

Pojam električne otpornosti

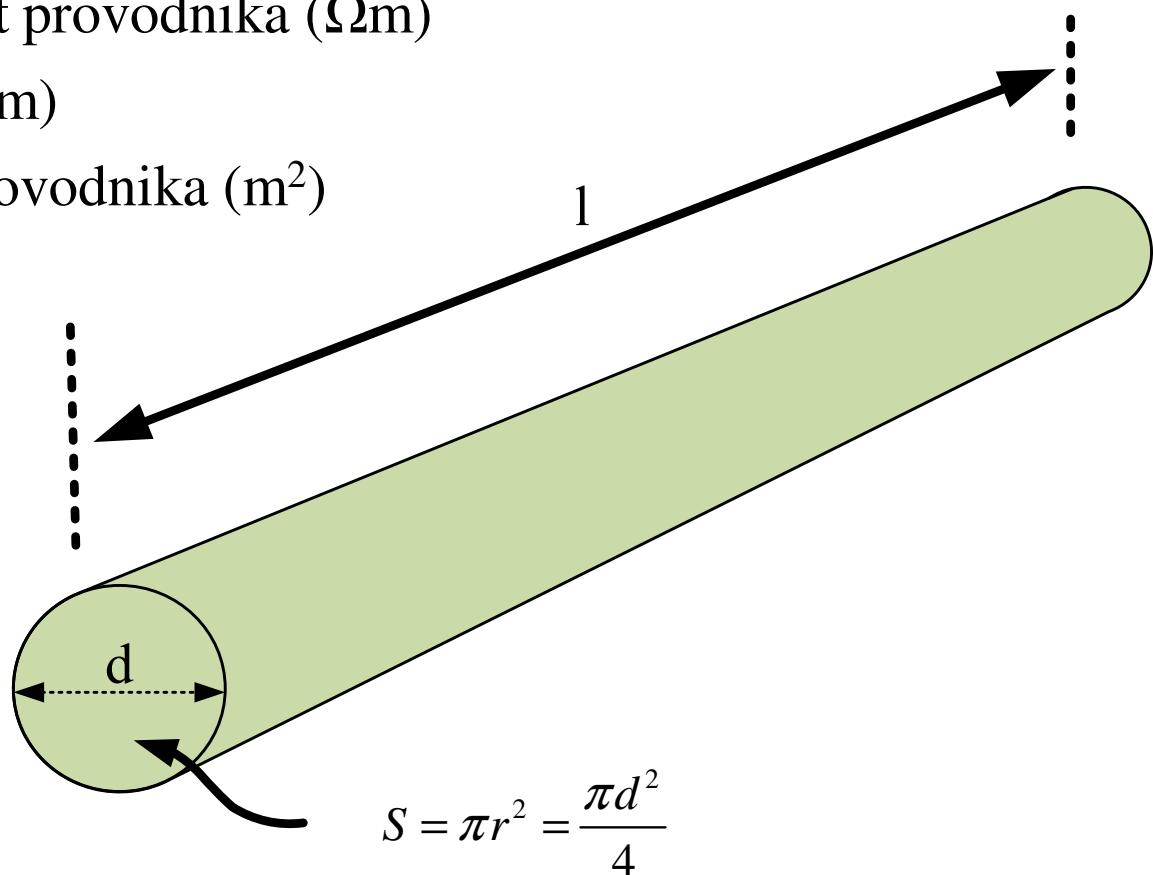
- Provodnici kroz koje protiče električna struja u većoj ili manjoj mjeri protive se njenom proticanju
- Mjera protivljenja nekog materijala proticanju električne struje naziva se **električna otpornost R**
- Jedinica za električnu otpornost je 1Ω (Om)
- Električna otpornost provodnika zavisi od:
 - Tipa materijala (specifična otpornost ρ)
 - Dužine provodnika (l)
 - Poprečnog presjeka provodnika (s)
 - Temperature okoline (T)

Električna otpornost provodnika

- Električna otpornost provodnika data je izrazom:

$$R = \rho \frac{l}{S} [1 \Omega (Om)]$$

- ρ - specifična otpornost provodnika (Ωm)
- l - dužina provodnika (m)
- S - poprečni presjek provodnika (m^2)



Specifična električna otpornost materijala (ρ)

- Specifična električna otpornost materijala je mjeru opiranja materijala provođenju električne struje

Materijal	Specifična otpornost ($\Omega\text{-m}$)	Materijal	Specifična otpornost ($\Omega\text{-m}$)
Srebro	1.645×10^{-8}	Silicijum	≈ 500
Bakar	1.723×10^{-8}	Germanijum	20-2300
Zlato	2.443×10^{-8}	Drvo	$10^8 - 10^{14}$
Aluminium	2.825×10^{-8}	Staklo	$10^{10} - 10^{14}$
Željezo	12.30×10^{-8}	Liskun	$10^{11} - 10^{14}$
Oovo	22×10^{-8}	Ćilibar	5×10^{14}
Merkur	95.8×10^{-8}	Guma	$10^{13} - 10^{16}$

Električna otpornost materijala

Primjer:

 **EXAMPLE 3-1** Most homes use solid copper wire having a diameter of 1.63 mm to provide electrical distribution to outlets and light sockets. Determine the resistance of 75 meters of a solid copper wire having the above diameter.

Solution We will first calculate the cross-sectional area of the wire using equation 3-2.

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi d^2}{4} \\ &= \frac{\pi(1.63 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4} \\ &= 2.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Now, using Table 3-1, the resistance of the length of wire is found as

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho\ell}{A} \\ &= \frac{(1.723 \times 10^{-8} \Omega\text{-m})(75 \text{ m})}{2.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \\ &= 0.619 \Omega \end{aligned}$$

Električna otpornost materijala

Primjer:

EXAMPLE 3–2 Bus bars are bare solid conductors (usually rectangular) used to carry large currents within buildings such as power generating stations, telephone exchanges, and large factories. Given a piece of aluminum bus bar as shown in Figure 3–3, determine the resistance between the ends of this bar at a temperature of 20°C.

