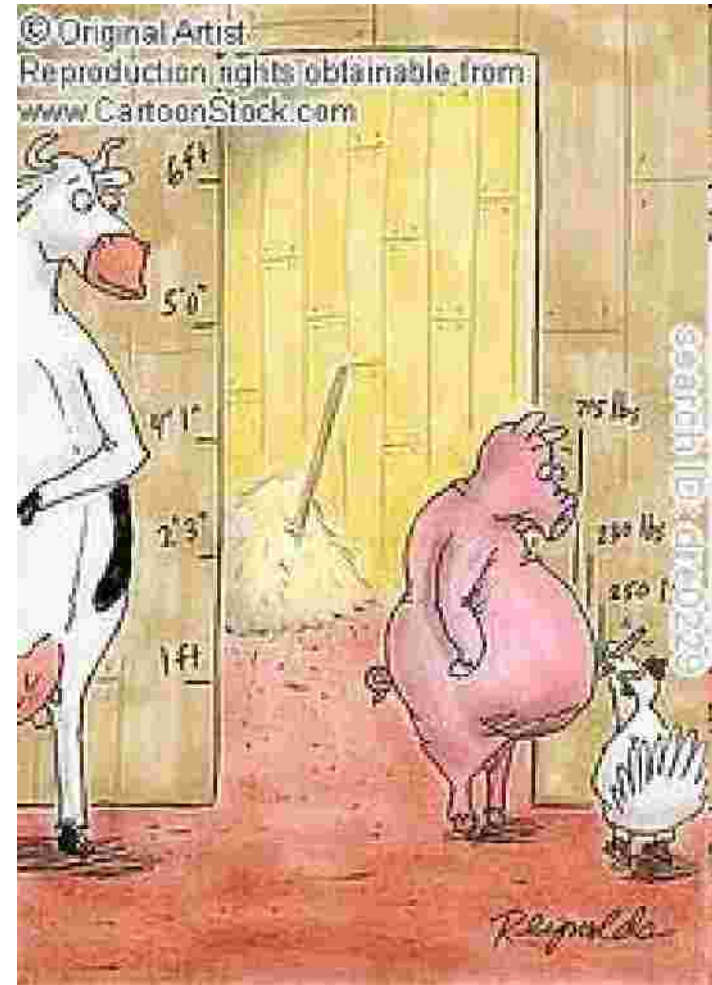


BRODSKA ELEKTROTEHNIKA

UVOD

Mjerni sustavi

- Mjerenje predstavlja uspoređivanje fizikalne velicine s njenom jedinicom uz određenu točnost.
- Mjeriti znaci eksperimentalnim putem odrediti pravu vrijednost mjerene velicine, s određenom točnošću.



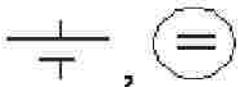
Osnovne fizikalne velicine i osnovne jedinice SI sustava

FIZIKALNA VELICINA	OZNAKA	OSNOVNA JEDINICA SI	OZNAKA
duljina	l	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vrijeme	t	sekunda	s
elektricna struja	I	amper	A
termodinamicka temperatura	T	kelvin	K
množina (kolicina tvari)	n	mol	mol
svjetlosna jakost	I_v	kandela	cd

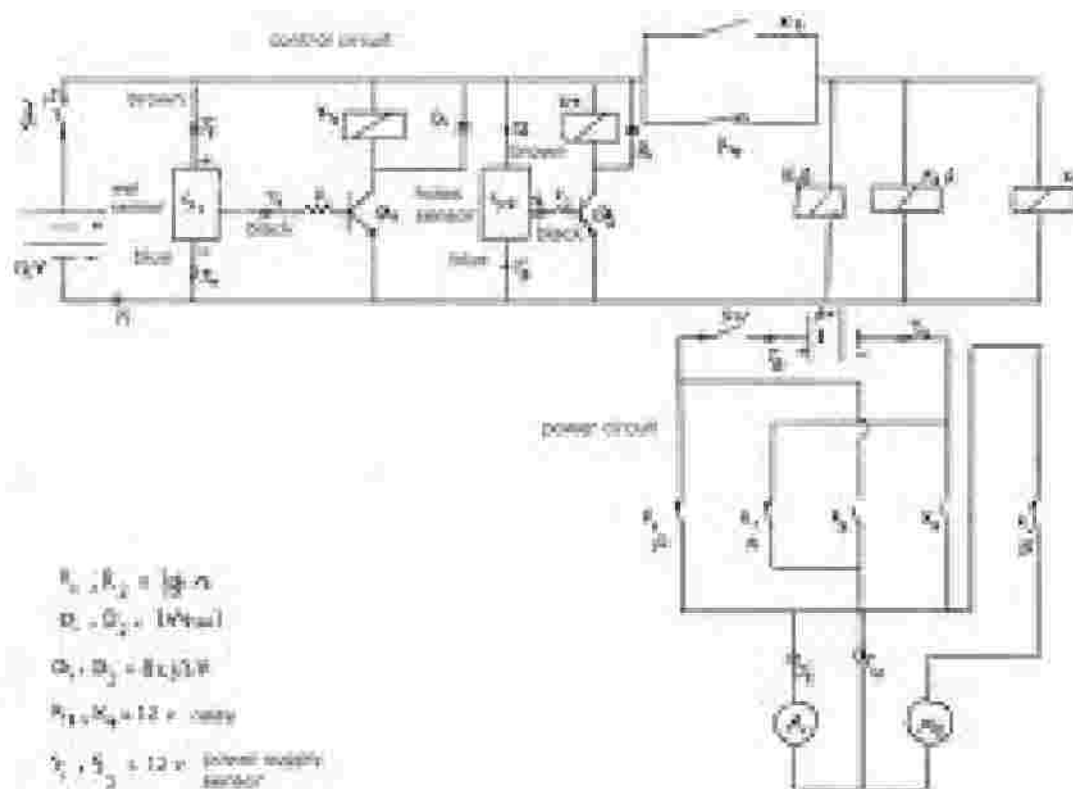
Izvedene fizikalne velicine u elektrotehnici

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	IZVEDENA JEDINICA	OZNAKA
elektricitet	Q	kulon	C
električni potencijal, napon, elektromotorna sila	φ, U, E	volt	V
jakost električnog polja	E	volt po metru	V/m
električni otpor	R	om	Ω
gustoća električnog toka	D	kulon po kvadratnom metru	C/m ²
električna vodljivost	G	simens	S
električni kapacitet	C	farad	F
magnetni tok	Φ	veber	Wb
jakost magnetnog polja	H	amper po metru	A/m
magnetna indukcija	B	tesla	T
induktivnost	L	henri	H
frekvencija	f, ν	herc	Hz
strujna gustoća	J	amper po kvadratnom metru	A/m ²
ploština	S, A	kvadratni metar	m ²
dielektričnost	ϵ	farad po metru	F/m
permeabilnost	μ	henri po metru	H/m
kružna frekvencija	ω	radijan u sekundi	rad/s
celzijeva temperatura	θ, t	Celzijev stupanj	°C
sila	F	njuton	N
snaga	P	vat	W
rad, energija, toplina	W, E, Q	džul	J

Osnovni električni simboli električnih komponenata

SIMBOL	ZNAČENJE	SIMBOL	ZNAČENJE
	oznaka istosmjernog struje		oznaka izmjenične struje
	izvor istosmjernog napona		žica, vodič
	izvor izmjeničnog sinusnog napona		otpornik
	impulsni izvor napona		otpornik s klizačem
	ampmetar		kondenzator
	voltmetar		zavojnica
	vatmetar		ohmmetar
	prekidač		osigurač

Elektricne uredaji su opisani elektricnom shemom



Pomocu elektricni mjernih instrumenata moguće je mjeriti razne elektricne velicine kao napon, jakost struje na komponentama itd. i na taj način otkriti kvar uredaja

UVOD U ELEKTRICNE MATERIJALE

Materijali koji se koriste u električnim uređajima

1. elektrotehnički materijali - omogućuju ostvarivanje osnovne zadace električnih proizvoda (izolatori, poluvodici i vodici)
2. konstrukcijski materijali - uoblicavaju proizvod u jednu cjelinu prikladnu s funkcionalnih i estetskog motrišta (plasticni i metalni ormari,...)
3. pomoćni materijali - obavljanje pomoćnih zadataka (zaštita od korozije, podmazivanje,).

Elektrotehnicki materijali

Vodici - Atomi metala su poredani u kristalne rešetke, a *valentni elektroni atoma slabo su vezani uz jezgru, te se slobodno gibaju po kristalu (vodici prve vrste)*.
Pojedine *tekucine vode struju* – elektroliti (*vodici druge vrste*) – u *tekucinama ioni vode struju*

Izolatori – svi elektroni su **c**vrsto vezani za atome unutar materijala. Nema slobodnih elektrona. Veliki naponi mogu proizvesti nagli protok struje – proboj izolacije

Poluvodici– *izolatori koji pod određenim uvjetima (temperatura, dodavanje primjesa) mogu postati vodici*

Podjela elektrotehnickih materijala

- Poznatiji vodici su:
 - Bakar, aluminij, srebro i dr. metali...
- Poznatiji poluvodici su:
 - silicij, germanij, galij-arsenid...
- Poznatiji izolatori su:
 - guma, drvo, PVC, papir, zrak, destilirana voda...

ELEKTRICNA STRUJA I NJENI UCINCI

Električna struja

Pod električnom strujom podrazumijeva se usmjereno gibanje električnih naboja.

Karakteriziraju je smjer, jakost (može biti funkcija vremena)

Električna struja ostvaruje se gibanjem elektrona u metalima (pri gibanju elektrona ne dolazi do prijenosa materije).

Električna struja ostvaruje se i gibanjem pozitivnih i negativnih iona u tekućinama i plinovima (pri gibanju iona dolazi do prijenosa materije).

▪

- Električna struja iskazuje se svojim učincima. To su:
 - *toplinski učinak,*
 - *kemijski učinak,*
 - *magnetski učinak.*
- Poneki autori među osnovne učinke električne struje ubrajaju još i fiziološki i svjetlosni učinak, mada su oni posredno iskazani u kemijskom, odnosno toplinskom učinku.

Toplinski ucinak struje

Toplinski ucinak je fizikalna pojava zagrijavanja vodica kojim prolazi elektricna struja.

Do zagrijavanja dolazi zbog sudaranja elektricnih naboja u gibanju s cesticama tvari kroz koju se gibaju, cime joj povecavaju toplinsku energiju.

Stjece se utisak da elektricna struja nailazi na otpor okolne tvari.

Kemijski ucinak struje

Kemijski ucinak ocituje se u razdvajanju pojedinih vodica na sastavne dijelove pri prolasku elektricne struje - elektroliza.

Ovdje elektricna struja prolazi kroz elektrolite - vodice druge vrsti. Vodici druge vrsti su otopine raznih soli, kiselina i lužina.

(Vodici prve vrsti su metali, i oni se ne mijenjaju na takav nacin prolaskom elektricne struje).

Magnetski ucinak struje

Magnetski ucinak je neizbježan pratitelj elektricne struje.

Iskazuje se *stvaranjem magnetnih sila oko vodica*, jakost kojih je veca u blizini vodica, a s udaljenošću opada.

Prostor u kojem se pojavljuju i osjecaју te sile naziva se magnetskim poljem.

Fiziologijski ucinci struje

- Elektricna fiziološka struja prenosi se živcima (kemijsko – električni prijenos signala) – normalno je prisutna u covjeku -EKG
- Posebno je opasno ako vanjska elektricna struja prolazi kroz srce, u kojem se nalazi i centar za generiranje srčanog ritma (proizvodi impulse od cca 1 Hz koji daju signal srcu da se stegne).
- Prolaskom vanjske izmjenicne struje od npr. 80 mA i više, te frekvencije 50 Hz srčani mišić bi se trebao stegnuti 100 puta u sekundi - otprilike 80 puta brže od uobicajenog ritma.

Fiziologijski učinci struje – utjecaj na čovjeka

Dolazi do treperenja srca, koje više ne tlaci krv. To je treperenje srca, posljedica kojega je prestanak rada srca (50-100 mA je smrtno !! – tu struju može izazvati napon veći od 60 V – ovisi o otporu).

Vrijeme prolaska struje kroz tijelo je izrazito bitno.

Prolaskom električne struje kroz mozak dolazi do paraliziranja centra za disanje, što takode može izazvati smrt.

Zagrijavanjem tkiva zbog prolaska struje dolazi do zgušnjavanja bjelancevina, do rasprskavanja eritrocita, i sl. Posljedica kemijskog učinka električne struje u organizmu je razgradnja stanične tekucine.

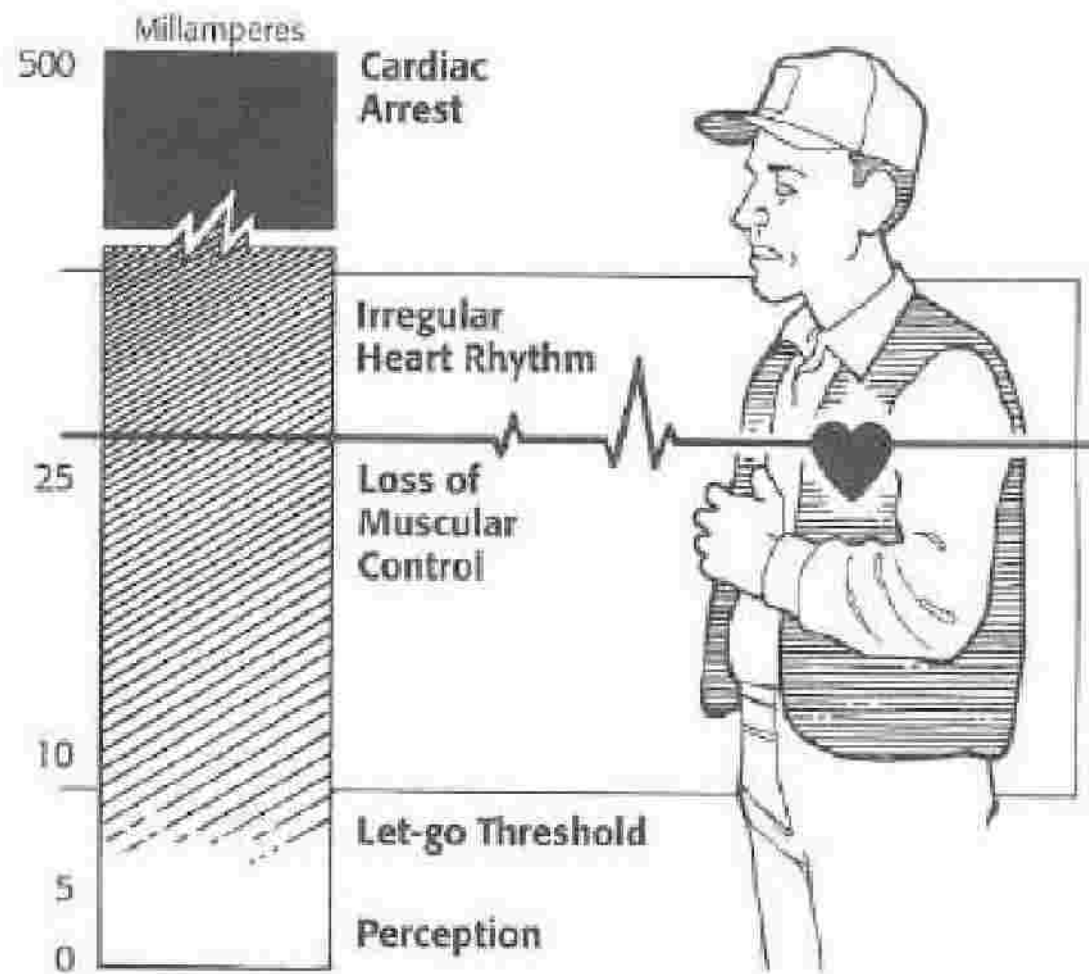
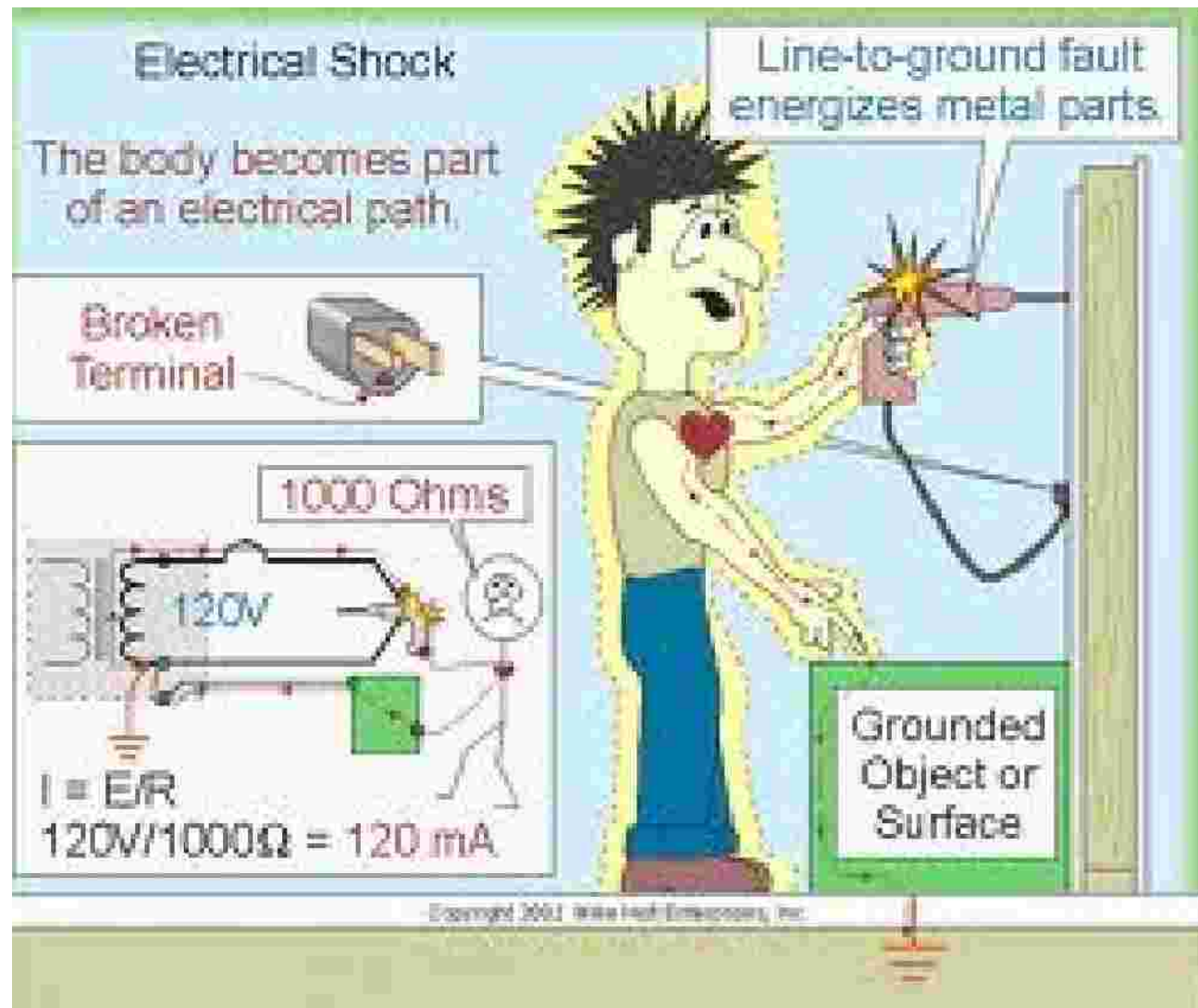


Fig. 1. Increasing levels of current above the "let-go" threshold causes loss of muscular control, irregular heart rhythm, and finally, cardiac arrest.





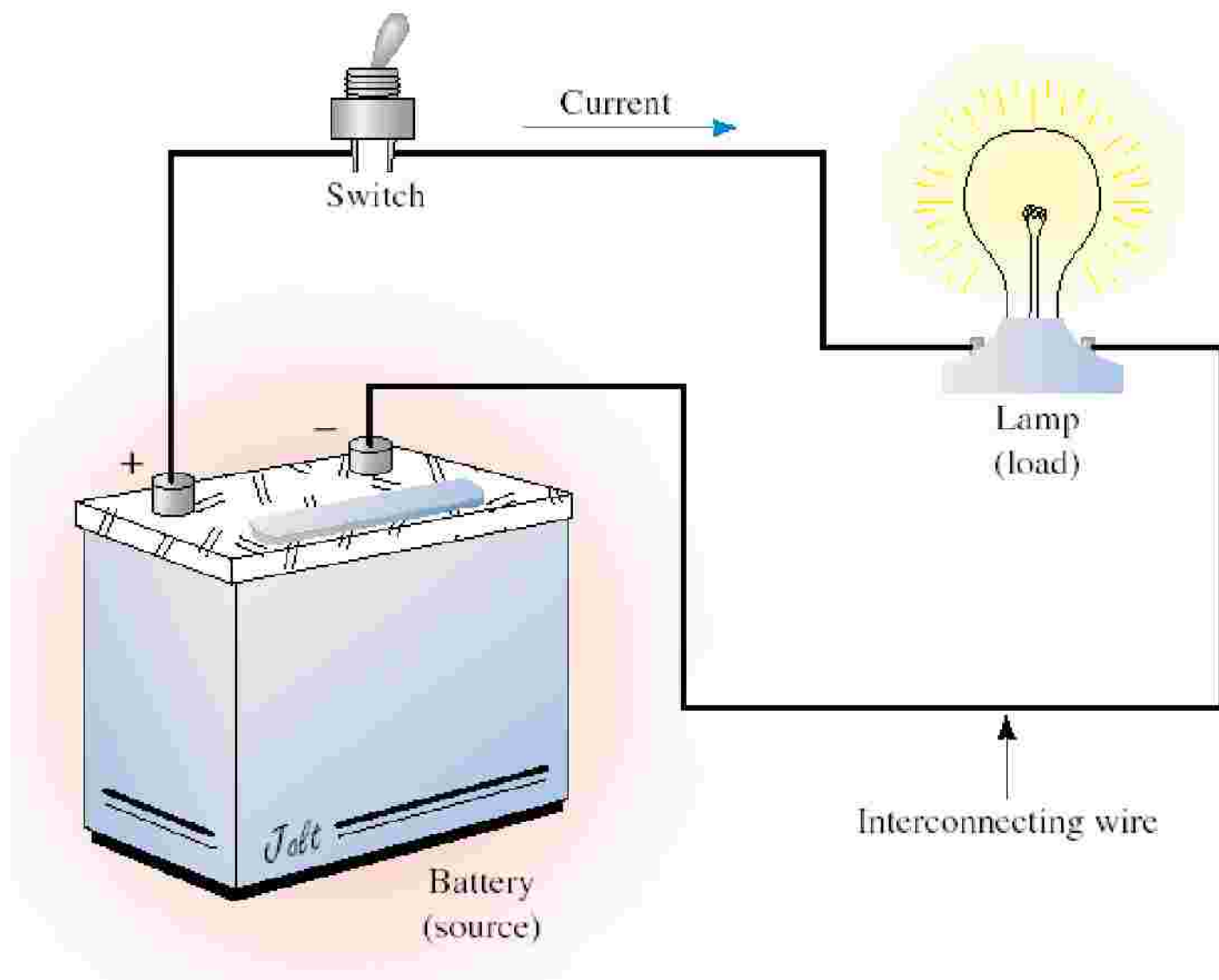


ELEKTRICNI KRUGOVI ISTOSMJERNE STRUJE

Krug istosmjerne struje

- Tri su osnovna dijela svakog električnog strujnog kruga:
 - izvor,
 - vodici,
 - trošilo.
- U trošilima se vrši obratna pretvorba energije.

Krug istosmjerne struje



Elektromotorni napon ili sila elektricnog izvora

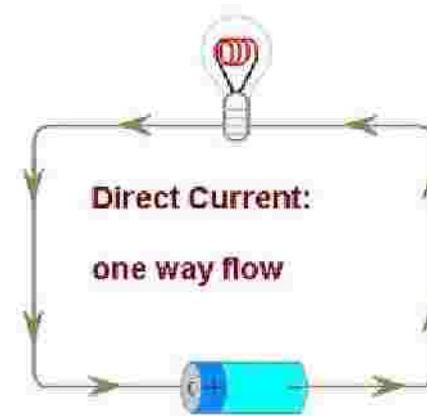
Elektricno nabijena tijela mogu se dobiti odvajanjem elektrona iz atoma utroškom neke druge vrsti energije, npr. Mehaničke, svjetlosne ili kemijske. Takvo odvajanje postoji u elektricnom izvoru.

Zbog djelovanja energije u izvoru nastaje elektromotorna napon (sila) E koja uzrokuje da jedna stezaljka izvora ima višak negativnog naboja (negativni pol), a druga manjak negativnog naboja (pozitivni pol) –
razlika potencijala.

Elektromotorni napon ili sila

Radnja dW u izvoru pomice naboj dQ u izvoru i stvara napon E na stezaljkama

$$E = \frac{dW}{dQ} \left[\frac{J}{C} = V \right]$$



Svaki izvor ima definiran električni napon E koji se mjeri u voltima (V).

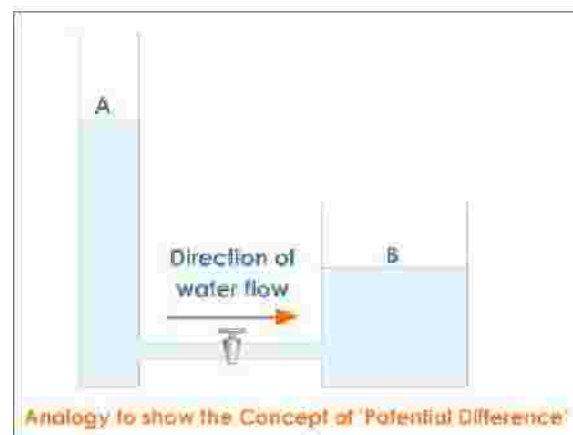
Napon je “sila” koja “gura” struju kroz trošilo i vodice. Struja protice kada se zatvori strujni krug

Elektricni potencijal

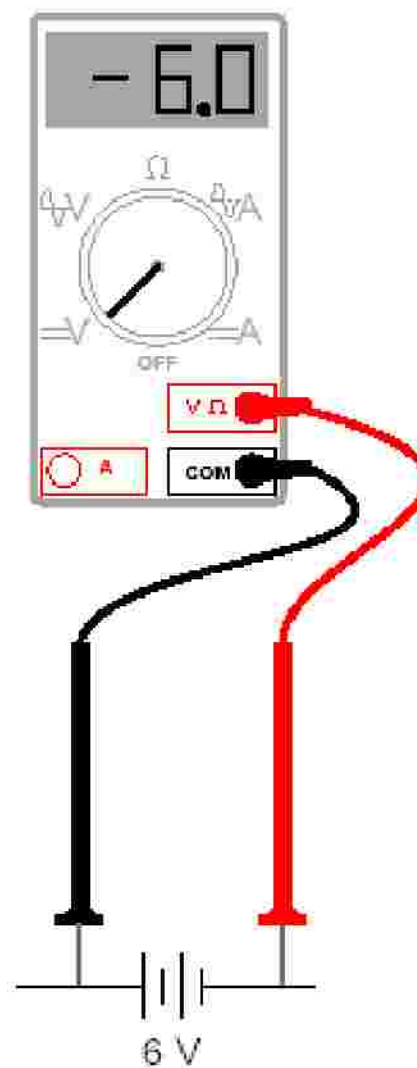
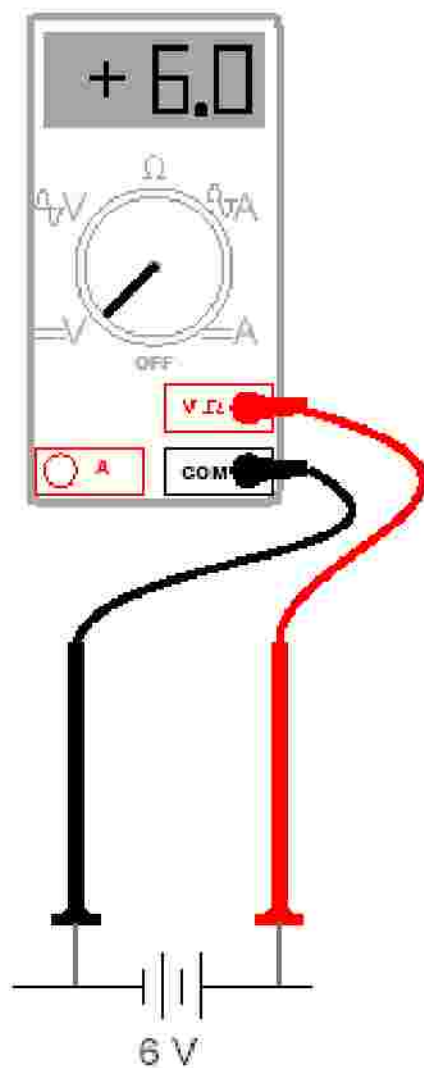
- Svaka stezaljka izvora potencijal.
- Električni potencijal označava se s j , i on je skalarna velicina, mjeri se u voltima (V).
 - Razlika u potencijalu između bilo koje dvije točke strujnog kruga naziva se naponom,



$$E = j_2 - j_1$$

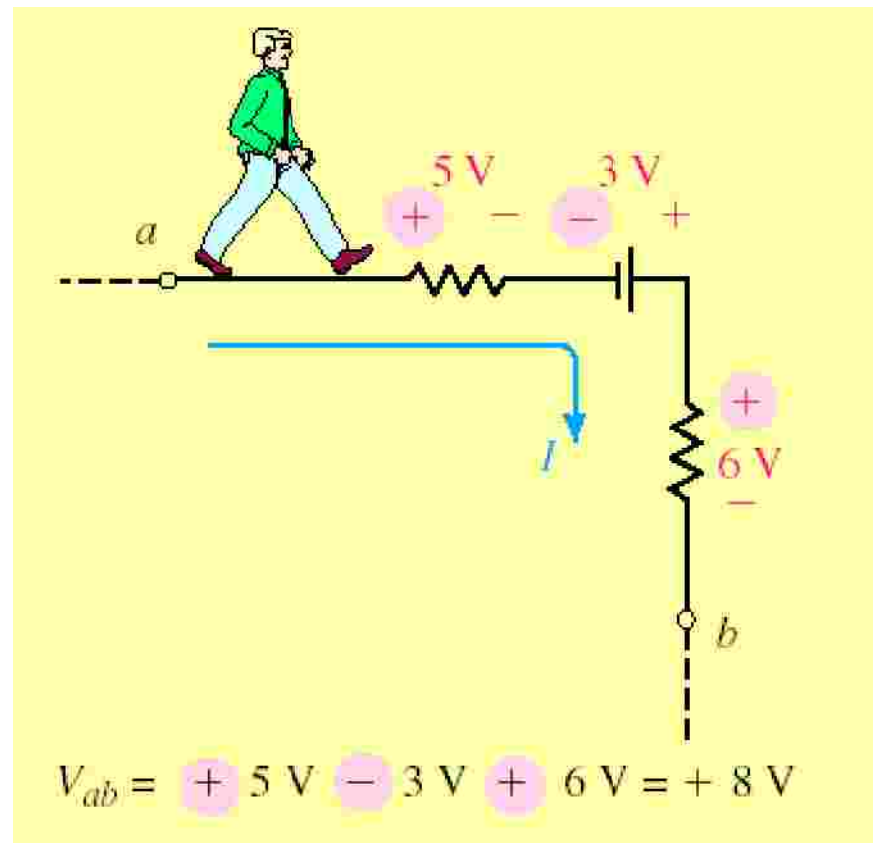


Mjerenje napona izvora



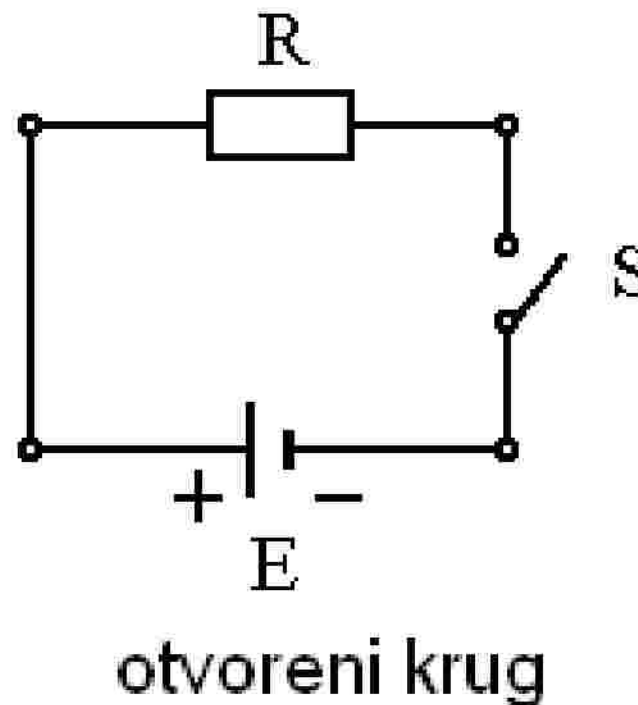
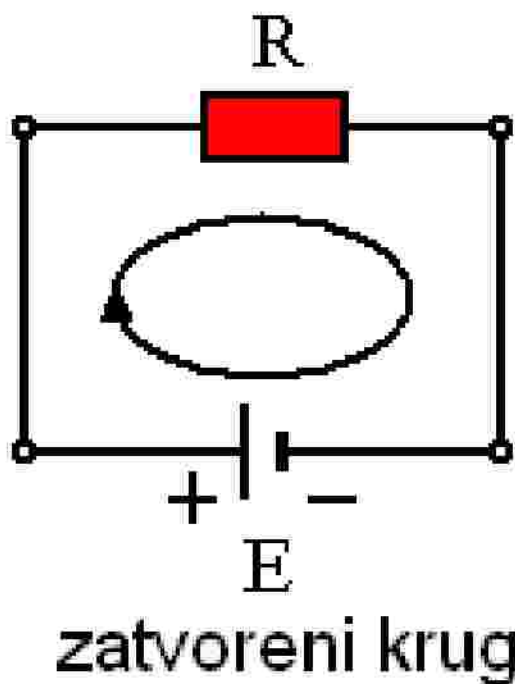
Razlika potencijala ili napon između dvije točke strujnog kruga

- Napon između točaka strujnog kruga može se odrediti kao razlika potencijala između promatranih točaka.

