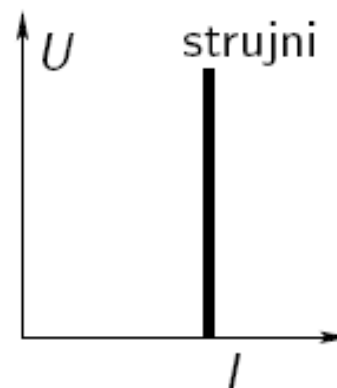
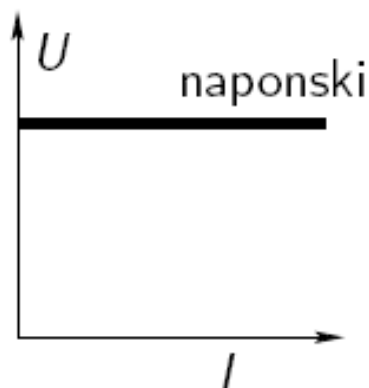


## Jednostavni krugovi istosmjerne struje

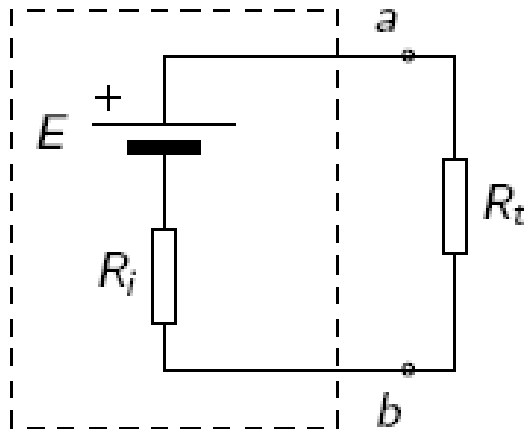
- (i) Idealni naponski i strujni izvor, realni naponski i strujni izvor; vanjska karakteristika izvora
- (ii) Transformacija realnog naponskog izvora u realni strujni izvor i obratno
- (iii) Snaga na izvoru (strujnom i naponskom), na trošilu, maksimalna snaga i stupanj korisnog djelovanja
- (iv) Serijski i paralelni spoj otpora
- (v) Potenciometarski i reostatski spoj
- (vi) Ampermetar, voltmetar, ommetar i vatmetar
- (vii) Potencijalni dijagram
- (viii) Priključak nelinearnog otpora na realni naponski izvor

- ♦ struja idealnog istosmjernog naponskog izvora uvjetovana je prilikama u ostatku mreže dok je napon konstantnog iznosa
- ♦ napon idealnog istosmjernog strujnog izvora uvjetovan je prilikama u ostatku mreže dok je struja konstantnog iznosa
  - karakteristike idealnih istosmjernih izvora:

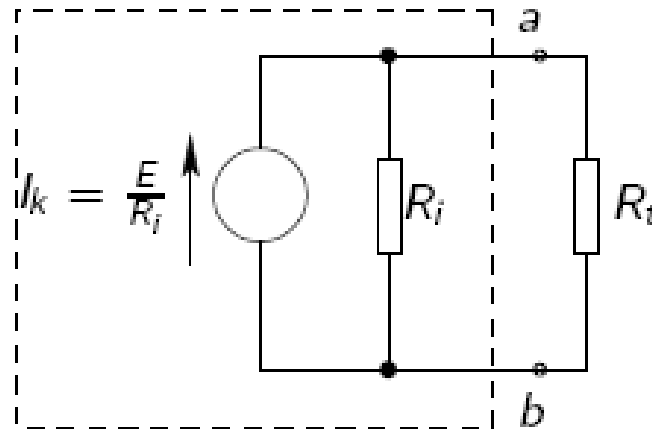


Za idealne izvore vrijedi: napon kod naponskog izvora odnosno struja kod strujnog izvora su konstantnog iznosa i ne ovise o otporu trošila  $R_t$  priključenog na izvore

naponski

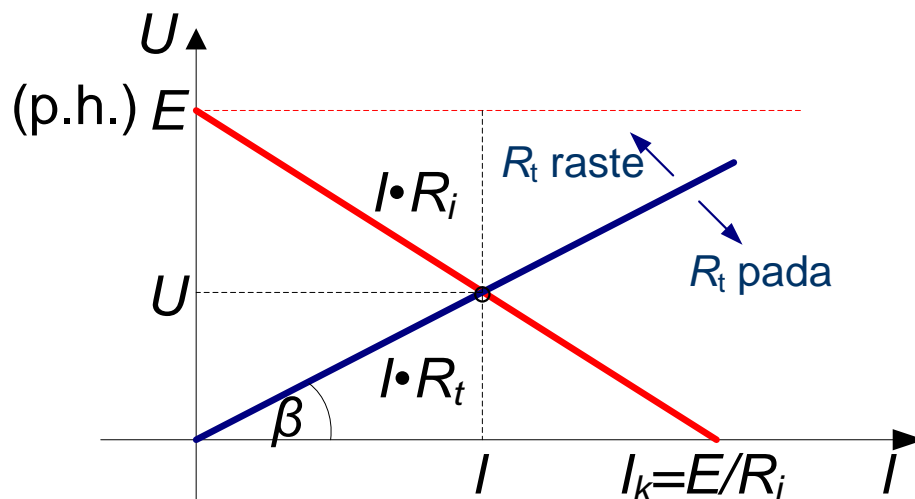


strujni



- slike predstavljaju *modele realnih* izvora
- realni izvori su ovisni o prilikama u ostatku mreže (ostatak mreže predstavljen je sa otporom trošila  $R_t$ )
- realni naponski izvor dobijemo serijskim spajanjem otpora  $R_i$  sa idealnim naponskim izvorom
- realni strujni izvor dobijemo paralelnim spajanjem otpora  $R_i$  sa idealnim strujnim izvorom
- $R_i$  se naziva unutarnji otpor izvora

- ♦ ovisnost napona realnog izvora o struji izvora predstavlja vanjsku karakteristiku izvora (označeno crveno, plavo otpor  $R_t$ )
- ♦ povećanjem iznosa struje realnog naponskog izvora *smanjuje* se napon  $U$  na njegovim stezaljkama
- ♦ napon realnog naponskog izvora ovisi o iznosu otpora trošila  $R_t$

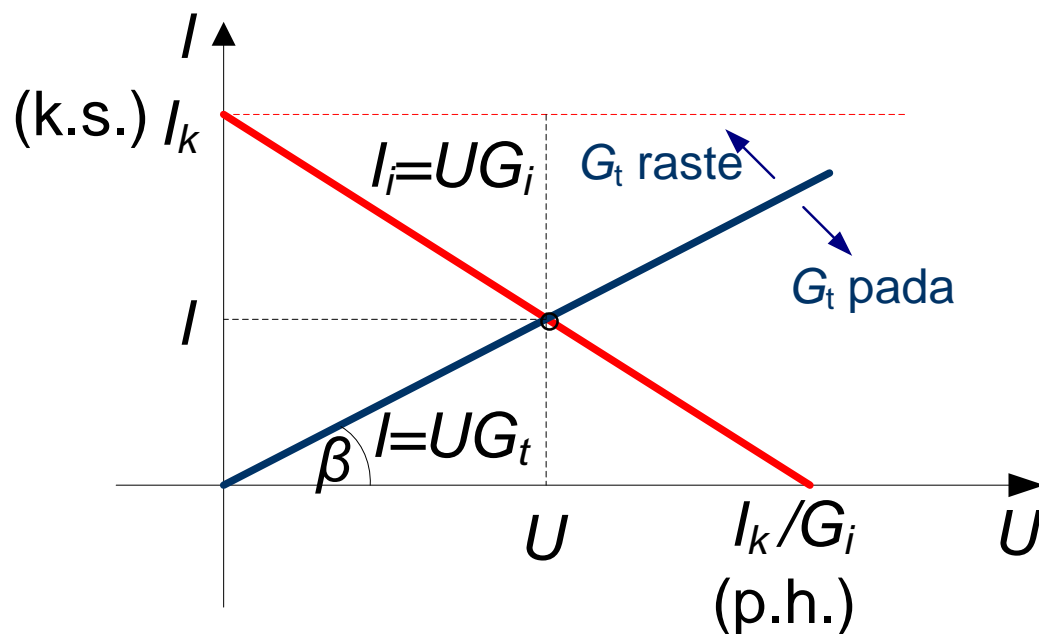


Prazni hod (p.h):  $R_t = \infty$ ,  $U = E$  (k.s.)

Kratki spoj (k.s.):  $R_t = 0$ ,  $U = 0$ ,  $I = I_k$

Presjecište karakteristike izvora i karakteristike trošila (otpora) određuje radnu točku

- ♦ struja realnog strujnog izvora ovisi o otporu trošila  $R_t$
- ♦ karakteristiku obično prikazujemo preko vodljivosti ( $G_t = 1/R_t$ )



Prazni hod (p.h.):  $R_t = \infty$ ,  $I = 0$

Kratki spoj (k.s.):  $R_t = 0$ ,  $I = I_k$

# Transformacija realnog naponskog izvora u realni strujni izvor i obratno

- ♦ Struja realnog strujnog izvora je:

$$I = I_k - I_i = I_k - U \cdot G_i$$

- ♦ Iz napona realnog naponskog izvora slijedi struja:

$$U = E - I \cdot R_i \Rightarrow \frac{U}{R_i} = \frac{E}{R_i} - I \Rightarrow I = \frac{E}{R_i} - \frac{U}{R_i}$$

- ♦ Izjednačavanjem se dobije:

$$I_k = \frac{E}{R_i} \quad G_i = \frac{1}{R_i}$$

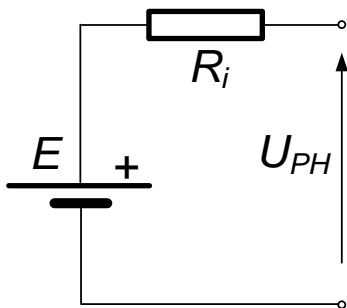
- ♦ Transformacije olakšavaju i pojednostavljuju rješavanje mreža

- ♦  $R_i$  strujnog i naponskog izvora su jednaki
- ♦  $I_k$  strujnog izvora je:  $I_k = \frac{E}{R_i}$
- ♦  $E$  naponskog izvora je  $E = I_k \cdot R_i$