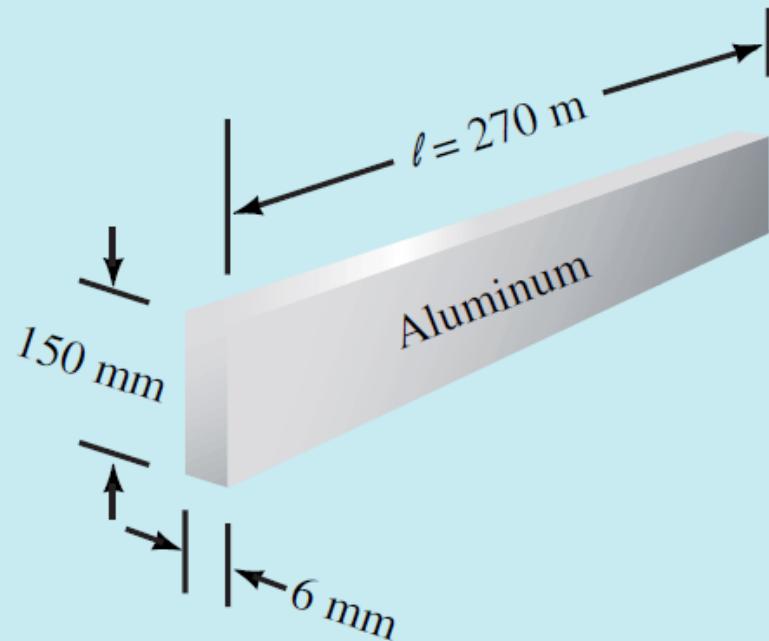


FIGURE 3–3 Conductor with a rectangular cross section.

Električna otpornost materijala

Primjer:

Solution The cross-sectional area is

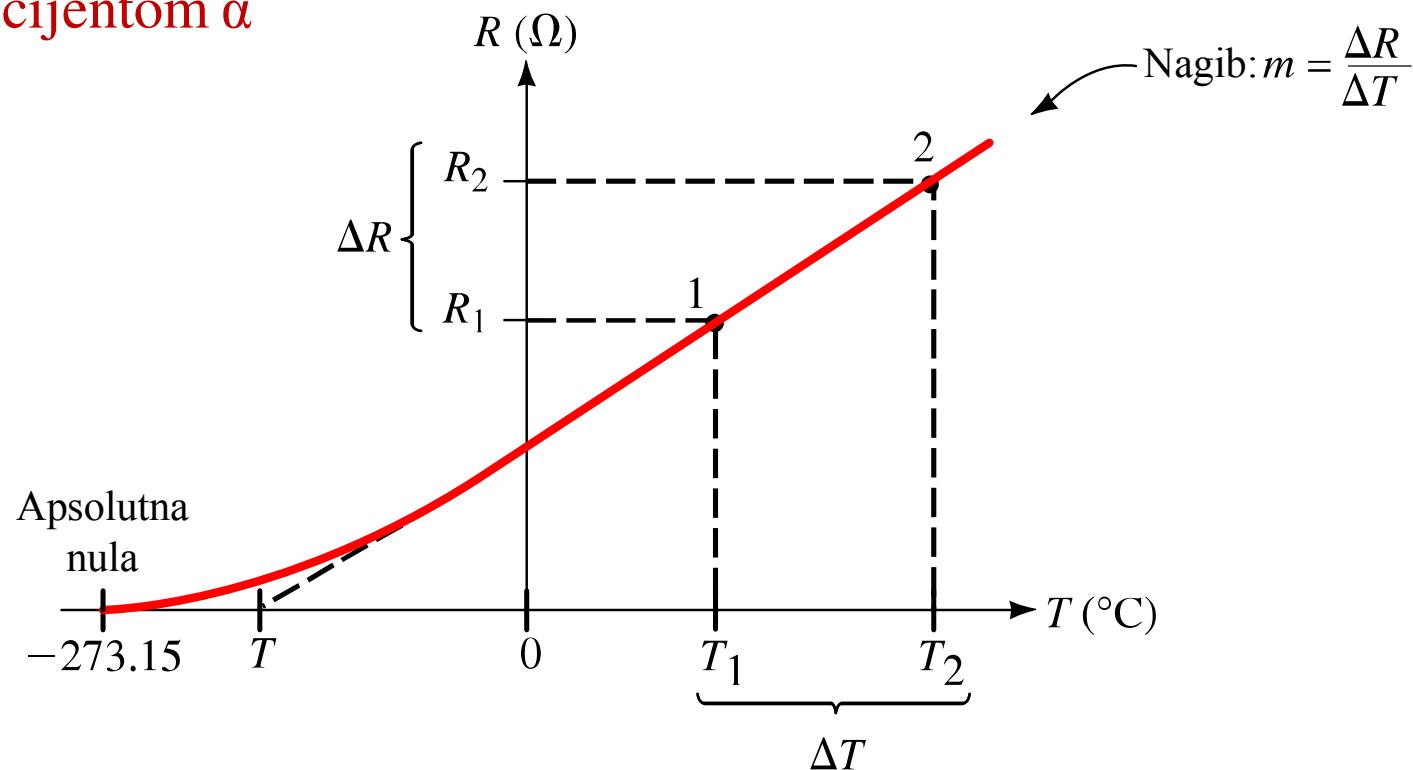
$$\begin{aligned}A &= (150 \text{ mm})(6 \text{ mm}) \\&= (0.15 \text{ m})(0.006 \text{ m}) \\&= 0.0009 \text{ m}^2 \\&= 9.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2\end{aligned}$$

The resistance between the ends of the bus bar is determined as

$$\begin{aligned}R &= \frac{\rho\ell}{A} \\&= \frac{(2.825 \times 10^{-8} \Omega\text{-m})(270 \text{ m})}{9.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \\&= 8.48 \times 10^{-3} \Omega = 8.48 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

Zavisnost otpornosti od temperature

- Prethodni izraz za električnu otpornost nije uzimao u obzir efekat temperature. Kod provodnika sa **povećanjem temperature** povećava se broj slobodnih elektrona koji prave sudare unutar materija i **povećavaju električnu otpornost**
- Povećanje/smanjenje** otpornosti sa temperaturom je skoro linearna funkcija i karakteriše se **pozitivnim/negativnim temperaturnim koeficijentom α**



Zavisnost otpornosti od temperature

Primjer:

EXAMPLE 3–8 An aluminum wire has a resistance of $20\ \Omega$ at room temperature (20°C). Calculate the resistance of the same wire at temperatures of -40°C , 100°C , and 200°C .

Solution From Table 3–4, we see that aluminum has a temperature intercept of -236°C .

