

Informacije o predmetu



S V E U Č I L I Š T E U Z A G R E B U
R U D A R S K O - G E O L O Š K O - N A F T N I F A K U L T E T

Doc. 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: 14.10.2013 9:50:59

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

Predavanja 50 %

Auditorne vježbe 50 %

Laboratorijske vježbe 100 %

Kolokviranje laboratorijskih vježbi ⇒ potpis (i mogućnost prijave ispita na studomatu

OSTALI ROKOVI

Zadaci

Teorija

Usmeni dio ispita - kvalifikacijska pitanja

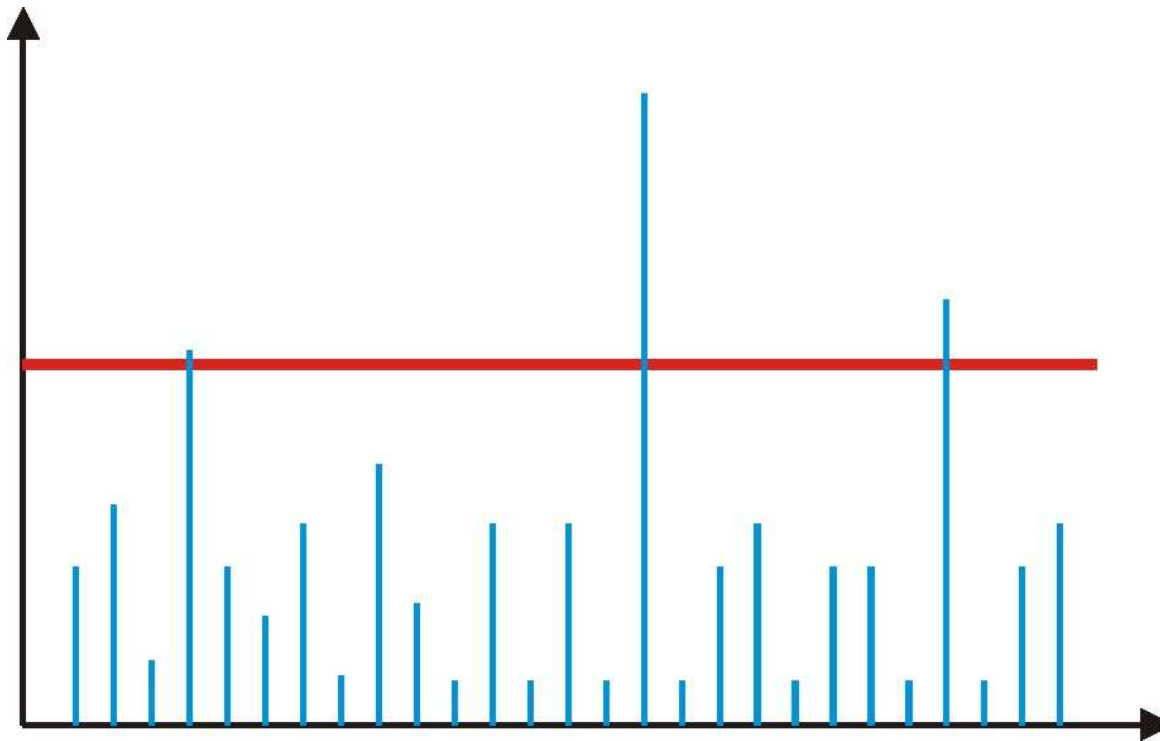
OEE1 i OEE2 2 od 8

PEX 2 od 2


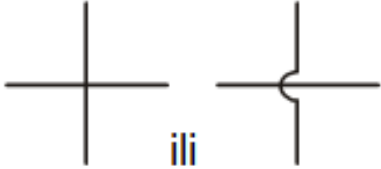


Za veću ocjenu od predložene nepotpuni odgovori na Pismenom - teorija


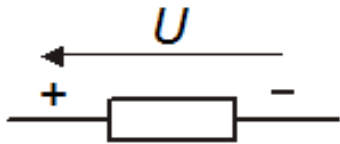
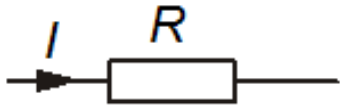
Svrha predmeta: upoznavanje sa osnovnim zakonitostima iz elektrotehnike

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



Simboli i njihovo značenje

Simbol	Naziv
	Električni Vodič
	Križanje vodiča
	Spoj vodiča
	Otpornik

	Izvor istosmjernog napona
	Označavanje pada napona
	Označavanje smjera struje

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.**

Fizikalne pojave koje nastaju kod tijeka električne struje:

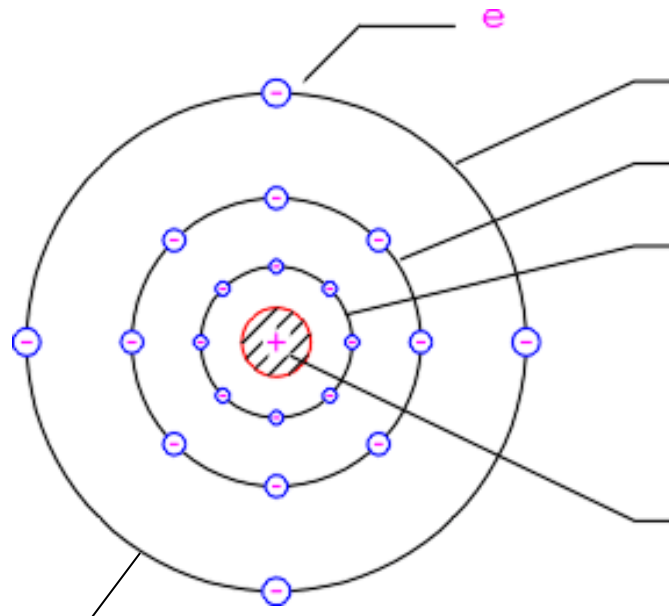
- Toplinski efekti (zagrijavanje)**
- Magnetski efekti (magnetsko polje)**
- Elektrokemijski efekti (struja – voda – kisik + vodik)**

