



ELEMENTI UREĐAJA Ee

ENERGETSKA ELEKTRONIKA
Ee

Visoka škola elektrotehnike i računarstva

Neša Rašić



Elementi uređaja Ee

Sastavni elementi uređaja Ee su:

- - **otpornici,**
- - **kondenzatori,**
- - **zavojnice i transformatori,**
- - **poluprovodnički elementi (diode, tranzistori, tiristori i dr.)**

Poluprovodnički i magnetni elementi sa jezgrom su nelinearni elementi, dok su otpornici, kondenzatori i neki drugi elementi linearni elementi.



Otpornici

Su linearni elementi kod kojih su struje srazmerne naponima na njegovim krajevima. Drugim rečima, to su elementi čiji parametri ne zavise od struje i napona, a svojom se otpornošću suprotstavljaju proticanju struje.

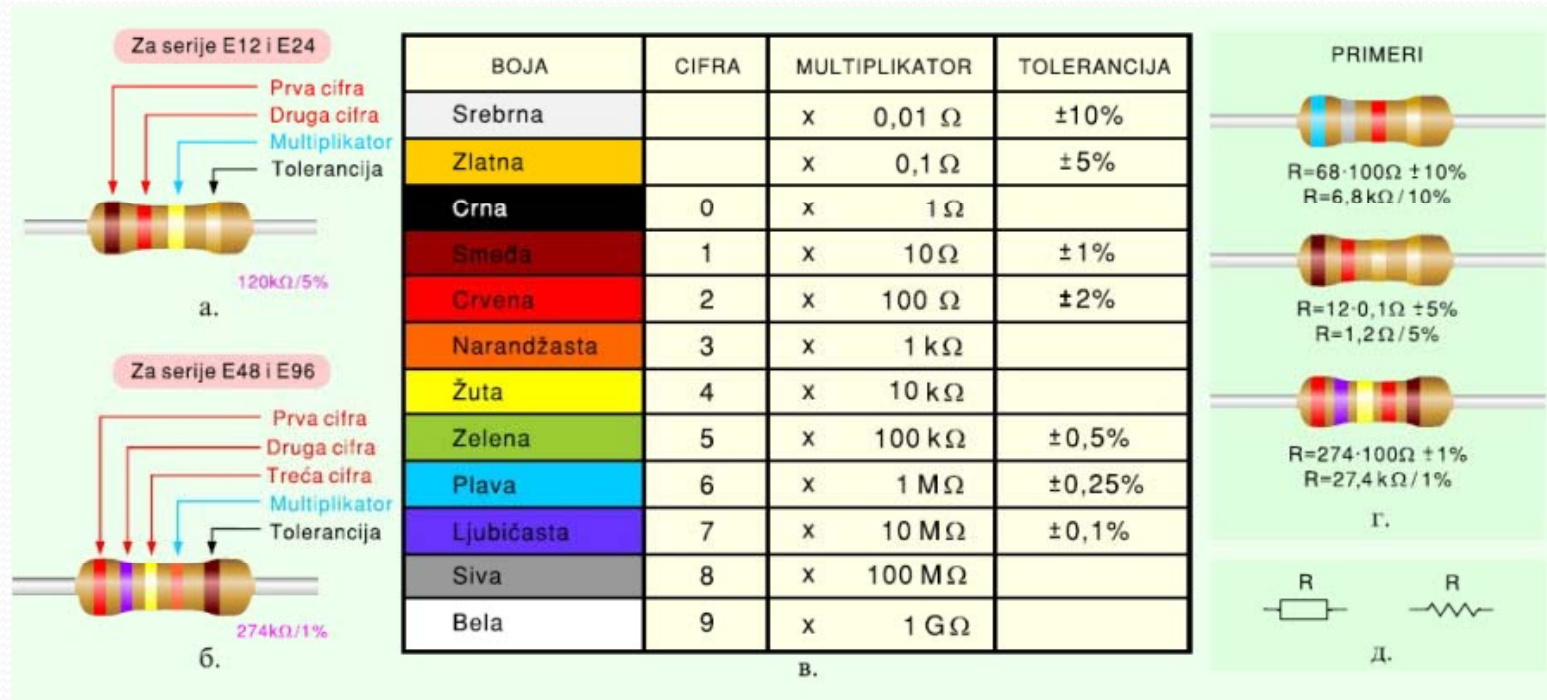
Otpornici u energetskeim uređajima stvaraju gubitke, smanjuju stepen iskorišćenja, i usložnjavaju konstrukciju zbog potrebe za hlađenjem.

