



Jednostavni krugovi istosmjerne struje

Jednostavni krugovi istosmjerne struje



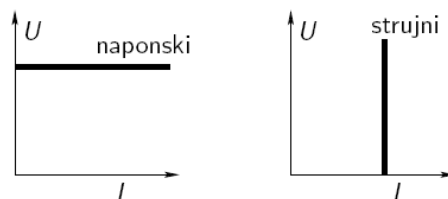
- (i) Idealni naponski i strujni izvor, realni naponski i strujni izvor; vanjska karakteristika izvora
- (ii) Transformacija realnog naponskog izvora u realni strujni izvor i obratno
- (iii) Snaga na izvoru (strujnom i naponskom), na trošilu, maksimalna snaga i stupanj korisnog djelovanja
- (iv) Serijski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

Idealni naponski i strujni izvor

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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:

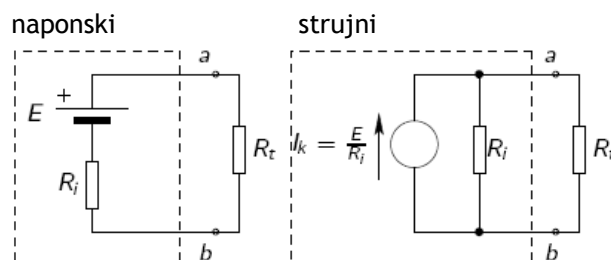


Za idealne izvore vrijedi: napon kod naponskog izvora odnosno struja kod strujnog izvora su konstantnog iznosa i ne ovise o otporu trošila R_t priključenog na izvore

3

Realni naponski i strujni izvor

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- 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

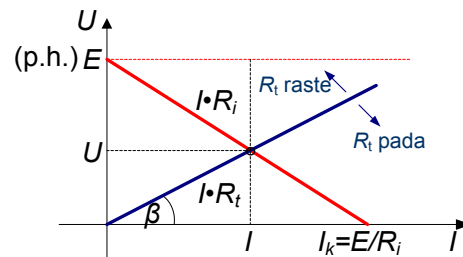
4

Karakteristika realnog naponskog izvora

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ ovisnost napona realnog izvora o struji izvora predstavlja vanjsku karakteristiku izvora
- ♦ 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

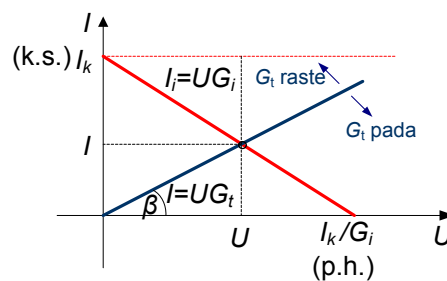
5

Karakteristika realnog strujnog izvora

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ struja realnog strujnog izvora ovisi o otporu trošila R_t



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

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

6

Transformacija realnog naponskog izvora u realni strujni izvor i obratno

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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 pojednostavljaju rješavanje mreža

7

Pravila za transformaciju

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ R_i strujnog i naponskog izvora su jednaki

- ♦ I_k strujnog izvora je: $I_k = \frac{E}{R_i}$

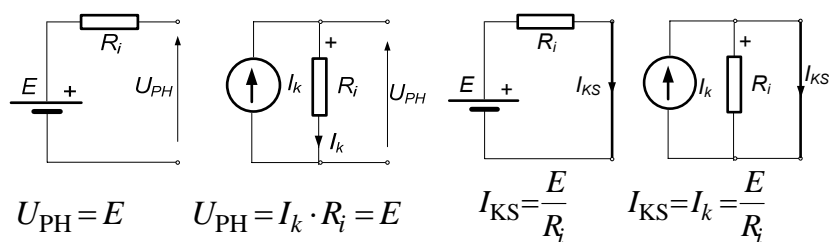
- ♦ E naponskog izvora je $E = I_k \cdot R_i$

8

- ♦ 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

Kratki spoj



Analiza snage na realnom naponskom izvoru

- ♦ 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:

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

Uvjet za maksimum snage (naponski izvor)

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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.

