

## OSNOVE ELEKTROTEHNIKE I

7/14

## 2. DIO

# ISTOSMJERNA ELEKTRIČNA STRUJA

2

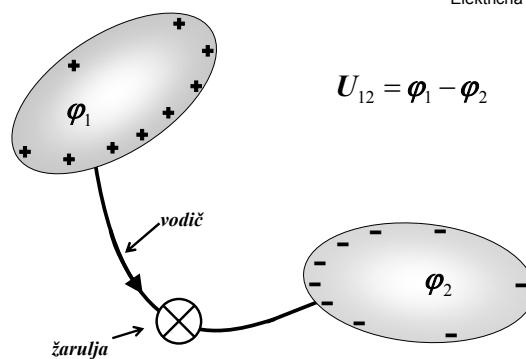
## GIBANJE NABOJA U VODIČU

### Električna struja

3

#### GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja



4

#### GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Ako dva nabijena vodljiva tijela na različitom potencijalu spojimo vodičem, potencijali tijela će se izjednačiti.
- Pri tom izjednačavanju naboji s tijela na višem potencijalu poteći će kroz spojni vodič na tijelo na nižem potencijalu.
- Takvo usmjereno gibanje naboja nazivamo električna struja.
- U primjeru smo u seriju sa spojnim vodičem postavili električnu žarulju.

5

#### GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Ako bi ukupna količina naboja bila dovoljno velika, žarulja bi nakratko zasvijetlila, i potom se ugasila.
- Električna struja bi tekla vodičem samo kratko vrijeme, dok se potencijali tijela ne bi izjednačili.
- Elektrostatska energija električnog polja se pri tome pretvori u toplinsku energiju, koja usija žarnu nit u električnoj žarulji.
- Kad je sva elektrostatska energija utrošena, strujanje naboja prestane, i električna struja prestane teći.

6

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Trajnu električnu struju možemo dobiti tako da naboje na tijelu s višim potencijalom, koji struje prema tijelu s nižim potencijalom, stalno nadomještamo.
- To možemo postići uređajem koji općenito nazivamo izvorom električne energije.
- U metalima električna struja se realizira kretanjem elektrona.
- U elektrolitskim vodičima (kiseline, lužine ili otopine soli) električna struja predstavlja kretanje pozitivno ili negativno nabijenih dijelova molekula – iona.

7

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Plinovi pri normalnom pritisku i temperaturi predstavljanju izolatore. Ako se pritisak jako smanji, ili temperatura poveća, oni se ioniziraju.
- Pojedine molekule plina izgube pri tome neke elektrone, i postanu pozitivno nabijene čestice, a slobodni elektroni predstavljaju negativno nabijene čestice. Takvo stanje plina nazivamo plazma.
- Plazma je vodljiva, i takvo stanje imamo npr. u fluorescentnim sijalicama.
- Dakle električna struja može pod određenim uvjetima teći i u plinovima.

8

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Električna struja može teći i u vakuumu.
- U vakuumu nema nosilaca električnih naboja, pa bi prema definiciji struje kao kretanju električnih naboja struja bila nemoguća.
- Ako između dvije vodljive elektrode ostvarimo u vakuumu dovoljno jako električno polje da pojedine elektrone otrgne od negativno polarizirane elektrode, tada ćemo imati električnu struju.
- Pri tome je nužno da ostvarimo uvjete da elektroni trajno napuštaju negativnu elektrodu -katodu-

9

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Električna struja

- Takav slučaj imamo npr. u katodnoj cijevi (ekranu) televizora.
- Općenito, bilo kakvo usmjereno gibanje električnih naboja nazivamo električnom strujom.
- U našim razmatranjima ograničit ćemo se isključivo na takvu vrstu struje – tzv. provodnu struju –
- Uz provodnu struju postoji i tzv. pomačna struja, pri čemu nema gibanja nabijenih čestica. Takva se struja pojavljuje u dielektriku kondenzatora pri njegovom nabijanju ili izbijanju.

10

GIBANJE NABOJA U VODIČU

## Učinci električne struje

11

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Učinci električne struje

- Električna struja stvara više učinaka.
- Najčešće se govori o četiri osnovna učinka električne struje:
  - toplinski učinak
  - kemijski učinak
  - svjetlosni učinak
  - magnetski učinak.

