



Stalne istosmjerne struje

Osnovni pojmovi



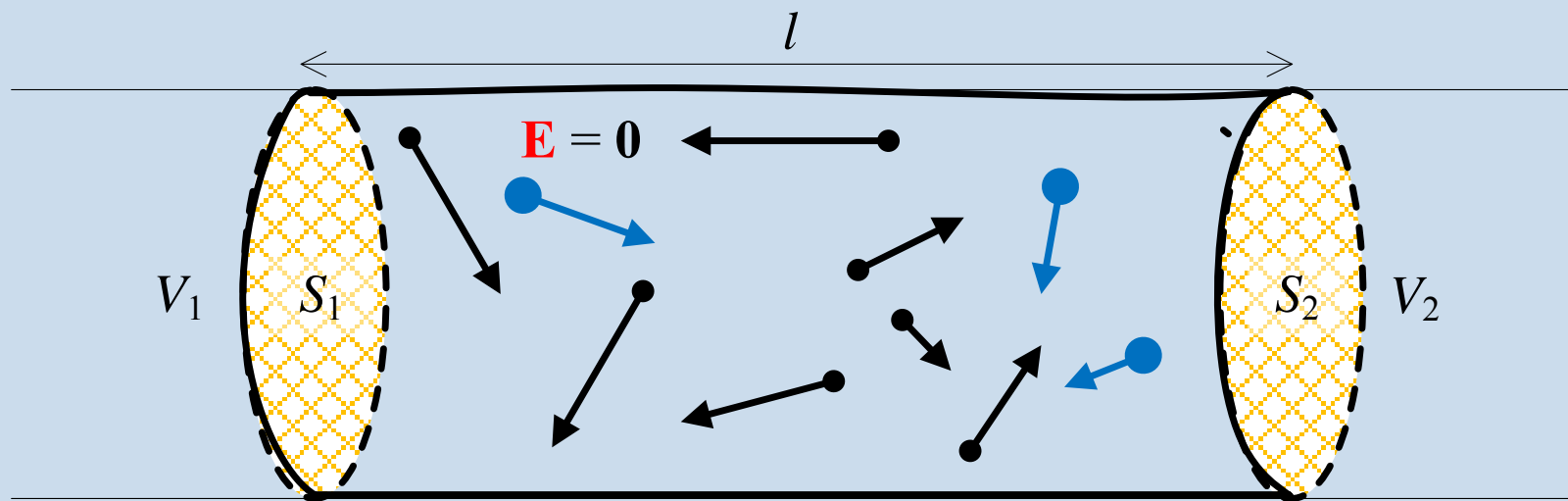
Pod pojmom električni krug podrazumijevamo, u općem slučaju, skupinu izvora i prijemnika, koji su pomoću vodiča povezani u petlju koja predstavlja zatvoren put za električnu struju, odnosno u kojoj postoji mogućnost izmjene energije između elemenata kruga.

Pod pojmom stalna istosmjerna struja podrazumijevamo takvu električnu struju čiji se intenzitet i smjer ne mijenja u vremenu.

Stalne istosmjjerne struje

Pojam električne struje

Vodič bez prisutnog električnog polja

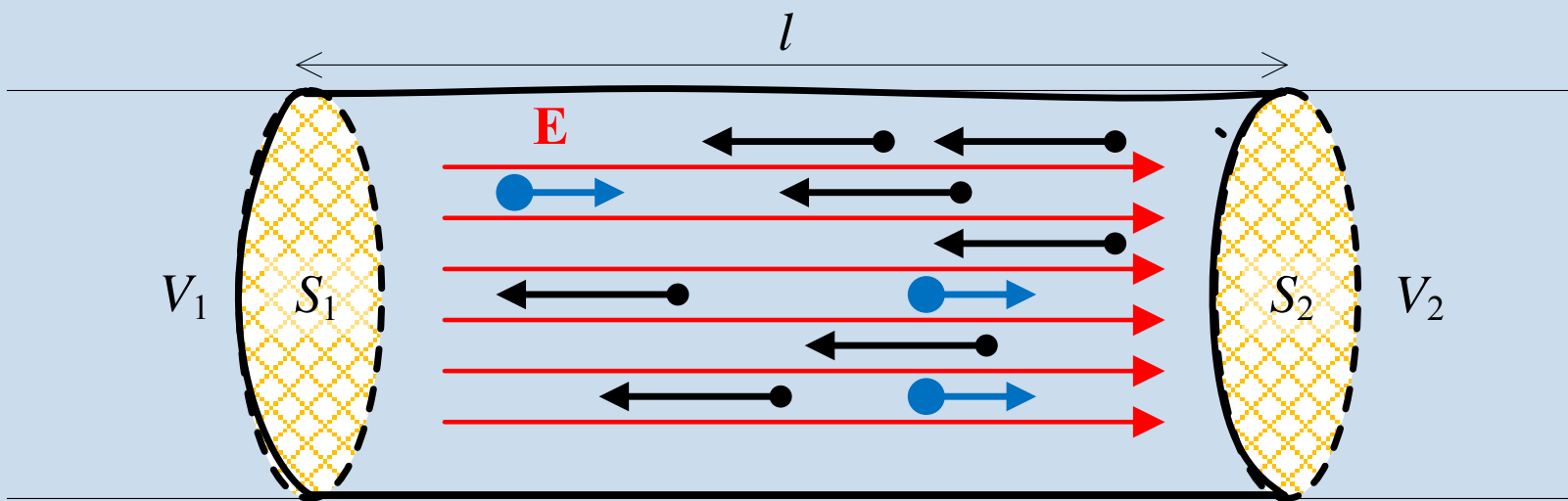


Kad u okolini vodiča nema djelovanja električnog polja, elektroni i pozitivni ioni (plava boja) gibaju se kaotično unutar strukture, u raznim smjerovima i s raznim brzinama. Prosječna brzina ovakvih gibanja je očito jednaka nuli.

Stalne istosmjerne struje

Pojam električne struje

Vodič s prisutnim električnim poljem



Kad u okolici vodiča djeluje homogeno električno polje, pravci gibanja elektrona i iona, su paralelni, smjer gibanja elektrona i negativnih iona je suprotan, a pozitivnih iona identičan smjeru polja. Srednja brzina je različita od nule.



Stalne istosmjerne struje

Pojam električne struje

Definicija i priroda nastanka



Pod pojmom električna struja podrazumijevamo svako usmjereno gibanje slobodnih električki nabijenih čestica (elektrona i iona) u materijalnoj sredini.

S obzirom da prirodu nastanka, električna struja može biti:

- kondukcijska struja ili struja vodljivosti, izazvana djelovanjem električnog polja
- struja dielektričnog pomjeraja, izazvana djelovanjem elektrostatskog polja nastalog polarizacijom dielektrika,
- konvekcijska struja, izazvana mehaničkim silama.

Stalne istosmjerne struje

Pojam električne struje

Definicija i priroda nastanka

Ovisno o vrsti slobodnih nabijenih čestica koje usmjerenim gibanjem stvaraju električnu struju, razlikujemo:

- elektronske struje, izazvane usmjerenim gibanjem slobodnih elektrona; pojava ovakvih struja najčešće se manifestira u metalnim vodičima,
- ionske struje, izazvane usmjerenim gibanjem slobodnih pozitivnih i negativnih slobodnih iona; pojava ovakvih struja najčešće se manifestira u ioniziranim vodljivim plinovima.



Stalne istosmjerne struje

Pojam električne struje

Jakost/jačina električne struje



Jakost/jačina električne struje I koja prolazi kroz neku površinu S , jednaka je količniku električnog naboja q , koja protekne kroz tu površinu, tokom intervala vremena t , i trajanja tog intervala vremena

$$I = \frac{q}{t} \quad [\text{A}]$$

Električna struja je skalarna veličina. Iz praktičnih razloga važno je poznavati i smjer električne struje u odnosu na odabranu referentnu veličinu.



Stalne istosmjerne struje

Pojam električne struje

Gustoća električne struje



Električna struja predstavlja fluks nekog vektora kroz promatranu površinu. Taj vektor je vektor gustoće struje, \mathbf{J} . Kad je vektor gustoće struje konstantan u analiziranoj vodljivoj sredini, vrijedi relacija: $I = \mathbf{J} \cdot \mathbf{S} = J \cdot S \cdot \cos(\angle \mathbf{J}, \mathbf{n}_0)$, gdje je površini S dana vektorska forma pomoću jediničnog vektora normale \mathbf{n}_0 , tako da je $\mathbf{S} = S \cdot \mathbf{n}_0$. Kada je površina S normalna na pravac vektora gustoće struje vrijedi $I = J \cdot S$, što se može koristiti u slučajevima tankih linijskih vodiča, i to kada kroz njih teče stalna istosmjerna električna struja.