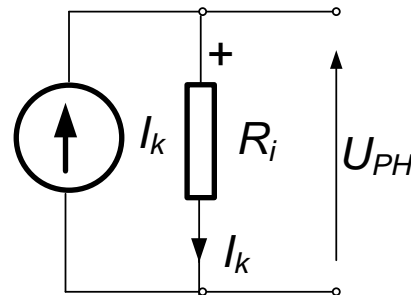


- ♦ transformacija vrijedi samo za vanjski dio kruga, a unutar izvora ne vrijedi
- ♦ prazni hod: unutar naponskog izvora ( $E$ ) ne teče struja, unutar strujnog izvora teče struja

Prazni hod

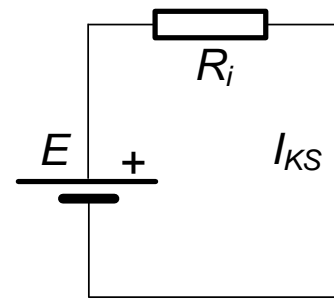


$$U_{PH} = E$$

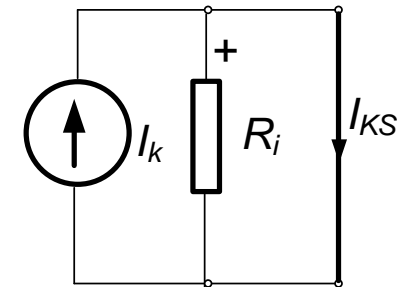


$$U_{PH} = I_k \cdot R_i = E$$

Kratki spoj



$$I_{KS} = \frac{E}{R_i}$$



$$I_{KS} = I_k = \frac{E}{R_i}$$

- ♦ Snaga izvora:

$$P_i = E \cdot I = \frac{E^2}{R_i + R_t} = P_t + P_{R_i} \quad ; \quad P_{i_{\max}} = P_i(R_t = 0) = \frac{E^2}{R_i}$$

- ♦ Stupanj korisnog djelovanja:

$$\eta = \frac{P_t}{P_i} = \frac{R_t}{R_i + R_t} \leq 1$$

- ♦ Analiza snage trošila:

$$P_t = E^2 \frac{R_t}{(R_i + R_t)^2} \quad R_t = 0 \Rightarrow P_t = 0 \quad ; \quad R_t \rightarrow \infty \Rightarrow P_t \rightarrow 0$$

Maksimalnu snagu na potrošaču  $R_t$  dobijemo ako vrijedi:

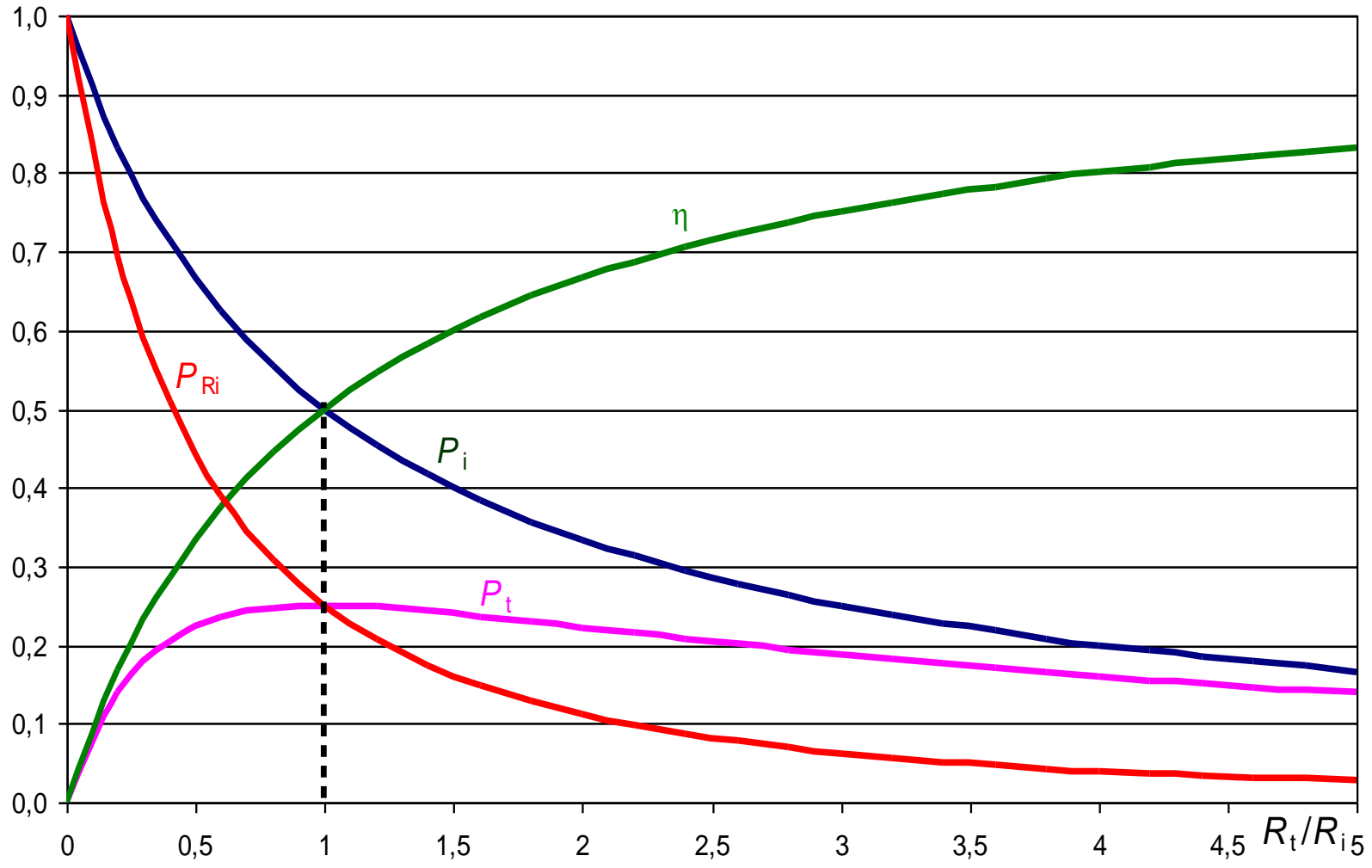
$$R_i = R_t$$

**Maksimalna snaga na potrošaču troši se samo ako je unutarnji otpor izvora jednak otporu potrošača.**

Određivanje maksimalne snage svodi se na traženje ekstrema funkcije, a kao ilustraciju navodimo uvjet za maksimum:

$$\frac{dP_{tr}}{dR_t} = \frac{(R_i + R_t)^2 \cdot E^2 - 2 \cdot (R_i + R_t) \cdot E^2 \cdot R_t}{(R_i + R_t)^2} = 0$$

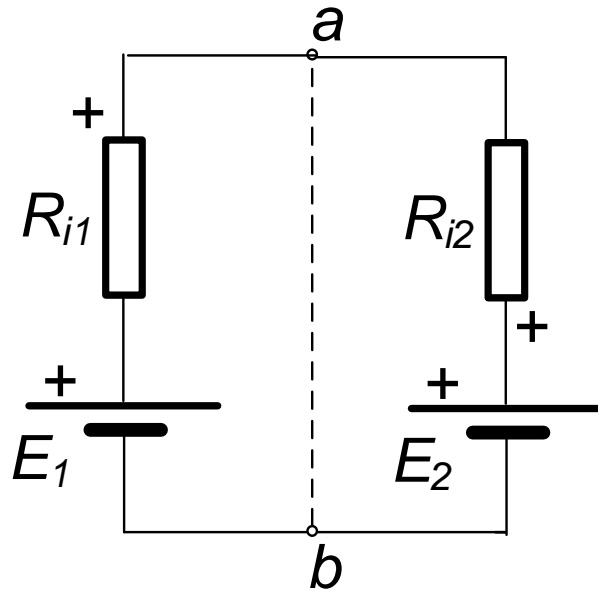
# Ovisnost $P_t$ , $P_i$ , $P_{Ri}$ i $\eta$ o otporu trošila $R_t$ za realni naponski izvor



3.1 Na izvor su priključena dva različita otpora i izmjerene su vrijednosti napona i struje kroz otpore:  $U_1=40$  V,  $I_1=2$  A,  $U_2=21$  V,  $I_2=21$  A. Odrediti unutarnji napon  $E$  i unutarnji otpor  $R_i$  naponskog modela toga izvora.

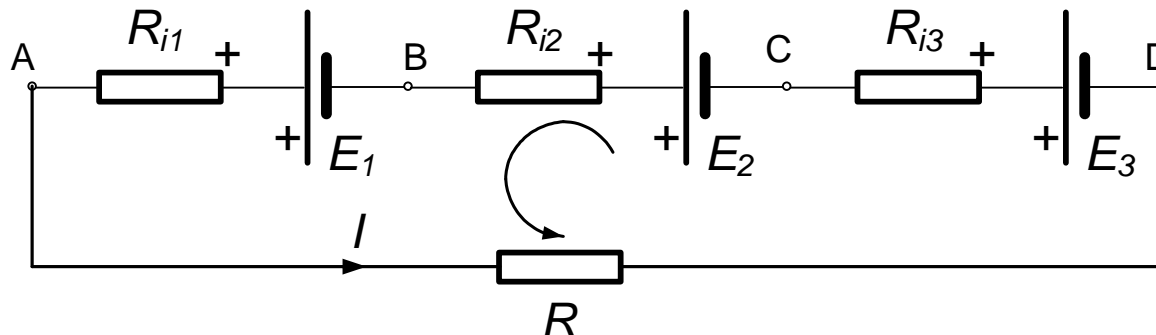
3.2 Unutarnji napon naponskog izvora je  $E=30$  V. Kad se na izvor priključi trošilo otpora  $R$ , struja u krugu je  $I=3$  A, a napon na stezaljkama izvora  $U=18$  V. Odrediti otpor  $R$  trošila i unutarnji otpor izvora  $R_i$ .