12

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

➤ **Toplinski učinak električne struje**

- Vodiče ponekad dijelimo na dvije grupe:
  - vodiči prve vrste (metali, grafit)
  - vodiči druge vrste (elektrolitski vodiči).
- Prilikom prolaska električne struje kroz vodiče prve i druge vrste, oni se zagrijavaju.
- Prolazak električne struje kroz plazmu - koja se ponekad naziva četvrtim agregatnim stanjem - također zagrijava plazmu.

13

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

- Tu pojavu možemo razumjeti ako shvatimo da povišenje temperature tijela predstavlja ustvari povećanje amplitude titranja elementarnih čestica materije od kojeg je tijelo sazdano.
- Prolaz električne struje kroz vodiče povećava amplitudu titranja molekula materije vodiča, i time podiže njenu temperaturu.
- Općenito, toplinski učinak električne struje je pojava da se neki vodiči prilikom prolaska električne struje zagrijavaju.
- Pojava ima veliku primjenu u praksi, iako je često nepoželjna.

14

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

➤ **Kemijski učinak električne struje**

- Kemijski učinak električne struje je pojava da se elektrolitski vodiči prilikom prolaska električne struje kemijski mijenjaju.
- Ta se pojava naziva elektroliza i ima široku primjenu u metalurgiji.
- Većina metala se u čistom stanju dobiva upravo elektrolizom (bakar, aluminij i mnogi drugi).

15

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

- Ovim se postupkom može također nanijeti tanak sloj plemenitog metala na vodljivu površinu nekog predmeta.
- Taj postupak galvanizacije ima široku primjenu u industriji.
- Primjer je izrada nakita, ali i predmeta svakodnevne upotrebe, npr. kromiranje dijelova vodovodnih instalacija.
- Moguće je galvanizirati i predmete iz plastike (izolatore), ako se na njih najprije nanese sloj vodljivog grafita.

16

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

➤ **Svjetlosni učinak električne struje**

- Svjetlosni učinak električne struje je pojava da u nekim slučajevima električna struja izaziva pojavu svjetlosti.
- Pri tome pojava svjetlosti nije posljedica zagrijavanja žarne niti (kao u električnoj žarulji), nego je posljedica promjene energetske razine pojedinih elektrona u samim atomima materije.
- Takva se pojava dešava pri prolasku struje kroz plazmu, ili kroz neke poluvodiče.
- I ova pojava se često koristi u praksi.

17

GIBANJE NABOJA U VODIČU Učinci električne struje

➤ **Magnetski učinak električne struje**

- Magnetski učinak električne struje je pojava da se u okolišu električne struje pojavljuje magnetsko polje.
- Ova pojava je neraskidivo povezana s električnom strujom, čak i spomenutom pomaćnom strujom.
- Dok se kemijski, toplinski i svjetlosni učinak pojavljuju samo uz neke dodatne uvjete, električna struja uvijek izaziva magnetsko polje.
- Kao i tri ranije navedena učinka, i ova se pojava često koristi u praksi.

18

GIBANJE NABOJA U VODIČU

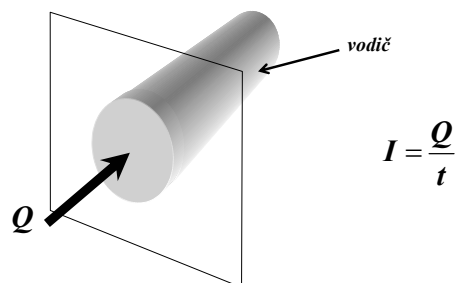
## Jakost i smjer električne struje

19

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

### ➤ Jakost električne struje



Jakost električne struje

20

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- U metalnim vodičima, kakvim se najčešće služimo, električna struja predstavlja usmjereno gibanje slobodnih elektrona.
- Pri tome pojedini elektroni načine vrlo kratak put prije nego što se sudare s nekim drugim elektronom i prenesu mu svoju kinetičku energiju, a sami se zaustave.
- Gledajući cijeli presjek vodiča, u njemu kontinuirano prolazi neki broj elektrona, odnosno nekakav iznos naboja.

21

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- Jakost električne struje predstavlja iznos naboja koji prođe presjekom vodiča u jediničnom vremenskom intervalu.
- Budući da se naboji ponašaju kao nestlačiva tekućina, u bilo kojem presjeku vodiča prođe u nekom vremenskom intervalu jednak iznos naboja.
- Drukčije rečeno, struja ima jednaku jakost cijelom duljinom vodiča kojim teče, bez obzira na njegov presjek.

