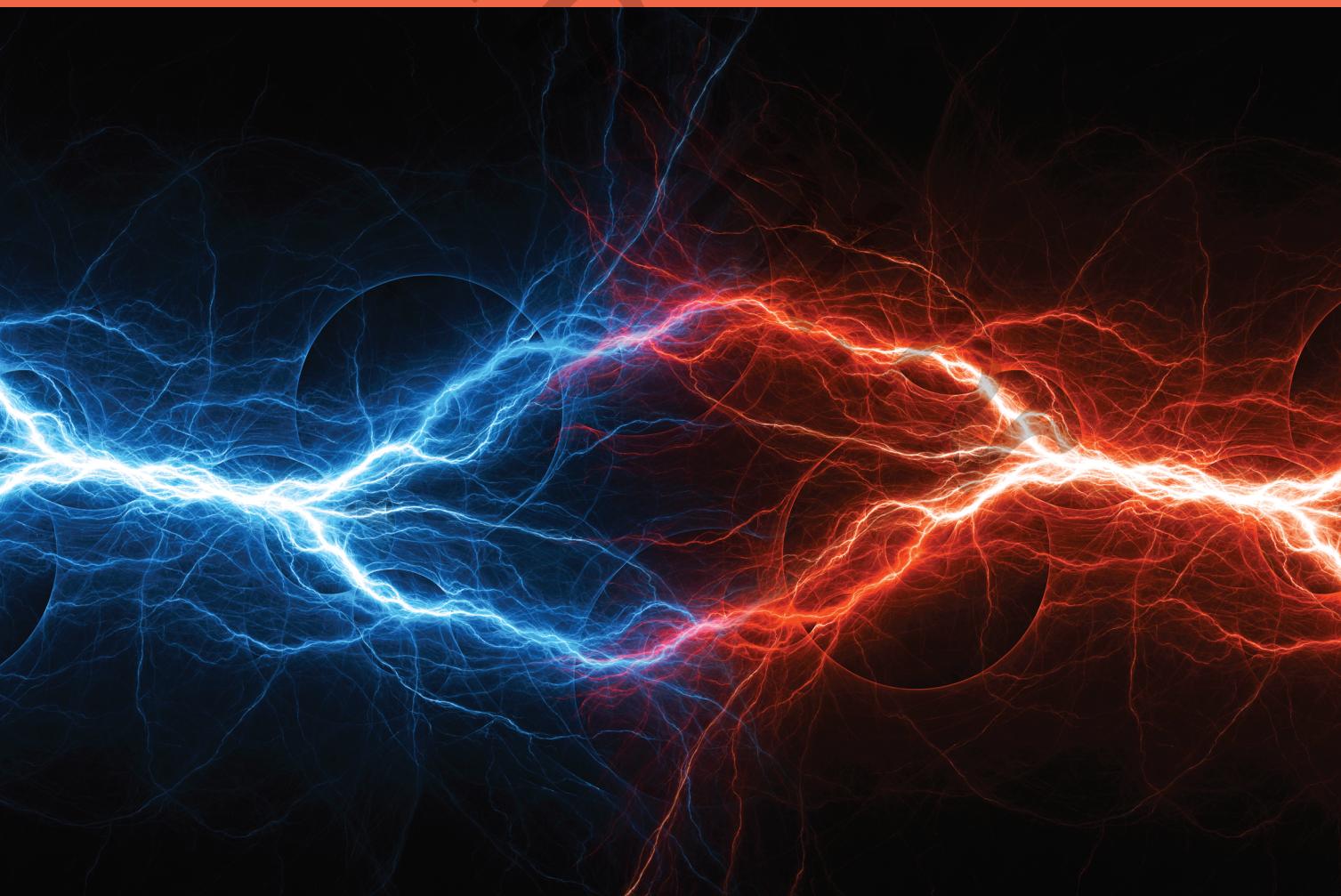


1

Osnovni električni koncepti



1.1. Električni naboј

Razgovor o elektrici i električnim pojavama mora se započeti definicijom pojma **naboja**. Ovdje se može odmah naići na poteškoće – budući da se radi o temeljnoj fizikalnoj veličini, pojam naboja nije jednostavno definirati. Jedna od mogućih definicija jest da je naboј **temeljno svojstvo materije koje se između ostaloga manifestira pojavom elektromagnetske interakcije**. Drugim riječima, to je svojstvo koje se koristi kako bi se mogle objasniti električne i magnetske pojave.