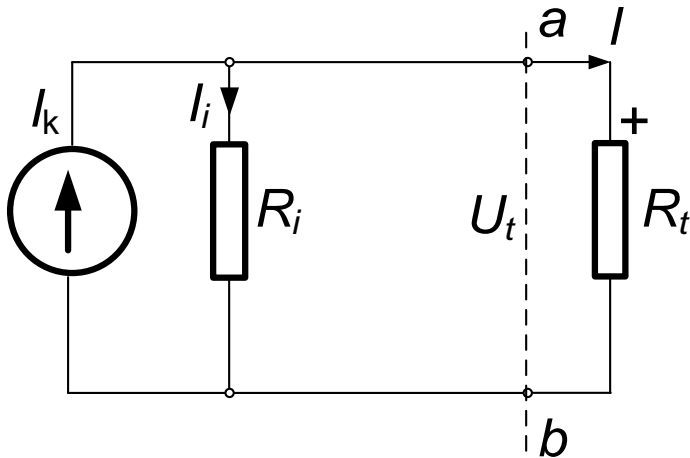
3.3 Zadana su dva realna naponski izvora:  $E_1=12\text{ V}$  unutarnjeg otpora  $R_{i1}=1\ \Omega$  i  $E_2=16\text{ V}$  unutarnjeg otpor  $R_{i2}=1\ \Omega$ . Odrediti napon  $U_{ab}$ .



3.4 Baterija ima unutarnji napon  $E=1,25$  V i unutarnji otpor  $R_i=0,004$   $\Omega$ . Koliko je baterija potrebno spojiti serijski da bi se dobio napon  $U=115$  V: a) kod neopterećenog spoja;  
b) kad spoj daje struju  $I=25$  A.

3.5 Na tri naponska izvora spojena serijski priključen je otpor  $R=1$   $\Omega$ . Unutarnji naponi izvora su  $E_1=2,2$  V,  $E_2=1,1$  V i  $E_3=0,9$  V a unutarnji otpori su  $R_{i1}=0,2$   $\Omega$ ,  $R_{i2}=0,4$   $\Omega$  i  $R_{i3}=0,5$   $\Omega$ . Odrediti napon  $U_{AD}$ , struju  $I$  te snagu na otporu  $R$ .





$$I_k = I + I_i \quad ; \quad U_t = I \cdot R_t = I_i \cdot R_i$$

$$\Rightarrow I = I_k \frac{R_i}{R_i + R_t} \quad ; \quad I_i = I_k \frac{R_t}{R_i + R_t}$$

- ◆ Snaga na trošilu:

$$P_t = I^2 \cdot R_t = I_k^2 \frac{R_i^2 \cdot R_t}{(R_i + R_t)^2}$$

- ◆ Snaga na unutarnjem otporu izvora:

$$P_{R_i} = I_i^2 \cdot R_i = I_k^2 \frac{R_t^2 R_i}{(R_i + R_t)^2}$$



Uvjet maksimalne snage na trošilu  $R_t$  je isti kao kod naponskog izvora:

$$R_i = R_t$$

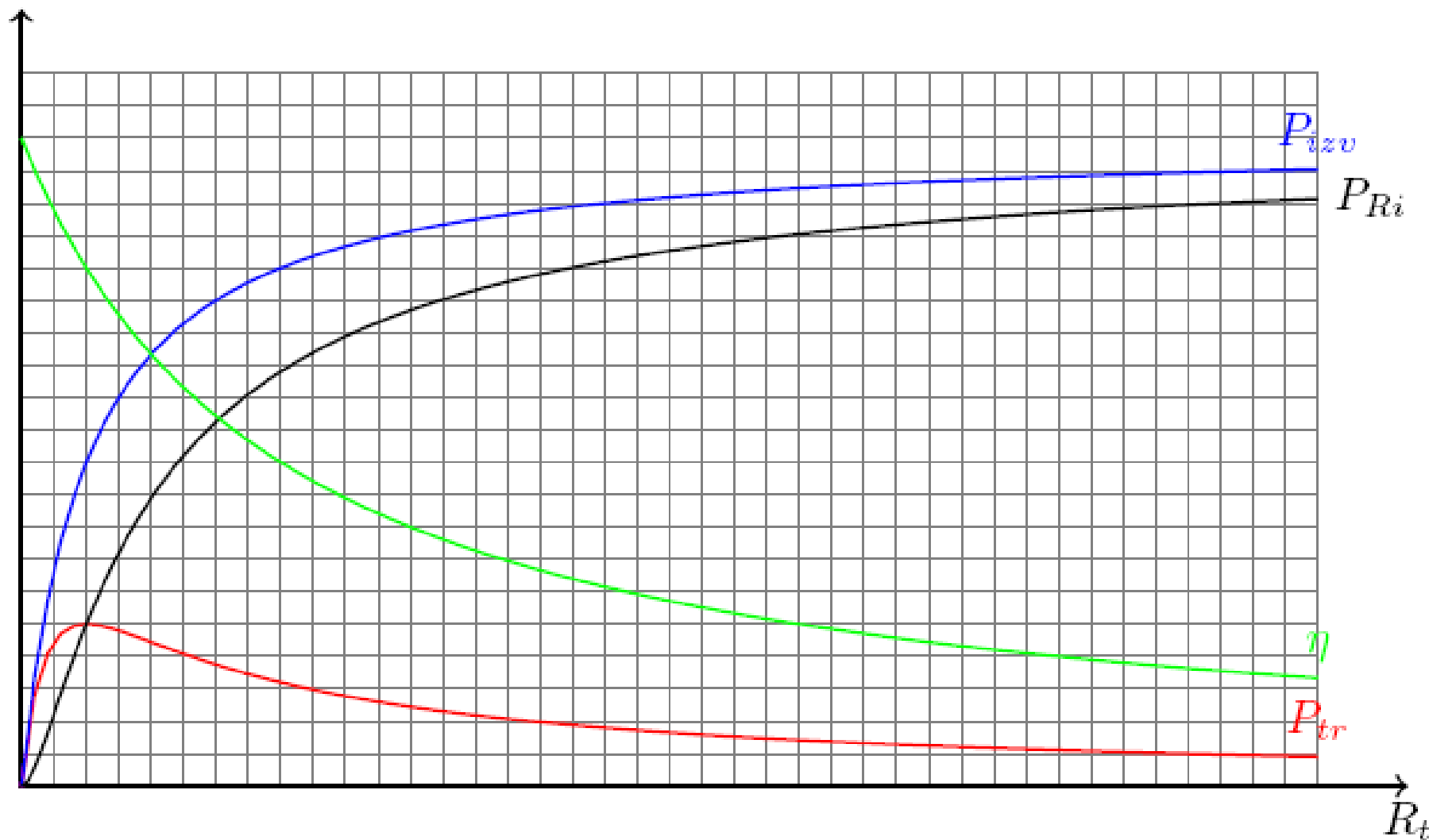
uvjet se dobije se traženjem ekstrema funkcije:

$$\frac{dP_t}{dR_t} = \frac{I^2 \cdot R_{is}^2 \cdot (R_{is} + R_t)^2 - 2 \cdot (R_{is} + R_t) \cdot R_t \cdot I^2 \cdot R_{is}^2}{(R_{is} + R_t)^2} = 0$$

Stupanj korisnog djelovanja realnog strujnog izvora:  
(nije isti izraz kao kod realnog naponskog izvora!)

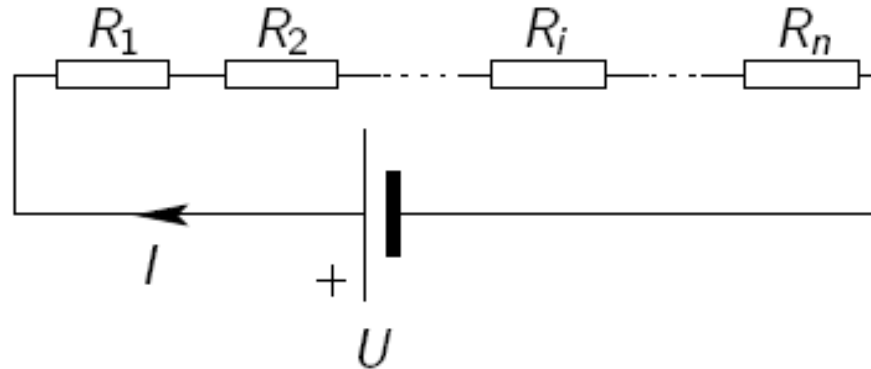
$$\eta_s = \frac{P_t}{P_{is}} = \frac{R_{is}}{R_{is} + R_t}$$

# Ovisnost $P_{tr}$ , $P_{izv}$ , $P_{Ri}$ i $\eta$ o otporu trošila $R_t$ za realni *strujni* izvor



3.6 Naponski izvor unutarnjeg napona  $E=20\text{ V}$  i unutarnjeg otpora  $R_i=4\ \Omega$  predaje trošilu otpora  $R_1$  snagu  $P$  uz stupanj iskorištenja  $\eta_1=0,2$ . Isti izvor trošilu otpora  $R_2$  predaje istu snagu  $P$  uz stupanj iskorištenja  $\eta_2$ . Odrediti otpore  $R_1$  i  $R_2$  te snagu  $P$ .