Stalne istosmjerne struje

Ohmov zakon

Strujno polje



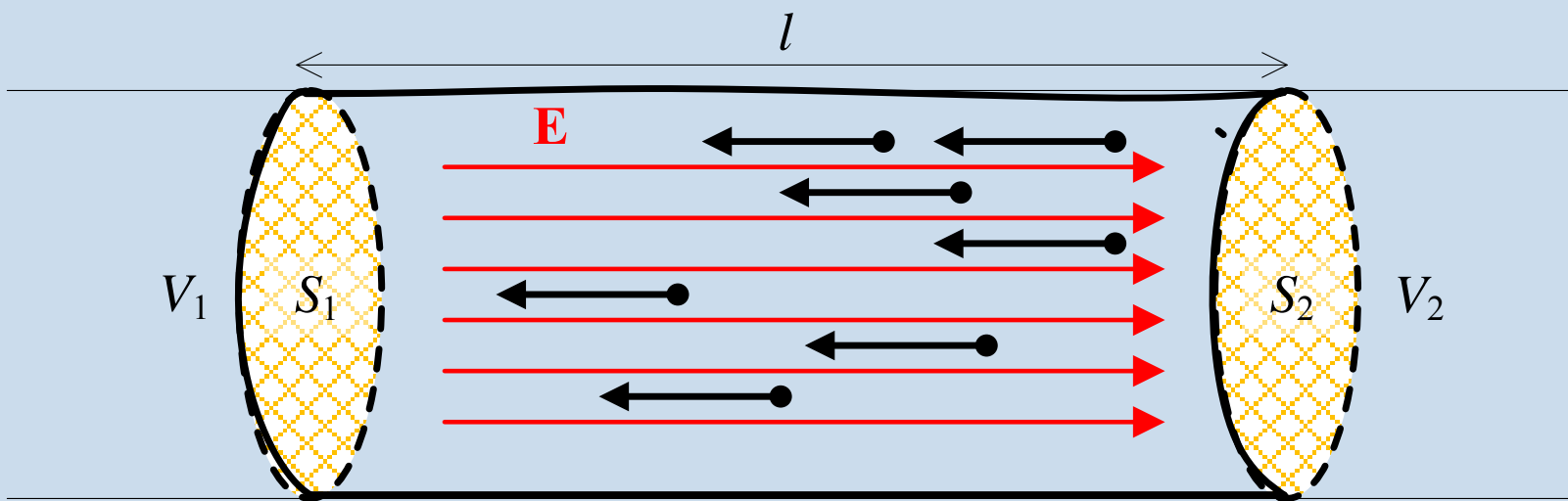
Prostor unutar kojeg se pomjera električni naboj često se formalno naziva strujno polje. Ukoliko se za sve točke promatranog prostora, u svakom vremenskom trenutku, može konstatirati da je srednja makroskopska brzina kretanja električnih naboja nepromjenljiva, tada se takvo strujno polje naziva stacionarnim strujnim poljem.

Možemo zaključiti da su jačina električne struje i gustoća električne struje makroskopske veličine kojim se kvantitativno izražavaju odnosi u strujnom polju.

Stalne istosmjerne struje

Ohmov zakon

Kvantitativni odnosi u strujnom polju



U cilju pronalaska kvantitativnih odnosa u strujnom polju, promatrat ćemo strukturu idealnog cilindra, kod kojega su površine poprečnih presjeka S jednake na bilo kom dijelu strukture.



Stalne istosmjjerne struje

Ohmov zakon

Kvantitativni odnosi u strujnom polju



Neka su N_e zapreminska gustoća slobodnih elektrona, e naboj elektrona, v_s intenzitet makroskopske srednje brzine njihovog gibanja. Tokom vremena t kroz površinu S , normalnu na pravac kretanja tih elektrona, prođu svi oni elektroni koji se zateknu u zapremini $v_s \cdot t \cdot S$, dakle njih ukupno $N_e \cdot v_s \cdot t \cdot S$. Množenjem tog broja, sa iznosom naboja elektrona e , dobiva se da je ukupna količina naboja koja tokom vremena t prođe kroz površinu S : $q = N_e \cdot e \cdot v_s \cdot t \cdot S$. Slijedi: $I = N_e \cdot e \cdot v_s \cdot S$ i $\mathbf{J} = N_e \cdot e \cdot \mathbf{v}_s$, a s druge strane, vrijedi $\mathbf{v}_s = \eta \cdot \mathbf{E}$, gdje je η pokretljivost elektrona.



Stalne istosmjernje struje

Ohmov zakon

Specifična električna vodljivost



Kombinirajući prethodne relacije, možemo naći vezu između vektora stranog električnog polja, kojim je izložena promatrana vodljiva struktura i vektora gustoće struje koju je izazvalo upravo to strano električno polje:

$$\mathbf{J} = \frac{N_e \cdot e^2 \cdot \tau}{2 \cdot m_e} \cdot \mathbf{E} = \kappa \cdot \mathbf{E}$$

Veličina κ je se specifična električna vodljivost. Njegova recipročna vrijednost ρ je specifična električna otpornost. Jedinice mjere za specifičnu električnu vodljivost odnosno otpornost su [S/m], odnosno [$\Omega \cdot \text{m}$], respektivno.



Stalne istosmjernje struje

Ohmov zakon

Pojam električne otpornosti



Električna otpornost predstavlja sposobnost vodiča da se suprotstavlja protjecanju električne struje kroz sebe, odnosno sposobnost pretvorbe primljene električne energije u toplotnu. Fizička veličina koja kvantitativno karakterizira električnu otpornost naziva se električni otpor i označava se s R [Ω]. Otpor tankog homogenog linijskog vodiča, cilindričnog poprečnog presjeka S , dužine l znatno veće od veličine poprečnog presjeka, računa se po formuli:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



Stalne istosmjerne struje

Ohmov zakon

Formulacija Ohmovog zakona



Ohmov zakon pokazuje kvantitativnu vezu između napona, struje i otpora, između bilo koje dvije točke u električnom krugu u kom se vrši izmjena električne energije u toplotnu: jačina električne struje koja protječe u dijelu električnog kruga proporcionalna je razlici potencijala na krajevima toga dijela kruga, a obrnuto proporcionalna električnom otporu toga dijela. Ovakva formulacija Ohmovoga zakona vrijedi u električnim krugovima stalne istosmjerne struje:

$$I = \frac{U}{R} \Leftrightarrow U = RI \Leftrightarrow R = \frac{U}{I}$$



Stalne istosmjerne struje

Ohmov zakon

Utjecaj temperature na električni otpor



Specifični električni otpor, kao i električni otpor metalnih vodiča mijenja se u ovisnosti temperaturi okoline, u skladu sa zakonitošću izraženom putem relacijâ:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha (T - T_0)) = \rho_0 (1 + \alpha (\vartheta - \vartheta_0))$$

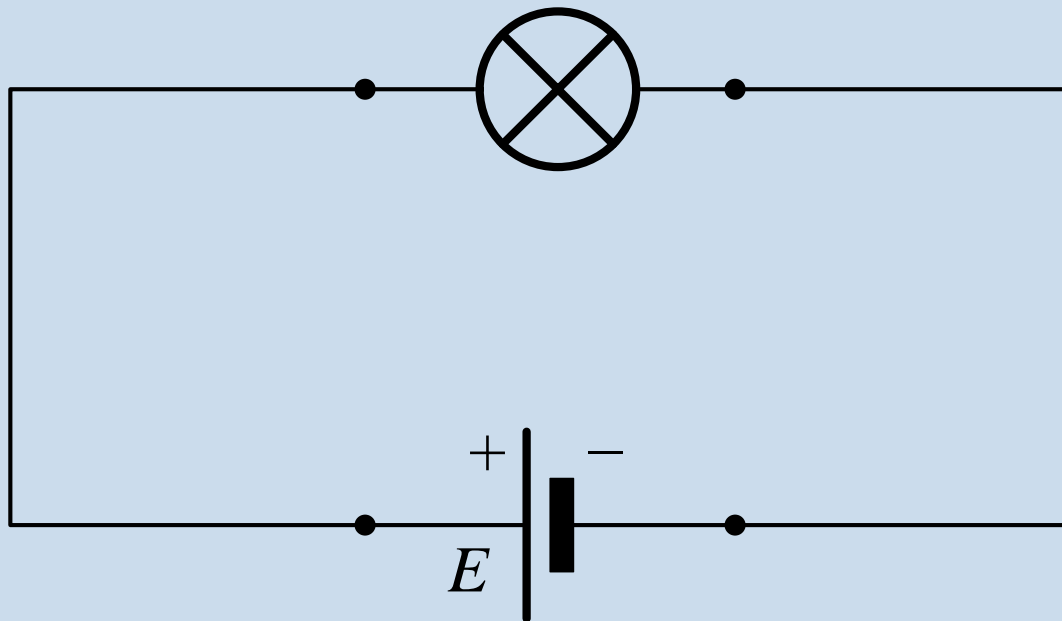
$$R = R_0 (1 + \alpha (T - T_0)) = R_0 (1 + \alpha (\vartheta - \vartheta_0))$$

gdje α tzv. temperaturni koeficijent otporna. U praksi se uzima $T_0 \cong 300 \text{ K}$ ($\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$). Temperaturni koeficijent otpornosti vodljivih metala (Cu, Al, ...) je reda $10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Stalne istosmjerne struje

Elementi električnog kruga

Izmjena energije u električnom krugu



Da bi se ostvario detaljniji uvid u fizikalni proces izmjene energije u električnom krugu, može poslužiti jednostavni električni krug s električnom baterijom i žaruljom.



