

# Informacije o predmetu



S V E U Č I L I Š T E U Z A G R E B U  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

**Dr. sc. Dalibor KUHINEK**

**Diplomirao:** 2000.  
**Magistrirao:** -  
**Doktorirao:** 2009.  
**Soba:** 208  
**Telefon direktni:** 5535 880 (5535 890 laboratorij)  
**Telefon kućni:** 7880 (7890 laboratorij)  
**E-mail:** dalibor.kuhinek@rgn.hr  
**Zavod/Sluzba:** Zavod za rudarstvo i geotehniku  
**Adresa:** Pierottijeva 6, 10002 Zagreb,  
Hrvatska



**Nastavni i drugi sadržaji**

[Prikaži sve](#)

*Zadnja izmjena: 11.10.2009 16:01:17*

## Literatura:

- Marinović** – Opća elektrotehnika i elektronika 1,
- Marinović** – Opća elektrotehnika i elektronika 2,
- Marinović** – Rudarska elektrotehnika (str. 345-458, Protueksplozijska zaštita)
- Zorić, Kuhinek** – Zbirka zadataka iz osnova elektrotehnike
- Zorić, Kuhinek** – Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz elektrotehnike i elektronike

**Ostale informacije na web stranicama:**

[http://rgn.hr/~dkuhinek/nids\\_daliborkuhinek/1%20OEE-RN/elteh\\_OE.htm](http://rgn.hr/~dkuhinek/nids_daliborkuhinek/1%20OEE-RN/elteh_OE.htm)

**Predavanja 50 %**

**Auditorne vježbe 50 %**

**Laboratorijske vježbe 100 %**

**Kolokviranje laboratorijskih vježbi ⇒ potpis**

**OSTALI ROKOVI**

**Zadaci**

**Teorija**

**Usmeni dio ispita - kvalifikacijska pitanja**

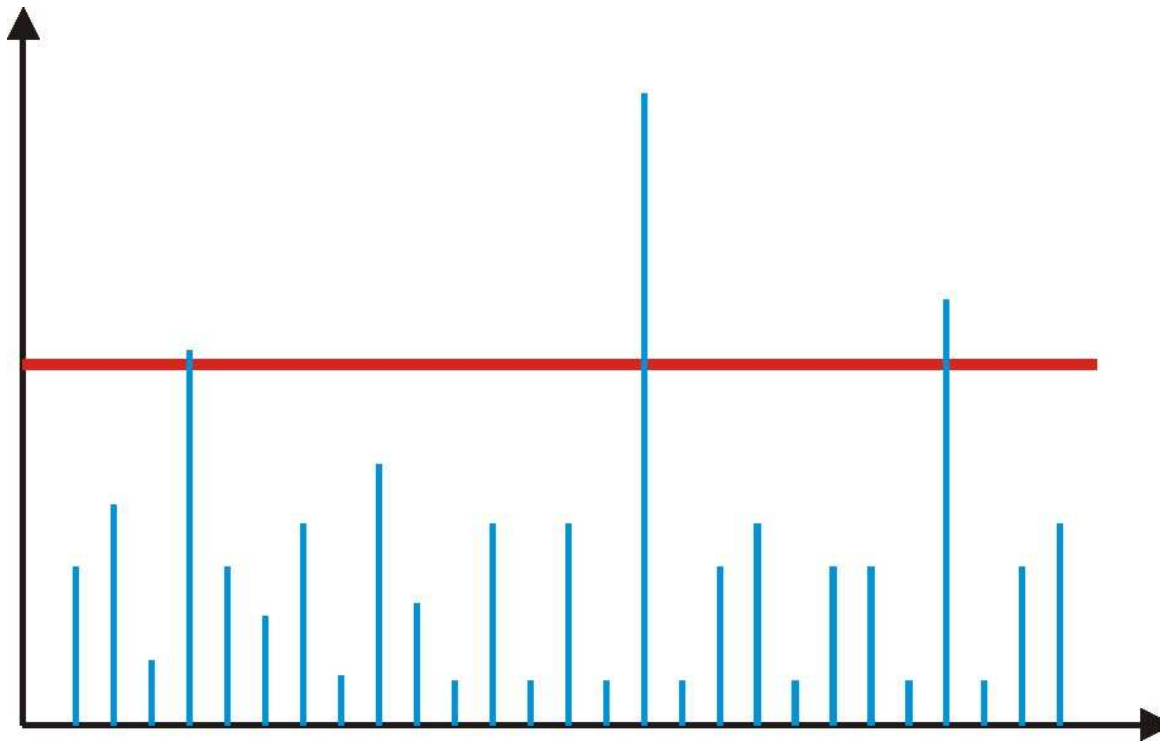
**OEE1 i OEE2 2 od 8**

**PEX 2 od 2**

**Za veću ocjenu od predložene nepotpuni odgovori na Pismenom - teorija**

**Svrha predmeta: upoznavanje sa osnovnim zakonitostima iz elektrotehnike**

**Cilj: upoznavanje sa terminologijom i njenim značenjem, primjena zakonitosti na konkretne probleme u praksi i životu.**