Otpornici mogu biti:

- - stalni (slojni, metalizirani, metal-oksidni) i
- - promenljivi (žičani i slojni)

Nominalni parametri otpornika

Nominalna vrednost otpornosti, razlikuje se od stvarne vrednosti a ta razlika mora biti u granicama tolerancije. Izrađuju se za vrednosti od 0.01Ω do $1 \text{ M}\Omega$, pa i više



Nominalni parametri otpornika

Maksimalna dopuštena snaga disipacije, je snaga koja se razvija na otporniku i ne sme biti prekoračena. Izražava se u vatima (W). Prekoračenje ove snage dovodi do oštećenja otpornika ili do skraćenja njegovog radnog veka

Tolerancija nominalne vrednosti otpornosti, je dopušteno odstupanje stvarne vrednosti od nominalne vrednosti. Izražava se u procentima ukupne promene otpornosti u radnom temperaturnom opsegu. Prema toleranciji otpornici se svrstavaju u klase. Izrađuju se u tolerancijama od $\pm 20\%$ do $\pm 0.1\%$, odnosno u klasama od klase 20 do klase 0.1



Nominalni parametri otpornika

Temperaturni koeficijent, predstavlja relativnu promenu otpornosti na nekoj temperaturi u odnosu na otpornost na normalnu temperaturu. Izražava se u ($\%/^{\circ}\text{C}$), npr.
 $0.0025\%/^{\circ}\text{C}$

Dopušteni maksimalni priključni napon, je napon koji se može trajno priključiti na njegove krajeve, a da pri tome ne nastane proboj. Njegova vrednost obično nije ispod 150V, ali ni iznad 500V.

Vrste i osobine otpornika

Žičani otpornici, izrađuje se tako što se na keramičko telo namota otporna žica (hrom-nikal). Izrađuju se za otpornosti od nekoliko Ω do nekoliko $k\Omega$ uz snage disipacije od 1 do 200W. Žičani otpornici se izrađuju u tolerancijama od 0.1% do 2% sa temperaturnim koeficijentima od 100 do 20 ppm/ $^{\circ}\text{C}$



Izgled tipičnog žičanog otpornika

Vrste i osobine otpornika

Slojni otpornici. Otporni sloj čini sloj ugljenika koji se nanosi na keramičko telo u obliku valjka na čije se krajeve stavljaju metalne kapice sa dovodnim žicama. Izrađuju se za vrednosti od nekoliko Ω do nekoliko $M\Omega$ uz snagu disipacije od 0.1 do 2W i tolerancije otpornosti u rasponu od 10% do 1%. Radna temperatura ne sme preći 100 °C.

Slojni otpornici se odlikuju dobrom stabilnosti. Mogu se koristiti na višim frekvencijama jer im je samoinduktivnost i parazitna kapacitivnost mala.

Izgled tipičnog slojnog otpornika



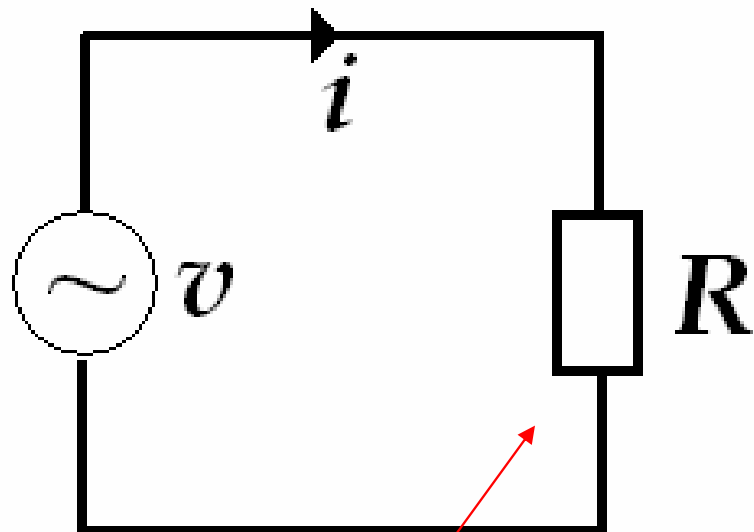


Mesta upotrebe otpornika u Ee

U energetske uređajima otpornici se najčešće koriste:

- u RC članovima za smanjenje gubitaka uključanja i prigušenje oscilacija pri isključenju prekidača
- za ujednačenje raspodele blokiranog i inverznog napona pri rednom povezivanju prekidača
- za simetriranje propusnih struja paralelno povezanih prekidača
- za aperiodično punjenje kondenzatora
- u sklopovima za definisanje početnih uslova komutacije, za ograničenje prenapona komutacije, za ubranje tošenja nagomilane magnetne energije i dr.

