

Pregled i primjena materijala za otpornike

Vomš, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:106319>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

Pregled i primjena materijala za otpornike

Završni rad

Stjepan Vomš

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 15.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Stjepan Vomš
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4600, 24.07.2018.
OIB studenta:	83735057831
Mentor:	Doc. dr. sc. Goran Rozing
Sumentor:	Dalibor Buljić
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Pregled i primjena materijala za otpornike
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	15.09.2021.
Datum potvrde ocjene Odbora:	22.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 24.09.2021.

Ime i prezime studenta:

Stjepan Vomš

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4600, 24.07.2018.

Turnitin podudaranje [%]:

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pregled i primjena materijala za otpornike**

izrađen pod vodstvom mentora Doc. dr. sc. Goran Rozing

i sumentora Dalibor Buljić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD.....	6
1.1. Zadatak završnog rada	6
2. PREGLED PODRUČJA RADA TEME	7
3. OTPORNICI.....	9
3.1. Općenito o otpornicima	9
3.1.1. Ohmov zakon.....	9
3.1.2. Karakteristične veličine otpornika	10
3.2. Podjela otpornika.....	14
3.2.1. Otpornici stalne otpornosti	15
3.2.2. Otpornici promjenjive vrijednosti	15
3.2.3. Otpornici s posebnim svojstvima (nelinearni otpornici).....	15
4. ZAHTJEVI NA MATERIJALE ZA IZRADU OTPORNIKA	16
4.1. Materijali za žičane otpornike.....	16
4.1.1. Materijali za opće (regulacijske otpornike).....	16
4.1.2. Materijale za precizne žičane otpornike.....	18
4.1.3. Materijali za žarne (elektrotermijske) otpornike.....	20
4.1.4. Otporni štapovi (nemetalni otpornici)	22
4.2. Materijali za nežičane otpornike.....	23
5. PODJELA OTPORNIČNIH MATERIJALA.....	25
5.1. Materijali za nepromjenjive otpornike.....	25
5.1.1. Maseni otpornici.....	25
5.1.2. Ugljenoslojni otpornici.....	26
5.1.3. Film otpornici (SMD komponente).....	27
5.1.4. Metal-film otpornici	28
5.1.5. Folijski otpornici	29

5.1.6. Žičani otpornici	30
5.2. Materijali za promjenjive otpornike.....	31
5.2.1. Potencijometar.....	32
5.3. Materijali za otpornike sa posebnim svojstvima	34
5.3.1. Otpornici ovisni o temperaturi	34
5.3.2. Otpornici ovisni o svjetlu	36
5.3.3. Otpornici ovisni o naponu.....	37
5.3.4. Otpornici ovisni o magnetskom polju.....	39
ZAKLJUČAK	40
LITERATURA	41
SAŽETAK	42
ABSTRACT.....	43

1. UVOD

Otpornik je jedan od glavnih dijelova većine elektroničkih i električnih sklopova koji služi za ograničavanje jakosti struje u strujnom krugu. Karakteristične veličine otpornika su: temperaturni koeficijent otpora, šum otpornika, naponski koeficijent otpora, frekvencijska ovisnost, nazivna snaga otpornika, tolerancija otpora i dugoročna stabilnost (detaljnije objašnjeno u nastavku rada). Otpornici se dijele na otpornike stalne i otpornike promjenjive otpornosti. Otpornici stalne otpornosti dijele se na slojne, masene i žičane otpornike, a u otpornike promjenjive otpornosti ubrajamo potencijometar, trimer, reostat i digitalni potencijometar. Postoje i otpornici s posebnim svojstvima u koje se ubrajaju otpornici ovisni o temperaturi, svjetlu, naponu i magnetskom polju.

Elektrotehnički materijali služe za izradu elektrotehničkih proizvoda. Dijelev se na materijale za električne vodiče, za magnetske krugove, za električne izolatore, za poluvodiče i za otpornike. Svojstva materijala su: opća fizikalna, električna, magnetska, mehanička, toplinska i kemijska. Materijali se ispituju radi utvrđivanja svojstava.

Materijali za električne otpornike dijele se na materijale za žičane i nežičane otpornike. Prema namjeni žičani otpornici dijeli se na opće (regulacijske), precizne i žarne (grijaće) otpornike. Nežičani otpornici izrađuju se na bazi nemetala.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je objasniti: vrste otpornika, funkciju otpornika, uvjete rada, primjene, specifičnosti, načine izrade i prikazati važnije materijale za samu izradu otpornika. Pokazati utjecaj materijala i načine izrade na ponašanje otpornika u određenim uvjetima i za određene namjene.

2. PREGLED PODRUČJA RADA TEME

U literaturi [2,3] objašnjeni su sastavni dijelovi elektroničkih uređaja. Prikazana je podjela otpornika i njihova primjena. U literaturi [3] opisan je nastanak vrste i utjecaj šuma na električni krug.

U literaturi [1,4] prikazani su svi materijali koji se koriste u elektroničkim uređajima; materijali za vodiče, izolatore, poluvodičke komponente te magnetski materijali. U suštini opisani su svi materijali vezani za elektrotehniku.

U literaturi [5] prikazani su svi materijali koji se koriste u elektrotehnici; materijali za električne vodiče, materijali za poluvodiče, materijali za električne izolatore i materijali za magnetske krugove. Prikaza su svojstva samih materijala, ispitivanja materijala i njihova primjena.

U literaturi [6] prikazani su i objašnjeni temperaturno ovisni otpornici, temeljni električni zakoni za objašnjenje njihovog rada i njihova primjena. Spomenute su uloge njemačkih fizičara: Gustava Kirchhoffa i Georga Simona Ohma.

U literaturi [7] prikazani su i objašnjeni elektronički elementi od kojih se tiskana pločica sastoji. Objašnjena je tiskana pločica za regulaciju rasvjete, funkcija sklopa uključivanja (prilikom zamračenja) i isključenja rasvjete (svitanje zore). Senzori odnosno svjetlosno ovisni otpornici mijenjaju (povećavaju ili smanjuju) vrijednost otpora u ovisnosti o prirodnom svjetlu. Primjena samih otpornika ovisnih o svjetlosti.

U literaturi [8] prikazani su i objašnjeni utjecaji elektroničnih elemenata na ponašanje elektroničkog kruga. Objašnjeni su utjecaji: otpornika, kondenzatora, dioda i tranzistora. Prikazane su karakteristike svakog elementa. Prikazana je izrada elektroničkog kruga pomoću računala i izrada tiskane pločice.

U literaturi [9] prikazani su izvori napajanja električnog kruga, vrste i označavanje otpornika, karakteristike kondenzatora i zavojnice. Prikazani i objašnjeni serijski RC, RL, RLC spojevi na izmjenični ili istosmjerni napon.

U literaturi [10] ukratko su prikazani svi otpornici sa svojim karakteristikama, objašnjena je primjena svakog pojedinačnog otpornika.

U literaturi [11] objašnjena su ponašanja varistora, njihova ugradnja, konstrukcija ZnO odvodnika prednapona, osobine ZnO, zaštita visokonaponskih postrojenja ZnO varistorima i sama zaštita distributivnim mreža ZnO varistorima.

3. OTPORNICI

Otpornik je pasivna elektronička komponenta strujnog kruga, sa dva ulaza pri kojem je odnos jakosti napona i struje okarakteriziran Ohmovim zakonom. Laički objašnjeno, električna struja je gibanje (protok) elektrona sa jedne strane vodljivog materijala (žice) na drugu stranu, te količina elektrona koja proteče vodom u određenom vremenu određuje jakost struje. Svrha otpornika je odupiranje protjecanju električne struje kroz njih, samim ograničavanjem struje (ovisno o namjeni) električni otpornik može utjecati na samo ponašanje strujnog kruga. Otpornici su sastavni dijelovi gotovo svih elektrotehničkih sklopova, pružaju otpor protjecanju električne struje, apsorbiraju dio električne energije koje pretvaraju u toplinu, imaju vrlo široku primjenu kao što je: stvaranje željenog strujno-naponskog odnosa, smanjenje napona, ograničenje struje, preuzimanje određene snage na sebe i još mnogo drugih.

3.1. Općenito o otpornicima

3.1.1. Ohmov zakon

Ohmov zakon, najpoznatiji, najznačajniji te temeljni zakon elektrotehnike, je vrlo jednostavan zakon koji opisuje odnos jakosti električne struje, napona i otpora u strujnom krugu. Dokazano je da jakost struje **I** u strujnom krugu proporcionalna naponu **U** odnosno obrnuto proporcionalna otporu **R** to jest eksperimentalno je dokazano da će jakost struje kroz vodič biti veća što je veći napon tog vodiča (napon između krajeva vodiča) i što je manji otpor vodiča odnosno strujnog kruga u koji je vodič uključen. Matematička jednadžba (2-1) koja prikazuje tu zakonitost:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2-1)$$

gdje **U** predstavlja napon (V), **R** predstavlja vrijednost otpora (Ω), **I** predstavlja struju (A)

Jednadžba je dobila ime po Georgu Ohmu (slika 2.1.). Objavio je svoja otkrića 1827.godine koja čine osnovu formule koja se danas koristi. Izveo je veliki niz eksperimenata koji su pokazali odnos primijenjenog napona i struje kroz vodič. Zakon je stoga empirijski. Iako je Ohmov zakon jedan od osnova elektrotehnike, u vrijeme objave primljen je s kritikama. Ohm je prihvaćen kao službena SI jedinica za električni otpor.



Slika 2.1. Georg Simon Ohm

Ohmov zakon vrijedi za metale i otopine koje provode elektricitet. Takvi se vodiči zovu omski vodiči. Za neke materijale poput poluvodičke diode Ohmov zakon ne vrijedi, te se takvi vodiči zovu ne omski.

3.1.2. Karakteristične veličine otpornika

Električna svojstva. Električna svojstva su svojstva koja opisuju i karakteriziraju materijale za izradu vodiča, kontakata, otpornika, odnosno materijala koji se koriste u elektrotehničkim proizvodima. Električna svojstva su: električna otpornost, električna provodnost, temperaturni koeficijent otpora.

Električna otpornost (ρ) predstavlja električno svojstvo materijala te se iskazuje pri prolasku električne struje. Izračunava se prema izrazu (2-2):

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (2-2)$$

gdje je l duljina (m), S presjek vodiča (m^2), R vrijednost otpora (Ω).

$\Omega m^2/m$ odnosno Ωm je mjerna jedinica za električnu otpornost. Električna otpornost ovisi o čistoći materijala, stoga čisti metali imaju najmanji otpor. Bilo kakvom hladnom obradom metala povećava se njegova električna otpornost. Vodiči imaju električnu otpornost manju od $10 \Omega mm^2/m$, poluvodiči od 10 do $10^{12} \Omega mm^2/m$, a izolatori veću od $10^{12} \Omega mm^2/m$.

Električna provodnost (γ) je recipročna vrijednost električne otpornosti odnosno to je koeficijent razmjernosti između električne vodljivosti i mjere vodiča. Izračunava se prema izrazu (2-3):

$$\gamma = \frac{1 \cdot l}{RS} \quad (2-3)$$

gdje je l duljina (m), S presjek vodiča (m^2), R vrijednost otpora (Ω).