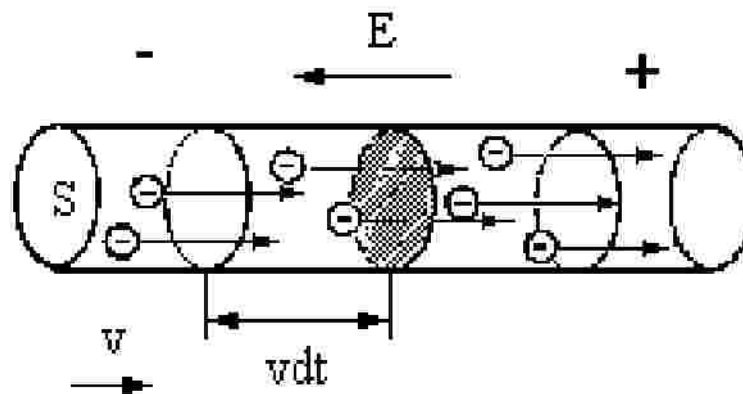
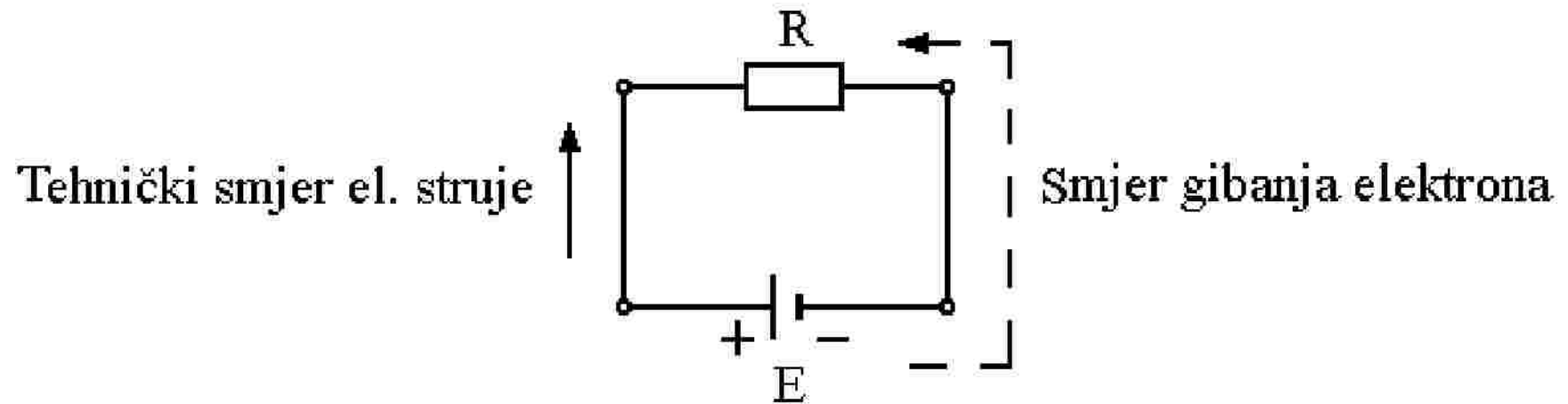


Krug istosmjerne struje

- Da bi električna struja tekla između izvora i trošila, svi dijelovi strujnog kruga trebaju biti dobro vodljivi i dje ne smije biti prekida – zatvoren strujni krug.

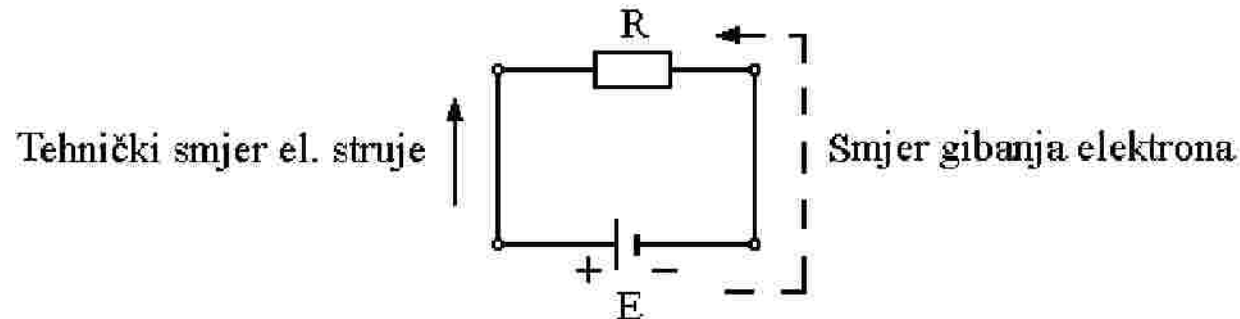


Smjer električne struje



Gibanje slobodnih elektrona u vodiču

Smjer električne struje



Istosmjerna struja stalno teče strujnim krugom u istom smjeru (polaritet izvora se ne mijenja vremenu)

Jakost električne struje je velicina o kojoj ovisi ucinak električne struje. Određuje se kao mjera kolicine elektriciteta koja prođe u jedinici vremena kroz vodič na jednom mjestu strujnog kruga:

$$I = \frac{Q}{t} \left[\frac{C}{s} = A \right]$$

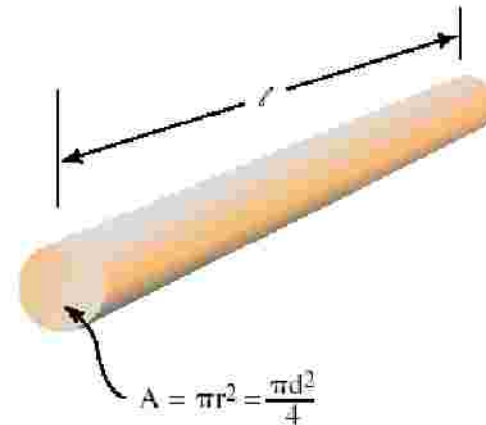
Q – električni naboj [C]

ELEKTRICNI OTPOR I VODLJIVOST

Elektricni otpor i vodljivost

- Vodic pruža otpor prolasku struje – efekt sudaranja elektrona sa česticama materije
- Otpor ovisi o vrsti materijala, duljini vodica i površini poprečnog presjeka vodica

$$R = r \frac{l}{S} [\Omega] \quad G = \frac{1}{R} [S]$$



$$r = 1 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right] = 10^{-6} \Omega \text{m} \quad k = \frac{1}{r} = 1 \left[\frac{\text{Sm}}{\text{mm}^2} \right] = 10^6 \text{Sm}$$

Ovisnost otpora o temperaturi

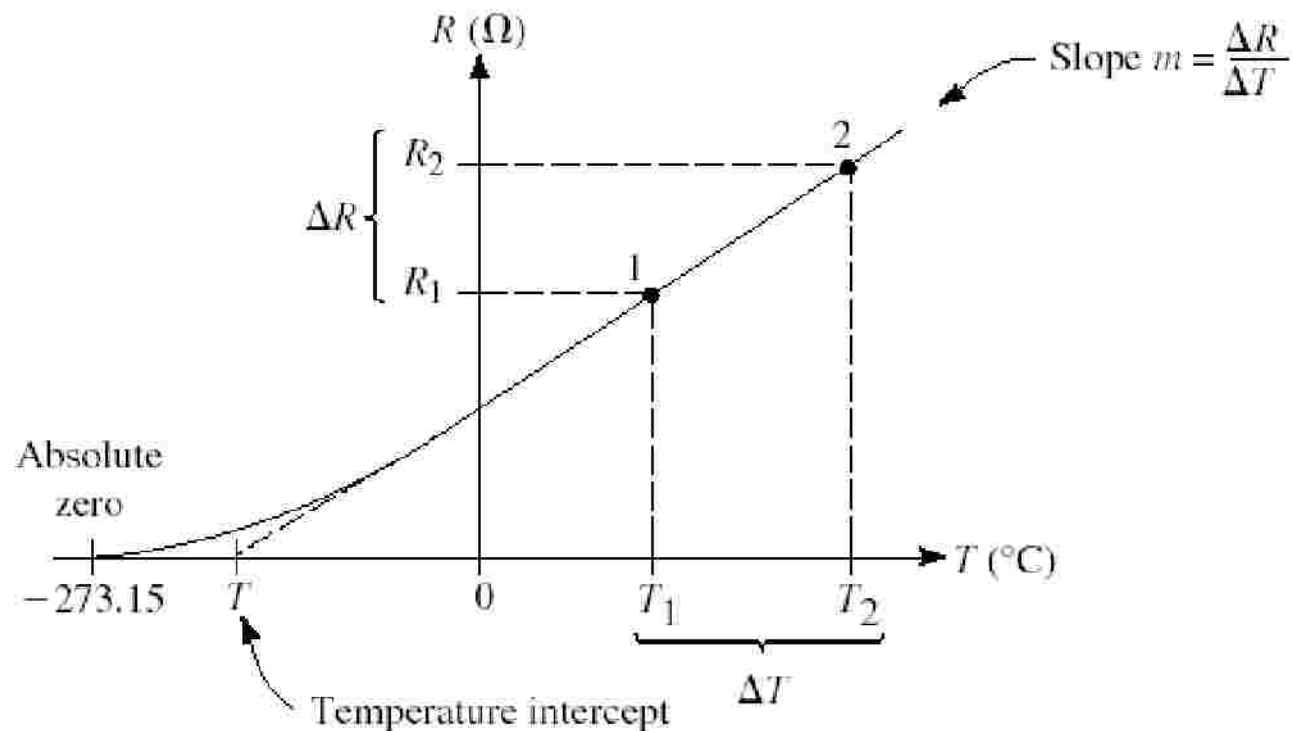
$$R = R_0 [1 + \alpha \Delta T]$$

R - otpor pri stvarnoj temperaturi

R_0 - otpor pri sobnoj temperaturi

ΔT - Δ

α - temperaturni koeficijent materijala [$^{\circ}\text{C}^{-1}$],



Supravodljivost

Pojava išcezavanja električne otpornosti rezultat podhladivanja vodika do kritične temperature, naziva se supravodljivošću.

Sredstvo za hladenje je za te temperature tekuci helij. Tehnologija *tekućeg helija* je vrlo složena i skupa. Visokotemperaturni supravodnici $T_c = 100 \text{ K}^\circ$ – te temperature moguće postići tekucim dušikom.

Moguća područja primjene su: *prijenos energije, izgradnja jakih magneta, transport, električni strojevi, računalna tehnika, medicina* i sl.

Otpornici

Otpornici su elementi kruga koji reguliraju jakost struje ili ostvaruju pad napona u strujnom krugu.

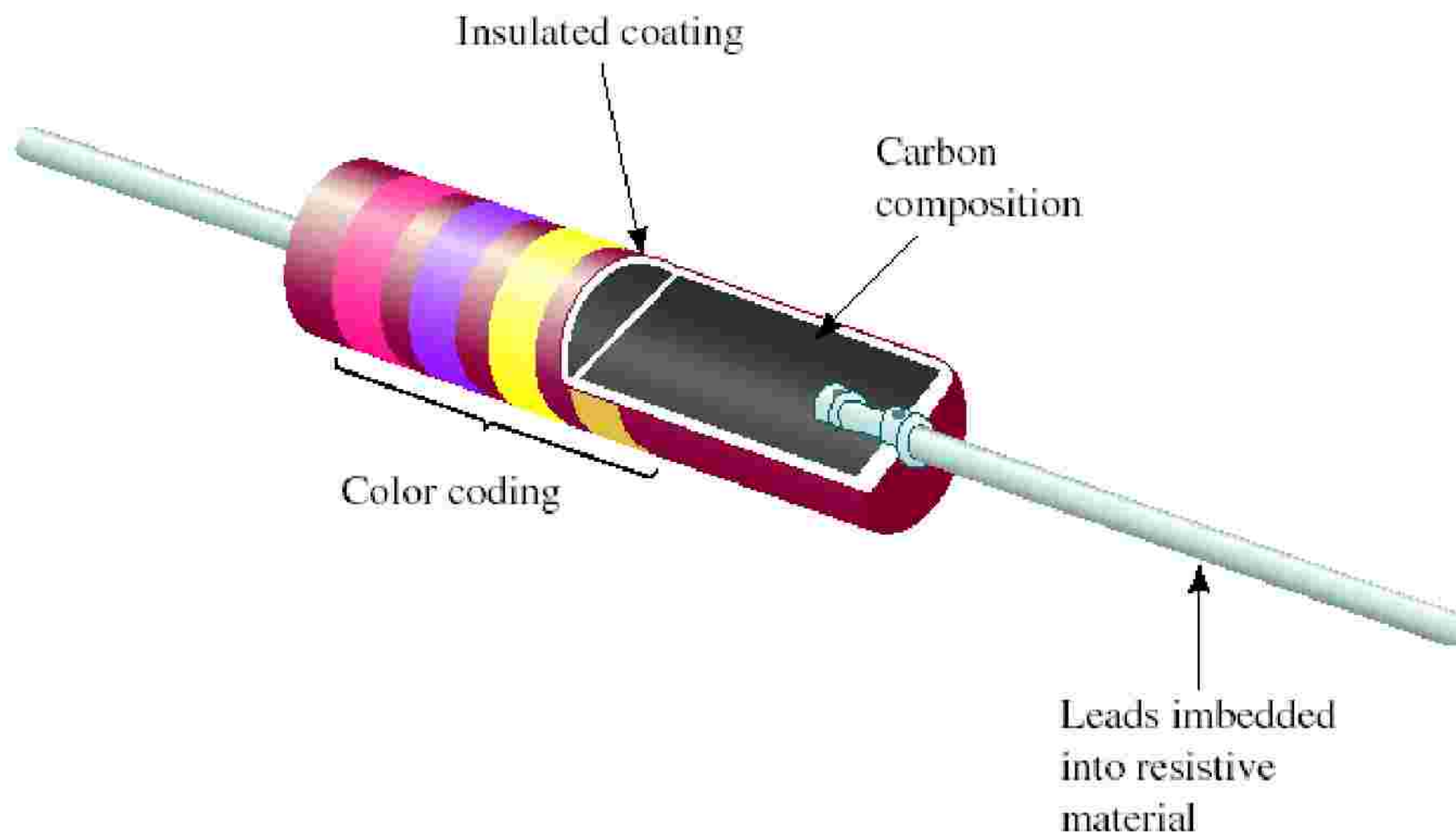


Otpornici na štampanoj pločici



Novi trend u izradi otpornika je tzv. SMD tehnologija, tj. tehnologija površinskog postavljanja.

Maseni ugljeni otpornik



Vrste i parametri otpornika

Parametri otpornika:

- *otpornost [O],*
- *snaga[W],*
- *tolerancija...*

Vrste otpornika: *Stalni i promjenjivi*

Prema tehnologiji izrade : *maseni, ugljicno slojni, žicani ...*

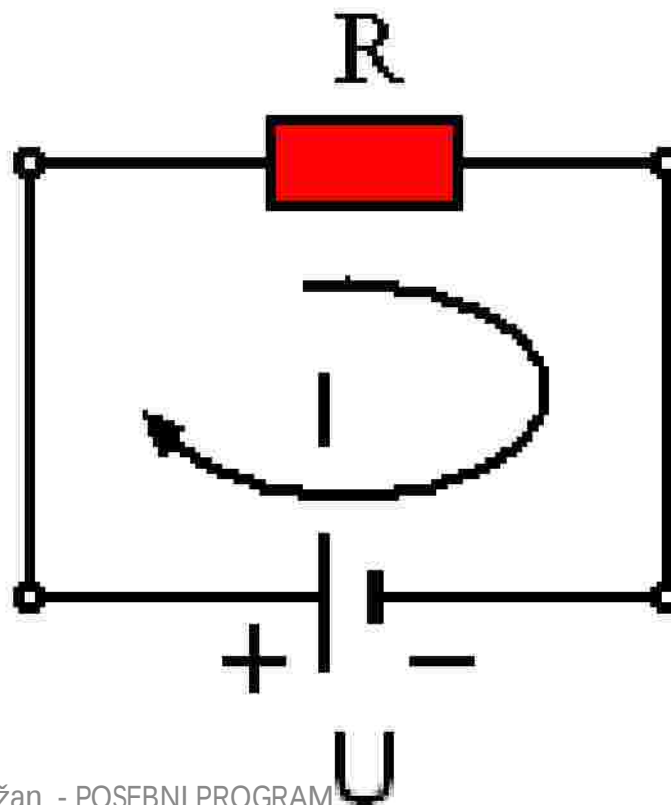
- Linearni i nelinearni: *NTC, PTC otpornici, varistori, magnetski otpornici fotootpornici, otporne trake (straingages) -senzori*

OHMOV ZAKON

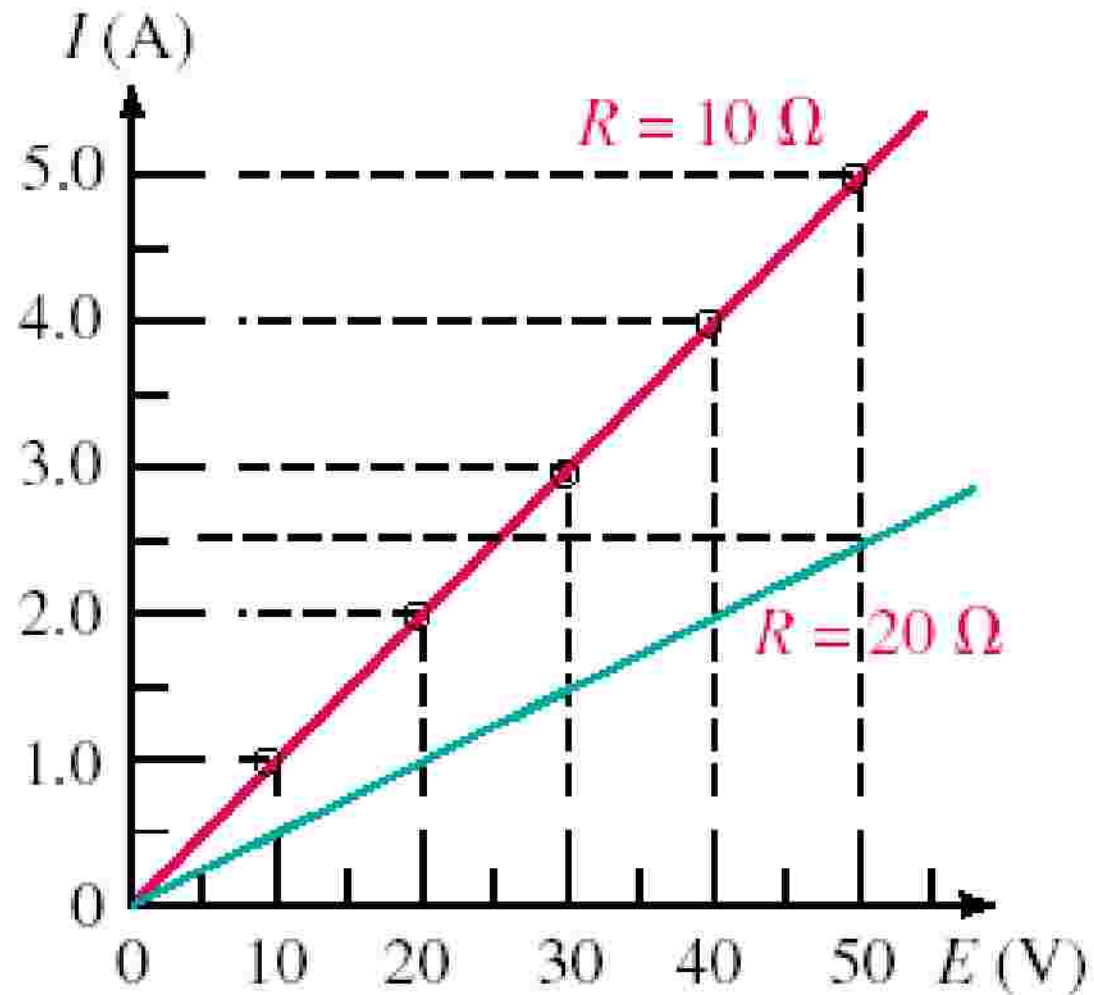
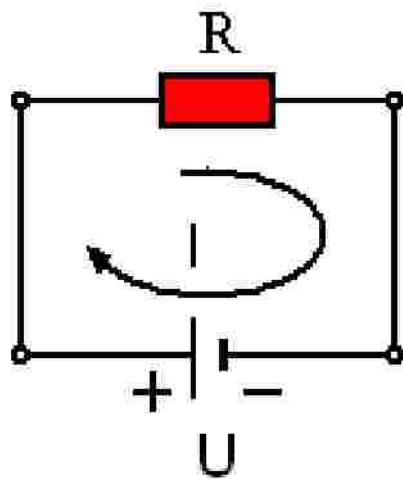
Ohmov zakon

- Njemacki fizicar George Simon Ohm (1787-1854.) eksperimentalno je utvrdio da je pri konstantnoj temperaturi *jakost elektricne struje razmjerna naponu, a obrnuto razmjerna električnom otporu.*

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



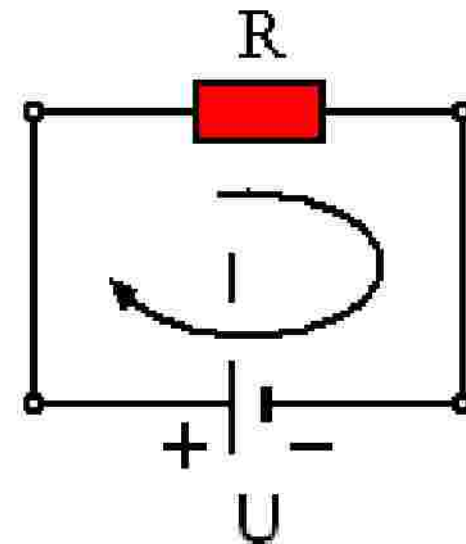
Graficka reprezentacija ohmovog zakona linearnog otpornika



Tri radna stanja električnog kruga

Tri su radna stanja električnog kruga:

- normalno radno stanje ($I=I_{\text{radno}}$)
- prazni hod ($R=8$; $I=0$)
- kratki spoj ($I=8$; $R=0$) opasno !!!



KIRCHOFFOVI ZAKONI

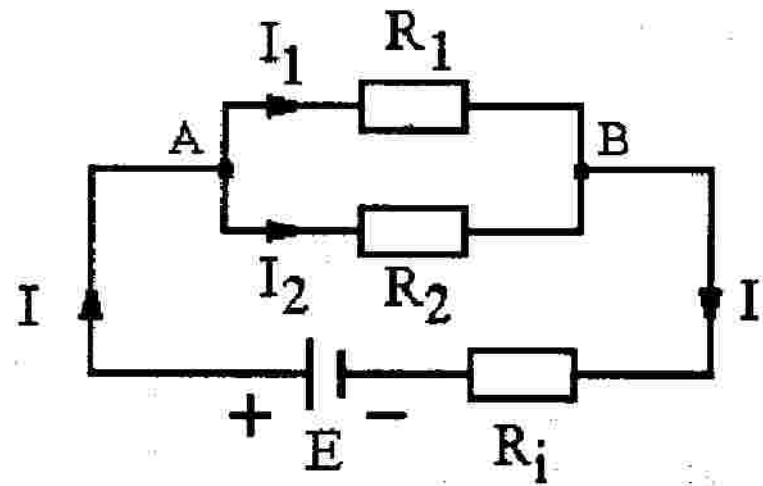
Prvi Kirchhoffov zakon

Za bilo koji cvor električne mreže vrijedi da je algebarski zbroj svih struja u svakom trenutku jednak nuli

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\pm I_1 \pm I_2 \pm \dots \pm I_n = 0$$

$$\sum_{\text{ulaznih}} I_i = \sum_{\text{izlaznih}} I_j$$



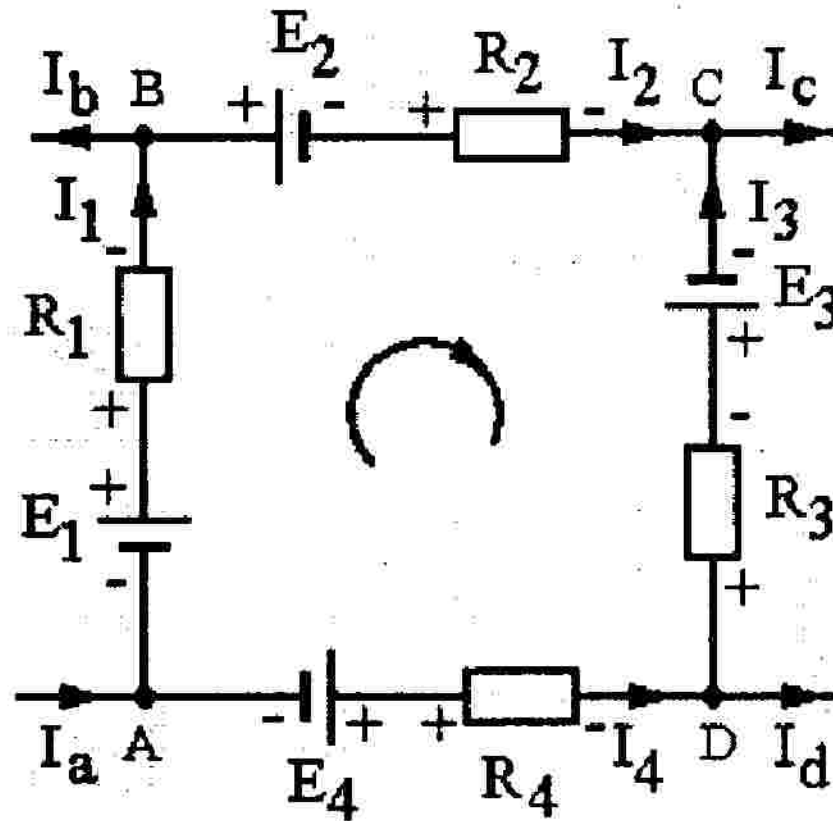
Drugi Kirchhoffov zakon

U zatvorenom strujnom krugu, algebarski zbroj napona izvora jednak je algebarskom zbroju padova napona na otpornicima.

$$\sum_i E_i = \sum_j I_j R_j$$

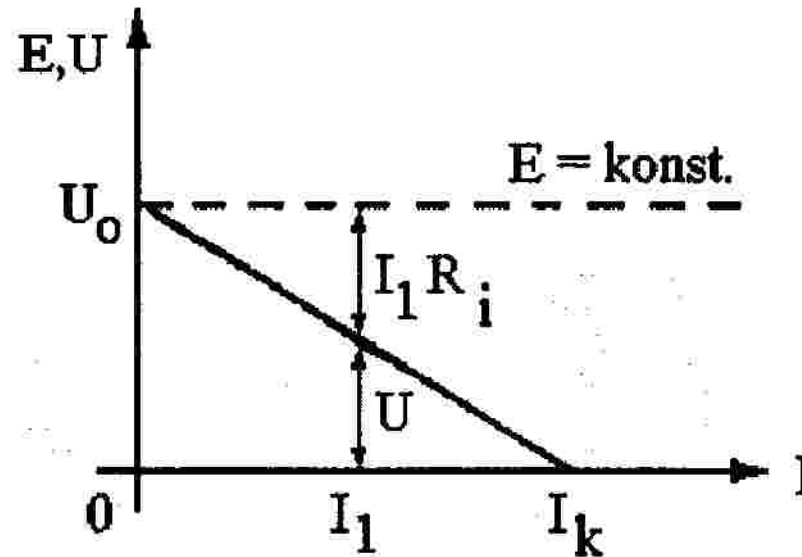
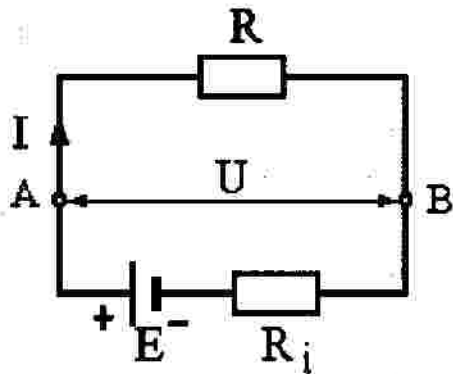
Oni elektromotorni naponi kojima se smjer djelovanja podudara s referentnim smjerom uzimaju se kao pozitivni, a ostali kao *negativni*.