At $\mathbf{T} = -40^\circ\text{C}$:

The resistance at -40°C is determined using Equation 3–6.

$$R_{-40^\circ\text{C}} = \frac{-40^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})}{20^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})} 20\ \Omega = \frac{196^\circ\text{C}}{256^\circ\text{C}} 20\ \Omega = 15.3\ \Omega$$

At $\mathbf{T} = 100^\circ\text{C}$:

$$R_{100^\circ\text{C}} = \frac{100^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})}{20^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})} 20\ \Omega = \frac{336^\circ\text{C}}{256^\circ\text{C}} 20\ \Omega = 26.3\ \Omega$$

At $\mathbf{T} = 200^\circ\text{C}$:

$$R_{200^\circ\text{C}} = \frac{200^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})}{20^\circ\text{C} - (-236^\circ\text{C})} 20\ \Omega = \frac{436^\circ\text{C}}{256^\circ\text{C}} 20\ \Omega = 34.1\ \Omega$$

Zavisnost otpornosti od temperature

Primjer:

 **EXAMPLE 3–9** Tungsten wire is used as filaments in incandescent light bulbs. Current in the wire causes the wire to reach extremely high temperatures. Determine the temperature of the filament of a 100-W light bulb if the resistance at room temperature is measured to be $11.7\ \Omega$ and when the light is on, the resistance is determined to be $144\ \Omega$.

Solution If we rewrite Equation 3–6, we are able to solve for the temperature T_2 as follows

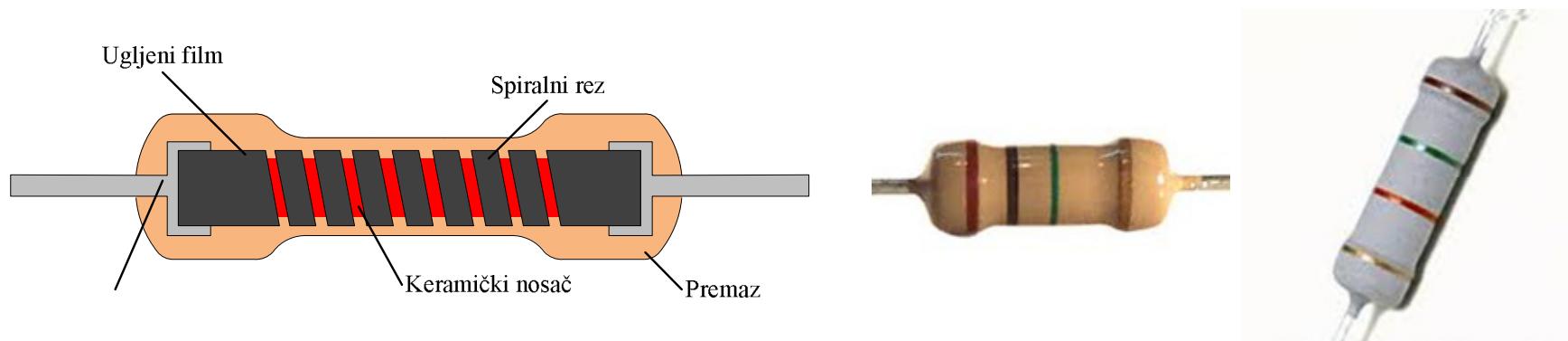
$$\begin{aligned}T_2 &= (T_1 - T) \frac{R_2}{R_1} + T \\&= [20^\circ\text{C} - (-202^\circ\text{C})] \frac{144\ \Omega}{11.7\ \Omega} + (-202^\circ\text{C}) \\&= 2530^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Otpornici sa stalnom otpornošću

- Za **otpornike** kod kojih je **otpornost konstantna** i ne zavisi od jačine struje kroz njega ili narinutog napona kažemo da su **otpornici sa stalnom otpornošću**
- Danas postoji nekoliko tehnologija izrade fiksnih otpornika, a najčešći su:
 - ugljenoslojni,
 - metal-film,
 - folijski,
 - žičani i
 - film otpornici

Otpornici sa stalnom otpornošću (ugljenoslojni)

- **Ugljenoslojni otpornici** su izrađeni od keramičke jezgre na koju je nanešen tanki sloj čistog ugljenika kao otporni materijal.
- Željena vrijednost otpora može se dobiti odabirom debljine nanešenog sloja ugljika ili narezivanjem ugljikovog sloja u obliku spirale
- Tipične vrijednosti ovog tipa otpornika su do $10M\Omega$, tolerancija su 2%, 5% i 10%. Maksimalna disipacija im je do 2W.
- Najčešće se upotrebljavaju u visokonaponskim uređajima i uređajima izloženim povišenim temperaturama



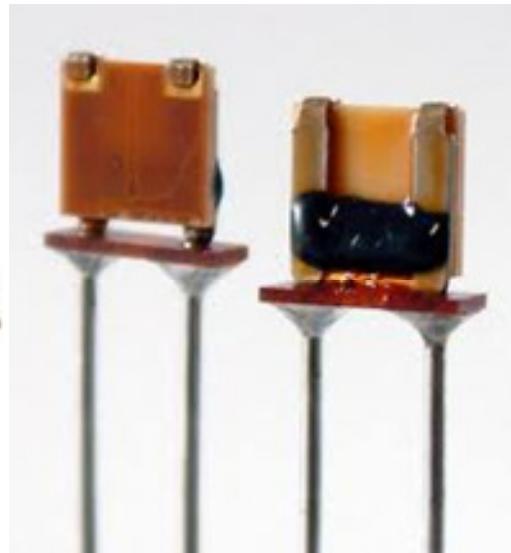
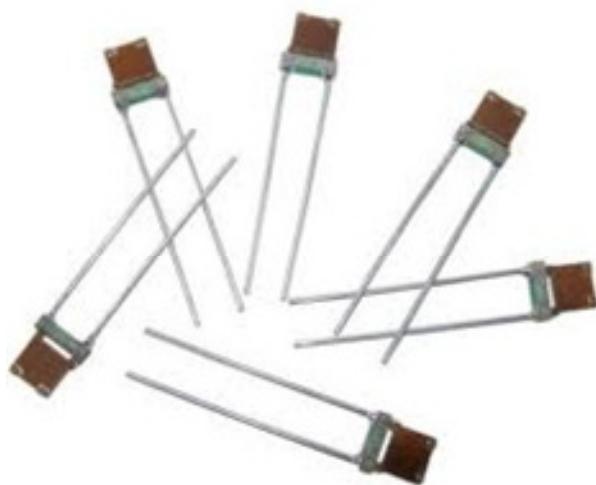
Otpornici sa stalnom otpornošću (metal-film)

- Na keramičku jezgru nanosi se tanak sloj metalnog filma, najčešće legure nikal-kroma (NiCr). Ponekad se koristi antimon ili zlato sa platinom i tantalovim nitridom
- Željena vrijednost otpora se može dobiti narezivanjem spiralnog utora u metalnom sloju. Tipične vrijednosti otpora su do oko **20MΩ**.
- Tolerancija između **0.05%** i **2%**, a snaga ne prelazi **2W**
- Koriste se u praktički svim elektronskim uređajima,a moguće ih je prepoznati po plavoj boji tijela.