S/m ili S/mm^2 je jedinica za električnu provodnost. Električnu provodnost najčešće upotrebljavamo kod materijala za vodiče, a električnu otpornost kod materijala za otpornike

Temperaturni koeficijent otpora ili TCR prikazuje ovisnost otpora otpornika o temperaturi i jedan je od najvažnijih parametara koji definira rad otpornika. Izražava se u $ppm/^\circ C$ (ppm/K) ili

$\% /^\circ C$. Ppm (eng. Parts per Million) je bezdimenzionalna veličina koja označava milijuntinku, tj. $1/10^6 = 10^{-6}$. Označava se velikim slovima TCR ili α .

TCR se izračunava prema izrazu: $TCR = \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \right) \cdot 10^6$. (2-4)

gdje R_2 predstavlja vrijednost otpora (Ω) na radnoj temperaturi T_2 (K ili $^\circ C$) a R_1 vrijednost otpora (Ω) na sobnoj temperaturi T_1 (K ili $^\circ C$).

Otpornici mogu imati negativni, stabilni ili pozitivni TCR.

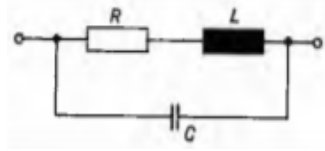
Šum otpornika. Šum je nepoželjna pojava za otpornike, jer šum unosi smetnje u električnom krugu (ograničava kvalitetu i moć prijenosa signala ili informacije). Izražava se u $\mu V/V$, to jest omjerom napona šuma u μV što ga određeni otpornik proizvodi (prilikom narinutog napona) i narinutog napona u V . Svaki otpornik predstavlja izvor električnog šuma, električni šum može biti uzrokovan protokom struje kroz nehomogeni materijal (strujni šum), termičkom vibracijom elektrona (termički šum). Termički šum je prisutan kod otpornika zbog nepravilnog toplinskog gibanja elektrona i ovisan je o temperaturi. Povećanjem temperature elektroni se unutar otpornika sve brže kreću te vibracije elektrona uzrokuju nestabilni signal. Termički šum se još naziva i Johnsonov šum. Termički šum je proporcionalan temperaturi i vrijednosti otpora.

Naponski koeficijent otpora ili VCR (Voltage Coefficient of Resistance, eng.) prikazuje ovisnost otpora otpornika o narinutom naponu odnosno relativna promjena otpora po jedinici napona. Izražava se u ppm/V ili $\%/V$.

VCR se izračunava prema izrazu: $VCR = \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1(V_2 - V_1)} \right) \cdot 10^6$ (2-5)

gdje R_2 predstavlja vrijednost otpora (Ω) pri naponu V_2 (U), a R_1 vrijednost otpora (Ω) pri naponu V_1 (U).

Frekvencijska ovisnost otpornika. Za ovisnost otpornika o frekvenciji zaslužni su kapacitivnost i induktivnost. Otpornik ima određeni parazitski stupanj kapacitivnosti i induktivnosti. Pri niskim frekvencijama utjecaj parazitske induktivnosti i kapacitivnosti je zanemariv, dok pri višim frekvencijama ima utjecaj na vrijednost otpora. Slika 2.2. prikazuje otpornik prikazan pomoću parazitskih elemenata.



Slika 2.2. Prikaz sheme otpornika pomoću parazitskih elemenata

Impedancija takvog otpornika može se izraziti pomoću efektivnog otpora R' i efektivnog induktiviteta L' . Uz pretpostavku da su L i C relativno mali, utjecaj parazitskih veličina može se prikazati prema izrazima (2-6) i (2-7).

$$R' \sim R(1 - \omega^2 C(2L - CR^2)), L' = L - CR^2 \quad (2-6)$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L'}{R} = \frac{\omega(L - CR^2)}{R} \quad (2-7)$$

Kako bi ovisnost otpora o frekvenciji bila što manja fazni kut φ treba biti što manji. To je ostvarivo ako je razlika $\frac{L}{R} - CR$ što manja, odnosno da su iznosi $\frac{L}{R}$ i CR približno jednaki. Što se može postići pogodnom konstrukcijom. Pri istosmjernoj struji R' jednak R ako je $C=0$ ili $2L-CR^2 = 0$.

Induktivnost otpornika pojačava se djelovanjem zavojnice iz namota i urezivanjem spiralnih uzoraka na materijalu (radi povećanja otpora).

Ovisnost otpornika o frekvenciji smanjuje se ako su otpornici manje veličine, manje vrijednosti otpora, konstrukcija tankog filma, geometrijska ujednačenost.

Nazivna snaga otpornika predstavlja najveću dopuštenu snagu koju otpornik može podnijeti bez ikakvih oštećenja. Pri prolasku struje kroz otpornik, električna energija se pretvara u toplinu te dolazi do zagrijavanja otpornika. Nazivna snaga definira koliko otpornik može disipirati snage bez oštećenja. Ukoliko se prekorači definirana snaga dolazi do pretjeranog zagrijavanja, a time i do oštećenja samog otpornika. Snaga otpornika izražava se u W , a izračunava se umnoškom struje kroz otpor i padom napona na otporu prema izrazu (2-8).

$$P = I \cdot V \quad (2-8)$$

gdje I predstavlja struju kroz otpor (A), V predstavlja pad napona na otporu (U).

Tolerancija otpornika se navodi i definiraju sam proizvođač te označava odstupanje stvarne vrijednosti otpora od nominalne vrijednosti. Tolerancija predstavlja točnost otpornika, što je tolerancija manja otpornik ima veću točnost.

Dugoročna stabilnost. Vrijednost otpora dugoročno se mijenja zbog toplinskih, električnih i mehaničkih opterećenja. Definirano je nekoliko klasa stabilnosti odnosno norme određuju testove za definiranje klasa stabilnosti. Kratkoročni testovi uključuju izloženost preopterećenju, brzim temperaturnim skokovima i vibracijama. Dugotrajna ispitivanja uključuju dugotrajno izlaganje otpornika visokim temperaturama i prodiranju vlage.

Označavanje otpornika. Otpornici se označavaju ispisivanjem nominalne vrijednosti otpora u Ω (omima) ili nanošenjem prstenova u boji na tijelo otpornika. Označavanje vrijednosti otpora pomoću prstenova u boji je standardiziran oblik određivanja vrijednosti. Broj prstenova može biti 3-6, najčešći oblik je od četiri prstena. Osim što se određuje vrijednost otpora, određuje se i tolerancija i TCR (za slučaj sa šest prstenova). Svaka boja predstavlja određenu numeričku vrijednost, numeričke vrijednosti boja su dane u tablicama koje su standardizirane i jedinstvene. Za slučaj četiri prstena, prva dva broja određuju vrijednost otpora, treća traka označava multiplikator broja 10 (množitelj) i četvrti prsten označava toleranciju u postocima. Prikaz standardizirane tablice na slici 2.3.

Colour	1 st Band	2 nd Band	3 rd Band (multiplier)	4 th Band (tolerance)
Black	0	0	$\times 10^0$	
Brown	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Orange	3	3	$\times 10^3$	
Yellow	4	4	$\times 10^4$	
Green	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Blue	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
Violet	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
Grey	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
White	9	9	$\times 10^9$	
Gold			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Silver			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
None				$\pm 20\%$

Slika 2.3. Tablica za određivanje vrijednosti otpora (slučaj sa 4 prstena)

SMD (eng. Surface Mount Device) otpornici tehnologije površinskog montiranja nemaju klasično označavanje vrijednosti otpora pomoću prstena u boji, jer na manjim otpornicima nema mjesta za ispis koda u bojama. Unatoč tomu izmišljena su tri nova kodna sustava, dva definirana standardnom IEC 60062: 2016, troznamenasti sustav i četveroziemenasti, a treći sustav je sustav numeriranja nazvan „EIA-96“.

Troznamenasti sustav je sustav u kojem prva dva broja definiraju vrijednost otpora dok treća znamenka je multiplikator potencije na bazu 10 odnosno potencija broja 10 koju množimo sa prva dva broja.



Slika 2.4. SMD otpornici

Oznaka sa slike (2.4), $222 = 22 \cdot 10^2 = 2200\Omega$

Za SMD otpore vrijednosti manje od $10\ \Omega$ slovo „R“ označava odnosno definira položaj decimalne točke. Primjer $8R4 = 8,4\Omega$

Kod četveroziemenkastog sustava označavanja prva tri broja definiraju vrijednost otpora dok četvrta znamenka je multiplikator potencije na bazu 10.

EIA-96 sustav je najmlađi sustav označavanja za otpornike koji imaju toleranciju od 1%, sastoji se od dva broja i slova. Prva dva broja označavaju prvu vrijednost koju moramo množiti s multiplikatorom (dva broja moramo pronaći u tablici kako bi dobili njihovu vrijednost).

3.2. Podjela otpornika

Otpornici s obzirom na promjenjivost vrijednosti otpora dijele se na otpornike stalne otpornosti, otpornike promjenjive otpornosti i na otpornike sa posebnim svojstvima (nelinearni otpornici). Također se mogu podijeliti s obzirom sa stanovišta snage i veličine otpora na žičane i nežičane.

3.2.1. Otpornici stalne otpornosti

Kao što naziv govori, stalni ili fiksni otpornici su otpornici koji imaju određenu, nepromjenjivu vrijednost otpora koju je proizvođač dao. Služe vrlo često kao sastavni dijelovi u elektroničkim sklopovima te se nalaze u sklopovima gdje otporu nije potrebno mijenjati vrijednost ni prilikom podešavanja uređaja, ispitivanja uređaja niti u normalnom radu. Pod otpornike stalne otpornosti ubrajaju se: maseni otpornici, slojni otpornici i žičani otpornici.

3.2.2. Otpornici promjenjive vrijednosti

Promjenjivi ili varijabilni otpornici su otpornici kod kojih se vrijednost otpora mijenja mehaničkim putem. Zakretanjem osovine (kod okretajnih) ili pomicanjem klizača (kod kliznih).

Promjenjivi otpornici se sastoje od tri priključnice, dvije su spojene na svaki kraj otpornog elementa, a treća je spojena na klizač te se samim pomicanjem klizača mijenja vrijednost otpora odnosno otpor između klizača i dvije priključnice. Pod promjenjive otpornike ubrajaju se; potenciometar, trimer, reostat i digitalni potenciometar.

3.2.3. Otpornici s posebnim svojstvima (nelinearni otpornici)

Nelinearni otpornici su otpornici kod kojih se promjena same vrijednosti otpora ne mijenja mehaničkim putem (kružnom rotacijom klizača ili klizanjem po osovini) kao kod promjenjivih otpornika. Na promjenu vrijednosti otpora utječu vanjska djelovanja (temperatura, svjetlost, napon, magnetsko polje). S obzirom na vanjsku pobudu (djelovanje), nelinearni otpornici dijele se na: temperaturno ovisne otpornike (s pozitivnim ili negativnim temperaturnim koeficijentom), otpornike ovisne o svjetlu, otpornike ovisne o naponu i otpornike ovisne o magnetskom polju.