- ♦ Serijski spoj otpora:
- ♦ neka je zadano  $n$  otpornika spojenih u seriju:



- ♦ tada prema KZN (II KZ) vrijedi za ukupni otpor serije:

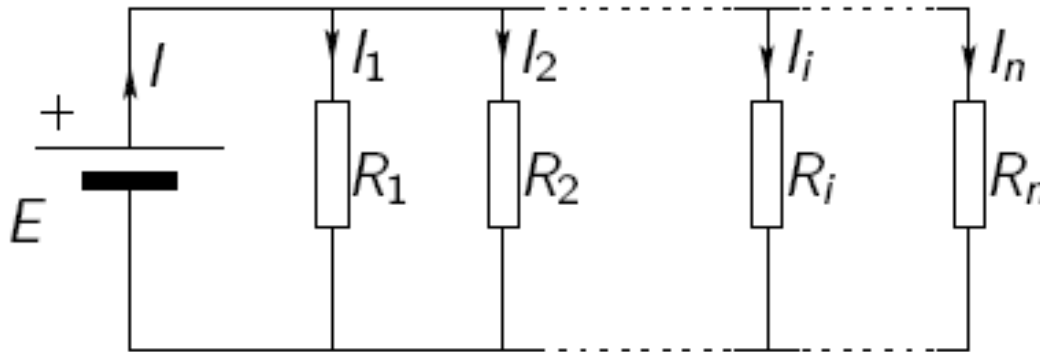
$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots I \cdot R_i + \dots I \cdot R_n = I \cdot \sum_{i=1}^n R_i = R \cdot I$$

odnosno:

$$R = R_1 + R_2 + \dots R_i + \dots R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

# Paralelni spoj otpora

- ♦ neka je zadano  $n$  otpornika spojenih u paralelu:



- ♦ tada prema KZS (IKZ) vrijedi za ukupni otpor paralele:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots \frac{U}{R_i} + \dots \frac{U}{R_n} = U \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{U}{R}$$

odnosno:

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

- ♦ nadomjesni otpor složenijih mreža izračunavamo primjenjujući formule za serijski ili paralelni spoj otpornika
- ♦ postoje slučajevi kada nije moguće izračunati nadomjesni otpor samo primjenom formula za serijski ili paralelni spoj otpora
- ♦ za takve slučajeve mogu se npr. koristiti transformacije (trokut-zvijezda i sl. što će se kasnije analizirati)
- ♦ Osim preko otpora, mreže se mogu analizirati i preko vodljivosti:

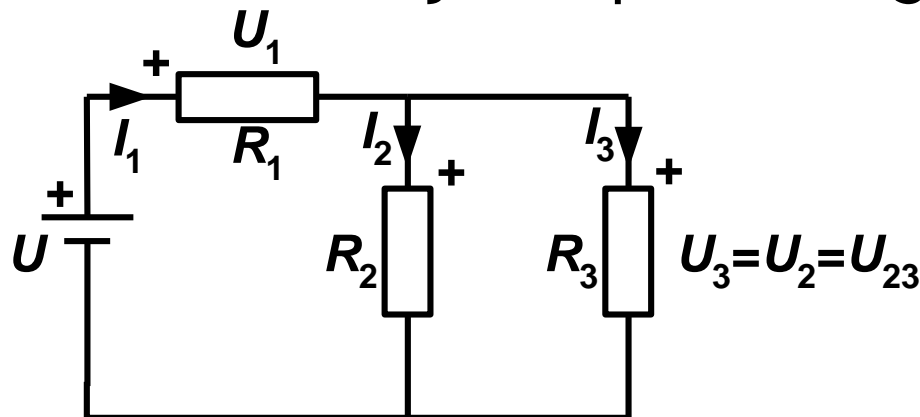
$$G = \frac{1}{R} [S]$$

Za primjer na slici izračunati  $R_{uk}$  te struju i napon svakog od otpora:

$$R_{uk} = R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

$$(R_2 \parallel R_3) = R_{23} = R_2 \cdot R_3 / (R_2 + R_3)$$

$$R_{uk} = R_1 + R_{23}$$



$$I_{uk} = U / R_{uk} = I_1 \quad U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad U_{23} = U - U_1 \quad I_2 = U_{23} / R_2 \quad I_3 = U_{23} / R_3 \quad I_1 = I_2 + I_3$$

Kad bi na izvor, umjesto cijeloga spoja, priključili samo otpor  $R_{uk}$  izvor bi dao jednaku struju  $I$ , pa otpor  $R_{uk}$  nazivamo **nadomjesni otpor** spoja

❖ Što se dogodi sa strujom i naponom svakog od otpora ako se  $R_3$  poveća?

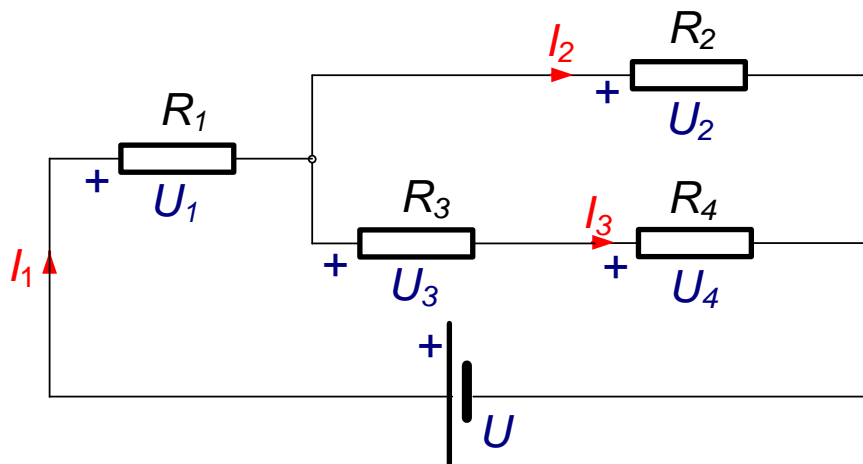
3.7 Zadana su 4 otpora:  $R_1=1\ \Omega$ ,  $R_2=2\ \Omega$ ,  $R_3=3\ \Omega$  i  $R_4=4\ \Omega$ . Kako ih treba povezati da bi se dobio ukupni otpor od: a)  $2,5\ \Omega$  b)  $1\ \Omega$  ?

3.8 U krugu prema slici odrediti ukupni otpor, struje i napone na otporima. Zadano je:

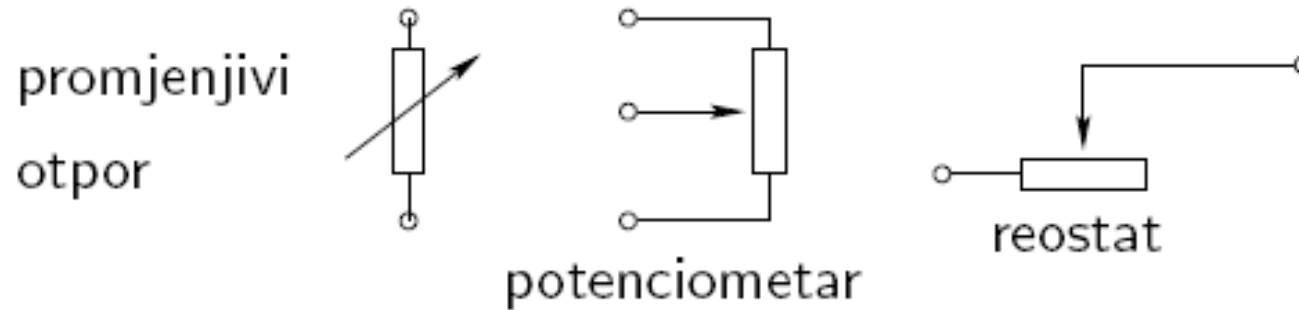
$$U=12\text{ V}, R_1=15\ \Omega,$$

$$R_2=36\ \Omega, R_3=10\ \Omega,$$

$$R_4=2\ \Omega.$$

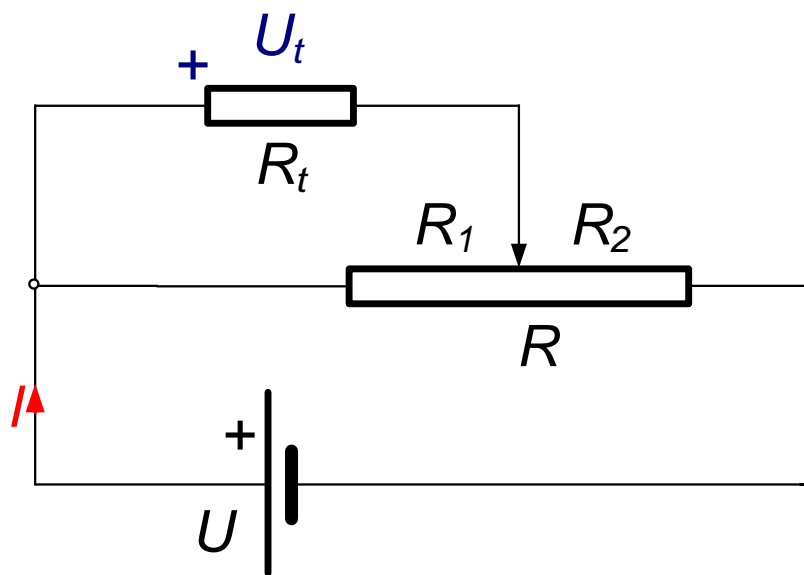






- ♦ položaj klizača određuje odnos napona
- ♦ potenciometar je naponsko dijelilo
- ♦ potenciometar služi kao npr. kao regulator glasnoće u audio pojačalima (to su tzv. logaritamski potenciometri jer je položaj klizača i iznos otpora u logaritamskom odnosu)
- ♦ reostat koristimo kao regulator struje (kod dimenzioniranja treba paziti na nazivnu struju reostata)

- ♦ Analiza utjecaja otpora trošila  $R_t$  na napon trošila  $U_t$  u ovisnosti o položaju klizača potenciometra  $k$



$$R_1 = k \cdot R ; R_2 = (1 - k)R$$

$$0 \leq k \leq 1$$

$$I = \frac{U}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_t}{R_1 + R_t}} ; U_t = I \frac{R_1 \cdot R_t}{R_1 + R_t}$$

# Ampermetar, voltmetar, vatmetar i ommetar

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

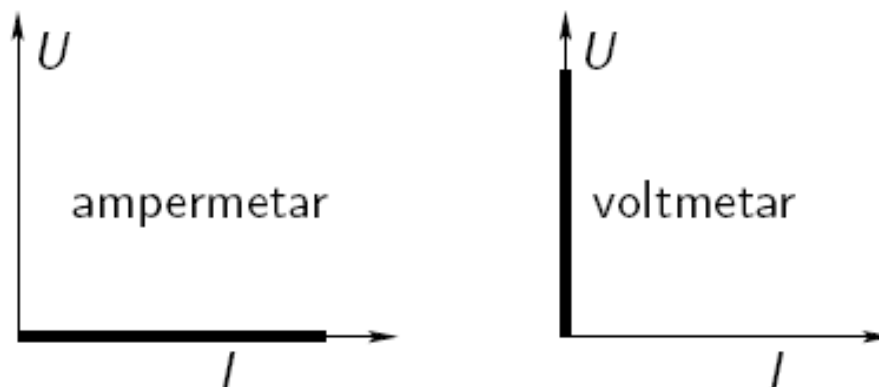
- ♦ iznos nepoznatih električnih veličina mjerimo odgovarajućim instrumentima koje spajamo na sljedeći način:
  - napon voltmetrom spojenim u paralelu s dvopolom na kome mjerimo nepoznati napon
  - struju ampermetrom spojenim u seriju s dvopolom kroz koji mjerimo nepoznatu struju
  - snagu vatmetrom tako da su naponske stezaljke spojene u paralelu a strujne u seriju
  - otpor mjerimo ommetrom (mjerjenje nepoznatog otpora je u stvari mjerjenje iznosa struje koju daje izvor napona u samom instrumentu )