Promatraljući građu tvari, može se uvidjeti da se one sastoje od atoma, čija struktura ima jezgru (sastavljenu od protona i neutrona) te elektronski omotač u kojem se nalaze elektroni. Od triju navedenih elementarnih čestica za elektrone se kaže da nose *negativan naboј*, dok protoni nose *pozitivan naboј*.

Za električni naboј koristi se slovo Q ili q^1 (od engleskog izraza *quantity of electricity*, tj. količina elektriciteta). Prema Međunarodnom sustavu jedinica (franc. SI)², **mjerna jedinica električnog naboja je kulon** (prema francuskom fizičaru Coulombu), uz oznaku **C**.

$$[q] = \text{C} \quad (1.1)$$

Mjera od 1 C prilično je velika u usporedbi s nabojem protona q_p , odnosno elektrona q_e , koji je tzv. *elementaran naboј* i iznosi:

$$q_p = -q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.} \quad (1.2)$$

Svi naboji u prirodi višekratnici su ovog elementarnog naboja.

U električnim krugovima često su predmet interesa **pojave koje nastaju kretanjem naboja** jer ovakvo kretanje rezultira **izmjenama energije** koje se na izvjesni način mogu iskoristiti. Osobito je zanimljiv slučaj kada se kretanje naboja može na određeni način ograničiti unutar strogo određene staze gibanja, konstruirane uz pomoć **materijala čija fizikalna svojstva omogućuju lako kretanje naboja (vodiči)**, za razliku od **materijala gdje je takvo gibanje otežano (izolatori)**. Električni krug tako predstavlja svojevrsni “cjevod” kroz koji prolazu naboji.

¹U udžbeniku će se koristiti konvencija prema kojoj će se konstantne veličine označavati velikim slovom, dok malo slovo može, ali ne mora značiti da se opisana veličina mijenja (npr. kroz vrijeme).

²franc. *Système international d'unités*, Međunarodni sustav jedinica.

1.2. Električna struja

Električna struja jest usmjereni gibanje naboja. Za matematički opis gibanja naboja koristi se pojam **jakost električne struje**³. Jakost električne struje odgovara na pitanje *Koja količina naboja u jedinici vremena proteče kroz gledanu površinu (npr. presjek vodiča)?* Uz pretpostavku da se naboј mijenja u vremenu prema funkciji $q(t)$, definicijska relacija za jakost električne struje $i(t)$ glasi:

$$i(t) = \frac{dq}{dt}, \quad (1.3)$$

odnosno

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(t') dt', \quad (1.4)$$

gdje je i odabrani simbol za jakost električne struje (od francuskog izraza *intensité de courant*, intenzitet strujanja). **Mjerna je jedinica za struju amper** (prema fizičaru Ampéru, **simbol A**), a iz gornje se formule može uočiti da je kulon ekvivalentan jedinici “amperekunda” (simbol As).

$$[i] = \text{A}; [q] = \text{C} = \text{As} \quad (1.5)$$

Danas je poznato da izmjena količine naboja u metalnim vodičima nastaje kao rezultat gibanja *negativnog naboja*, tj. elektrona. Elektron kao elementarna čestica otkrivena je tek 1897., iako su se elektricitet i pojave vezane za nj istraživale stoljećima prije toga. Sva istraživanja zasnivala su se na pretpostavci da je električna struja rezultat gibanja *pozitivnih naboja* i ta konvencija se zadržala i do danas. U praksi nema neke razlike između ovih dviju konvencija, tj. struja od 2 A koju stvaraju pozitivni naboji gibajući se u jednom smjeru, istovjetna je struja od -2 A koju stvaraju negativni naboji gibajući se u suprotnom smjeru; bitno je samo da se **kod prikaza toka struje kroz vodič uz iznos struje uvijek naznačava i njezin smjer**, a samo pitanje prirode naboja koji stvara struju za izračune je nebitno.