4. ZAHTJEVI NA MATERIJALE ZA IZRADU OTPORNIKA

Materijali za izradu električnih otpornika u elektrotehnici podrazumijevaju materijale (otporne legure) sa specifičnim električnim otporom između 0,2 i 1,5 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Električni otpornici spadaju u skupinu vodljivih elemenata, razlika u odnosu na vodiče je da se traži veća električna otpornost.

Dimenzioniranje otpornika određuje se prema iznosu dozvoljene struje (da se ne postigne prekoračenje granične temperature), iznosu potrebnog električnog otpora i visini napona.

Materijale za izradu otpornika možemo podijeliti na materijale za žičane otpornike (uglavnom metali i legure) i materijale za nežičane otpornike (uglavnom poluvodički materijali i tanki slojevi).

4.1. Materijali za žičane otpornike

Žičani otpornici mogu biti izrađeni u obliku trake, žice ili šipke. Velikih su dimenzija te se izrađuju za snage od nekoliko W do nekoliko kW. Iznos otpora je ograničen ($< 100 \text{ k}\Omega$).

Osnovni zahtjevi na materijale za žičane otpornike su:

- veliki specifični električni otpor ($\rho=0,2-1,5 \text{ }\Omega\text{m}$) te se stoga koriste legure.
- mali temperaturni koeficijent otpora (zbog stabilnosti preciznosti otpora)
- otpornost prema kemijskim utjecajima (kemijska postojanost pri radnoj temp.)
- otpornost na oksidaciju
- mala termo-elektromotorna sila (TEMS) prema bakru
- odgovarajuća tehnološka i mehanička svojstva
- postojanost na starenje
- mali temperaturni koeficijent istezanja

Prema namjeni žičani otpornici dijele se u opće (regulacijske), precizne i žarni (grijači otpornici).

4.1.1. Materijali za opće (regulacijske otpornike)

Primjenjuju se u regulacijskim strujnim krugovima (djelitelji napona) te imaju široku primjenu.

Dodatni zahtjevi na materijale za izradu općih otpornika su jeftini materijal (nije potrebna visoka preciznost) i lako lemljenje.

Materijali koji se koriste za izradu općih otpornika su legure na bazi nikla ili željeza (velike snage, radne temperature veće od 400°C) i legure na bazi bakra (konstantan; radne temperature do 400°C).

Konstantan (slika 3.1.) je najpoznatija legura na bazi bakra, to je legura bakra i nikla (55% Cu i 45% Ni). Jedini nedostatak konstantana je velika elektromotorna sila prema bakru (što nije dozvoljeno za precizne otpornike) dok ostale zahtjeve ispunjava. Pogonska temperatura mu je oko 350°C. Povećanjem temperature iznad 400°C konstantan sve brže oksidira, do temperature 400°C tanki sloj oksida na površini žica je koristan. Tanki sloj oksida djeluje kao izolator i omogućava gusto namatanje pritom da radni napon ne prelazi 1V po zavoju. Stoga se žice konstantana umjetno oksidiraju kratkotrajnim izlaganjem na zraku pri temperaturi od 900°C.



Slika 3.1. Prikaz žice izrađene od konstantana

Svojstva konstantana:

- specifični električni otpor ρ iznosi 0,49- 0,52 $\Omega mm^2/m$
- temperaturni koeficijent otpora α iznosi $2 - 4 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
- gustoća $\rho = 8,9 \cdot 10^3 kg/m^3$
- talište 1221°C - 1300°C
- specifični toplinski kapacitet $c = 0,39 J/(g \cdot K)$
- toplinska vodljivost pri 23°C $\lambda = 0,39 W/(m \cdot K)$
- linearni koeficijent toplinskog širenja $\alpha = 14,9 \cdot 10^{-6} K^{-1}$
- vlačna čvrstoća $\sigma_M = 400 - 490 MPa$
- produljenje pri lomu $< 45\%$
- modul elastičnosti $E = 162 GPa$
- EMS prema bakru $EMS = 43 \mu V/K$
- dobra obradivost (izvlačenje u tanke žice)
- zadovoljavajuća toplinska postojanost

Ostale legure koje se koriste u izradi općih (regulacijskih) otpornika imaju slična svojstva kao i konstantan. To su legure sastava iz skupine „novog srebra“, odnosno predstavljaju legure

koje se sastoje od 54-56% Cu, 17-26% Ni, 20-23% Zn. Pridjeljenja su im razna imena, npr. argentan (50% Cu, 40% Zn, 10% Ni), nikelin, novo srebro (62% Cu, 22% Zn, Ni, Fe i Mn), rezistin. Svaki element legure pospješuje svojstva same legure, tako bakar pridonosi gnječivosti, nikal poboljšava otpornost na koroziju i žilavost, cink pridonosi bolju sposobnost lijevanja, radne temperature su im 300-600°C pa su postojani (ne stradaju) pri kratkim preopterećenjima. Elektro-tehnička svojstva su im slabija u odnosu na konstantan, specifični električni otpor im je u granicama 0,3-0,4 $\Omega mm^2/m$, a temperaturni koeficijent otpora α iznosi oko $0,3 \cdot 10^{-4} K^{-1}$.

Glavni legirajući sastojak legura sastava iz skupine „novog srebra“ je mangan i kositar, najvažnije svojstvo ovih legura je negativni temperaturni koeficijent električnog otpora (upotrebljava se za kompenzaciju djelovanja temperature na otpornike regulacijskih i mjernih instrumenata). Legure iz sastava „novog srebra“ imaju povećanu otpornost prema korozivskom djelovanju.

4.1.2. Materijale za precizne žičane otpornike

Precizni žičani otpornici ugrađuju se u mjerne instrumente, za izradu etalona, predotpornika, šantova, regulacijskih uređaja i sl. Radne temperature preciznih otpornika su 20-60°C i vrijednost električni otpor mora biti konstantna (nepromijenjena) tijekom dužeg vremenskog perioda.

Dodatni zahtjevi na materijale za izradu preciznih otpornika su: cijena same izrade nije bitna (uvjetno rečeno), što manji temperaturni koeficijent α , što manja EMS prema bakru i vremenska stabilnost.

Materijali koji se koriste za izradu preciznih otpornika su legure na bazi bakra (Cu/Ni/Mn/ ili Al). Glavni legirajući element je mangan, uz mangan se koriste u manjim količinama nikl ili aluminij, ili aluminij i željezo. Najpoznatija i najvažnija legura za izradu preciznih žičanih otpornika je manganin.

Manganin (slika 3.2) je legura bakra, mangana i nikla sa sastavom 86% Cu, 12% Mn, 12% Ni.



Slika 3.2. Prikaz žice izrađene od manganina

Svojstva manganina:

- maksimalna dopuštena radna temperatura 400°C
- specifični električni otpor $\rho = 0,43 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- temperaturni koeficijent otpora $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$
- EMS prema bakru $EMS = 1 \mu\text{V}/\text{K}$
- otpornost na starenje (dodatnom toplinskom obradom)
- osjetljivost na preopterećenja

Ostali materijali/legure koje se koriste u izradi preciznih otpornika imaju slična svojstva kao i manganin. To su izabelin, novokonstantan i therlo. Izabelin je legura sa sastavom 84% Cu, 13% Mn, 3% Al.

Svojstva izabelina:

- maksimalna dopuštena radna temperatura 400°C
- specifični električni otpor $\rho = 0,5 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- temperaturni koeficijent otpora $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$
- EMS prema bakru $EMS = 0,2 \mu\text{V}/\text{K}$

Novokonstantan je legura sastava 82,5% Cu, 13,5% Mn, 1% Fe, 3% Al, sličnih svojstava izabelina.

Therlo je legura sastava 85% Cu, 9,5% Mn, 5,5% Al, $\rho = 0,43 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

Predstavljene legure iznad 60°C gube definirana svojstva.

4.1.3. Materijali za žarne (elektrotermijske) otpornike

Žarni otpornici prvenstvo služe za pretvorbu električne energije u toplinsku energiju. Rade na visokim temperaturama (900-1250°C) stoga imaju posebne zahtjeve na materijale. Visoke radne temperature pospješuju ubrzanju kemijskih procesa na površini samih otpornika i unutarnje procese (unutar samog otpornika) pri čemu dolazi do promjene same strukture materijale od kojih su izgrađeni.

Dodatni zahtjevi na materijale za izradu žarnih otpornika:,

- Mali toplinski koeficijent istezanja
- Mali temperaturni koeficijent otpora
- Visoka toplinska postojanost
- Toplinska vodljivost
- Visoko talište
- Homogeni sastav
- Niska cijena

Najčešće se koriste legure na bazi nikla, kroma i željeza te legure na bazi kroma i željeza (metalni materijali). Radne temperature su im oko 1000°C, a električna otpornost oko 1 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. nikal i krom služe za čvrstoću i otpornost prema oksidaciji, a željezo pojeftinjuje materijal. Svi metali za izradu žarnih otpornika (osim platine-plemeniti metal) oksidiraju već pri niskim temperaturama. Otpornost metalnih materijala ovisi o svojstvima oksida koji nastaju na površini. Stoga je važno da su spojevi (oksidi na površini) dovoljno neisparivi i da je specifični volumen oksida približan specifičnom volumenu metala kako bi mogao nastati neprekinut sloj oksida (zaštitni sloj). Ne upotrebljavaju se metali čiji oksidi su hlapljivi (lako isparivi) i oksidi čiji je specifični volumen puno veći ili manji u odnosu na specifični volumen metala (od kojeg su nastali) jer se na površini elementa ne može održati zaštitni sloj. Zaštitni sloj sprječava dodir atmosfere (zraka) s površinom još neoksidiranog metala. Također vrlo bitan omjer koeficijenta toplinskog istezanja oksida i koeficijenta metala od kojeg je oksid nastao, omjer mora biti što manji kako zaštitni sloj (pri naglim promjenama temperature) ne bi pucao.

Kako se zaštitni uređaji (na koje se priključuju žarni otpornici) ne bi previše naprezali u početku rada (kada otpornici nisu dovoljno zagrijani te imaju manji otpor) od materijala se traži da specifični električni otpor ρ što manje mijenja s promjenom temperature.

Uz aluminij, nikel i krom stvaraju zadovoljavajuće okside, stoga su ti metali glavni sastojci legura za izradu žarnih otpornika.

Legure nikla i kroma (slika 3.3.):

- Bez željeza (80% Ni, 20% Cr) – služe za rad na najvišim temperaturama (pogonska temperatura 1100-1150°C), specifični električni otpor $\rho = 1,1 \Omega mm^2/m$ temperaturni koeficijent otpora je $6 \cdot 10^{-5}/K$. Trgovački nazivi: kromel, nikrom, kromin, cekas II
- Malo željeza (15 - 20% Fe, 60 - 65% Ni, 15 - 20% Cr) – jeftinije, niža pogonska temperatura (1000-1050°C), specifični električni otpor $\rho = 1,1 \Omega mm^2/m$; viši temperaturni koeficijent otpora ($8 \cdot 10^{-5}/K$). Trgovački nazivi: ferokromin, cekas, nikrom II
- Puno željeza (55% Fe, 20% Ni, 25% Cr), (87% Fe, 8% Cr, 5% Al)– još niža pogonska temperatura (950-1000°C), specifični električni otpor $\rho = 0,97 \Omega mm^2/m$ još viši temperaturni koeficijent otpora ($30 \cdot 10^{-5}/K$) te najniža cijena. Trgovački nazivi: CNE, cekas 0, cekas I



Slika 3.3. Žica od legure nikla i kroma

Odnosno, što je veći udio željeza smanjuje se pogonska temperatura, povećava temperaturni koeficijent otpora, a cijena je sve niža.