Stalne istosmjernje struje

Elementi električnog kruga

Izmjena energije u električnom krugu



Baterija predstavlja izvor električne energije, u kome se, u procesu transformacije kemijske energije u električnu, na njegovim krajevima stvara tzv. elektromotorna sila (EMS), koja je u stanju pokretati i usmjeravati slobodne elektrone. Vrijednost EMS izvora se može definirati količnikom kemijske energije koja se pretvori u električnu i količine naboja koja protekne kroz neki poprečni presjek u izvoru.

Jedinica mjere za EMS je volt [V], međutim to ipak nije ista fizička veličina kao električni potencijal i napon.



Stalne istosmjernje struje

Elementi električnog kruga

Izmjena energije u električnom krugu



Pod utjecajem EMS slobodni nositelji naboja (elektroni) imaju različitu gustoću i algebarski predznak na izvodima baterije. Izvod na kojem su elektroni zgusnuti nazivamo negativnim ($-$), a izvod na kojem su elektroni razrijeđeni nazivamo pozitivnim polom baterije ($+$). Ova dva izvoda nazivamo i međusobno suprotnim polovima.

Kad se između polova baterije priključi žarulja i ostvari njihova fizička veza pomoću vodiča, žarulja će zasvijetliti. Ova vizualna manifestacija ukazuje da je u električnom krugu uspostavljena električna struja.



Stalne istosmjernje struje

Elementi električkog kruga

Uvjeti protjecanja električne struje



Uspostava električne struje podrazumijeva:

- postojanje slobodnih nositelja elektriciteta, odnosno postojanje vodljive sredine,
- postojanje izvora električne energije, koji je u stanju da u kontinuitetu stvara i održava stalnu potencijalnu razliku na svojim polovima,
- da skup izvora, prijemnika i vodiča moraju obrazovati zatvorenu strujnu petlju, tj. električni krug.



Stalne istosmjernje struje

Elementi električnog kruga

Uvjeti protjecanja električne struje



U izvore električne energije spadaju: generatori, baterije, galvanski elementi, itd. U njima se kemijska, mehanička, hidraulička, termička ili neki drugi vid energije transformira u električnu.

U prijemnike električne energije (trošila) spadaju: rasvjetna tijela, električni grijači, električni motori itd. U njima se električna energija transformira u neki drugi vid energije: toplotnu, svjetlosnu, mehaničku itd.

Vodiči koji povezuju izvore i prijemnike električnog kruga izrađuju se od dobrih vodljivih materijala: Cu, Al, i drugi.



Stalne istosmjerne struje

Elementi električkog kruga

Topologije električnih krugova



S obzirom na topologiju, električni krug može biti proste i složene konfiguracije.

- Krug proste konfiguracije sastoji se od jednog izvora i jednog trošila.
- Krug složene konfiguracije sastoji od više izvora i više trošila, koji mogu biti fizički povezani na različite načine. Možemo reći da se krug složene konfiguracije sastoji od više povezanih krugova proste konfiguracije.

Stalne istosmjernje struje

Elementi električnog kruga

Topologije električnih krugova

Za električni krug značajni su sljedeći pojmovi:

- **grana**, predstavlja prosti dio električnog kruga u kome su elementi vezani jedan za drugim (na kraj prvog vezan je početak drugog, na kraj drugog početak trećeg itd.), i kroz čije elemente protječe ista električna struja,
- **čvor**, predstavlja mjesto u krugu u kome se stječu tri i više grana,
- **kontura**, predstavlja zatvorenu električnu petlju u kojoj se uspostavlja električna struja, a koja obuhvata dvije i više grana.



Stalne istosmjjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Elektroliza



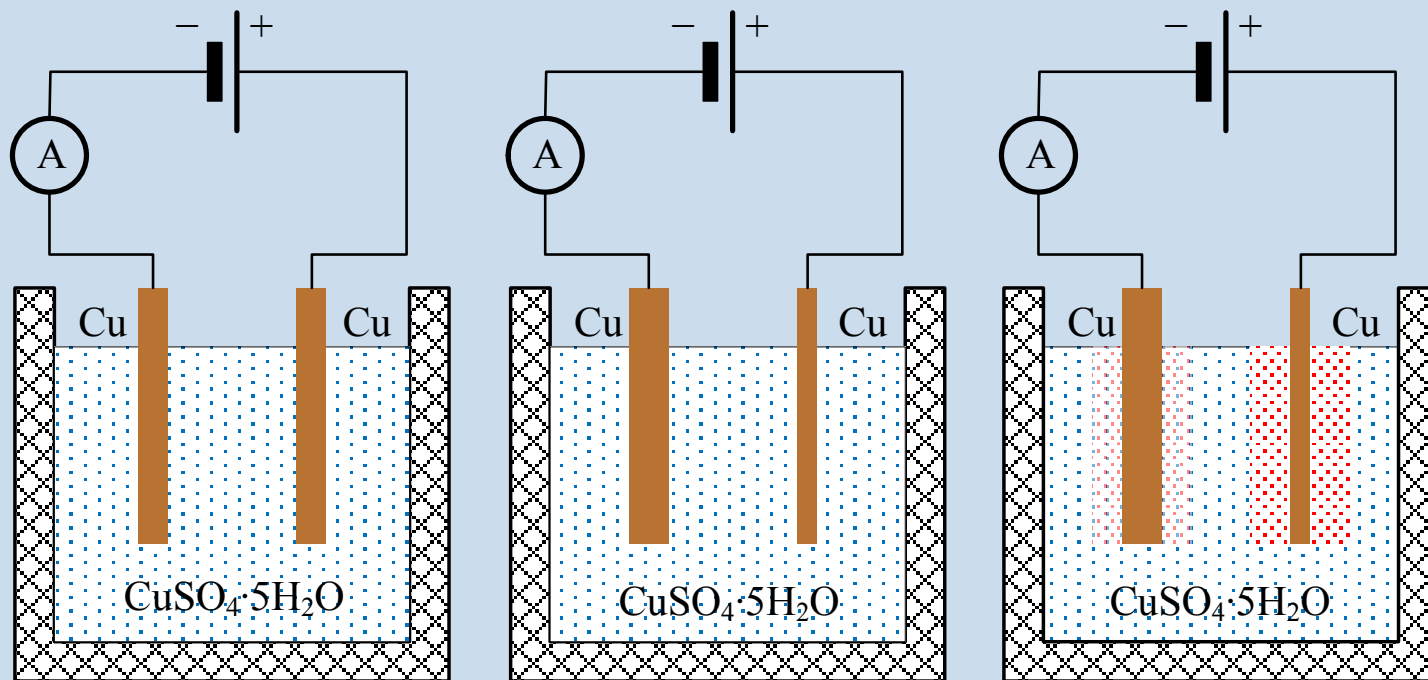
Elektroliza je proces u kome se kemijska reakcija odvija pod utjecajem električne struje. Da bi se ostvario proces elektrolize, treba u elektrolitu uspostaviti električnu struju.

Elektroliza se odvija u elektrolitskoj ćeliji, koja se sastoji od posude u kojoj se nalazi vodeni rastvor neke baze, kiseline ili soli, koji se naziva elektrolitom. U elektrolit su uronjene vodljive ploče – elektrode, i to anoda (pozitivna elektroda, vezana s pozitivnim polom izvora) i katoda (negativna elektroda, vezana s negativnim polom izvora).

Stalne istosmjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Elektroliza



Između dvije elektrode od bakra, priključene na izvor stalnog istosmjernog napona, uronjene u rastvor bakrovog sulfata kao elektrolit, uspostavlja se električna struja.



Stalne istosmjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Prvi Faradayev zakon elektrolize



Ovaj zakon glasi: količine primarnih produkata, nastalih elektrolizom direktno su proporcionalne količini naboja koja protekne kroz elektrolit: $m = k_e \cdot q$, gdje su: m – masa primarnih produkata, q – količina naboja koja protekne kroz elektrolit, a k_e – tzv. elektrokemijski ekvivalent.

Za stalne istosmjerne struje ovaj zakon elektrolize može se prikazati kao: $m = k_e \cdot I \cdot t$, gdje je I – jačina stalne istosmjerne struje, a t – vrijeme trajanja elektrolize. Naboj q se u praksi izražava u [Ah], gdje je $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Drugi Faradayev zakon elektrolize



Ovaj zakon glasi: elektrokemijski ekvivalenti raznih kemijskih produkata direktno su proporcionalni atomskim težinama A , a obrnuto proporcionalni valencijama z , odnosno kemijskom ekvivalentu koji predstavlja omjer atomske težine i valencije:

$$\frac{k_{e_1}}{k_{e_2}} = \frac{\frac{A_1}{z_1}}{\frac{A_2}{z_2}} = \frac{A_1 z_2}{A_2 z_1}$$



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Drugi Faradayev zakon elektrolize



Iz drugog Faradayevog zakona elektrolize direktno slijedi relacija, koja vrijedi za svaku materijalnu sredinu:

$$\frac{A_1}{k_{e_1} z_1} = \frac{A_2}{k_{e_2} z_2} = \dots = \frac{A_n}{k_{e_n} z_n} = \dots = F = \text{const}$$

Konstanta F naziva se Faradayeva konstanta, i označava količinu naboja koja se odnosi na jedinicu mase kada je valencija jednaka jedinici. Mjerenjem je utvrđeno da ona iznosi $F = 9,65 \cdot 10^7 \text{ C/kg} = 26,8 \text{ Ah/g}$.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Elektrokemijski potencijali



Ako se bilo kakva metalna ploča uroni u rastvor svoje soli, dolazi do prijelaza atoma metala s ploče, odnosno elektrode u rastvor, i obrnuto, ioni metala prelaze iz rastvora prema elektrodi. Prijelaz atoma metala s elektrode u rastvor nastaje djelovanjem takozvanog tlaka elektrolitičkog rastvaranja. Obrnuti proces prijelaza iona iz rastvora na metal nastaje djelovanjem osmotskog tlaka. Električki gledano, možemo reći da između elektrode i rastvora postoji određena razlika potencijala, koja dovodi do gibanja električki nabijenih čestica.

Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Elektrokemijski potencijali

Ova razlika električnih potencijala (dakle električni napon) između metalne elektrode i odgovarajućeg rastvora naziva se elektrokemijski potencijal, koji je jedna od temeljnih osobina vodljivih materijala. Empirijska formula glasi:

$$V_u = \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \ln \frac{p_o}{p_r}$$

gdje su: $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ – univerzalna plinska konstanta, T – apsolutna temperatura, z – valencija elementa, F – Faradayeva konstanta, p_o – osmotski tlak iona metala u rastvoru i p_r – tlak elektrolitičkog rastvaranja metala.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Elektrokemijski potencijali



U praktičnim mjerenjima uobičajeno je da se kao mjerna elektroda, a to znači točka referentnog potencijala koristi tzv. reverzibilna vodikova elektroda, koja se odlikuje osobinom da je postojana i da se može koristiti za različite temperature.

Elektrokemijski potencijal neke metalne elektrode u normalnoj koncentraciji rastvora svoje soli na temperaturi 25°C , iskazuje se u odnosu na reverzibilnu vodikovu elektrodu, kao točku referentnog potencijala.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Kemijski izvori električne energije



Kemijski izvori električne energije predstavljaju uređaje u kojima se kemijska energija aktivnih materija neposredno pretvara u električnu. Tradicionalno, dijelimo ih na:

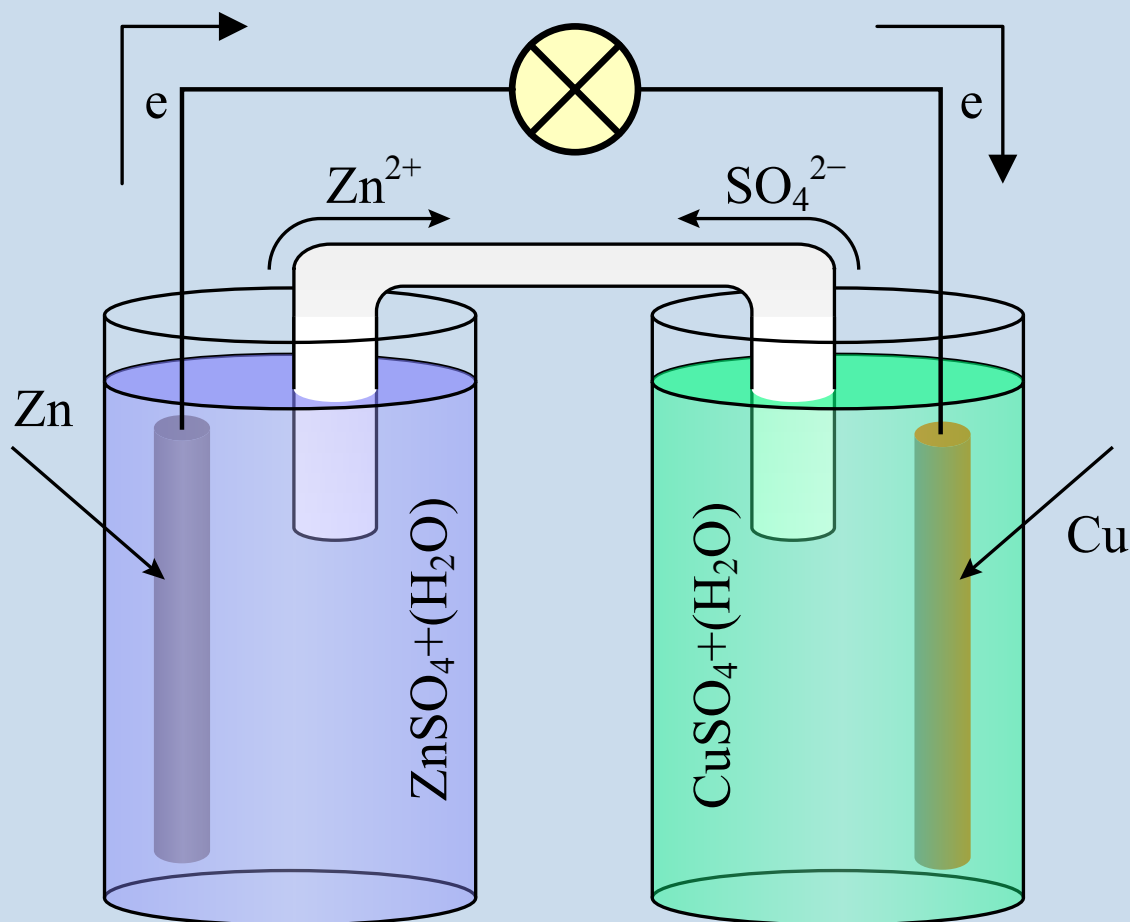
- primarne, koji se mogu koristiti samo dok u njima postoji rezerva aktivne materije pomoću koje se osigurava električna energija, i
- sekundarne, koji u principu mogu raditi neograničeno.

Primarni izvori nazivaju se još i elementi, a sekundarni akumulatori.

Stalne istosmjjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Kemijski izvori električne energije



Stalne istosmjjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Kemijski izvori električne energije

Kemijski izvori rade na principu pojave elektrokemijskih potencijala između elektroda i rastvora. Prvi kemijski izvor električne energije, poznat kao Voltin element čini sustav elektroda od bakra i cinka u vodenom rastvoru sumporne kiseline, odnosno cinkova sulfida.

Kako je normalni elektrokemijski potencijal bakra, u odnosu na rastvor svoje soli 0,337 V, a cinka $-0,763$ V, to je razlika potencijala, odnosno elektromotorna sila Voltinog elementa, pri normalnim uvjetima $E = 0,337 \text{ V} - (-0,763 \text{ V}) \cong 1,1 \text{ V}$.

Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi

Ovi izvori sastoje se od pozitivne i negativne elektrode i elektrolita, te depolarizator, u cilju poboljšanja katodne reakcije. U galvanskom elementu dolazi do elektrolitske polarizacije, koja počiva na različitim kemijskim sastavima graničnih površina jedne i druge elektrode i elektrolita.

Primarni elementi se ne mogu obnavljati propuštanjem struje u suprotnom smjeru, pa se zbog toga, nakon što se istroše zamjenjuju, jer je kemijski element prestao biti aktivan. Dakle, primarni elementi predviđeni su za jednokratnu upotrebu.



Stalne istosmjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi



Polarizacija je pojava koja se u galvanskom članku, zbog kemijskih promjena na elektrodama, manifestira kao EMS E_{pol} , suprotnog smjera djelovanja od EMS samoga članka E . Polarizacija nastaje izlučivanjem materije na elektrodi. Kod primarnih elemenata polarizacija nepovoljno utječe na element kao izvor električne energije, te se nastoji spriječiti. Depolarizacija je svojstvo kojim se elementu neprekidno uklanja izlučena materija s elektrode na kojoj se ta neželjena materija izlučila. Jedan od često korištenih postupaka depolarizacije je oksidacija.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi



Unutarnji otpor elementa R_0 čini otpor elektroda i elektrolita, kao i otpor uvjetovan promjenom potencijala na elektrodama zbog polarizacije za vrijeme protjecanja struje.

Napon pražnjenja U predstavlja napon na krajevima elementa, a jednak je teorijskoj EMS E ako je električni krug prekinut (prazan hod). Kad se zatvori električni krug, uspostavljena struja stvara pad napona na unutarnjem otporu, a svojim protjecanjem utječe na pojavu polarizacije, pa je napon pražnjenja: $U = E - E_{\text{pol}} - R_0 \cdot I$, dok je kapacitet elementa u [Ah]: $Q = U \cdot I \cdot t$.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi



Prema vrsti elektrolita i sastav depolarizacijske mase, galvanske elemente tradicionalno dijelimo na:

- elemente s tečnim elektrolitom (mokre elemente), i
- elemente s čvrstim elektrolitom (suhe elemente).