Otpornici sa stalnom otpornošću (folijski)

- Na keramički nosač nanesen je nekoliko mikrometara tanak **film otporne legure**, najčešće nikal-kroma s primjesama
- Željena vrijednost otpora postiže se **svjetlosnim graviranjem** otpornog uzorka. Tolerancija može iznosi svega 0.005%.
- U procesu izrade moguće je postići vrlo visoku preciznost, a zbog njihove dugovječnosti koriste se u uređajima gdje je potrebna visoka preciznost, stabilnost i dugovječnost (audio tehnika, elektronske vase, vojna industrija...)



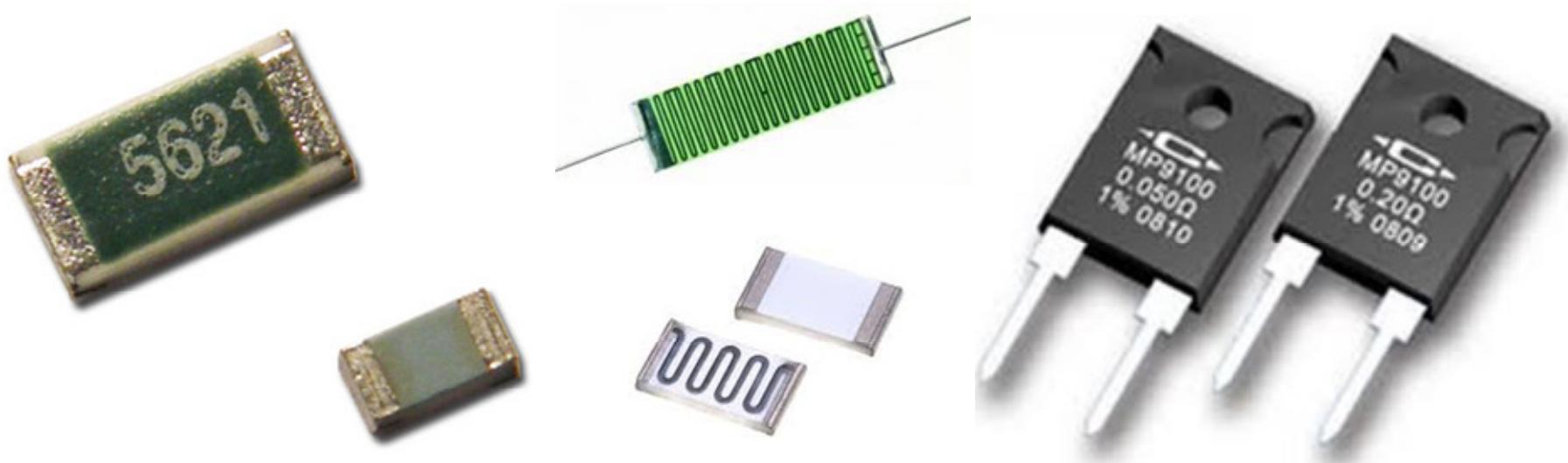
Otpornici sa stalnom otpornošću (žičani)

- Žičani otpornici sastoje se od keramičke osnove na koju je namotana otporna žica (Khantal, Cekas, Konstantan i sl.)
- Zbog boljeg hlađenja, ovakve otpornike možemo naći ugađene u **rebrasto metalno kućište**, ili potpuno nezaštićene.
- Najčešće su malih otpora, do najviše reda $10\text{ k}\Omega$, jer bi za veće otpore žica trebala biti ili vrlo tanka ili velike dužine.
- Ovakvi se otpornici najčešće izrađuju kao otpornici veće snage, od 1W do 1kW , a koriste se u sklopovima gdje se zahtijeva velika disipacija. Tolerancije su najčešće 5%.



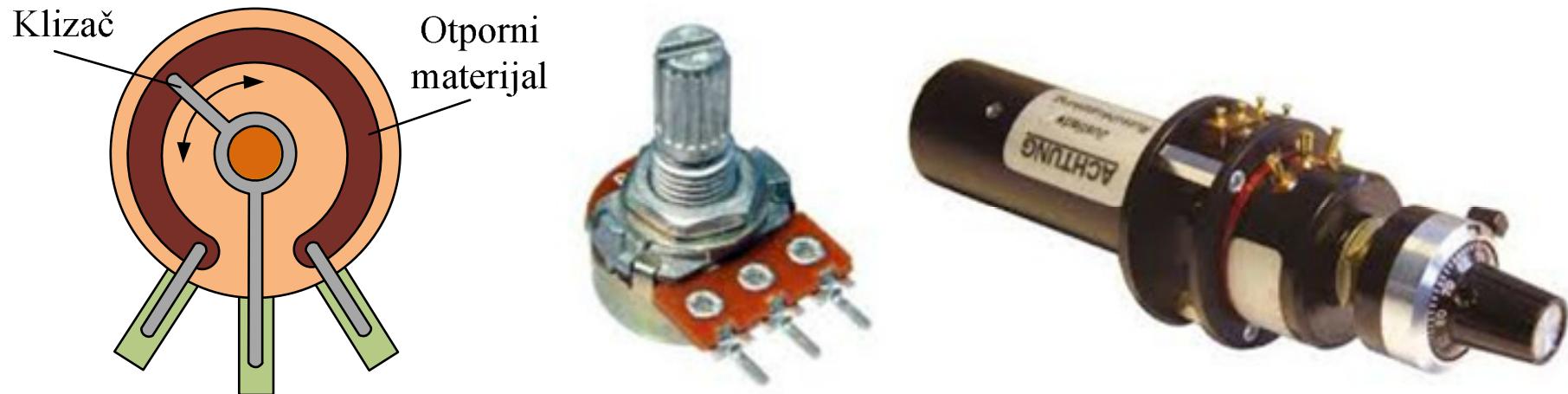
Otpornici sa stalnom otpornošću (film)

- Na **podlogu od keramike** se nanosi **otporni sloj** koji se izrađuje od oksida rutenija, iridijskog ili renijevog oksida. Debljina sloja je reda veličine 100 mikrometara, što ih čini i do 1000 puta debljim nego otpornike sa tankim slojem.
- Željena vrijednost otpora se dobiva uzastopnim nanošenjem otpornog sloja. Ovaj proces izrade je jeftiniji, a otpornici podnose veće snage
- Uobičajene tolerancije su 1% i 5%, a vrijednost otpora je do $100\text{M}\Omega$.