Legure kroma i željeza (jeftinije jer nema nikla, podložne koroziji zbog čega se nalaze u zaštitnoj atmosferi):

- Cr/Fe/Si – pogonska temperatura: 900-1000°C, specifični električni otpor $\rho = 0,75 - 0,81 \Omega mm^2/m$, temperaturni koeficijent otpora: $45 \cdot 10^{-5}/K$. Trgovački nazivi: megapir, cekas extra, kantal (slična legura kojoj je dodano 3% kobalta Co)
- Cr/Fe/Al – pogonska temperatura: 1300-1350°C, specifični električni otpor $\rho = 1,4 - 3 \Omega mm^2/m$, temperaturni koeficijent otpora: $3 \cdot 10^{-5}/K$. Trgovački nazivi: alukrom i kronifer. Dodavanjem aluminija legura je zaštićeniya od korozije.

U specijalnim slučajevima, kada radna temperature prelazi dopuštene granice temperature, upotrebljavaju se neki čisti metali s visokim talištem, ali zbog svog malog specifičnog električnog otpora ne ubrajaju se u otporne materijale. Niti jedan od njih se ne može koristiti u oksidirajućoj sredini osim platine. Kako bi se zaštitili od oksidirajuće sredine moraju se zaštititi u reducirajućoj atmosferi (atmosfera rasvjetnog plina ili vodika) ili vakuumom.

Specijalne legure: platina i rodijum, volfram i molibden

Platina se u rijetkim slučajevima koristi za izradu žičanih otpornika, odnosno gdje su uvjeti rada ekstremni (vrlo visoke temperature, u snažnoj oksidirajućoj atmosferi). Platina ima vrlo mali afinitet prema kisiku (vrlo mala oksidacija pri dodiru sa zrakom). Upotrebljava se legura platine i rodijuma, Pt+30% Rh, pogonska temperatura 1300°C; vrlo skupa legura.

Volfram i molibden je prvi materijal (legura) za izradu žarnih niti u žaruljama. Zbog neograničene oksidacije na zraku, koriste se u vakuumu (zaštićenoj atmosferi), pogonska temperatura 1700°C. Za sličnu namjenu ili svrhu koriste se još tantal Ta, i neki drugi metalni elementi kao niobijum Nb ili renijum Re.

4.1.4. Otporni štapovi (nemetalni otpornici)

- silicijev karbid: razmjerno mali specifični električni otpor pri visokim temperaturama, na visokim temperaturama poprima pozitivan temperaturni koeficijent, dok pri nižim temperatura poprima negativan temperaturni koeficijent otpora, pogonska temperatura 1400°C
- ugljen (antracit) i grafit: otpornost na kemijske utjecaje, pogonska temperatura 2000°C, negativan temperaturni koeficijent otpora
- noviji materijali iz skupine nemetalnih materijala: **molibden-silicid** (danas najupotrebljiviji materijal za izradu žarnih elemenata, radne temperature 1600°C), u izradi ovih elemenata koriste se i druge tvari (razna veziva, silicija i drugo), izrada uključuje

miješanje sastojaka s vezivom, pečenje, oblikovanje (prešanjem) i posrebrivanje krajeva. Nazivi nastalih materijala su slit, globar, kvarcilit, elektrografit. **Slit** je legura silicija, silicij-karbida i grafita. Specifični električni otpor $\rho = 1000 - 6000 \Omega mm^2/m$, temperaturni koeficijent otpora α do $900^\circ C$ je negativan, maks. radna temperatura $1450^\circ C$ (iznad toga oksidira). **Globar** je sličnog sastava; specifični električni otpor $\rho = 1000 - 2000 \Omega mm^2/m$, temperaturni koeficijent otpora α stalan je do $500^\circ C$, maks. radna temperatura $1500^\circ C$ (kratkotrajno može podnijeti i $1650^\circ C$). **Kvarcilit** sastoji se od silicijevog-karbida; specifični električni otpor $\rho = 1000 - 1500 \Omega mm^2/m$, maks. radna temperatura $1450^\circ C$, na zraku brzo oksidira, postojan prema djelovanju sumpornih spojeva, dušika, ugljika i vodika. **Elektrografit** nastaje žarenjem smjese (60% pijeska i 40% antracita samljevenog u prah) pri $2700^\circ C$. Specifični električni otpor $\rho = 6 - 12 \Omega mm^2/m$, temperaturni koeficijent otpora α do $500^\circ C$ je negativan, maks. radna temperatura $2500^\circ C$

4.2. Materijali za nežičane otpornike

Nežičani otpornici prave se na bazi nemetala, najčešće ugljika. Dijelevaju se na masivne i na slojne s debelim ili tankim otpornim slojem.

Masivni:

- Koloidalni: otporni materijal (silicijev karbid i ugljik) i organsko vezivo
- Keramički: otporni materijal (silicijev karbid i ugljik), anorganski materijal (keramika, staklo) i organsko vezivo. Imaju višu toplinsku postojanost.

Tehnologija izrada uključuje: oblikovanje, pečenje na $100-200^\circ C$ te paljenje pri $1000^\circ C$ (dolazi do izgaranja organske komponente), organsko vezivo služi kao tehnološko pomagalo.

Otpor ovisi o sastavu smjese (od kojih se izrađuje), naponu i starenju. Zbog vlastitog kapaciteta (parazitska kapacitivnost) nisu poželjni u visokofrekvencijskoj tehnici, robusni su i podnose preopterećenja.

Slojevni s debelim slojem ($>5\mu m$):

- Koloidalni: otporni materijal (ugljik) i organsko vezivo
- Keramički: otporni materijal (ugljik), anorganski materijal (keramika, staklo) i organsko vezivo. Imaju višu toplinsku postojanost.

Tehnologija izrade uključuje nanošenje smjesa svih navedenih sastojaka (paste) na podlogu od keramike ili stakla (tehnika debelog filma), pečenje na 100°C (polimerizacija organskog veziva), paljenje na oko 500-1000°C (u neutralnoj atmosferi pri čemu organska komponenta nestane). Paste se izrađuju na bazi platine, ugljika, paladija, talijevog oksida, rutenija.

Upotrebljavaju se u visokofrekvencijskoj tehnici, nisu podložni preopterećenjima. Povećanje otpora postiže se urezivanjem spirale u sami otporni sloj (otporni materijal), ali zbog pojave parazitske induktivnosti pri višim frekvencijama ne upotrebljavaju se u visokofrekvencijskoj tehnici.

Slojevni s tankim slojem (<5μm):

- Karbovidni na bazi ugljika, kristalični sjajni ugljen
- Keramički na bazi kroma i nikla, talijevi spojevi, kristalni ugljen

Tehnologija izrade uključuje nanošenje otpornog sloja tehnikom tankog filma. Tehnika tankog filma omogućuje gušće slaganje (pakiranje) vodljivih traka. Tehnika tankog filma uključuje: vakuumsko napanje, kemijsko obaranje i ionizaciju (ionsko rasprešenje). Tehnika tankog filma zahtjeva visoki vakuum te sama oprema za proizvodnju je vrlo skupa.

Slojni otpornici s tankim slojem vrlo su osjetljivi na preopterećenja.

5. PODJELA OTPORNIČNIH MATERIJALA

5.1. Materijali za nepromjenjive otpornike

5.1.1. Maseni otpornici

Otpornici se mogu izrađivati od raznih materijala, ali element ugljik (grafit i antracit) koristi se u konstrukciji otpornika više od jednog stoljeća. Ugljični otpornici mogu se naći u dva oblika: ugljično kompozitni otpornici (maseni) i ugljenoslojni (slojni). Ugljično kompozitni otpornici sadrže čvrsti ugljik (grafit) i glineni aditiv koji pomaže u trajnosti i bili su češće primjenjivi prije ranih 1970-ih. Danas su rjeđi zbog većih troškova i manje pouzdanosti u primjenama visoke vlažnosti. Ugljenoslojni otpornici postali su popularniji u potrošačkim uređajima od 1970-ih pa nadalje.

Ugljično kompozitni otpornici izgrađeni su od čvrstog cilindričnog otpornog elementa s ugrađenim žicama ili metalnim završnim kopcima. Cilindrični otporni element ugljično kompozitnog otpornika izrađen je od smjese ugljika i grafita u prahu i keramike (od gline). Cilindrični otporni element prekriven je plastikom kako bi zaštitio otpornik od vanjske topline. Na početku razvoja ugljičnog otpora nisu se koristili izolacijski materijali (plastika) te je toplina i pri niskoj temperaturi ulazila u otpornik i time ga je mogla oštetiti. Vrijednosti otpora su u rasponu od 1Ω do $22M\Omega$.

Otpor ugljičnog kompozita ovisi o količini dodanog ugljika, duljini cilindrične šipke te o površini presjeka te cilindrične šipke.

Otpor je obrnuto proporcionalan količini dodanog ugljika, ugljik je dobar vodič električne energije, odnosno ako se doda veća količina ugljika povećava se provodljivost otpornika odnosno smanjuje se vrijednost otpora te su time vrijednost otpora ugljičnog otpora i količina dodanog ugljika obrnuto proporcionalni.

Otpor je izravno proporcionalan duljini cilindrične šipke, jer dugačka cilindrična šipka pruža veći otpor u odnosu na kraću cilindričnu šipku, slobodni elektroni unutar duže cilindrične šipke moraju prijeći veliku udaljenost te prolaskom kroz šipku dolazi do većeg broja sudara elektrona sa atomima. Prilikom sudara elektroni gube svoju energiju u obliku topline, a preostali mali broj slobodnih elektrona nosi električnu struju. U slučaju kraće šipke pruža se manji otpor jer elektroni prolaze manju udaljenost.

Otpor je obrnuto proporcionalan površini presjeka cilindrične šipke. Cilindrična šipka s velikom površinom presjeka pruža veliki prostor za slobodno kretanje elektrona, stoga je mogućnost sudara

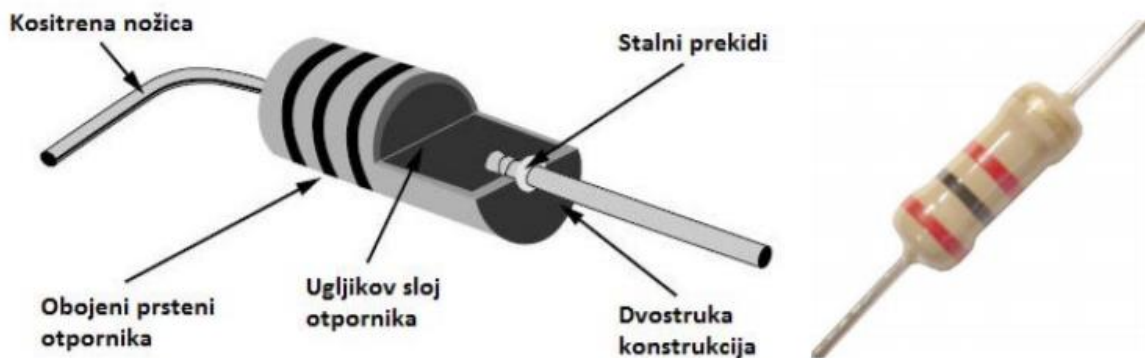
slobodnih elektrona s atomima mala. Dok cilindrična šipka s malom površinom presjeka pruža samo mali prostor za kretanje slobodnih elektrona te je time veća mogućnost sudara slobodnih elektrona.