—(A)— ampermetar

—(V)— voltmetar

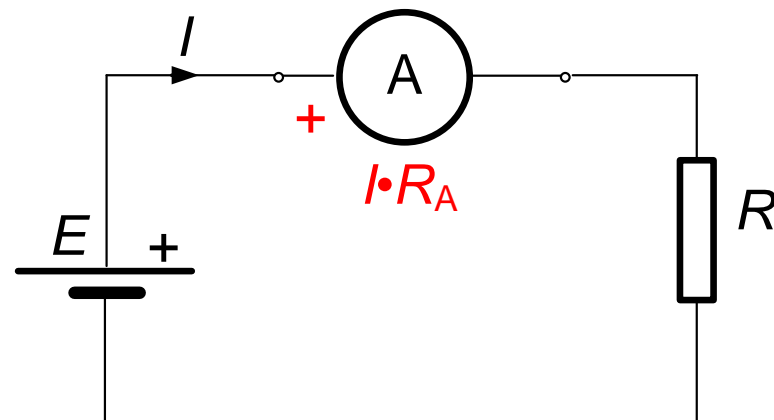
—(W)— vatmetar

- ◆ kao što se idealiziraju elementi mreže idealiziraju se i mjerni instrumenti:
  - idealni voltmetar ima beskonačan otpor  $R_V = \infty$
  - idealni ampermetar ima otpor jednak nuli  $R_A = 0$
  - idealni vatmetar ima otpor naponske grane beskonačan a strujne nula
- ◆ Kod rješavanja mreža:
  - idealni ampermetar u električnoj shemi predstavlja kratki spoj
  - idealni voltmetar u električnoj shemi predstavlja prazni hod



- ♦ realni instrumenti imaju (vlastiti) unutarnji otpor na kojem se tijekom mjerenja troši energija i time smanjuje točnost mjerenja  
Realni instrumenti se dijele na analogne i digitalne. Kroz tipični analogni instrument kod punog odklona teče struja od  $100\mu\text{A}$  dok je na njegovim stezaljkama napon od  $100\text{mV}$  što daje vlastiti otpor od  $1\text{K}\Omega$ . Takav instrument “postaje” ampermetar ili voltmetar tek kada mu se dodaju odgovarajući predotpori koje nazivamo shunt ili šant.  
Glavni zadatak takvih predotpora (shuntova) je da preuzmu na sebe ”višak“ napona ili struje tako da za mjerenje napona dodajemo otpore u seriju a za mjerenje struje otpore u paralelu
- ♦ Svojstvo realnog ampermetra je relativno mali vlastiti otpor koji varira ovisno o mjernom području instrumenta
- ♦ Svojstvo realnog voltmetra je relativno veliki otpor koji također varira ovisno o mjernom području instrumenta
- ♦ sa načinom upotrebe mjernih instrumenata upoznati ćete se detaljnije tijekom rada u laboratoriju

- ◆ Mjeri struju u krugu.
- ◆ Uključuje se serijski
- ◆ Idealni ampermetar:  $R_A=0$ 
  - nema pada napona na njemu
- ◆ Realni ampermetar:  $R_A \neq 0$ 
  - stvara se na njemu pad napona  $I \cdot R_A$
- ◆ Realni ampermetri trebaju imati *što manji* vlastiti otpor



- ❖ Indikator mjernog instrumenta za puni otklon kazaljke treba struju od 0,1 mA, koju doseže pri naponu od 100 mV. Kako bi mogli indikator rabiti za mjerenje struje do 1 A?
- ♦ Koliki otpor bi trebalo spojiti paralelno s indikatorom da bi mu mjerno područje proširili do vrijednosti od 1 A?
- ♦ Koliki bi bio unutarnji otpor takvog ampermetra?

Rješenje:

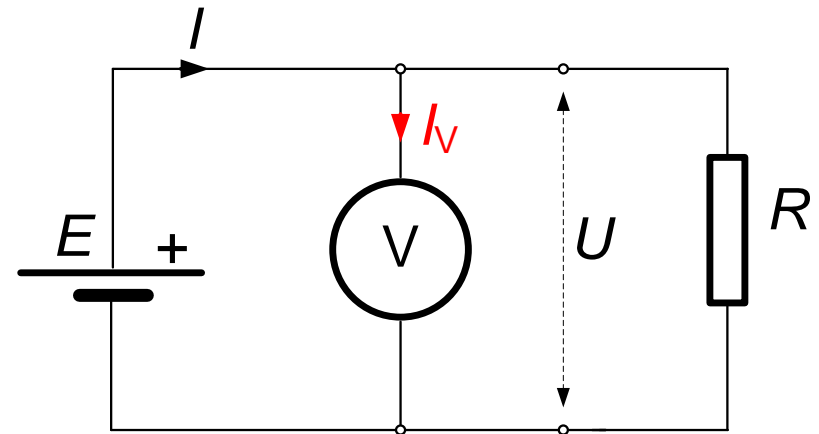
Indikator bi mogli rabiti za mjerenje struje veće od 0,1 mA tako da se višak struje do 1 A ( $1 - 0,0001 = 0,9999$  A) odvede kroz otpor spojen paralelno indikatoru (djelilo struje). Kako je otpor indikatora  $R_i = 1$  k $\Omega$ , paralelno spojeni otpor (*šant* od engl. *shunt*) trebao bi iznositi

$$R_1 = R_i (0,0001 / 0,9999) = 0,1 \Omega$$

Rezultantni unutarnji otpor  $R_A$  ovako napravljenog ampermetra jednak je ukupnom otporu paralelnog spoja otpora  $R_i$  i  $R_1$ , tj.

$$R_A = R_i R_1 / (R_i + R_1) = 100 / 1000,1 \approx 0,099 \Omega \text{ (ispod } 0,1 \Omega \text{!)}$$

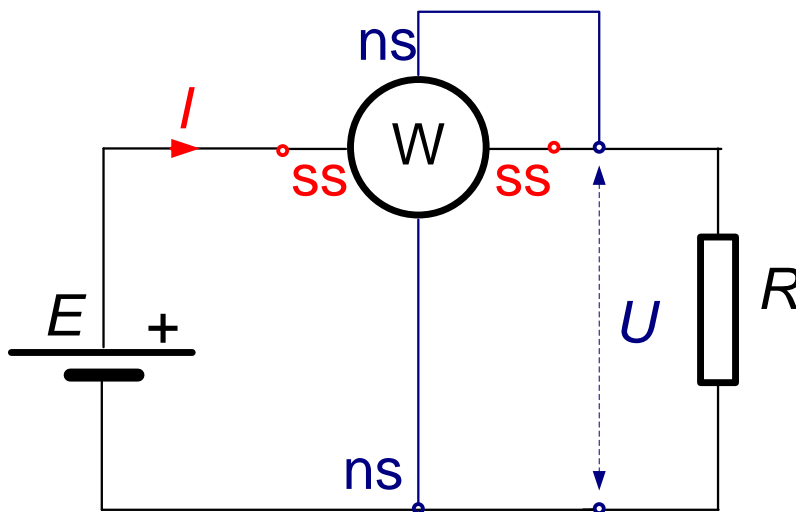
- ◆ Mjeri napon u krugu
- ◆ Uključuje se paralelno
- ◆ Idealni voltmeter:  $R_V = \infty$ 
  - ne teče struja kroz njega
- ◆ Realni voltmeter:  $R_V \neq \infty$ 
  - teče struja kroz njega  $I_V$
- ◆ Realni voltmetri trebaju imati *što veći* vlastiti otpor



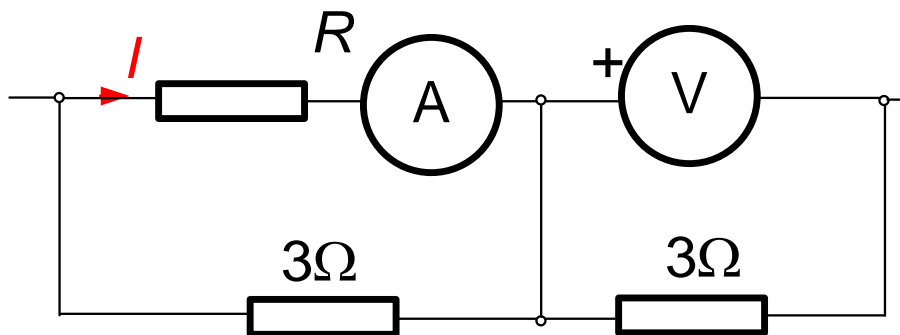


Mjeri snagu u krugu

- ◆ U sebi sadrži:
  - ampermetar (strujne stezaljke): serijski
  - voltmetar (naponske stezaljke): paralelno



3.9 Idealni instrumenti u krugu prema slici pokazuju  $I_A=2$  A i  $U_V=18$  V. Odrediti iznos otpora  $R$ .



*Potencijalni dijagram* definira potencijale točaka u mreži u odnosu na zadanu točku referentnog potencijala.