ČISTO OTPORNO OPTEREĆENJE

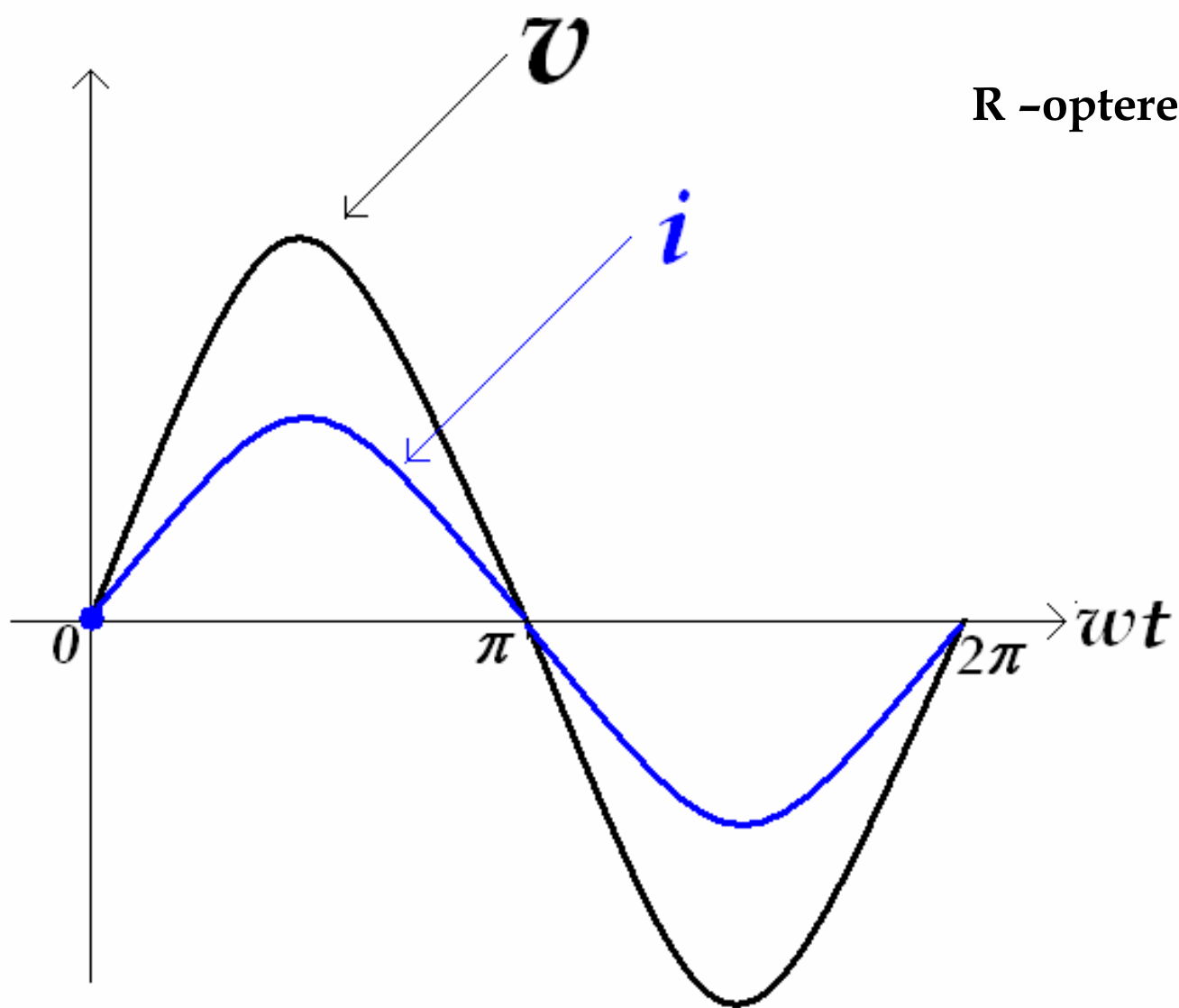


ZA SINUSNI TALASNI OBLIK
NAPONA v KAKAV JE TALASNI
OBLIK STRUJE OPTEREĆENJA i ?

PRETPOSTAVKA : *U električnom kolu
je uspostavljen stacionarni režim*

ČISTO OTPORNA OPTEREĆENJA:
-SIJALICA
-GREJAČ

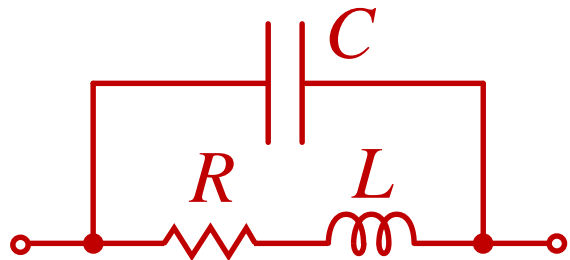




Napon i struja su u fazi

Model realanog otpornika

- U slučaju da ne protiče DC struja, u obzir se moraju uzeti i parazitni efekti



$$\underline{Z}_e = \frac{(R + j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = R \frac{1 + j\omega \left[\frac{L}{R} (1 - \omega^2 LC) - RC \right]}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 R^2 C^2}$$

Vremenska konstanta otpornika $\tau = \frac{L}{R} (1 - \omega^2 LC) - RC$

Na niskim učestanostima ($\omega^2 LC \ll 1$)