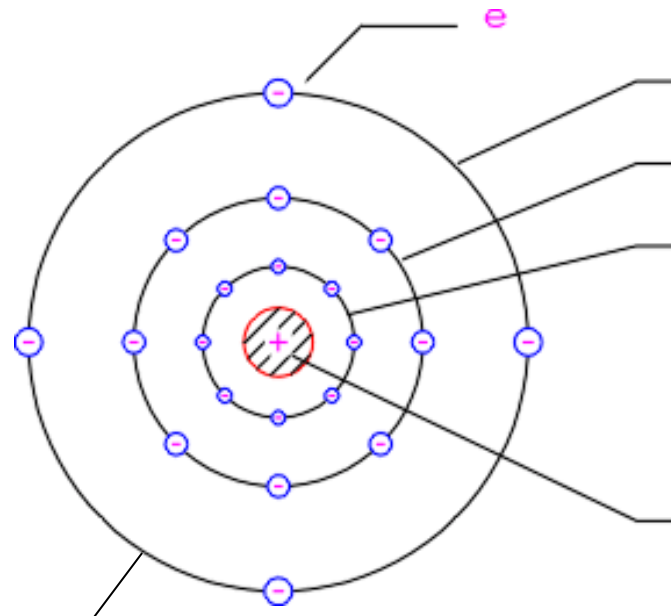


# STRUKTURA ATOMA

elektroni

$e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (As)}$

$m_e = 9,107 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$



razina energije I

razina energije II

razina energije III

$I < II < III$

$\sum n(+) = \sum n(-) = \sum e$

potrebne za  
oslobađanje  
elektrona

valentna ljuska

slobodni elektroni

vodiivost

atom s neuravnoteženim nabojem - ion

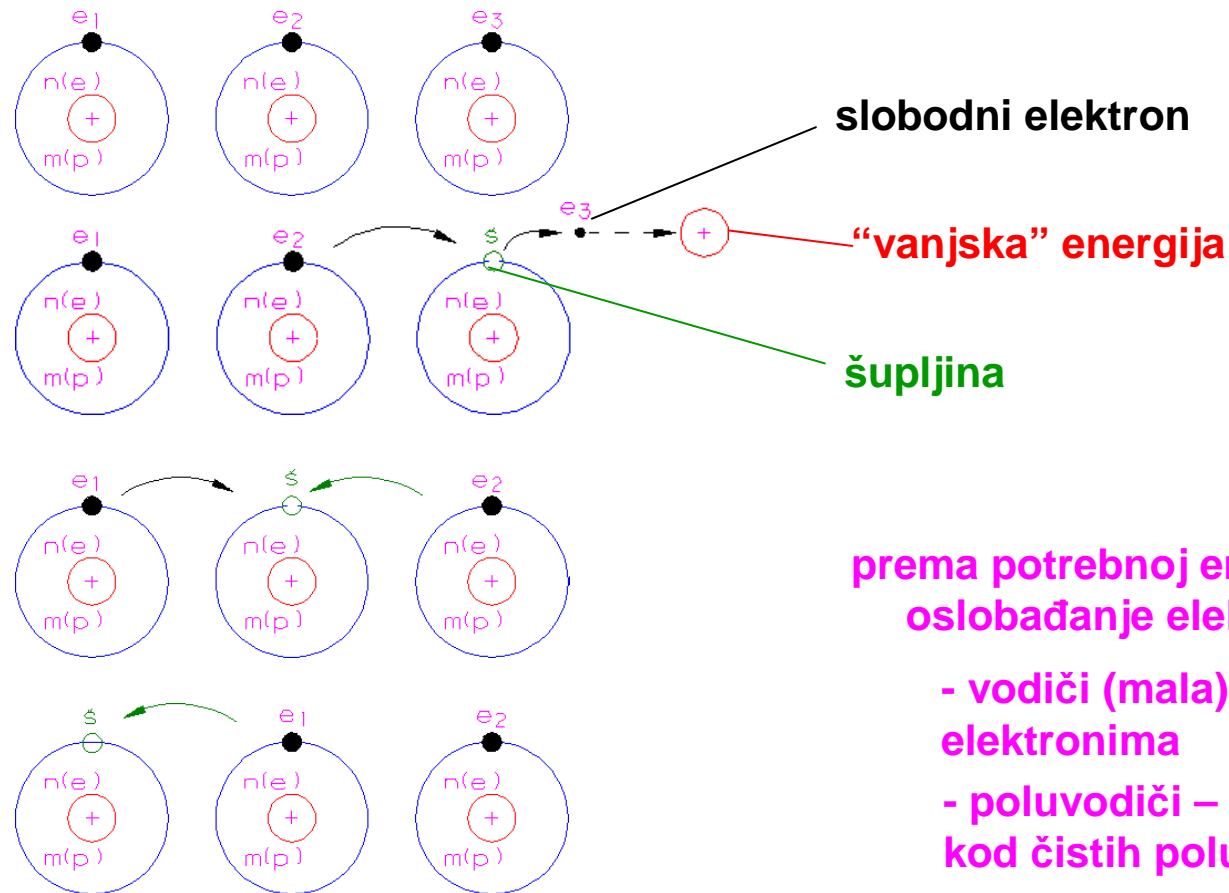
$m_p = 1837 m_e$

protoni + neutroni

$e = +1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (As)}$

$m_p = 1,6729 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## Gibanje elektrona i šupljina u materiji



prema potrebnoj energiji za oslobađanje elektrona:

- vodiči (mala) – obiluju slobodnim elektronima
- poluvodiči – (ovisi o temperaturi kod čistih poluvodiča)
- izolatori (velika - proboj) – jako malo slobodnih elektrona

**Definicija električne struje:**

**U čvrstim tvarima – usmjereno gibanje slobodnih elektrona od mjesta viška elektrona  
prema mjestu manjka elektrona**

**U tekućinama i plinovima – usmjereno gibanje iona**

**Tehnički smjer struje - smjer struje kakav se pretpostavlja pri rješavanju strujnih krugova.  
STRUJA TEČE OD POZITIVNOG PREMA NEGATIVNOM POLU IZVORA.**

**Stvarni smjer struje – smjer kretanja elektrona kroz vodiče  
SUPROTAN OD TEHNIČKOG SMJERA STRUJE PREMA NEGATIVNOM POLU IZVORA.**

razlika električnih potencijala → električni napon → kretanje slobodnih elektrona (struja)

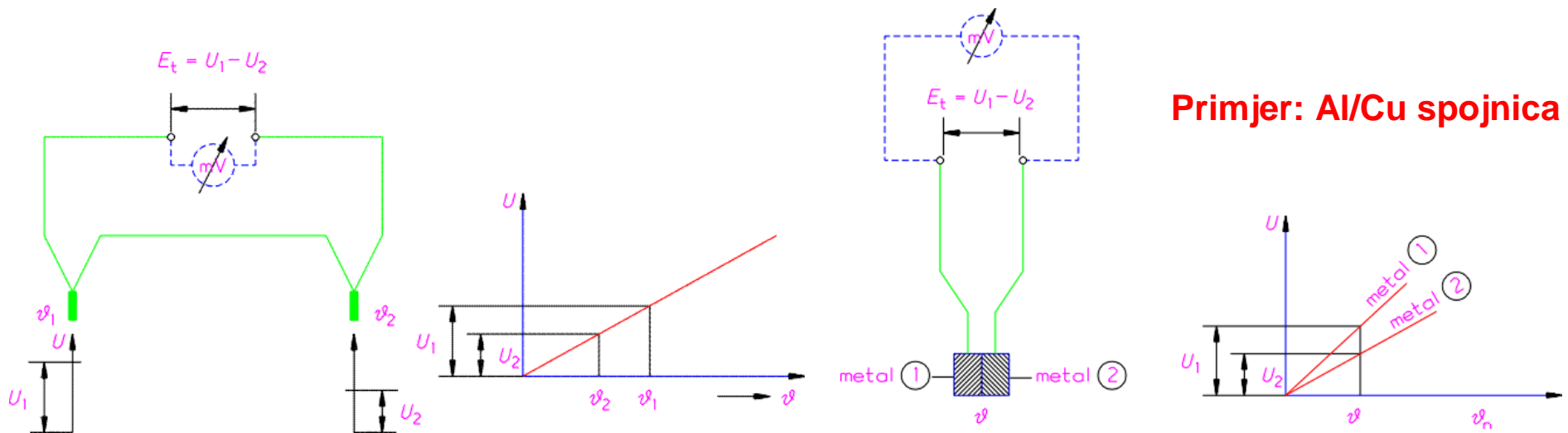
električni generatori stvaraju razliku električnog potencijala