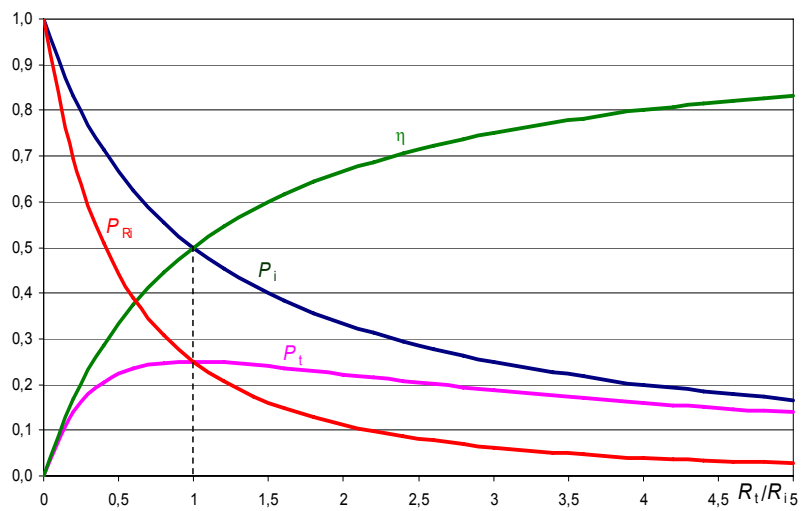
Određivanje maksimalne snage svodi se na traženje ekstrema funkcije, a kao ilustraciju navodimo uvjet za maksimum:

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

11

Ovisnost P_t , P_i , P_{Ri} i η o otporu trošila R_t za realni naponski izvor

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



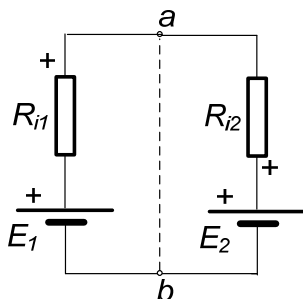
12

Primjeri

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

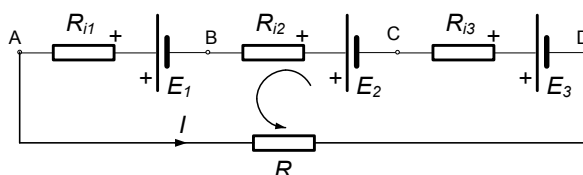
Unutarnji napon naponskog izvora je $E=30\text{ V}$. Kad se na izvor priključi trošilo otpora R , struja u krugu je $I=3\text{ A}$, a napon na stezaljkama izvora $U=18\text{ V}$. Odrediti otpor R trošila i unutarnji otpor izvora R_i .

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

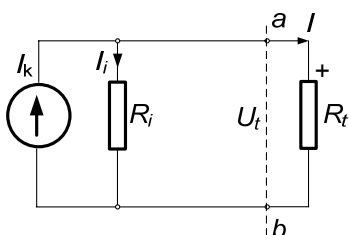


Baterija ima unutarjni napon $E=1,25 \text{ V}$ i unutarjni otpor $R_i=0,004 \Omega$. Koliko je baterija potrebno spojiti serijski da bi se dobio napon $U=115 \text{ V}$: a) kod neopterećenog spoja; b) kad spoj daje struju $I=25 \text{ A}$.

Na tri naponska izvora spojena serijski priključen je otpor $R=1 \Omega$. Unutarjni naponi izvora su $E_1=2,2 \text{ V}$, $E_2=1,1 \text{ V}$ i $E_3=0,9 \text{ V}$ a unutarjni 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 .