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

vodljivost

atom s neuravnoteženim nabojem - ion

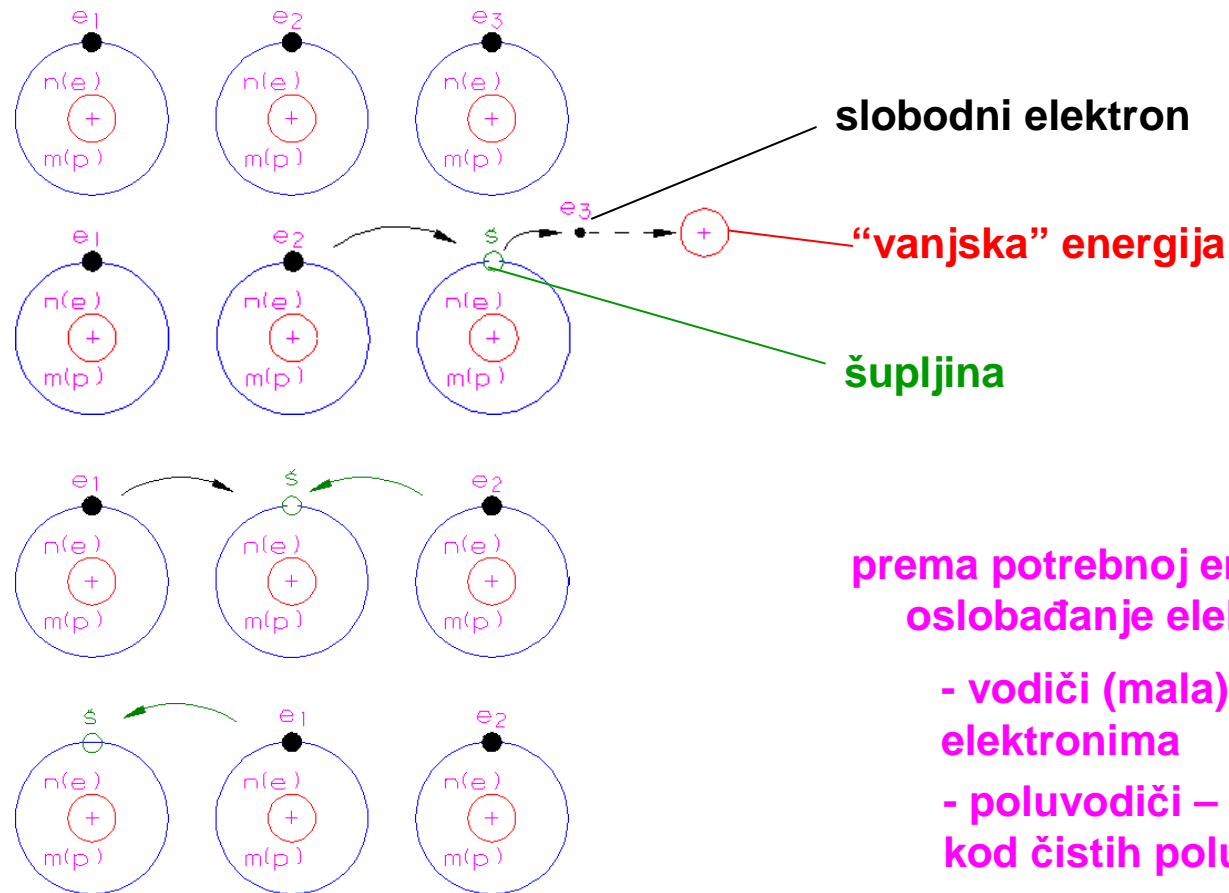
$$m_p = 1837 m_e$$

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

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

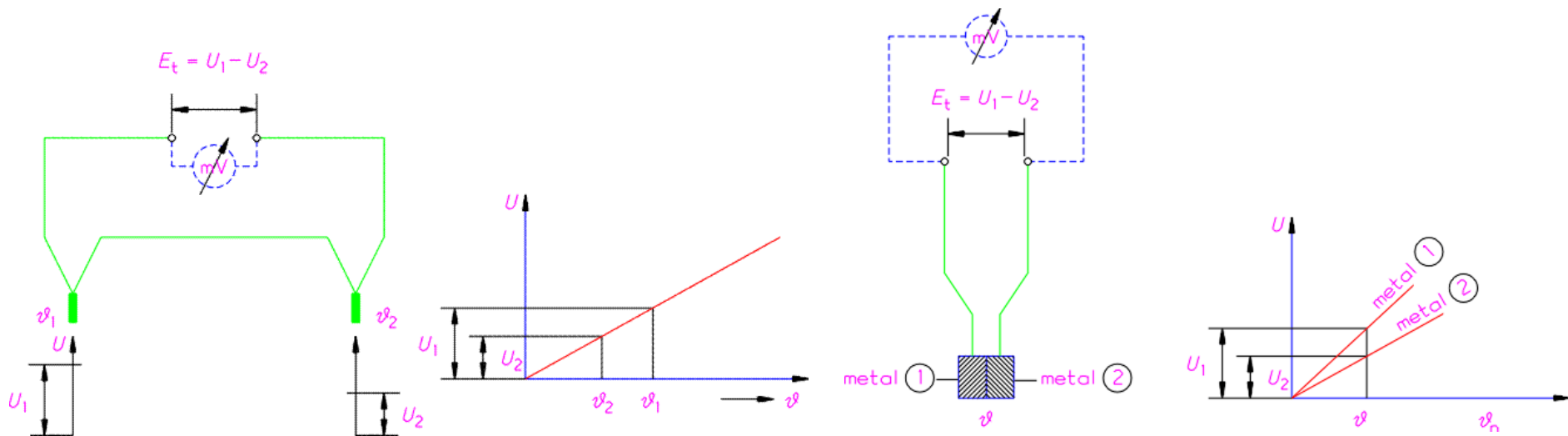
električni generatori stvaraju razliku električnog potencijala

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 (fotoćelije)

