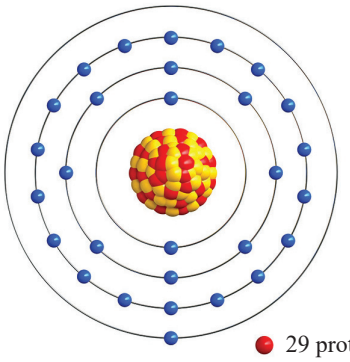
1.

Osnovne veličine u elektrotehnici

element.hr

U ovom poglavlju usvojit ćeš:

- građu tvari i električni naboj
- električnu potencijalnu energiju i električni potencijal
- vrste izvora napona
- električnu struju
- djelovanje električne struje
- električni otpor i vodljivost vodiča
- električne otpornike
- električni strujni krug
- Ohmov zakon
- mjerenje napona, struje i otpora
- električnu energiju, rad i snagu.



Slika 1.1.
Model atoma bakra

1.1. Građa tvari i električni naboj

Atom je najsitnija čestica tvari koja sadrži njena svojstva.

Atom se sastoji od jezgre i elektronskog omotača. Jezgra je sastavljena od protona i neutrona, a elektronski omotač od elektrona koji kruže oko jezgre. Slika 1.1 prikazuje atom bakra.

Da bi bila jasnija električna svojstva atoma i općenito materije, definirat ćemo električni naboj. **Električni naboj ili količina elektriciteta** (oznaka q ili Q) je fizikalna veličina koja opisuje temeljno svojstvo čestica što uzajamno djeluju električnim silama. Osnovna jedinica za mjerenje električnog naboja je **kulon** (C) ili amper-sekunda (As): C = As. Za praktičnu primjenu kulon je prevelika mjerna jedinica za naboj pa se upotrebljavaju predmetci uz mjernu jedinicu kako je prikazano u tablici 1.1.

Naboj može biti **pozitivan** ili **negativan**.

Najmanji naboj u prirodi je elementarni naboj i iznosi:

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}.$$

Elektron je nabijen najmanjim negativnim elementarnim nabojem:

$$Q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}.$$

Proton je nabijen najmanjim pozitivnim elementarnim nabojem:

$$Q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}.$$

Elektron i proton su čestice koje imaju jednake naboje suprotnog predznaka, a različite mase. Između elektrona i protona postoji privlačna sila.

Neutron je električki neutralan i sudjeluje u atomskoj masi atoma. Masa neutrona približno je jednaka masi protona.

U nepobuđenom stanju svaki atom sadrži jednak broj protona i elektrona pa je kao cjelina neutralan.

Atomi se razlikuju po broju protona i elektrona. Svi atomi jednakog broja protona pripadaju istom kemijskom elementu. Broj protona nekog elementa određuje mjesto u periodnom sustavu.

Prema Bohrovu (slika 1.2) pojednostavnjenom modelu atoma elektroni mogu biti samo u određenim stazama – ljuskama. Atom može

Tablica 1.1.
Predmetci uz mjernu jedinicu kulon

naziv	oznaka	iznos
milikulon	mC	10^{-3} C
mikrokulon	μC	10^{-6} C
nanokulon	nC	10^{-9} C
pikokulon	pC	10^{-12} C

Slika 1.2.
Niels Henrik David Bohr (1885. – 1962.), danski fizičar, dobio je Nobelovu nagradu za fiziku 1922.

element.hr

Napomena

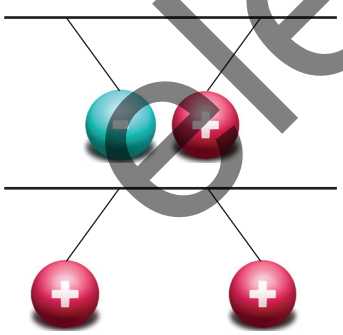
Tijelo se može elektrizirati npr. trenjem, dodirom, zagrijavanjem i djelovanjem svjetlosti (ili EM zračenja).

Slika 1.3.

Simbolički prikaz:

a) pozitivno nabijenog tijela

b) negativno nabijenog tijela



Slika 1.4.

