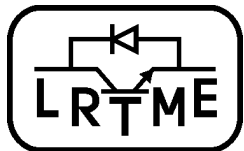


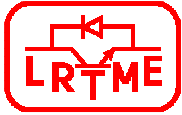
Materiali za upore in žarilne elemente



Katedra za mehatroniko

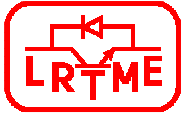
Laboratorij za regulacijsko tehniko in močnostno elektroniko

Štud. leto 2012/2013



Materiali za upore

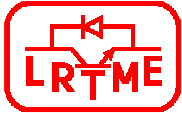
1. Za uporovne materiale skoraj vedno uporabljamo kovinske **zlitine**
2. Znatnejše povečanje specifične upornosti je opazno pri tistih zlitinah, kjer komponente tvorijo homogene taline in ti. kristale mešance.



Materiali za žične upore

Glede na področje uporabe delimo uporovne zlitine v tri pomembnejše skupine:

1. Uporovne zlitine za izdelavo regulacijskih in drugih tehničnih uporov.
2. Uporovne zlitine za izdelavo precizijskih uporov (predupori in merilni upori za instrumente).
3. Predupori za žarilne elemente za uporabo v elektrotermiji.

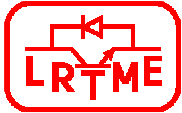


Materiali za regulacijske upore:

- **odpornost proti staranju**
- **termične obremenitve do približno 200 °C**

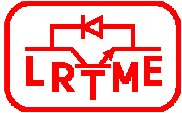
Materiali za precizijske upore:

- **majhen temperaturni koeficient**
- **majhno termoelektrično napetost glede na Cu**
- **upornost naj bo časovno čimbolj neodvisna.**



Materiali za grelne elemente:

- **temperaturne obremenitve do 1000 °C,**
- **odporni proti kisiku tudi pri višjih temperaturah,**
- **odporni na vpliv substrata**



Materiali za splošne in regulacijske upore:

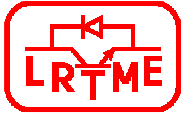
Zlitine: Cu - Ni

Cu - Ni - Zn

Konstantan - Cu-Ni-45 (55 % Cu in 45 % Ni)

- specifična upornost $0,49 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- temperaturni koeficient upornosti $4 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.
- visoka termoelektrična napetost proti bakru

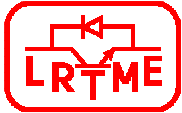
(43 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) !



Zlitine Cu - Ni - Zn

(v zlitini Cu - Ni, polovico Ni zamenjamo s Zn)

- To so zlitine: novo srebro, argentan in nikelin.
- Razmerje komponent v zlitini se giblje okrog vrednosti: 60 % Cu, 20 % Ni in 20 % Zn.
- Specifična upornost je med 0,3 in 0,4 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, temperaturni koeficient upornosti pa je od 0,0002 do 0,0008/ $^{\circ}\text{C}$.



Materiali za precizijske upore

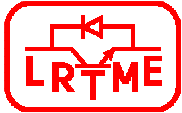
Zlitine Cu in Mn z dodatki Ni ali Al

Manganin

- manganov bron s sestavo: 86 % Cu, 12 % Mn, in 2 % Ni

Lastnosti:

- TKR je $1 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$,
- termoelektrična napetost proti bakru je le $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- specifična upornost je $0,43 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- upornost se v 30 letih spremeni le za 15×10^{-6} začetne vrednosti



Ostale zlitine:

Izabelin (84 % Cu, 13 % Mn, in 3 % Al)