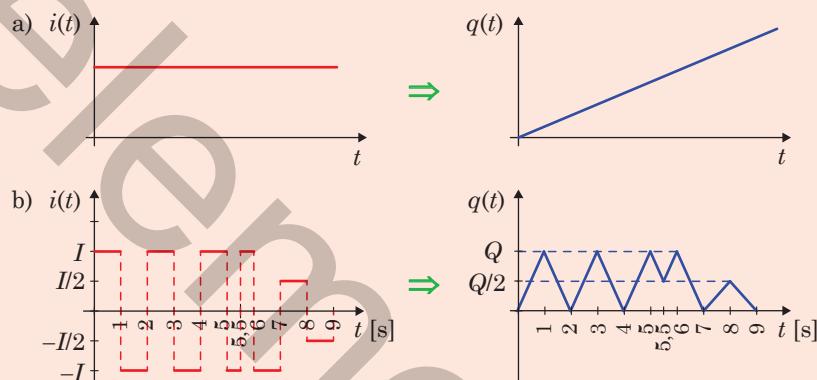
Slika 1.1. Označavanje smjera struje kroz vodič

³Jakost električne struje često se skraćeno naziva *jakost struje* ili još kraće *struja*.

Primjer 1.1.

Skicirajte:

- Kako izgleda funkcija izmjene naboja u vremenu ako je struja konstantna (slika 1.2a), uz prepostavku $q(0) = 0$?
- Kako izgleda funkcija izmjene naboja u vremenu ako struja ima oblik prikazan na slici 1.2b, uz prepostavku $q(0) = 0$?



Slika 1.2. Zadani valni oblici struje $i(t)$ te odgovarajuće funkcije naboja $q(t)$

Struja konstantnog iznosa i smjera naziva se istosmjerom strujom (DC – engl. *direct current*)⁴. Primjer istosmjerne struje može se vidjeti tijekom korištenja baterije (npr. standardna AAA baterija), gdje će kroz krug teći približno konstantna struja dok god baterija u sebi ima dovoljno reaktanata. **Struja čiji se iznos i smjer mijenjaju u vremenu naziva se izmjeničnom strujom** (AC – engl. *alternating current*). Najčešći oblik izmjenične struje jest sinusna izmjenična struja koja se mijenja zadanom frekvencijom određenom standardom (nacionalnim ili globalnim). Primjer sinusne struje jest standardna gradska električna mreža, dostupna u svakom kućanstvu.

Već je spomenuto da kretanje naboja, tj. **električno strujanje rezultira prijenosom energije**. **Električna energija** je posebno zanimljiva jer ju je relativno

⁴Ovdje je bitno napomenuti da u općenitom slučaju pojma *istosmjerne struje* nominalno označava struju koja zadržava isti smjer, ali ne mora imati konstantan iznos, no uobičajeno se zbog jednostavnosti i preglednosti koristiti konvencija da pojma "istosmerno" znači "konstantan iznos i smjer", iako se referencira samo podskup svih istosmjernih struja. Ista konvencija primijenit će se na napon u sljedećem poglavljju.

jednostavno proizvesti i prenijeti preko velikih udaljenosti do mjesta gdje će se ona konačno iskoristiti, najčešće pretvorbom u neki drugi oblik energije (mehanička, toplinska, svjetlosna itd.). Za energiju koristimo simbol w (od engl. *work*, rad, pri čemu će se povezanost ovih pojmove objasniti dalje u tekstu). Mjerna jedinica za energiju je **džul** (prema engleskom fizičaru Jouleu), a simbol **J**.

$$[w] = J \quad (1.6)$$

Pojam električne energije može se pojasniti analogijom s gravitacijskom silom i potencijalnom energijom. Ako se neki teret želi podići na određenu visinu, za to je potrebno uložiti *rad*. Podizanjem tereta na visinu povećala se njegova potencijalna energija. S druge strane, ako teret slobodno pada, gravitacijska sila pretvara potencijalnu energiju u mehaničku, koja se potom može iskoristiti na različite načine.

Sličan princip može se primijeniti na gibanje električnog naboja. Ako se na određeni način uloži energija, npr. uz pomoć kemijske reakcije, može se postići razdvajanje pozitivnog i negativnog naboja u električni neutralnom tijelu čime dolazi do porasta potencijalne električne energije naboja. Ako se polovi tog tijela (krajevi na kojima se razdvojio naboј) povežu vodljivim materijalom u električni krug, postiže se učinak sličan prepustanju tereta slobodnom padu – gibanjem naboja oslobađa se električna energija koja se potom može iskoristiti pretvorbom u mehaničku, svjetlosnu, toplinsku i sl.