Promjenljivi otpornici (potenciometri)

- Kod ovih otpornika otpor se mijenja ručno zakretanjem osovine ili pomjeranjem klizača
- Najčešće se koriste u uređajima kao djeljitelji napona, na primjer za podešavanje jačine zvuka u audio uređajima
- Kao otporni materijal koristi se ugalj, metalni film, vodljiva plastika ili keramal (kompozitni materijal izrađen od keramike i metala)
- Promjena otpora može biti linearna i logaritamska.



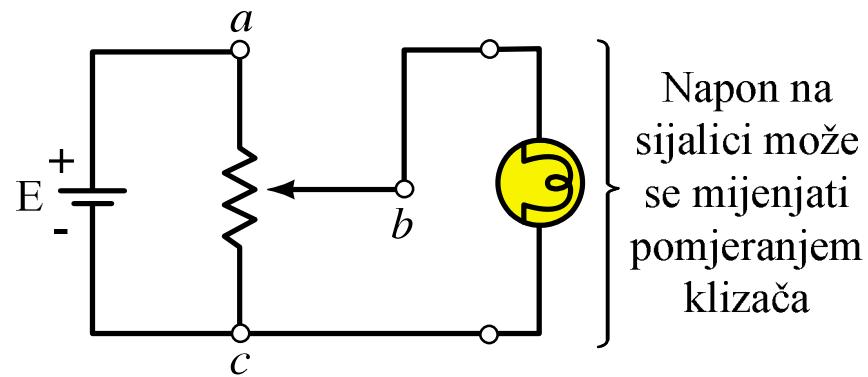
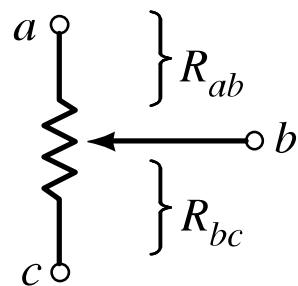
Promjenljivi otpornici (trimeri)

- Trimeri se koriste u kolima kada otpornost treba tačno odrediti u toku njihovog podešavanja i koju **ne treba često menjati** u toku eksploatacije.
- Po konstrukciji se ne razlikuju mnogo od standardnih potenciometara, sem što su manjih dimenzija i, kao i oni, mogu biti jednookretni i višeokretni, sa nemotanim (ugljeničnim, kermetnim) ili namotanim otpornim elementom
- Promjena otpora može biti linearna i logaritamska.

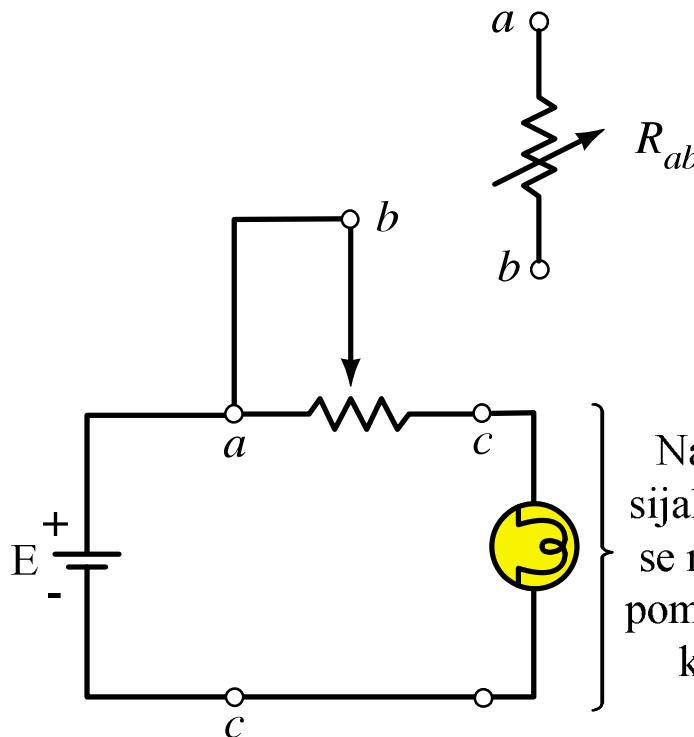


Povezivanje potenciometra (trimera) u strujno kolo

- U strujno kolo potenciometri se mogu povezati na dva načina:
 - Kao potenciometarski razdjelnik
 - Reostat



Potenciometarski razdjelnik



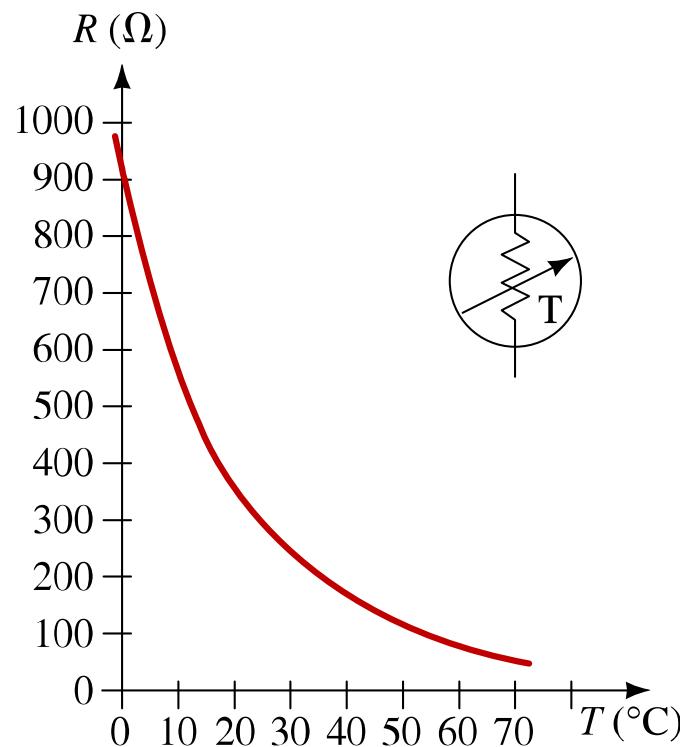
Reostat

Nelinearni otpornici (termistori)

- To su otpornici kojima se otpor mijenja sa **temperaturom**
- Postoje dvije vrste termistora:
 - sa **pozitivnim (PTC) temperaturnim koeficijentom** otpora
 - sa **negativnim (NTC) temperaturnim koeficijentom** otpora
- Termistori s **pozitivnim temperaturnim koeficijentom** nazivaju se još i **hladni provodnici**, jer na nižim temperaturama bolje provode električnu struju.
- Termistori s **negativnim temperaturnim koeficijentom** nazivaju se i **toplom provodnicima**, jer bolje provode električnu struju na višim temperaturama.