$$\tau = \frac{L}{R} - RC$$

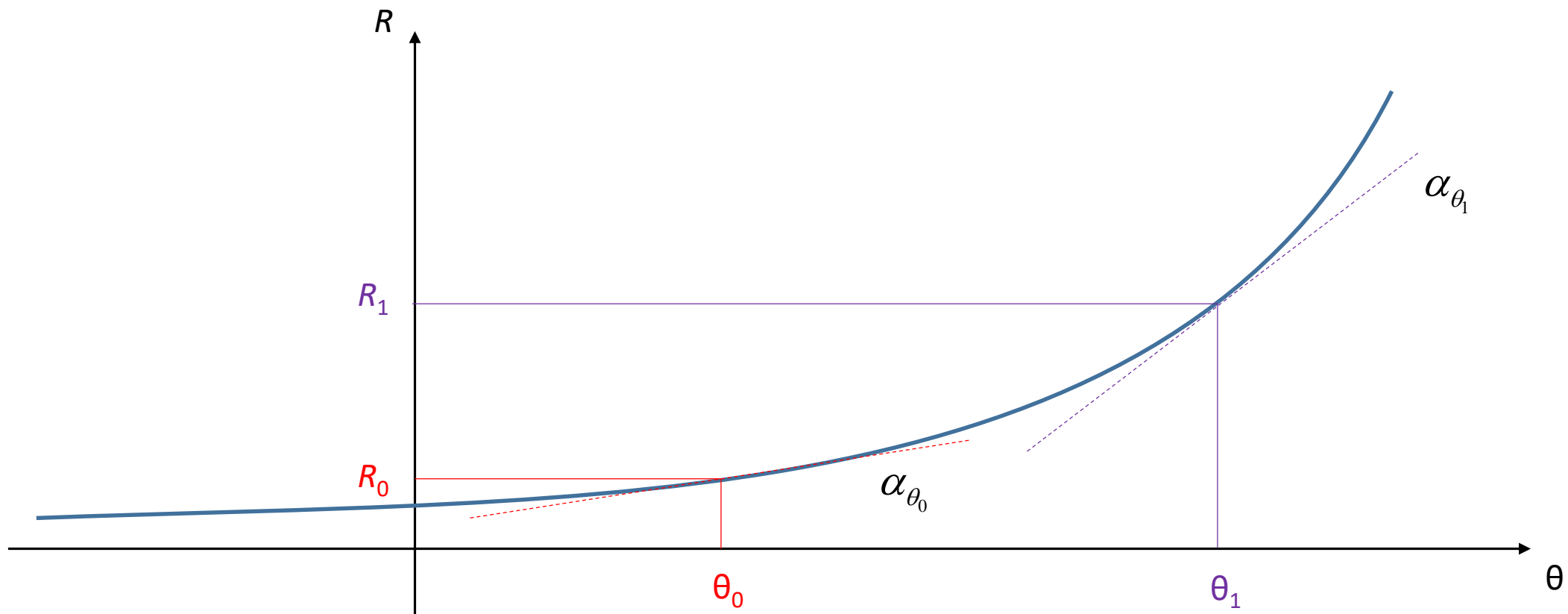
$$\frac{L}{R} = RC \Rightarrow \underline{Z}_e = R \frac{1}{1 + \omega^2 R^2 C^2}$$

Impedansa je
realna (čisto
otporna)

Promena otpornosti sa temperaturom

- Ređe zbog promene temperature okoline
- Češće zbog samozagrevanja usled proticanja struje
- Prvi iskorak iz idealnosti:
 - $R = f(I)$
 - Posledice po sve komponente
 - Posledice po sve instrumente

Grafički



Zavisnost od svojstava materijala

- Tipičan izraz za razmatranje otpornosti otpornika

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- Iako se dužina i poprečni presek takođe menjaju sa temperaturom, najizraženija je promena specifične otpornosti ρ

$$\rho = \rho_{20} \left[1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}) + \beta_{20} \cdot (\theta - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})^2 + \gamma_{20} \cdot (\theta - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})^3 + \dots \right]$$

Termootporni senzori

- Ne bilo kakav otpornik i ne bilo kakav materijal

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho_0 \left(1 + \alpha \theta + \beta \theta^2 + \gamma \theta^3 + \dots \right) \frac{l}{S}$$

- Platina

$$\alpha = +3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\beta = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$\gamma = +4,183 \cdot 10^{-10} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

$$\delta = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$



Platinski termootpornici

- Ofset na 0 °C (Pt-100, Pt-1000)
- Osetljivost za Pt-100 je 0,354 $\Omega/^{\circ}\text{C}$, a Pt-1000 3,54 $\Omega/^{\circ}\text{C}$, 10x veća
- Veoma selektivan
- Rezolucija 0,15 °C u blizini nule, na punom opsegu 1,5 °C
- Izuzetno linearan ($\pm 2,21\%$) - koristi se kao etalon
- Pasivan senzor → šum
- Ne trpi dobro nagle promene temperature



Termistori

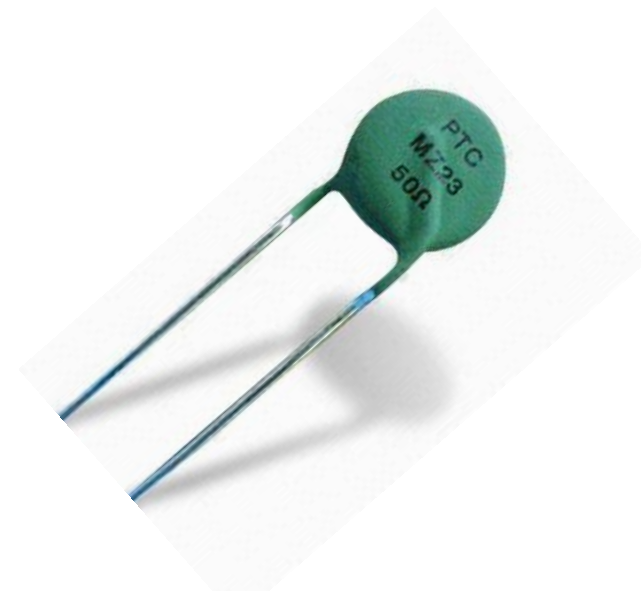
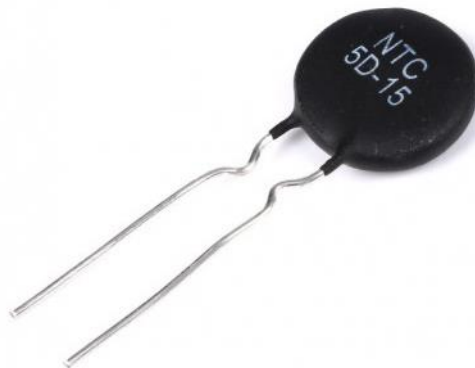
- Od poluprovodničkih materijala → izrazito nelinearni

