajele supraconductoare cu T_{sc} mare și H_0 mare, admitând densități mari de curent sunt utilizabile și pentru transportul energiei electrice cu randament foarte ridicat.

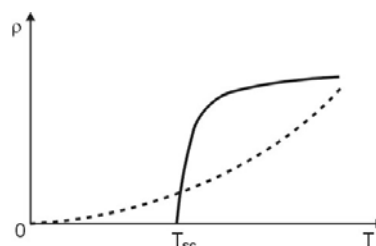


Fig.2.1

Materiale de înaltă conductibilitate

Cuprul și aliajele lui

Proprietățile cuprului:

- conductivitate electrică foarte mare, depășită doar de a argintului care este foarte scump;
- rezistență mecanică suficient de mare;
- stabilitate satisfăcătoare la coroziune, la temperaturi normale;
- prelucrare ușoară prin laminare și trefilare, până la diametre de sutimi de milimetru, lipire și sudare comodă.

Pentru utilizare ca material conductor se folosește numai cupru electrolitic pur (peste 99,9% Cu) deoarece chiar mici adaosuri scad sensibil conductivitatea materialului.

Prin trefilare la rece se obține cuprul dur care are o rezistență la întindere ridicată, duritate și elasticitate la îndoire. Se utilizează pentru fabricarea conductoarelor acolo unde este necesară o rezistență mecanică mare, duritate și rezistență la frecare.

În urma unui tratament termic până la câteva sute de grade se obține cuprul moale, relativ plastic, cu duritate și rezistență mică, dar cu conductivitate mai înaltă, utilizat pentru cazurile în care este importantă flexibilitatea.

În unele cazuri se utilizează ca materiale conductoare aliaje ale cuprului care, chiar dacă au conductivitate mai mică, au proprietăți mecanice superioare. Astfel pentru lamelele releelor electromagnetice care trebuie să asigure o presiune de contact suficientă și constantă în timp se folosesc: bronzul cu staniu (staniu 6...8%), bronzul cu aluminiu (aluminiu 5...10%), bronzul cu beriliu (1,7...2%), alpaca (nichel 9...18%), alama (zinc 20...30%).

Aluminiul

Are proprietăți electrice și mecanice inferioare cuprului (astfel rezistivitatea sa este de 1,63 mai mare decât a cuprului, iar proprietățile mecanice se apropie de cele ale cuprului numai pentru aliaje ca duraluminiu).

Adaosurile (în special titanul și manganul și chiar cuprul și argintul) cresc rezistivitatea aluminiului, motiv pentru care acesta se utilizează ca material conductor numai cu un conținut sub 0,5% adaosuri. Prelucrabilitatea aluminiului se apropie de cea a cuprului. Se utilizează la fabricarea condensatoarelor, în bobinajele inductanțelor. Se oxidează destul de repede, oxidul având proprietăți izolatoare bune. O atenție deosebită trebuie acordată însă conexiunilor între cupru și aluminiu unde, în prezența umidității atmosferice, are loc o corodare puternică a aluminiului.

Materiale pentru contacte electrice de rupere

Proprietăți necesare:

- o bună conductivitate electrică și termică;
- rezistență la acțiunea agenților atmosferici, iar în cazul în care formează pelicule de oxizi superficiali aceștia să aibă conductibilitate electrică și termică apropiate de cele ale materialului de bază;
- duritate mare, pentru a rezista la un număr mare de acționări;
- temperatura de topire înaltă, pentru a nu forma arc la întreruperea contactului;
- să fie ușor prelucrabile.

Argintul:

- are cea mai mare conductibilitate, un punct de topire relativ ridicat, rupe curenți mari, este maleabil, se prelucrează ușor
- nu e un material dur, la folosirea în curent continuu este ușor transportat prin scântei în sensul curentului (contactele se sudează relativ ușor), este atacat de sulf formând o peliculă rău conductoare.
- aliajele cu cuprul, platina și oxidul de cadmiu, au duritate mai mare și temperatura de topire ridicată (nu se lipesc contactele), sunt mai rezistente la acțiunea sulfului.

Aurul:

- este mult mai stabil la acțiunea agenților atmosferici, este mai moale, se folosește la contactoare de curenți mici.