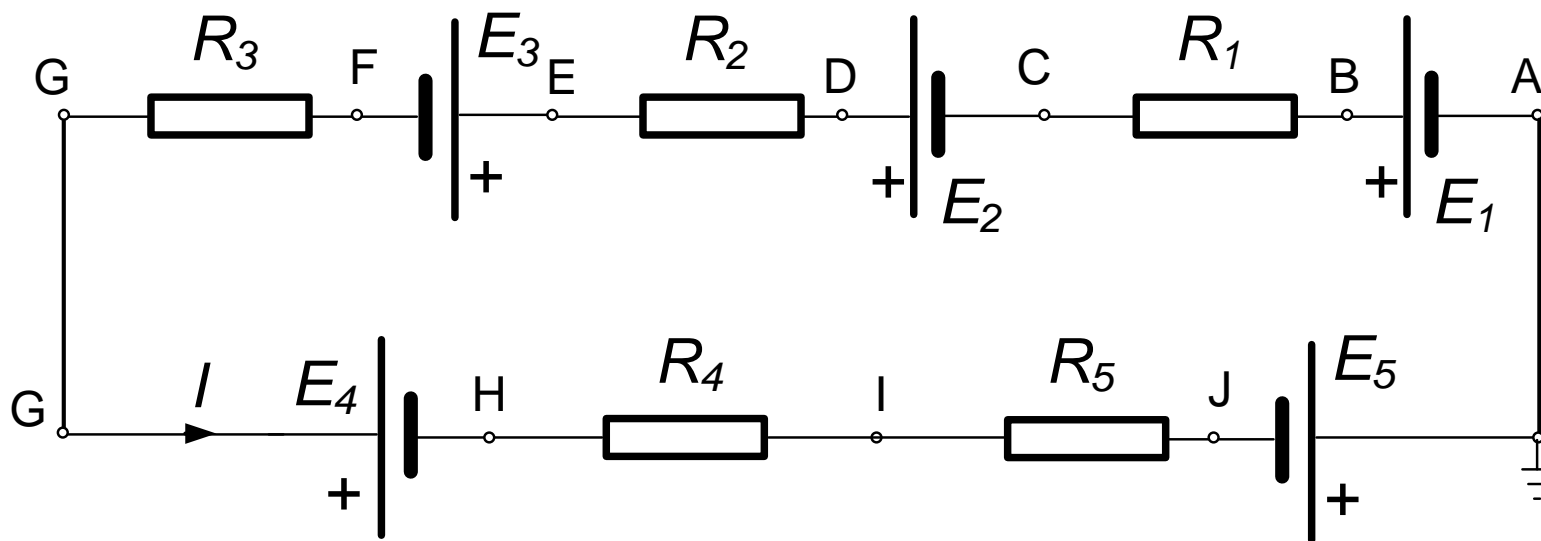
Potencijalni dijagram je graf funkcije potencijala koji na x-osi ima točke iz mreže a na y osi potencijale '.

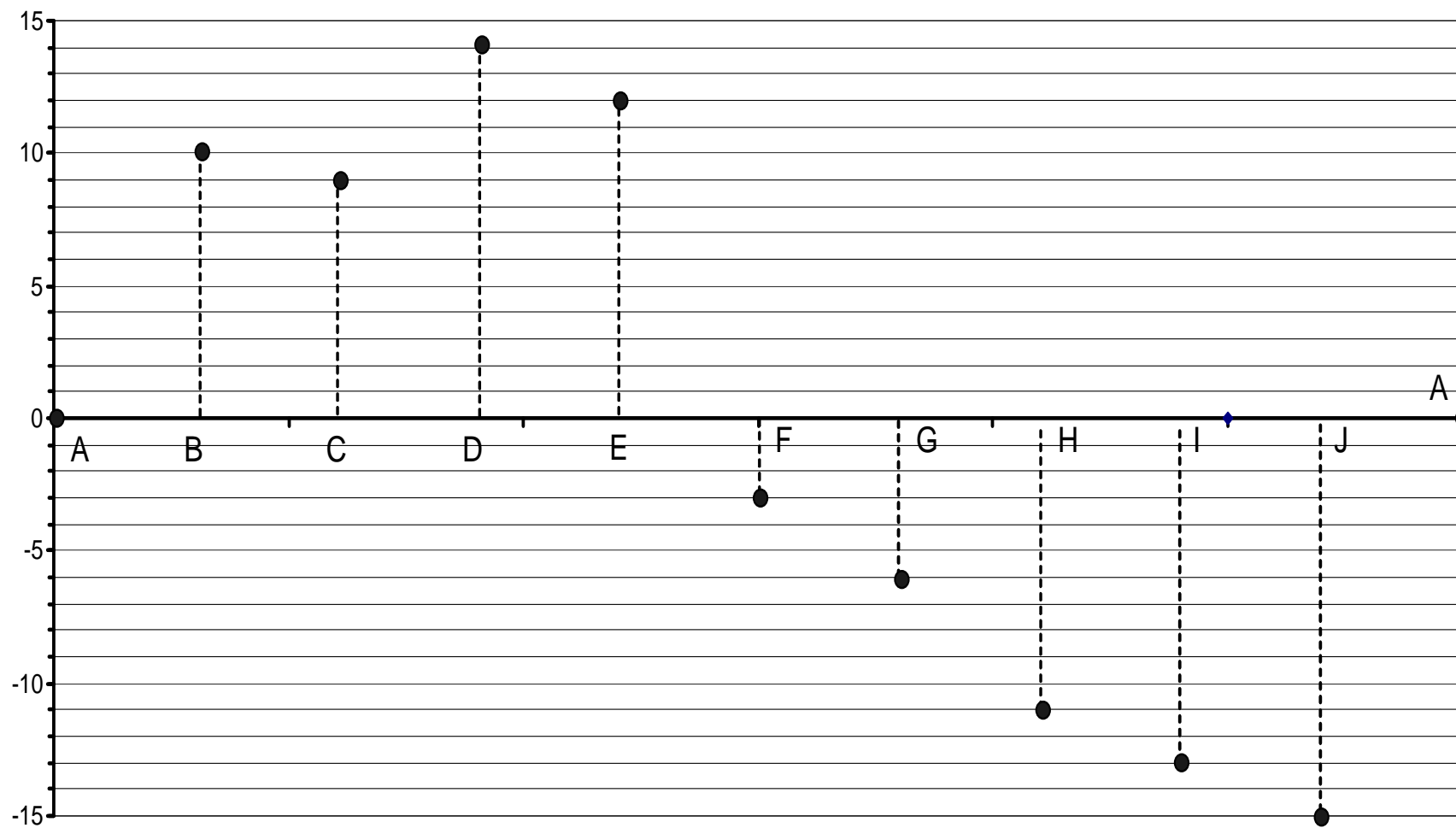
Za zadanu shemu potencijalni dijagram dobivamo slijedećim postupkom:

- (i) u zadanoj shemi mreže moraju biti označene točke za koje se određuje potencijalni dijagram
- (ii) definira se točka nultog potencijala (njezin potencijal je  $\phi = 0$ )
- (iii) odrede se sve struje koja teču kroz grane
- (iv) polazeći od točke nultog potencijala određuju se potencijali svake od točaka (npr.  $\varphi_{i+1} = \varphi_i \pm I_j \cdot R_k$  ako se između točaka  $x_{i+1}$  i  $x_i$  nalazi otpornik  $R_k$ )
- (v) potencijali točke se ucrtaju u potencijalni dijagram

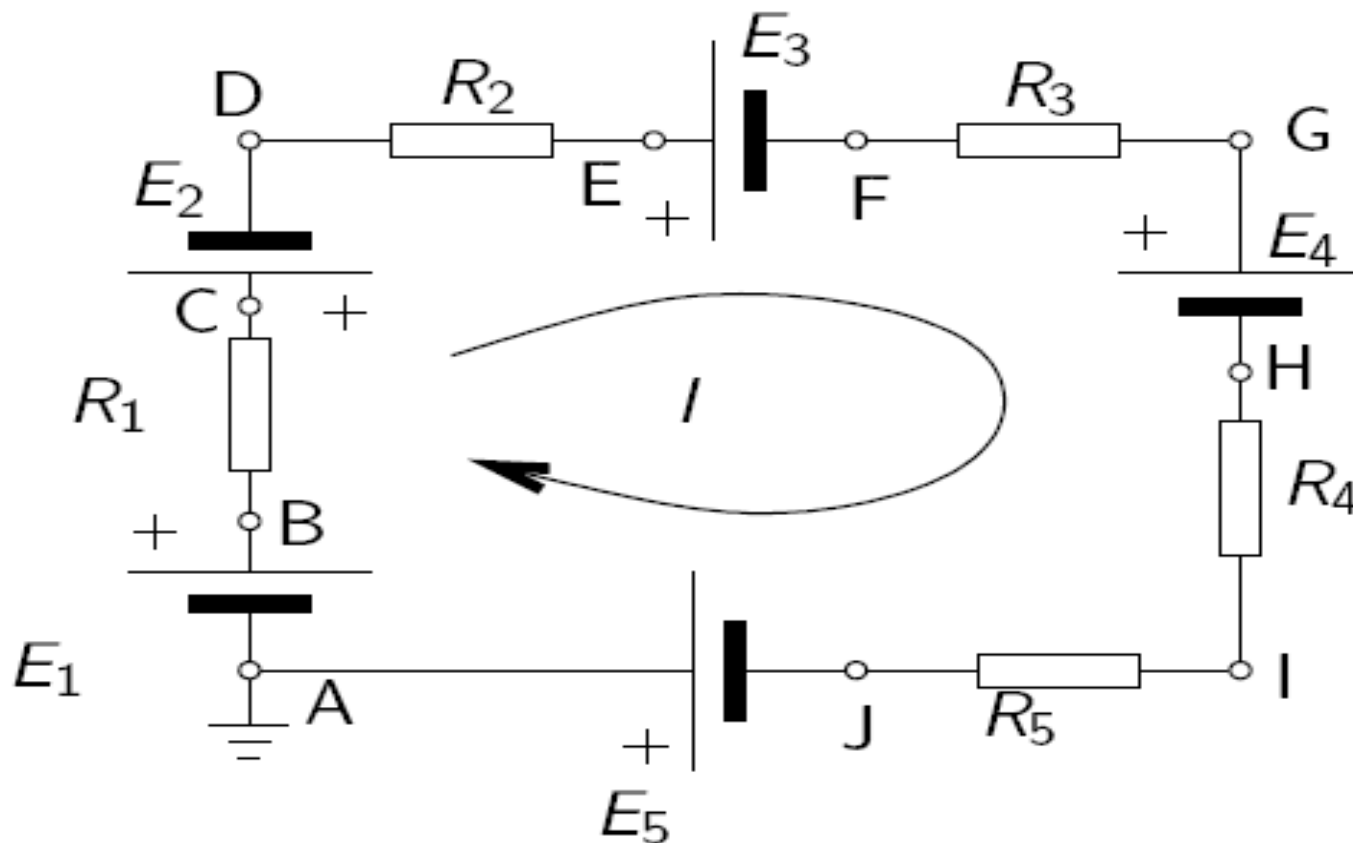
# Primjer potencijalnog dijagrama

Nacrtati potencijalni dijagram za krug prema slici, te odrediti napone  $U_{AG}$ ,  $U_{FI}$  i  $U_{HE}$ . Zadano je:  $E_1=10\text{ V}$ ,  $E_2=E_4=5\text{ V}$ ,  $E_3=E_5=15\text{ V}$ ,  $R_1=1\ \Omega$ ,  $R_3=3\ \Omega$  i  $R_2=R_4=R_5=2\ \Omega$ .