Sila između naboja:

a) privlačna sila između raznoimenih naboja

b) odbojna sila između istoimenih naboja

imati najviše sedam ljuski koje označavamo brojevima od 1 do 7 ili slovima: K, L, M, N, O, P, Q. U svakoj ljusci može biti točno određen broj elektrona. Vanjske ljuske elemenata često nisu popunjene maksimalnim brojem elektrona za tu ljusku.

Vanjske nepopunjene ljuske atoma nazivaju se **valentne ljuske**, a njihovi elektroni **valentni elektroni**.

Broj valentnih elektrona određuje svojstva elementa. Atomi se povezuju u molekule preko valentnih elektrona.

Primajući energiju iz okoline, valentni elektroni mogu napustiti svoju ljusku i nastavljaju se gibati u međuprostoru između atoma te postaju **slobodni elektroni**. Energija koju je trebalo dodati elektronu kako bi napustio atom naziva se **ionizacijskom energijom**.

Slobodni elektroni pokretni su nosioci negativnog naboja.

Stvaranje iona naziva se **ionizacijom**.

Atom s manjkom elektrona naziva se **pozitivni ion**.

Ako bi u nekom procesu atom primio dodatni elektron, imao bi višak elektrona. Atom s viškom elektrona naziva se **negativni ion**.

Negativno nabijeno tijelo ima višak elektrona; proces nabijanja sastoji se od dodavanja elektrona (slika 1.3b).

Pozitivno nabijeno tijelo ima manjak elektrona; proces nabijanja sastoji se u oduzimanju elektrona (slika 1.3a).

Ukupna količina naboja na tijelu, kao višak odnosno manjak elektrona u odnosu na broj protona, uvijek je cjelobrojni višekratnik elementarnog naboja. Ukupna količina naboja Q računa se kao umnožak broja elementarnih čestica n i elementarnog naboja e_0:

$$Q = ne_0.$$

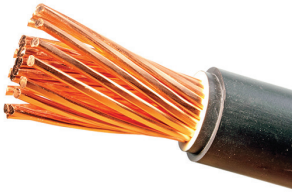
Mjerna jedinica za ukupnu količinu naboja je kulon (C).

Pokusom se može dokazati kako električni naboji međusobno djeluju silama (slika 1.4). Pritom između istoimenih naboja vlada odbojna sila, a između raznoimenih privlačna (opširnije u 4. poglavlju) prema Coulombovu zakonu koji glasi:

Sila između dvaju točkastih naboja razmjerna je umnošku naboja, a obrnuto razmjerna kvadratu njihove međusobne udaljenosti.

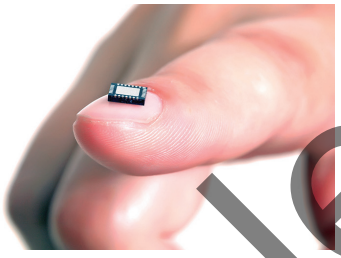
element.hr

a)

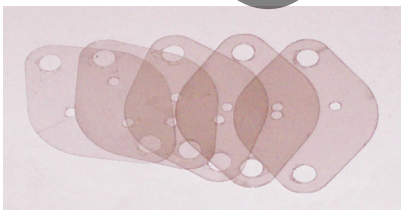


b)

Slika 1.5.
Vodiči:
a) aluminij
b) bakar



Slika 1.6
Čip



Slika 1.7.
Listići tinjca za izolaciju kućišta tranzistora od hladnjaka

Podjela materijala prema vodljivosti

Prema vodljivosti materijale dijelimo na **vodiče**, **poluvodiče** i **izolatore**.

Vodiči

Vodiči su materijali koji dobro provode električnu struju.

Vodiče čine metali i njihove legure te su u krutom stanju. Električnu struju čine slobodni elektroni. U metalima slobodni elektroni nastaju zbog toga što i na nižim temperaturama elektroni mogu prelaziti iz valentnog u vodljivi pojas. Naime, za to im je potrebna vrlo mala energija. Ne mijenjaju se kad kroz njih protječe struja.