Prednost ugljičnog otpornika je sposobnost izdržavanja pri impulsima visoke energije. Nedostaci ugljičnog otpornika su loša stabilnost, stvaranje buke, niska točnost.

Maseni otpornici se primjenjuju u elektroničkim uređajima gdje stabilnost nije primarnog značenja.

5.1.2. Ugljenoslojni otpornici

Ugljenoslojni otpornici (slika 4.1.) su izrađeni tako da je na cilindrično keramičko tijelo nanesen tanki sloj (10^{-2} - 10^{-6} mm) čistog ugljika koji funkcionira kao otporni materijal. Debljina nanesenog sloja ugljika ili narezivanje ugljikovog sloja u obliku spirale određuje željenu vrijednost otpora. Točnije vrijednosti otpora mogu se dobiti preciznim narezivanjem spirale. Vrijednost ovog tipa otpornika su do 10 M Ω , snage do 2W, a tolerancije su 2%, 5% i 10%. Vrijednost temperaturnog koeficijenta je blago negativna, upotrebljavaju se u sklopovima izloženim povišenim temperaturama i u visokonaponskim sklopovima. Izbjegava se korištenje ugljenoslojnih otpornika u audio tehnici zbog unosa šuma u signal.[5]



Slika 4.1. Presjek i prikaz ugljenoslojnog otpornika

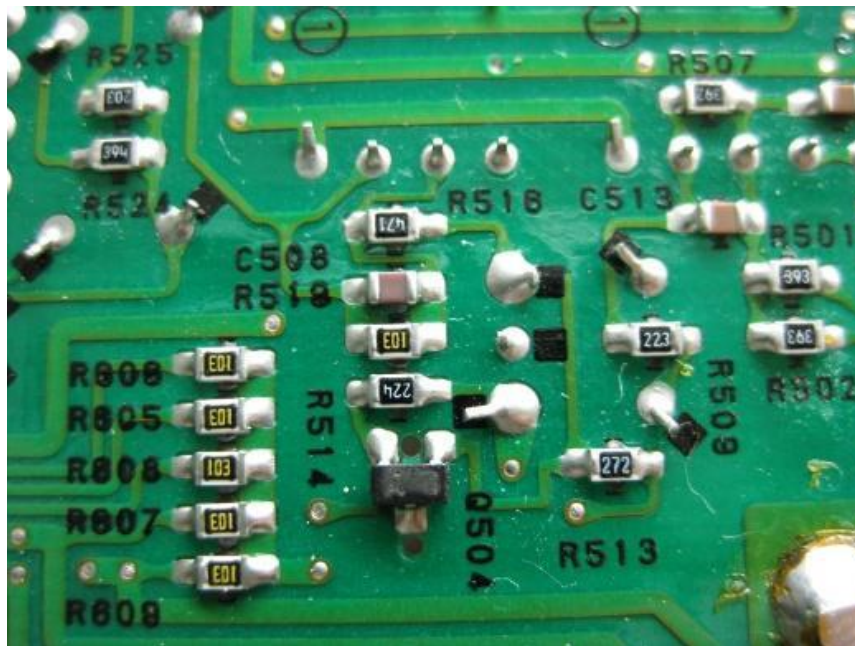
Ugljični film djeluje kao otporni materijal na električnu struju. Dakle, ugljični film blokira određenu količinu električne struje. Keramička podloga djeluje kao izolacijski materijal za toplinu ili električnu energiju. Keramička podloga ne propušta toplinu kroz njih, stoga ti otpornici mogu podnijeti visoke temperature bez ikakvih oštećenja. Otpornik od ugljičnog filma ima visoki negativni temperaturni koeficijent time se povećanjem temperature smanjuje vrijednost otpora. Otpor ugljenoslojnog otpornika ovisi o debljini ugljičnog filma i širini zavojnog reza ugljičnog

filma. Ovisnost o debljini ugljičnog filma je obrnuto proporcionalna vrijednosti otpora jer deblji sloj filma omogućuje i osigurava više prostora za slobodno kretanje elektrona i mogućnost sudara slobodnih elektrona s atomima mala. Ovisnost vrijednosti otpora je obrnuto proporcionalna širini spiralnog reza ugljikovog filma jer spiralni ugljični film izrezan velikom širinom pruža manji otpor struji jer struja mora proći manju udaljenost te je mogućnost sudara elektrona sa atomima manja. Spiralni ugljični film izrezan s manjom širinom pruža veći otpor električnoj struji jer električna struja mora proći veću udaljenost kroz otporni materijal.

Prednosti ugljenoslojnih otpornika: niska tolerancija, niska cijena, širok opseg rada. Jedini nedostatak je visoki negativni temperaturni koeficijent. Nalaze primjenu u uređajima od kojih se traži velika pouzdanost i stabilnost te u uređajima koji rade na visokim frekvencijama.

5.1.3. Film otpornici (SMD komponente)

Film otpornici su većinom izrađeni kao SMD komponente (slika 4.2.). SMD (eng. Surface Mount Device) komponente, u našem slučaju otpornici, je vrsta otpornika koji je dizajniran za površinsku ugradnju. SMD otpornici se direktno ugrađuju na tiskanu pločicu PCB (eng. Printed Circuit Board) pomoću tehnologije površinskog montiranja ili tehnologija površinske ugradnje SMT (eng. Surface Mount Technology). SMD otpornici su znatno manjih dimenzija i manje mase u odnosu na standardne otpornike. SMD otpornici se ugrađuju na tiskanu pločicu lemljenjem izvoda otpornika na lemno mjesto izrađeno na tiskanoj pločici



Slika 4.2. Prikaz ugrađenih film otpornika kao SMD komponente

Dvije su osnovne varijante film-otpornika: otpornici sa tankim filmom i otpornici sa debelim filmom. Razlika nije samo u debljini filma, nego i u samoj tehnologiji izrade. Otpornici sa tankim filmom najbliži su po karakteristikama metal-film otpornicima.

Tehnologija izrade: na keramičku bazu nanosi se sloj nikal-krom legure čija otpornost ovisi o debljini sloja, preciznim urezivanjem utora pomoću lasera dobiva se željena vrijednost otpora. Otpornici sa tankim filmom imaju malu toleranciju (između 0,1% i 2%), mali temperaturni koeficijent i nizak šum. Vrijednost otpora uobičajeno ne prelazi 20 MΩ. Koriste se u VF sklopovima i tamo gdje se traži niska tolerancija komponenata, kao npr. u mjernim uređajima [3].

Otpornici sa debelim filmom imaju nekoliko puta (čak i do 1000 puta) deblje filmove od otpornika s tankim filmom, te se daleko češće proizvode i nalaze primjenu u svim modernim uređajima.

Tehnologija izrade: na keramičku podlogu nanosi se otporni sloj koji se izrađuje od oksida iridija, rutenija ili renija, debljina otpornog sloja je reda veličine 100 mikrometara (što ih čini i do 1000 puta debljim od otpornika sa tankim slojem), željena vrijednost otpora dobiva se uzastopnim nanošenjem otpornog sloja [5]. Otpornici sa debelim filmom podnose veće snage te mogu imati veću vrijednost otpora (do 100 MΩ), ali samim time i veću toleranciju u odnosu na otpornike sa tankim filmom (1% - 5%)

5.1.4. Metal-film otpornici

Metal-film ili metalno-slojni otpornici su otpornici koji koriste tanki metalni sloj (film) za ograničavanje protoka električne struje. Tanki metalni sloj predstavlja otporni element koji se obično raspršuje (vakuumsko taloženje) na cilindričnoj keramičkoj jezgri visoke čistoće. Novonastali tanki film umjetno stari tako što se drži duže vrijeme na niskoj temperaturi što rezultira boljom preciznošću otpornika. Najčešća izvedba otpornog materijala je legura nikal-kroma (NiCr), ali za posebne primjene upotrebljavaju se i druge legure kositar i antimon, zlato s platinom, tantalov nitrid i druge.

Stabilnost i otpornost snažno ovise o debljini metalne folije (50-250 nm). Veća debljina sloja rezultira boljom stabilnošću i nižom vrijednosti otpora. Na oba kraja pritisnut je metalni poklopac s priključnim vodovima. Željeni otpor postiže se rezanjem utora u obliku spirale u tankom metalnom sloju. To obično rade laseri, dok su se u prošlosti koristile tehnike pjeskarenja i brušenja. Otpornik je prekriven s nekoliko slojeva premaza. Premaz štiti od vlage i mehaničkih naprezanja i po mogućnosti ima visoku dielektričnu čvrstoću. Vrijednost otpornika označena je trakama kodnih boja ili tekstem. Metal-film otpornici dostupni su s tolerancijama 0,1 0,25 0,5 1 i 2%. Tipične vrijednosti otpora su oko 20 MΩ. Vrlo su precizni (zbog veće stabilnosti otpornog sloja

omogućena je veća točnost izrade), tolerancija im je između 0,05% i 2%, no najčešće je 1%. Snaga im uobičajeno ne prelazi 2 W, dok u iznimnim situacijama mogu biti snage 10 W. U odnosu na ugljenoslojne otpornike mogu podnijeti veće temperature. Upotrebljavaju se u svim elektroničkim sklopovima, a moguće ih je prepoznati po plavoj boji tijela [5].



Slika 4.3. Metal-film otpornik (najčešće plave boje)

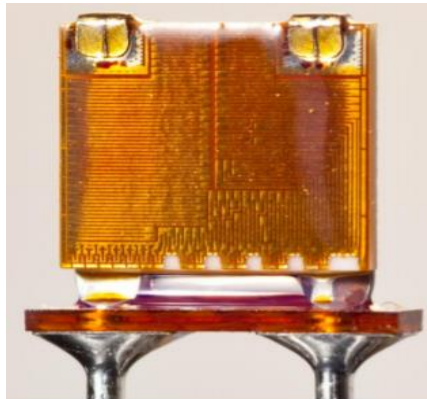
Metal-film otpornici (slika 4.3.) imaju dobre karakteristike za toleranciju, stabilnost i TCR. Nadalje, otpornici imaju niska svojstva buke i visoku linearnost zbog niskog koeficijenta napona. Stoga se u krugovima u kojima su važni uska tolerancija, koeficijent niske temperature i niska svojstva buke, često koriste otpornici od metalnog filma. Primjeri primjene su aktivni filtri ili mosni krugovi.