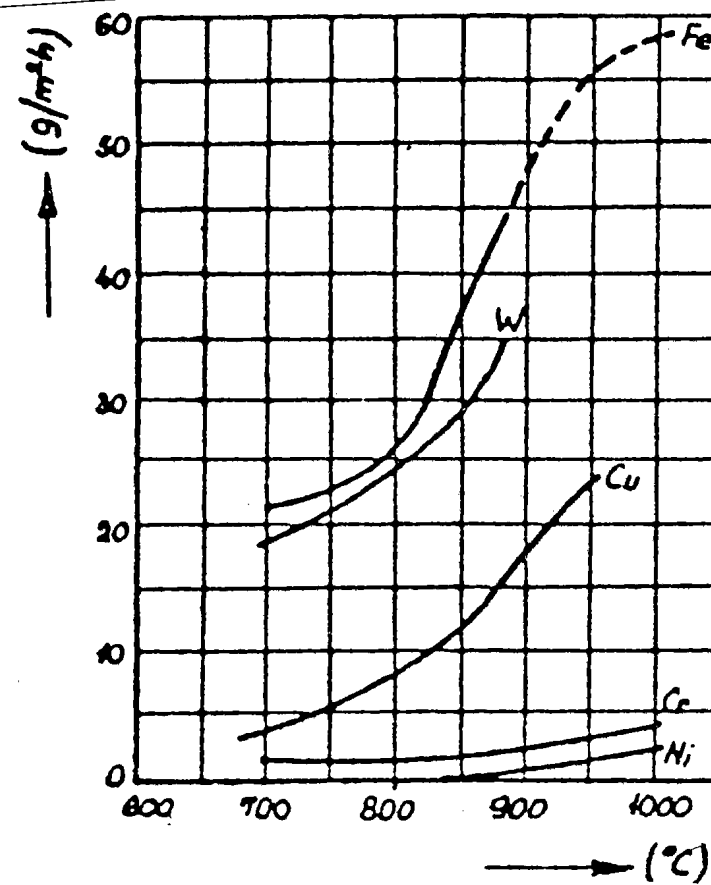
- specifična upornost $0,5 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.
- $\text{TKR} = 2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$,
- termoelektrična napetost pa je $0,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Therlo, (85 % Cu, 9,5 % Mn, in 5,5 % Al).

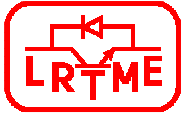
- ima nekoliko višjo termoelektrično napetost proti Cu,
- specifična upornost je $0,45 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

Novokonstantan (82,5 % Cu, 13,5 % Mn, 1 % Fe in 3 % Al).

- temperaturni koeficient je nekoliko večji kot pri manganinu.
- specifična upornost je $0,5 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.



Oksidacija kovin v odvisnosti od temperature



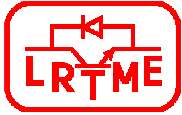
Precejšen vpliv na hitrosti oksidacije imajo lastnosti nastalega oksida:

- a) oksid lahko izpareva
- b) oksid se kopiči na površini

V primeru b pa imamo spet dve možnosti:

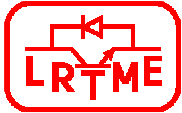
Če je volumen enega mola oksida večji od volumna atoma kovine iz katere je nastal, dobimo zelo gosto oksidno plast, skozi katero kisik zelo težko prodira. V tem primeru oksid ščiti površino kovine pred nadaljnjo oksidacijo (Al, Ni, Cr).

V nasprotnem primeru, ko je volumen enega mola oksida manjši od volumna atoma kovine iz katerega je nastal, takšna oksidna plast ni gosta in ne more preprečiti zraku dostopa do kovine (Fe).



Življenjska doba je odvisna tudi od:

- delovne temperature in od načina delovanja
- TK raztezka kovine in oksida
- TKR (- ali +)



Materiali:

Zlitine: Ni-Cr (20 % Cr in 80 % Ni)

delovna temperatura je od 1100 do 1150 °C

Tržna imena: [nikrom](#), [kromel](#), [cekas II](#), [kromin ipd.](#)

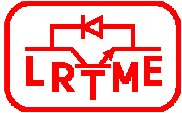
Zlitine Ni-Cr-Fe

1. Zlitina z malo Fe: 60 - 65 % Ni, 15 - 20 % Cr, in 15 - 20 % Fe

Tržna imena: [ferokromin](#), [nikrom II](#), [glowray](#), [hawa 110](#), [cekas](#)