## Generiranje potencijala

- termoelektrični

jednaki materijali na različitim temperaturama

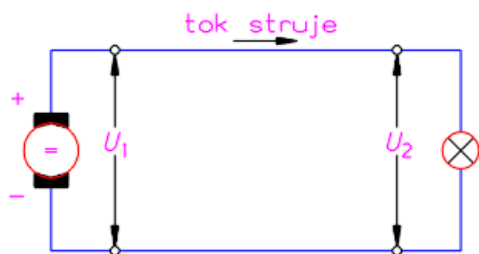
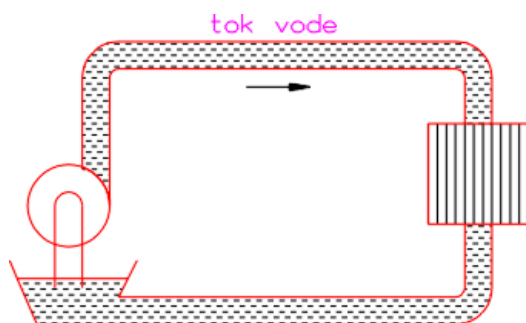
različiti materijali na istoj temperaturi



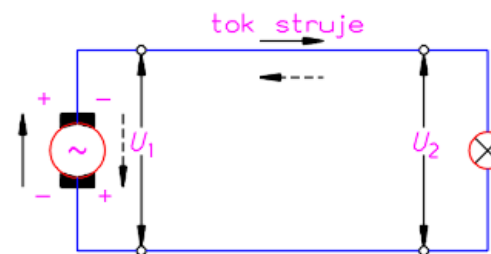
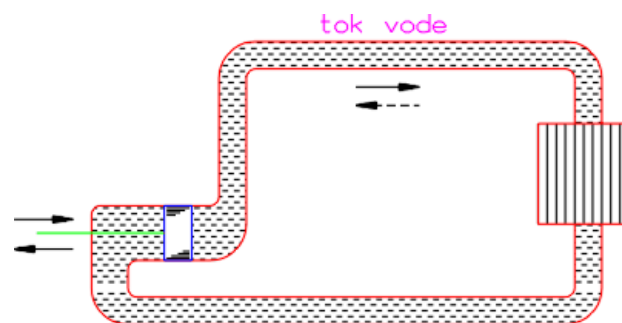
- elektrodinamski (gibanje vodiča u magnetnom polju)
- kemijski (elektrolitička disocijacija)
- mehanički (trenjem izolacijske površine)
- elektromagnetnim zračenjem (fotočelije)

**kretanje nabijenih čestica, slobodnih elektrona, (struja) ovisi o karakteru i obliku napona**

**istosmjerni tok**



**izmjenični tok**





# ELEKTRIČNE STRUJE

## ELEKTRIČNA STRUJA KROZ VODIČE - metale

### Električni otpor

$\rho$ - specifični električni otpor (za materijal duljine 1m i presjeka 1 mm<sup>2</sup>)  
“suprotstavljanje protoku struje”

jedinica  $1\Omega = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3 \text{A}^2}$  stara definicija (Hg duljine 1,06246m i presjeka 1 mm<sup>2</sup> pri 0°C)

električni otpor općenito -  $R = \rho \frac{l}{S} (\Omega)$   $l$  - duljina vodiča u m  $S$  - presjek vodiča u mm<sup>2</sup>

$$\rho \text{ (jedinica)} \quad 1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} = 1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{10^3 \text{mm}} = 1 \frac{\Omega \text{mm}}{10^3} = 1 \Omega \text{mm} \cdot 10^{-3} = 1 \Omega \text{m} \cdot 10^{-6}$$

$\kappa$ - specifična električna vodljivost (za materijal duljine 1 m i presjeka 1 mm<sup>2</sup>)  
“koliko dobro vodi struju”

$\kappa = \frac{1}{\rho} (\Omega^{-1} \text{m}^{-1})$  električna vodljivost općenito -  $G = \frac{1}{R}$

$$R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{l}{S}$$

temperaturni koeficijent otpora

specifični otpor pri temperaturi  $\vartheta$   $\rho_{\vartheta} = \rho_0 [1 + \alpha(\vartheta - 20)]$

specifični otpor pri temperaturi 20°C

$$R_{\vartheta} = R_{20} [1 + \alpha \cdot (\vartheta - 20)]$$

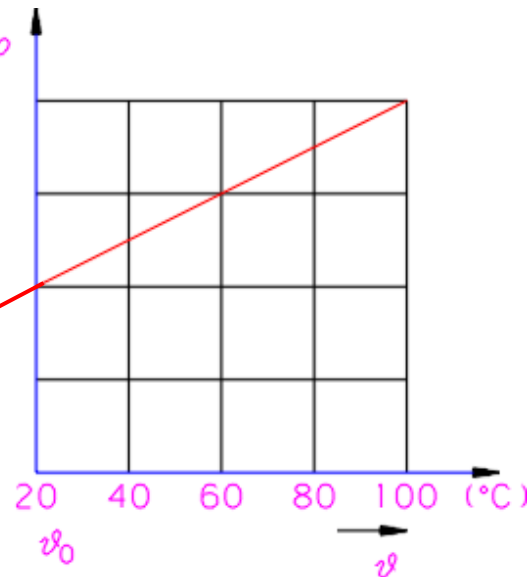
$R_{\vartheta}$  - otpor pri temperaturi  $\vartheta$

$R$  - vrijednost otpora pri početnoj temperaturi

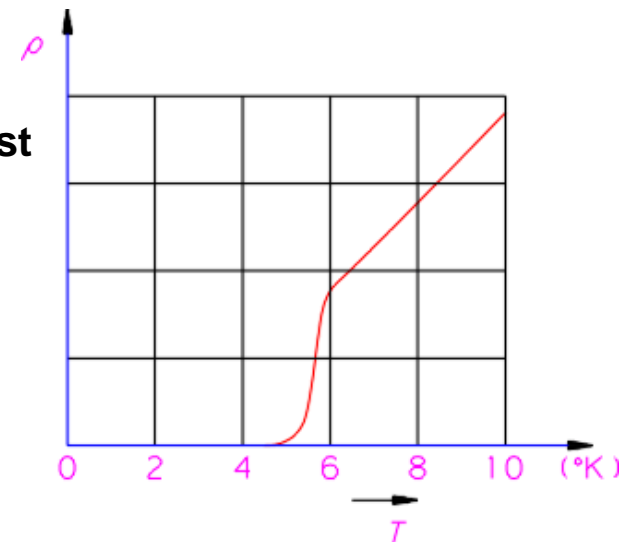
$\Delta\vartheta$  - razlika temperature