Platina:

- are o excepțională rezistență la acțiunea agenților chimici și temperatură ridicată de topire, o bună rezistență la coroziunea prin arc electric, însă are duritate scăzută.

Wolframul:

- este foarte dur, se topește foarte greu și este foarte greu atacat de agenții chimici, fiind folosit la contacte electrice cu durată foarte mare de funcționare.

Aliaje metalice cu rezistivitate ridicată

Pentru fabricarea rezistoarelor bobinate sunt necesare conductoare realizate din materiale cu rezistivitate cât mai mare și coeficientul de temperatură al rezistivității cât mai mic.

Manganinul este principalul aliaj folosit pentru rezistoare de precizie de putere mică. Se prelucrează bine în fire. Pentru obținerea unui coeficient mic de variație cu temperatura, manganinul este supus unui tratament termic prin încălzire la 350...550°C urmată de răcire lentă și păstrare îndelungată la temperatura camerei.

Constantanul se prelucrează ușor. Încălzit rapid la 900°C și răcit lent formează o peliculă de oxid cu proprietăți electroizolante bune, ceea ce permite bobinarea spiră lângă spiră fără măsuri suplimentare, dacă tensiunea între 2 spire nu depășește 1V.

Aliajele crom-nichel lucrează la temperaturi foarte ridicate (până la 1000°C).

Nikrothalul, aliaj al nichelului cu cromul, are o mai bună stabilitate a rezistivității cu temperatura, dar la temperaturi relativ joase (230°C), este foarte prelucrabil comparativ cu celelalte aliaje cu rezistivitate ridicată.

Rezistoare

Rezistoarele sunt componente pasive de bază în aparatura electronică, reprezentând aproximativ 30-40% din numărul pieselor unui aparat electronic. Rezistoarele se pot clasifica după mai multe criterii:

- în funcție de intensitatea curenților care le străbat:
 - o rezistoare pentru curenți tari
 - o rezistoare pentru curenți slabi
- după tipul constructiv:
 - o rezistoare fixe, a căror rezistență este stabilită în procesul de fabricație și rămâne constantă pe întreaga perioadă de funcționare;
 - o rezistoare variabile a căror rezistență poate fi modificată în anumite limite, în timpul funcționării, în vederea efectuării unor operații de reglaj
- după conductorul care realizează funcția de rezistor:
 - o pentru curenți slabi: de volum, peliculare, bobinate
 - o pentru curenți tari, cu element rezistiv obținut prin: turnare din fontă (grile din fontă), ștanțare din tablă (tablă silicioasă), spiralizate (cu număr variabil de spire – din diverse materiale)
- după destinație:
 - o profesionale
 - o de uz general

Parametri rezistoarelor

Rezistența nominală și toleranța (exprimată în procente). Rezistența nominală R_n este valoarea rezistenței care trebuie realizată prin procesul tehnologic și care se înscrie pe corpul rezistorului. A obține toate valorile de rezistențe necesare în montajele electronice ar însemna o mărire inutilă a complexității procesului tehnologic, pentru că în practică, valorile rezistoarelor pot avea abateri de la valorile nominale, fără a modifica parametri circuitului unde sunt folosite. Din această cauză sau ales discontinuu valorile nominale ale rezistenței rezistoarelor ce urmează a se fabrica, alcătuindu-se serii de valori în funcție de clasele de toleranță. Toleranța, t , exprimă în procente abaterea maximă admisibilă a valorii reale R a rezistenței, față de valoarea nominală R_n :

$$t = \pm \max \frac{|R - R_n|}{R_n} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Seriile valorilor nominale ale rezistenței rezistoarelor alcătuiesc progresii geometrice, iar clasele de toleranță corespund seriei de valori din tabelul următor:

Seria	E ₆	E ₁₂	E ₂₄	E ₄₈	E ₉₆	E ₁₉₂
Toleranța	±20%	±10%	±5%	±2,5%	±1,25%	±0,6%

Tabel 2.3

Puterea de disipație nominală, P_d , (exprimată în wați) și **tensiunea nominală, U_n** , reprezintă puterea electrică maximă și respectiv tensiunea electrică maximă ce se pot aplica rezistorului în regim de funcționare îndelungată fără a-i modifica caracteristicile.