2. Cr - Ni zlitine z veliko Fe

Primer: 20 % Ni, 25 % Cr, in 55 % Fe ([cekas 0](#), [cekas I](#), [CNE](#))



Zlitine **Cr - Fe - Si** vsebujejo 20-30 % Cr, do 2,5 % Si, ostalo pa je Fe (delovna temperatura: 900 -1000 °C)

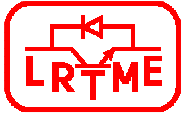
Cr - Fe - Al

Dopustna delovna temperatura je med 1300 in 1350 °C

Tržna imena: **cekas ekstra in kantal Al**

Pri visokih temperaturah poleg Pt in zlitine Pt - Rh uporabimo tudi W in Mo (le v zaščitni atmosferi ali v vakuumu).

Dopustna trajna temperatura se giblje okrog 1700 °C.



Uporovni materiali za plastne upore

Materiali:

- kovinski (čiste kovine ali zlitine)
- nekovinski (polprevodniški).

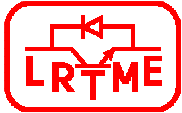
Plasti so lahko debele (10 do 30 μm) ali tanke (50 do 100 nm).

Govorimo o **debeloplastnih** in **tankoplastnih** uporih.

Podlaga: keramika ali steklo

Debeloplastni upori

- Uporovne paste
- Sitotisk
- Žganje pri 700 do 1000 °C

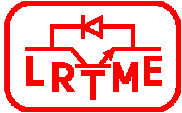


Sestava paste:

- **prevodnik**, ki ga sestavlja prevodni prah premera 1 do 10 μm , (1)
- **prah** izolacijskega materiala premera 1 do 10 μm in (2)
- **vezivo**, v katerem sta disperzirana prva dva materiala (3).

Čim manj je v pasti komponente (1) tem večja je upornost plasti.

(1) so lahko čiste kovine (Pd, Pt, Ru) ali zlitina Ni – Cr, pa tudi kovinski oksidi (npr. PaO , RuO_2 , MoO_2 idr.), kovinske spojine (npr. TaN, ZrB idr.) ali posebni sestavi (npr. $\text{Au} + \text{SiO}_2$, Pb_2RuO_2 , $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ idr.);
(2) je običajno stekleni prah in v
(3) strjujoči polimer.



Tankoplastni upori

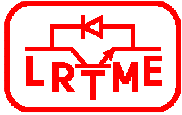
- Napraševanje ali naparevanje uporovne plasti

Prednosti tankoplastnih uporov:

- ožje tolerance upornosti,
- manjši temperaturni koeficienti upornosti,
- staranje vpliva na spremembo upornosti z manj kot 1 % in
- zelo nizek nivo šumnosti.

Materiali:

- čiste kovine (npr. Ag, Cr, Cu, Ir, Ni, Pt idr.) ali
- zlitine (Ni – Cr, Ta – Al, Si – Cr ipd.) ali
- posebni sestavi (npr. Au – WO₃).

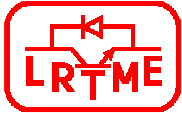


Nekovinski uporovni materiali



V elektrotehniki uporabljamo naslednje vrste ogljikov:

- naravni grafit,
- saje,
- elektrodno amorfno oglje,
- elektrografit,
- metalizirani grafit,
- pirolitsko oglje,
- obločno oglje



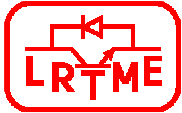
Naravni grafit

Ima heksagonalno osnovno kristalno celico.

Atomi v ravnini so tesno povezani, medtem ko ravnine niso, kar je vzrok njegove plastovitosti.

Pravokotno na ravnine je trd in brusi celo kovine.

V smeri ravnin ima pozitivni temperaturni koeficient raztezka, medtem, ko je v pravokotni smeri na ravnine negativen.

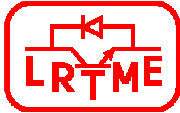


Amorfno elektrodno oglje

Amorfno elektrodno oglje je prežarjena zmes antracita, grafira, premogovega koksa, naftnega koksa, retortnega oglja, saj, smole in katrana.