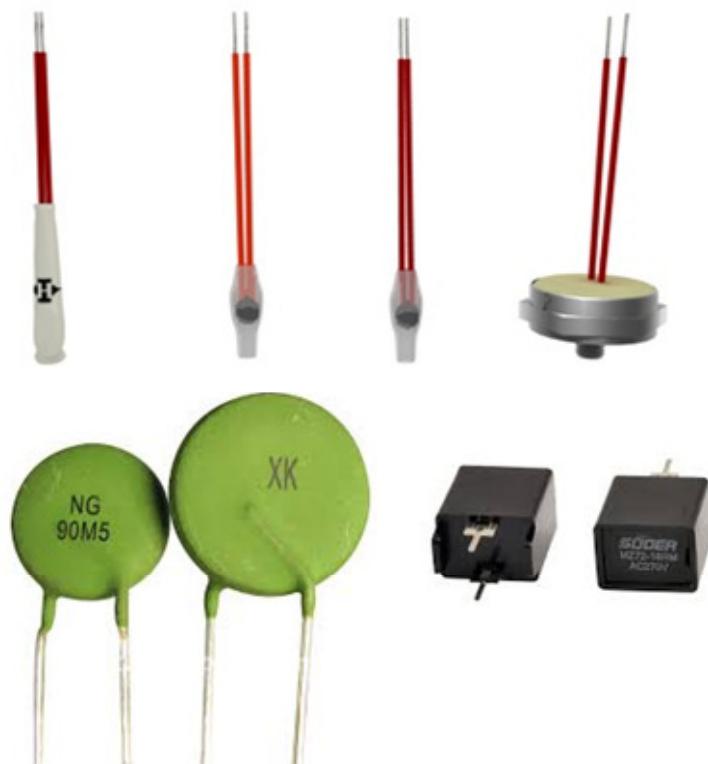
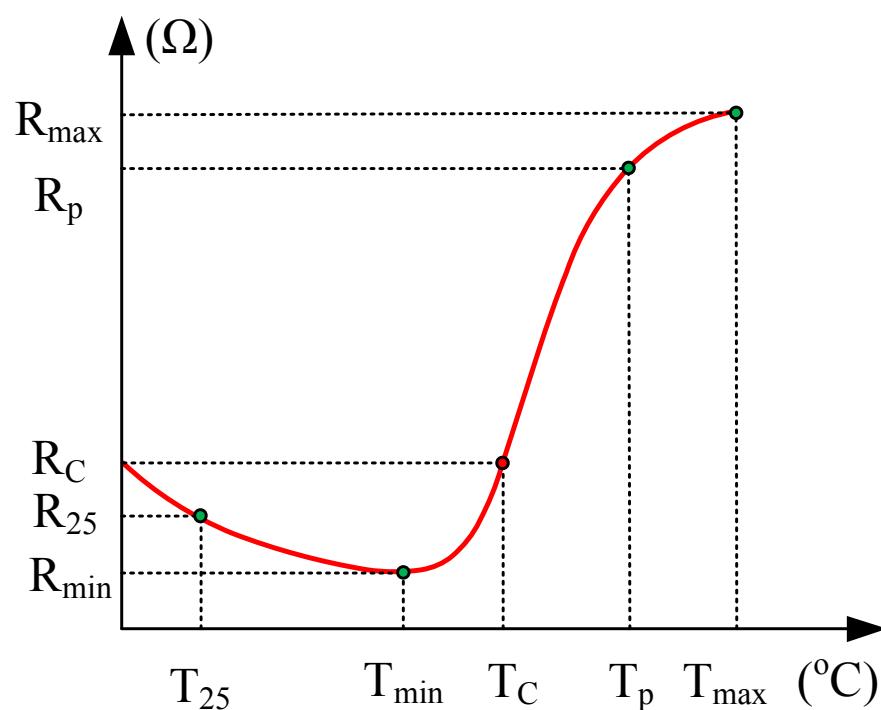
NTC otpornici

- NTC otpornici su termistori sa relativno **velikim negativnim temperaturnim koeficijentom otpornosti**.
- Najčešće se izrađuju od polikristalnih oksidnih poluprovodničkih materijala oksida prelaznih metala
- Veliku primjenu su našli oksidi kobalta (Co_2O_3), titana (TiO_2), aluminijuma (Al_2O_3), nikla (NiO), mangana (Mn_2O_3), cinka (ZnO),



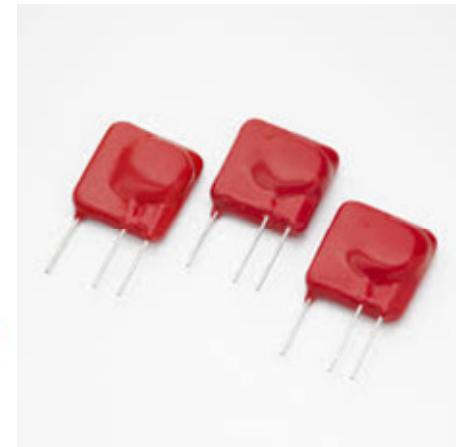
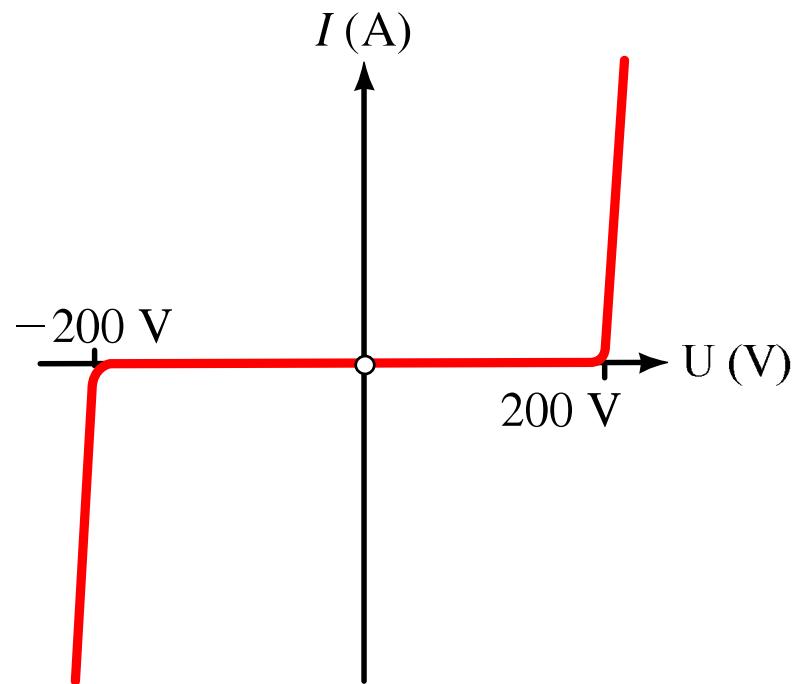
PTC otpornici