Drugi Kirchhoffov zakon



$$E_1 - E_2 + E_3 - E_4 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4$$

Pad napona realnog naponskog izvora



$$U = E - I R_i$$

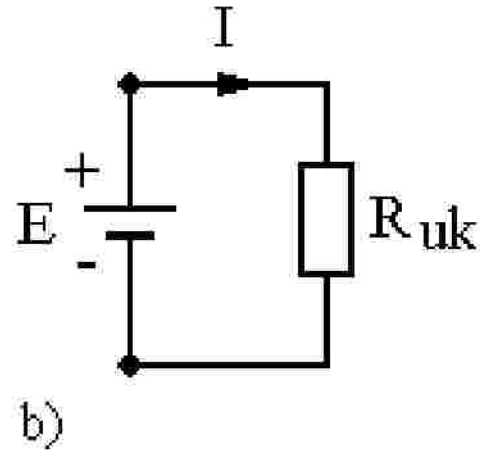
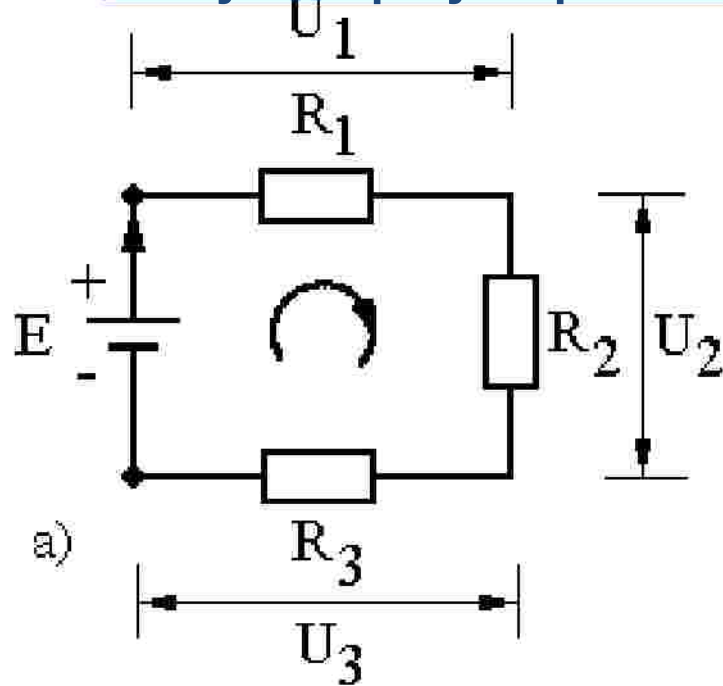
- Na unutarnjem otporu izvora, prolaskom struje I , dolazi do pada napona (idealni izvor ima $R_i=0$), pa se smanjuje napon U

SPOJEVI OTPORNIKA

SPOJEVI OTPORNIKA

- Serijski
- Paralelni
- Mješoviti
- Zvijezda
- Trokut

Serijski spoj otpornika

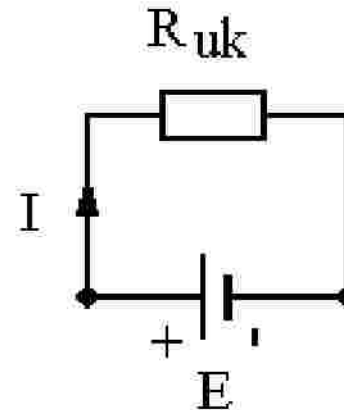
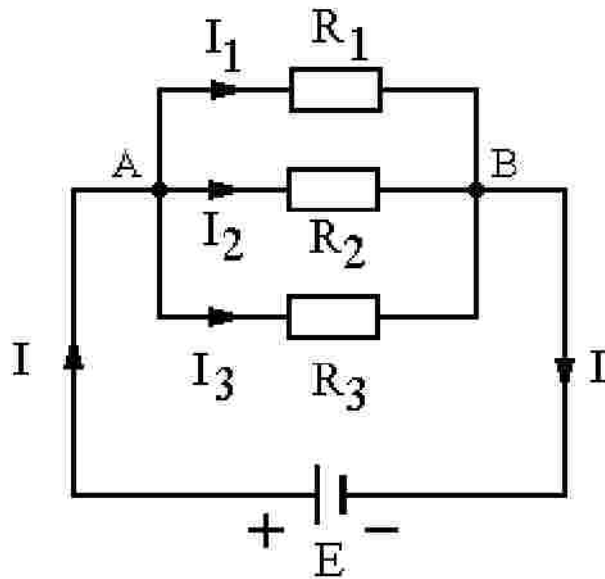


$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = E$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$$

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

Paralelni spoj otpornika



$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = E$$

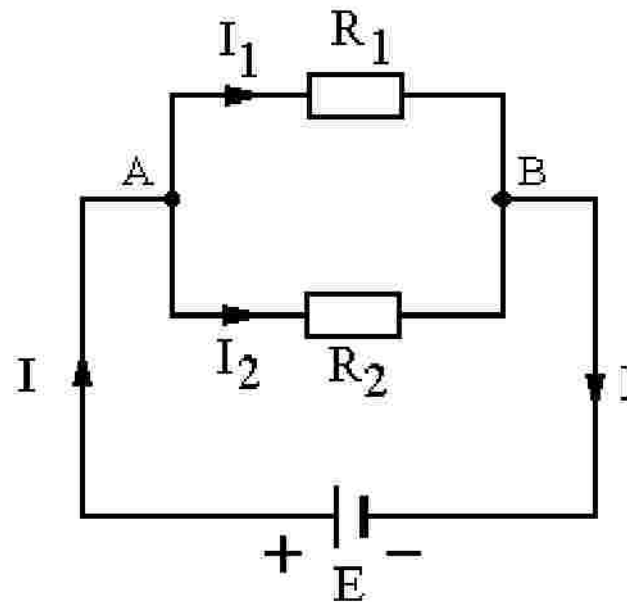
$$\frac{1}{R_{uk}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Paralelni spoj dvaju otpornika – strujno djelilo

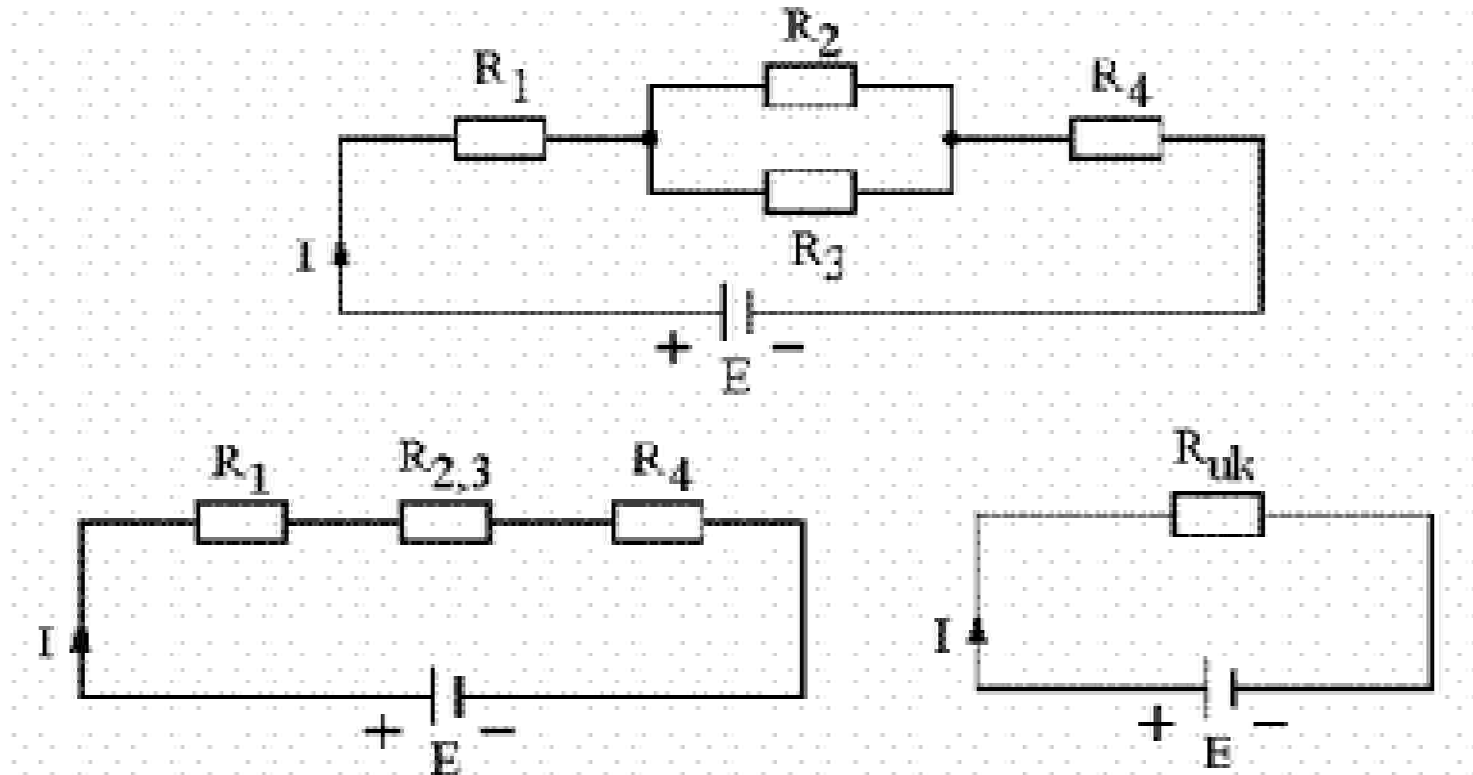
$$R_{uk} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

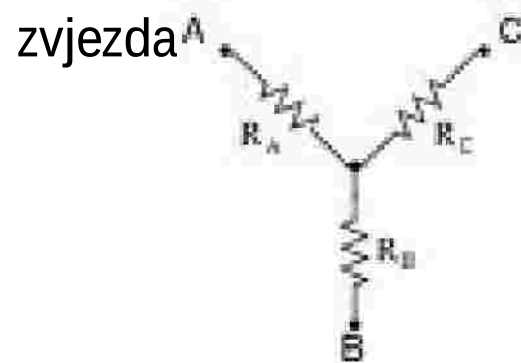
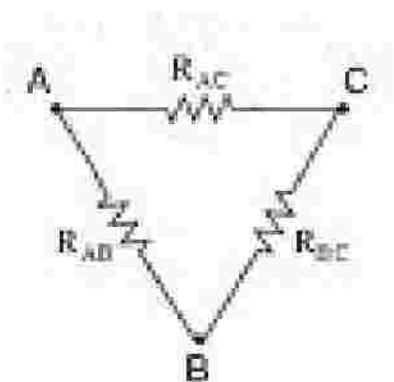
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Mješoviti spoj otpornika



Zvezda spoj i trokut spoj



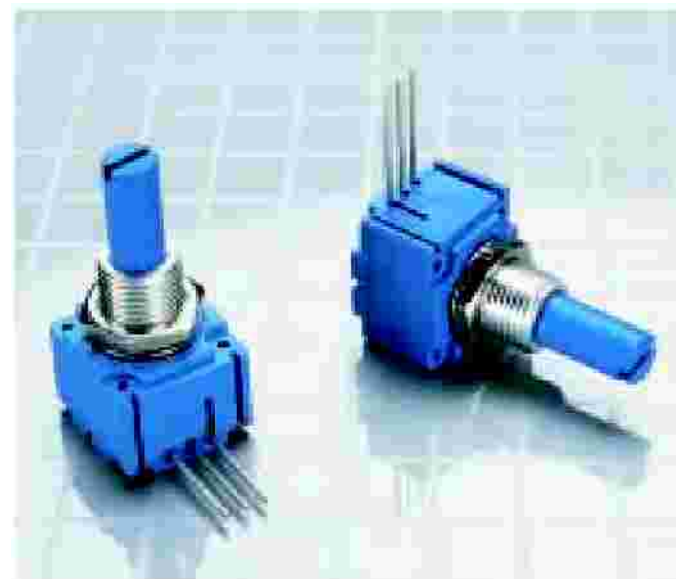
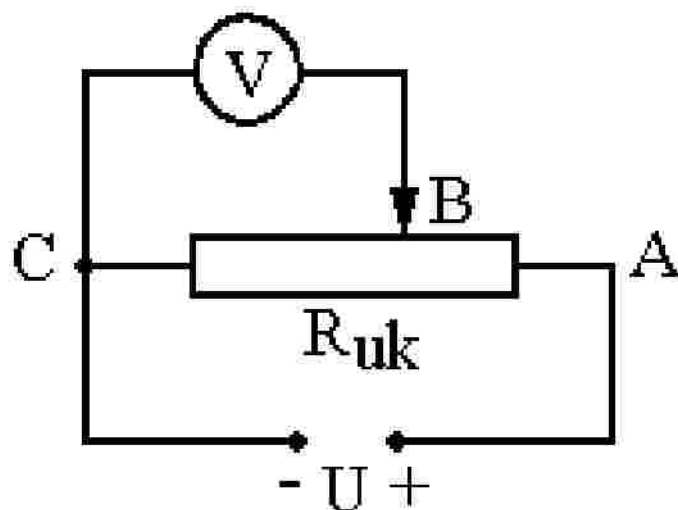
trokut

Americki simbol za otpornik



PROMJENJIVI OTPORNICI

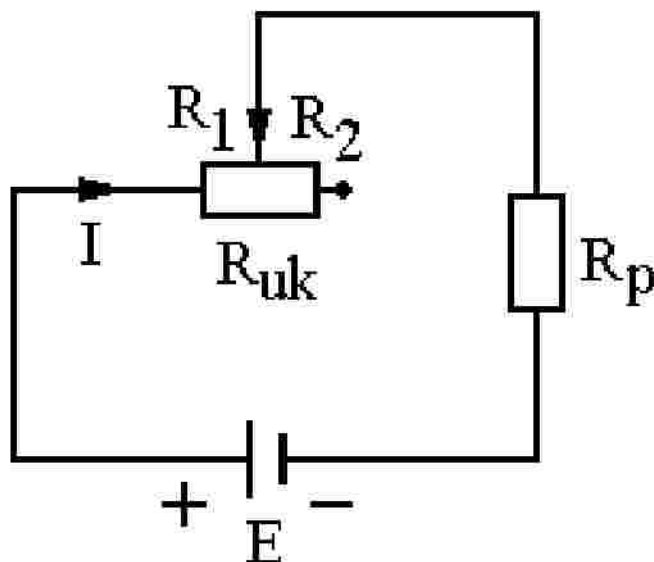
Potenciometar



Promjenljivi otpornici, zvani potencijometri, služe za regulaciju napona električne struje

Potencijometri se primjenjuju prilikom podešavanja napona (glasnoca, kurs broda, rasvjeta)

Reostat



Promjenljivi otpornici, zvani reostati, služe za regulaciju jakosti električne struje

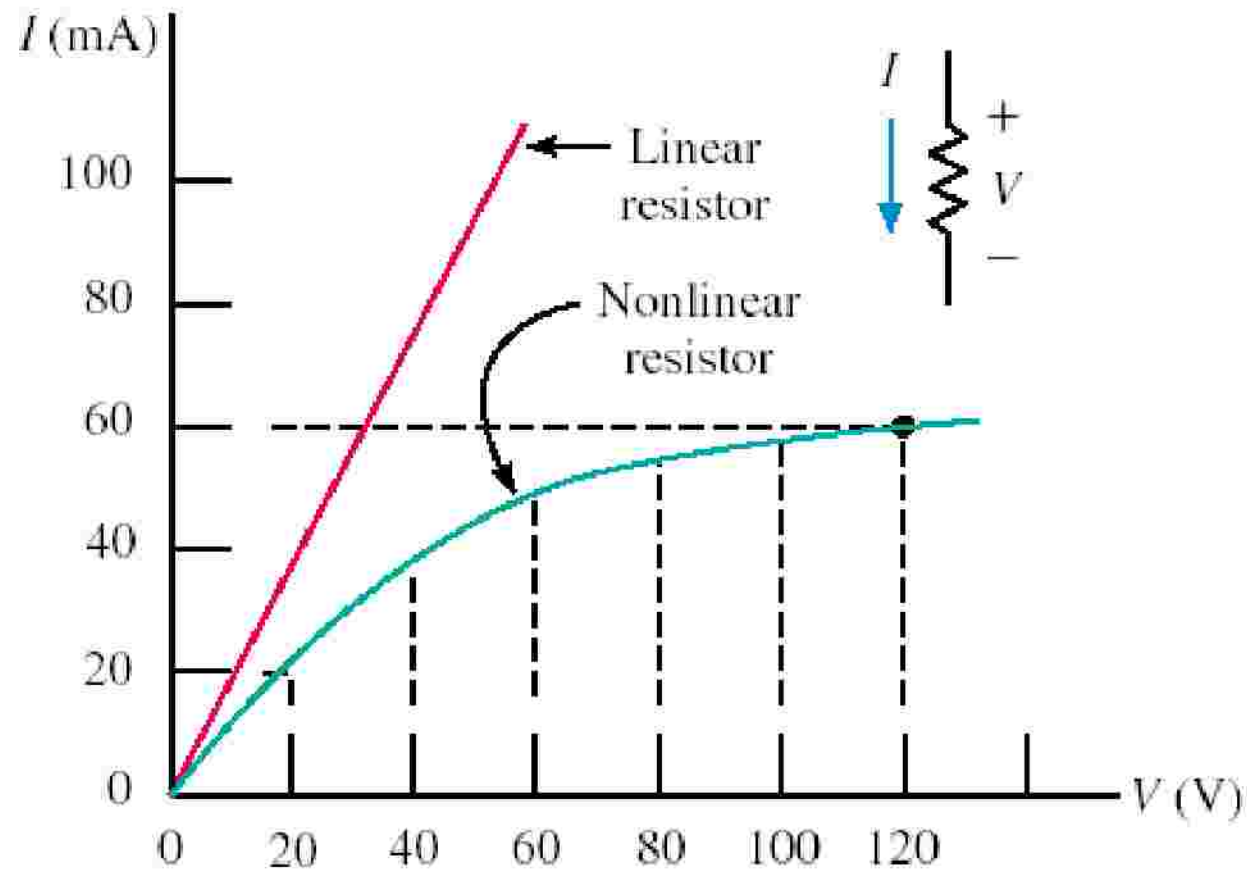
Reostati se primjenjuju pri pokretanju elektromotora, pri nabijanju akumulatora, itd.

NELINEARNI OTPORNICI

Linearni i nelinearni otpornici

- Ako se otpor otpornika ne mijenja u ovisnosti o jakosti električne struje ili iznosu narinutog napona govori se o linearnim otpornicima (stalni otpornici ili mehanickim putem promjenjivi) – linearna U/I karakteristika
- Ako se otpor otpornika mijenja u ovisnosti o jakosti struje ili iznosu narinutog napona u krugu govori se o nelinearnim otpornicima – nelinearna U/I karakteristika

Linearni i nelinearni otpornici



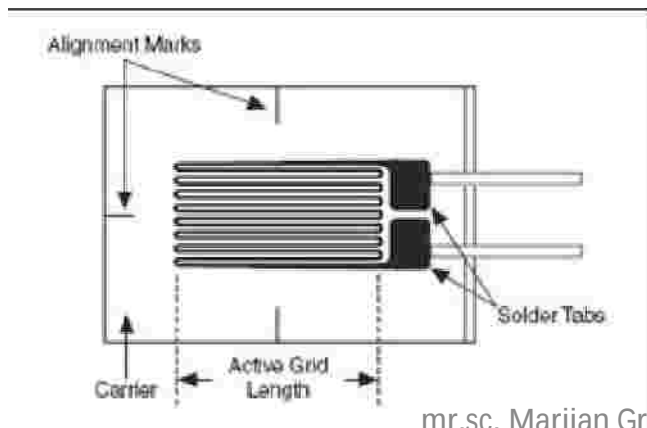
5 Linear and nonlinear resistance characteristics.

Nelinearni otpornici

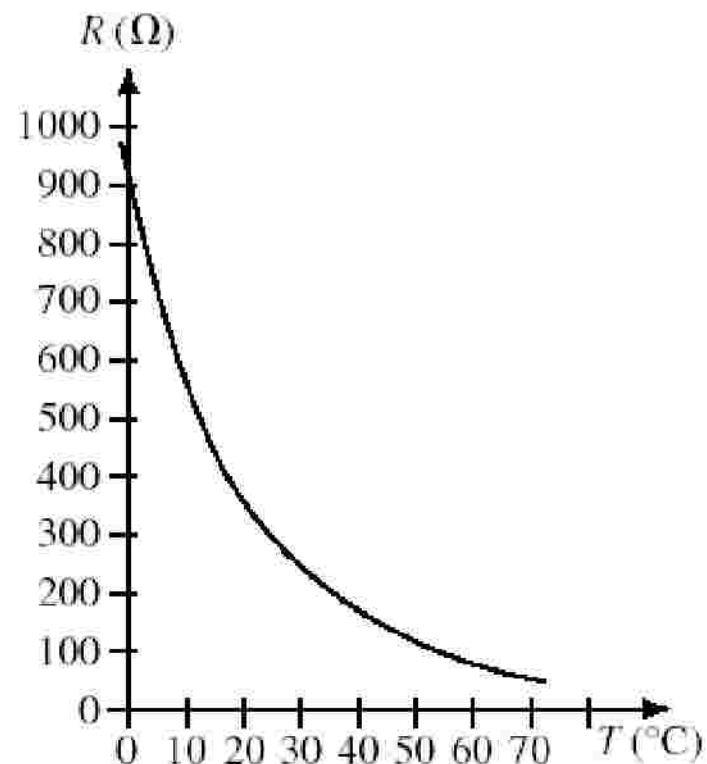
Magnetski otpornici su oni koji mijenjaju otpor s promjenom magnetnog polja, odnosno gustoće magnetnog toka, u kojem se nalaze. Nazivaju se Hallovim elementima.



Kod otpornika ovisnih o tlaku otpor raste s porastom tlaka kojem su izloženi –otporne trake (strain gages) – naprezanje trupa broda.



ermistori

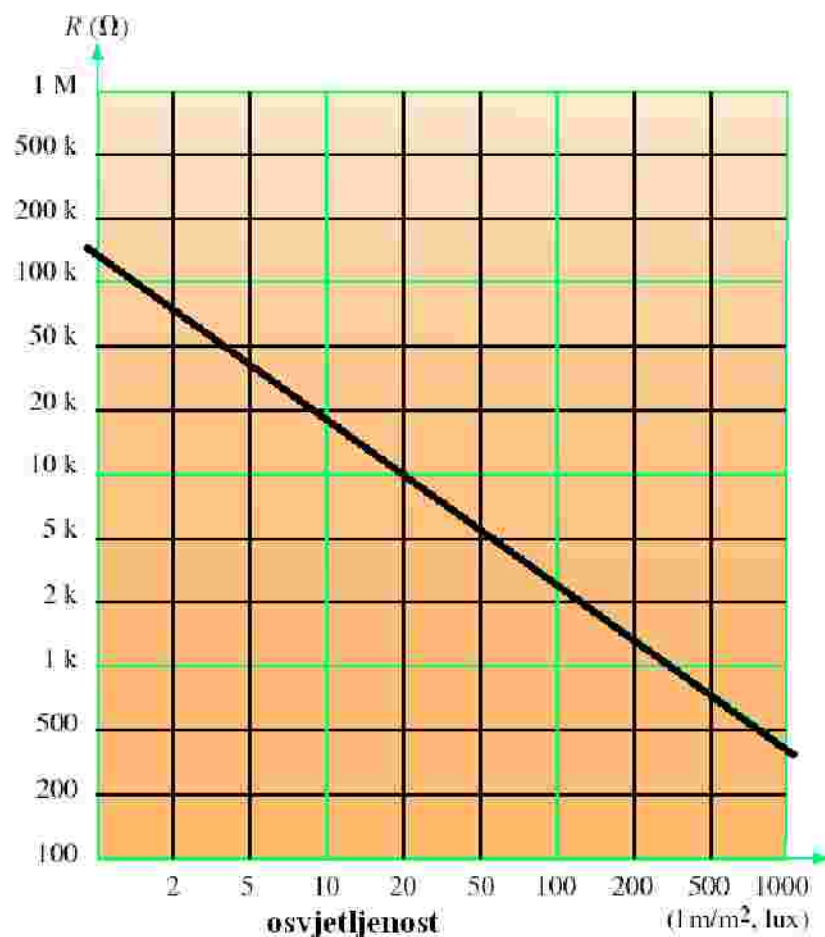
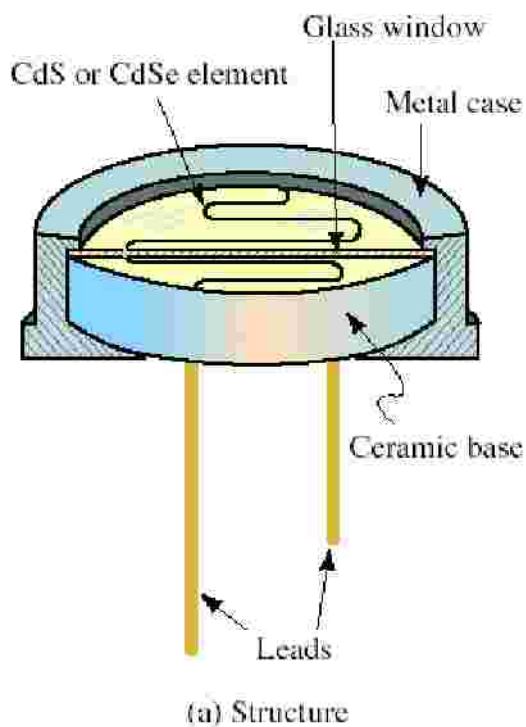


Termistori: -s pozitivnim temperaturnim koeficijentom – otpor se povećava rastom temperature (PTC)

i s negativnim temperaturnim koeficijentom – otpor se smanjuje povećanjem temperature (NTC)

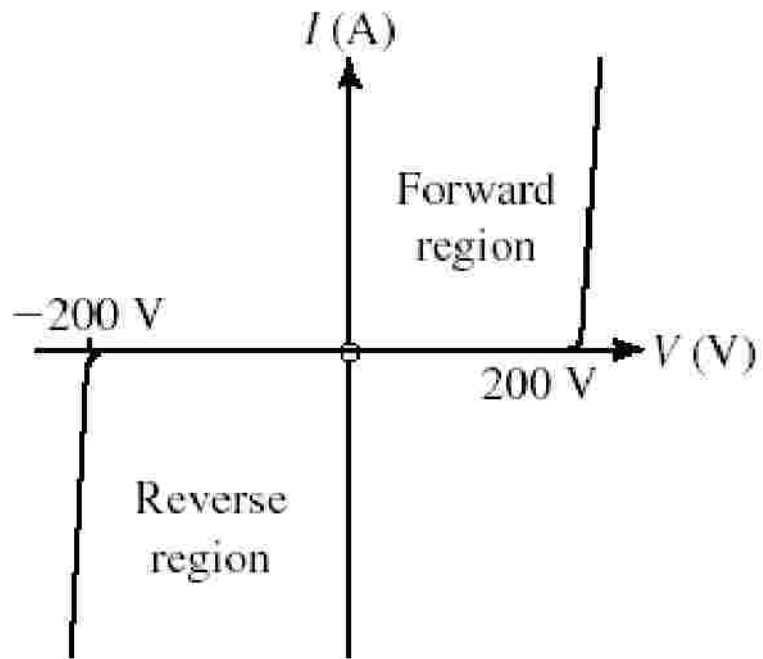
Koriste se kao senzori temperature

Fotootpornik



Rad *fotootpornika* zasniva se na cinjenici da se elektricni *otpor* nekih materijala *smanjuje* kad se obasjaju svjetlošcu (oslobadaju se elektroni i povecava se vodljivost). – protuprovala)

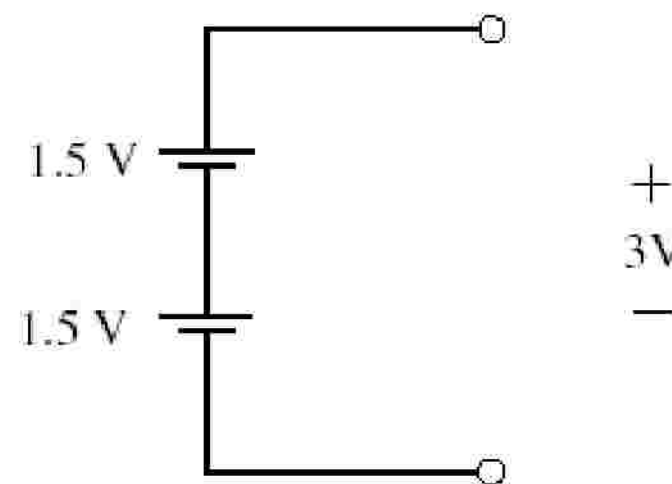
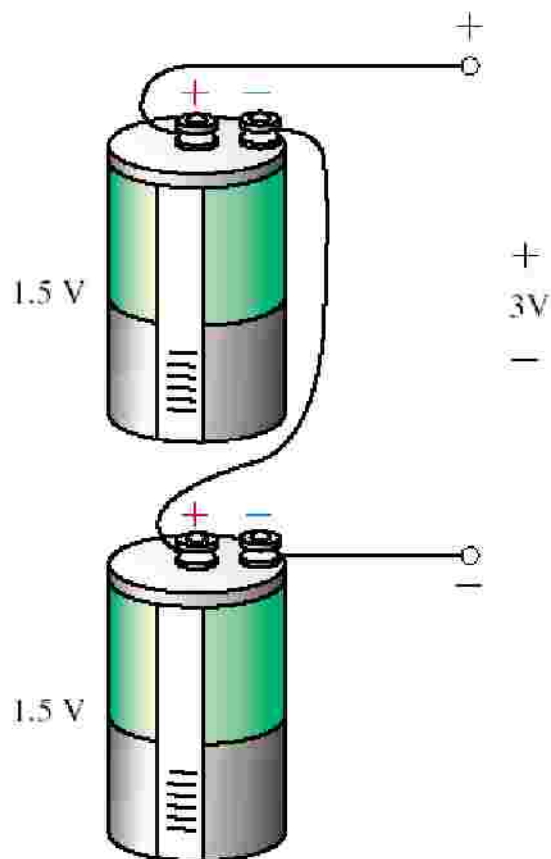
Varistor



Varistori (VDR - voltage dependent resistor) su otpornici kod kojih se otpor smanjuje s porastom napona. – zaštitni elementi

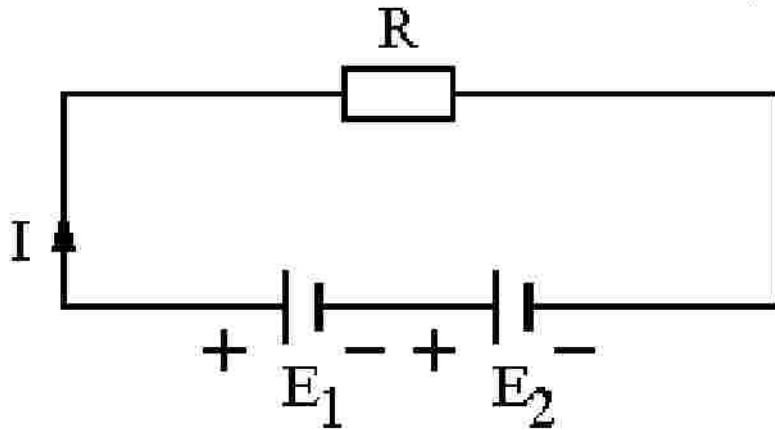
SPOJEVI IZVORA

Serijski spoj izvora

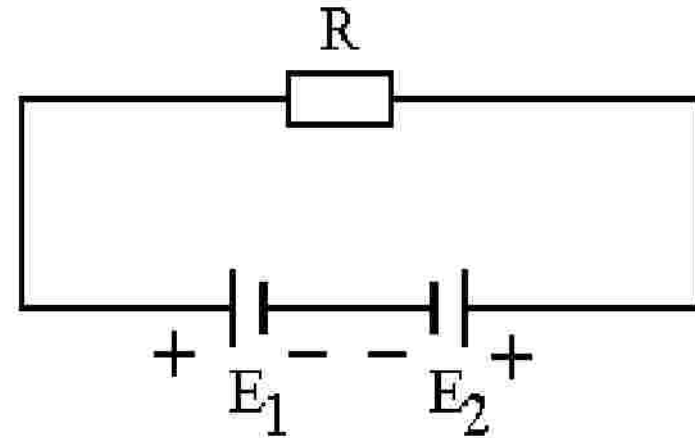


Serijski spoj izvora koristi se kada je potreban veci napon trošila od napona koju može dati jedan izvor.