$$R = A\theta^B e^{C/\theta}$$

- U malom temperaturnom opsegu oko 20 °C

$$R = R_0 e^{B(1/\theta - 1/\theta_0)}$$

- Ako je B negativno → NTC
- Ako je pozitivno → PTC

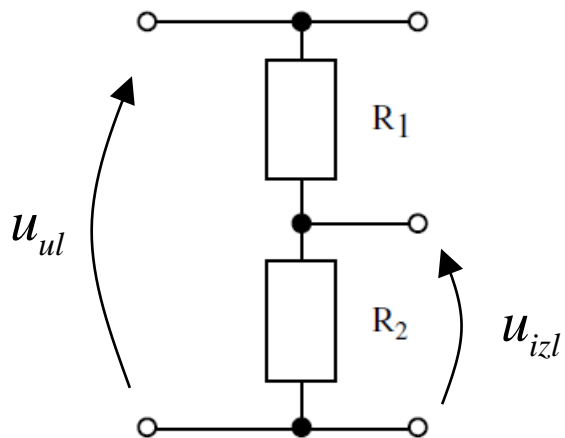


Prednosti termistora

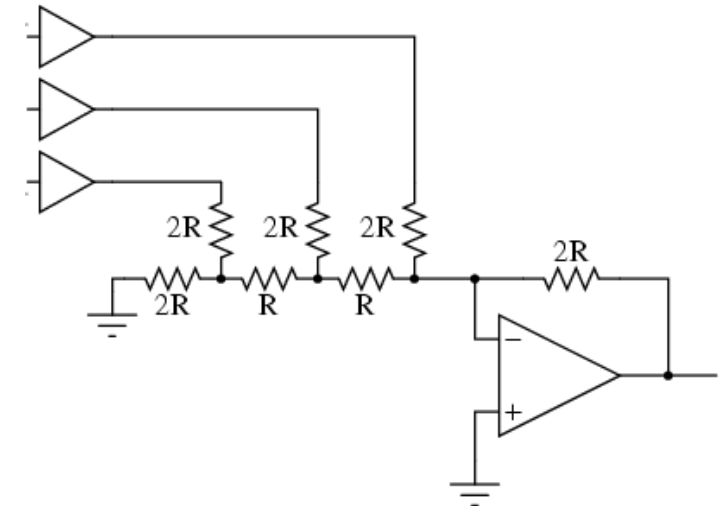
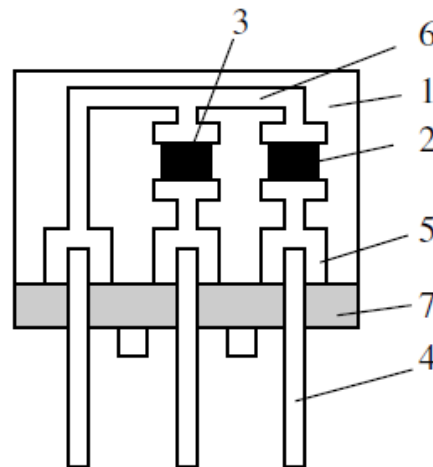
- Veoma osetljivi
- Mogu se minijaturizovati
- Brži odziv od termootpornika
- Velika vrednost otpornosti na sobnoj temperaturi (10 k Ω – 10 M Ω)
- Niska cena

Otporne mreže

- Ako se otpornici koriste za naponski razdelnik onda je dobro da budu proizvedeni u paru sa dobro kontrolisanim odnosom
- Takvi otpornici se zovu otporna mreža jer se ne proizvode samo kao parovi već i u kombinacijama od po nekoliko stotina
- Primer R-2R mreža kod D/A konvertora