5.1.5. Folijski otpornici

Folijski otpornik (slika 4.4.) ima najbolju karakteristiku preciznosti i stabilnosti od svih vrsta otpornika. Folijski otpornik je izrađen od legure obično nikroma s aditivima. Postavlja se na keramički nosač visoke provodljivosti topline. Folijski otpornik ima debljinu od samo nekoliko mikrometara. Željena vrijednost otpora postiže se foto otisnutim otpornim uzorkom u foliji. Folijski otpornik ima niski temperaturni koeficijent otpora (TCR), dobru dugotrajnu stabilnost, nisku razinu buke, mali kapacitet, brzu toplinsku stabilizaciju i bez induktivnosti. Nizak TCR jedan je od najvažnijih parametara koji utječu na stabilnost. Što znači da će vrijednost otpora varirati samo u malim količinama kako se mijenja temperatura okoline i unutarnja temperatura otpornika. U rasponu od 0 do 60 ° C tipična vrijednost za TCR je oko 1 ppm/°C (parts per million), ovisi o konstrukciji (termo-mehanički učinci) i svojstvima folijskog materijala.

Vrlo bitne prednosti folijskih otpornika u odnosu na ostale otpornike su da folijski otpornici imaju najmanji šum, dužeg su vijeka od ostalih otpornika i imaju najveću preciznost (vrlo nisku toleranciju, svega 0,005%).

Tehnologija izrade: na keramički nosač nanosi se nekoliko mikrometara tanak film otporne legure, najčešće nikal-kroma s primjesama, u procesu izrade moguće je postići vrlo visoku preciznost, a zbog njihove dugovječnosti upotrebljavaju se u sklopovima gdje je potrebna visoka preciznost, stabilnost i dugovječnost (u elektroničkim vagama, audio tehnici, zrakoplovstvu itd.) [5].



Slika 4.4. Folijski otpornik

Primjena folijskih otpornika: Audio komponente - zahtijevaju preciznu reprodukciju signala kroz sklop koji se mora reproducirati bez buke ili izobličenja. Folijski otpornici idealni su za ovu primjenu. Njihova kristalna struktura i konfiguracija olova pružaju visok omjer signala i šuma.

Naftne platforme – temperature na naftnim bušotinama mogu prelaziti 500°C, druge vrste otpornika bi se rastopile i sama vrijednost otpora bila bi promijenjena. Dok folijski otpornici mogu funkcionirati u ekstremnim uvjetima, deblji sloj otpornog materijala omogućuje im ne samo funkcioniranje već i preciznost tokom rada.

Zrakoplovstvo – otpornici namijenjeni zrakoplovnim primjenama moraju biti vrlo precizni i dugotrajni.

Elektroničke vage – vage moraju biti sposobne održati visoku i konstantu razinu preciznosti tijekom svog životnog vijeka. Nekoliko svojstava folijskih otpornika čini ih prikladnima za ovu upotrebu. Imaju nisku buku, nizak TCR i nisku toplinsku vrijednost EMS-a.

5.1.6. Žičani otpornici

Žičani otpornici, kao što samo ime kaže, izgrađeni su od izolacijskog tijela (keramika, plastike, stakloplastike) na koje je namotana otporna žica (slika 4.5.). Otporna žica predstavlja otporni element i svojom duljinom i debljinom (promjerom) određuje vrijednost otpora. Veličine otpora su najčešće manjih vrijednosti, do najviše reda 10kΩ, jer za veće otpore žica bi trebala biti vrlo tanka ili vrlo velike dužine. Žičani otpornici se izrađuju za dvije primjene odnosno dvije vrste

žičanih otpornika. Izrađuju se žičani otpornici veće snage (1W-1kW) velika disipirana snaga, precizni žičani otpornici s minimalnom tolerancijom (<1%, te disipacije do 2W) i vremenski vrlo stabilni. Općenito materijal za izradu otporne žice je legura nikal-kroma (Khantal), željezo-nikla-kroma (Cekas), legura bakar-nikal-mangan (Manganin), zlato-krom, bakar-nikal. Materijali koji se upotrebljavaju moraju biti temperaturno vrlo otporni jer radna temperatura doseže do 400 °C. Tijelo otpornika sa namotanom žicom se zaštićuje zalijevanjem u keramičko ili cementno kućište. Zbog disipacije velike snage dolazi do zagrijavanja samog otpornika te se otpornik najčešće ugrađuje u rebrasto metalno kućište zbog hlađenja.



Slika 4.5. Žičani otpornik (snage 50W)

Žičani otpornici imaju nisku razinu buke u odnosu na ugljenoslojne otpornike, dugotrajnu stabilnost, vrlo visoku toleranciju (upotreba u mjernim instrumentima), sposobnost apsorpcije impulsa (mogu podnijeti impulse visokog napona, odnosno kratkotrajno mogu apsorbirati razinu energije znatno iznad prosjeka bez oštećenja) te imaju širok raspon otpora. Nedostatak upotrebe žičanih otpornika je uvjet da se koriste samo za niske frekvencije jer se na visokim frekvencijama ponaša kao električna zavojnica (stoga se na visokim frekvencijama koriste neinduktivni žičani otpornici). Načini namatanja žice na keramičko tijelo utječe na smanjenje parazitskog induktiviteta ili kapaciteta te se koristi bifilarno namotavanje i Ayrton-Perry namotavanje.

5.2. Materijali za promjenjive otpornike

Materijali koji se koriste za promjenjive otpornike odnosno otporne materijale su: žica (klizni potencijometar), ugljen, metalni film, vodljiva plastika i keramal (kompozitni materijal od keramike i metala).

Žičani promjenjivi otpornici odnosno potencijometri su konstruirani i predviđeni kako bi podnijeli veće snage, dugotrajni su te mogu biti vrlo precizni. Kod manjih snaga koriste se ostali navedeni materijali.

5.2.1. Potenciometar

Potenciometar je ručno podesivi promjenjivi otpor sa 3 priključnice odnosno 3 terminala, dva terminala su spojena na oba kraja otpornog materijala, a treći priključak je povezan sa kliznim kontaktnom (brisačem) koji se kreće preko otpornog materijala. Položaj brisača određuje izlazni napon potencimetra te time potenciometar u osnovi funkcionira kao promjenjivi djelitelj napona. Stoga se najčešće koriste u sklopovima za podešavanje glasnoće zvuka u audio uređajima. Za lakše objašnjenje rada potencimetra, potenciometar promatramo kao serijski spoj dvaju otpornika, gdje položaj brisača određuje omjer prvog otpora (otpor između brisača i jedne priključnice) i drugog otpora (otpor između klizača i druge priključnice). Kao što je rečeno promjena otpora vrši se mehaničkim putem time postoje rotacijski potencimetrima (jednookretajni i višeokretajni potencimetri) te klizni potencimetri. Također promjena otpora može biti logaritamska ili linearna s obzirom na pomicanje klizača. Linearna znači promjenu otpora linearno u odnosu na pomicanje klizača, dok se kod logaritamskog potencimetra mijenja ovisno o logaritamskoj funkciji.

Kod **jednookretajnih potencimetara** osovina se može zarotirati za približno 270° , odnosno $3/4$ kruga. Primjena ovakvih potencimetra je vrlo rijetka, koriste se u sklopovima u kojima jedan okret pruža dovoljno upravljačke razlučivosti, mogu se naći za regulaciju glasnoće u starijim audio uređajima.

Kod **višeokretajnih potencimetara** osovina se može zaokrenuti za puni krug, 360° , i to više puta (5, 10 ili 20 puta). Koriste se tamo gdje je potrebna visoka preciznost i razlučivost, primjerice u mjernim uređajima. Postoje izvedbe jednostrukih, dvostrukih ili pak motoriziranih. Dvostruki višeokretajni potencimetri se sastoje od dva nezavisna potencimetra spojena na istu osovinu te je moguće paralelno prilagođavati dva kanala. Koriste se u audio uređajima u kontroli i regulaciji stereo signala. Motorizirani potencimetri imaju dodan elektromotor, te zakretanje osovine moguće pomoću elektromotora ili ručno.

Klizni potencimetri, (slika 4.7.) kao što i sam naziv kaže, promjena otpora se vrši pomicanjem klizača u ravnini. Električne karakteristike su im jednaka kao kod okretajnih, jedina razlika je u fizičkom izgledu. Najčešće se koriste na audio miksetama.



Slika 4.6. Okretajni potenciometri



Slika 4.7. Klizni potenciometar

Digitalni potenciometar u osnovi ima istu funkciju kao i normalni potenciometar, ali je upravlján putem digitalnog signala (mikrokontrolerom putem 1-wire ili I2C standardom).

I2C (Inter Integrated Cicuits) je sinkrona, serijska sabirница namijenjena međusobnom povezivanju raznih digitalnih i upravljivih analognih sustava. Komunikacija se odvija preko dvije linije: SDA (Serial Data) za prijenos podataka te SCL (Serial Clock) za prijenos taktova. Digitalni potenciometar se sastoji od serijskih spojenih fiksnih otpornika između kojim se prespaja klizač te se otpor mijenja spajanjem klizača između različitih otpornika. Promjena otpora kod digitalnih potenciometara je skokovita ovisno o broju položaja (64, 128 ili 256 položaja). Uobičajene vrijednosti su 5, 10, 50 i 100k Ω , a tolerancije najnovijih digitalnih potenciometara su oko 1%. Primjenjuju se kod digitalno upravljanih sklopova, npr. kod regulacije osvjetljenja, digitalno podešavanje glasnoće.

Trimer je potenciometar koji je namijenjen za povremeno podešavanje, odnosno već samo jednom. Nazivaju se unaprijed postavljenim otpornicima te se podešavaju pomoću odvijača jer trimer nema osovinu za montažu gumba. Fizički su manji u odnosu na ostale potenciometre.

Reostat je promjenjivi otpornik koji ima dvije priključnice: jedna je spojena na otporni element, a druga na klizač. Za razliku od potencimetara, reostati mogu nositi značajnu količinu struje stoga su uglavnom izrađeni kao žičani namotaji. Potencijometar možemo spojiti kao reostat tako da kratko spojimo klizač i jednu priključnicu.

Koristi se za upravljanje struje, prije su imali puno veću upotrebu tako što su se koristili kao uređaji za kontrolu snage (kontrola intenziteta svjetlosti, brzine motora ..).

5.3. Materijali za otpornike sa posebnim svojstvima

5.3.1. Otpornici ovisni o temperaturi

Otpornici ovisni o temperaturi ili temperaturno promjenjivi otpornici su nelinearni elementi kojima vrijednost električnog otpora ovisi o temperaturi samog elementa. Vrijednost otpora ovisi o temperaturnim promjenama, upotrijebljenom materijalu i načinu izvedbe. Na promjenu temperature elementa utječe vanjska temperatura (temperatura okoliša) ili vlastito zagrijavanje/hlađenje otpornika (samozagrijavanje) koje je rezultat različitih električnih opterećenja. Otpornici ovisni o temperaturi mogu imati pozitivni ili negativni temperaturni koeficijent. Stoga se dijele u dvije skupine: otpornici s pozitivnim temperaturnim koeficijentom (PTC otpornici) i otpornici s negativnim temperaturnim koeficijentom (NTC).