## 3.10 Odrediti potencijale za konturu prema slici:



Zadano:

$$E_1=20V, E_2=E_4=5V, E_3=E_5=15V, R_1=1\Omega, R_3=3\Omega, \\ R_2=R_4=R_5=2\Omega$$

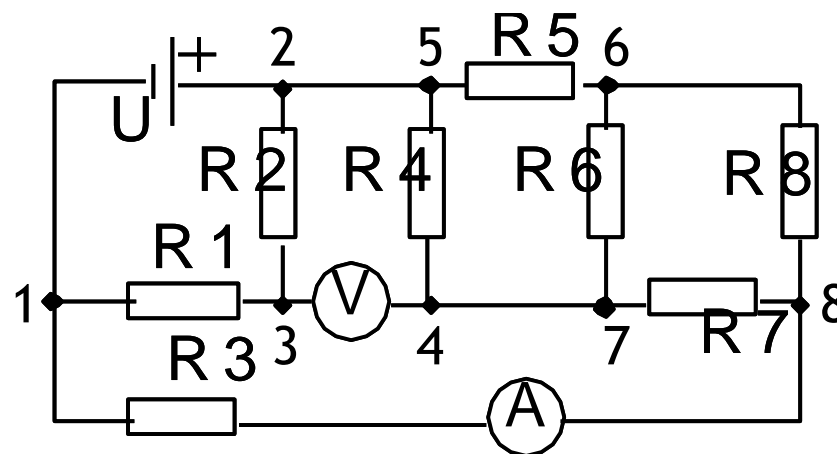
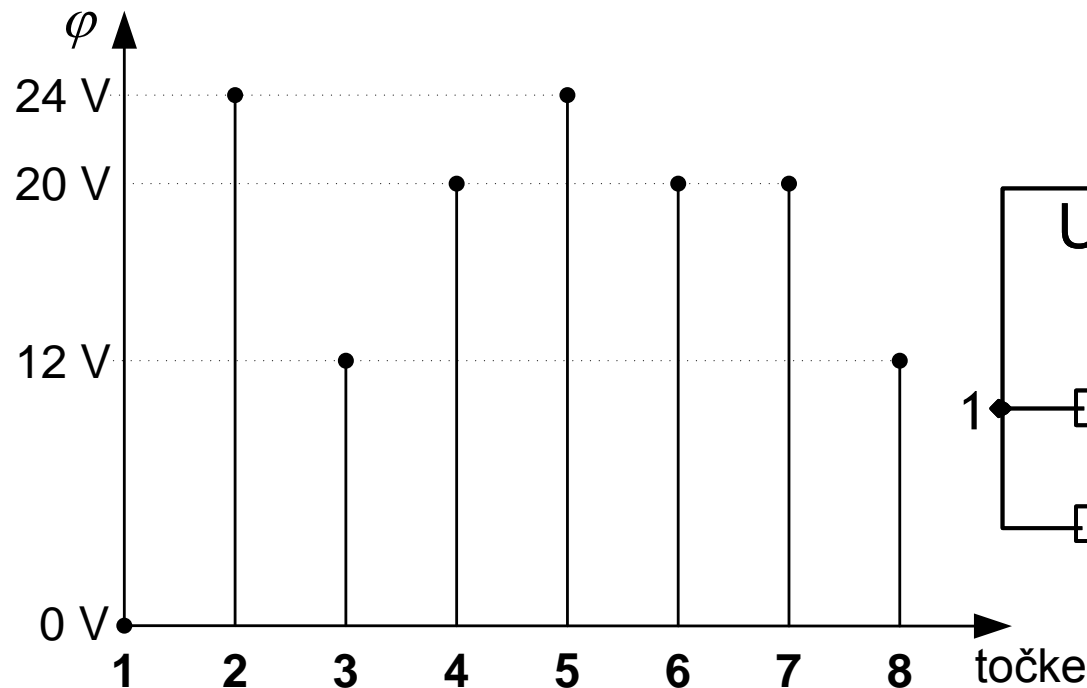
Rješenje:

$$I(R_1+R_2+R_3+R_4+R_5)=E_1-E_2-E_3-E_4+E_5$$

$$I=1A$$

$$\varphi_A=0V, \varphi_B=20V, \varphi_C=19V, \varphi_D=14V, \varphi_E=12V, \varphi_F=-3V, \\ \varphi_G=-6V, \varphi_H=-11V, \varphi_I=-13V, \varphi_J=-15V$$

Ako je zadan potencijalni dijagram za krug na slici te ako su poznati iznosi otpora  $R_1=R_5=5\ \Omega$  i  $R_3=R_4=10\ \Omega$ , treba odrediti:  $U$ ,  $U_V$ ,  $I_A$ ,  $R_2$  te struju  $I_{R6}$ .





## Rješenje prethodnog primjera:

- ♦ Da bismo mogli nacrtati prikazani potencijalni dijagram, trebalo bi poznavati napon izvora i sve otpore razmatranog kruga, pa izračunati struje te pomoću njih izračunati potencijale pojedinih točaka, uzevši točku 1 kao referentnu (s potencijalom 0V).
- ♦ U ovom primjeru je slučaj obrnut. Potencijalni dijagram je zadan (izmjeren), a na temelju njega mogu se odrediti značajke kruga, kako slijedi:

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = 24 \text{ V}; \quad U_V = \varphi_4 - \varphi_3 = 8 \text{ V};$$

$$I_A = U_{R3} / R_3 = (\varphi_8 - \varphi_1) / R_3 = (12 \text{ V}) / (10 \Omega) = 1.2 \text{ A};$$

$$R_2 = R_1 = 5 \Omega \text{ (dijele napon izvora na dva jednaka dijela);}$$

Na otporu  $R_6$  je napon  $U_{R6} = \varphi_6 - \varphi_7 = 0 \text{ V}$ , što znači da je  $I_{R6} = U_{R6} / R_6 = 0 \text{ A}$ , tj.

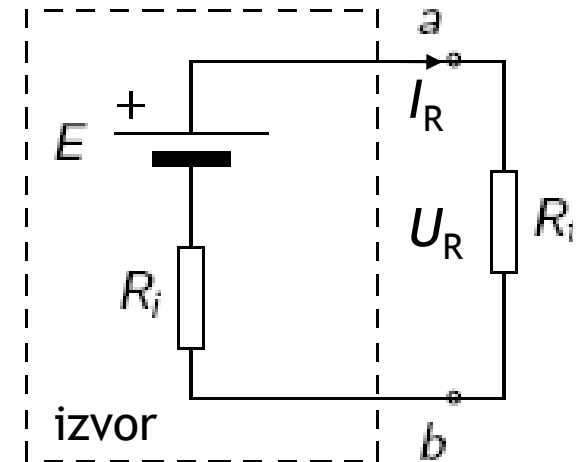
*kroz otpor  $R_6$  ne teče struja! Otpor  $R_6$  stoga ne utječe na prilike u krugu te bi ga mogli i odspojiti a da se struje i naponi u krugu ne promijene!*

- ❖ S pomoću ovoga saznanja pokušajte za vježbu odrediti otpore  $R_7$  i  $R_8$ !

# Priključak linearnog otpora na realni naponski izvor

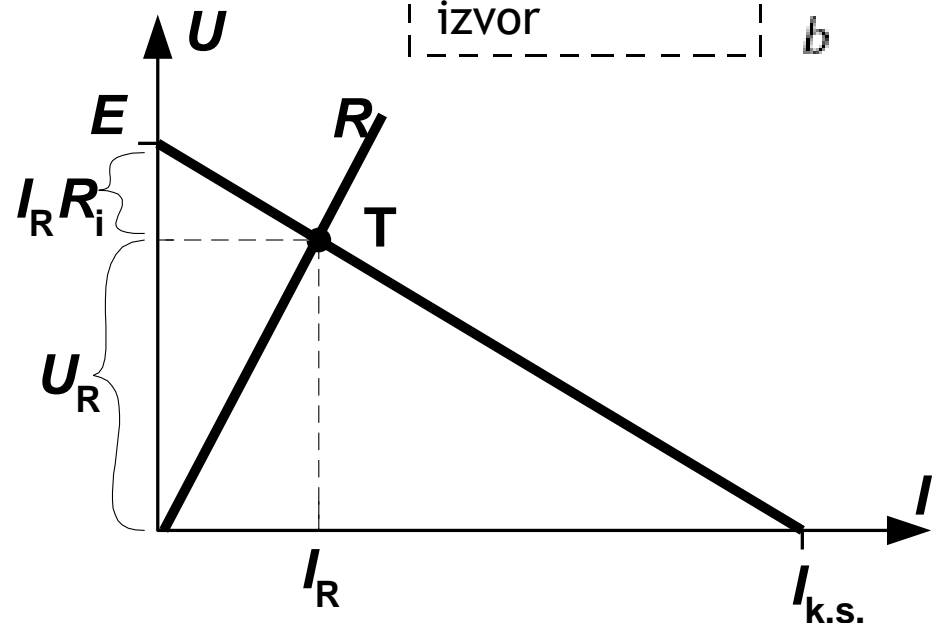
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

Izvor i trošilo su dvopoli spojeni međusobno (u točkama a i b), zbog čega imaju **isti napon** ( $U_R$ ) i **istu struju** ( $I_R$ ) pa se njihove UI karakteristike sijeku u jednoj točki (*radna točka T*) kako pokazuje slika desno.



Sjecište UI karakteristika izvora i otpora  $R$  (radna točka T) određuje napon i struju trošila, kao i pad napona na unutarnjem otporu izvora ( $I_R \cdot R_i$ )

- ❖ Kako bi analitički odredili struju i napon trošila?