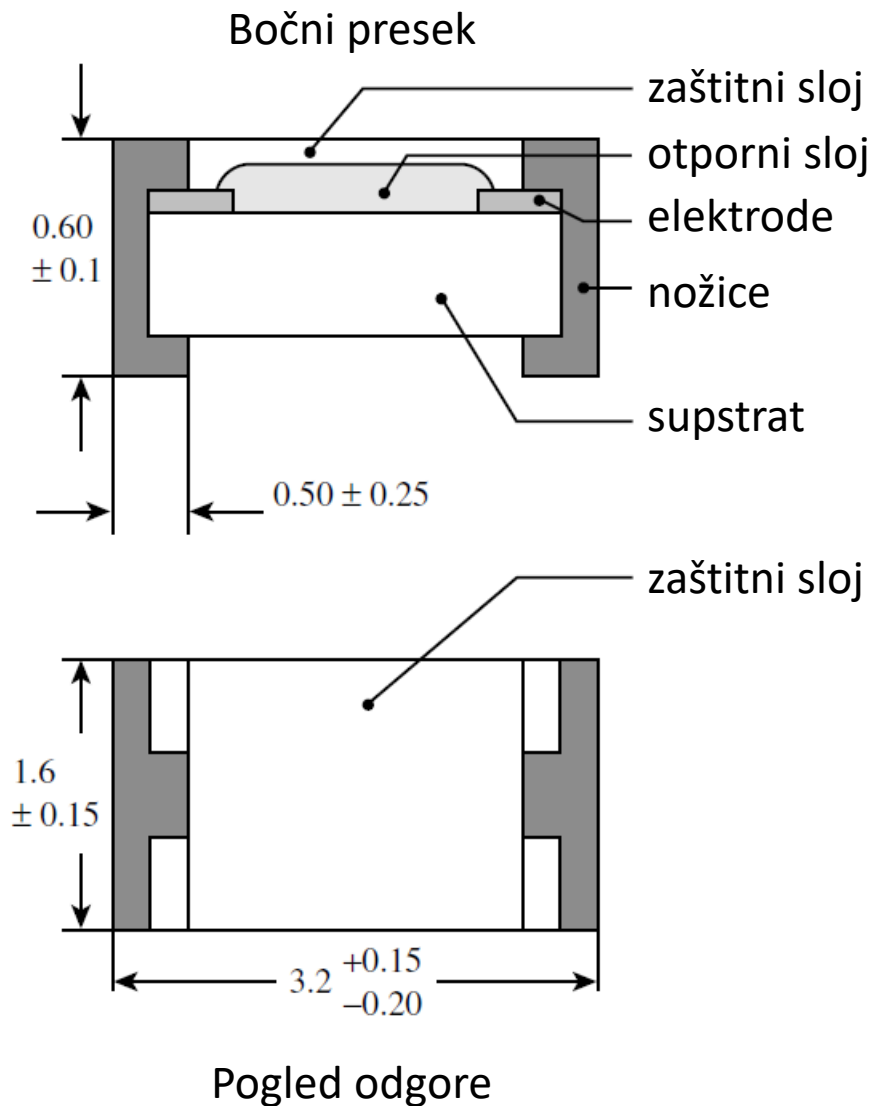


$$u_{izl} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{ul}$$



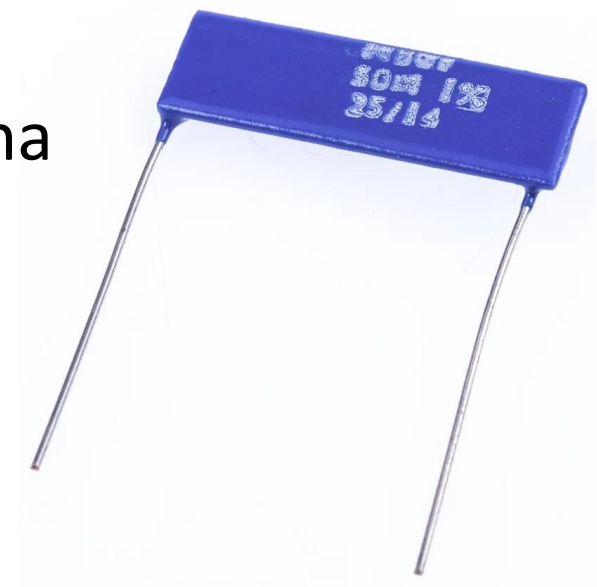
Integrirani otpornici

- Od poluprovodničkih materijala
- Od otpornih materijala
- SMD komponente (surface mounting device)
- SMT tehnologija



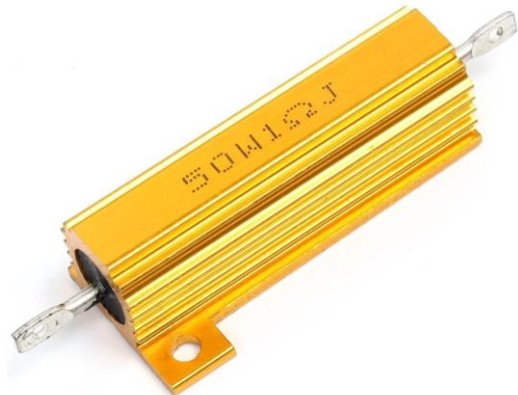
Visokoomski otpornici

- Preko 10 M Ω
- Idu čak i do 10 G Ω
- Čak i mala struja izaziva veoma velik pad napona
- Mogu se proizvesti samo od debelog filma



Otpornici za velike snage (energetski)

- Disipacija preko 5 W za visoke učestanosti
- Preko 100 W za DC ili za niske učestanosti (ispod 1 kHz)
- Boron-karbon vlakna
- Prave se u nestandardnim vrednostima otpornosti (50 Ω , 75 Ω , 300 Ω , 600 Ω)