22

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- Jedinicu mjere za jakost električne struje dobijemo iz definicije jakosti struje:

$$[I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{C}{s} = \frac{As}{s} = A \quad (\text{Amper})$$

- Pokazalo se prikladnijim da se umjesto jedinice  $C/s$  kao jedinice za jakost struje, amper definira kao jedna od osnovnih jedinica međunarodnog sustava jedinica.
- Naime realizacija uređaja za mjerenje jakosti struje je jednostavnija nego za mjerenje naboja.

23

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- Uređaj za mjerenje jakosti električne struje nazivamo ampermetar.



Shematska  
oznaka  
ampermetra

- U električnim shemama ampermetar najčešće označavamo s krugom i upisanim slovom A.
- Ampermetar se uključuje u seriju s vodičem u kojem mjerimo jakost električne struje.

24

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

➤ **Smjer električne struje**

$I = \frac{Q}{t}$

Smjer električne struje

25

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- Prema definiciji jakosti struje, ona predstavlja skalarnu veličinu.
- Pri tome smatramo da naboj ima pozitivan predznak.
- Kretanje naboja u suprotnom smjeru predstavlja negativan iznos električne struje.
- Da bismo definirali pozitivnu ili negativnu vrijednost struje, moramo definirati referentni smjer u vodiču.
- Referentni smjer možemo proizvoljno odabrati, ali ga se nakon toga moramo pridržavati.

26

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Jakost i smjer električne struje

- Promjena smjera kretanja pozitivnog naboja ekvivalentna je zadržavanju smjera i promjeni predznaka naboja.
- U metalnim vodičima kreću se slobodni elektroni, koji imaju negativan naboj.
- To znači da je smjer struje u vodiču suprotan smjeru kretanja elektrona.
- Naravno, ako bismo struju realizirali kretanjem pozitivnih naboja (npr. pozitivnih iona), onda bi smjer struje odgovarao smjeru kretanja naboja.

27

GIBANJE NABOJA U VODIČU

## Gustoća električne struje

28

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Gustoća električne struje

$J = \frac{I}{S}$

Gustoća električne struje

29

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Gustoća električne struje

- Gustoća električne struje je jakost struje na jedinicu površine presjeka vodiča:

$$J = \frac{I}{S}$$

- Jedinica mjere za gustoću struje je:

$$[J] = \frac{[I]}{[S]} = \frac{A}{m^2}$$

- Ova jedinica nije jako praktična, pa se često koristi jedinica  $A/mm^2$ .

30

GIBANJE NABOJA U VODIČU

Gustoća električne struje

- Vodič općenito nema isti presjek cijelom duljinom, pa gustoća struje općenito varira duž vodiča.
- Također je moguće da gustoća nije po cijeloj površini presjeka vodiča svagdje jednaka.

31

## ELEKTRIČNI OTPOR

### Ohmov zakon

32

ELEKTRIČNI OTPOR

Ohmov zakon

- Pri protjecanju elektronskog plina kroz vodič pojavljuje se otpor.
- Ovisnost razlike potencijala  $U$  na krajevima metalnog vodiča konstantnog presjeka pri protjecanju električne struje jakosti  $I$  ustanovio je Georg Simon Ohm i ona glasi:

$$\frac{U}{I} = R = \text{konst}$$

- Ohm je ustanovio da je ta ovisnost konstantna, i ovaj se izraz naziva Ohmov zakon.

33

ELEKTRIČNI OTPOR

Ohmov zakon

- Jednostavnom algebarskom operacijom dobijemo izraz:

$$U = IR$$

- Na krajevima vodiča kroz koji teče električna struja pojavljuje se razlika potencijala. Cijeli vodič nije na istom iznosu potencijala.
- Ovo je bitna razlika u odnosu na pojave u elektrostatici, gdje je cijeli vodič uvijek bio na istom potencijalu.