Materijali velike vodljivosti su: bakar, aluminij, srebro i zlato – pa se zato najčešće upotrebljavaju za izradu vodiča (slika 1.5).

Osim u krutim tvarima električna se struja može stvarati u elektrolitima (otopine soli, kiseline i lužine). Električnu struju čine ioni. Kemijski se mijenjaju pri prolazu električne struje kroz njih.

Vodiči mogu biti i ionizirani plinovi. Plinovi u normalnom stanju nisu vodiči, nego to postaju ionizacijom.

Osnovna uloga vodiča u elektrotehnici jest provesti električne struje u strujnom krugu, čime se ostvaruje električni tok potreban za rad električnih uređaja.

Poluvodiči

Poluvodič je, prema provodnosti električne struje, materijal između izolatora i vodiča. Pri apsolutnoj nuli nema slobodnih elektrona, a s porastom temperature može voditi struju.

U današnjoj se poluvodičkoj tehnologiji od elemenata i spojeva najviše upotrebljavaju silicij i složeni plovodiči kao što su galijev arsenid (GaAs), galijev nitrid (GaN) itd. Keramički poluvodiči tvore se od karbida silicija ili bora pomiješanih s keramičkom izolacijskom masom.

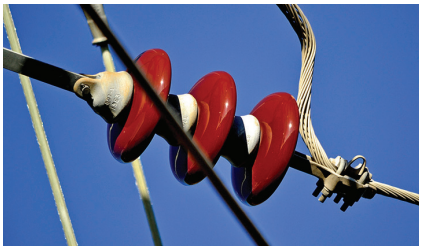
Poluvodički materijali upotrebljavaju se za izradu poluvodičkih komponenata: dioda, tranzistora, integriranih sklopova (slika 1.6), memorija, procesora i drugo.

Izolatori

Izolatori su materijali koji pri sobnoj temperaturi nemaju slobodnih elektrona (ili ih je vrlo malo) pa ne vode struju.

Pri povišenoj se temperaturi izolatorima smanjuju izolacijska svojstva jer im se poveća broj slobodnih elektrona.

element.hr



Slika 1.8.
Keramički izolator

Izolacijski materijali mogu biti kruti, plinoviti i tekući.

Primjeri izolacijskih materijala:

- **kruti**: staklo, tinjac (slika 1.7), keramički materijali (slika 1.10), kremen, voskovi, bitumen, asfalt, silikonske smole (plastične mase), kaučuk, guma, umjetne smole, vlaknasti materijali i elektro-izolacijski lakovi
- **tekući**: mineralna ulja, biljna ulja i umjetni ili sintetički tekući dielektrici
- **plinoviti**: zrak, dušik, vodik, ugljikov dioksid, helij
- **vakuum**.

Zadatak izolatora je spriječiti tok električne struje u određenom smjeru te izolacija električnih proizvoda i njihovih dijelova.

1.2. Električna potencijalna energija i električni potencijal

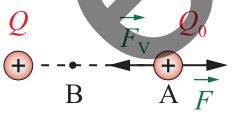
Naboji međusobno djeluju električnom silom. Dva istoimena naboja se odbijaju, a raznoimena privlače. Ako se djeluje dodatnom silom na naboje, mora se uložiti određeni rad, tj. energija.

Električno polje i potencijalna energija

Električno polje je prostor u okolini nabijenih tijela u kojem se osjeća djelovanje sile na naboj.

Sila kojom električno polje djeluje na naboj naziva se **električna** ili **elektrostatska sila**. Sila F i električno polje E vektorske su veličine (opširnije u 4. poglavlju).

Dogovorom je određeno da će smjer polja biti smjer djelovanja sile na pozitivni naboj.



Slika 1.9.
Rad u električnom polju

Dovedimo pozitivni pokusni naboj Q_0 u točku A u blizinu drugog pozitivnog naboja Q koji oko sebe stvara električno polje (slika 1.9). Ako želimo pokusni naboj iz točke A približiti pozitivnom naboju u točki B, djelujemo protiv njihove odbojne sile, pa vanjska sila F_V mora biti jednakog iznosa i suprotnog smjera od električne sile F. Za pomicanje naboja moramo utrošiti rad, odnosno energiju.