- Termistori sa **velikom pozitivnom vrednošću** temperaturnog koeficijenta otpornosti se drugim imenom zovu **pozistori**.
- Koriste se kao ograničavači struje (za prekostrujnu zaštitu) i kao limitatori temperature, za zaštitu motora, za regulaciju struja u telefoniji za zaštitu telefonskih linija, itd.



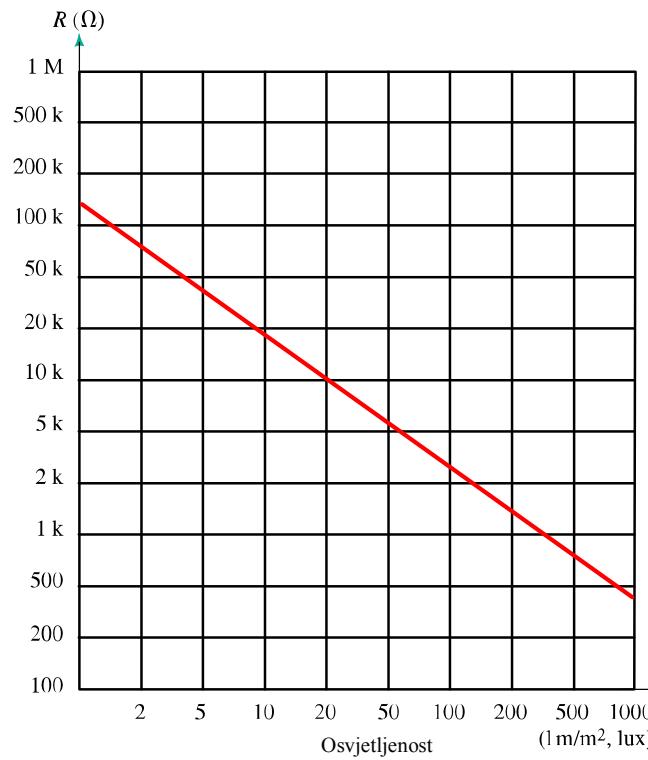
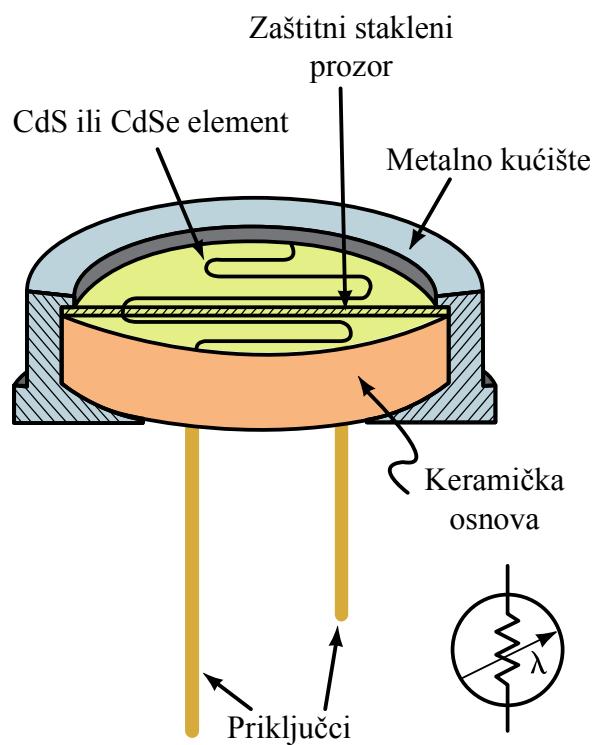
Nelinearni otpornici (varistori)

- Varistori ili VDR otpornici su otpornici kod kojih se otpornost **nelinearno mijenja** sa promenom jačine električnog polja, odnosno **napona** na njima
- Koriste se za zaštitu osjetljivih potrošača od prenapona.
- Varistori se najčešće izrađuju od cink oksida



Nelinearni otpornici (Foto-otpornici)

- Fotootpornici su poluprovodnički otpornici kod kojih se otpornost smanjuje pod uticajem svjetlosti.
- Rad poluprovodničkih fotootpornika zasnovan je na efektu fotoprovodnosti (unutrašnjem fotoelektričnom efektu).
- Izrađuju se od kadmijum sulfida (CdS), kadmijum selenida (CdSe), kadmijum sulfoselenida (CdSSe), cink sulfida (ZnS)



Mjerenje otpornosti

- **Ommetar** je mjerni instrument za mjerjenje električnog otpornosti reda od nekoliko Ω do nekoliko stotina $k\Omega$
- Tačnija mjerena otpornosti izvode se mosnim metodama kao što su **Vitstonov i Tomsonov most**.
- Prvi služi za mjerjenje **većih otpora** (reda veličine od jednog Ω do nekoliko desetaka $M\Omega$), a Tomsonov most za mjerjenje **malih otpora** (reda veličine od jednog Ω do $\mu\Omega$).