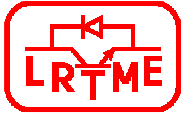
Masa se peče pri temperaturi med 1100 in 1200 °C.

Specifična upornost amorfnega oglja giblje med 40 in 60 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$



Gostota	1500 do 1555 kg/m ³
Upornost elektrod s prerezi med 0,0025 in 0,3 mm ²	100 do 45 Ω
Tem. koef. upornosti med 25 in 900 °C	-318 · 10 ⁻⁶ / °C
Specifična toplota pri 100 °C	754 do 920 J/kg
Tlačna trdnost	22,5 do 40,0 N/mm ²
Upogibna trdnost	5 do 8 N/mm ²
Razt. elektrode prvotne dol. pri 700 °C	0,2 %

Lastnosti amorfnege oglja

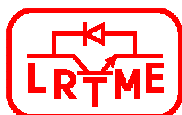


Elektrografit

Elektrografit dobimo, če amorfno elektrodno oglje z električnim tokom gostote 750 kA/m^2 segrejemo do temperature $2500 \text{ }^\circ\text{C}$, kjer se začne čistiti in kristalizira v grafit.

Značilnosti:

- delovna temperatura tako obdelanega oglja se dvigne celo do $2300 \text{ }^\circ\text{C}$,
- gostota se pri žganju poveča na 2050 kg/m^3 ,
- specifična upornost pa se ne spremeni mnogo in ostaja med 46 in $66 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

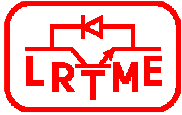


Metalizirani grafit

Grafit sintramo z 20 do 30 % kovinskega prahu (bron ali baker)

Vrsta ščetk	Dovoljena gostota toka v [A/cm ²]	Dovoljena obodna hitrost [m/s]	Spec. el. upornost [Ωmm ² /m]	Torni količnik	Padec napetosti [V]
Ogljene	4-6	15 - 20	18 - 60	0,20 - 0,30	1,5 - 2,5
Grafitne	8-12	20 - 40	10 - 40	0,10 - 0,20	2,0 - 3,5
El. grafitne	8-12	40 - 60	10 - 65	0,15 - 0,25	2,0 - 3,0
Met. grafit	10-25	20 - 40	0,05 - 12	0,05 - 0,15	0,3 - 1,0

Lastnosti ščetk iz različnih materialov



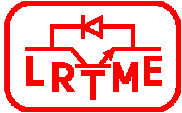
Pirolitsko oglje

Pirolitsko oglje ima podobno strukturo kot naravni grafit.

Dobimo ga pri temperaturi 1000 °C, kjer se izbrani ogljikovodiki reducirajo v elementarno oglje.

Proces imenujemo piroliza ali razkroj zaradi temperature.

Takšno oglje uporabljamo za upore v elektronskih napravah.

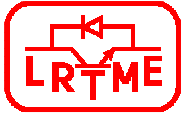


Obločno oglje

Uporabljamo ga za obločni plamen, ki gori s temperaturo cca. 3700 °C.

Zaradi sajavosti mu dodajamo uparljive anorganske spojine, kot so oksidi redkih zemelj, fluoridi, silikati ipd.

Pri gorenju zelo čistega oglja je plamen zelo nemiren, zato ga je potrebno uravnavati z magnetnim poljem.



Karborund

V stiku s silicijevim dioksidom (kremenjakom) se oglje pri visoki temperaturi prevleče s plastjo silicijevega karbida ali karborunda (SiC), ki je za kisik mnogo bolj odporen kot pa sam ogljik.

Ker ima karborund tudi boljše električne lastnosti kot oglje, ogljeno jedro opustimo in izdelamo celoten upor iz karborunda.

Specifična upornost silicijevega karbida je pri sobni temperaturi približno $2000 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, v žarečem stanju pa okrog $1000 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Temperaturni koeficient je torej negativen.