Serijski spoj izvora



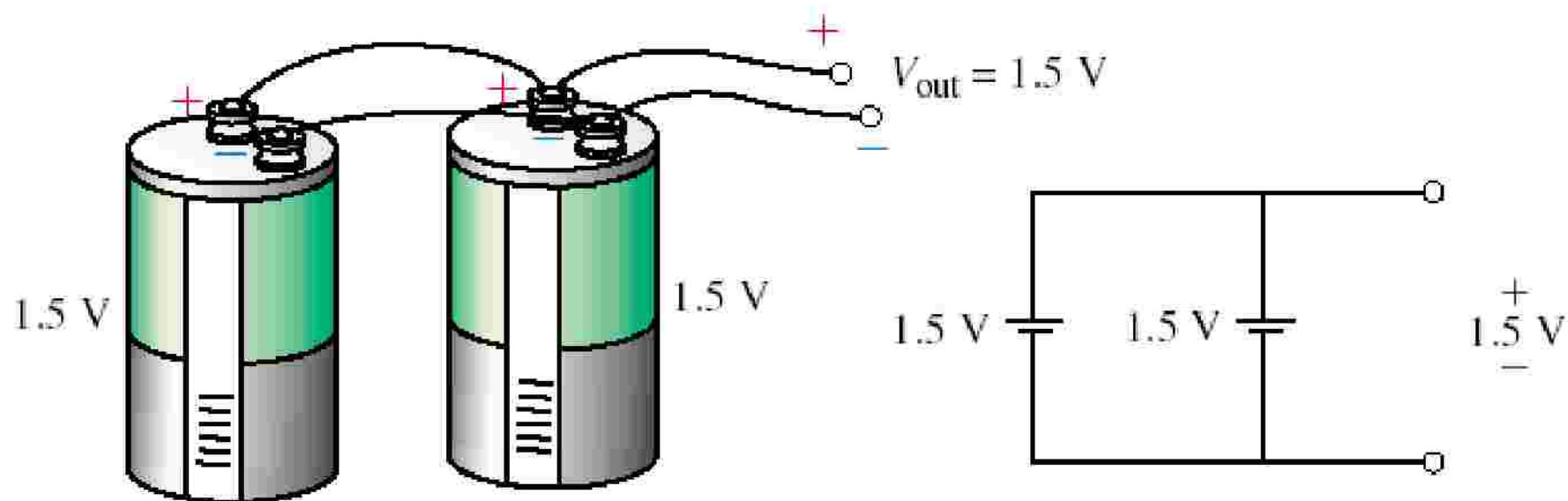
Serijski spoj izvora



Serijski protuspoj izvora

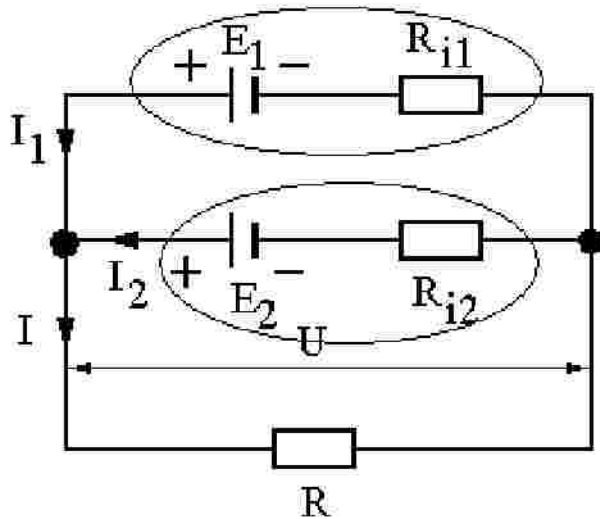
$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Paralelni spoj izvora



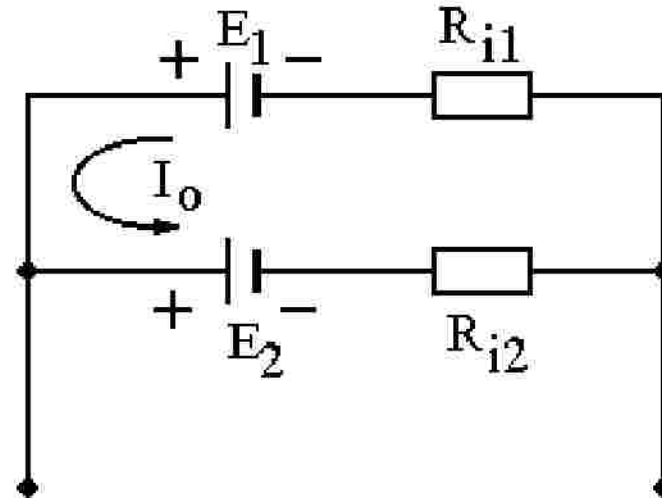
Paralelni spoj izvora koristi se kada je potrebna veća struja trošila
od struje koju može dati samo jedan izvor.

Paralelni spoj realnih izvora



Paralelni spoj izvora

$$I = I_1 + I_2$$



Struja izjednacenja- nejednaki naponi !

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_{i1} + R_{i2}}$$

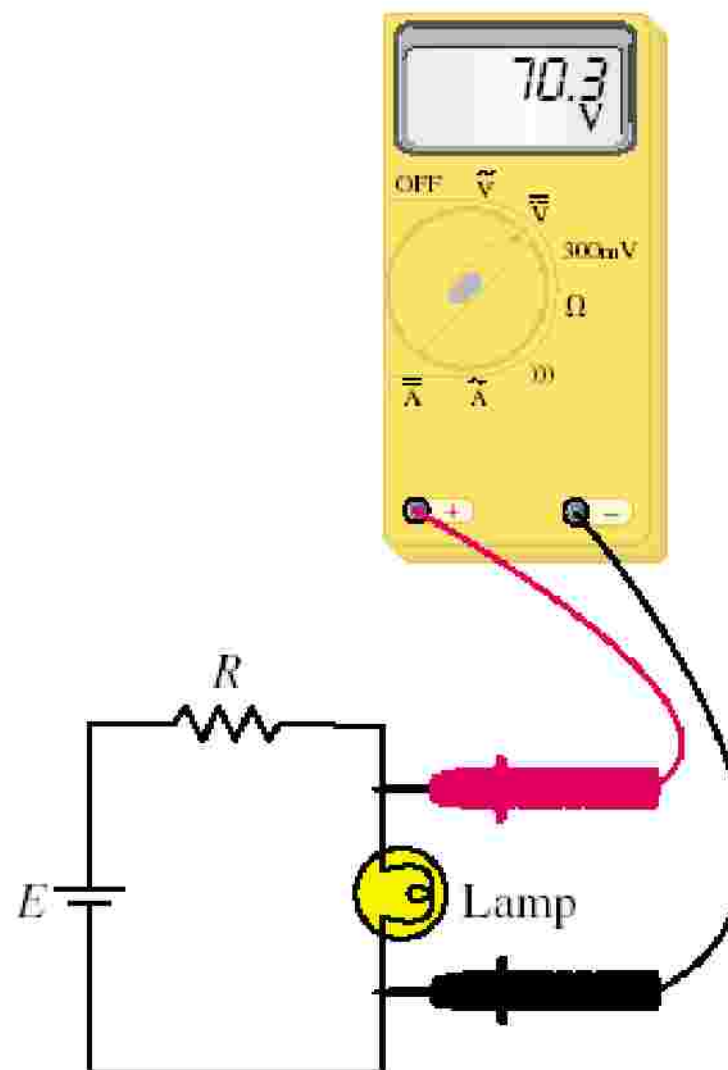
Kada R_{i1} i R_{i2} nisu jednaki, dolazi do protjecanja struje izjednacenja bez da se priključuje trošilo

MJERENJE JAKOSTI STRUJE

MJERENJE NAPONA
STRUJE

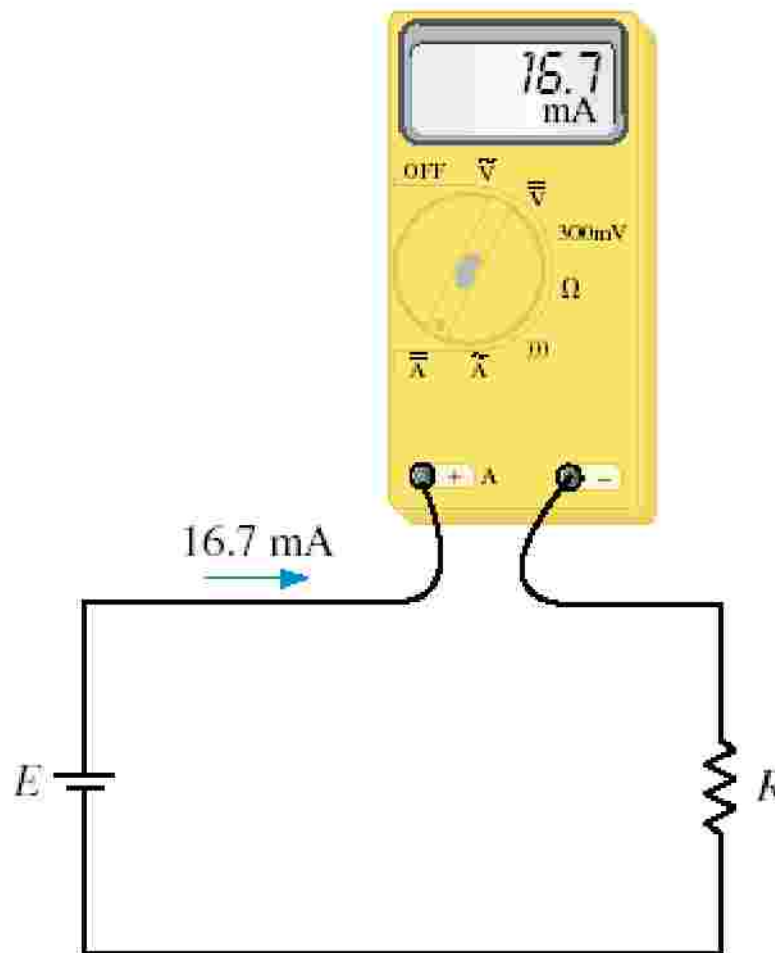
Mjerenje napona

- *Za mjerenje napona koristi se instrument voltmetar.*
- *Voltmetar se u strujni krug priključuje paralelno,*



Mjerenje jakosti

- Za mjerenje jakosti električne struje koristi se instrument ampermetar.
- Ampermetar se u strujni krug priključuje serijski,

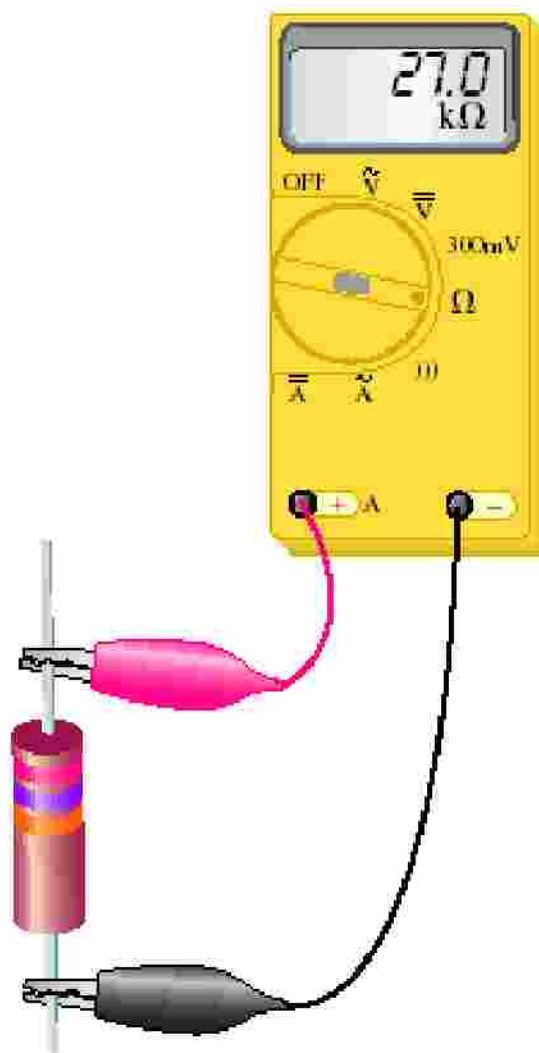


MJERENJE OTPORA

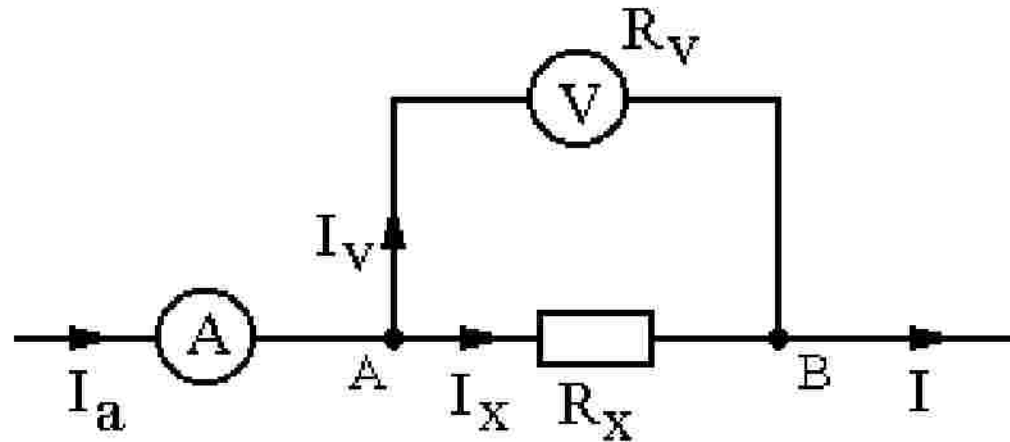
Mjerenje otpora

- Ommetrom (analognim ili digitalnim, univerzalnim instrumentom)
- U-I postupkom (mjeri se U i I, te racuna
 $R = U/I$)
- Mosni postupci (Wheatstoneov most).

Mjerenje otpornika ohmometrom



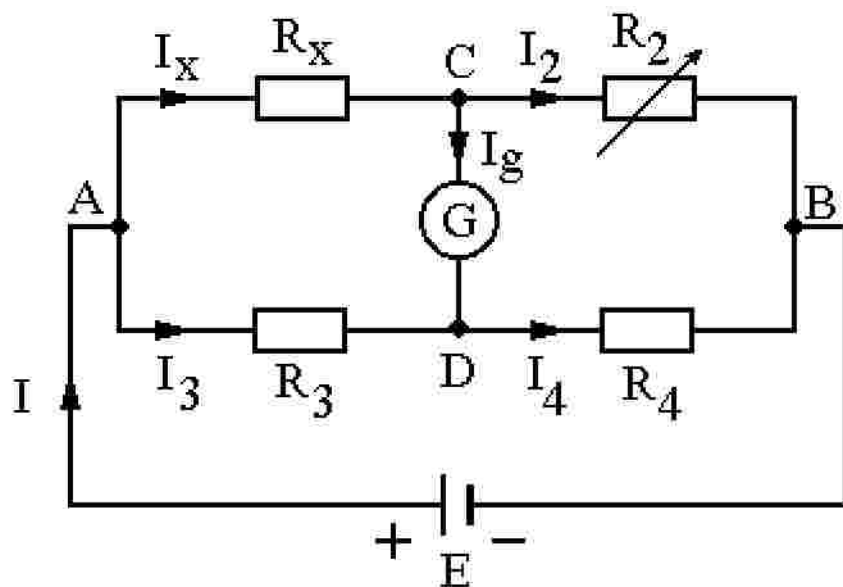
U-I postupak mjerenja otpora



- U-I postupak mjerenja otpora sastoji se od mjerenja jakosti elektricne struje kroz nepoznati otpornik, ampermetrom, i mjerenja pada napona na tom otporniku, voltmetrom.
- Tako ocitani podaci uvrste se u jednadžbu Ohmova zakona.

Mosni postupak - Wheatstoneov most

- Wheatstoneov most koristi se za *mjerenje otpora, po iznosu, vecih otpornika*.
- Most se dovodi u ravnotežu promjenom iznosa otpora R_2



$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

SNAGA, RAD, ENERGIJA

Pretvorba električne energije

Energija se ne može ni iz čega stvoriti, a niti uništiti – zakon održanja energije.

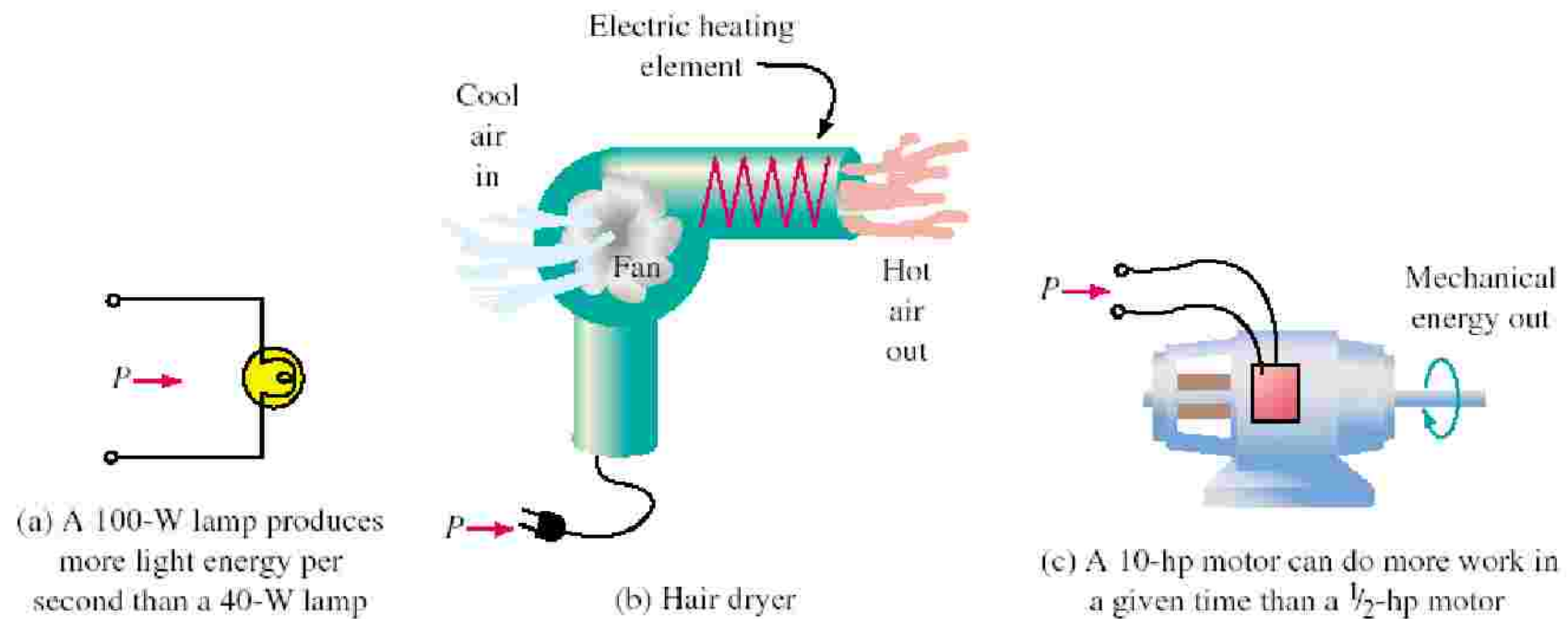
Prilikom pretvorbe energije iz jednog oblika u drugi vrijedi

$$W = W_k + W_g$$

W_k - korisni (željeni) oblik energije,

W_g - gubitak energije.

Primjeri pretvorbe električne energije



Elektricni rad i energija

- Kada je strujni krug priključen na napon U , u krugu potece električna struja I . *Kolicina elektriciteta* $Q = I t$ koja sudjeluje u tom gibanju obavlja rad:

$$A = Q U = I t U \quad [\text{VAs} = \text{Ws} = \text{J}]$$

- Za električnu energiju, odnosno električni rad, u svakodnevnom životu često se koristi jedinica *kilovatsat*. Energija od 1 KWh odgovara radu koji je nužan da se teret mase 100 kg podigne na visinu 3670 metara. [1 KWh=3,6 MJ]

Elektricna snaga

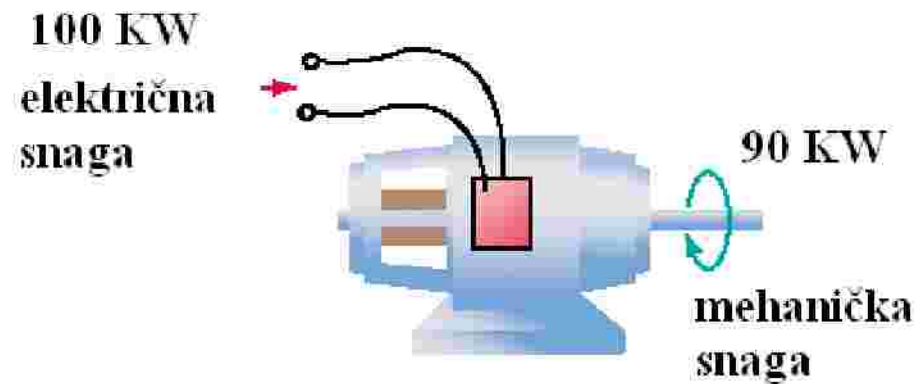
Elektricna snaga je brzina kojom se neka radnja može izvršiti, a određuje se radnjom koja se izvrši u jedinici vremena ($p = dA/dt$):

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \text{ [W]}$$

Nazivna ili nominalna snaga -najveći dopušteni iznos snage s kojim trošilo može u pogonu trajno raditi, a da se pri tome ne ošteti.

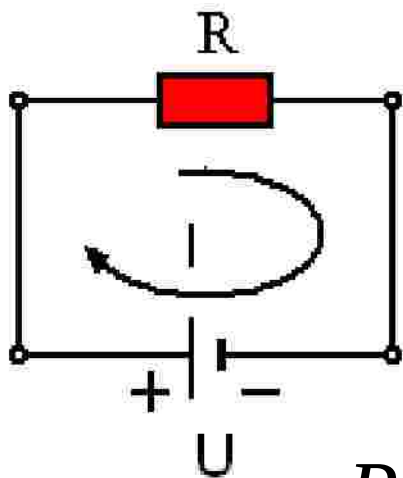
Stupanj korisnosti

$$h = \frac{W_k}{W_k + W_g} = \frac{P_k}{P_k + P_g} 100 [\%]$$



Stupanj korisnosti = 90 %

Zadatak: Odredi snagu na trošilu ako je $U=220\text{ V}$, $R=22\text{ }\Omega$



$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{V}}{22\Omega} = 10\text{A}$$

$$P = U \cdot I = 220\text{V} \cdot 10\text{A} = 2200\text{W} = 2,2\text{KW}$$

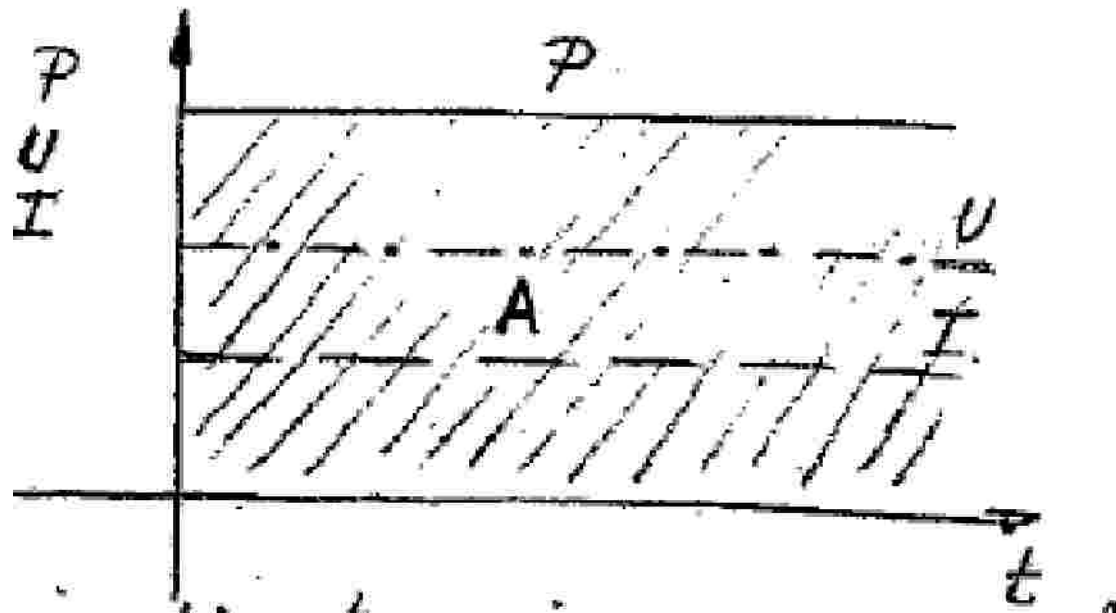
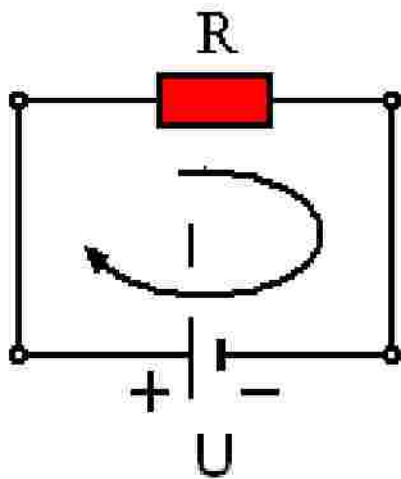
Kolika je energija potrošena na trošilu za 2h ??

$$A = U \cdot I \cdot t = 220\text{V} \cdot 10\text{A} \cdot 2\text{h} = 4,2\text{KWh}$$

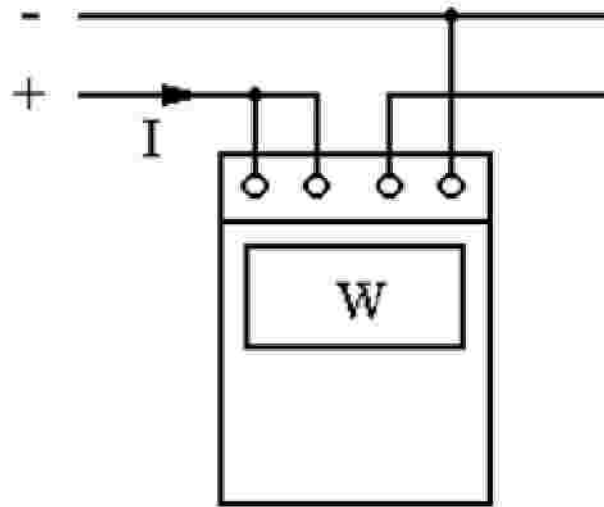
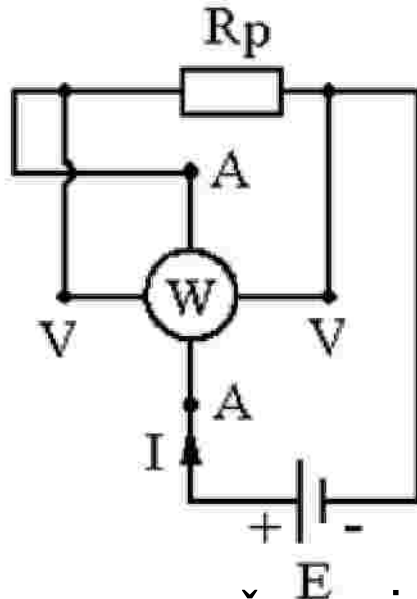
Kolika je cijena potrošene energije ako je $1\text{KWh}=0,2\text{ Kn}$??

$$4,2\text{KWh} \cdot 0,2\text{Kn} = 0,84\text{Kn}$$

Graficki prikaz napona, struje, snage i rada za slucaj istosmjerne struje



Mjerenje snage i rada električne struje



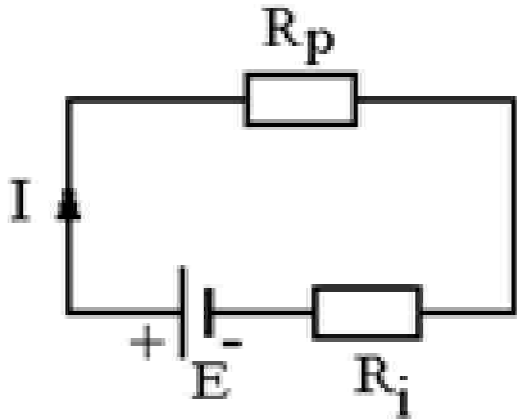
- Snaga se može mjeriti: izravno vatmetrom ili neizravno mjerenjem struje i napona.

$$P = UI \text{ [W]}$$

- Za mjerenje električnog rada, utroška električne energije, odnosno njegovog, koriste se brojila.

$$W = U I t \text{ [Ws = J]}$$

Prilagodba trošila izvoru



Snaga koja se razvija na trošilu je:

$$P_p = I^2 R_p \quad I = \frac{E}{R_i + R_p}$$

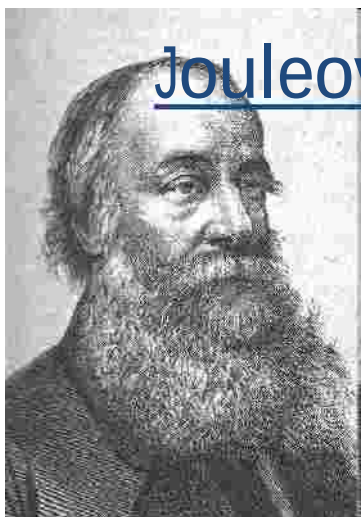
$$P_p = \frac{E^2}{(R_i + R_p)^2} R_p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial R_p} = 0$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial R_p} = \frac{E^2 (R_i + R_p)^2 - E^2 R_p 2(R_i + R_p)}{(R_i + R_p)^4} = 0 \quad ? \quad R_i = R_p$$

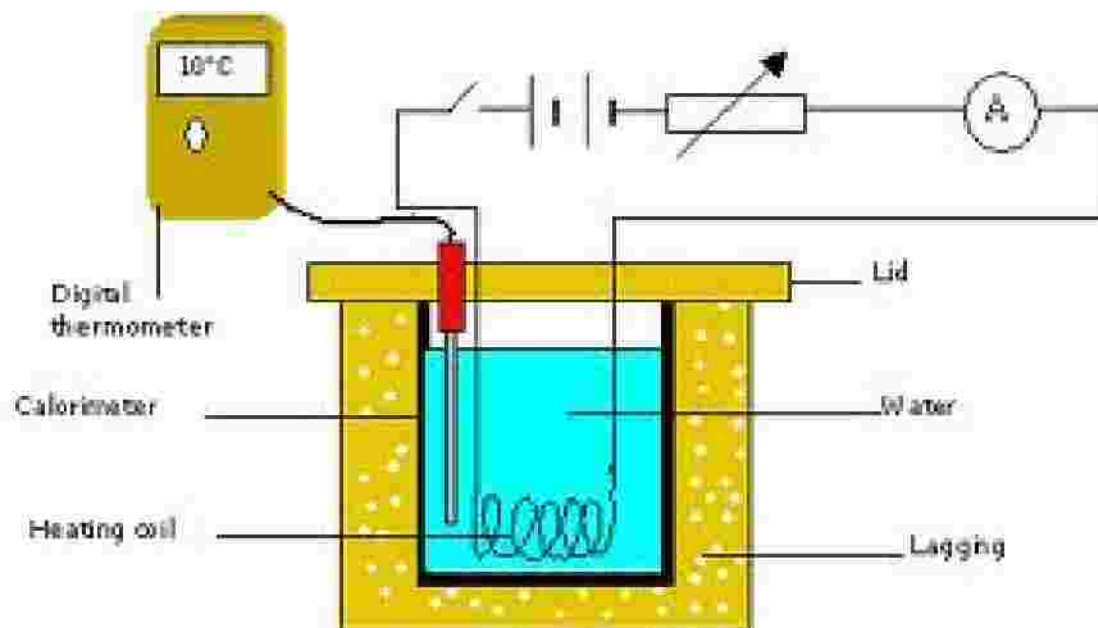
Najveća snaga na trošilu se postiže kada je otpor trošila jednak unutarnjem otporu izvora. Važno za *telekomunikacijske uređaje*, stupanj iskorištenosti samo 50% -

JOULOV ZAKON I NJEGOVA PRIMJENA



Jouleov zakon

$$Q = I^2 R t \text{ [J]}$$



Jouleov zakon

Nositelji električne struje, npr. slobodni elektroni u metalnim vodičima, sudaraju se s česticama materijala vodiča, te pri tome gube dio svoje kinetičke energije.

Jedan dio te energije isijava se kao toplina. Iznos topline koja se stvara zbog sudaranja izravno je ovisan o jakosti električne struje, otporu vodiča i vremenu u kojem električna struja prolazi tim vodičem.

Razvijena količina topline određuje se izrazom:

$$Q = I^2 R t \text{ [J]}$$

Primjena: Električni grijaci pretvaraju električnu energiju u toplinsku primjenom joulova zakona (bojleri, pećice, sijalice sa žarnom niti..)

ELEKTROSTATIKA

Elektricno polje

- Tijela mogu biti električni neutralna, pozitivno ili negativno nabijena. Tijela se mogu nabiti naprimjer trenjem.
- *Prostor* u kojem se osjeca djelovanje nabijenih tijela naziva se elektricitnim poljem.
- Elektricno polje iskazuje se *mehanickom silom na nabo*j koji je unešen u to polje.