Analiza snage na realnom strujnom izvoru



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

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

- ♦ 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 za maksimum snage (strujni izvor)

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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

$$R_i = R_t$$

uvjet se dobije se traženjem ekstrema funkcije:

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

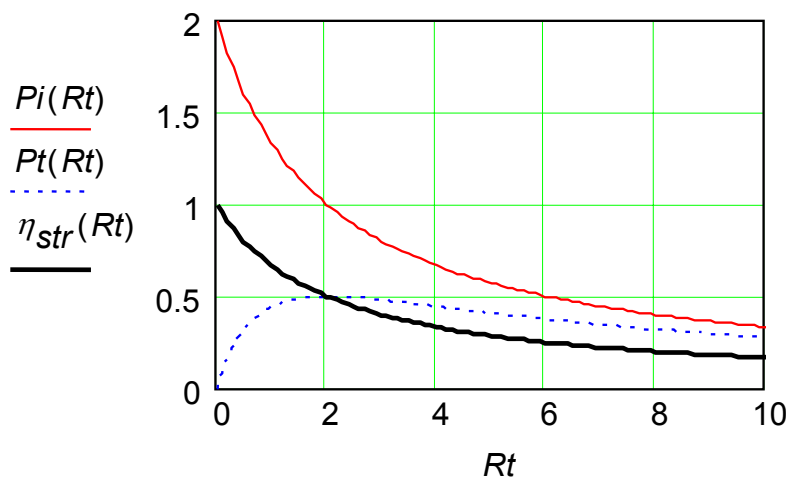
Stupanj korisnog djelovanja realnog strujnog izvora:
(nije isti izraz kao kod realnog naponskog izvora!)

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

17

Ovisnost P_t , P_i i η o otporu trošila R_t za realni *strujni* izvor

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



18

Primjer

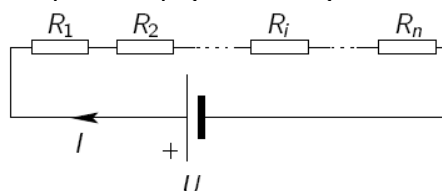


Naponski izvor unutarnjeg napona $E=20\text{ V}$ i unutarnjeg otpora $R_i=4\ \Omega$ predaje trošilu otpora R_1 snagu P uz stupanj iskorištenja $\eta_1=0,2$. Isti izvor trošilu otpora R_2 predaje istu snagu P uz stupanj iskorištenja η_2 . Odrediti otpore R_1 i R_2 te snagu P .

Serijski spoj otpora



- ♦ 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:

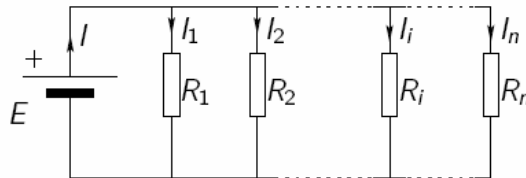
$$R = R_1 + R_2 + \dots R_i + \dots R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Paralelni spoj otpora

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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:

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

21

- ♦ 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:

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

22

Riješeni primjer:

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

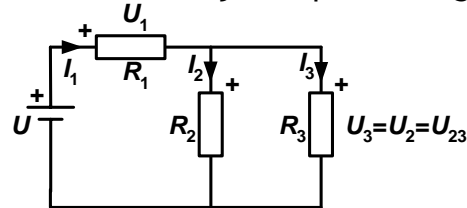


Za primjer na slici izračunati R_{uk} te struju i napon svakog od otpora:

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

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

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



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

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?

23

Primjeri

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



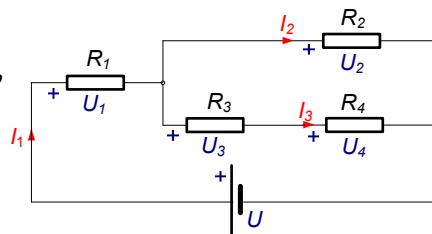
Zadana su 4 otpora: $R_1 = 1 \, \Omega$, $R_2 = 2 \, \Omega$, $R_3 = 3 \, \Omega$ i $R_4 = 4 \, \Omega$.
Kako ih treba povezati da bi se dobio ukupni otpor od:
a) $2,5 \, \Omega$ b) $1 \, \Omega$?