1.3. Električni potencijal i električni napon

Za potrebe matematičkog opisa pojava u električnim krugovima uvest će se dvije nove veličine **koje će povezati energiju i naboј** – *električni potencijal* i *električni napon*. Za električni potencijal koristi se simbol φ , a za električni napon simbol u (od njem. *Unterschied*, razlika). SI mjerna jedinica za obje veličine jest **volt** (prema fizičaru Volti, simbol **V**).

$$[\varphi] = [u] = V \quad (1.7)$$

Svaka točka električnog kruga ima svoj **električni potencijal** (φ). Ova veličina reprezentira električnu potencijalnu energiju (w_{ep}) koju bi jedinični naboј imao da se nalazi u toj točki⁵.

⁵Prema fizikalnoj definiciji električnog potencijala u nekoj točki riječ je o vrijednosti brojčano jednakoj izvršenom radu potrebnom za dovođenje jediničnog električnog naboja iz beskonačnosti (gdje je potencijal nula) u tu točku.

Potencijal naboja q u točki A možemo zapisati na sljedeći način:

$$\varphi_A = \frac{w_{epA}}{q}. \quad (1.8)$$

Napon u_{AB} razlika je potencijala točaka A i B.

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{w_{epA}}{q} - \frac{w_{epB}}{q} = \frac{\Delta w_{epAB}}{q} \quad (1.9)$$



Slika 1.3. Pomicanje naboja q iz točke A u točku B

Dakle, **električni napon opisuje koliko je energije potrebno uložiti ili će se dobiti pri pomicanju jediničnog naboja između dviju točaka električnog kruga** (slika 1.3).

Matematički ćemo to zapisati:

$$u = \frac{dw}{dq}. \quad (1.10)$$

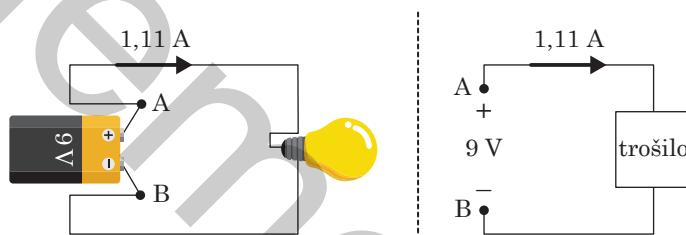
Slično kao i kod struje za koju nije dovoljno znati njezin iznos, već se mora naznačiti i njezin smjer, tako i **napon mora biti definiran na način da se može jednoznačno odrediti smjer prijenosa energije vezan za gibanje naboja**. Po konvenciji se smatra da upravo gibanje pozitivnog naboja stvara električnu struju, a taj se naboј kreće od *točke višeg potencijala* prema *točki nižeg potencijala* (može se koristiti analogija s teretom koji pada s više na nižu nadmorsklu visinu).

Dok se iznos i smjer struje označavaju brojkom i strelicom, napon se označava brojom te znakovima + i – koji označavaju orientaciju napona. Znak + označava točku višeg potencijala, dok se znak – postavlja na točku nižeg potencijala. Kao što teret uz pomoć gravitacijske sile samostalno prelazi iz točke gdje ima veću potencijalnu gravitacijsku energiju u točku s nižom potencijalnom gravitacijskom energijom, tako i naboji teže prijeći iz točke višeg električnog potencijala u točku nižeg električnog potencijala. S druge strane, ako se naboј želi pomaknuti od nižeg k višem potencijalu, za to je potrebno uložiti rad (što se događa kod električnih izvora obrađenih u sljedećem poglavljju).

S lijeve strane slike 1.4 može se vidjeti realni primjer strujnog kruga. Razlika potencijala između točaka A i B, tj. električni napon postiže se korištenjem baterije – električnog izvora koji kemijskom reakcijom unutar sebe razdvaja naboje.

Polovi baterije uz pomoć dvaju vodiča i žaruljice spajaju se u strujni krug pri čemu se omogućuje slobodno gibanje naboja. Električna struja prolazi kroz žaruljicu (koja je u ovom slučaju trošilo), u kojoj se električna energija pretvara u toplinsku i svjetlosnu energiju.