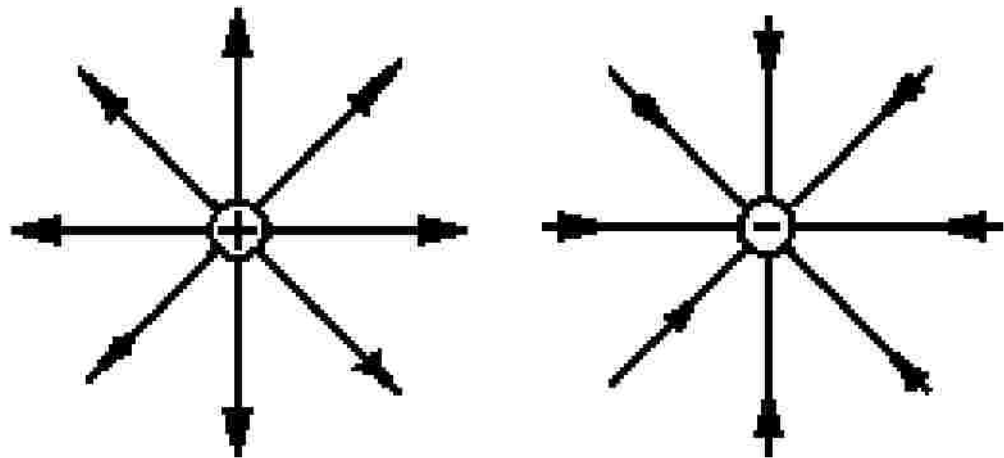
$$\frac{r}{E} = \frac{F}{Q} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Elektricno polje

- Elektricno polje usamljenog točkastog naboja je radijalno – silnice graficki prikazuju polje.
- Jakosti elektricnog polja E usamljenog točkastog naboja:

$$\left| \frac{r}{E} \right| = \frac{1}{4 \cdot p \cdot e_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

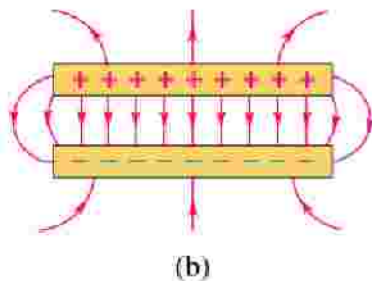
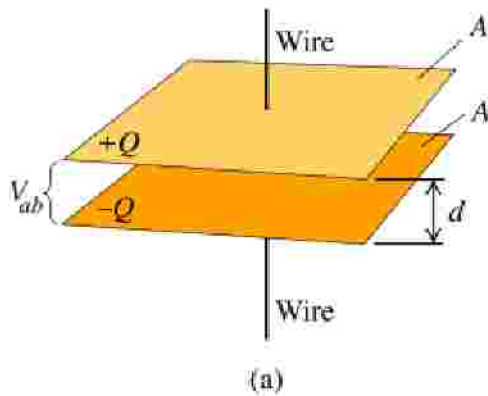
$$e_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$



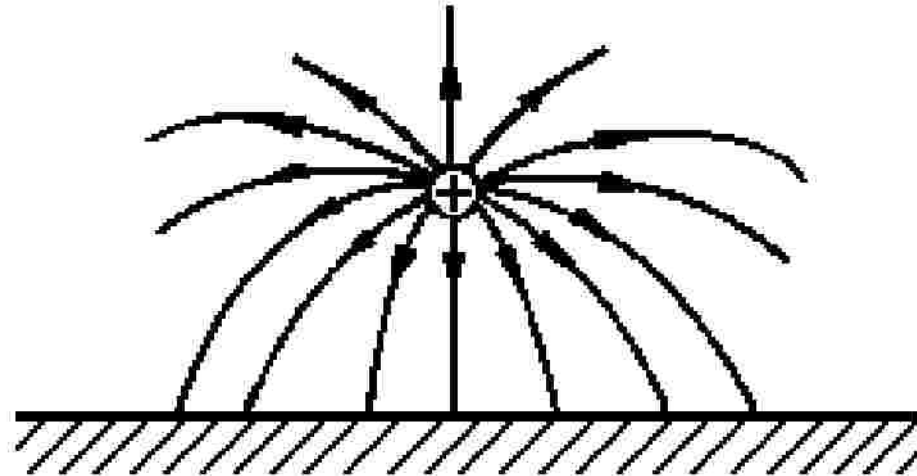
e_0 *apsolutna dielektrička konstanta vakuuma (permitivnost)*
- *oznacava sposobnost medija za “provodenje” silnica el. polja*

Elektricno polje

- Elektricno polje je homogeno ako ima u *svakoj točki jednaku jakost, pravac i smjer*. U suprotnom je nehomogeno.



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



Nehomogeno električno polje između vodica i Zemlje

**Homogeno električno polje
između dvije metalne ploče**

Columbov zakon

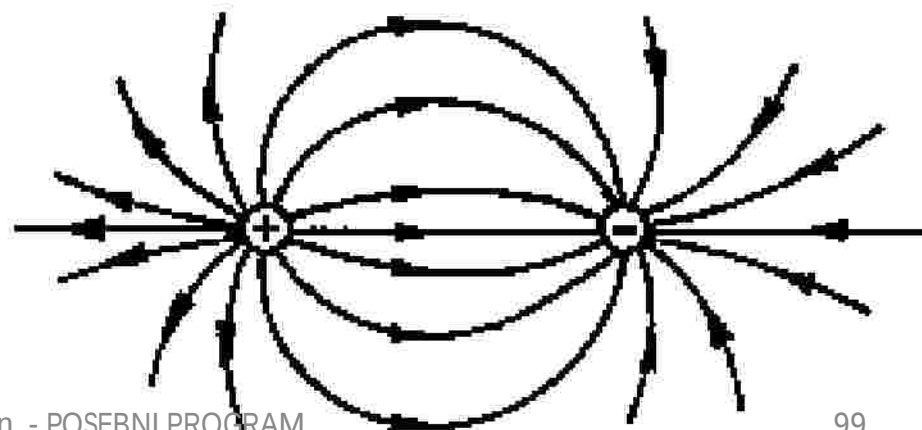
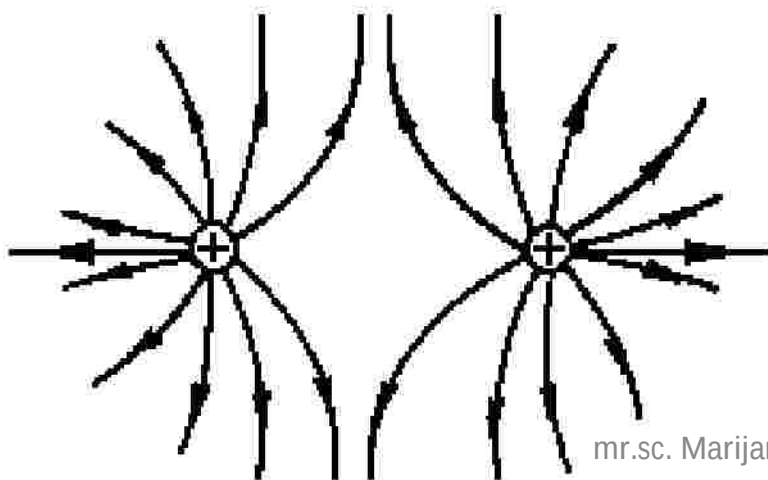
Raznoimeni električni naboji privlače, a istoimeni odbijaju.

Ako se radi o točkastim nabojima *sile medu nabojeima* mogu se izraziti Coulombovim zakonom:

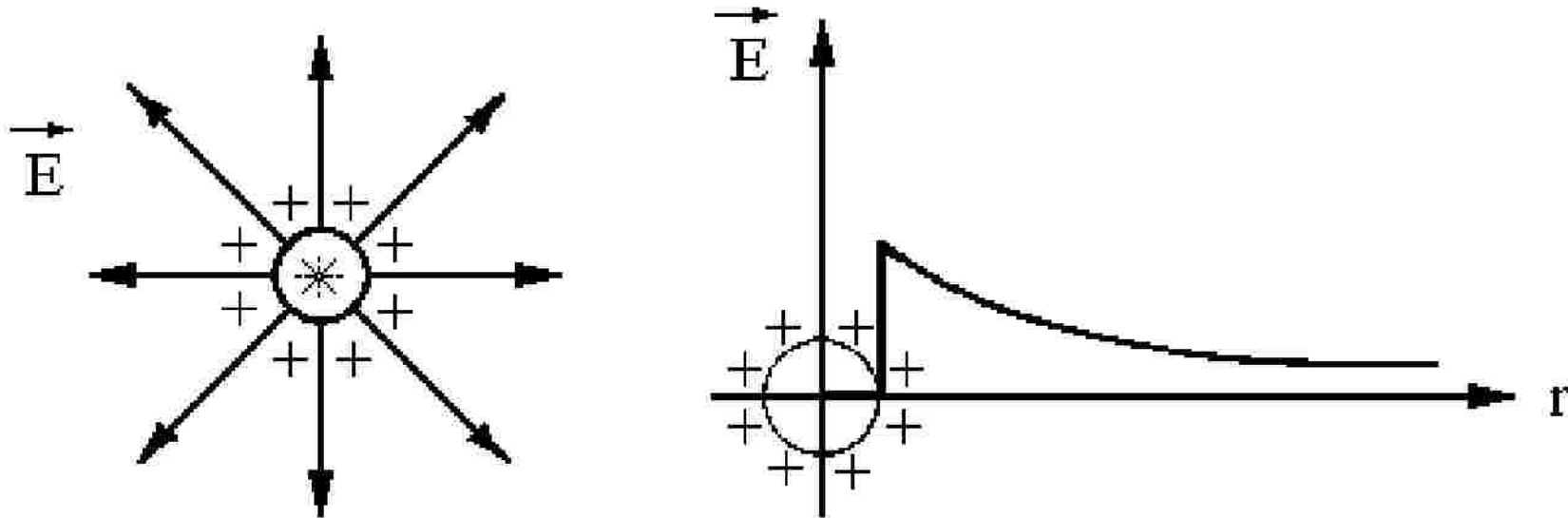
$$\left| \frac{W}{F} \right| = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} [N]$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

ϵ_r relativna dielektrička konstanta



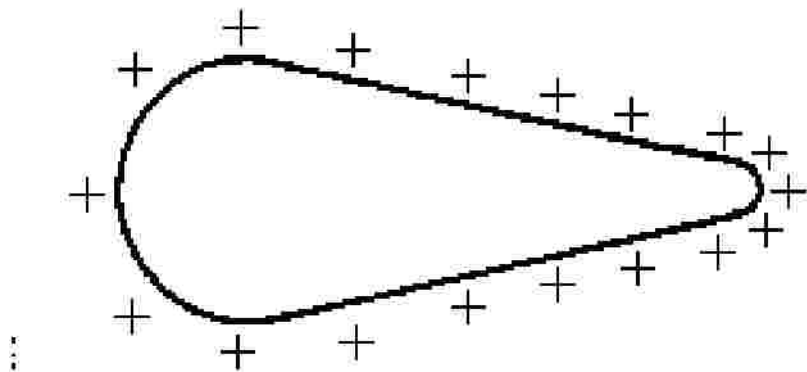
Raspodjela naboja na okruglom vodiciu



Elektricni se naboj *raspoređuje po površini vodica.*

Elektricno polje *unutar šuplje metalne kugle jednako nuli, a da je naboj na kugli jednoliko raspoređen.* Ako je kugla izradena od *nevodica* i cijela nabijena pozitivnim nabojem, *polje unutar nje bilo bi linearno* (pravac od središta do $r = R$), *a izvan nje kao na slici.*

Raspodjela naboja vodiču nepravilna oblika

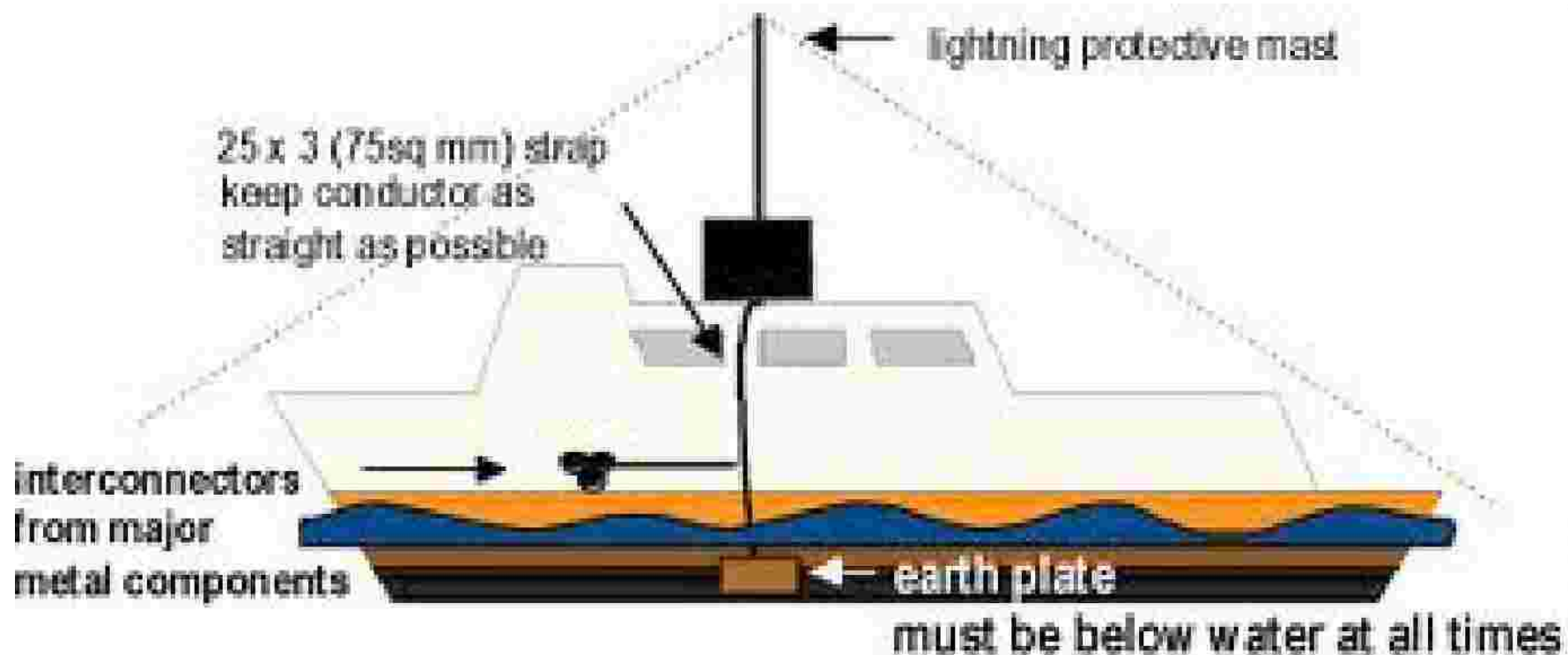


Slična je situacija i na vodičima *nepravilna oblika*: veća im je gustoca naboja na onim dijelovima koji imaju manji polumjer zakrivljenosti.

Jako polje na vrhu šiljka ionizira zrak oko šiljka i stvara se električna i zračna struja – (*električni vjetar*) – EFEKT ŠILJKA

To je uočio Benjamin Franklin, za izradbu *uzemljenog gromobrana* – *šiljak privlači grom – kišobran !!!*

Gromobran na brodu

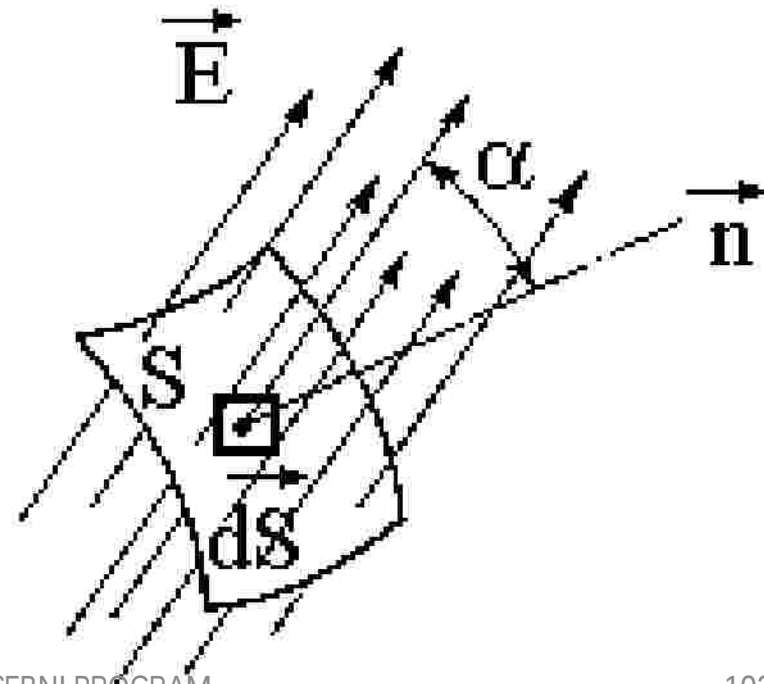


Tok električnog polja

Skup silnica kroz promatranu površinu predstavlja tok električnog polja.

Tok električnog polja Φ_E je izrazom:

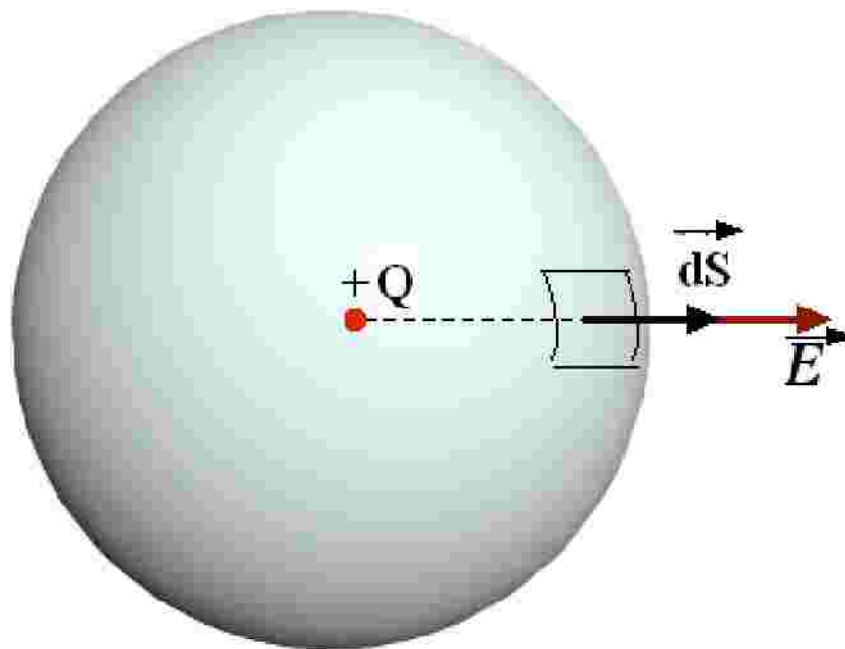
$$\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$



Gaussov zakon

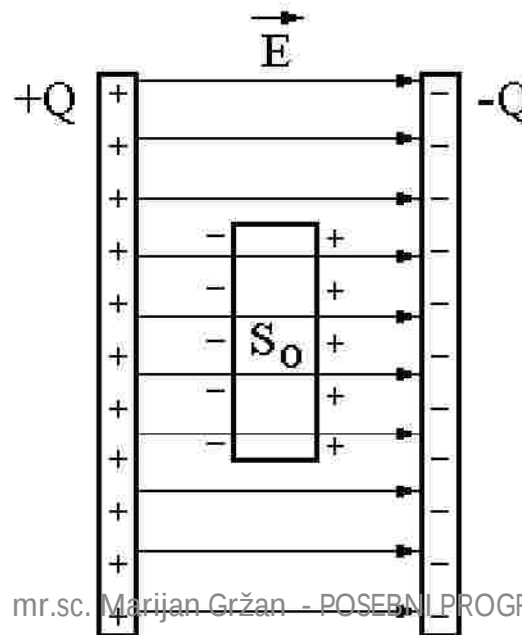
Ako se u električno polje postavi zatvorena površina bilo kakvog oblika, Gaussov zakon kaže da je ukupan tok kroz zatvorenu površinu, u smjeru od te površine, jednak umnošku $1/\epsilon_0$ i algebarskog zbroja naboja unutar te površine.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



Elektricna influencija

- Elektricna influencija je pojava *razdvajanja raznoimenih naboja* na vodljivom tijelu u elektricnom polju *bez izravnog fizickog dodira* s nekim nabijenim tijelom.
- Slobodni elektroni koji se nalaze u nenabijenom vodljivom tijelu *premjestit ce se na onu stranu tog tijela koja je bliža pozitivno nabijenom vodici, a s druge strane tog tijela prevladat ce pozitivni naboj atomskih jezgri.*



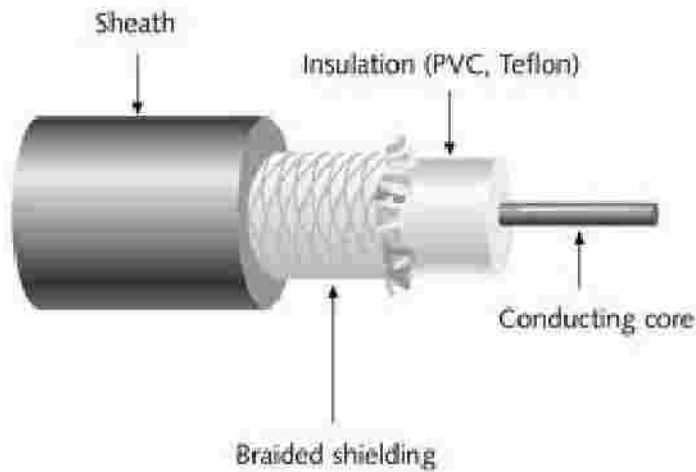
Elektricna influencija

- Kao mjera influencijskog djelovanja služi velicina koja se naziva vektorom elektricnog pomaka ili elektricnom indukcijom.

$$\overset{W}{D} = \frac{Q}{S} \left[\frac{C}{m^2} \right]$$

- *U unutrašnjosti nabijenih tijela nema elektricnog polja.*

- Ako se u unutarnjost jednog vodica postavi drugi nenabijeni vodici, a zatim vanjski vodici nabije, vanjski vodici ne može nikako djelovati na unutarnji vodici.
- Vanjski vodici tako štiti unutarnjega od raznih stranih električnih polja.



Faradeyev kavez



Ako se tijelo nalazi unutar zatvorenog metalnog kaveza-
Nema opasnosti od groma – auto, brod

Vodici, izolatori, dielektrici

Vodici, izolatori, dielektrici

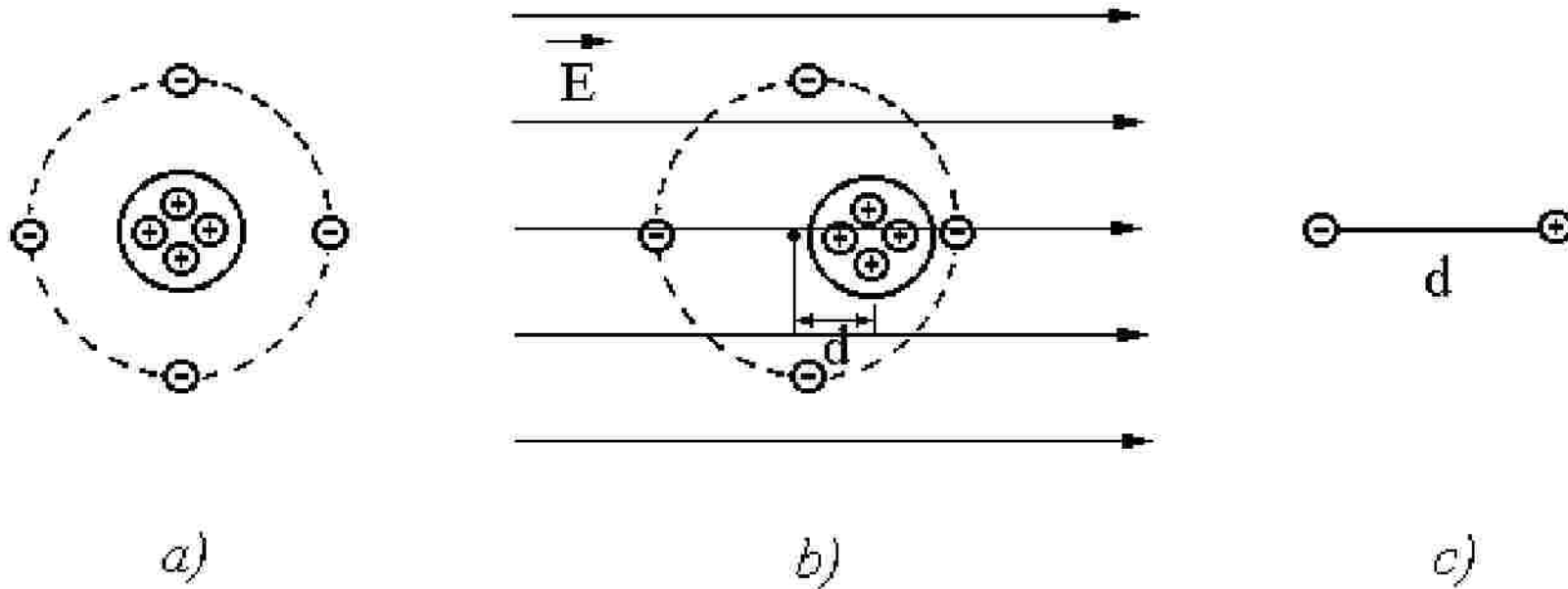
- Vodice karakterizira prisutnost slobodnih nositelja naboja koji se pod djelovanjem vanjskog električnog polja moгу gibatі u vodicu.
- Izolatori ili dielektrici su oni materijali kod kojih se naboji ne mogu premještati s jednog mjesta na drugo, jer slobodnih nositelja električnog naboja gotovo nemaju.
- Elementarni električni naboji od kojih je sastavljen izolator pod djelovanjem vanjskog električnog polja moгу se pomaknuti samo na mikroskopski male udaljenosti (ne mogu napustiti svoje atome ili molekule) osim kod izuzetno jakih električnih polja kad dolazi do uništenja (proboja) izolatora.

Vrste izolatora

Dva su tipa izolatora:

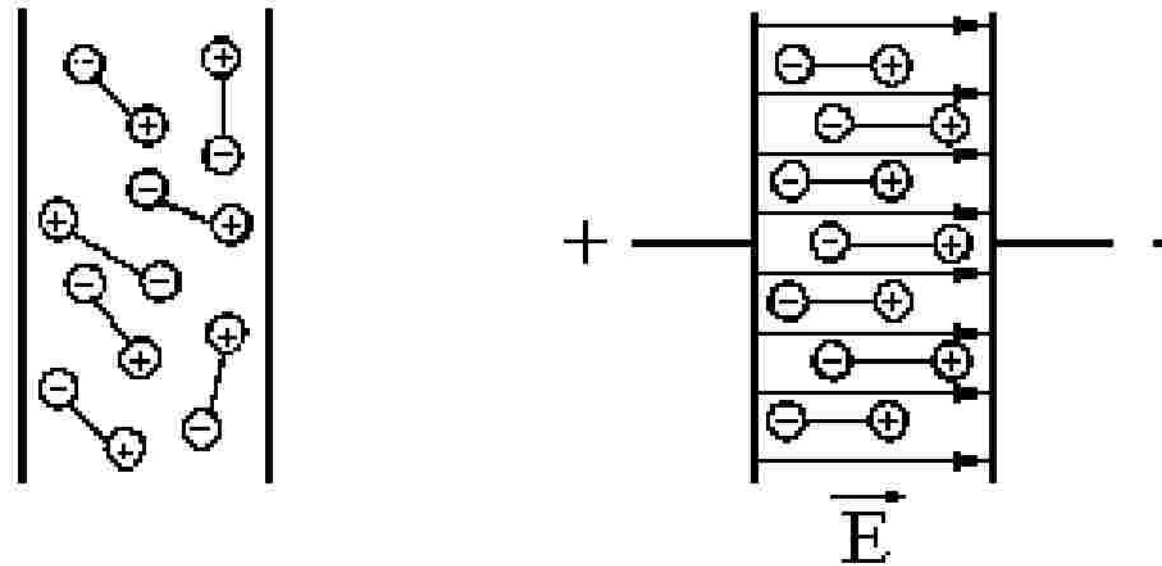
- nepolarni - *koji su neutralni u nepobudenom stanju, (Ako se takav atom postavi u vanjsko električno polje, doći će do djelovanja elektrostatickih sila i do njegove deformacije. Jezgra i elektronski omotac dobit će novi ravnotežni položaj. Nastaje el. dipol),*
- polarni - *koji zbog svoje grade već imaju električni dipolni moment bez djelovanja vanjskog polja*

Nepolarni atom u električnom polju



Nepolarni atom izvan (a) i u električnom polju (b,c)

Polarne molekule u električnom polju



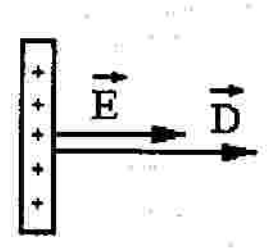
Polarne molekule bez djelovanja električnog polja i pod njegovim djelovanjem – polarizacija dielektrika

- Dielektrik je u električnom polju izložen djelovanju sila električnog polja, zbog čega dolazi do polarizacije dielektrika. Polarizacija je to više izražena što je jace električno polje.

Polarizacija dielektrika

- Djelovanjem vanjskog elektricnog polja dipoli se orijentiraju u smjeru elektricnog polja.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$



- Kratkotrajno pomicanje naboja u izolatoru
cini struju dielektricnog pomaka.

Dielektricna cvrstoca

- Kad vanjska sila elektricnog polja postane jaca od unutarnjih sila koje povezuju atomske jezgre i elektrone u elektronskim omotacima, dolazi do *ionizacije*, tj. takva jaca vanjska sila *otrgne neke elektrone iz elektronskog omotaca*, te atomi tada postaju *pozitivni ioni*.



- Ti elektroni i pozitivni ioni krecu se pod djelovanjem elektricnog polja u dva suprotna smjera: elektroni suprotno smjeru elektricnog polja, a + ioni u suprotnom.
- Na taj nacin *izolator gubi svoja izolacijska svojstva*. Pojava se naziva probojem dielektrika (izolatora).

Napon pri kojemu nastupi proboj naziva se probojni napon, a jakost elektricnog polja u trenutku proboja dielektrika je dielektricna cvrstoca.

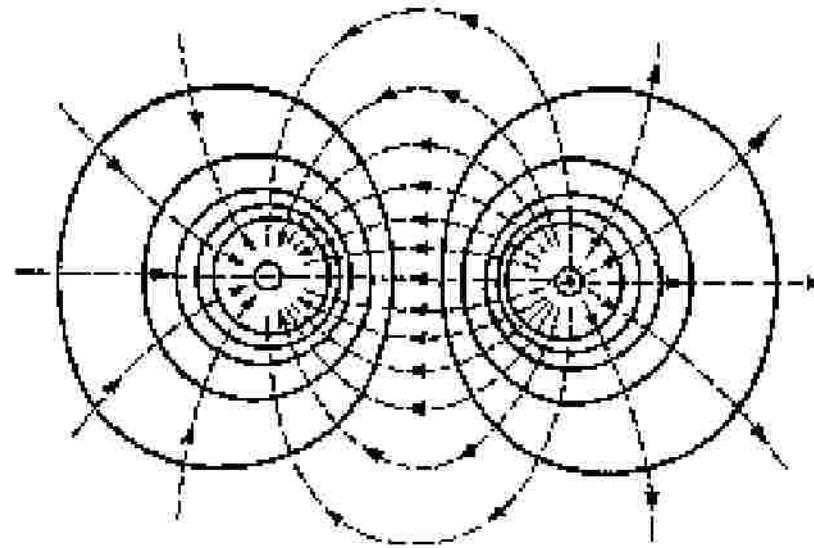
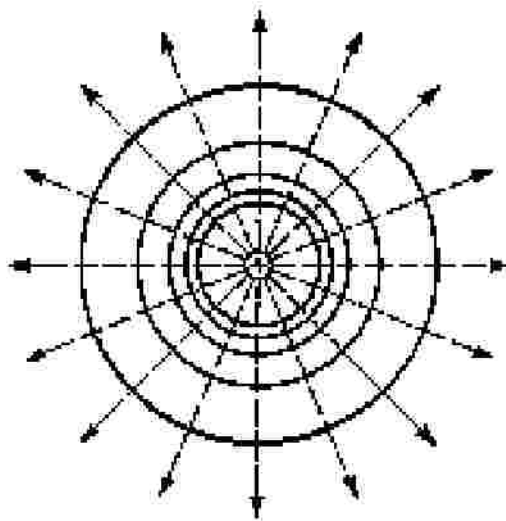
Dielektrična cvrstoca

Tablica 5.2: Dielektrična čvrstoća nekih materijala

Dielektrik	E_c [kV/mm]	Dielektrik	E_c [kV/mm]
drvo impregnirano uljem	2,5 - 14	najlon	15 - 25
izolacijski lak	40 - 120	papir u ulju	50 - 60
meka guma	16 - 50	polistirol	50 - 70
mramor	20 - 50	polivinilklorid	50 - 75
porculan	25 - 38	prešpan	8 - 11
staklo	10 - 50	transformatorsko ulje	8 - 20
tinjac	25 - 200	zrak	2,1 - 3

ELEKTRICNI POTENCIJAL I NAPON

Elektricno polje usamljenog naboja i raznoimenih naboja



Elektricno polje djeluje na sve naboje koji se nalaze u doseg
elektricnog polja.

U svakoj točki elektricnog polja postoji određena
potencijalna energija.