$\alpha$  - temperaturni koeficijent otpora


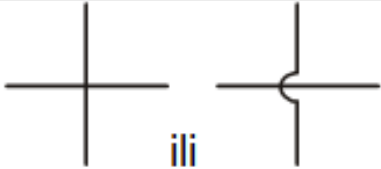


ovisnost otpora  $\rho$   
vodiča o  
temperaturi

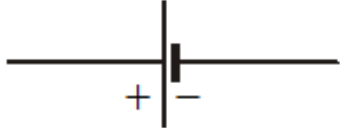
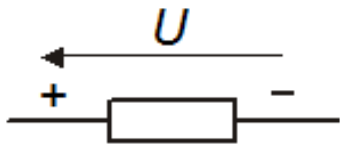
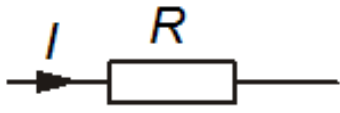


supravodljivost

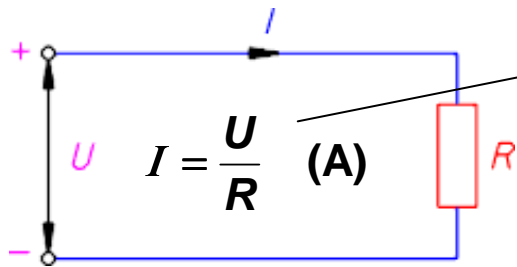


## Simboli i njihovo značenje

Simbol	Naziv
	Električni Vodič
 ili	Križanje vodiča
	Spoj vodiča
	Otpornik

	Izvor istosmjernog napona
	Označavanje pada napona
	Označavanje smjera struje

## Ohmov zakon

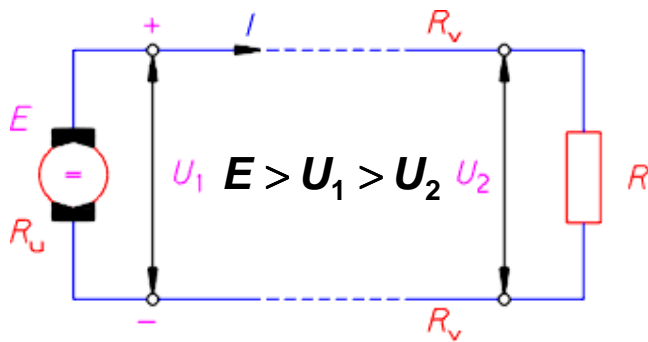


prema uz  $1\Omega = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3\text{A}^2}$  slijedi

$$1\text{V} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3\text{A}}$$

izvedena jedinca za volt

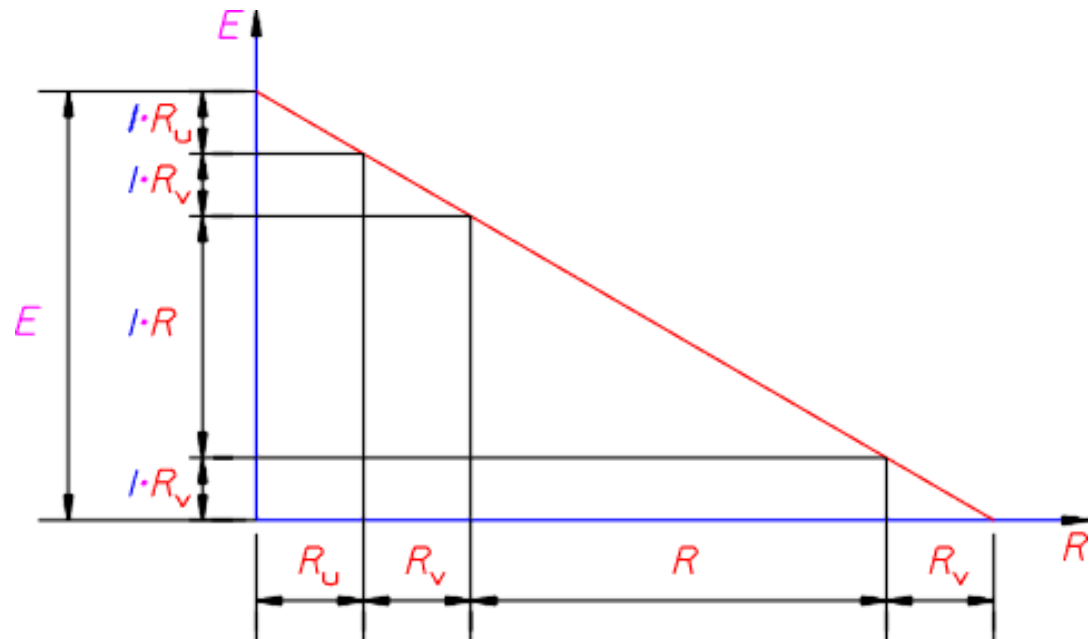
## Strujni krug



$$E - U_1 = I \cdot R_u$$

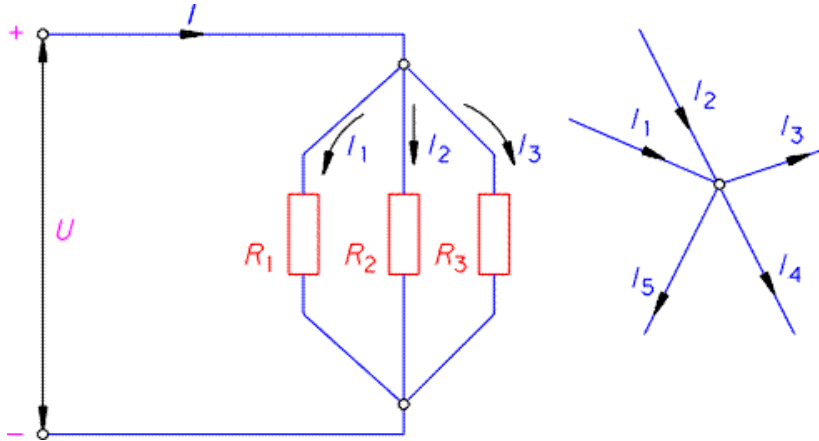
$$U_1 - U_2 = I \cdot 2R_v$$

$$U_2 = I \cdot R$$



# Kirchhoffovi zakoni

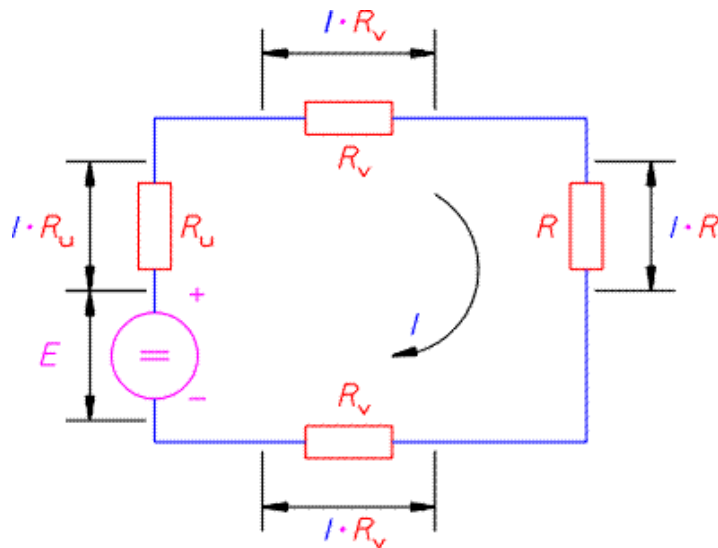
## I. (struje u čvorovima)