Uzual, pentru a-i asigura rezistorului o funcționare cât mai îndelungată, puterea disipată de rezistor în circuit este bine să fie mai mică decât $0,5P_n$. Puterile uzuale standardizate ale rezistoarelor sunt:

$$0,05; 0,10; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 12; 16; 25; 40; 50; 100 \text{ W.}$$

Pentru o tensiune nominală, U_n , dată și o putere disipată maximă impusă, P_d , există în seriile de valori nominalizate o singură valoare numită rezistență critică, R_{nc} , care poate fi utilizată simultan la cei doi parametri nominali.

Intervalul temperaturilor de lucru reprezintă intervalul de temperatură în limitele căruia se asigură funcționarea de lungă durată a rezistorului. Influența temperaturii asupra rezistenței rezistorului este pusă în evidență de coeficientul termic al rezistenței, definit astfel:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} \left[\frac{1}{K} \right] \text{ sau } \alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \left[\frac{1}{K} \right] \quad (2.6)$$

Coeficientul de variație al rezistenței la acțiunea unor factori externi cum ar fi: depozitarea, umiditatea, îmbătrânirea, etc. este dat de relația:

$$K_R = \frac{R_2 - R_1}{R} 100 [\%] \quad (2.7)$$

Tensiunea electromotoare de zgomot reprezintă valoare eficace a tensiunii electromotoare care apare la bornele rezistorului în mod aleatoriu și care se datorează mișcării haotice și mișcării termice a electronilor precum și trecerii curentului prin rezistor; este exprimată în microvolți.

Precizia rezistoarelor. În funcție de performanțe (toleranță, tensiune de zgomot, valori maxime admisibile ale coeficienților de variația) rezistoarele se împart în clase de precizie. Denumirea clasei de precizie: 0,5; 2,5; 7; 15, este dată, de obicei, de coeficientul de variație la îmbătrânire după 5000 de ore de funcționare la sarcina nominală.

Marcarea rezistoarelor

Rezistorul este marcat în clar sau codificat (prin inele, benzi, puncte) sau prin simboluri alfanumerice codificate internațional; indiferent de modalitatea adoptată, în mod obligatoriu se înscrie pe orice tip de rezistor:

- rezistența nominală cu unitatea ei de măsură în clar, în cod literar sau codul culorilor
- toleranța valorii nominale în clar (în %), în cod literar sau codul culorilor.

Pentru unele tipuri de rezistoare se înscriu în mod obligatoriu următoarele mărimi:

- puterea disipată nominală în clar, în cazul rezistoarelor de putere; pentru rezistoarele peliculare puterea nu se marchează, ci se cunoaște după dimensiunile rezistorului.

Alte marcaje pentru rezistoare:

- coeficientul de temperatură (numai la rezistoarele cu peliculă metalică sau din oxizi metalici), în cod literar sau de culori;
- tensiunea nominală limită la rezistoarele pentru înaltă tensiune, în clar sau cod literar

Marcarea în codul culorilor

Culoare	Prima cifră	A doua cifră	Coeficient de multiplicare	Toleranță
Argintiu			10^{-2}	$\pm 10\%$
Auriu			10^{-1}	$\pm 5\%$
Negru		0	1	
Maro	1	1	10	$\pm 1\%$
Roșu	2	2	10^2	$\pm 2\%$
Portocaliu	3	3	10^3	
Galben	4	4	10^4	
Verde	5	5	10^5	
Albastru	6	6	10^6	
Violet	7	7	10^7	
Gri	8	8	10^8	
Alb	9	9	10^9	
Nici o culoare				$\pm 20\%$

Marcarea în codul literar

Factor de multiplicare	1	10^3	10^6	10^9	10^{12}
Litera	R	K	M	G	T

Toleranța (%)	0,1	0,25	0,5	1	2	5	10	20	30
Litera	B	C	D	F	G	J	K	M	N

2 Lucrarea practică

2.1 Aparate necesare

- 2 multimetre analogice sau numerice
- sursă dublă de alimentare
- cuptor termostatat
- termometru

2.2 Determinări experimentale

1. Identificarea rezistențelor după diversele marcaje cu care sunt înscrise.
2. Determinarea rezistenței reale și calcularea toleranței acesteia, determinarea seriei din care face parte.
3. Determinarea coeficientul de variație cu temperatura.