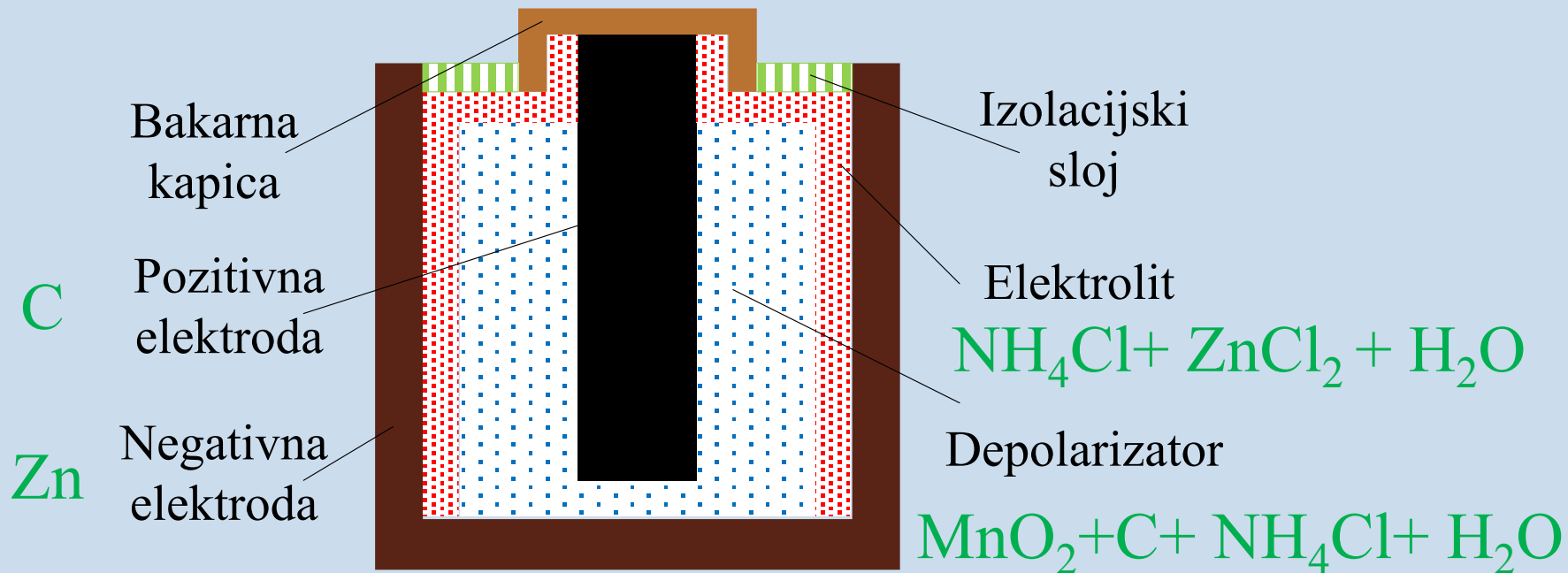
Mokri elementi ispunjeni su tečnim elektrolitom sa slobodnom površinom pa su neprenosivi.

Suhi elementi su elementi kod kojih je tečni elektrolit posebnim dodacima zgusnut u kompaktnu masu. Kao takvi, oni su jednostavno prenosivi.

Stalne istosmjjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi



Najpoznatiji suhi galvanski element je Leclanchéov element, koji se i danas koristi. Suvremene konstrukcije ovog elementa uglavnom su cilindrične i pločaste izvedbe.



Stalne istosmjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Galvanski elementi



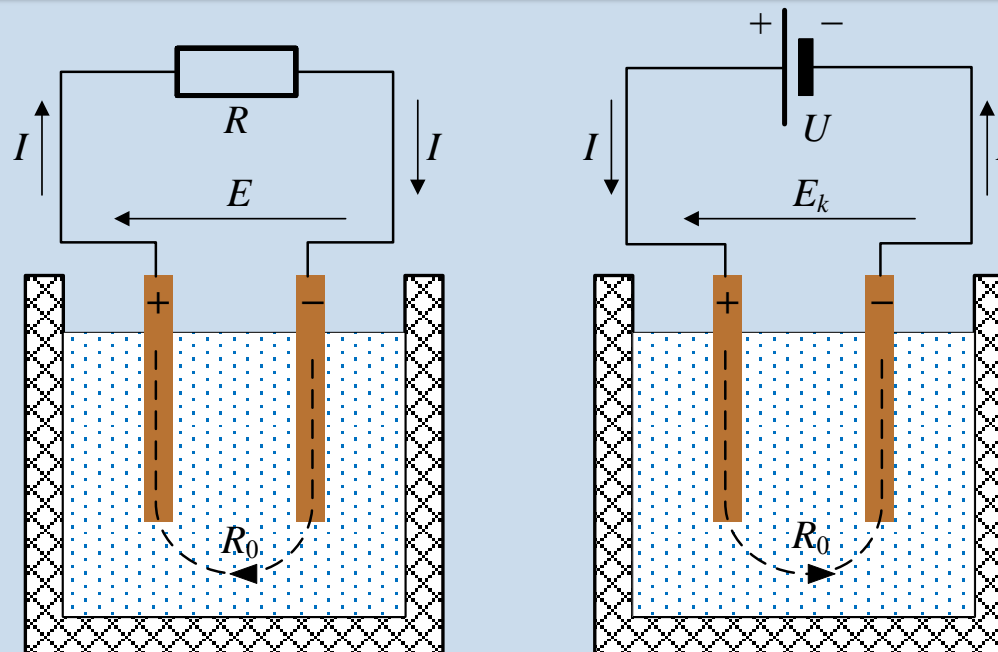
Standardni jednokratni izvori stalnog istosmjernog napona za razne uređaje manje snage (daljinski upravljači, džepne svjetiljke, fiksni bežični telefoni i slični uređaji) su tipične realizacije Leclanchéovog cilindričnog suhog galvanskog elementa. Njegov tipični napon pražnjenja je oko 1,5 V.

Standardni jednokratni izvori stalnog istosmjernog napona za razne uređaje malih dimenzija (elektronički satovi, džepni kalkulatori, BIOS računarska memorija) su tipične realizacije pločastog suhog galvanskog elementa.

Stalne istosmjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Akumulatori



Kod akumulatora elektrokemijsko djelovanje odvija se u oba smjera, tj. ono je reverzibilno. Razlikujemo režim pražnjenja i režim punjenja akumulatora.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Akumulatori



Postoji puno načina izvedbe akumulatora. Tradicionalna podjela je na olovne, alkalne i čelične. U posljednje vrijeme i suhi akumulatori uzimaju sve se više koriste u svakodnevnom životu.

I pored konkurencije u primjeni, njihove komplementarne osobine: pouzdanost, težina, mehanička postojanost, dužina rada itd. opredjeljuju njihovu namjenu i definiraju oblast primjene. Pri ocjeni akumulatora najveći značaj, ipak, imaju njegove električne karakteristike.

Stalne istosmjjerne struje

Kemijsko djelovanje struje

Akumulatori

Elektromotorna sila E akumulatora definiira se kao razlika potencijala između njegovih izvoda kada je električni krug prekinut (prazan hod). Napon akumulatora predstavlja razliku potencijala između njegovih izvoda kada je u krugu uspostavljena struja I . (režim opterećenja)

Napon akumulatora u režimu pražnjenja ili depolarizacije iznosi $U = E - E_{\text{pol}} - r \cdot I$, dok u režimu punjenja napon ima vrijednost $U = E + E_{\text{pol}} + r \cdot I$. Kako je polarizacija proporcionalna struji, vrijedi: $U = E \pm E_{\text{pol}} \pm R_0 \cdot I$, gdje je R_0 unutarnji otpor akumulatora.



Stalne istosmjernje struje

Kemijsko djelovanje struje

Akumulatori



Kapacitet akumulatora predstavlja količinu naboja koju akumulator predaje u procesu pražnjenja. Ova veličina se uobičajeno izražava u amper-satima (Ah).

Kod akumulatora se definira i specifična energija ili energija po jedinici mase aktivne materije. Značajno je istaći da specifična energija, kao i kapacitet bitno zavise od uvjeta eksploatacije akumulatora.

Dobrota akumulatora definira omjer količine naboja koja protekne kroz akumulator u toku pražnjenja i količine naboja koja protekne u toku punjenja.

Stalne istosmjjerne struje

Prijemnici električne energije

Pojam i podjela prijemnika

Definirali smo prijemnike električne energije (trošila) kao elemente koji preuzimaju električnu energiju iz izvora i pretvaraju je u neki drugi vid energije. Dijelimo ih na:

- rezistivne ili omske, koji električnu energiju dobivenu od izvora nepovratno i trajno pretvaraju u toplinsku,
- kapacitivne, koji električnu energiju dobivenu od izvora pretvaraju u energiju elektrostatskog polja,
- induktivne, koji električnu energiju dobivenu od izvora pretvaraju u energiju elektromagnetskog polja.



Stalne istosmjernje struje

Prijemnici električne energije

Fizikalne karakteristile trošila



Osnovna karakteristika omskog trošila je električna otpornost. Fizička veličina naziva se električni otpor. Ovo trošilo se naziva električni otpornik.

Osnovna karakteristika kapacitivnog trošila je električna kapacitivnost. Fizička veličina naziva se električni kapacitet. Ovo trošilo se naziva električni kondenzator.

Osnovna karakteristika induktivnog trošila je električna induktivnost. Fizička veličina naziva se električni induktivitet. Ovo trošilo se naziva električni svitak, kalem, zavojnica.



Stalne istosmjernje struje

Prijemnici električne energije

Fizikalne karakteristile trošila



Osim osnovnih kvantitativnih veličina, karakteristike električnih trošila su i druge veličinama, kao npr.:

- električna snaga koju oni mogu odavati ili pak angažirati, odnosno preuzimati na sebe,
- električna struja kojom se mogu opteretiti, ili pak koju mogu odavati ostalim elementima električnog kruga,
- električni napon koji mogu elementi održavati između svojih krajeva, ili pak preuzeti na vlastite priključne stezaljke.