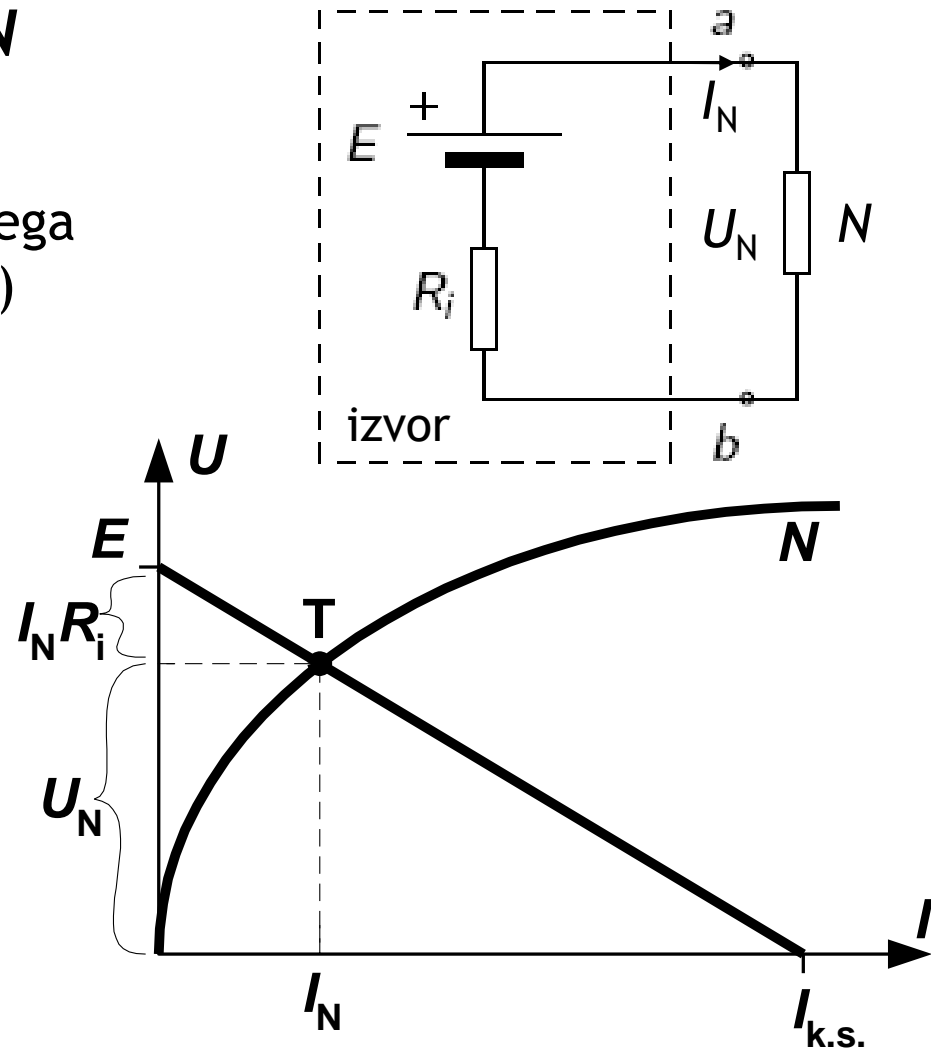


## ◆ Trošilo = nelinearni element $N$

Izvor i trošilo su dvopoli spojeni međusobno (u točkama a i b), zbog čega imaju **isti napon** ( $U_N$ ) i **istu struju** ( $I_N$ ) pa se njihove UI karakteristike sijeku u jednoj točki (*radna točka T*) kako pokazuje slika desno.

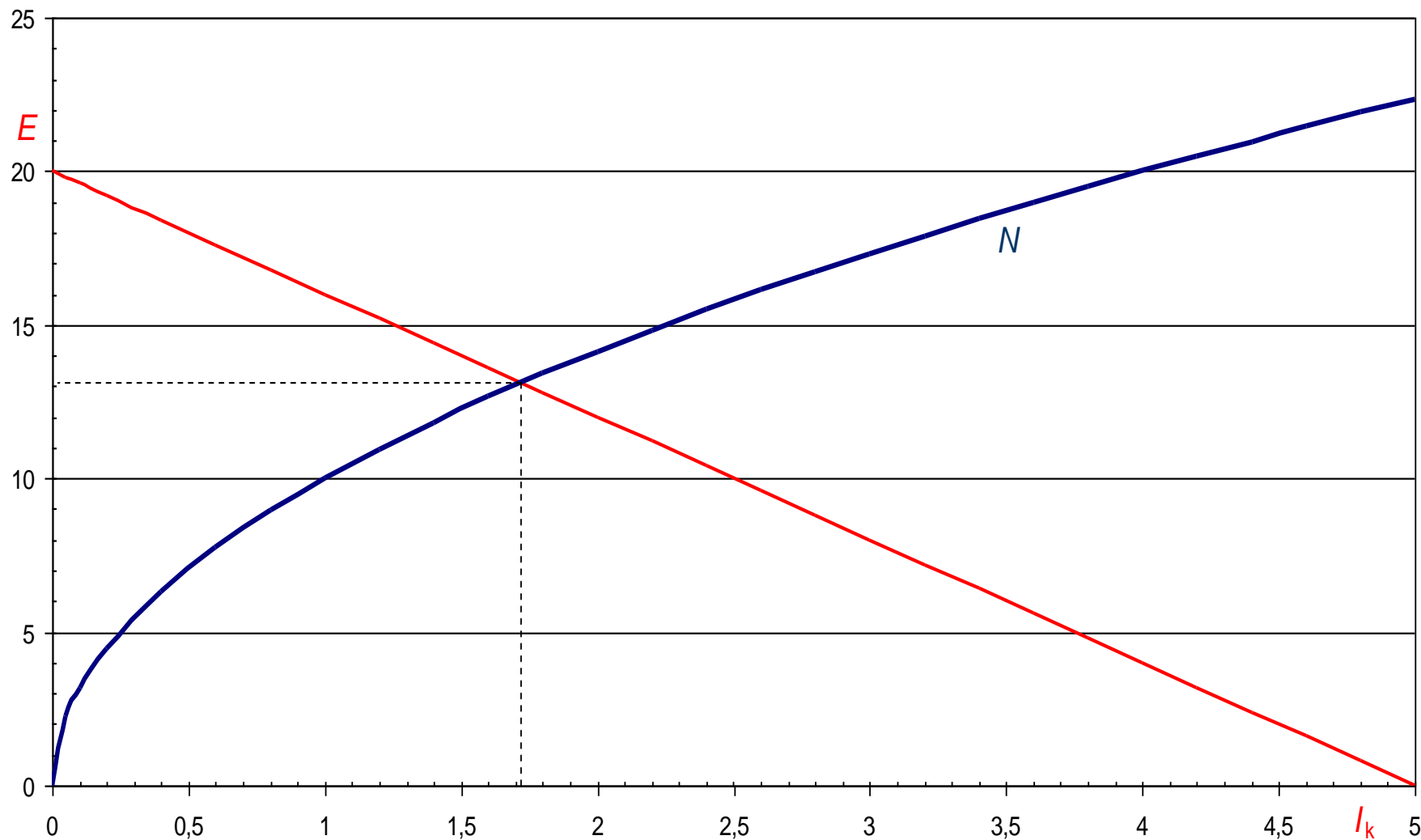
Sjecištem UI karakteristika izvora i nelinearnog elementa  $N$  određeni su napon ( $U_N$ ) i struja ( $I_N$ ) trošila.

Kako bi ove veličine mogli odrediti analitički (jednadžbom) kao kod linearnih otpora?



3.11 Na naponski izvor unutarnjeg napona  $E=20\text{V}$  i unutarnjeg otpora  $R_i=4\ \Omega$  priključeno je nelinearno trošilo čija je ovisnost struje o naponu:  $I_N=0,01\cdot U_N^2$ . Odrediti struju u krugu i napon na nelinearnom elementu.

# Primjer – grafičko rješenje



- 3.1  $E=42V$   $R_i=1\Omega$
- 3.2  $R=6\Omega$   $R_i=4\Omega$
- 3.3  $U_{AB}=14V$
- 3.4 a)  $n=92$  b)  $n=100$
- 3.5  $U_{AD}=4V$   $I=2A$   $P_R=4W$
- 3.6  $R_1=1\Omega$ ,  $R_2=16\Omega$ ,  $P=16W$
- 3.7 a)  $(R_1+R_4) || (R_2 \cdot R_3)$   
b)  $R_2 || [(R_1+R_3) || R_4]$
- 3.8  $I_1=0.5A$ ,  $I_2=0.125A$ ,  $I_3=0.375A$ ,  
 $U_1=7.5V$ ,  $U_2=4.5V$ ,  $U_3=3.75V$ ,  
 $U_4=0.75V$ ,  $R_{uk}=24\Omega$
- 3.9  $R=6\Omega$
- 3.10 vidi str.39
- 3.11  $U=13.117$   $I=1.72$  (vidjeti str.45 za grafičko rješenje)

- Realne mjerne instrumente nastojimo proizvesti tako da su pokazivanja što bliža idealnima . . .
- Realne mjerne instrumente “podešavamo” za što točnija pokazivanja uspoređujući ih sa još točnijim instrumentima . . .
- . . . točnije sa još točnijim . . .
- dok ne dođemo do kraja tj. do mjernih etalona
- *Zavod za osnove elektrotehnike i električna mjerenja* je u tome u samom vrhu . . .
- . . . u PEL laboratoriju . . . pogledajte dalje za detalje

# PEL

## Primarni Elektromagnetski Laboratorij

(komentar uz sliku a  
idućoj stranici)

(ljubaznošću prof.dr.sc.  
Josipa Butorca, ZOEEM, FER)





- ♦ **LIJEVO:** Novonabavljeni Josephsonov etalon napona (engl. *Josephson Array Voltage Standard - new in PEL*)
- ♦ **U SREDINI:** Elektronika i mjerni uređaji za upravljanje Josephsonovim etalom (engl. *Electronics and measurement instruments operating the Josephson standard*)
- ♦ **DESNO GORE:** Naponska vaga ETF-84, Definicijski uređaj čiji su mjerni rezultati uvršteni u međunarodno usklađivanje temeljnih fizikalnih stalnica i mjernih jedinica SI sustava (CODATA) te s 1. siječnja 1990. izvršena korekcija jedinice volt za 8 milijuntinki (engl. *Voltage Balance ETF-84, Primary Voltage Standard whose measurement results have been included in the International adjustment of the fundamental physical constants and measuring units of SI System, and with the January 1st 1990 corrected the unit of Volt for 8 parts per million*).