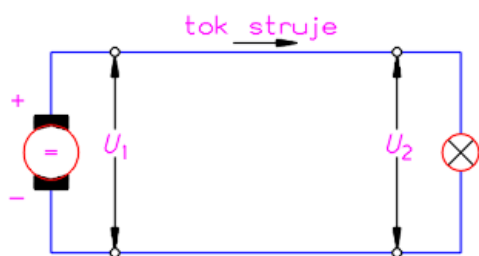
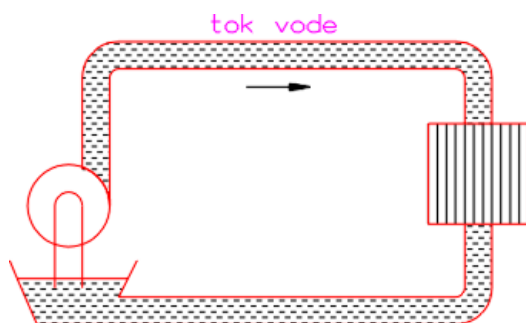
Primjer: Al/Cu spojnica

Tipični naponi nekih izvora

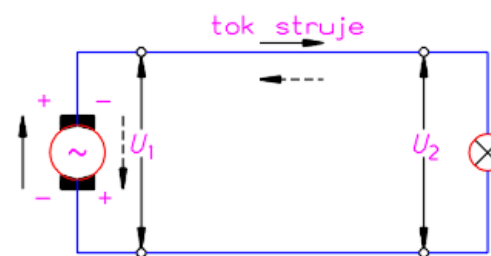
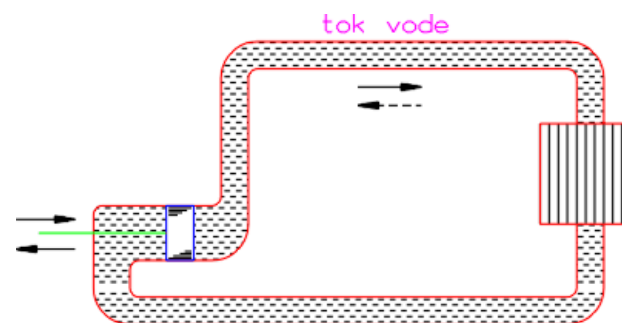
Primjer	Napon V	Primjer	Napon V
Signal u elektroencefalografiji (EEG)	do $5 \cdot 10^{-5}$	Električna jegulja (nabijena)	650
Signal u elektrokardiografiji (EKG)	do 0,005	Željeznička mreža	3000
Baterije 1 članak	1,5	Kineskop	16000
Olovni akumulator	2,12	Dalekovodi	$4 \cdot 10^5$
Efektivni napon električne mreže	230	Najviši dalekovodni naponi	$1,5 \cdot 10^6$
Tramvajska mreža	600	Između zemlje i olujnih oblaka	do 10^8

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

ρ - specifični električni otpor (za materijal duljine 1 m i presjeka 1 mm²)
“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 mm² pri 0°C)

električni otpor općenito - $R = \rho \frac{l}{S} (\Omega)$ l - duljina vodiča u m S - presjek vodiča u mm²

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

κ - specifična električna vodljivost (za materijal duljine 1 m i presjeka 1 mm²)
“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 ϑ $\rho_{\vartheta} = \rho_0 [1 + \alpha(\vartheta - 20)]$

specifični otpor pri temperaturi 20°C

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

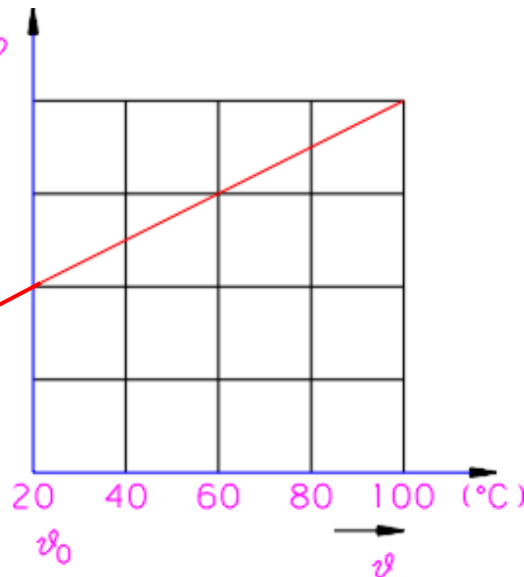
R_{ϑ} - otpor pri temperaturi ϑ

R - vrijednost otpora pri početnoj temperaturi

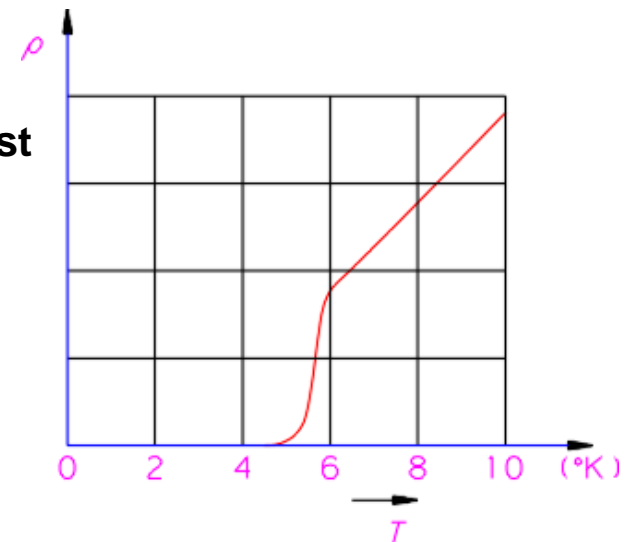
$\Delta\vartheta$ - razlika temperature

α - temperaturni koeficijent otpora

ovisnost otpora ρ
vodiča o
temperaturi



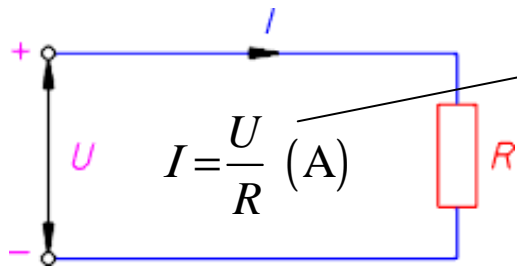
supravodljivost



Specifični otpor i temperaturni koeficijent otpora nekih materijala

Materijal	Specifični otpor ρ pri 20 °C $\left(\frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}\right)$	Temperaturni koeficijent otpota α (1/°C)
Bakar	$0,0175 = \frac{1}{57}$	0,004
Aluminij	$0,033 = \frac{1}{30}$	0,0037
Srebro	0,0159	0,0038
Zlato	0,0244	0,0034
Bronza	0,02...0,028	0,001
Željezo	0,13...0,18	0,0048
Mjed (žuta)	0,07...0,08	0,0015
Nikelin	0,4	-
Kromnikal (Cekas)	1...1,1	-
Konstantan	0,5	-
Manganin	0,42	-
Platina	0,094	0,0024
Ugljen	50...100	negativni