$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

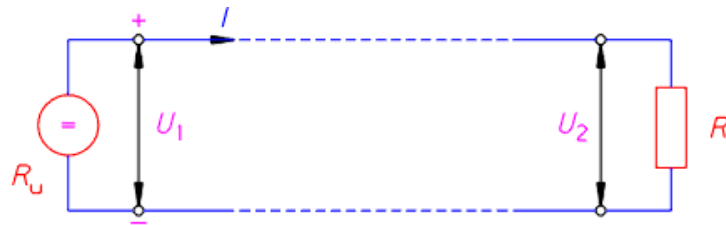
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

## II. (naponi u zatvorenim petljama)



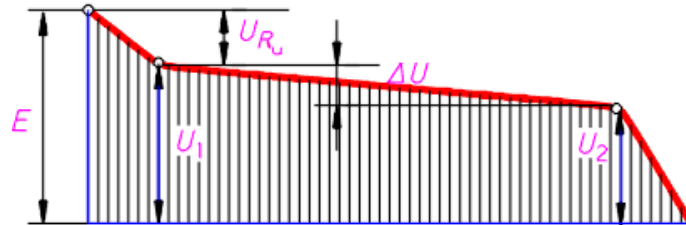
$$E - I \cdot R_u - I \cdot R_v - I \cdot R - I \cdot R_v = 0$$

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

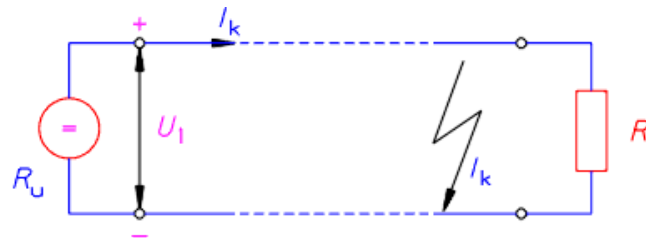


strujni krug s izvorom i trošilom električne energije u normalnim uvjetima rada

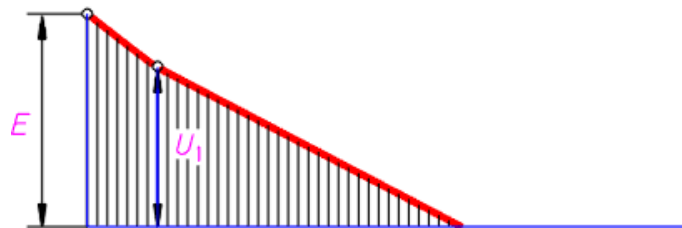
$$I = \frac{U_2}{R}$$



kratki spoj u strujnom krugu izvora s trošilom električne energije



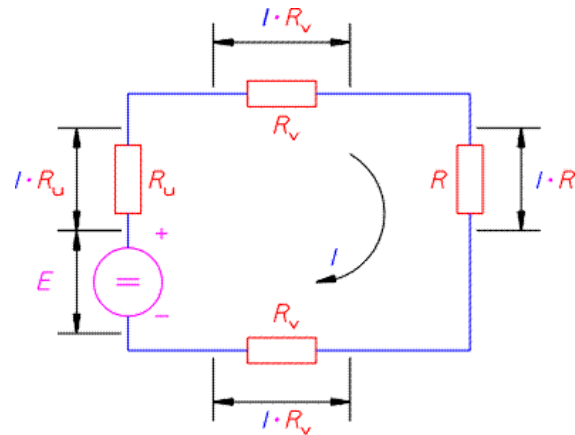
$$I_k \gg I$$



$$I_k = \frac{E}{R_u + R_v} = \frac{E}{\sum R_k}$$

## Spajanje otpornika

### Serijsko spajanje otpornika



prema II. KZ  $\sum_{i=1}^n U_i = 0$  slijedi

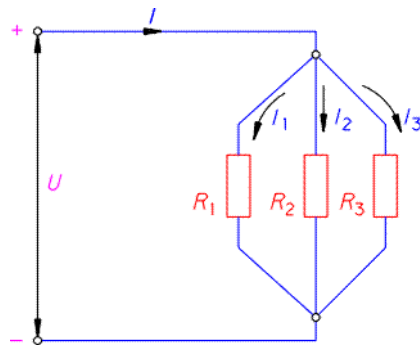
$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n \quad I = \text{kroz sva trošila}$$

$$U = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n) = I \sum_1^n R_i = I \cdot R$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$R = \sum_1^n R_i$$

### Paralelno spajanje otpornika



prema I. KZ  $\sum_1^n I_i = 0$  slijedi  $I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + \dots + I_{Rn}$

$$I = \sum_1^n I_{Ri} \quad \frac{U}{R} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \quad \text{odnosno}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_1^n \frac{1}{R_i}$$

ili preko vodljivosti

$$G = G_{R1} + G_{R2} + G_{R3} + \dots + G_{Rn}$$

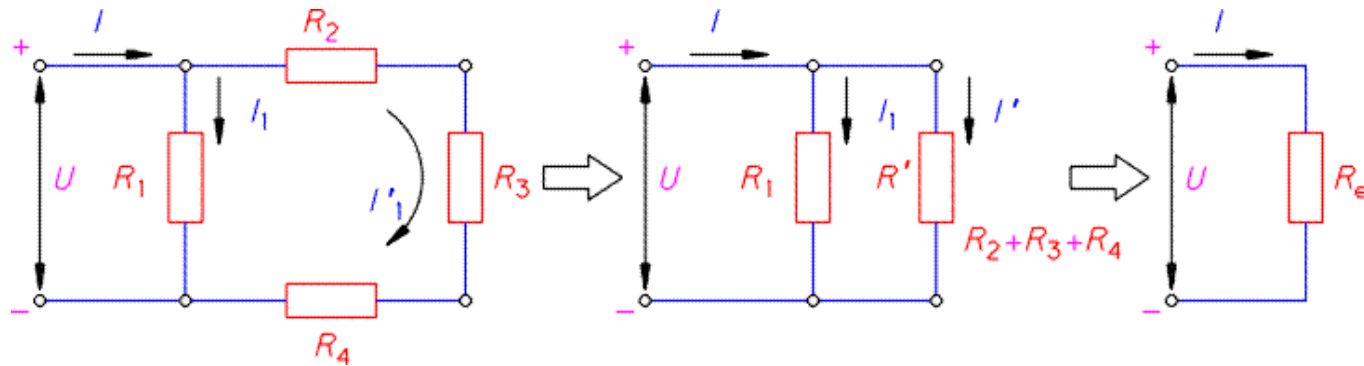
$$G = \sum_1^n G_i$$

$$R = \frac{1}{\sum_1^n G_i} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{R_i}}$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