Stalne istosmjerne struje

Prijemnici električne energije

Fizikalne karakteristile trošila



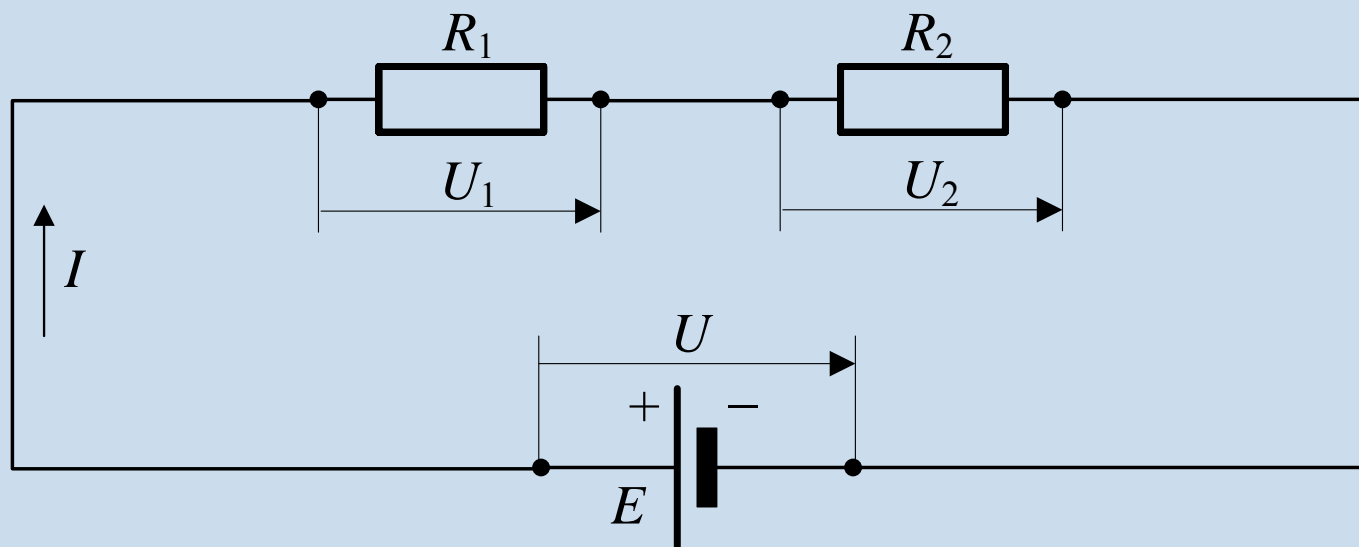
Električni prijemnici se u krugovima stalne istosmjerne struje ponašaju različito, u smislu pružanja otpora struji:

- otpornik se ponaša kao trošilo koje električnu energiju izvora trajno i bespovratno pretvara u toplinsku; on pruža konačan otpor stalnoj istosmjernoj struji,
- kondenzator se ponaša kao prekid strujnog kruga; on pruža beskonačan otpor stalnoj istosmjernoj struji,
- svitak se ponaša kao kratki spoj strujnog kruga; on ne pruža nikakav otpor stalnoj istosmjernoj struji.

Stalne istosmjjerne struje

Vezivanje električnih otpornika

Serijska veza otpornika



Niz od n otpornika vezan je serijski ako je završetak prvog vezan za početak drugog, završetak drugog vezan za početak trećeg, i tako dalje, završetak predzadnjeg vezan za početak zadnjeg.

Stalne istosmjernje struje

Vezivanje električnih otpornika

Serijska veza otpornika

Kod ovakvog tipa veze kroz sve otpornike protječe jedna te ista struja. Ekvivalentni otpor takve veze otpornika jednak je zbroju otpora svih pojedinačnih otpornika:

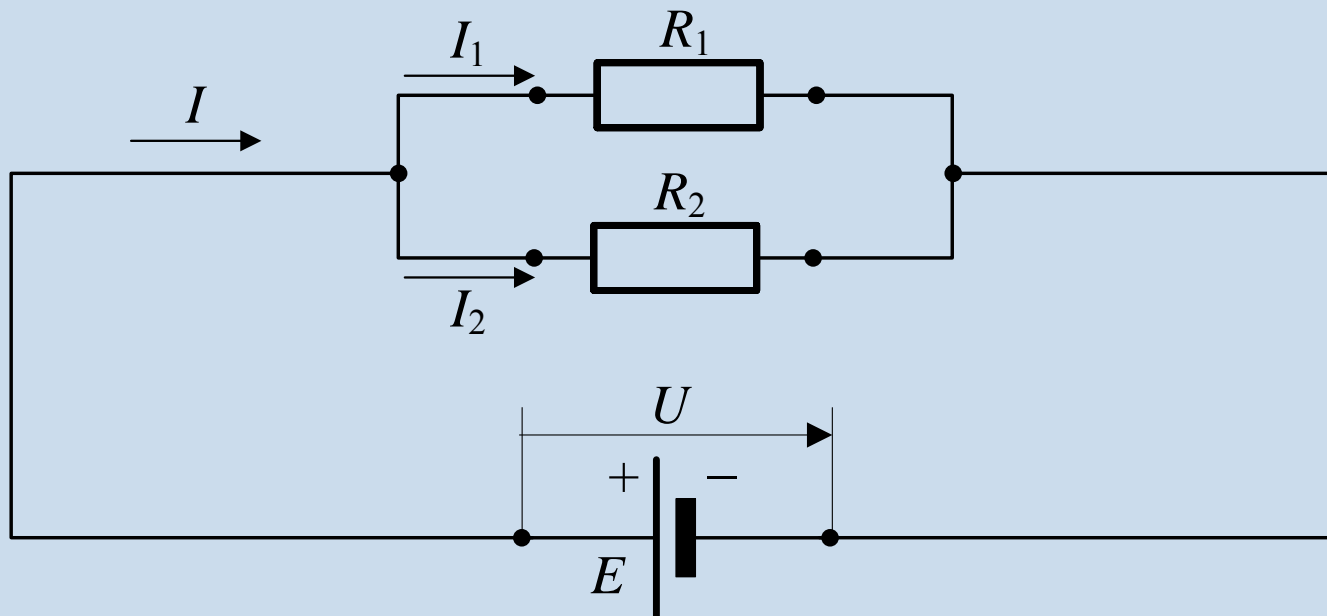
$$R_{\text{ek}} = \sum_{k=1}^n R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Kod serijske veze ekvivalentni otpor se povećava s povećanjem broja otpornika u takvoj vezi. Ekvivalentni otpor je sigurno veći od najveće vrijednosti otpora pojedinačnih otpornika koji takvu vezu čine.

Stalne istosmjerne struje

Vezivanje električnih otpornika

Paralelna veza otpornika



Niz od n je vezan paralelno ako su njihovi početci svi vezani u jednu, završetci u drugu zajedničku točku.

Stalne istosmjjerne struje

Vezivanje električnih otpornika

Paralelna veza otpornika

Kod ovakvog tipa veze svi otpornici nalaze se na jednom te istom naponu. Recipročna vrijednost ekvivalentnog otpora takve veze otpornika jednak je zbroju recipročnih vrijednosti otpora svih pojedinačnih otpornika:

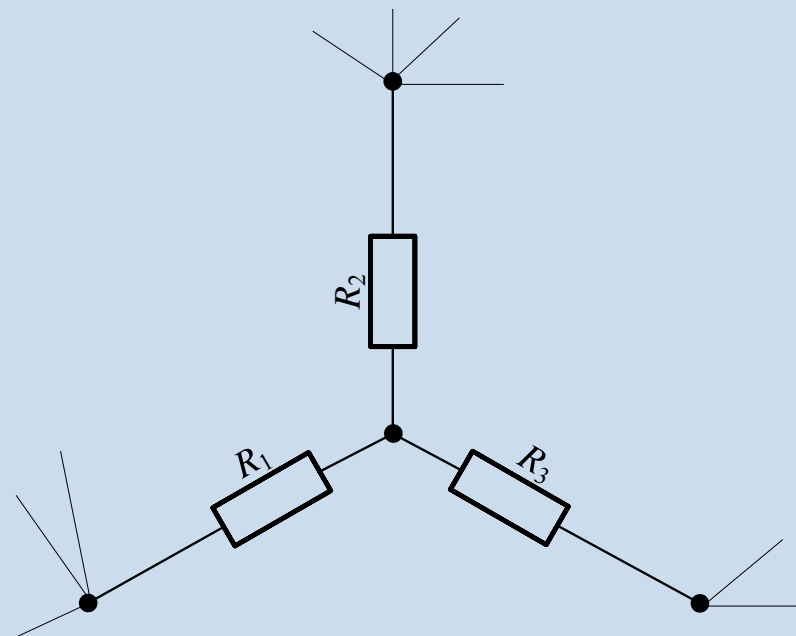
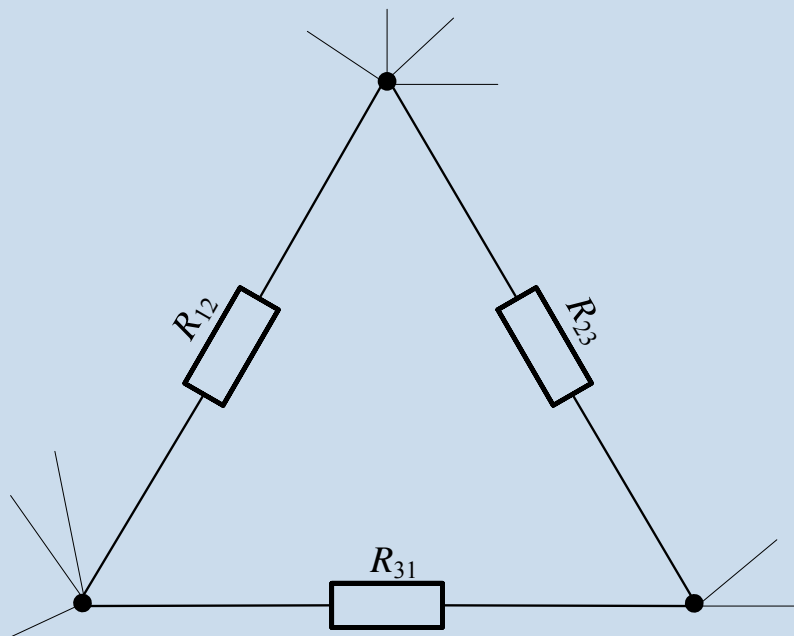
$$\frac{1}{R_{ek}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Kod paralelne veze ekvivalentni otpor se smanjuje povećanjem broja otpornika u takvoj vezi. Ekvivalentni otpor je sigurno manji od najmanje vrijednosti otpora pojedinačnih otpornika koji takvu vezu čine.