PTC otpornici („Positive Temperature Coefficient“ eng.) ili hladni vodiči, su otpornici sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom. Vrijednost otpora se povećava sa povećanjem temperature otpornika, otpor ima manju vrijednost u „hladnom“ nego u „toplom“ stanju. Na promjenu vrijednosti otpora kao i kod NTC utječe promjena temperature okoline ili vlastito hlađenje/zagrijavanje (električna opterećenja). Povećanje može biti vrlo naglo i do 15 % po °C, a ukupno povećanje otpora u intervalu od nekoliko desetaka °C dostiže po nekoliko redova veličine vrijednosti otpora. PTC otpornici iznad granične temperature postaju temperaturno negativni (ponašaju se kao NTC otpornici), stoga se PTC otpornici koriste u ograničenom temperaturnom opsegu. Frekvencijski su jako ovisni iznad 5 MHz zbog velikog kapaciteta C (posljedica unutarnje strukture). Glavna namjena PTC otpornika je zaštita, štite uređaje od pregrijavanja odnosno prekomjernog porasta struje i primjenjuju se u krugovima za regulaciju temperature za grijanje. Ugrađuju se kao zaštitni uređaji kod prekidača, hladnjaka, klima uređaja, transformatora, punjača baterija, automobilske elektronike, instrumenata i mnogih drugih.

Primjer ugradnje PTC otpornika (unutar električnog kruga) za zaštitu od prekomjernog porasta struje (pregrijavanja): PTC otpornik serijski se spoji s krugom za napajanje i postavi na poziciju gdje je moguće zagrijavanje iznad dozvoljenog, u slučaju pregrijavanja dolazi do trenutnog

povećanja vrijednosti otpora (povećanjem vrijednosti PTC otpornika ograničava se struja na sigurnu vrijednost) [5]. Slika 4.8. prikazuje primjer i simbol PTC otpornika. Promjena otpora i temperature istog su smjera (što je prikazano na simbolu otpornika dvjema paralelnim strelicama istog smjera ↑↑).



Slika 4.8. Prikaz PTC otpornika i simbol (IEC standard)

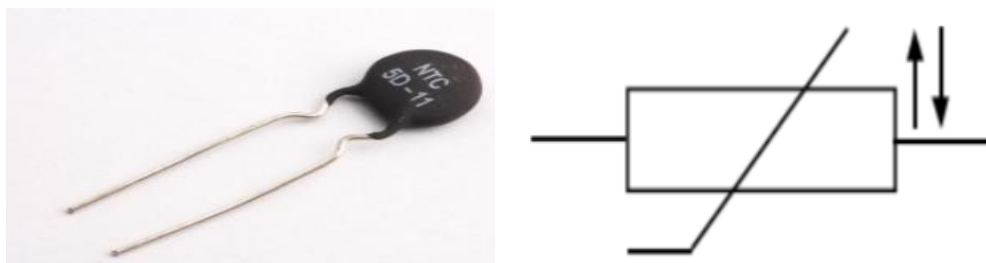
Izrađuju se od feroelektrične keramike, pretežno od barijevog-titanata $BaTiO_3$

NTC otpornici („Negative Temperature Coefficient“ eng.) ili topli vodiči, su otpornici sa negativnim temperaturnim koeficijentom, često se nazivaju i termistori. Vrijednost otpora je obrnuto proporcionalna temperaturi, to jest porastom temperature vrijednost otpora NTC otpornika se smanjuje. Temperaturna ovisnost NTC otpornika ili termistora može se prikazati eksponencijalnom funkcijom

$$R = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (4-1)$$

gdje A i B predstavljaju konstante, e Eulerov broj, T predstavlja apsolutnu temperaturu (K).

Promjena temperature i otpora su suprotnog smjera (što je prikazano na simbolu otpornika dvjema paralelnim strelicama suprotnog smjera ↑↓). Slika 4.9. prikazuje simbol NTC otpornika.



Slika 4.9. Prikaz NTC otpornika i simbol (IEC standard)

Ukoliko se narine odnosno nabije dovoljno visoki napon u otporniku se proizvede toliko topline da temperatura samog otpornika poraste. Porastom temperature dolazi do smanjenja otpora, a time i povećanju struje te novom rastu temperature. Nakon određenog vremena (ovisno o izvedbi)

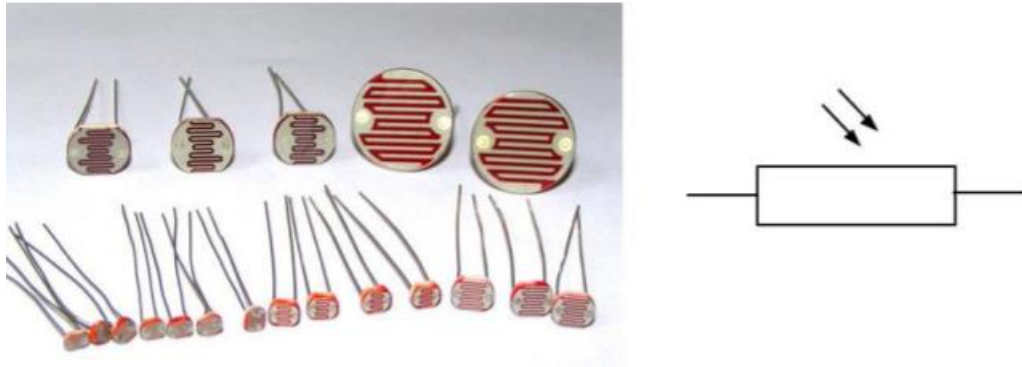
uspostavi se ravnotežno stanje. Opisani proces samozagrijavanja termistora ima niz primjena. Jedna od primjena termistora je ograničavanje početne vrijednosti struje, tako što se termistor serijski spoji s nekim uređajem. Primjenjuju se za stabilizaciju radne točke u tranzistorskim spojevima, za kompenzaciju temperaturnih ovisnosti drugih naprava, kao senzori u mjerenju temperature, u regulacijskih uređajima za isključivanje i uključivanje pri određenim temperaturama.

Izrađuju se od materijala: bakreni oksid, cinkov sulfid, srebrni sulfid. Današnji NTC otpornici proizvode se od oksida Co, Ni, Fe, Cr, Mn i slično. Smjesa oksida u prahu se sinterira na temperaturama iznad 1000°C čime se formiraju otpornici oblika loptice, diska ili cilindra [6]. Maksimalne radne temperature iznose 300°C do 350°C dok za termistore sa visokim radnim temperaturama iznose do 700°C pa čak i do 1000°C.

5.3.2. Otpornici ovisni o svjetlu

Fotootpornici ili LDR („Light Dependent Resistor“ eng.) su otpornici ovisni o svjetlu, vrijednost otpora se mijenja ovisno o intenzitetu svjetlosti. Izrađuju se od poluvodiča sa velikim električnim otporom. Pri porastu rasvijetljenosti vrijednost otpora se smanjuje (nelinearno), promjenu otpora uzrokuje unutarnji fotoelektrični učinak. Bez prisustva svjetlosti vrijednost otpora može biti vrlo velika (čak i do 1 MΩ), ali pri izloženosti svjetlosti vrijednost otpor naglo pada (čak i do nekoliko stotina ohma). Svjetlosni izvor isijava energiju koju apsorbira fotootpornik (poluvodički materijal fotootpornika) pri čemu dolazi do oslobađanja slobodnih nositelja naboja. Slobodni nositelji naboja su elektroni koji su prethodno bili zarobljeni u kristalnoj rešetki (bez prisustva svjetlosti). Prilikom elektromagnetskog zračenja (apsorbiranje svjetlosti) odnosno fotoni (kvanti svjetlosti) se apsorbiraju te njihovu energiju preuzimaju elektroni. Povećanjem energije elektrona, a time i samim povećanjem gibanja elektrona, dolazi do smanjenja otpornosti (povećanja vodljivosti).

Pri izradi fotootpornika koriste se poluvodljivi materijali. U 30-im i 40-im godinama prošlog stoljeća za izradu fotootpornika koristili su se silicij (Si) i germanij (Ge). Današnji moderni fotootpornici izrađeni su od: kadmijev sulfid (CdS), kadmijev selenid (CdSe), olovni sulfid (PbS), indijev antimonid (InSb), olovni selenid (PbSe). Kadmijev sulfid se raspoređuje u vijugavom obliku na keramičkoj podlozi čime se postiže veća površina, nalazi se u kućištu (metalno ili plastično) sa staklenim prozorčićem (mogućnost prolaska svjetlosti). Primjer i simbol LDR otpornika prikazan je na slici 4.10.



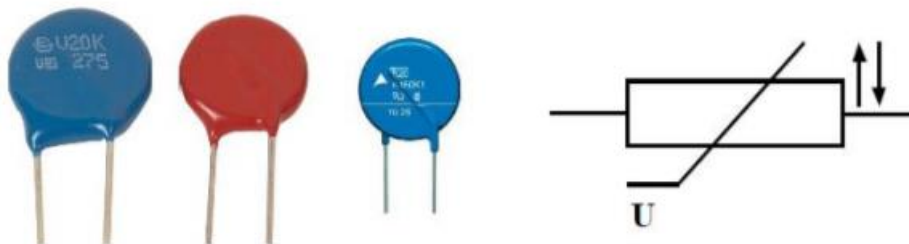
Slika 4.10. Prikaz LDR otpornika i simbol (IEC standard)

Osjetljivost fotootpornika ovisi o valnoj duljini svjetlosti. Različiti materijali imaju različite krivulje spektralnog odziva vala.

Fotootpornici imaju široku primjenu, koriste se kao strujni prekidači, elementi za upravljanje plamenom, u alarmima za požar ili dim, mjerenje osvjetljenosti, kao svjetlosne prepreke, u krugovima za regulaciju svjetla, kao sklopka za zatamnjanje. Također se koristi u složenim elektroničkim krugovima, u krugovima za A/D pretvorbu. Fotootpornik radi kao vremenski prekidač upravljani laserskim impulsima.

5.3.3. Otpornici ovisni o naponu

Varistori ili VDR („Voltage Dependent Resistor“ eng., slika 4.11.) su otpornici ovisni o naponu, vrijednost otpora varistora mijenja se ovisno o narinutom naponu. Najčešće su u obliku diska (s aksijalnim priključcima za tiskanu pločicu ili u obliku kućišta kao SMD komponente).