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

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

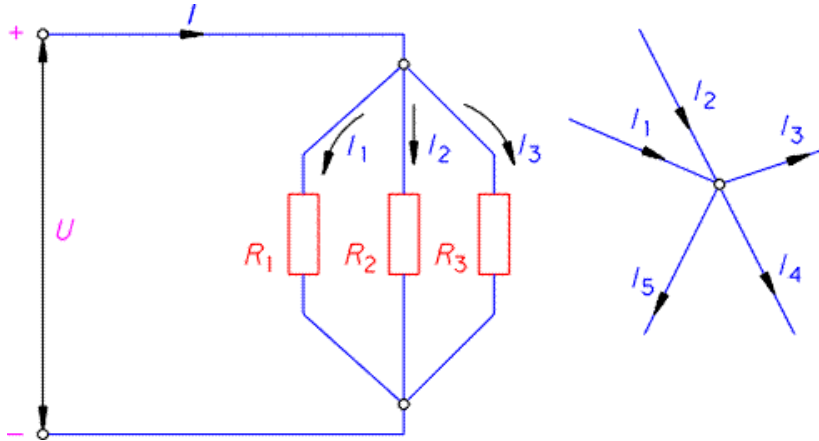
$$U = I \cdot R \text{ (V)}$$

uz 1,5 V i 100 Ω struja je

$$I = \frac{1,5 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$$

Kirchhoffovi zakoni

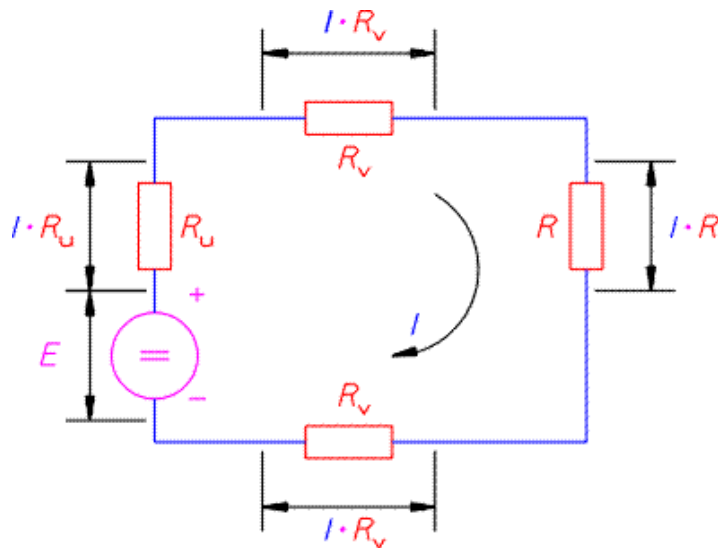
I. (struje u čvorovima)



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

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

II. (naponi u zatvorenim petljama)



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

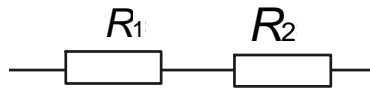
$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

Spajanje otpornika

Serijsko spajanje otpornika

dva vodiča jednakih dimenzija spojeni jedan na drugi:

->povećanje duljine



$$l_{\text{uk}} = l_1 + l_2 \text{ (m)} \quad R = \rho \frac{l}{S} \text{ (\Omega)}$$

$$R_{\text{uk}} = \frac{\rho}{S} (l_1 + l_2) \text{ (\Omega)} \quad R_{\text{uk}} = \rho \frac{2 \cdot l}{S} = 2 \cdot R_1 = 2 \cdot R_2 \text{ (\Omega)}$$

$$R = \sum_1^n R_i$$

Paralelno spajanje otpornika

dva vodiča jednakih dimenzija spojeni jedan pored drugog:

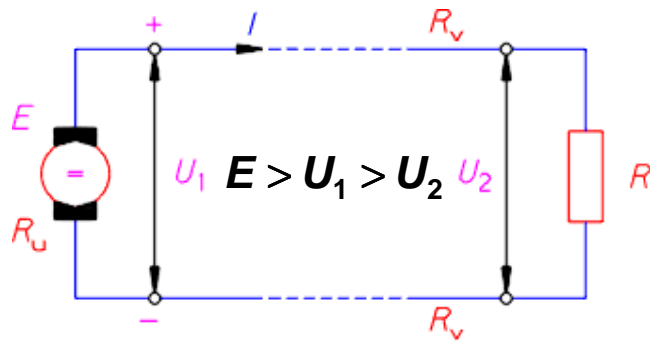
->povećanje površine presjeka

$$S_{\text{uk}} = S_1 + S_2 \text{ (m)} \quad R = \rho \frac{l}{S} \text{ (\Omega)}$$

$$R_{\text{uk}} = \rho \frac{l}{(S_1 + S_2)} \text{ (\Omega)} \quad R_{\text{uk}} = \rho \frac{l}{2 \cdot S} = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2} \text{ (\Omega)}$$