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

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

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

$$R_4 = 2 \, \Omega.$$



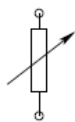
24

Potenciometarski i reostatski spoj

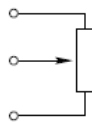
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



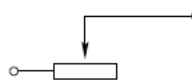
promjenjivi
otpor



potenciometar



reostat



- ♦ 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)

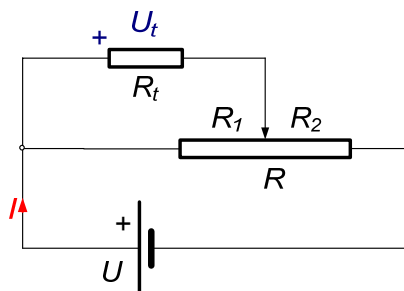
25

Potenciometarski spoj

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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



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

$$0 \leq k \leq 1$$

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

26

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



Na potencijometar otpora $R=100\ \Omega$ priključeno je trošilo otpora R_t . Na kojem dijelu potencijometra treba postaviti klizač da bi na trošilu imali polovicu napona izvora, ako je otpor R_t iznosa:

- a) $10\ \Omega$
- b) $50\ \Omega$?

27

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 (mjerenje nepoznatog otpora je u stvari mjerenje iznosa struje koju daje izvor napona u samom instrumentu)

—(A)— ampermetar

—(V)— voltmetar

—(W)— vatmetar

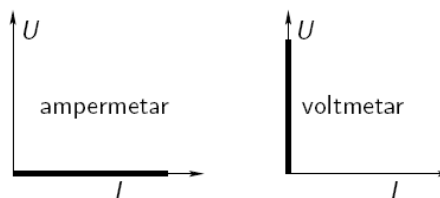
28

Idealni instrumenti

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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



29

Realni instrumenti

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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 otklona teče struja od $100\mu A$ dok je na njegovim stezaljkama napon od $100mV$ što daje vlastiti otpor od $1K\Omega$. 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

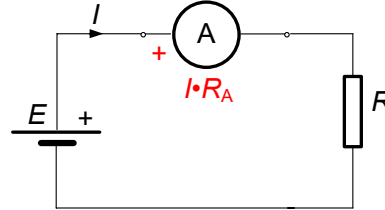
30

Ampermetar

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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



31

Primjer: proširenje mjernog područja ampermetra

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ❖ 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 Ω , 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.

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

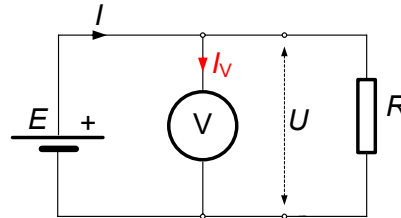
32

Voltmetar

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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



33

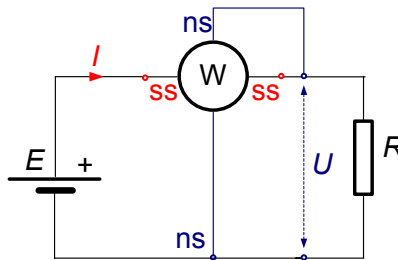
Vatmetar

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



Mjeri snagu u krugu

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



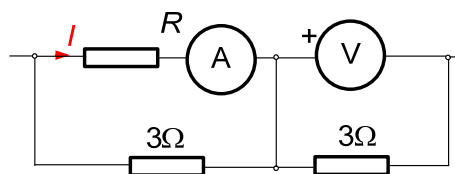
34

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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



35

Potencijalni dijagram

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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. $\varphi_{i+j} = \varphi_i \pm I_j \cdot R_k$ ako se između točaka x_{i+1} i x_i nalazi otpornik R_k)
- (v) potencijali točke se ucrtaju u potencijalni dijagram