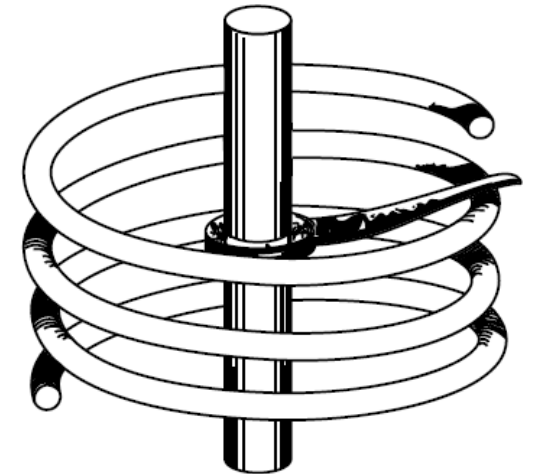
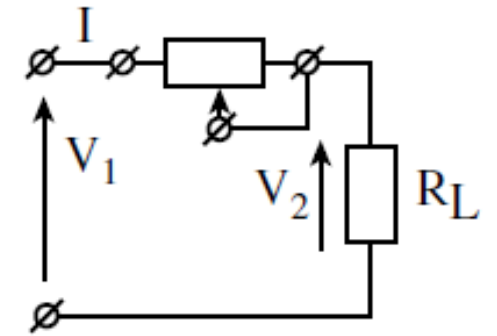
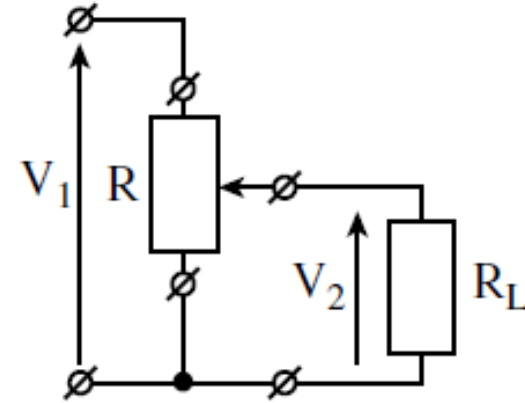


Promenljivi otpornici

- Potenciometri

- Mnogo promena od strane korisnika
- Četvropolni ili tropolni

- Klizni ili rotacioni (sa jednim ili više punih krugova)



Promenljivi otpornici

- Trimeri

- U osnovi isto što i potencijometri ali za veoma mali broj promena
- Ne menja ih korisnik instrumenta već proizvođač i to najčešće samo jednom
- Fino podešavanje vrednosti u kolima
- Kompenzacija tolerancija industrijskih otpornika



Promenljivi otpornici

- Dekadne kutije (preklopni otpornici)