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

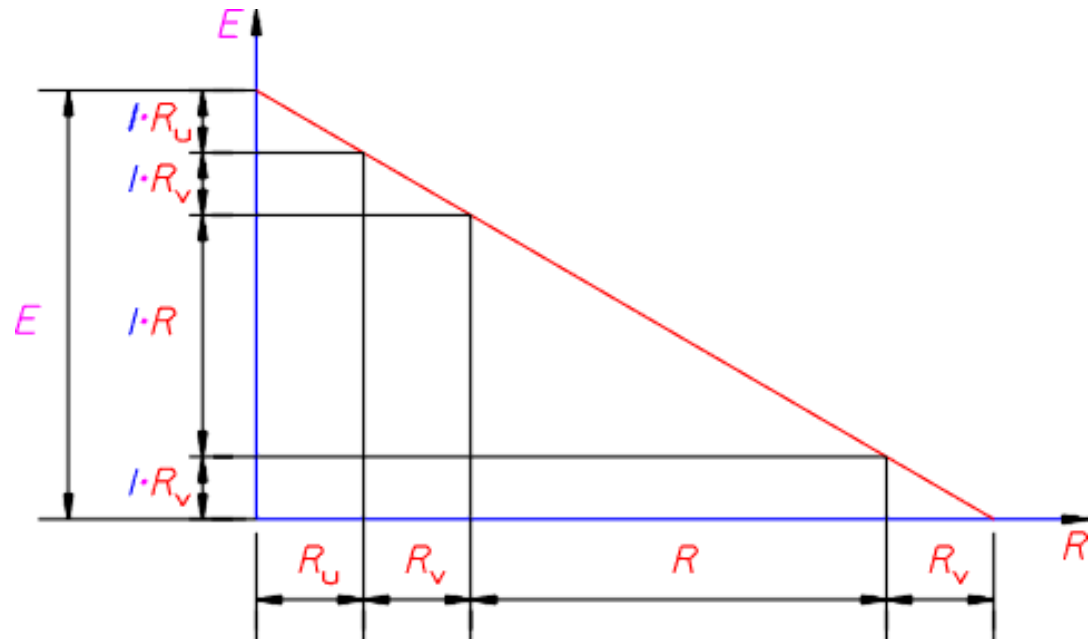
Strujni krug



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

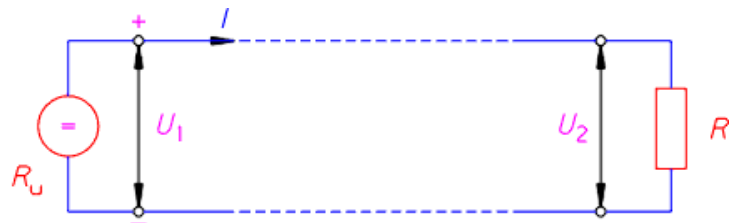
$$U_1 - U_2 = I \cdot 2R_v$$

$$U_2 = I \cdot R$$



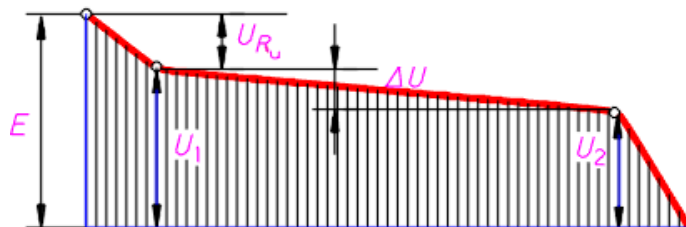
idealni izvor – nema unutrašnjeg otpora

realni izvor – ima unutrašnji otpor -> kada je $I=0$ A, $U=E$, u svim ostalim slučajevima napon U na stezaljkama je manji od elektromotorne sile E .

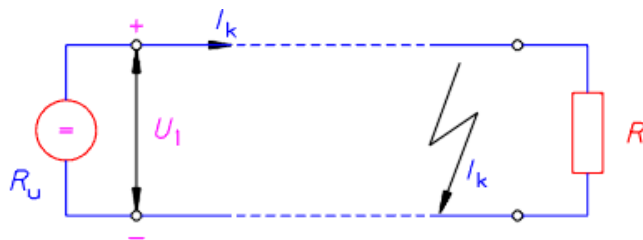


strujni krug s izvorom i trošilom električne energije u normalnim uvjetima rada

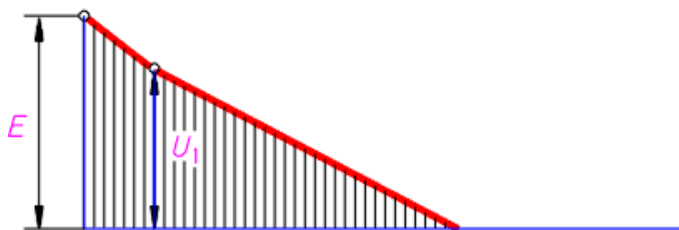
$$I = \frac{U_2}{R}$$



kratki spoj u strujnom krugu izvora s trošilom električne energije



$$I_k \gg I$$



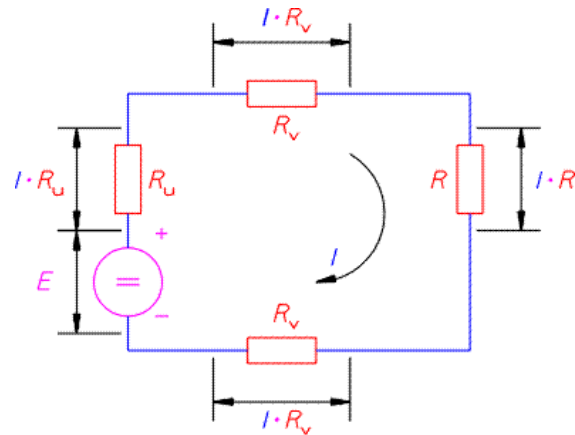
$$I_k = \frac{E}{R_u + R_v} = \frac{E}{\sum R_k}$$

Napon varira od E do 0 V pri kratkom spoju.

Osigurači, svrha, shema, izvedba

Spajanje otpornika

Serijsko spajanje otpornika



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

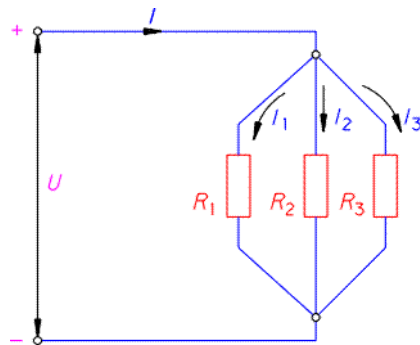
$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n \quad I = \text{kroz sva trošila}$$