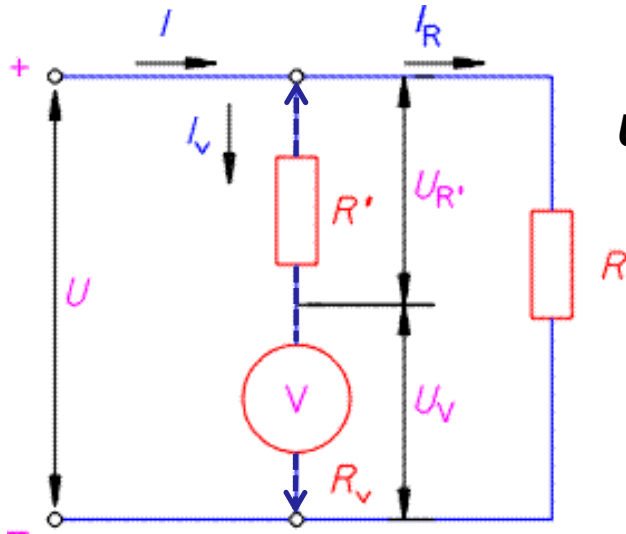
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

## Mješovito spajanje otpornika



$$R_e = \frac{R_1 \cdot R'}{R_1 + R'} = \frac{R_1(R_2 + R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

## Proširenje mjernog područja voltmetra



$U = U_v + U_{R'} = I(R_v + R')$  za proširenje mjernog područja

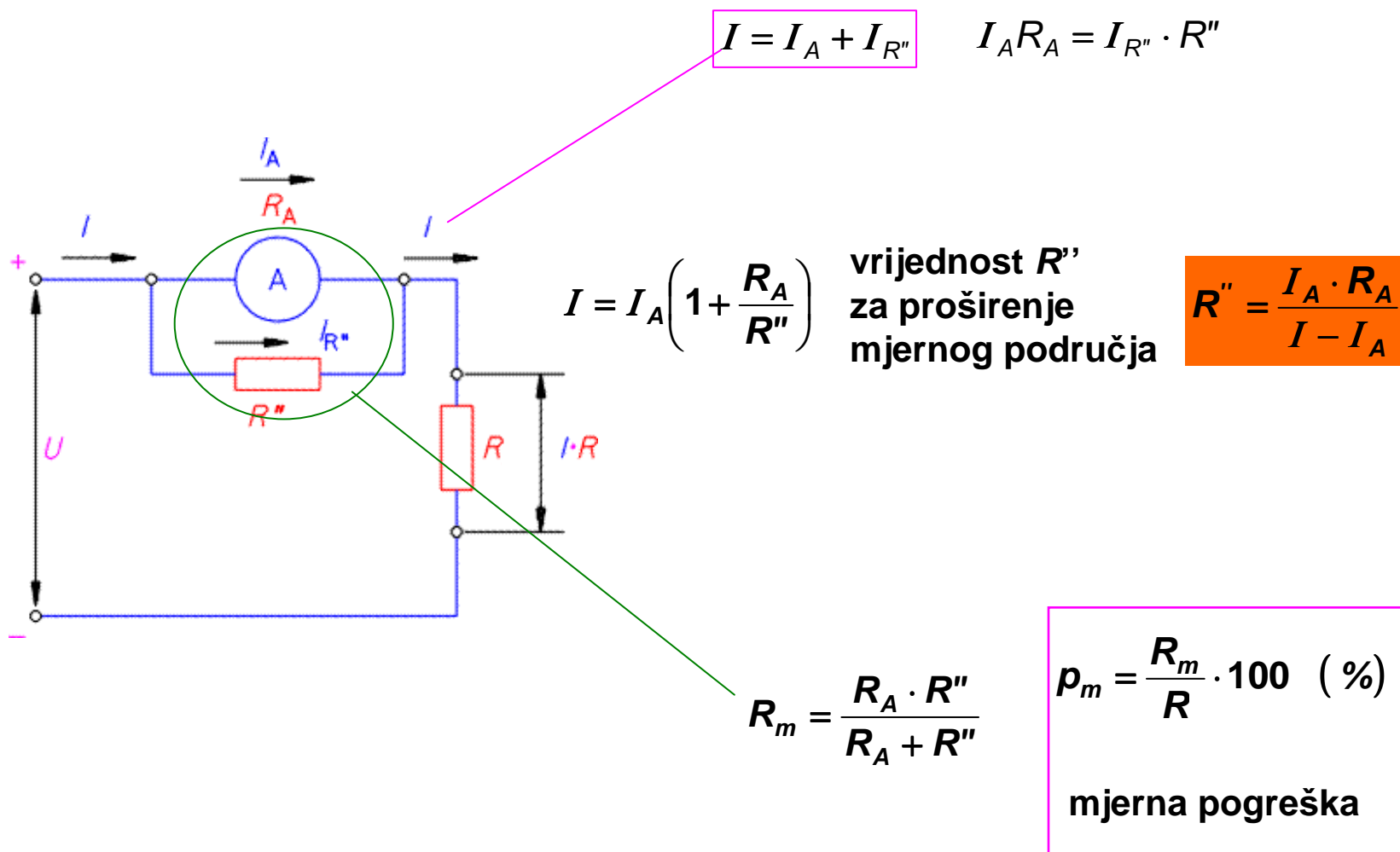
$$R' = R_v \left( \frac{U}{U_v} - 1 \right)$$

za mjernu pogrešku do 5 %  $\frac{(R' + R_v)R}{R' + R_v + R} \geq 0,95 \cdot R$

$\uparrow R' \downarrow$  mjerna pogreška  $\frac{(R' + R_v)R}{R' + R_v + R}$  (uz  $R' \rightarrow \infty$ ) = R