Prestankom djelovanja vanjske sile električna bi sila naboj vratila natrag. Na račun uložene energije naboj ima sposobnost izvršiti rad, dakle posjeduje energiju koju nazivamo **električna potencijalna energija**.

element.hr

Napomena

Pri usporedbi električnog i gravitacijskog polja vrijedi: električna potencijalna energija odgovara gravitacijskoj potencijalnoj energiji.

Električna potencijalna energija je energija električnog naboja u mirovanju.

Možemo iz toga zaključiti da naboj u točki A ima električnu potencijalnu energiju W_A, a u točki B je W_B.

Rad potreban za pomicanje naboja iz točke A u točku B jednak je razlici potencijalnih energija u tim točkama:

$$\Delta W = W_A - W_B.$$

Kad se istoimeni naboji približavaju, potencijalna energija se povećava, a ako se udaljavaju, smanjuje se. Ako su naboji raznoimeni, obratno je.

Električni potencijal i napon

Ako u prethodnom pokusu promijenimo pokusni naboj, promijenit će se njegova potencijalna energija. Pritom je omjer potencijalne energije i naboja u nekoj točki polja stalan. Ovisnost potencijalne energije naboja o položaju u električnom polju izražavamo veličinom koju nazivamo **električni potencijal**.

Važno

Električni potencijal skalarna je veličina.

Električni potencijal ili potencijal u nekoj točki polja jednak je radu koji bi trebalo obaviti kako bi se jedinični naboj prenio iz beskonačnosti u tu točku.

Potencijal računamo prema izrazu:

$$\varphi = \frac{W}{Q_0}$$

gdje je:

φ	električni potencijal, V
Q_0	jedinični naboj, C
W	potencijalna energija, J.

Potencijal se označava grčkim slovom φ, a mjerna jedinica je volt (V). Volt je osnovna mjerna jedinica, a uz nju se upotrebljavaju predmetci kao u tablici 1.2.

Možemo zaključiti da u prethodnom pokusu potencijal u točki A je φ_A, a u točki B je φ_B. Kombiniranjem izraza za rad i električni potencijal slijedi:

$$\Delta W = W_A - W_B = \varphi_A Q - \varphi_B Q = (\varphi_A - \varphi_B)Q = U_{AB}Q.$$

Napomena

$1\ \text{V} = 1\,\frac{\text{J}}{\text{C}}$; $1\ \text{volt} = 1\,\frac{\text{džul}}{\text{kulon}}$

Tablica 1.2.

Predmetci uz mjernu jedinicu volt

naziv	oznaka	iznos
mikrovolt	μV	10^{-6} V
milivolt	mV	10^{-3} V
kilovolt	kV	10^{3} V
megavolt	MV	10^{6} V

element.hr

Slika 1.10.

Alessandro Volta (1745. – 1827.), talijanski fizičar, jedan od osnivača elektrostatike. Konstruirao je prvi galvanski članak (Voltin članak). Po njemu se nazivaju jedinica za mjerenje napona – volt i mjerni instrument za mjerenje napona – voltmetar.

Izraz $(\varphi_A - \varphi_B)$ predstavlja razliku potencijala koju nazivamo **električni napon ili napon**:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B.$$

Oznaka za napon je U, a mjerna jedinica volt (V) kao i za potencijal.

Električni napon između dviju točaka polja jednak je razlici potencijala u tim točkama.

Oznaka $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ znači napon u točki **A** prema točki B. Oznaka $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$ znači napon u točki **B** prema točki A. Pritom vrijedi:

$$U_{AB} = -U_{BA}.$$

Ako je $U_{AB} > 0$, znači da je točka A na višem potencijalu od točke B.

Ako je $U_{AB} < 0$, znači da je točka A na nižem potencijalu od točke B.

Odabiremo točku nultog potencijala koju nazivamo **referentna točka**. U odnosu na tu točku određujemo potencijal.

Za točku nultog potencijala uzima se potencijal zemlje.