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

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

$$R = \sum_1^n R_i$$

Paralelno spajanje otpornika



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

$$I = \sum_1^n I_{Ri}$$

$$\frac{U}{R} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

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

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

$$G = \sum_1^n G_i$$

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

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

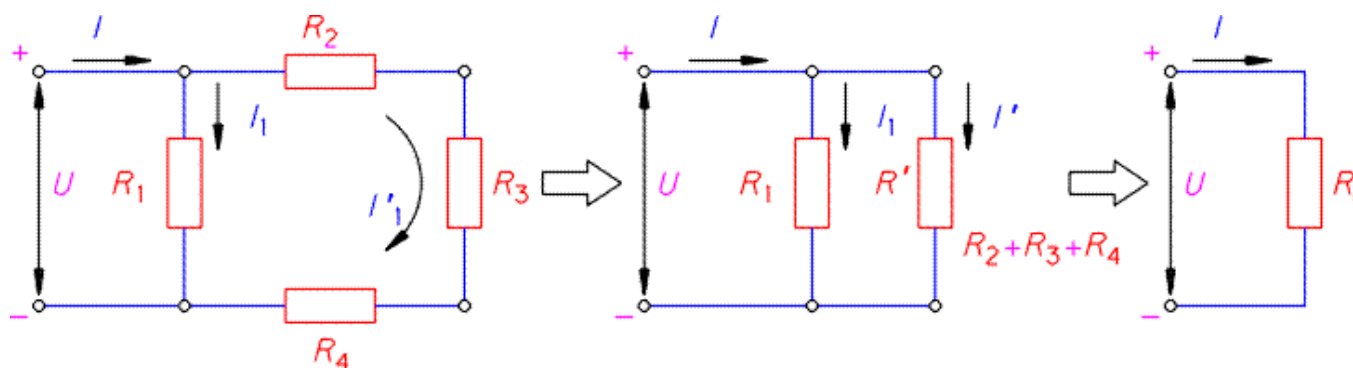
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

Mješovito spajanje otpornika

Svrha – dobivanje otpora određene vrijednosti
(npr. $127,63 \Omega = 120 \Omega + 6,8 \Omega + 0,82 \Omega = 127,62 \Omega$)

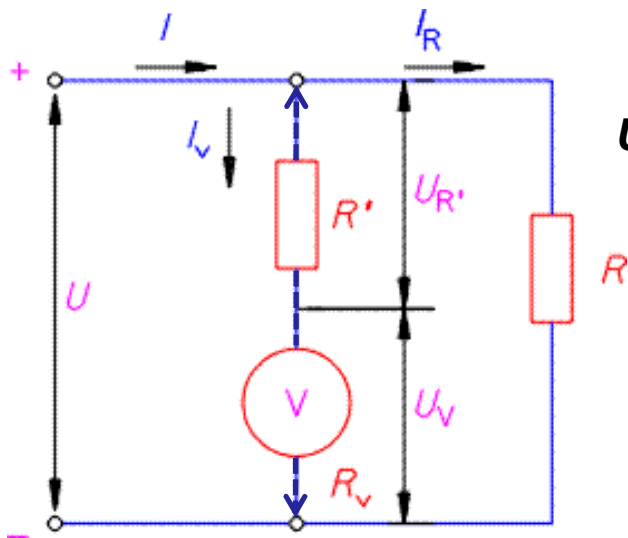
– dobivanje veće snage koju otpornik može disipirati (trošiti) a da ne dođe do oštećenja

Postupak rješavanja – pronalaženje serija/paralela koje se mogu pojednostaviti i računanje nadomjesnih otpora



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

Proširenje mjernog područja voltmetra



$$U = U_v + U_{R'} = I(R_v + R')$$

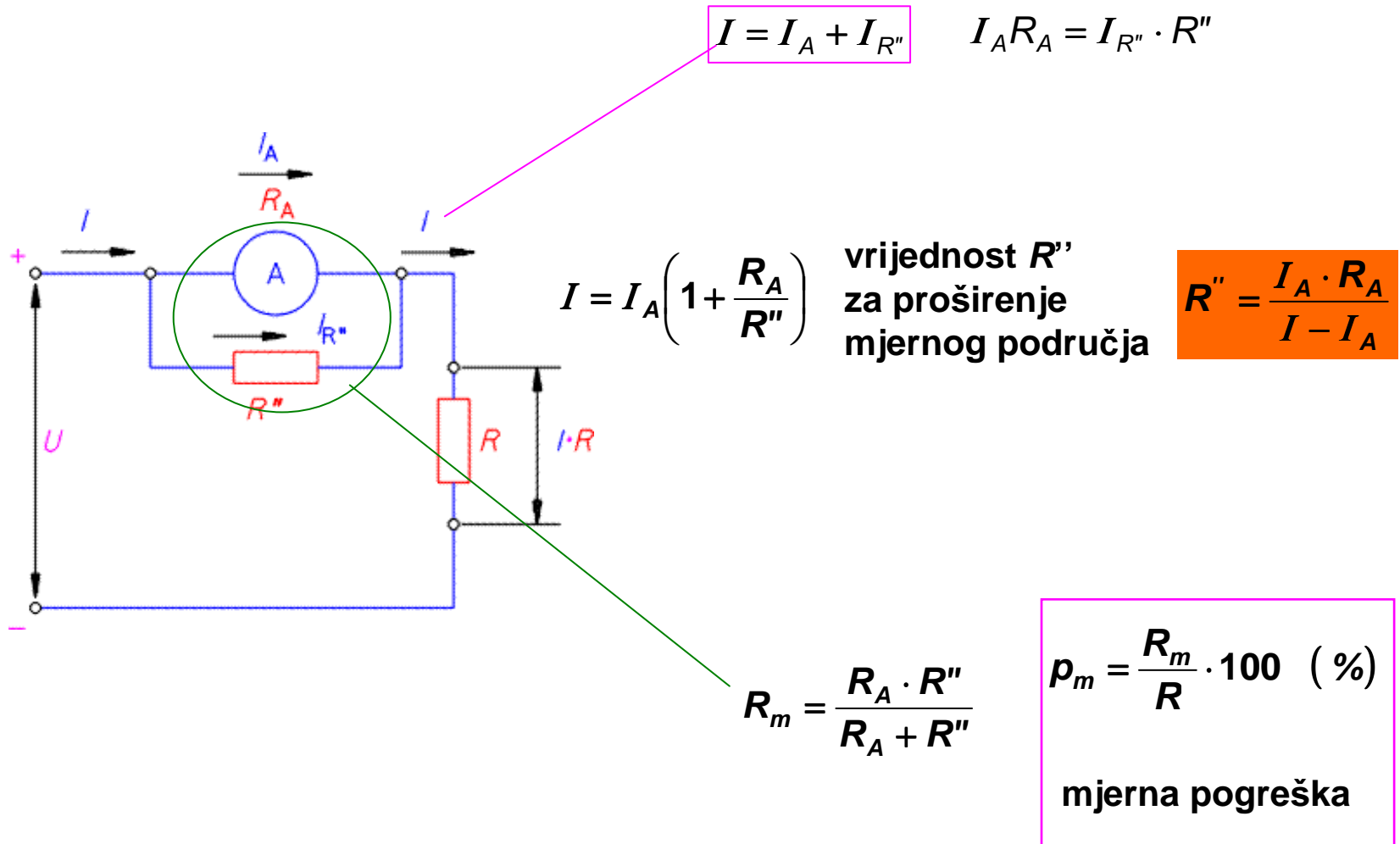
vrijednost R'
za proširenje
mjernog područja