Stalne istosmjerne struje

Vezivanje električnih otpornika

Transfiguracija spoja otpornika

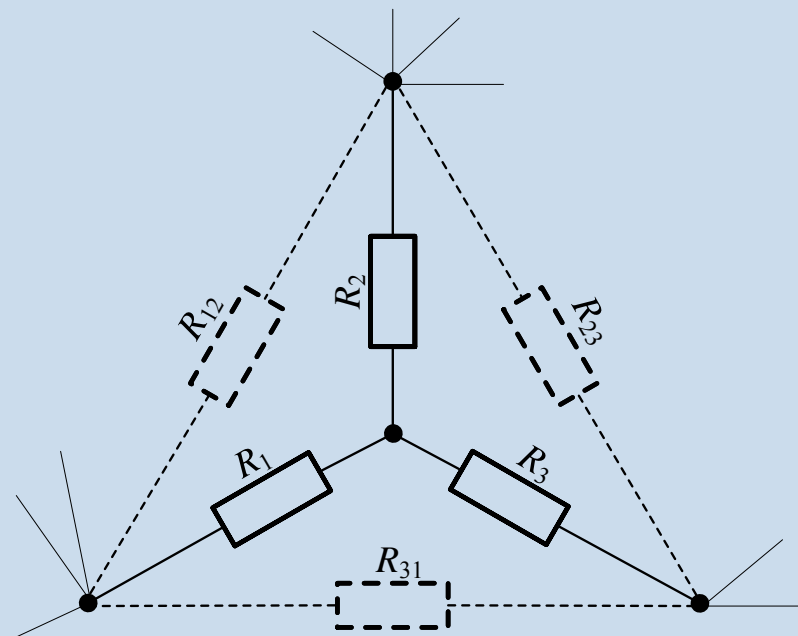
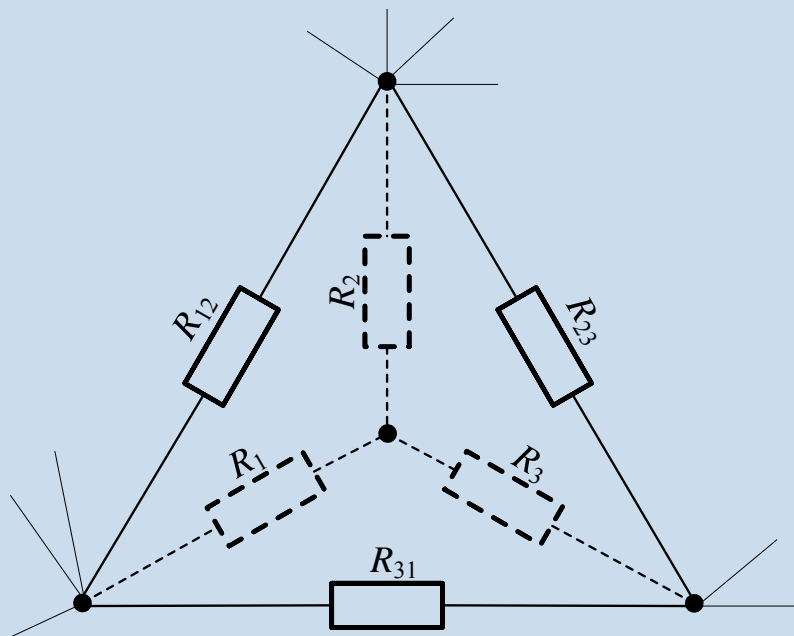


Najpoznatiji primjeri veze otpornika u krugu koja nije ni serijska ni paralelna jesu spoj otpornika u trokut i zvijezdu.

Stalne istosmjerne struje

Vezivanje električnih otpornika

Transfiguracija spoja otpornika



Najpoznatiji primjeri veze otpornika u krugu koja nije ni serijska ni paralelna jesu spoj otpornika u trokut i zvijezdu. Ovi spojevi mogu se međusobno ekvivalentirati.

Stalne istosmjernje struje

Vezivanje električnih otpornika

Transfiguracija spoja otpornika

Spojevi su ekvivalentni ako za transfiguraciju iz spoja u trokut u spoj u zvijezdu, vrijedi:

$$R_1 = \frac{R_{31}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

odnosno za transfiguraciju spoja u zvijezdu u spoj u trokut:

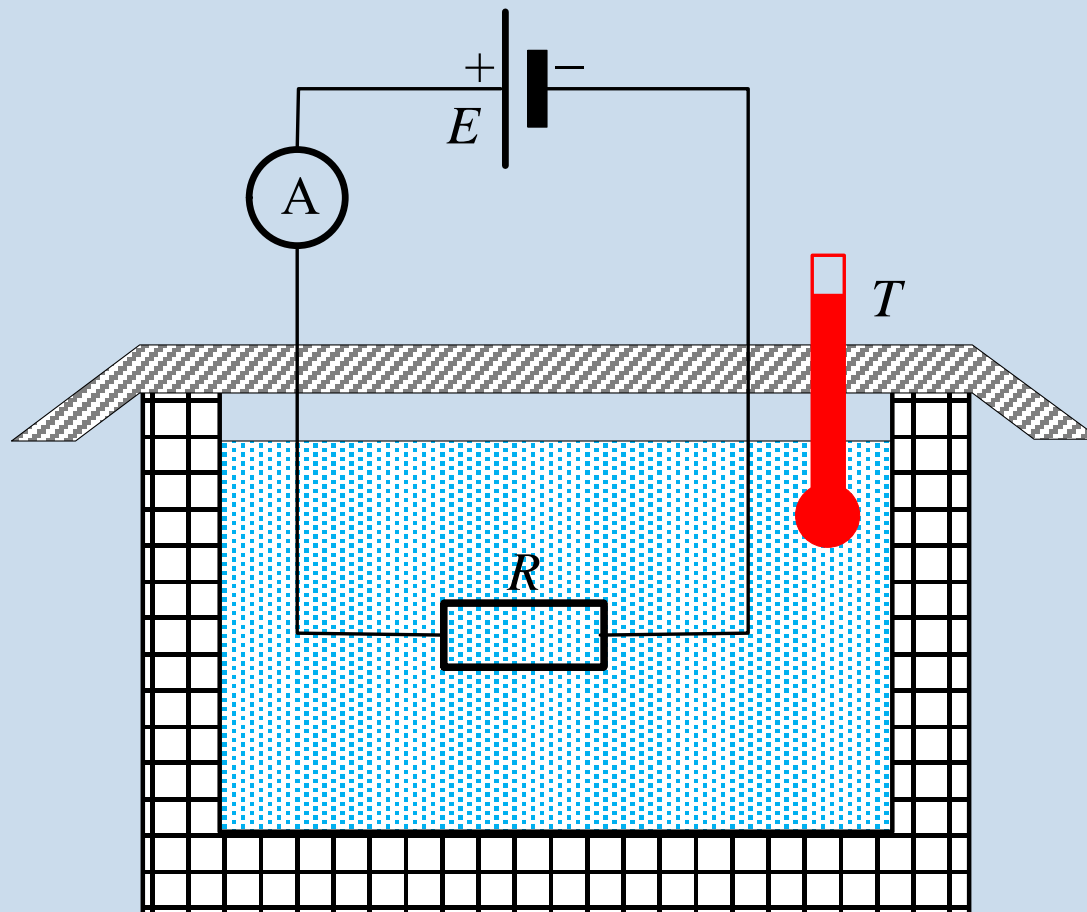
$$R_{12} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} \quad R_{23} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1}$$

$$R_{31} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2}$$

Stalne istosmjerne struje

Jouleov zakon

Opis pokusa





Stalne istosmjerne struje

Jouleov zakon

Formulacija zakona



Količina toplotne energije koja u dijelu električnog kruga otpora R , kroz kojega protječe stalna istosmjerna struja jakosti I , proporcionalna je produktu toga otpora i kvadrata jačine stalne istosmjerne struje u dijelu tog kruga.