Rad pomicanja naboja u električnom polju

Djelovanje električnog polja se iskazuje tako da električno polje nastoji pomaknuti električne naboje koji se nadu u njemu silom F .

$$dW = \vec{F} d\vec{s}$$

$$dW = Q \vec{E} d\vec{s}$$

uslijed djelovanja polja E , na naboj Q djeluje sila F i pomiče ga za put s (od točke A do točke B).

$$W = Q \cdot \int_{\text{točka}_A}^{\text{točka}_B} \vec{E} d\vec{s}$$

Ukupan mehanicki rad W pomicanja naboja iz točke A u točku B polja

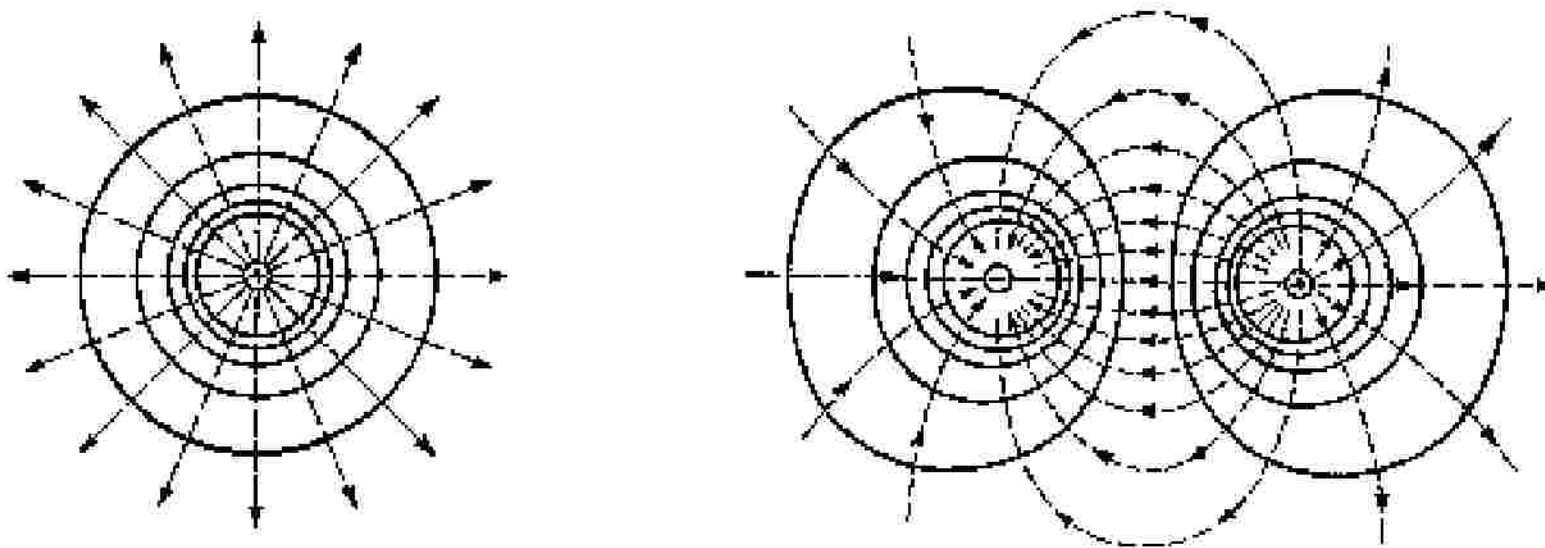
Elektricni potencijal

Potencijal tocke A prema referentnoj tocki

$$j = \int_{\text{referentna_tocka}}^{\text{tocka_A}} \vec{E} d\vec{s} \qquad j = \frac{W}{Q} [V]$$

Elektricni potencijal je radnja W koju bi valjalo izvršiti da se jedinичni pozitivni naboj Q prenese iz neke tocke izvan polja (referentna tocka daleko od naboja) u neku tocku elektricnog polja (tocka A) čije su silnice usmjerene prema naboju Q .

Ekvipotencijalne plohe



Ekvipotencijalne plohe (pune crte) i silnice električnog polja (isprekidane crte) usamljenog pozitivnog točkastog naboja i raznoimenih točkastih naboja

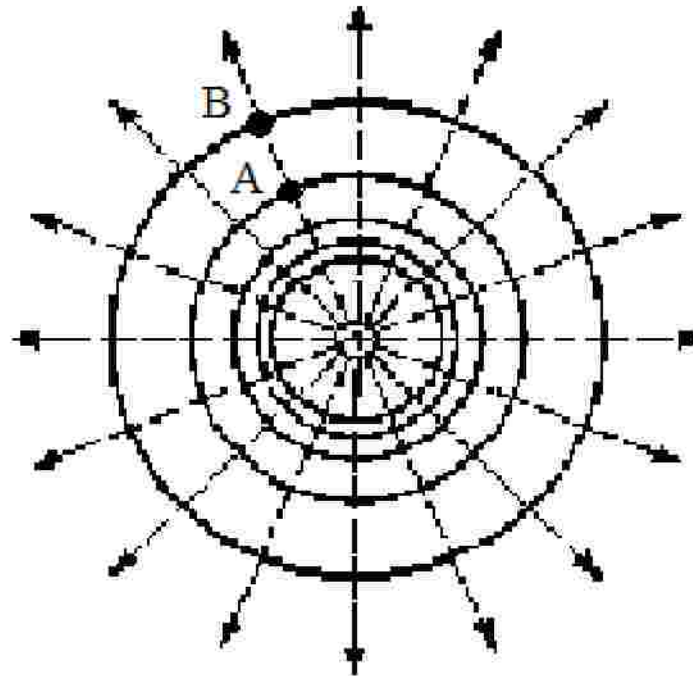
Veza potencijala i električnog polja udaljene za razmak n :

$$\frac{r}{E} = - \frac{dj}{dn}$$

Elektricni napon kao razlika potencijala

Elektricni napon predstavlja razliku potencijala između dvije točke

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$



ELEKTRICNI KAPACITET I KONDENZATORI

Elektricni kapacitet i kondenzatori

- Elektricni kapacitet je sposobnost vodica da na sebe primi stanovitu kolicinu elektriciteta
- To svojstvo imaju bilo koja dva vodica medusobno odvojena dielektrikom.

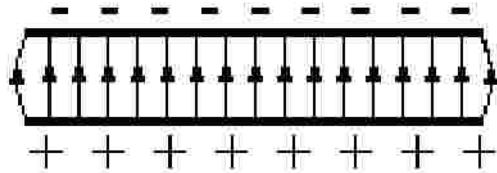
$$C = \frac{Q}{U} \left[\frac{C}{V} = \frac{As}{V} = F \right]$$

Kondenzatori

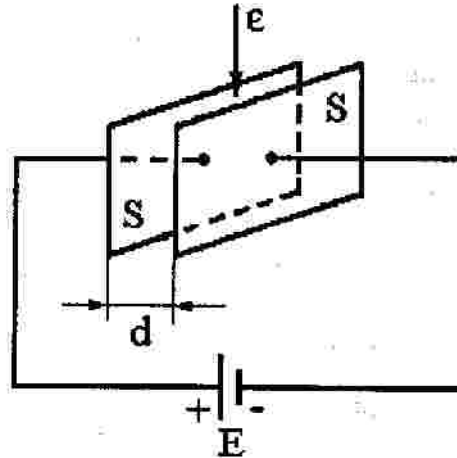
su naprave koje imaju *sposobnost pohrane električne energije*



Plocasti kondenzator



$$\frac{U}{E} = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right]$$



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Vodici kondenzatora nazivaju se elektrodama (oblogama).

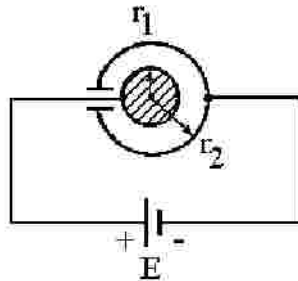
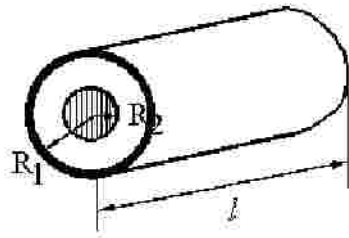
Elektrode kondenzatora *na razlicitim potencijalima, izmedu njih postoji elektricno polje.*

Prirodni kondenzatori ? c??? ????? ??? ???

elektrouredaja odvojena izolatorom, npr. zrakom, zatim kombinacija zemlja - vodič

Kondenzatori

- Prema tehnologiji izradbe kondenzatori se mogu podijeliti na više skupina: film/folija, metalizirani film, keramicki, elektrolitski i tantal.



valjkasti

$$C = \epsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

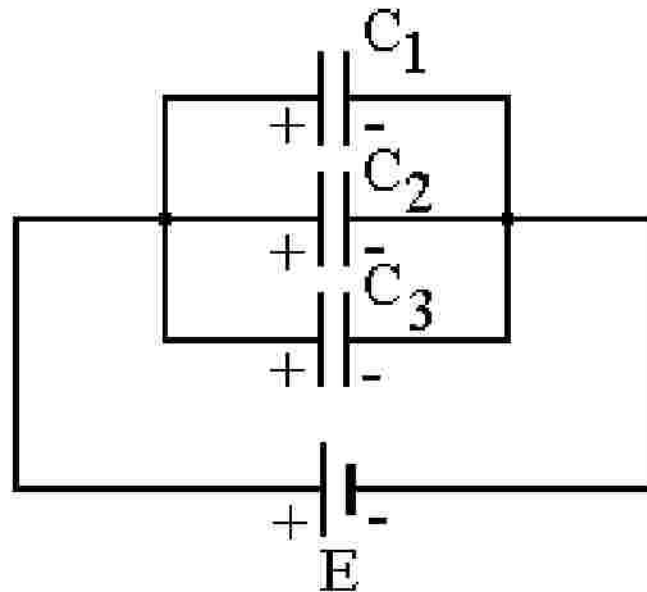
kuglasti

$$C = 4\pi\epsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

Kondenzatori kojima možemo mjenjati kapacitet nazivaju se *promjenjivi kondenzatori (oznaka)*

SPOJEVI KONDENZATORA

Paralelni spoj kondenzatora

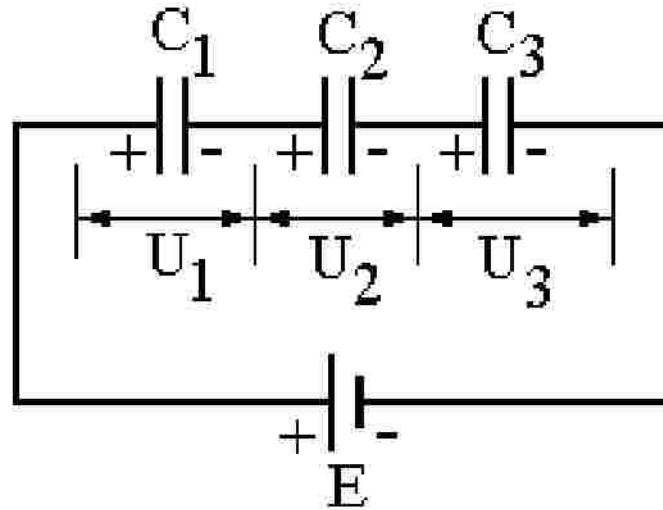


$$C = \frac{Q}{U} [F]$$

$$Q = EC_1 + EC_2 + EC_3$$

$$C_{uk} = \sum_{i=1}^n C_i$$

Serijski spoj kondenzatora

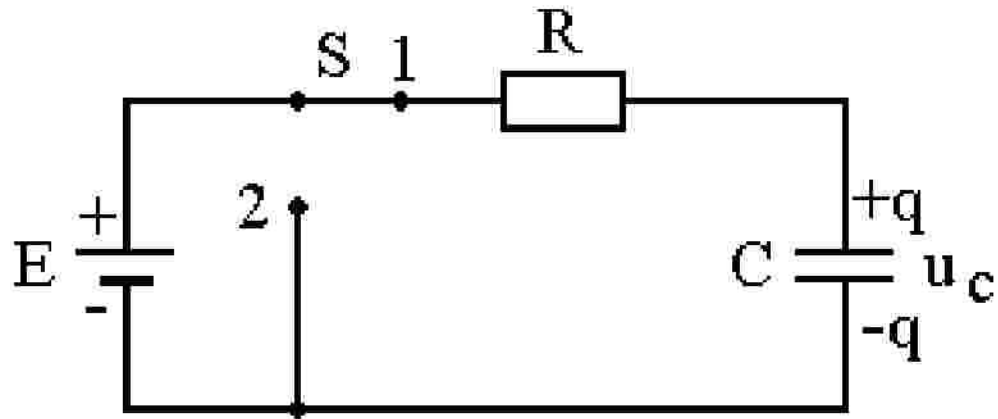


$$\frac{Q}{C_{uk}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{uk}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

KONDENZATOR U KRUGU ISTOSMJERNE STRUJE

Punjenje kondenzatora

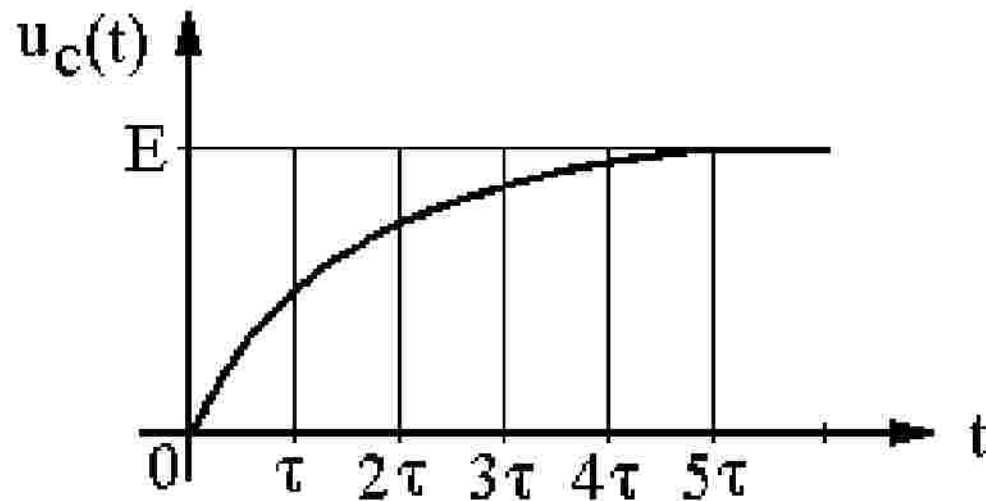


$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$$

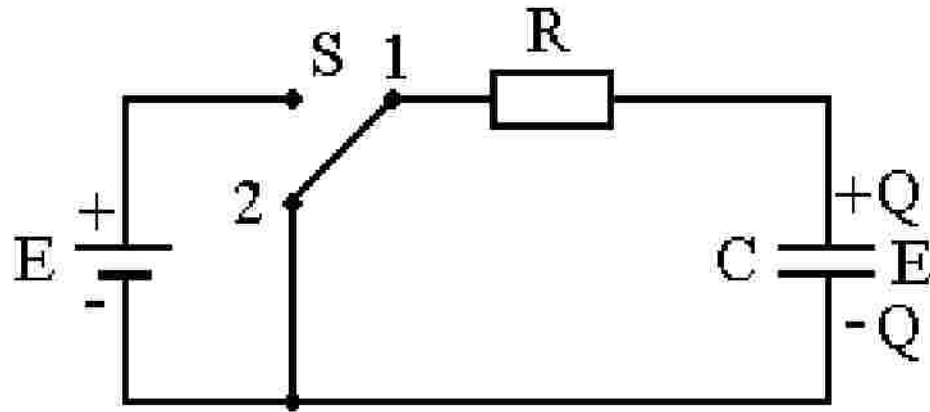
$$E = RC \frac{du_c}{dt} + u_c$$

$$u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \tau = RC$$

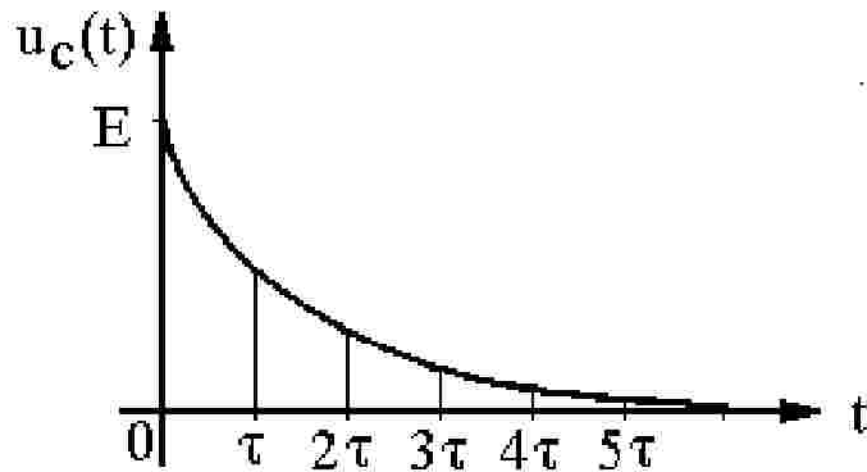
$$q = Q(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



Pražnjenje kondenzatora

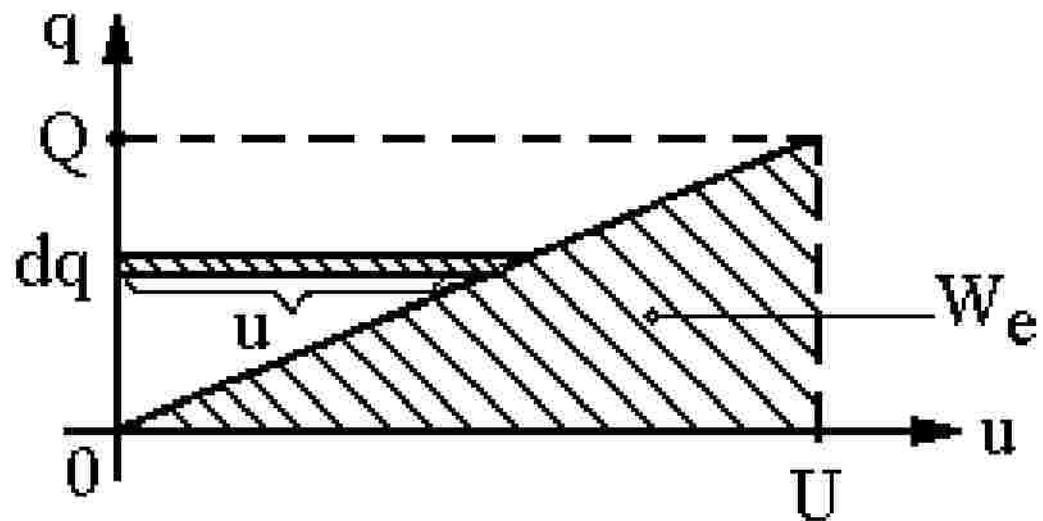


$$q = Qe^{-\frac{t}{\tau}}$$



$$u_c = Ee^{-\frac{t}{\tau}} \quad t = RC$$

Elektrostaticka energija kondenzatora



$$W_e = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}U^2C$$

STATICKI, ATMOSFERSKI ELEKTRICITET , PROLAZ ELEKTRICNE STRUJE KROZ PLINOVE

Staticki elektricitet

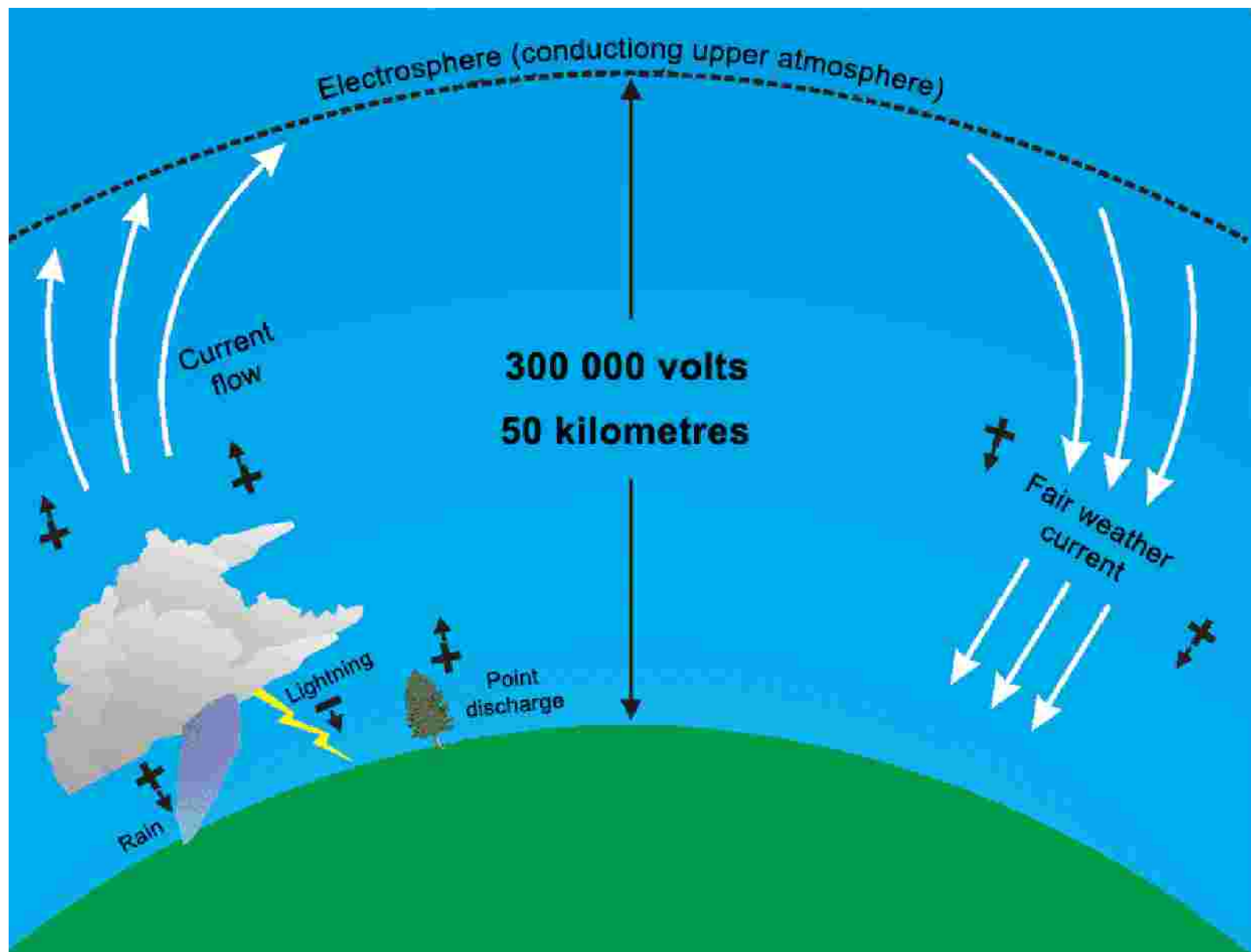
- Ako se tijelu *poremeti električna ravnoteža* ono se postaje *naelektrizirano* odnosno nabijeno statickim elektricitetom.
- U prirodi do nabijanja tijela statickim elektricitetom može doći
 1. *trljanjem dviju razlicitih tvari,*
 2. *elektricnom influencijom,*
 3. *priključenjem izoliranih ploča na polove istosmjernog izvora.*

Staticki elektricitet

- Na brodovima su *opasne pojave statickog elektriciteta do kojeg može doći strujanjem nevodljivih, zapaljivih tekucina.*
- S tekucinom pri tom strujanju odlaze električni naboji jednog predznaka, dok se električni naboji suprotnog predznaka skupljaju po stijenkama tankova, po cijevima, itd.
- Vrlo je opasno što se i prah nekih materijala može nabiti statickim elektricitetom - te može izazvati požar.
- Na čovjeku se može stvoriti staticki elektricitet češljanjem, nošenjem odjeće od sintetičkih materijala i vune, hodanjem u cipelama izrađenim od gume po plasticnom podu, itd.

Atmosferski elektricitet

- Električki nabijene čestice nastaju u atmosferi djelovanjem kozmičkih zraka, zračenja Sunca i djelovanjem radioaktivnih elemenata iz Zemljine kore i atmosfere.
- U svim slojevima atmosfere postoji višak pozitivnih iona, te je prostorni naboj atmosfere pozitivnog karaktera.
- Kako je Zemljin naboj negativan, električno polje će biti usmjereno okomito ka površini Zemlje.
- Pri površini Zemlje jakost električnog polja je u prosjeku 120 - 130 V/m.



Atmosferski elektricitet

- Jakost električnog polja je najveća oko 19 sati (Greenwich), a najmanja oko 5 sati i opada s porastom visine.
- Atmosfera i površina Zemlje mogu se promatrati kao kuglasti kondenzator, s tim što je vanjski oblog sloj atmosfere na visini između 50 i 65 kilometara – ispod ionosfere, a unutarnji oblog bi bila površina Zemlje.
- Može se kazati da je ionosfera Faradayev kavez koji štiti atmosferu od ekstraterestričkog djelovanja.

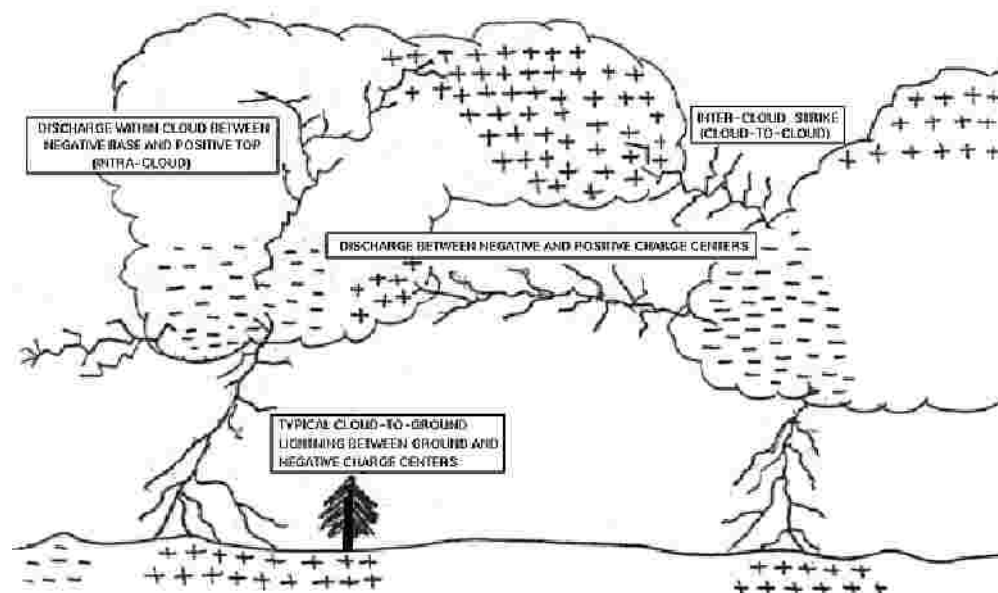
Atmosferski elektricitet

U prirodi mora postojati generator koji obnavlja naboj i održava razliku u potencijalu između obloga spomenutog "kondenzatora".

Smatra se da su grmljavine upravo taj generator koji održava razliku u potencijalu.

Atmosferski elektricitet

Za vrijeme grmljavine električno polje dostiže velike vrijednosti (*cumulonimbusi*).



Atmosfersko pražnjenje između olujnih, električno nabijenih, oblaka i površine Zemlje naziva se *gromom*. Električno polje postaje tako jako da se stvara vodljiva staza između oblaka i zemlje.

Pražnjenja između oblaka i unutar oblaka nazivaju se *munjama*.

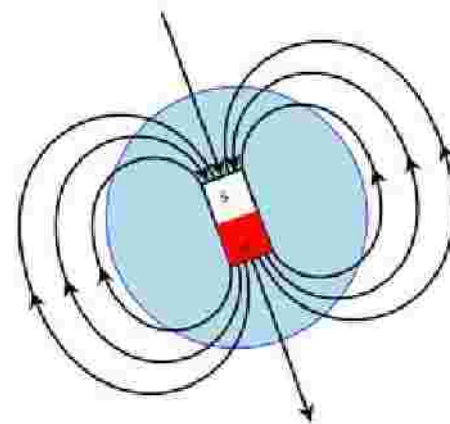
Korona

- Korona je vrsta samostalnog pražnjenja između elektroda koje imaju veoma malen polumjer zakrivljenosti, te je u njihovoj blizini električno polje znatno jace nego u ostalom prostoru. Elektrode okružuje tinjajuca svjetlost u obliku krune. Pražnjenje je praćeno siktavim šuštanjem. Pojava korone može se uociti u vrijeme oluja na vrhovima gromobrana, na jarbolima brodova, na dalekovodima, i sl.



Polarna svijetlost

- *Polarna svijetlost* – svijetljenje atmosfere u blizini polova. Izazvana je *brzim elektronima koji dolaze sa Sunca i ioniziraju atome i molekule plina u atmosferi*



PROLAZAK ELEKTRICNE STRUJE KROZ PLINOVE

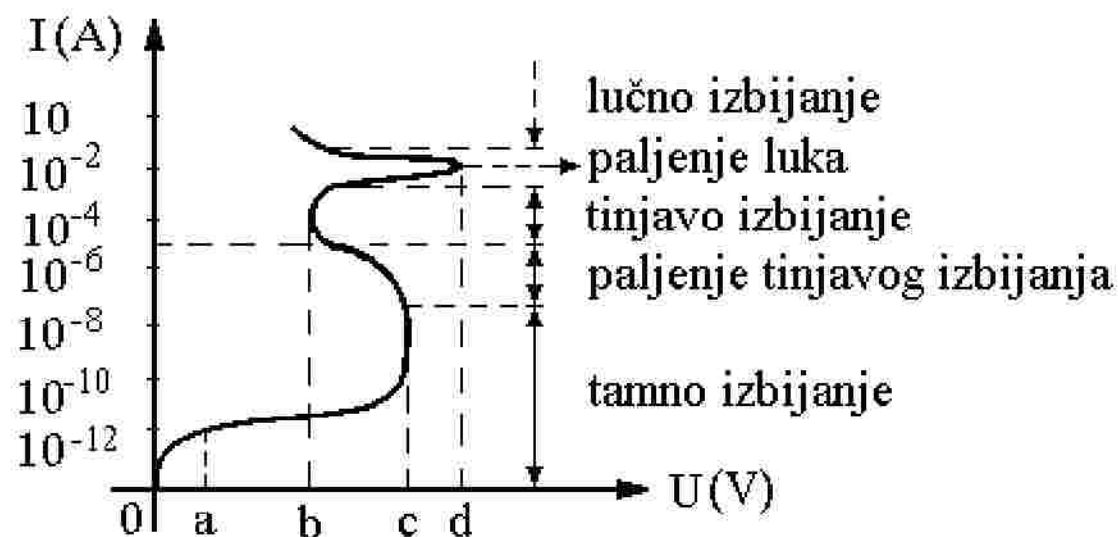
Prolazak električne struje kroz plinove

- Plinovi se pri atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi ponašaju kao izolatori, iako propuštaju struju malenog iznosa, koja se može zanemariti.
- Plin ima bolja izolacijska svojstva pri višem tlaku i nižoj temperaturi.
- Da bi u plinu došlo do prolaska električne struje potrebno ga je podvrgnuti djelovanju električnog polja koje uzrokuje gibanje slobodnih električnih naboja koji se već nalaze u plinu.