## Proširenje mjernog područja ampermetra

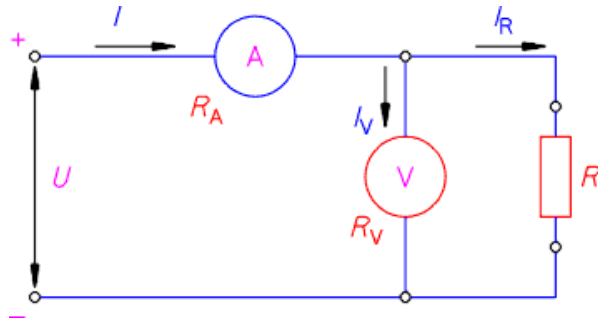


Mjerenje otpora U-I metodom

$$R = \frac{U}{I} \quad (\Omega)$$

mjerenje malih otpora  $R_V \gg R$

tada je  $I_V \ll I_R$  odnosno  $I \approx I_R$



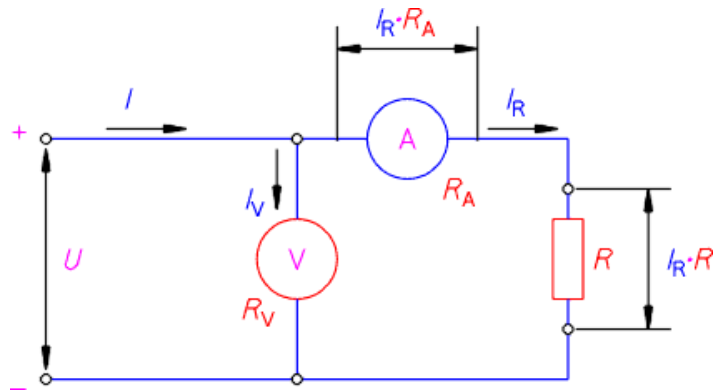
$$R_V > 100 \cdot R$$

$$R = \frac{U}{I_R} = \frac{U \cdot R_V}{I \cdot R_V - U} = \frac{R_V}{\frac{I \cdot R_V}{U} - 1} \quad (\Omega)$$

$$I_R = I - \frac{U}{R_V} \quad \text{te je} \quad R = \frac{R_V}{\frac{I \cdot R_V}{U} - 1}$$

mjerenje velikih otpora  $R_A \ll R$

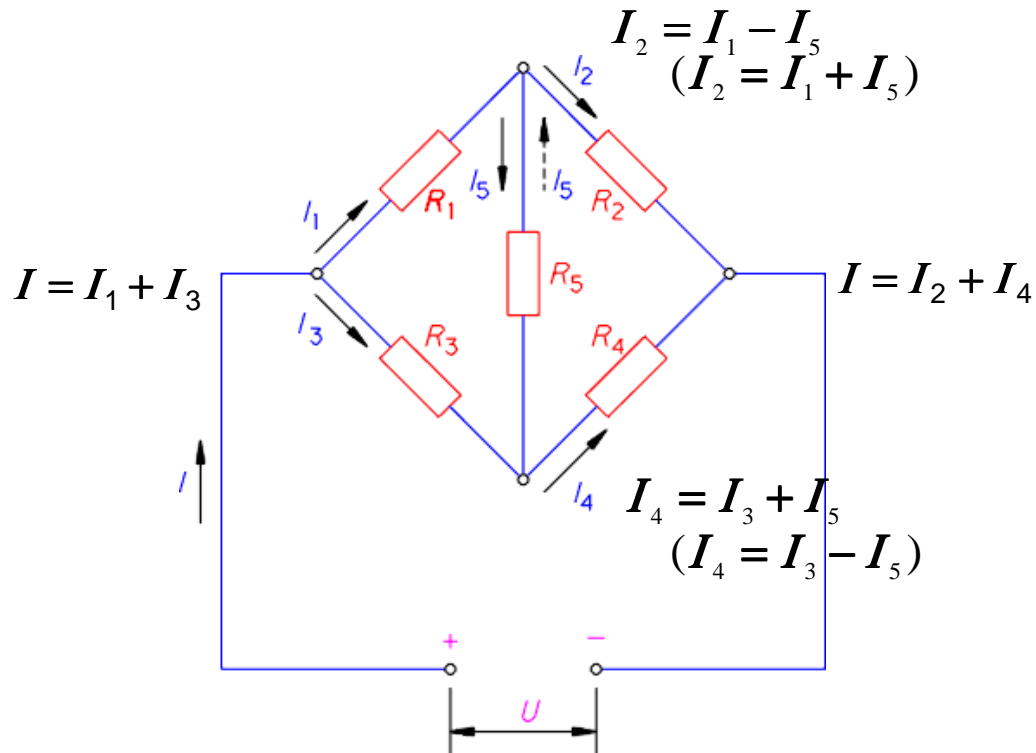
tada je  $I_R \cdot R_A \ll I_R \cdot R$



$$R > 100 \cdot R_A$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{U - I_R \cdot R_A}{I_R} = \frac{U}{I_R} - R_A = \frac{U}{I} - R_A \quad (\Omega)$$

## Wheatstoneov most



$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 = I$$

$$U = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4$$

ravnoteža mosta

$$I_5 \cdot R_5 = 0$$

$$I_1 = I_2 \quad I_3 = I_4$$

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3 \quad I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4$$

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_3 \cdot R_3}{I_4 \cdot R_4}$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

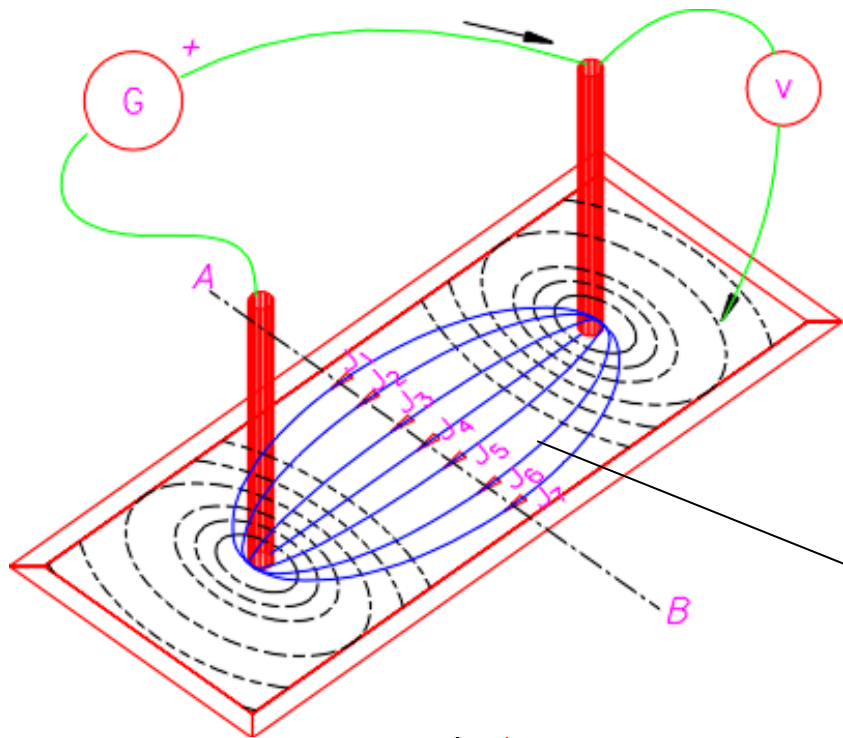
Primjeri korištenja:

Nul metode – za mjerenje nepoznatog otpora, induktiviteta, kapaciteta, impedancije

Mjerenje deformacija elektrootpornim trakama (jedna ili više, spojena u Wheatstoneov most)

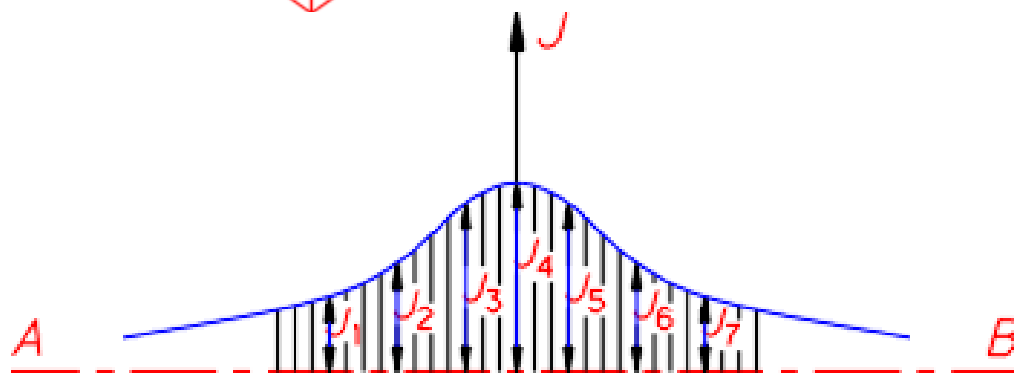
Mjerenje temperature – osjetilu se mijenja otpor s temperaturom

## Strujna gustoća



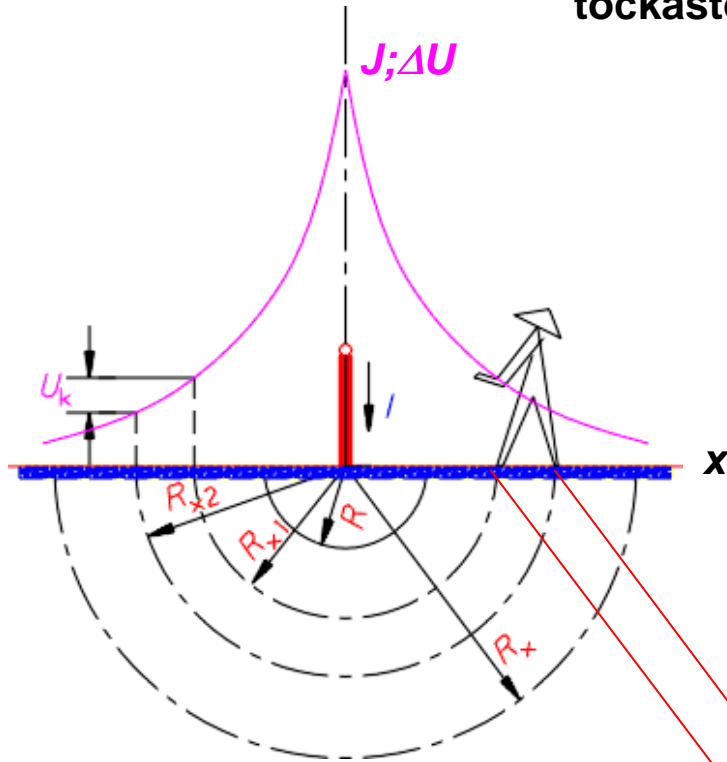
$$J = \frac{I}{S} \quad \left( \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right)$$

nejednolika  
raspodjela  
strujne gustoće



**U žici valjkastog oblika strujna gustoća je jednolika – paziti na ograničenje za vodič**

## točkasto uzemljenje



$$J_x = \frac{I}{2\pi \cdot x^2} \quad (\text{A/m}^2)$$

$J_x$  - strujna gustoća

$I$  - struja uzemljiivača

$x$  - udaljenost od uzemljiivača

pad napona izražen strujnom gustoćom

$$\Delta U = I \cdot R_z = \frac{I \cdot \rho \cdot l}{S} = \rho \cdot J \cdot l$$

za uzemljiivač oblika kugle polumjera  $r$

$$\Delta U_x = \int_r^x J_x \cdot \rho = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \int_r^x \frac{dx}{x^2} = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} \right) \quad (\text{V})$$

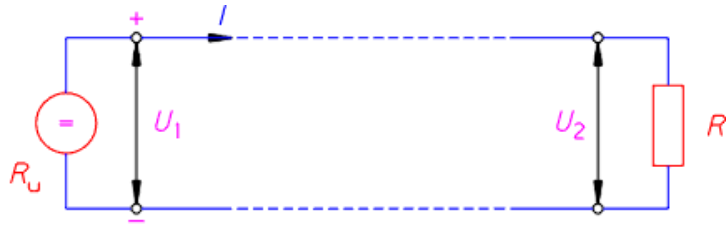
otpor

$$R_z = \frac{\Delta U_\infty}{I} = \frac{\rho}{2\pi \cdot r} \quad (\Omega)$$

napon koraka

$$U_k = \Delta U_{x_2} - \Delta U_{x_1} = \int_{x_1}^{x_2} J_x \cdot \rho = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) \quad (\text{V})$$

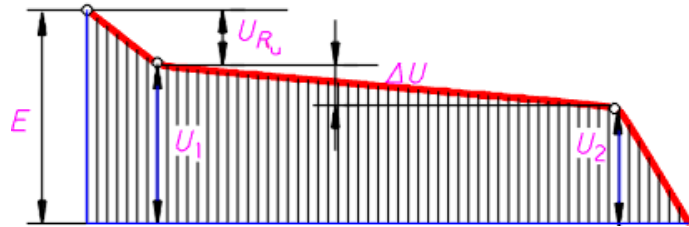
## Rad



$$A = U \cdot I \cdot t \quad (\text{Ws}) \quad (\text{J})$$

$U$  - napon u V       $I$  - struja u A       $t$  - vrijeme u s

## Snaga



$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I \quad (\text{VA}) \quad (\text{W}) \quad (\text{J/s}) \quad (\text{Nm/s})$$

uz korištenje Ohmovog zakona dobiva se

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

$$A = I^2 \cdot R \cdot t$$

Proizvedena toplina razmjerna je kvadratu struje, električnom otporu i vremenu prolaza struje kroz otpor.

Joulov zakon

za vodiče vrijedi  $P = J^2 \cdot S \cdot \rho \cdot l$  uz  $k = S \cdot \rho \cdot l$

$$P = k \cdot J^2$$

Snaga (gubici) su proporcionalni kvadratu strujne gustoće (zagrijavanje u normalnom radu i tijekom greške)