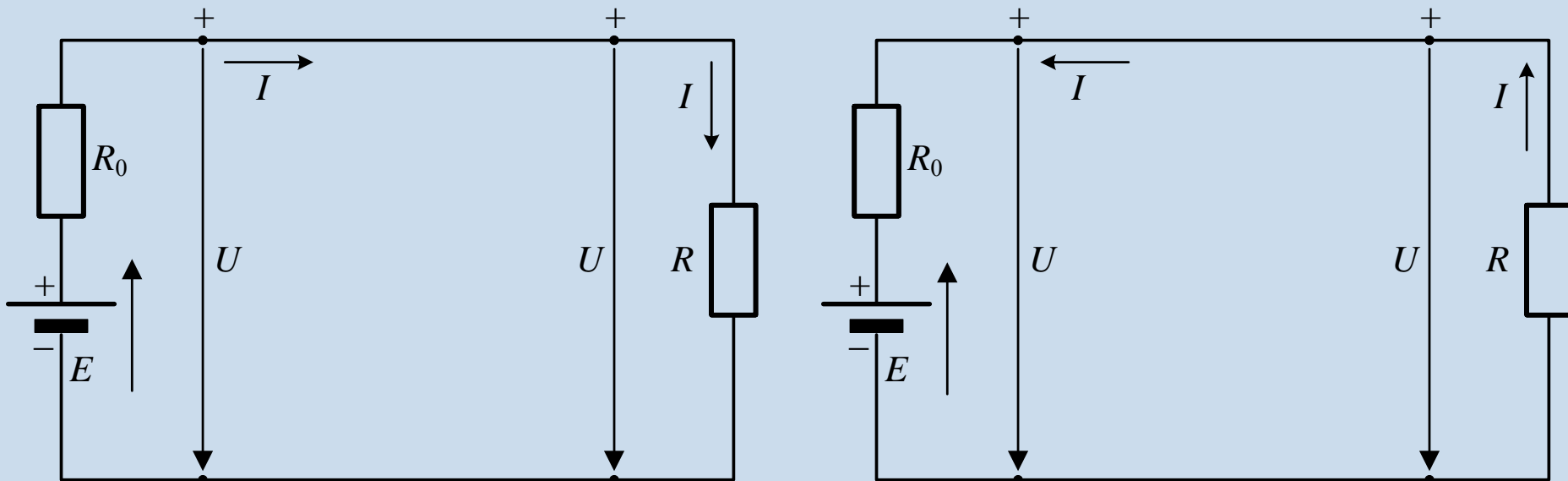
Jouleov zakon analitički se izražava u obliku:

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

Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Smjerovi naponâ i strujâ u krugu



U svijetu ne postoji strogo definirano pravilo određivanja algebarskih predznaka napona i struja, u osnovi je to stvar dogovora. Mi ćemo se pridržavati principa kao na slici.



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Smjerovi naponâ i strujâ u krugu



Princip određivanja algebarskog znaka napona je slijedeći:

- smjer djelovanja napona, u vanjskom dijelu kruga, uvijek se uzima od točke višeg potencijala ka točki nižeg potencijala; takvom naponu pridružuje se pozitivni algebarski predznak,
- smjer djelovanja elektromotorne sile unutar izvora električne energije, uzima se od točke nižeg potencijala ka točki višeg potencijala; takvoj elektromotornoj sili pridružuje se pozitivni algebarski predznak,



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Smjerovi naponâ i strujâ u krugu



- smjer protjecanja struje uzima se proizvoljno; takvoj struji dodjeljuje se algebarski predznak i to pozitivan ako je njen smjer usuglašen sa usvojenim smjerom napona, odnosno negativan ako njen smjer nije usuglašen sa usvojenim smjerom napona.

Napon i struja imaju usuglašen smjer djelovanja ako struja izvire iz točke višeg potencijala i ponire u točku nižeg potencijala. Napon i struja nemaju usuglašen smjer djelovanja ako struja izvire iz točke nižeg potencijala i ponire u točku višeg potencijala.



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Prvi Kirchhoffov zakon



Prvi Kirchhoffov zakon daje relaciju između struja u granama električnog kruga i čvorova koji te grane povezuju.

U slučaju krugova stalne istosmjerne struje, ovaj zakon glasi: algebarski zbroj struja u granama koje se stječu u neki čvor (kažemo da su te grane incidentne promatranom čvoru) jednak je nuli,

$$\sum_k I_k = 0$$



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Prvi Kirchhoffov zakon



Izraz „algebarski zbroj“ znači da u praktičnim situacijama moramo voditi računa od predznacima pojedinih struja. Strujama čiji je smjer usvojen takvim da „dolaze u čvor“ odnosno da su „usmjerene ka čvoru“ pripisivat ćemo negativan algebarski predznak, dok ćemo strujama čiji je smjer usvojen takvim da „odlaze iz čvora“ odnosno da su „usmjerene od čvora“ pripisivati pozitivan algebarski predznak. Naravno, moguća je i prihvatljiva i suprotna solucija, važno je samo da struje usmjerene „od čvora“ i „ka čvoru“ imaju međusobno suprotne predznake.



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Prvi Kirchhoffov zakon



Imajući u vidu upravo iznesenu konstataciju, prvi Kirchhoffov zakon u krugu stalnih istosmjernih struja može se formulirati i na slijedeći način: zbroj struja koje dolaze u neki čvor u električnom krugu jednak je zbroju struja koje odlaze iz tog istog čvora.

Obje navedene formulacije prvog Kirchhoffovog zakona međusobno su ekvivalentne.

Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Drugi Kirchhoffov zakon

Drugi Kirchhoffov zakon daje relaciju između padova napona na elementima jedne zatvorene konture električnog kruga i elektromotornih sila koji u toj konturi djeluju.

U slučaju krugova stalne istosmjerne struje, on glasi: algebarski zbroj padova napona na elementima neke zatvorene konture u električnog kruga jednak je algebarskom zbroju elektromotornih sila koje djeluju u toj konturi,

$$\sum_m R_m I_m = \sum_n E_n$$



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Drugi Kirchhoffov zakon



Elementi zatvorene konture, u slučaju krugova stalnih istosmjernih struja su trošila (otpornici) koja električnu energiju izvora trajno i nepovratno pretvaraju u toplinsku, kao i unutarnji otpori izvora električne energije.

Izraz „algebarski zbroj“ znači da u praktičnim situacijama moramo voditi računa od predznacima pojedinih padova napona i elektromotornih sila. U tom smislu, usvoji se neki referentni smjer u konturi.



Stalne istosmjerne struje

Kirchhoffovi zakoni

Drugi Kirchhoffov zakon



Elektromotornim silama i padovima napona, čiji se usvojeni smjerovi poklapaju s usvojenim referentnim smjerom u konturi dodjeljuje se pozitivan algebarski predznak, a onim čiji se usvojeni smjerovi ne poklapaju s usvojenim referentnim smjerom u konturi dodjeljuje se negativni algebarski predznak. Ukoliko u električnom krugu postoje dvije i više kontura, referentni smjerovi tih kontura mogu se odrediti proizvoljno, neovisno jedna od druge. Dodjeljivanje predznaka strujama u odnosu na čvor i prema usuglašenosti s naponom ne treba miješati.



Stalne istosmjerne struje

Snaga u krugu istosmjerne struje

Pojam električne snage



Ako između dvije točke električnog kruga stalne istosmjerne struje vlada električni napon U , a protječe struja jačine I , tada kažemo da se u tom dijelu kruga razvila snaga $P = U \cdot I$. Ova snaga još se naziva i aktivna snaga.

Primjenom Ohmovog zakona, snaga koja se razvija na otporniku otpora R kad je ovaj priključen na napon U , odnosno kad kroz njega protječe struja I je:

$$P = \frac{1}{R} \cdot U^2 = R \cdot I^2$$



Stalne istosmjerne struje

Snaga u krugu istosmjerne struje

Algebarski predznak snage



Snaga je pozitivna veličina. Međutim, za neusuglašene smjerove napona i struje snaga se uzima negativnom. Ovakva situacija je realno mogućna u granama koje sadrže izvore elektromotorne sile. Ukoliko je snaga koja se razvija na izvorima elektromotornih sila pozitivna, izvor odašilje energiju u ostatak kruga, dok, ukoliko je ta snaga negativna, izvor prima energiju iz ostatka kruga, tj. ponaša se kao trošilo.

U složenom krugu, ukupna snaga uvijek je jednaka algebarskom zbroju snaga na pojedinim elementima.



Stalne istosmjerne struje

Snaga u krugu istosmjerne struje

Algebarski predznak snage



Kod određivanja algebarskih predznaka, pravilo je:

- snage koje se razvijaju na otpornicima uzimaju se isključivo s pozitivnim predznakom,
- snage koje se razvijaju na izvorima elektromotornih sila uzimaju se s pozitivnim predznakom ako izvor šalje energiju u ostatak kruga, a s negativnim predznakom ako izvor prima energiju od ostatka kruga.

Ovih pravila se strogo moramo pridržavati, odnosno ona nisu stvar dogovora.