Simbol mase Simbol uzemljenja

Slika 1.11.

Simboli kojima se označavaju masa i uzemljenje

Točku nultog potencijala u električnim krugovima nazivamo **masa**, a simbol je prikazan slikom 1.11.

Ako neku točku spojimo na zemlju, kažemo da je uzemljena (slika 1.11).

Ako promatramo potencijal neke točke prema referentnoj, tada je potencijal te točke jednak naponu. Na primjer, pozitivni pol akumulatora ima potencijal 12 V, što je ujedno i napon akumulatora jer je njegov negativni pol spojen na masu.

Primjer 1

Za premještanje naboja $Q = 2\ \mu C$ iz točke A u točku B potrebno je obaviti rad $W = 40\ \mu J$. Izračunajte napon između točaka A i B ($U_{BA} = ?$).

Rješenje

$Q = 2\ \mu C = 2 \cdot 10^{-6}\ C$

$W = 40\ \mu J = 40 \cdot 10^{-6}\ J$

$U_{BA} = ?$

$$U_{BA} = \frac{W}{Q} \qquad U_{BA} = \frac{40 \cdot 10^{-6}\ J}{2 \cdot 10^{-6}\ C} = 20\ V$$

element.hr

Primjer 2

Zadani su potencijali u točkama A, B i C, prema slici 1.12: $\varphi_A = -5$ V, $\varphi_B = 0$ V i $\varphi_C = 20$ V.
Izračunajte napone U_{AB}, U_{BA}, U_{BC}, U_{CB}, U_{AC}, U_{CA}.

Slika 1.12.
Potencijali točaka

Rješenje

$\varphi_A = -5$ V
$\varphi_B = 0$ V
$\varphi_C = 20$ V

$U_{AB} = ?$ $U_{CB} = ?$
$U_{BA} = ?$ $U_{AC} = ?$
$U_{BC} = ?$ $U_{CA} = ?$

$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$
$U_{AB} = -5\text{ V} - 0\text{ V} = -5\text{ V}$
$U_{BA} = -U_{AB} = 5\text{ V}$

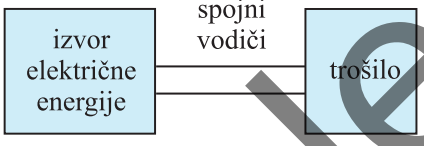
Napon U_{AB} jednak je potencijalu točke φ_A jer je potencijal točke B nula.

$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$
$U_{BC} = 0\text{ V} - 20\text{ V} = -20\text{ V}$
$U_{CB} = -U_{BC} = 20\text{ V}$

Napon U_{CB} jednak je potencijalu točke φ_C jer je potencijal točke B nula.

$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C$
$U_{AC} = -5\text{ V} - 20\text{ V} = -25\text{ V}$
$U_{CA} = -U_{AC} = 25\text{ V}$

1.3. Vrste izvora napona



Slika 1.13.
Blokovska shema spoja izvora i trošila

Električna se energija danas upotrebljava gotovo u svim granama ljudske djelatnosti. U uređajima koje nazivamo trošila obavlja se rad na račun električne energije dobivene iz izvora. Izvor električne energije i trošilo povezani su spojnim vodičima (slika 1.13).

Izvori električne energije su uređaji ili strojevi kojima se odvija proces pretvorbe nekog drugog oblika energije u električnu energiju.

Napomena

Spojni vodiči koji spajaju izvor i trošilo čine električni vod.
Električni vodovi imaju najmanje dva ili više vodiča.

Proces pretvorbe nekog drugog oblika energije u električnu energiju odvija se u unutrašnjosti izvora. Izvor ima dvije priključnice (dva pola) tako da se na jednoj stvara višak negativnog naboja, a na drugoj isto toliko pozitivnog naboja. Razdvajanjem raznoimenih naboja u izvoru između polova nastaje unutarnji napon (razlika potencijala) koji se može izraziti kao omjer utrošene energije W (J) i izdvojenog naboja Q (C):

$$E = \frac{W}{Q}.$$

element.hr