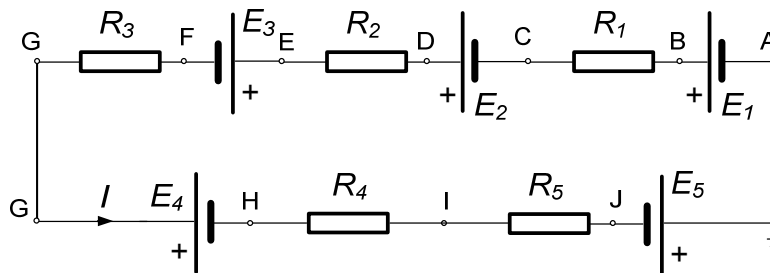
36

Primjer potencijalnog dijagrama

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

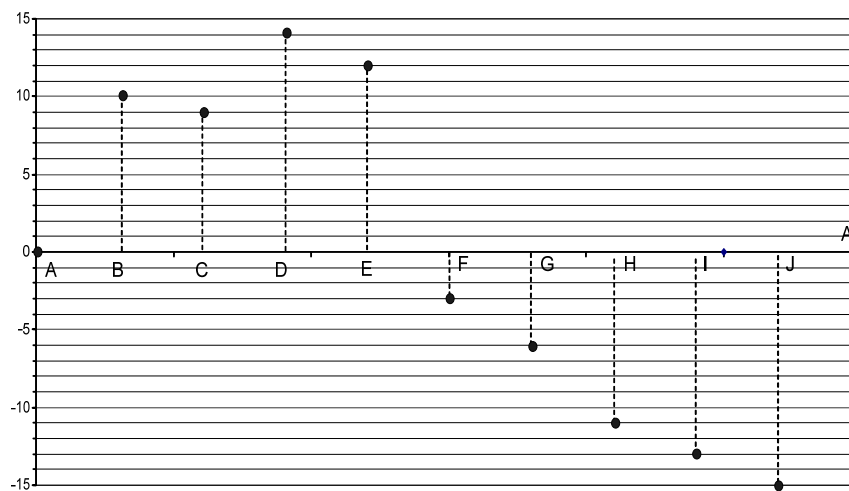


Nacrtati potencijalni dijagram za krug prema slici, te odrediti napone U_{AG} , U_{FI} i U_{HE} . Zadano je: $E_1=10\text{ V}$, $E_2=E_4=5\text{ V}$, $E_3=E_5=15\text{ V}$, $R_1=1\ \Omega$, $R_3=3\ \Omega$ i $R_2=R_4=R_5=2\ \Omega$.



37

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



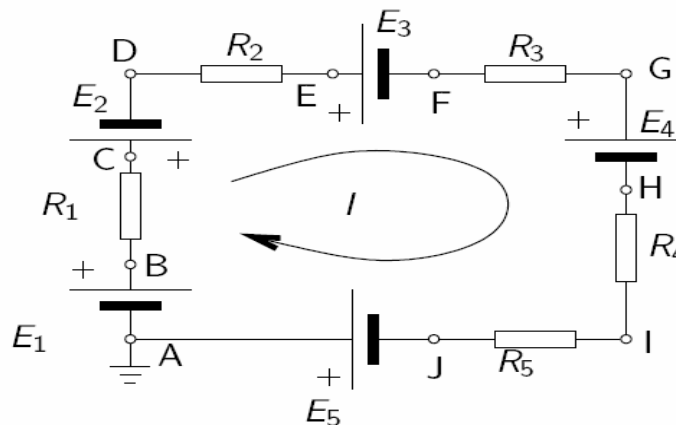
38

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



Odrediti potencijale za konturu prema slici:



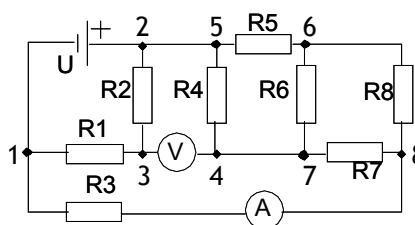
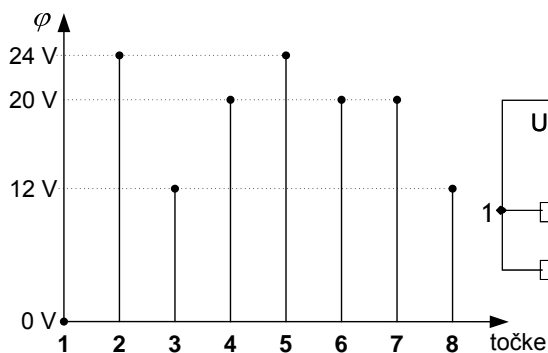
39

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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} .