Prolazak električne struje kroz plinove

- *Slobodni električni naboji u plinu se gibaju pod djelovanjem električnog polja.*
- *Negativni naboji (anioni) gibaju se prema pozitivnoj elektrodi - anodi,*
- *Pozitivni naboji (kationi) gibaju se prema negativnoj elektrodi - katodi.*
- *To gibanje tvori električnu struju koja se razlikuje od električne struje u metalnim vodičima gdje se gibaju samo slobodni elektroni.*

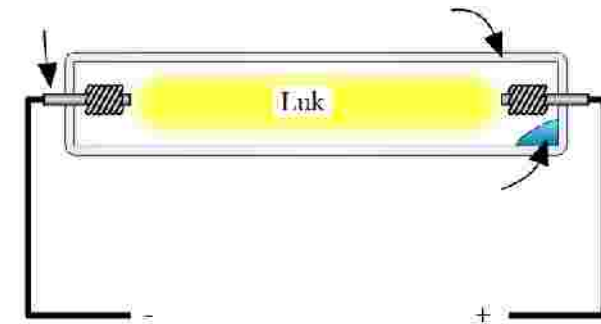
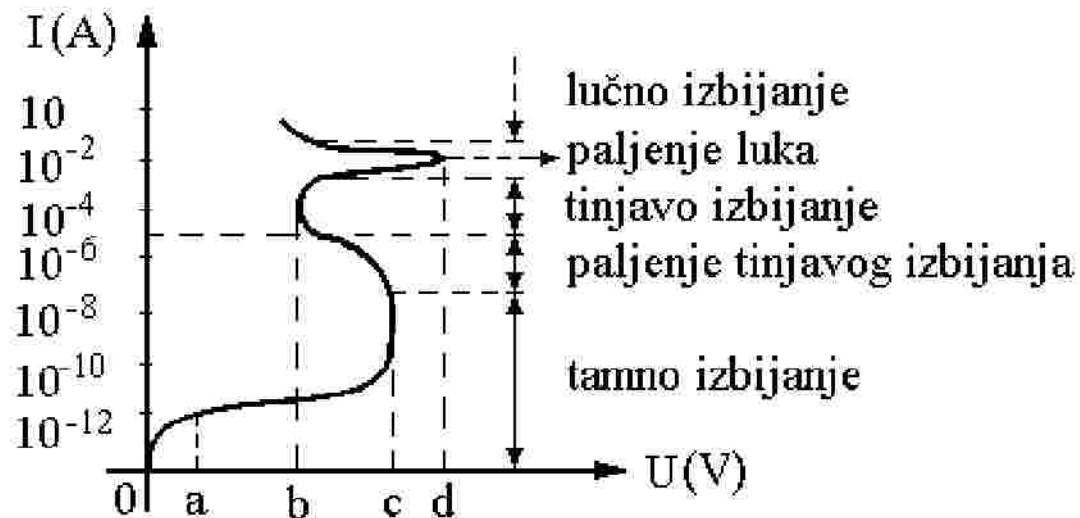
Strujno naponska karakteristika izbijanja u plinu



Područje 0-b (Townsendovo izbijanje) je tamno (nevidljivo) izbijanje pri malenim strujama.

Područje b-c napon je već toliko velik da izaziva veću ionizaciju i struju kroz plin.

Prolazak elektricne struje kroz plinove



Kod *točke c* napon izaziva jaku ionizaciju koja poprima oblik lavine, (struja raste, napon na cijevi pada). To je područje tinjavog izbijanja primjenjuje kod cijevi zvanih tinjalice.

Povećanjem napona dostiže se točke d - *proboj i paljenja luka*, pa se tada naglo povećava električna struja, uz smanjenje napona. Nastaje lučno izbijanje – plinom punjenih svijetleće cijevi.

PROLAZAK ELEKTRICNE STRUJE KROZ TEKUCINE

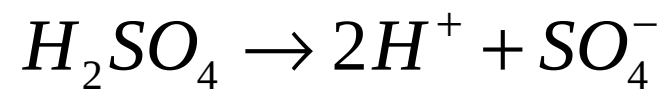
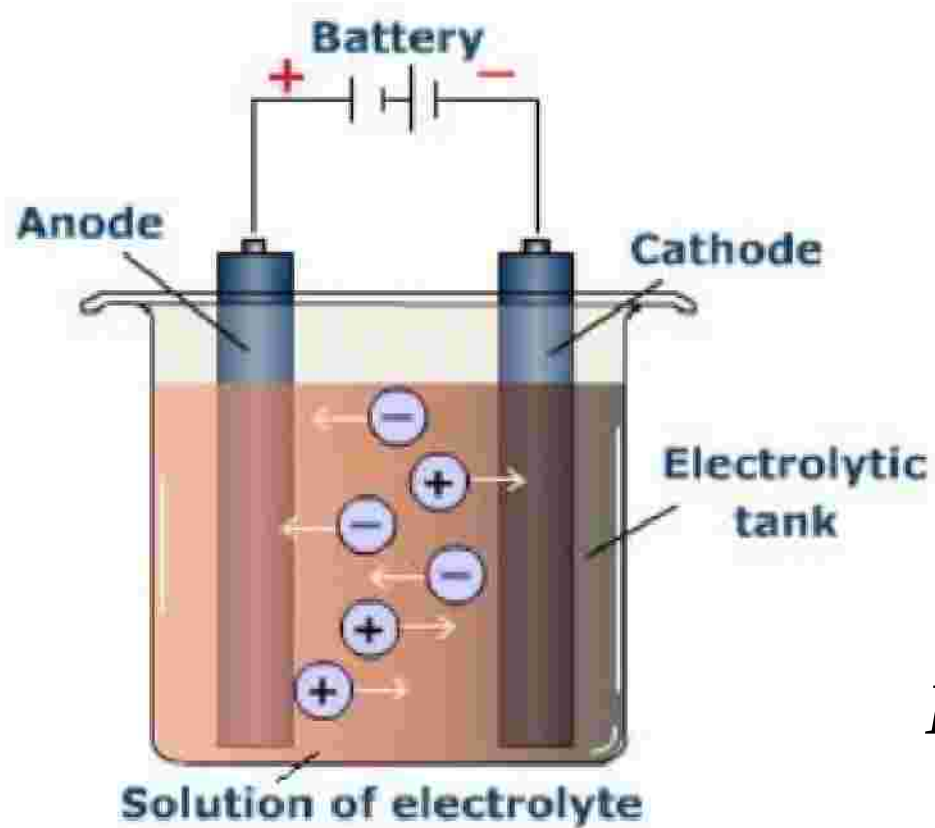
Prolazak električne struje kroz tekućine

- Moguća je podjela vodica na vodice prve i druge vrste, gdje su metali vodiči prve, a otopine lužina, soli i kiseline vodiči druge vrste.
- Osim kemijski čiste vode sve tekućine vode električnu struju. Pri prolasku električne struje dolazi do kemijskih promjena tekućih vodica.
- Spomenute otopine nazivaju se elektroliti, a elektrolizom se nazivaju kemijski procesi koji se zbivaju pri prolasku električne struje kroz elektrolite.
- Prolazak električne struje prati razvijanje Jouleove topline, i rastavljanje molekula elektrolita na ione. Ta se pojava naziva elektrolitičkom disocijacijom.

Prolazak električne struje kroz tekucine

- Kroz tekucine se gibaju ioni u dva smjera, pa se uspostavlja dvojna struja. Ioni su nezanemarivih masa pa osim prijenosa naboja imamo i prijenos materije (to nije slučaj u vodicima).
- Na dodirnoj površini elektroda-elektrolit mogu nastati:
 1. *Djelovi atoma i molekula elektrolita talože se na elektrodi (metal na katodi) i ona postaje sve deblja*
 2. *Izluceni djelovi iz elektrolita stvaraju plinove koji odlaze u atmosferu*
 3. *Izluceni djelovi iz elektrolita kemijski reagiraju sa metalom elektrode koja postaje sve tanja*

Prolazak elektricne struje kroz tekucine



IZVORI ISTOSMJERNE ELEKTRICNE STRUJE

Izvori istosmjerne električne struje

Izvori električne struje mogu biti:

- *kemijski,*
- *toplinski (nuklearne baterije),*
- *svjetlosni, (fotonaponski elementi - solarne ćelije)*
- *mehanički (istosmerni generatori)*

Kemijski izvori električne energije:

- *primarni izvori,* ili galvanski članci (elementi) – *neobnovljivi izvori*
- *sekundarni izvori,* ili akumulatori – *obnovljivi izvori*
- *Bitni su napon i kapacitet baterije!*

PRIMARNI KEMIJSKI IZVORI

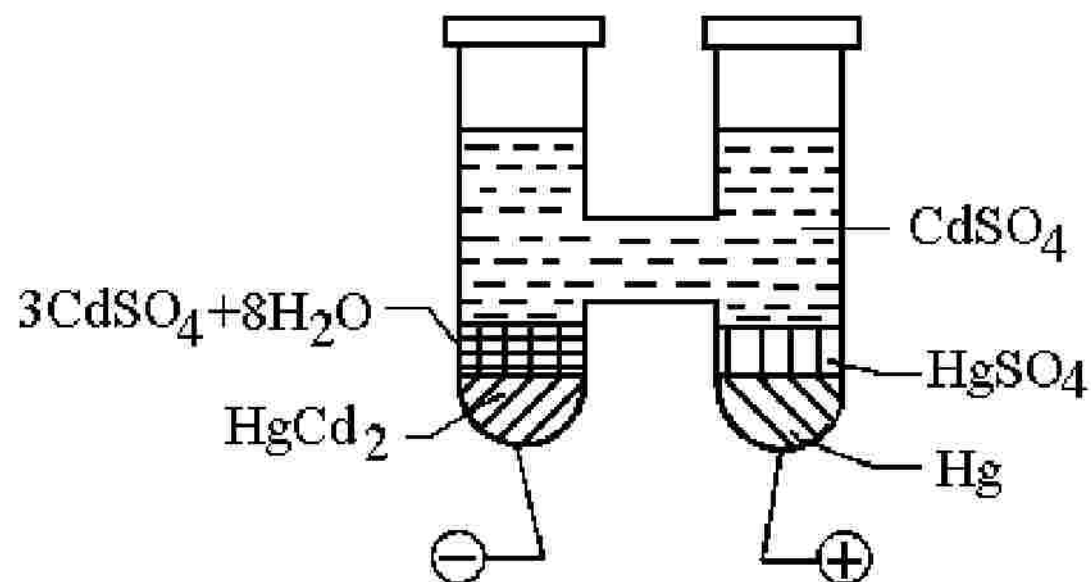
Primarni kemijski izvori

- Ako se u elektrolit urone dvije elektrode od razlicitih materijala, svaka elektroda odredeni potencijal (EMN), kojemu je uzrok *elektroliticka polarizacija*.
- Ako su elektrode od istog materijala uronjene u elektrolit, nece biti razlike u potencijalu!
- Što su materijali udaljeniji u nizu iz tablice elemenata medu elektrodama je viši napon.

Prvi primarni članak napravio je *Alessandro Volta* (1745-1827), a kasnije su razvijeni i mnogi drugi: *Leclanchéov*, *alkalni-MnO₂*, *litijev*, *itd.*

Materijal Electrode		Potencijal [V]
litij	Li	-3,02
kalij	K	-2,922
kalcij	Ca	-2,87
natrij	Na	-2,712
magnezij	Mg	-2,34
mangan	Mn	-1,05
cink	Zn	-0,762
krom	Cr	-0,71
kositar	Sn	-0,136
olovo	Pb	-0,126
vodik	H ₂	0
bakar	Cu	+0,3448
srebro	Ag	+0,7995
klor	Cl ₂	+1,3583
fluor	F ₂	+2,85

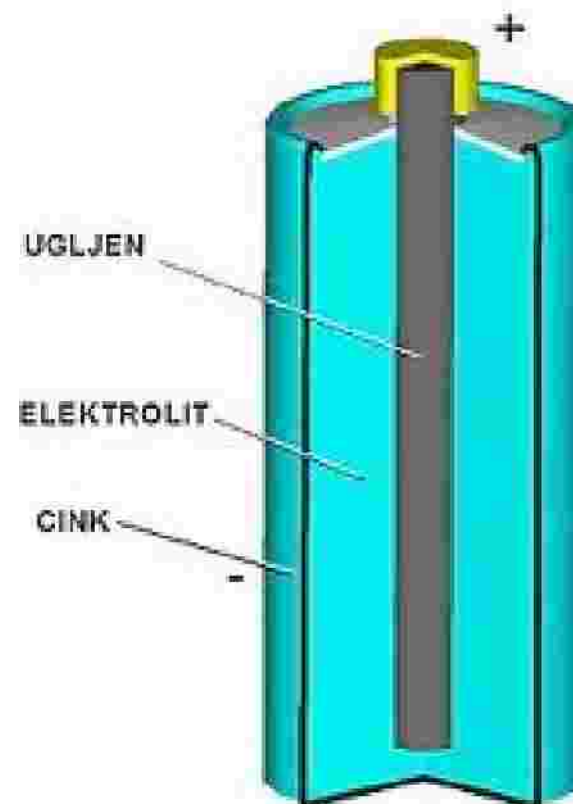
Primarni članak - Westonov članak



- *Katoda je od kadmij-amalgama (HgCd_2) pokrivenog slojem kristala kadmij-sulfata (CdSO_4).*
- *Anoda je od žive Hg, a depolarizator je živin sulfat (Hg_2SO_4).*
- *Elektrolit služi zasícena vodena otopina kadmij-sulfata (CdSO_4).*
- *Tijekom duljeg vremena daje izuzetno konstantan napon (1,01865 V), te se njime koristi kao etalonom napona.*
- *Napon clanka ovisi o temperaturi.*

Primarni clanak - Leclanchéov clanak

- Elektrolit je vlažna smjesa salmijaka (NH_4HCl),
- *Pozitivni pol - anoda je ugljeni štapić obložen prahom mangan-dioksida (MnO_2), koji služi kao depolarizator.*
- *Negativni pol - katoda, je od cinka (Zn) i ujedno je i posuda.*
- *Napon clanka je 1,5 (V). Serijski spojena takva tri clanka, daju plosnatu bateriju od 4,5 (V).*



Primarni članak - Alkalni članak

- razlikuje se od Leclanchéovog članka samo po *elektrolitu -kalijevoj lužini*
- Napon članka je $1,5\text{ V}$
- Može se neprekidno *prazniti jakim strujama*
- *Kapacitet u mAh* veći i do 10 puta od Laclansheovog članka
- Može se *dugo skladištiti* i podnosi *niske temperature*



Primarni članak Živin oksid - cink članak

- Malih dimenzija u obliku *dugmeta*
- *Napon* članka je 1,35 i 1,4 V
- Može se neprekidno *prazniti* jakim strujama
- *Kapacitet* cca 1100 mAh
- Može se dugo *skladištiti* i podnosi *niske temperature* – *otrovna živa*
- Slušni aparati, kalkulatori, kamere...



Primarni članak - Litijev članak

- *Najbolji primarni izvor energije*
- *Napon članka je 3 V*
- *Veliki kapacitet*
- *Može se dugo skladištiti i podnosi niske temperature -40 +100*
- *EPIRB, SART, pace-maker*



SEKUNDARNI KEMIJSKI IZVORI

Sekundarni kemijski izvori

- *Sekundarni kemijski izvori* elektricne struje ili *akumulatori* su *obnovljivi izvori* elektricne energije.
- Mogu se nakon *pražnjenja* ponovo *napuniti* priključivanjem na ispravljač – efikasnost punjenja.
- Broj *ciklusa punjenja i pražnjenja* može biti vrlo velik (tisucu i više puta)

Kemijski izvori električne struje - akumulatori

1. Klasicni akumulatori s tekucim elektrolitom

- *Olovni,*
- *Srebrei (u kombinaciji s cinkom i s kadmijem),*
- *Celici,*
- *Nikal – kadmijev*
- *Nikal - metalhidridni*

2. Gel ili VRLA (Valve Regulated Lead-Acid) akumulatori

3. AGM (Absorbed Glass Mat) akumulatori

Klasicni akumulatori s tekucim elektrolitom



Klasicni akumulatori s tekucim elektrolitom

Prednost:

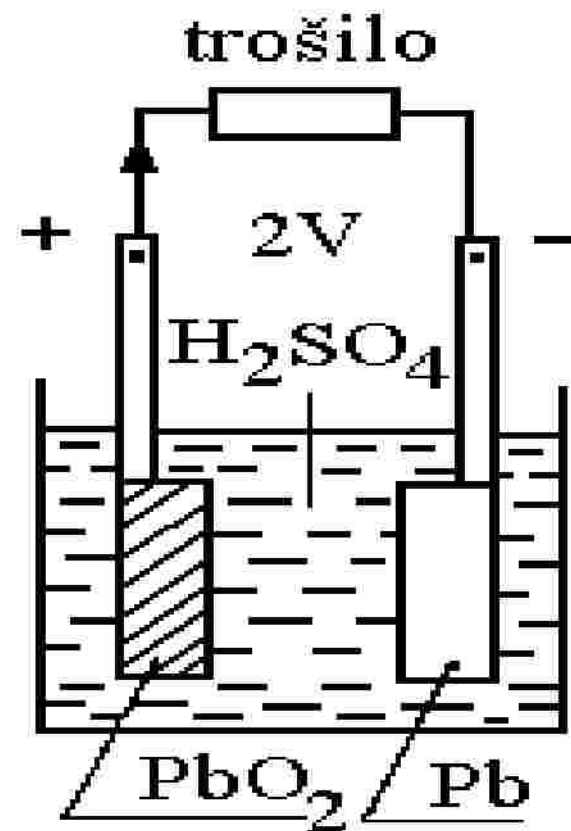
- *Znacajno nižu cijena,*
- *manja težina,*
- *maksimalna tolerancija napona punjenja,*

Mane:

- *montiraju se na plovilima jedino u vertikalnom položaju,*
- *mogućnost curenja elektrolita,*
- *potrebna je stalna kontrola i održavanje,*
- *potrebna je ventilacija prostora,*
- *manji broj ciklusa pražnjenja i punjenja,*
- *prosječni vijek trajanja 2-3 godine,*
- *moguć kratki spoj unutar olovnog akumulatora zbog olovnog sulfata koji se s vremenom taloži na dnu akumulatora.*

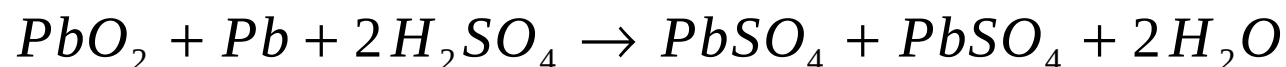
Olovni akumulatori

- Anoda je olovni superoksid, a katoda olovo.
- Sumporna kiselina je elektrolit koji se razblažuje destiliranom vodom.
- Napon koji daje takva celija je 2V



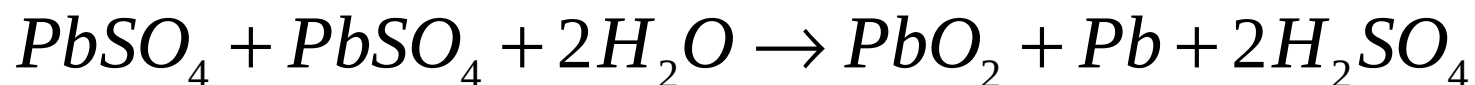
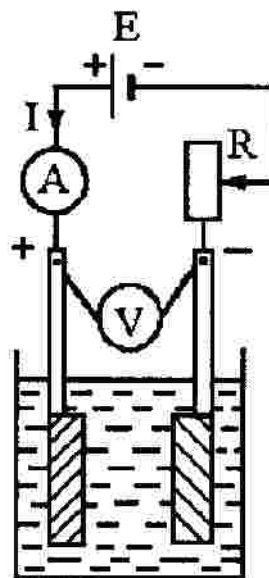
Olovni akumulatori - pražnjenje

- Dok se akumulator prazni on predaje trošilu elektricnu energiju, elektricna struja prolazi i kroz elektrolit.
- Nastaje slijedeca kemijska reakcija:



- Pražnjenjem akumulatora elektrode se po sastavu postupno izjednacavaju (sulfatiziraju) te napon postupno opada.
- Kada napon padne ispod 1,85 V, zabranjena je daljnja uporaba, jer bi to otežalo/onemogucilo postupak punjenja.

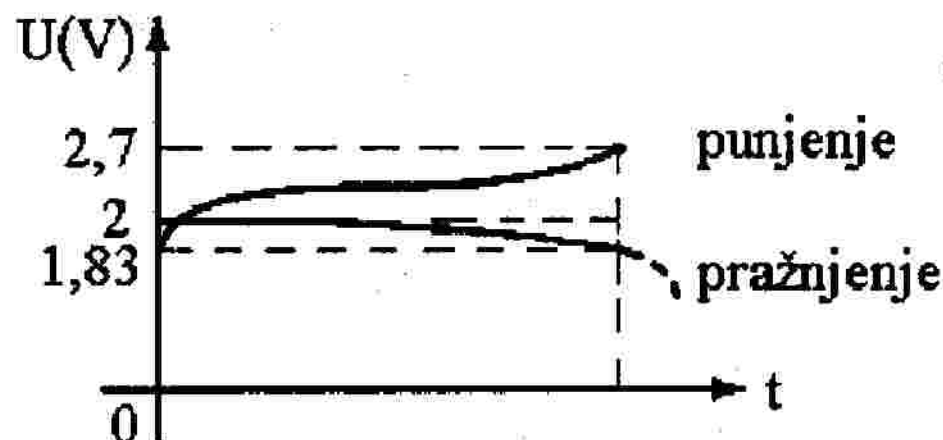
Olovni akumulatori - punjenje



Pažnja!

- *Prilikom punjenja kroz cepice celija izlazi tzv. plin praskavac opasnost eksplozija !!!!!.*
- *U slučaju da kožu dotakne elektrolit, potrebno je isprati to mjesto.*

Olovni akumulatori – krivulja punjenja i pražnjenja



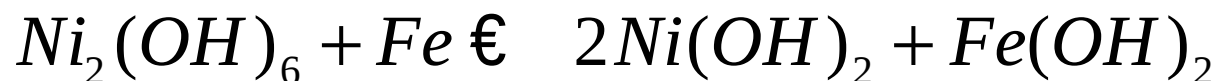
Kapacitet akumulatora – umnožak jakosti struje i vremena pražnjenja [Ah].

Akumulator koji ima 45 Ah može davati struju od 45 A u vremenu od 1 sat ili naprimjer 15 A u vremenu od 3 sata.

Gustoca kiseline pokazuje stanje napunjenosti akumulatora (bometri)

Celicni ili alkalijski akumulatori

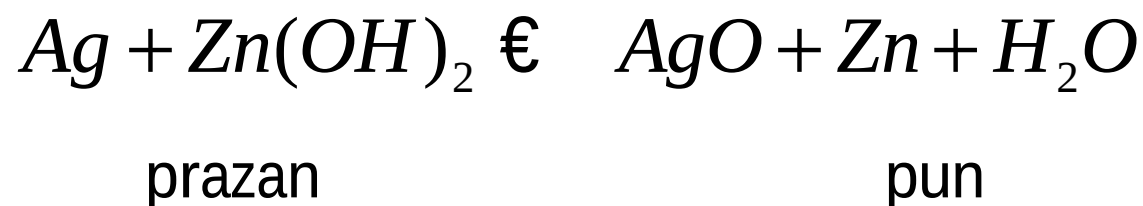
- *Elektrolit* alkalijskih ili celicnih akumulatora je *vodena otopina kalijeve lužine* (KOH), *anoda* je nikal(III)-hidroksid ili $\text{Ni}_2(\text{OH})_6$, *katoda* željezo, Fe
- *Kemijski proces je reverzibilan, a elektrolit se uopće ne mijenja. Napon po celiji 1,2 V (opseg napona 1,15V-1,8V)*



- *Manja osjetljivost na preopterećenje, veća trajnost i manja težina od olovnih*

Srebrni akumulatori

- *Elektrolit* srebrnih akumulatora je *vodena otopina kalijeve lužine* (KOH), *anoda* je od srebra, *katoda* cink.
- Kemijski proces je *reverzibilan*. Opseg napona 1-2,1 V



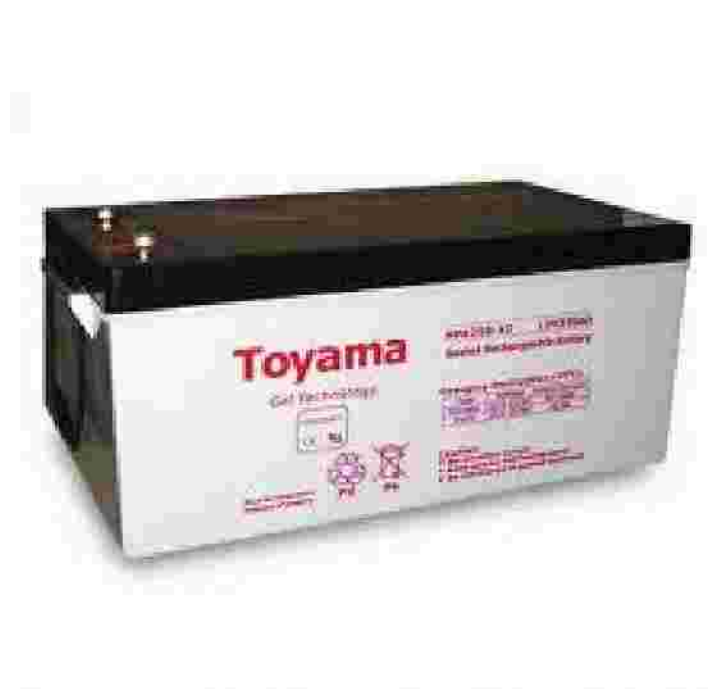
- Mala masa, obujam, neosjetljivost na temperature

Gel ili VRLA (Valve
Regulated Lead-
Acid) akumulatori

AGM (Absorbed
Glass Mat)
akumulatori

Gel akumulatori - nikal kadmij...

Elektrolit je imobiliziran između ploča u obliku želatinozne mase



Gel akumulatori - nikal kadmij...

Prednosti

- *nije potrebno nikakvo održavanje,*
- *moguća je montaža u bilo kojem položaju,*
- *nema izlaženja plina praskavca prilikom punjenja,*
- *ako su kleme izolirane mogu raditi pod vodom,*
- *otporni su na vibracije i udarce,*
- *stupanj samopražnjenja je malen,*
- *vijek trajanja 5-8 godina,*
- *brzo se pune, a mogu se prazniti do 50% nominalnog kapaciteta,*

Nedostaci

- *duplo veća cijena od klasičnog akumulatora,*
- *potrebni posebni punjaci, pa se na brodu teško obnavljaju.*

AGM akumulatori

Elektolit je imobiliziran u staklenoj vuni



AGM akumulatori

Prednosti:

- *tehnološki najnapredniji,*
- *dug vijek trajanja,*
- *vrlo velik broj ciklusa punjenja i pražnjenja,*
- *niski stupanj samopražnjenja,*
- *nije potrebno održavanje,*
- *može raditi u razlicitim položajima,*
- *nema plinova prilikom punjenja,*
- *otporan na vibracije i udarce,*

Mane:

- *visoka cijena,*
- *vrlo je osjetljiv na visinu napona punjenja,*
- *izrađuje se samo u nekoliko velicina.*

Uporaba i smještaj akumulatora na brodovima

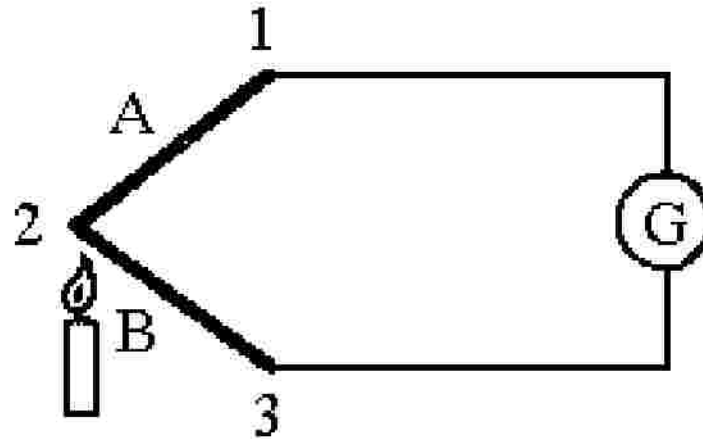
- Akumulatori na brodu namijenjeni su za rasvjetu u nužnosti, signalizaciju, telefoniju, rasvjetu u nužnosti, dojavu požara, alarmna zvonca, pozivna zvonca, rezervne radiouredaje, električne satove, itd. Najčešći napon baterija u uporabi je 24 V i 60 V.
- Na brodu se akumulatorijske baterije čuvaju u posebnim prostorijama.

Uporaba i smještaj akumulatora na brodovima

- Prostorije u kojima se cuvaju akumulatori trebaju biti smještene visoko na brodu, da u slučaju nesreće mogu biti što dulje izvan vode, jer se njima u principu opskrbljuju električnom energijom uredaji za nužnost.
- *U tim prostorijama nužna je dobra provjetrenost, zbog plinova koji se oslobadaju, pod treba biti otporan na djelovanje kiselina i lužina.*
- *U tim prostorijama sve električne naprave ili uredaji moraju imati protueksplozijsku zaštitu*

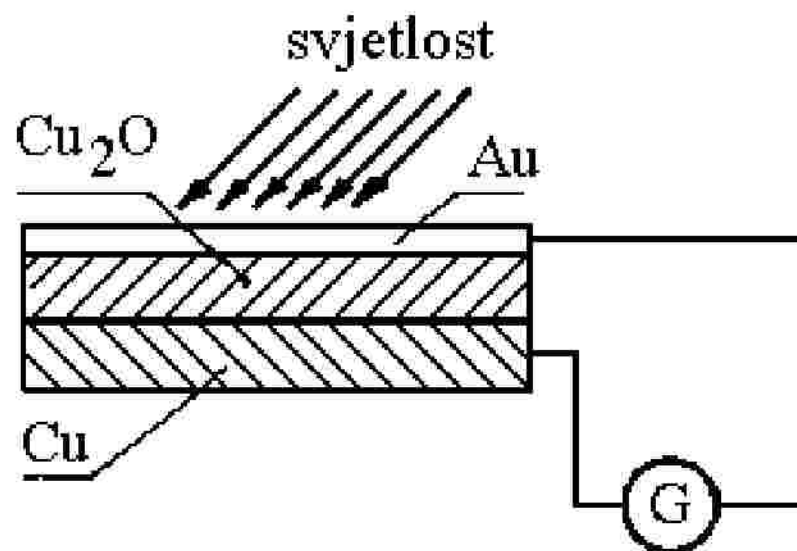
Toplinski i svjetlosni izvor istosmjerne elektricne energije

Toplinski izvori električne struje - termoelementi



- Termoelementi (termoparovi) su naprave u kojima se toplinska energija pretvara u električnu.
- Dva vodica izrađena od različitih materijala, A i B, spojena su čvrsto (zalemljena) na kraju 2. Slobodni su im krajevi, 1 i 3, povezani. Ako se spojno mjesto 2 zagrijava, u strujnom krugu će poteci električna struja.
- Porast temperature uzrokuje povećanje difuzije elektrona iz jednog materijala u drugi

Svjetlosni izvori elektricne struje



Svojstvo na temelju kojeg neki materijali (K, Na, Si, Rb, Cz, Se, Li, Cu_2O , itd.) oslobadaju elektrone kada se obasjaju svjetlošću, naziva se fotoelektricitet, a primjenjuje se za izradbu fotootpornika i fotoelemenata (fotogeneratorske celije).

MAGNETIZAM

Prirodni (permanentni) magneti

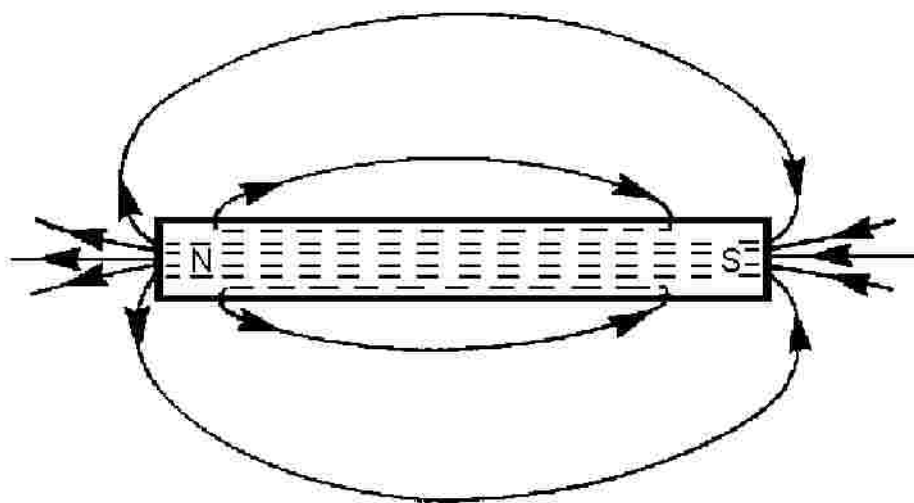
Grci su prije 2500 g znali da neke vrste željeza iskopane u *Magneziji* (današnja Tesalija) imaju osobinu privlačenja prema željezu i legurama, niklu, kobaltu i još nekim materijalima.

To svojstvo privlačenja izraženije je na krajevima magneta.

.

Krajevi magneta nazivaju se polovima. U sredini ravnog magneta nalazi se neutralna zona.

Raznoimeni magnetski polovi se privlače, a istoimeni se odbijaju.



Magnetsko polje

- Magnetskim poljem naziva se prostor u kojem se opažaju magnetski učinci.
- Dva su temeljna magnetska učinka: mehanička sila i elektromagnetska indukcija.