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

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

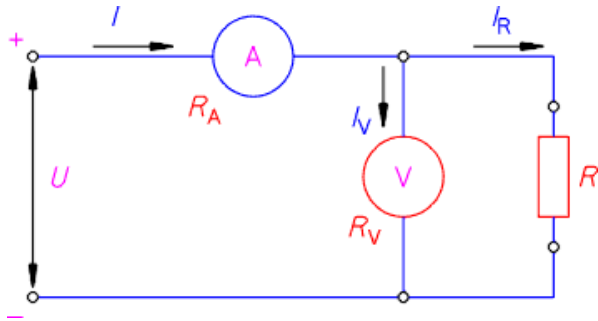
$\uparrow R' \downarrow$ mjerna pogreška $\frac{(R' + R_v)R}{R' + R_v + R}$ (uz $R' \rightarrow \infty$) = R

Proširenje mjernog područja ampermetra



Mjerenje otpora U-I metodom

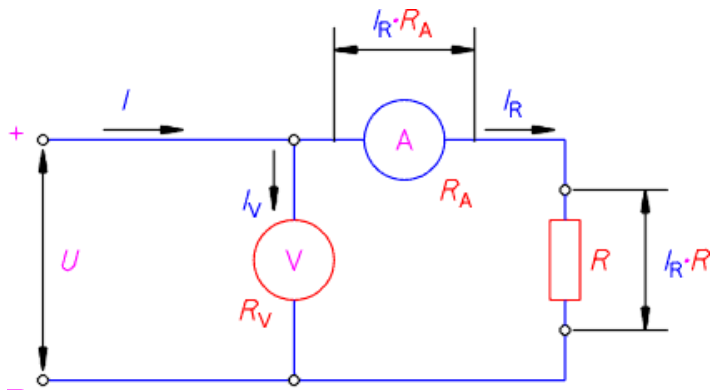
$$R = \frac{U}{I} \quad (\Omega)$$



$$R = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}$$

mjerenje malih otpora $R_V \gg \gg R$

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

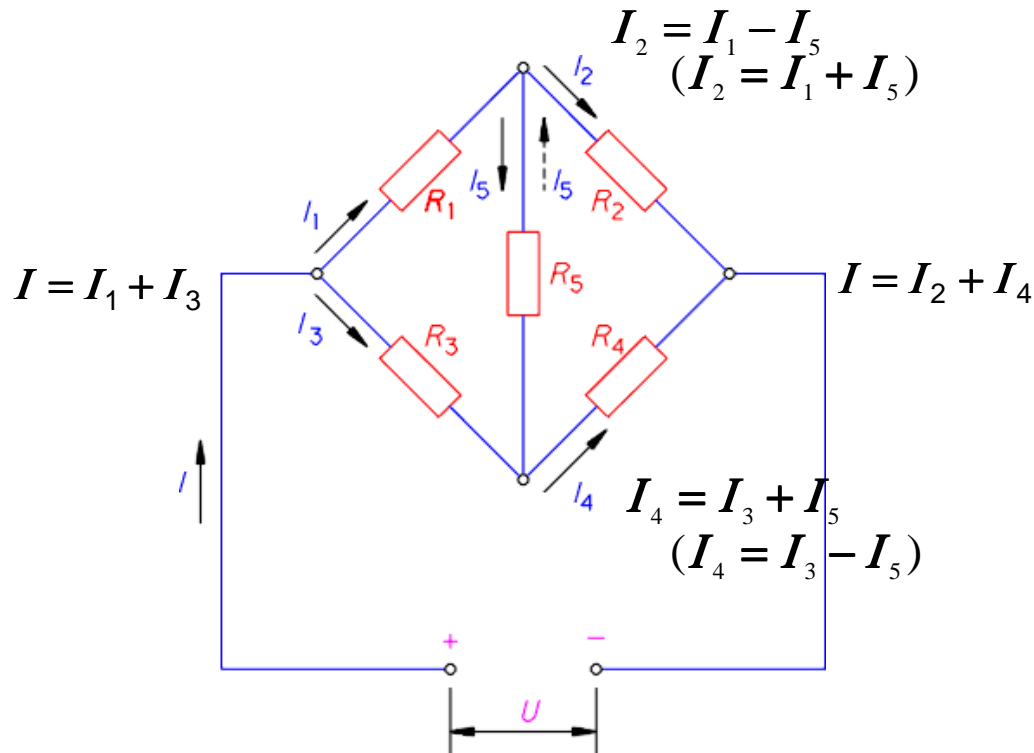


$$R = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

mjerenje velikih otpora $R_A \ll \ll R$

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

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

$$I_5 \cdot R_5 = 0$$

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

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

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

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

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

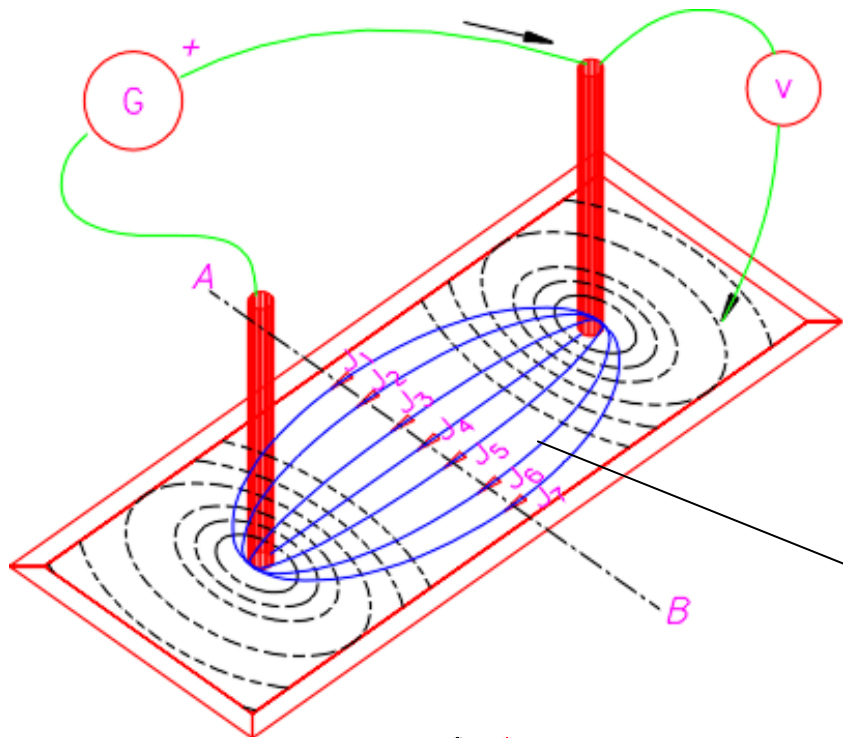
Primjeri korištenja:

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