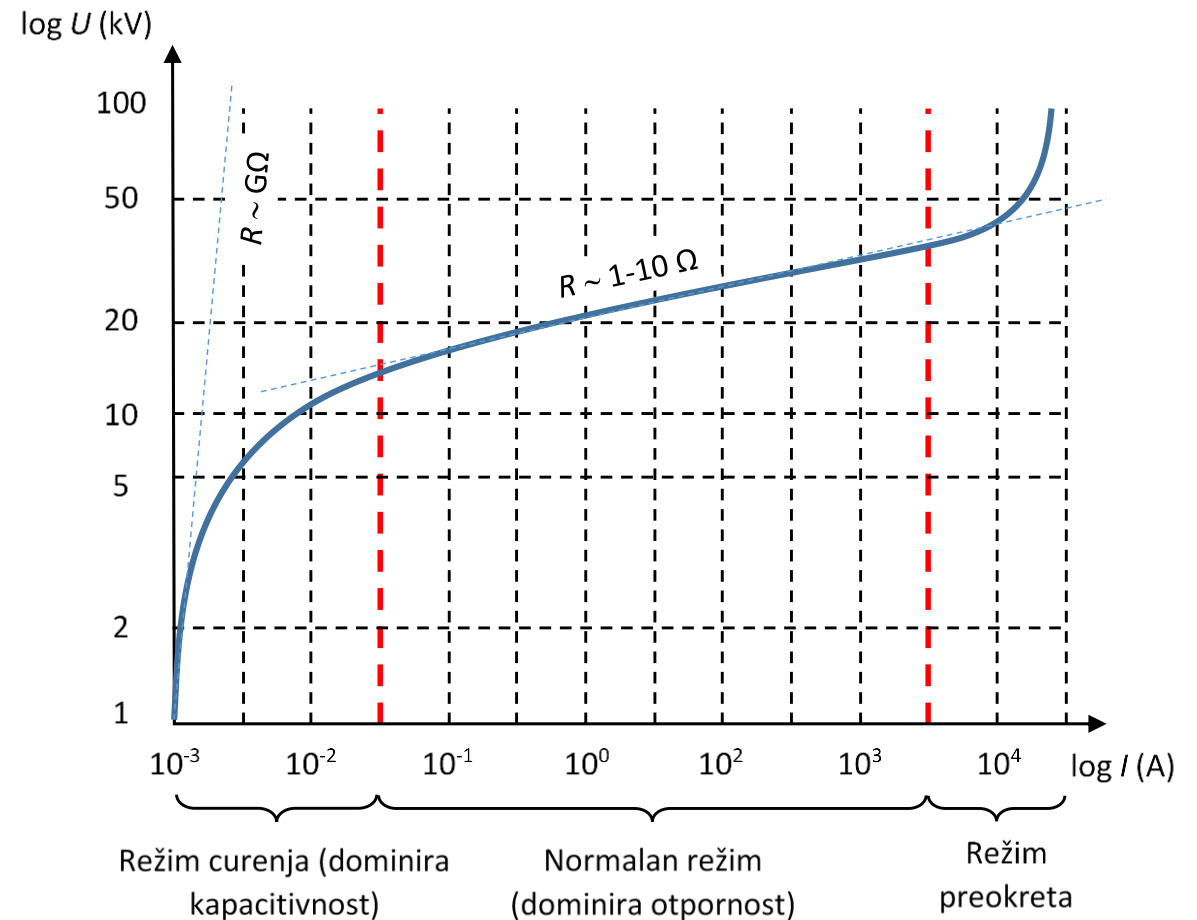
Nelinearni otpornici

- Oni koji su namerno napravljeni tako da im je otpornost funkcija napona ili struje
- Varistori
- Termistori (poluprovodnički), NTC i PTC – već smo ih spominjali
- Fotootpornici
- Magnetootpornici
- Tenzootpornici

Varistor

$$U = RI^\beta$$

- Bolje se opisuju U/I krivom nego izrazom
- Koriste se za prenaposnku zaštitu i zaštitu od strujnih udara
- Prave se od metal-oksidnih sinterovanih smeša (npr. cink-oksid)



Varistori u elektronici

- Za zaštitu od glicева u napajanju
- Malih strujnih kapaciteta
- Kada provedu lokalizuju na sebi kvar
- Sami po sebi ne rade posao
- Potreban je uz njih topljivi osigurač da bi se zaštitio uređaj



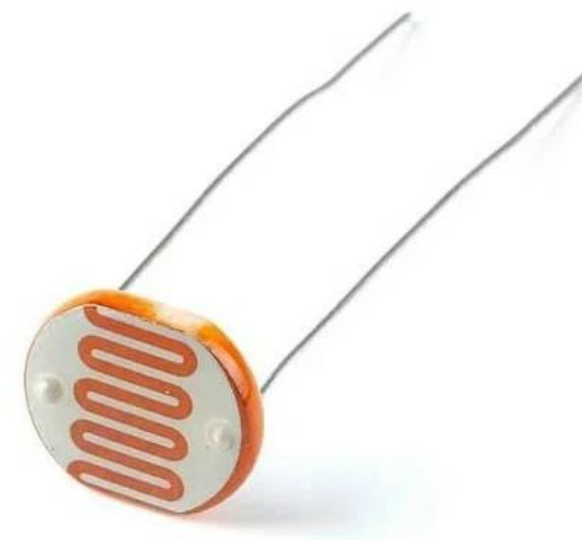
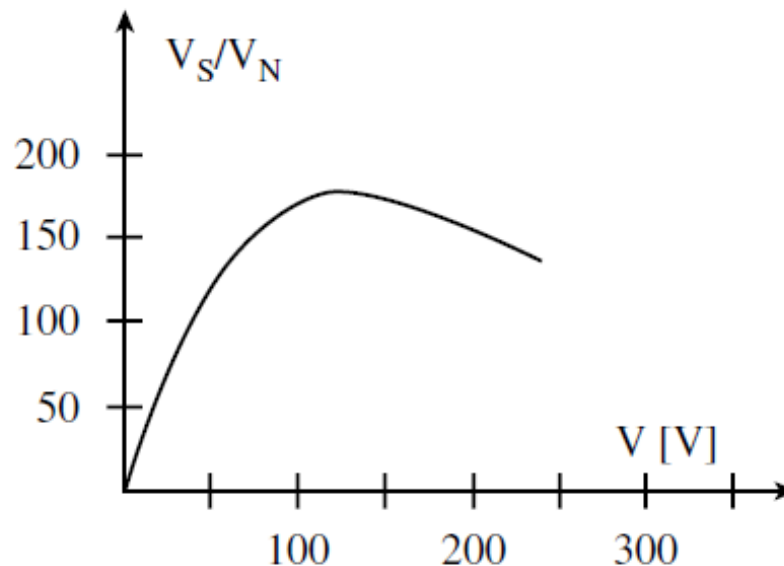
Odvodnici prenapona

- Koriste za zaštitu niskonaponskih i srednjenaponskih vodova i transformatorskih stanica
- Varistorski diskovi od cink-oksida se slažu i pakuju u blokove i oblažu rebrastim silikonskim kućištem
- Višekratni (sa mrežnim odvajačem)



Fotootpornici

- Prave se od tankih filmova osteljivih na određenu talasnu dužinu (detektori) i/ili intenzitet svetlosti (svetlomeri)
- Postoji optimalna talasna dužina, ali reaguju i na druge
- Cd-S: 400-700 nm
- Pb-S: 900-3500 nm
- Ge-Si-Zn: 400-1500 nm
- Ge-Sb: 30-100 μm



Tenzootporni

engl.: strain gauge

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}$$

Najčešće je $K = 2$