34

ELEKTRIČNI OTPOR

## Električni otpor i električna vodljivost

35

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor i električna vodljivost

- Prema Ohmovom zakonu električni otpor vodiča možemo ustanoviti mjerenjem jakosti struje i napona na krajevima vodiča:

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

- Jedinica mjere za električni otpor iznosi:

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega \quad (\text{Ohm})$$

36

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor i električna vodljivost

- Uz električni otpor često se koristi i recipročna vrijednost otpora, koja se naziva električna vodljivost:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

- Jedinica mjere za električnu vodljivost je:

$$[G] = \frac{[I]}{[U]} = \frac{A}{V} = \frac{1}{\Omega} = S \quad (\text{Siemens})$$

37

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor i električna vodljivost

- Koristeći izraze za otpor i vodljivost Ohmov zakon se može napisati na nekoliko jednako vrijednih načina:

$$R = \frac{U}{I} \implies I = \frac{U}{R} \implies U = IR$$

$$G = \frac{I}{U} \implies I = GU \implies U = \frac{I}{G}$$

- U primjenama koristimo one izraze koji su za poznate podatke najprikladniji.

38

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor vodljive žice

39

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor vodljive žice

- U svojim pokusima Ohm je mjerio raspodjelu potencijala duž metalnog vodiča (žice).
- Tako je ustanovio i osnovnu zakonitost za određivanje otpora metalnog vodiča konstantnog presjeka:

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

gdje su:

- $\rho$  - specifični otpor materijala vodiča
- $l$  - duljina vodiča
- $S$  - poprečni presjek vodiča.

40

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor vodljive žice

➤ **Specifični električni otpor**

- Specifični električni otpor (otpornost) je električni otpor vodiča jediničnog presjeka i jedinične duljine.
- Jedinica mjere za specifični električni otpor je:

$$[\rho] = [R] \frac{[S]}{[l]} = \Omega \frac{m^2}{m} = \Omega m$$

- Ova je jedinica nepraktična, pa se često koristi:

$$[\rho] = \Omega \frac{mm^2}{m} = 10^{-6} \Omega m$$

41

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor vodljive žice

➤ **Specifična električna vodljivost**

- Za proračun vodljivosti zgodno je koristiti specifičnu električnu vodljivost  $\kappa$  umjesto specifičnog otpora:

$$G = \kappa \frac{S}{l}$$

- Specifična električna vodljivost je vodljivost vodiča jediničnog presjeka i jedinične duljine, pa vrijedi da je vodljivost recipročna vrijednost otpornosti:

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

42

ELEKTRIČNI OTPOR

Električni otpor vodljive žice

- Jedinica mjere za specifičnu električnu vodljivost je:

$$[\kappa] = [G] \frac{[l]}{[S]} = S \frac{m}{m^2} = \frac{S}{m} = 10^{-6} S \frac{m}{mm^2} = \frac{\mu S m}{mm^2}$$

- I ovdje je često praktičnije koristiti jedinicu  $S m/mm^2$  umjesto  $S/m$ .

43

ELEKTRIČNI OTPOR

## Jouleov zakon

44

ELEKTRIČNI OTPOR

Jouleov zakon

Kalorimetrijski postupak određivanja količine topline

45

ELEKTRIČNI OTPOR

Jouleov zakon

- Jedan od učinaka električne struje je toplinski učinak.
- Kvantifikacija tog učinka može se provesti kalorimetrijom.
- Uz poznatu (mjerenu) jakost električne struje u količina toplinske energije jednaka je:

$$W = RI^2t$$

gdje je  $R$  električni otpor kroz koji teče struja,  $I$  je jakost struje, a  $t$  je vrijeme.

46

ELEKTRIČNI OTPOR

Jouleov zakon

- Koristeći se izrazima za Ohmov zakon možemo izraz za količinu toplinske energije transformirati:

$$W = RI^2t = UIt = \frac{U^2}{R}t = GU^2t = \frac{I^2}{G}t$$

- Pri ovom ispitivanju električna struja je imala konstantnu vrijednost.
- Za prikazani pokus to je nužno, jer inače ne bi bilo moguće ustanoviti navedenu ovisnost iznosa utrošene električne energije.

47

ELEKTRIČNI OTPOR

## Rad i snaga električne struje

48



ELEKTRIČNI OTPOR

Rad i snaga električne struje

- Količina rada (energije) u jedinici vremena predstavlja snagu  $P$ , pa vrijedi:

$$P = \frac{W}{t} = RI^2 = UI = \frac{U^2}{R} = GU^2 = \frac{I^2}{G}$$

- Svi ovi izrazi vrijede za pretvorbu električne energije u toplinsku.
- Međutim izraz  $P=UI$  vrijedi za pretvorbu električne energije u bilo koji drugi oblik energije.

49