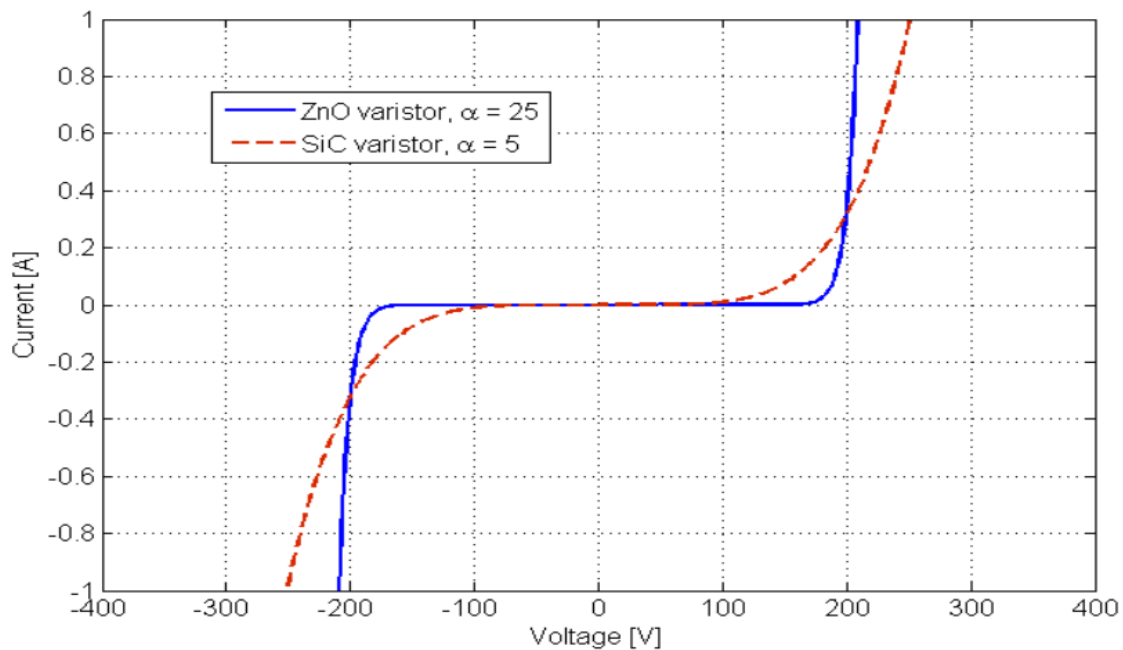
Slika 4.11. Primjeri i simbol (prema IEC standardu) VDR otpornika

Povećanje napona na varistoru uzrokuje opadanje otpora (povećanje struje kroz varistor). Najčešći tip varistora je MOV (varistor od metalnog oksida) izrađen od silicijevog karbida (SiC) ili cinkova oksida (ZnO). Varistor je poluvodički (nelinearni) element sa simetričnom nelinearnom U-I karakteristikom (prikazano na slici 4.12.). U normalnom stanju varistor teoretski ne provodi struju

zbog velike otpornosti, ali ipak provodi vrlo malu struju zvanu „struja popuštanja“. U slučaju prenapona, ako napon u strujnom krugu u kojem se nalazi varistor prekorači probojni napon, dolazi do naglog smanjenja otpora varistora te povećanja struja varistora. Odnos između struje I i napona U opisana je eksponencijalnom jednačinom.

$$I = k \cdot U^\alpha \quad (4-2)$$

gdje α predstavlja stupanj nelinearnosti, k predstavlja konstantu.



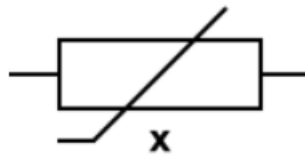
Slika 4.12. Dijagram prikaza U-I karakteristike dvaju varistora

Primjenjuju se u zaštiti uređaja od prenapona. Koriste se kao elementi za prenaponsku zaštitu poluvodičkih uređaja. Stvaranje prenapona može uzrokovati udar groma, uključivanje/isključivanje trošila velikih snaga, induktivnih trošila (ili druge vrste elektrostatičkih pražnjenja).

Pri zaštiti kruga od prenapona, varistor se spaja paralelno s krugom kako bi ga zaštitio, energija (koja potencijalno može oštetiti uređaj) ne ulazi u uređaj nego prolazi kroz varistor. Varistor apsorbira energiju u obliku topline, u slučaju vrlo visoke energije može doći i do sagorijevanja samog varistora. Također otpor varistora može pasti gotovo na vrijednost jednaku nuli te time dolazi do kratkog spoja. U slučaju snažnog impulsnog napona, kako ne bi došlo do uništenja uređaja, ispred varistora serijski se spaja osigurač koji će prekinuti strujni krug.

5.3.4. Otpornici ovisni o magnetskom polju

Magnetski otpornici su otpornici kojima vrijednost otpora ovisi o promjeni magnetskog polja (promjene gustoće magnetskog toka) u kojem se nalaze. Povećanjem jakosti magnetskog polja dolazi i do povećanja vrijednosti samog otpornika koji se nalazi u tom magnetskom polju. Magnetsko polje djeluje na elektrone tako što ih potiskuje na stranu, a samim time i produljuje njihovu putanju (dulji put-veći otpor). Nazivaju se još i Hallwim pločicama. Magnetske otpornike otkrio je William Thomson 1856. godine. Primijetio je da se otpor željeza povećava kada električna struja teče u istom smjeru kao i magnetske polje, a vrijednost otpora se smanji kada struja teče 90° u odnosu na magnetsko polje. Simbol magnetskog otpornika prema IEC standardu prikazan je na slici 4.13.



Slika 4.13. Simbol magnetskog ovisnog otpornika (IEC standard)

Materijal koji se koristi pri izradi magnetskih otpornika je Permalloy. Permalloy je slitina koja se sastoji od 81% nikla (Ni) i 19% željeza (Fe). Ima visoku anizotropnu magnetsku otpornost te nisku magnetostrikciju (promjena veličine uslijed djelovanja magnetskog polja). Izrađeni su od dugih tankih filmova od permaloja, radi povećanja osjetljivosti otpornika na tanke filmove od permaloja postavljaju se kratke šipke od aluminijske i zlatne pod kutem od 45° .

ZAKLJUČAK

Današnja masovna proizvodnja električnih otpornika, ovisno o zahtjevima, dovela je tehnologiju izrade na vrlo visoku razinu. Od ispitivanja elemenata i legura (sa što boljim karakteristikama i svojstvima), do same izrade (prešanje, pečenje na visokim temperaturama, urezivanje tankih filmovima pomoću vrlo preciznih lasera). Kako se tehnologija razvijala tako je i vrijeme izrade bilo što kraće, kvaliteta što viša, a i sama cijena (što je vrlo bitan parametar) niža. Otpornici se danas nalaze u svim elektroničkim uređajima, jer svojim radom (svrhom) neophodni su sastavni elementi. Prvi otpornici koji su se koristili (danas su u manjoj upotrebi) su maseni otpornici, jer imaju malu stabilnost, veliki temperaturni koeficijent, veliki šum (uzrokuju smetnje) i neprecizni su (tolerancija veća od 5%). Koriste se u uređajima gdje stabilnost i sama preciznost uređaja nije toliko bitna. Većinom su u upotrebi slojni otpornici i žičani otpornici čija su svojstva puno bolja; veća preciznost, veća stabilnost, otpornost na starenje, veća snaga disipacije. Slojni otpornici kao SMD komponente danas su u najvećoj upotrebi, tehnologija izrade SMD komponenti omogućila je izradu otpornika veličine nekoliko milimetara, sa izuzetno velikom preciznošću i dugotrajnom stabilnosti. Tehnologija izrade slojnih otpornika od početka 30-ih godina prošlog stoljeća do danas je još u razvoju. Mnogi kemijski elementi su izbačeni iz uporabe prilikom same električnih komponentni, npr. živa, kadmij, olovo i drugi. Ali zbog nemogućnosti pronalaska alternative ili zamjene olovo se i danas koristi u izradi debelo slojnih otpornika (nalaze se u sastavu keramičke i staklene podloge). Postoje neke izvedbe otpornika „Green versions of standard chip resistors“ takozvana zelena verzija čip otpornika koja istiskuje olovo i njegove okside iz upotrebe. Zbog visoke cijene i neznatno lošijih karakteristika još nisu u masovnoj proizvodnji. Za izbor materijala bitna je sama namjena otpornika, odnosno svojstva koja se očekuju od materijala, ali vrlo bitan parametar je cijena, pristupačnost i obradivost tog elementa (od samog resursa do finalnog materijala).

LITERATURA

[1] Tehnička enciklopedija: Elektrotehnički materijali, dostupno na:

https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektrotehnicki_materijali.pdf [12.8.2021.]

[2] Tehnička enciklopedija: Elektronika, sastavni dijelovi, dostupno na:

https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektronika_sastavni_dijelovi.pdf [14.8.2021.]

[3] Tehnička enciklopedija: Elektronika Uređaji; Šum, dostupno na:

https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektronika_uredaji_5_sum.pdf [16.8.2021.]

[4] V. Šunde, Z. Benčić, T. Filetin: Materijali u elektrotehničkim proizvodima, Graphis, Zagreb dostupno na: <https://pdfslide.net/documents/materijali-u-elektrotehnickim-proizvodima.html> [20.8.2021.]

[5] P. Rajakovic, Elektrotehnika, Županja, dostupno na:

http://ss-tehnicka-zupanja.skole.hr/upload/ss-tehnicka-zupanja/images/static3/844/attachment/EMIK_i_MUE_-_skripta.pdf [20.8.2021.]

[6] M. Oršulić, Električni otporni mjerni pretvornici temperature, Ferit, Osijek, 2014, završni rad.

[7] M. Bajlović, Projektiranje i izrada senzora rasvjete, Karlovac, 2020, završni rad.

[8] I. Jurišić, Dizajn i konstrukcija elektroničkih strujnih krugova u nastavi, PMF, Zagreb, 2011., diplomski rad.

[9] M. Glavaš, Osnovni elementi strujnih mreža, Rijeka, 2016., završni rad

[10] I. Matačić, Otpornici - Vrste otpornika, 5VOLTA, dostupno na:

<https://www.petvolta.com/komponente/otpornici-vrste-otpornika/> [29.8.2021.]

[11] R. Perić, B. Tunjić, L. Mehmedović, Varistori-odvodnici prenapona, Tuzla, 2012., seminarski rad

SAŽETAK

Naslov: Pregled i primjena materijala za izradu otpornika

U ovome završnom radu opisani su i prikazi materijali koji se koriste u izradi električnih otpornika. Prikazana je i objašnjena podjela samih otpornika, njihove karakteristike i temeljni zakon elektrotehnike (Ohmov zakon). Prikazana je podjela samih otpornični materijala i zahtjevi koji se očekuju od materijala za izradu otpornika. Detaljno su objašnjene i prikazane karakteristike pojedinih materijala i njihovi nazivi. Navedeni su svi oblici otpornika, njihove prednosti, nedostaci, objašnjenja rada samih otpornika, upotrebe i buduće smjernice.

Ključne riječi: karakteristične veličine otpornika, otpornik, podjela otpornika, materijali za izradu otpornika, zahtjevi za izradu materijala.

ABSTRACT

Title: Review and application of materials for making resistors

This final paper also describes representations of materials used in the manufacture of electrical resistors. The division of the resistors themselves, their characteristics and the basic law of electrical engineering (Ohm's law) are presented and explained. The division of the resistor materials themselves and the requirements expected from the resistor fabrication materials are presented. The characteristics of individual materials and their names are explained and presented in detail. All forms of resistors, their advantages, disadvantages, explanations of resistor's operation, use and future guidelines are listed.

Keywords: characteristic resistor sizes, resistor, resistor division, resistor fabrication materials, material fabrication requirements.