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

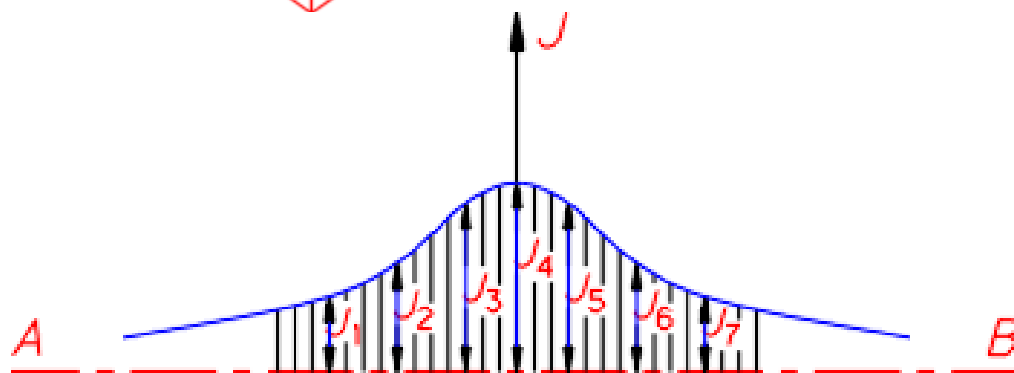
Mjerenje temperature – osjetilu se mijenja otpor s temperaturom

Strujna gustoća



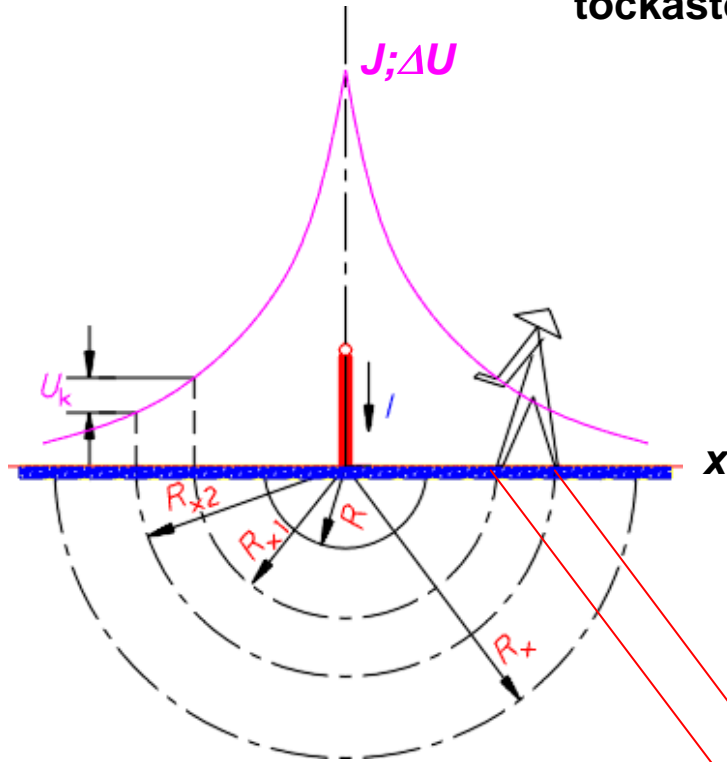
$$J = \frac{I}{S} \quad \left(\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right)$$

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 uzemljivača

x - udaljenost od uzemljivača

pad napona izražen strujnom gustoćom

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

za uzemljivač oblika kugle polumjera r

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

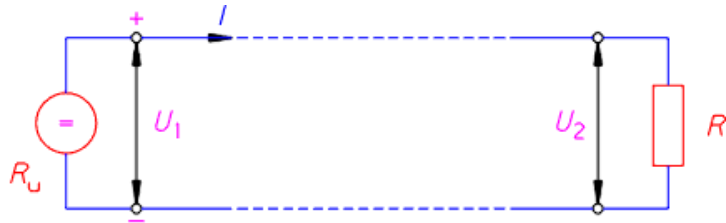
otpor

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

napon koraka

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

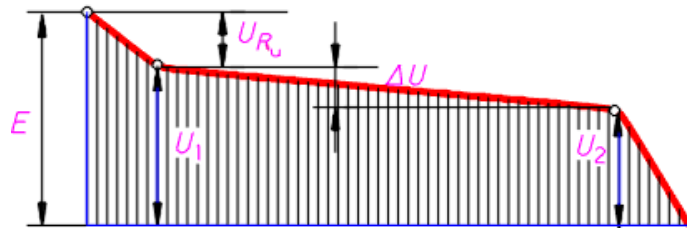
Rad



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

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

Snaga



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

uz korištenje Ohmovog zakona dobiva se

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

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

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

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)