40

Rješenje prethodnog primjera:

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- 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 (izmjereno), 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 !

41

Priključak linearnog otpora na realni naponski izvor

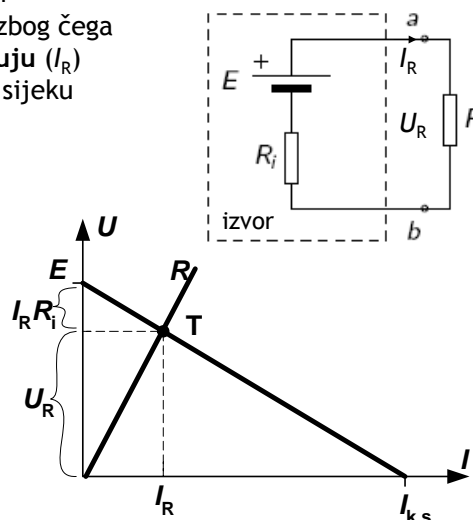
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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?



42

Priključak nelinearnog otpora na realni naponski izvor

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

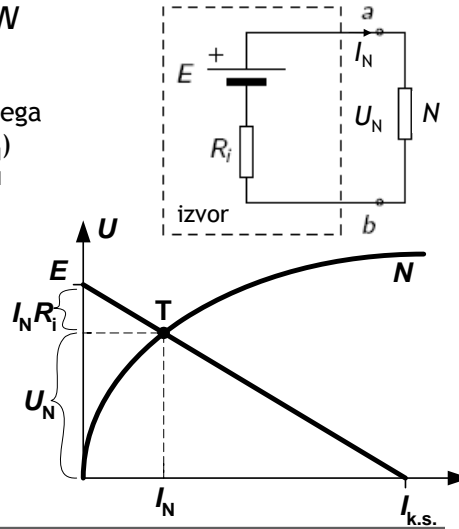


♦ Trošilo = nelinearni element N

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?



43

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

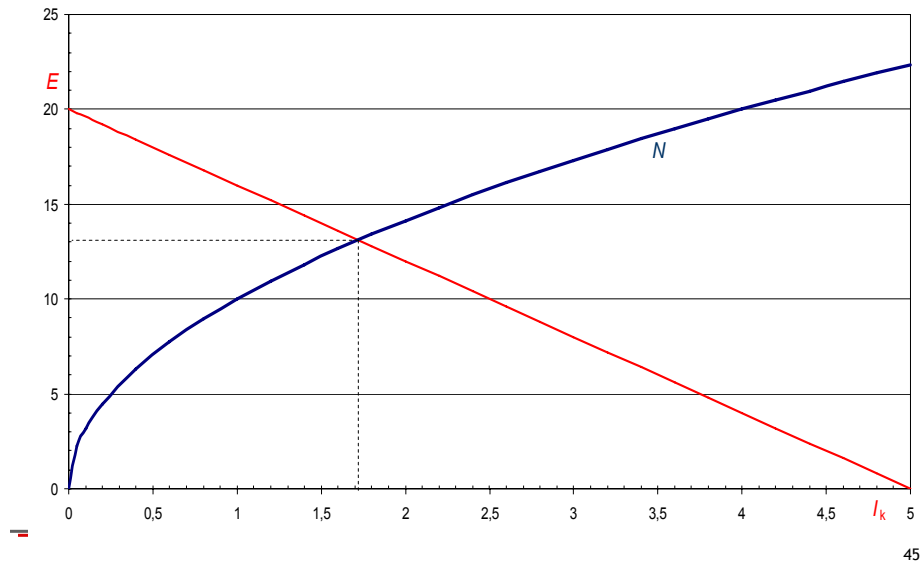


Na naponski izvor unutarnjeg napona $E=20V$ i unutarnjeg otpora $R_i=4\ \Omega$ priključeno je nelinearno trošilo čija je ovisnost struje o naponu: $I_N=0,01 \cdot U_N^2$. Odrediti struju u krugu i napon na nelinearnom elementu.

44

Primjer

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



45