Slika 1.4 s desne strane prikazuje pojednostavljeni prikaz *električnog ili strujnog kruga*. Točke A i B predstavljaju mesta pozitivnog i negativnog električnog potencijala čija se razlika očituje u definiranoj veličini električnog napona (u ovom slučaju 9 V). Ravne linije predstavljaju *električni vodič*, žicu od vodljivog materijala kojom naboji slobodno prolaze. Gibanje nabojia reprezentirano je električnom strujom navedenog smjera i iznosa (u primjeru 1,11 A). Konačno, pravokutnik prikazuje element strujnog kruga koji iskorištava protok struje (element koji troši električnu energiju, tj. trošilo).



Slika 1.4. Jednostavni strujni krug

Kao što struja može biti negativna, tako i napon može imati negativni iznos. Analogna je interpretacija i kod struje – ako napon ima predznak – (minus) to jednostavno znači da je prikazani polaritet napona zapravo obrnut od “stvarnog”, a zamjenom referentnih točaka dobili bismo istovjetni prikaz, samo s pozitivnom vrijednosti napona ($U_{AB} = -U_{BA}$).

1.4. Električna snaga

Već je rečeno da se na žaruljici sa slike 1.4 troši električna energija. Može li se na neki način izračunati koliko se energije troši na žaruljici, obzirom na navedene veličine električne struje i napona? Izvod **formule izmjene energije u jedinici vremena** glasi:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u(t) \cdot i(t). \quad (1.11)$$

Dakle, dolazi se do zanimljivog zaključka: **umnožak napona i struje daje odgovor na pitanje kako se energija mijenja kroz vrijeme**. Budući da je promjena energije u vremenu snaga, ovo je **električna snaga** za koju se koristi simbol p (od engl. *power*) i ima pripadnu mjernu jedinicu **vat** (prema škotskom inženjeru Wattu) uz **simbol W**.

$$p = u(t) \cdot i(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1.12)$$

$$[p] = \text{W} \quad (1.13)$$

Ako se sada pokuša naći izraz za električnu energiju pomoću snage, tj. struje i napona, dobiva se sljedeća formula:

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(t') dt' = \int_{-\infty}^t u(t') i(t') dt'. \quad (1.14)$$

Snaga se mijenja tijekom vremena, a iznos snage u svakom pojedinom trenutku može se jednostavno izračunati ako znamo iznos napona i struje u tom trenutku. Ako su iznosi napona i struje na nekom elementu konstantni, onda je i snaga u vremenu konstantna, a iznos energije koja se troši na tom elementu tijekom nekog vremenskog intervala jednostavno se dobiva umnoškom napona, struje i duljine vremenskog intervala.

Primjer 1.2.

Pogledajte još jednom primjer na slici 1.4. Odgovorite:

- a) Kolika se snaga troši na žaruljici?
 - b) Ako imate žarulju snage 10 W, koliko se energije potroši u periodu od 1 sata?
-
- a) $U = 9 \text{ V}$
 $I = 1,11 \text{ A}$
 $P = U \cdot I = 9 \cdot 1,11 = 9,99 \text{ W}$
 - b) $P = 10 \text{ W}$
 $t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
 $W = P \cdot t = 10 \cdot 3600 = 36 \text{ kJ}$

PONAVLJANJE

- Naboј je temeljno svojstvo materije koje se manifestira pojavom elektro-magnetske interakcije.
- Kontrolirano kretanje naboјa zanimljivo je zbog izmjena energije.
- Električna struja opisuje kretanje naboјa u jedinici vremena.
- Električni napon opisuje koliko energije treba uložiti za pomicanje naboјa između dviju točaka, odnosno koliko se energije pritom dobije.
- Električna snaga opisuje izmjenu energije u jedinici vremena.
- Umnoškom napona na nekom elementu kruga i struje kroz taj element dobiva se vrijednost električne snage.

ZADATCI ZA VJEŽBU 1.

Zadatak 1.1.

Kako se definira električna struja, a kako napon?

Zadatak 1.2.

Koja količina naboјa prođe kroz električni element u intervalu od točno sat vremena ako je jakost električne struje kroz njega konstantna i iznosi 1 A?

Zadatak 1.3.

Može li jakost električne struje biti negativna?

Zadatak 1.4.

Žarulja je priključena na konstantni napon od 6 V i troši snagu od 8 W. Koliki je iznos jakosti električne struje koja prolazi kroz žarulju?

element.hr