Ommetar



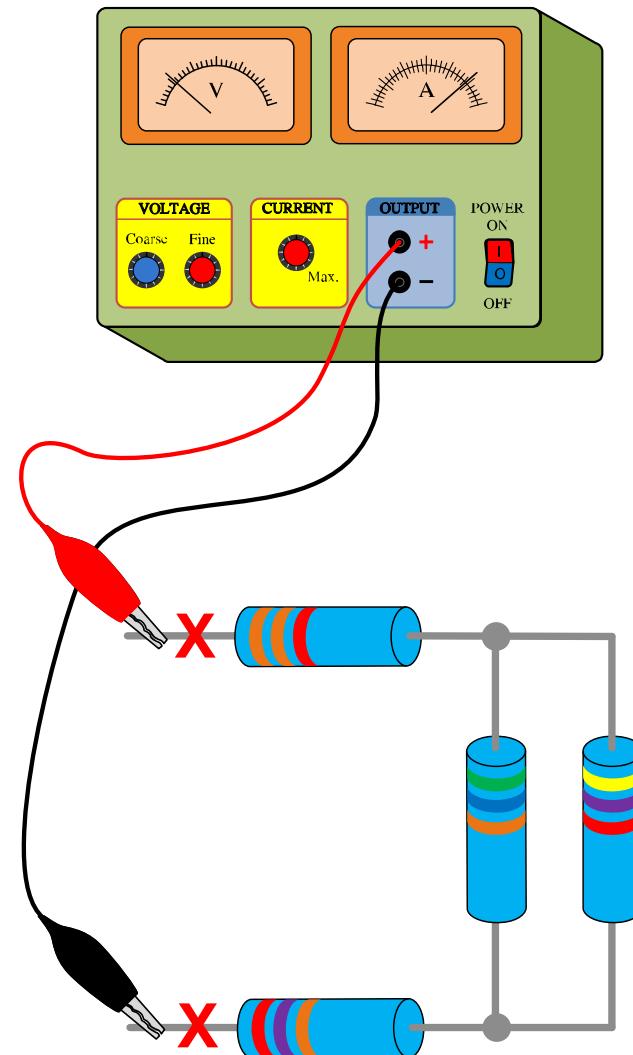
Vitstonov most



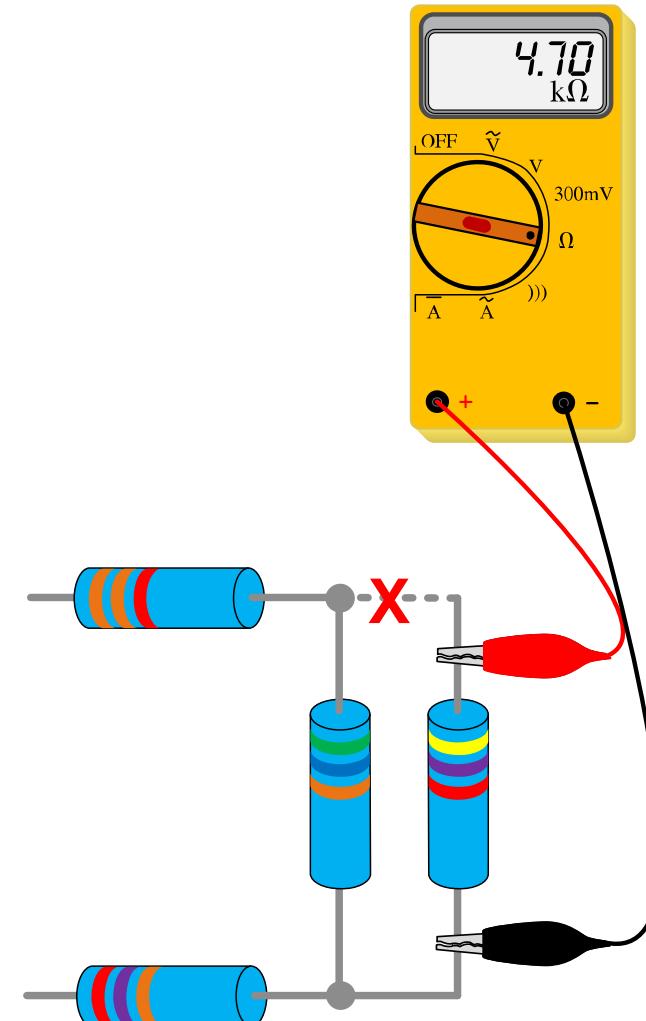
Tomsonov most

Postupak mjerjenje otpornosti ommetrom (multimetrom)

1. Ospojiti strujno kolo od izvora napajanja

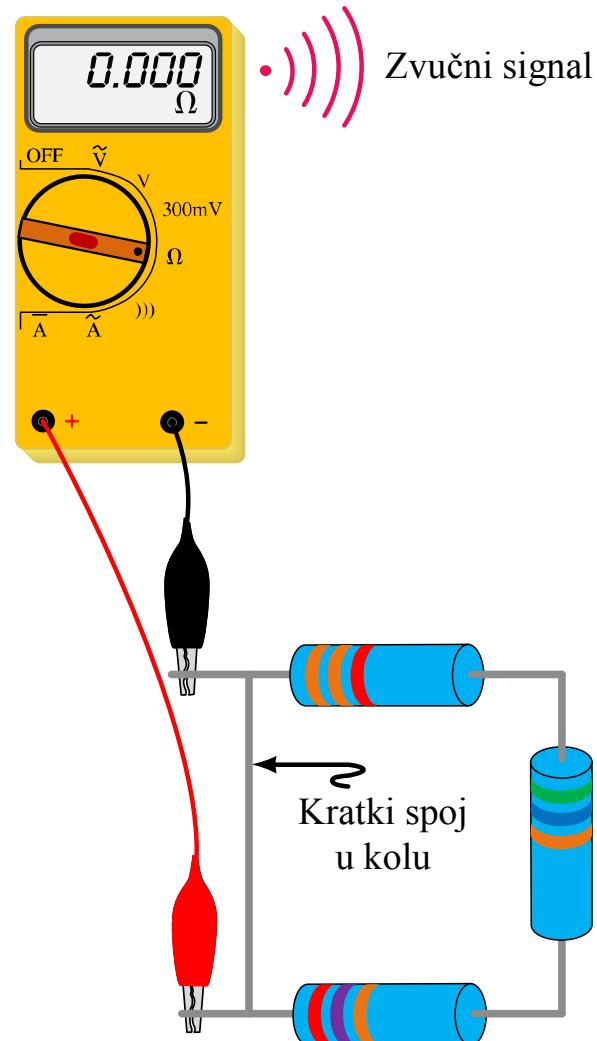


2. Ospojiti željeni otpornik od ostatka strujnog kola



Postupak mjerjenje otpornosti ommetrom (multimetrom)

Detekcija kratkog spoja u strujnom kolu



Detekcija prekida u strujnom kolu