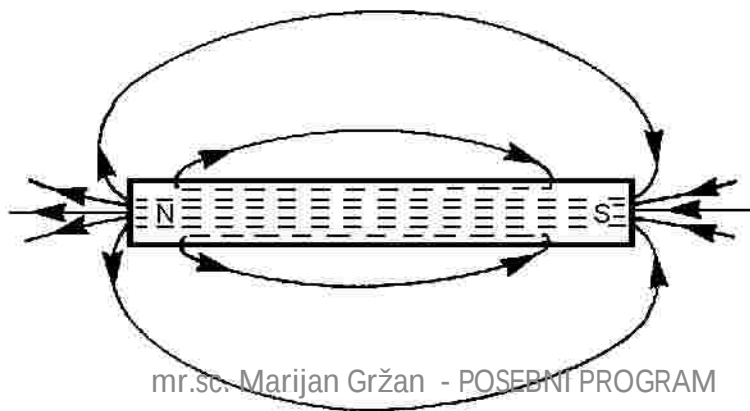
Permanentni magnet

Silnica je linija koja je zatvorena sama u sebe i pokazuje kako u pojedinoj točki prostora djeluje *magnetska sila*.

Silnice izviru iz sjevernog magnetskog pola i ulaze u južni magnetski pol.

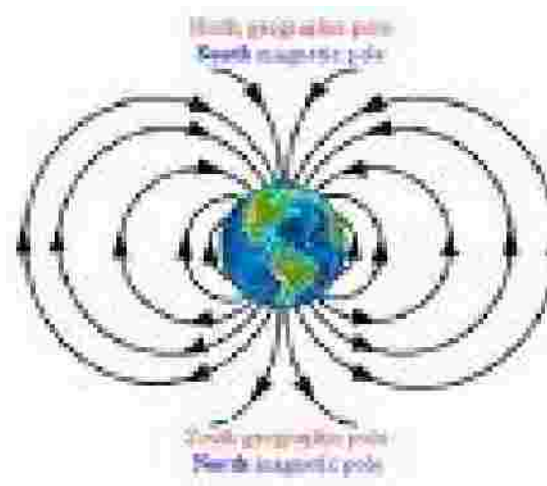
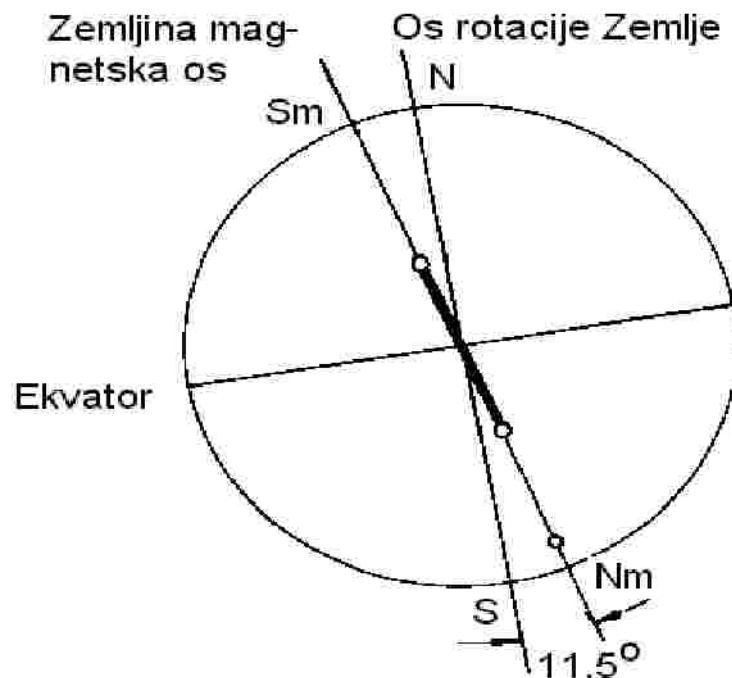
Tangenta na silnicu pokazuje smjer magnetske sile.

Gustoća magnetskih silnica na pojedinom mjestu je mjera veličine magnetske sile.



Zemljin magnetizam

Blizu zemaljskih polova postoje magnetski polovi zemlje promjera cca 150 milja **ciji se položaj vremenom mijenja.**



Magnetska deklinacija (u nautici varijacija) i inklinacija

Kut kojeg zatvaraju geografski meridijan i magnetska igla koja se može slobodno vrtjeti u vodoravnoj ravnini naziva se magnetskom deklinacijom, a u navigaciji varijacijom.

Varijacija je istocna ili pozitivna kada se sjeverni pol magnetske igle otkloni istocno od geografskog meridijana

Kut kojeg zatvaraju vodoravna ravnina i magnetska igla koja se može slobodno vrtjeti u okomitoj ravnini naziva se magnetskom inklinacijom (na magnetskom polu je 90° a na magnetskom ekvatoru je 90°).

Magnetski tok, Magnetska indukcija

Magnetski tok F

Skup silnica (linija) magnetskog polja kroz neku plohu naziva se magnetskim tokom F .

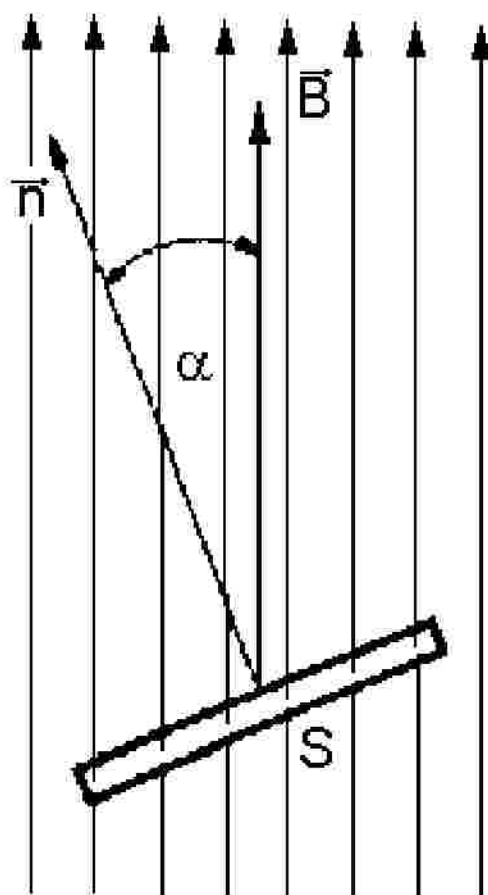
Magnetski tok je skalarna velicina. Jedinica magnetskog toka je Weber [$Wb = Vs$].

Magnetska indukcija B

Iznimno važna fizikalna velicina koja karakterizira magnetsko polje je gustoca magnetskog toka (mag. indukcija) $B = \mathbf{F} / S$ predstavlja omjer magnetskog toka $\mathbf{F}$ i površine presjeka S kroz koji taj tok prolazi.

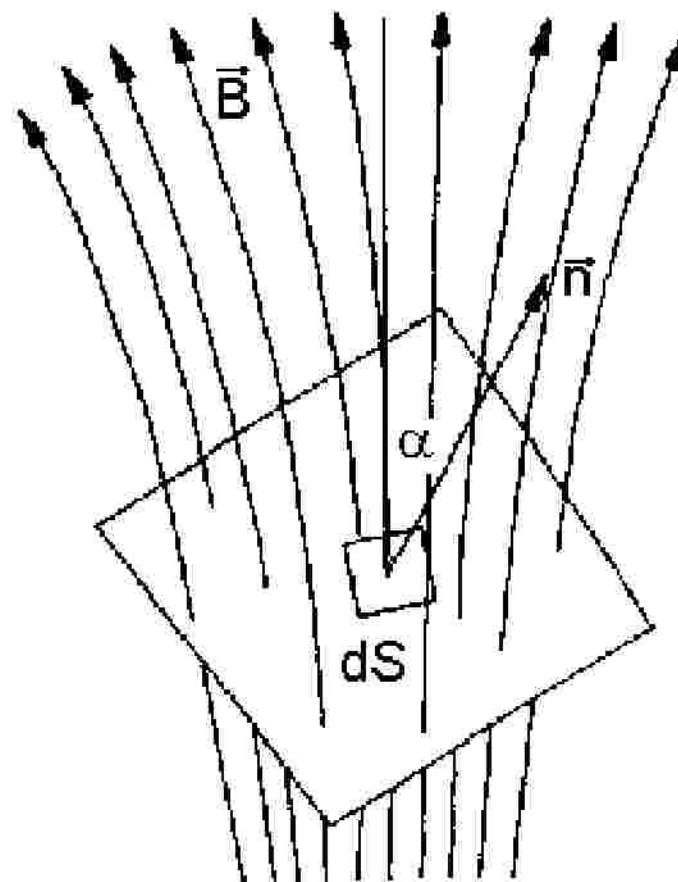
Gustoca magnetskog toka je vektorska velicina. Jedinica gustoce magnetskog toka je *Tesla* [Wb / m^2].

Homogeno i nehomogeno magnetsko polje



homogeno polje

$$f = \vec{B} \cdot \vec{S} \cdot \cos \alpha$$



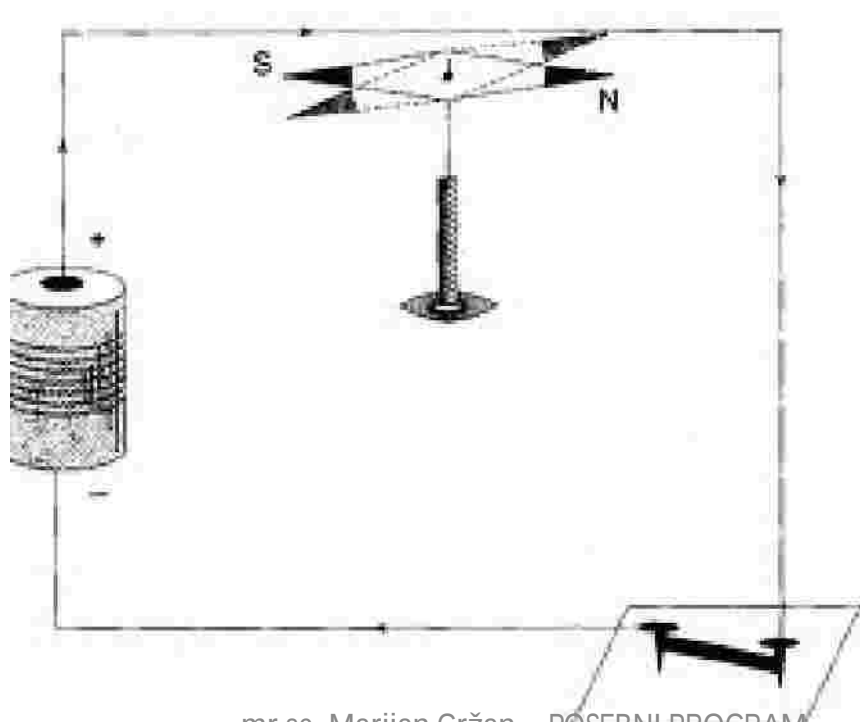
nehomogeno polje

$$f = \int_S df = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha$$

Elektromagnetizam

Elektromagnetizam

- Bitan iskorak u proučavanju magnetskih pojava ostvario je Oersted otkricem da magnetska igla mijenja položaj kada je u blizini vodica kojim protjece elektricna struja.
- 1820. godine Ampere je dokazao da između dva paralelna vodica kojima protjecu elektricne struje postoje mehanicke sile.



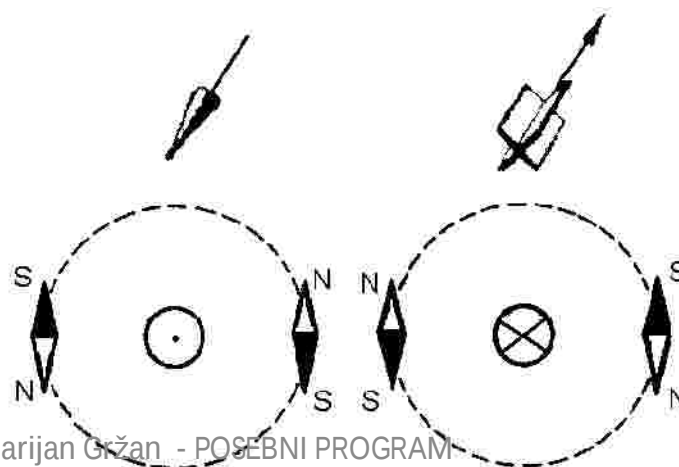
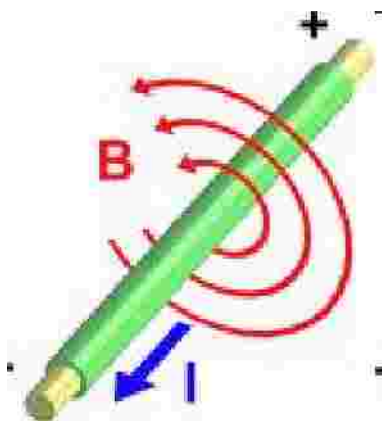
mr.sc. Marijan Gržan - POSEBNI PROGRAM
Fig. 6.16 Oersted's Experiment

Magnetska uzbuda ili jakost magnetskog polja H

U prostor oko vodica kroz koji prolazi struja djeluje magnetska uzbuda H - jakost magnetskog polja (koja se mjeri u A/m) i opada proporcijonalno kvadratu udaljenosti od vodica.

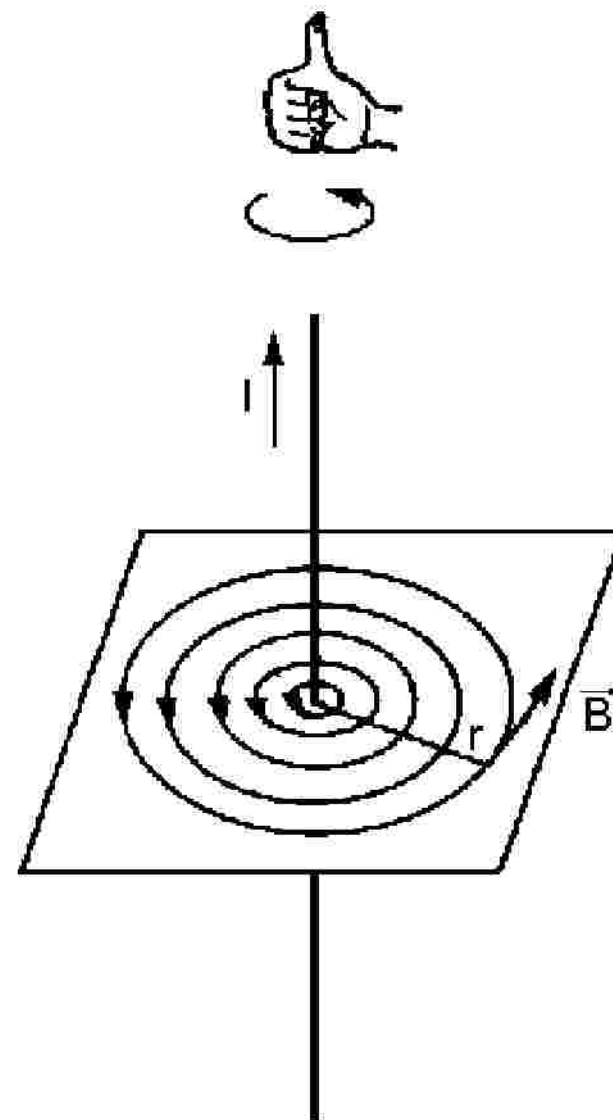
Magnetska uzbuda H izaziva stvaranja magnetskog toka F (veci tok F što je veci H i što je bolja provodnost mag. silnica u mediju)

Magnetski tok F , pa prema tome i magnetska indukcija B (gustoca silnica) ovisi o magnetskoj vodljivosti materijala oko vodica tkz. magnetskoj permeabilnosti.

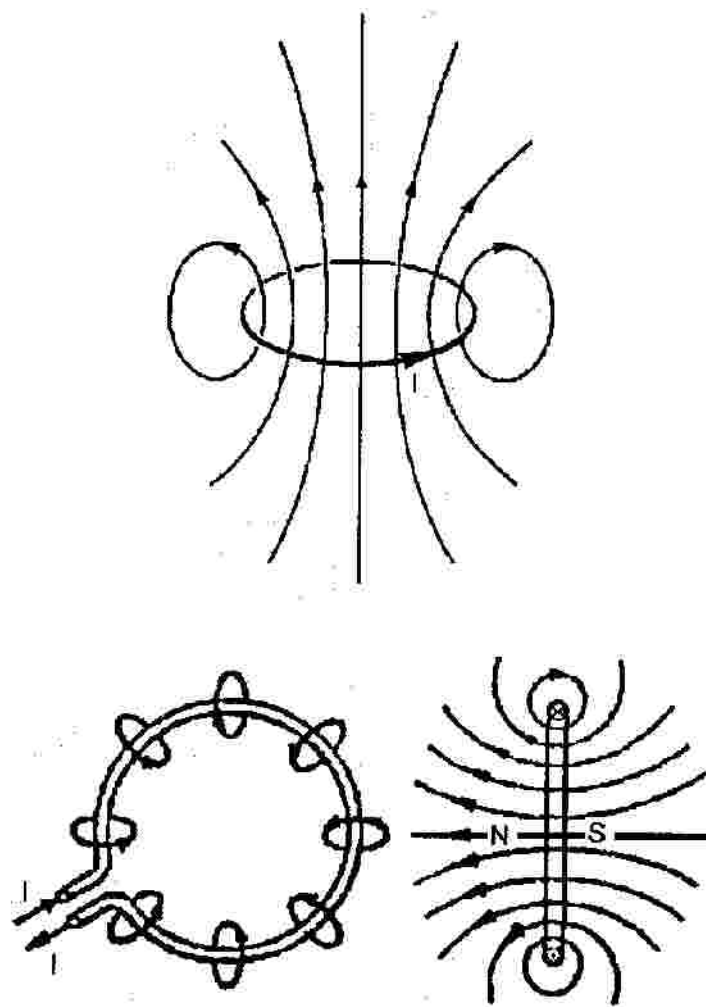


Pravilo desne ruke za vodice

- Ako se palac desne ruke postavi u smjer protjecanja elektricne struje, savijeni ostali prsti desne ruke pokazuju smjer polja.
- Smjer vektora B (H – jakost magnetskog polja) u nekoj tocki određen je tangentom u toj tocki na silnicu magnetskog polja koja prolazi tom tockom.

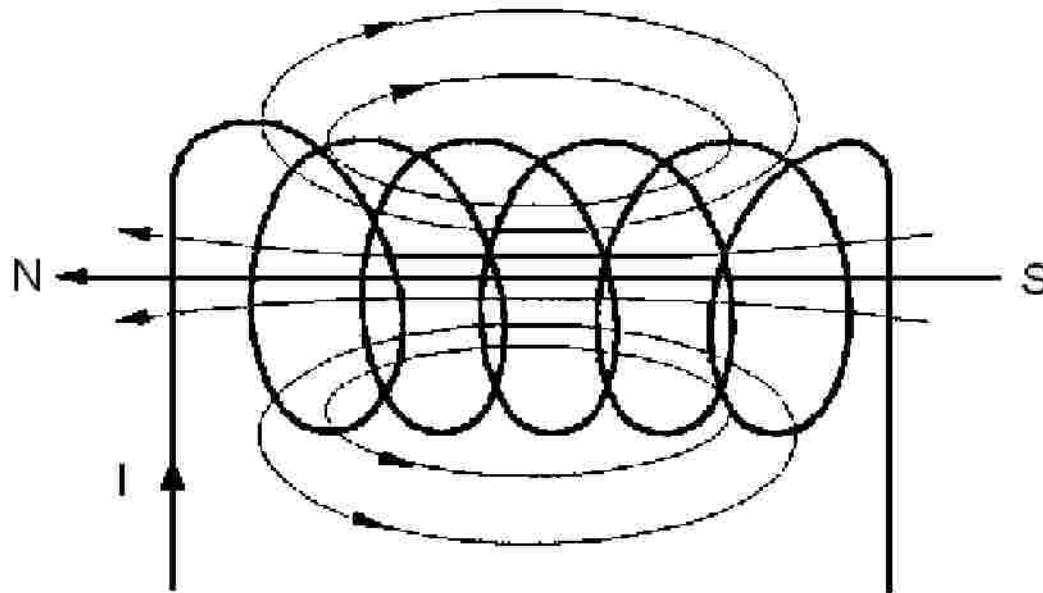


Magnetsko polje zavoja



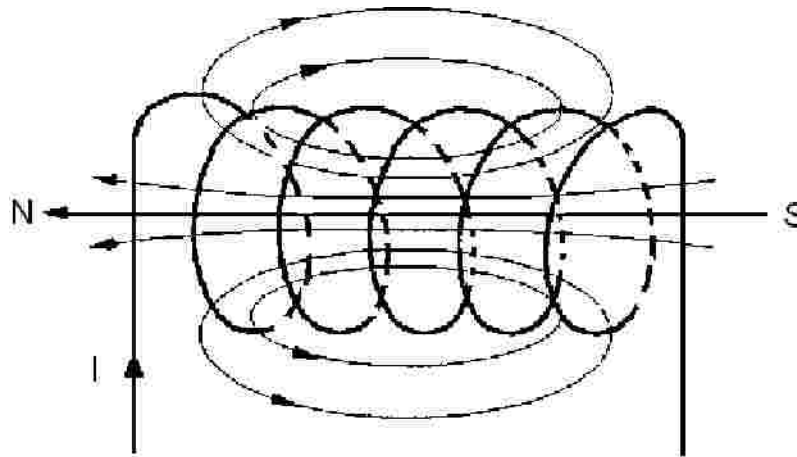
Magnetsko polje svitka

Svitak kojim protječe električna struja ponaša jednako kao permanentni magnet (elektromagnet).



Pravilo desne ruke za svitak (zavojnicu)

- Ako se savinuti prsti desne ruke postavi u smjer protjecanja elektricne struje kroz svitak, palac pokazuje smjer odakle silnice izlaze – smjer polja .
- B (magnetska indukcija) je najveća unutar svitka (najgušće silnice)

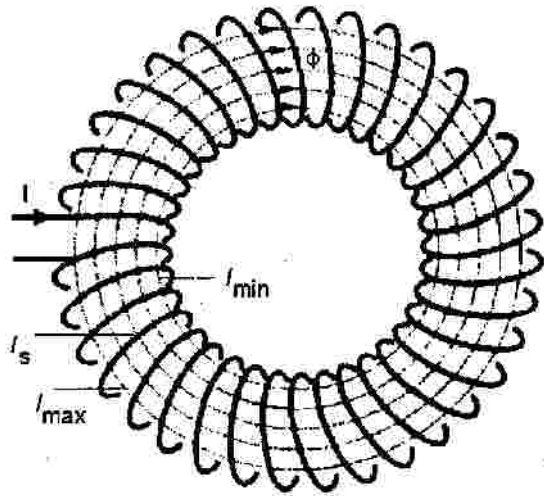


TORUSNI SVITAK



ZAKON PROTJEKANJA

Magnetski napon zatvorene konture (HdI) (cijele silnice) jednak je magnetskom protjecanju $T=IN$ (magnetomotorna sila):



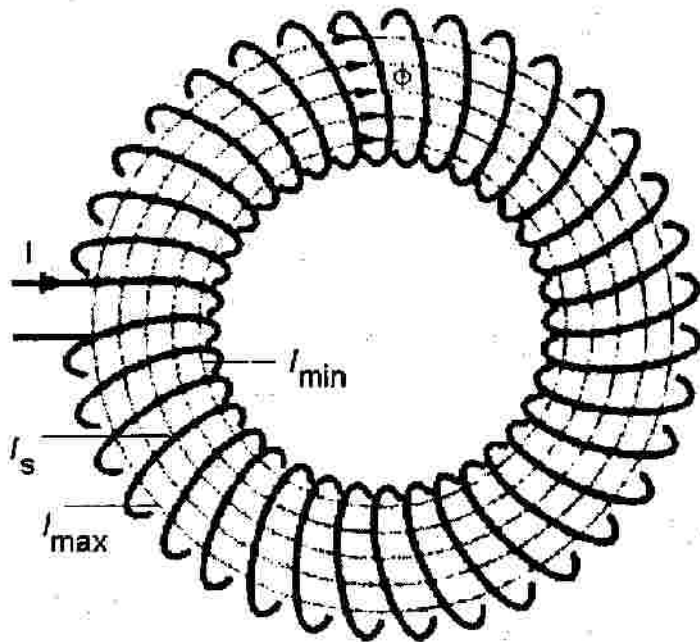
Slika 9.12: Torusni svitak

$$\oint H \cdot d\mathbf{l} = I \cdot N = \sum_{i=1}^n I_i = \Theta$$

$\Theta = I \cdot N \text{ [Az]}$ - magnetsko protjecanje ili magnetomotorna sila

Jakost magnetskog polja i indukcija u torusu

- Magnetska uzbuda ili jakost magnetskog polja (H) i magnetska indukcija (B) su povezane relacijama:



Slika 9.12: Torusni svitak

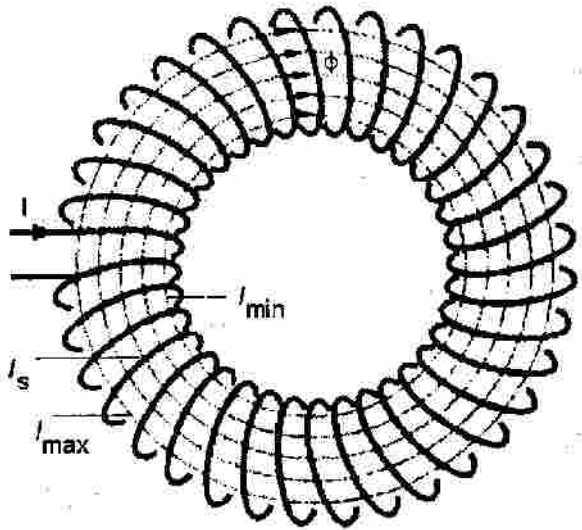
$$H = \frac{I \cdot N}{l} \text{ [Wb]}$$

$$B = m \cdot H \text{ [T]}$$

magnetska permeabilnost

$$m = m_0 \cdot m_r \quad m_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$$

Ohmov zakon za magnetski krug



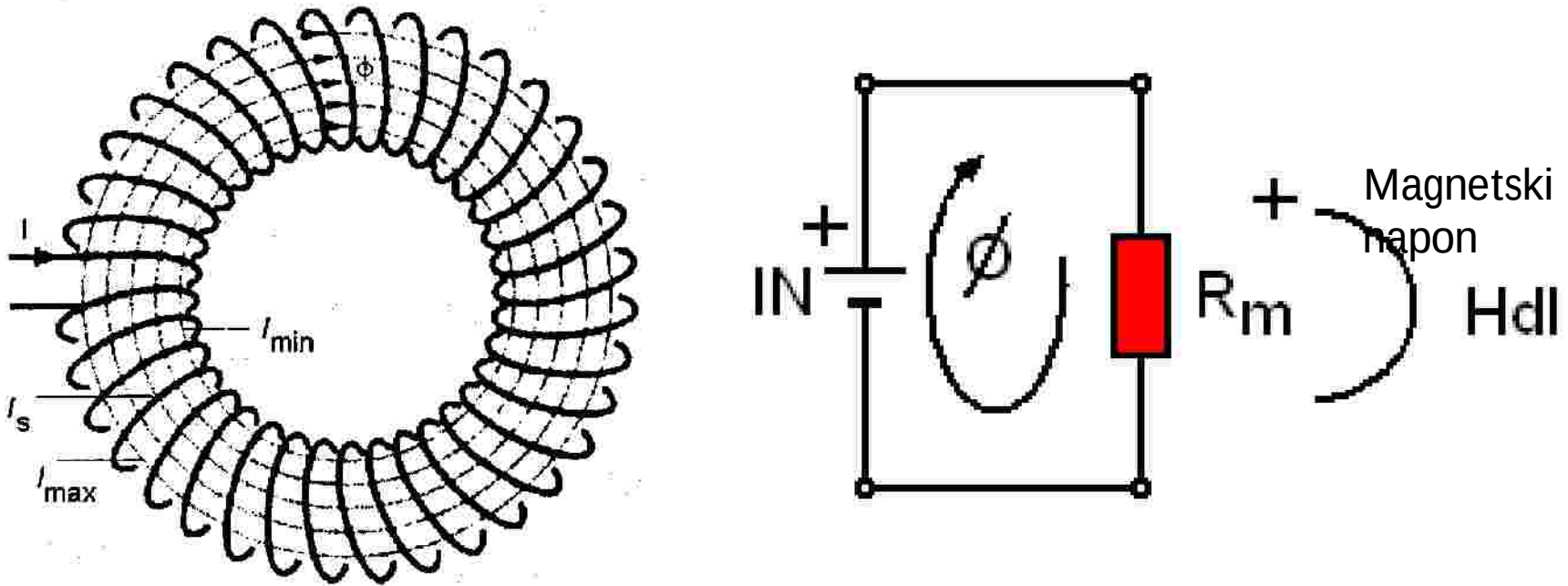
Slika 9.12: Torusni svitak

$$\Phi = B \cdot S = \mu \cdot H \cdot S = \frac{I \cdot N}{\frac{l}{\mu \cdot S}} = \frac{\Theta}{R_m}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot S} \left[\frac{A}{Vs} = \frac{1}{H} \right] \quad - \text{ magnetski otpor}$$

Torusni svitak – analogija sa električnim krugom



Slika 9.12: Torusni svitak

Magnetomotorna sila T stvara magnetsku uzбудu H koja generira tok F i indukciju $B = \mu H = F / s$, čija velicina ovisi o permeabilnosti medija μ .

ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

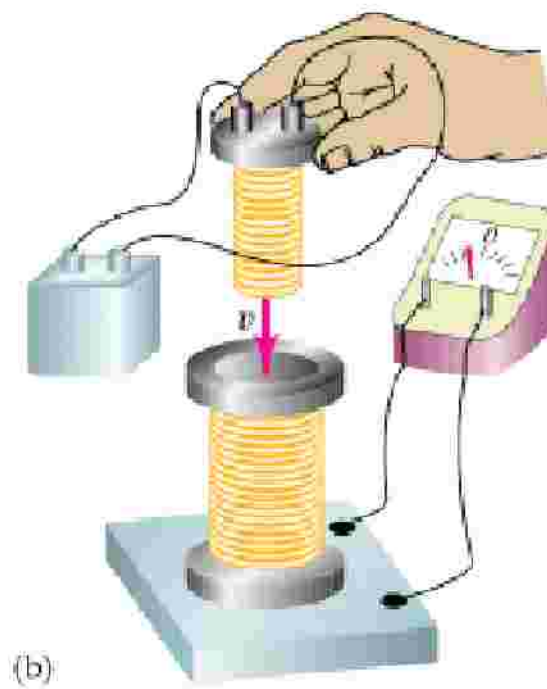
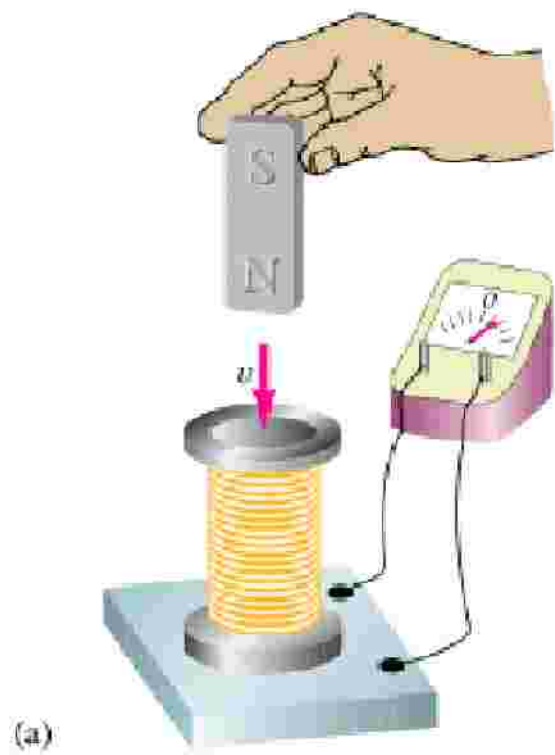
Elektromagnetska indukcija

Ukoliko imamo dva svitka tada:

-prilikom uključivanja ili isključivanja toka istosmjerne električne struje u jednom svitku dolazi do pojave napona (induciranja elektromotornog napona) u drugom zatvorenom svitku koji se nalazi u blizini prvog svitka;

-se pri promjeni položaja jednog svitka u odnosu na položaj drugoga svitka, kojim protječe istosmjerna električna struja, također inducira elektromotorni napon u prvom svitku.

Elektromagnetska indukcija



Elektromagnetska indukcija

- Iznos induciranog napona razmjeran brzini promjene magnetskog toka i broju zavoja svitka.

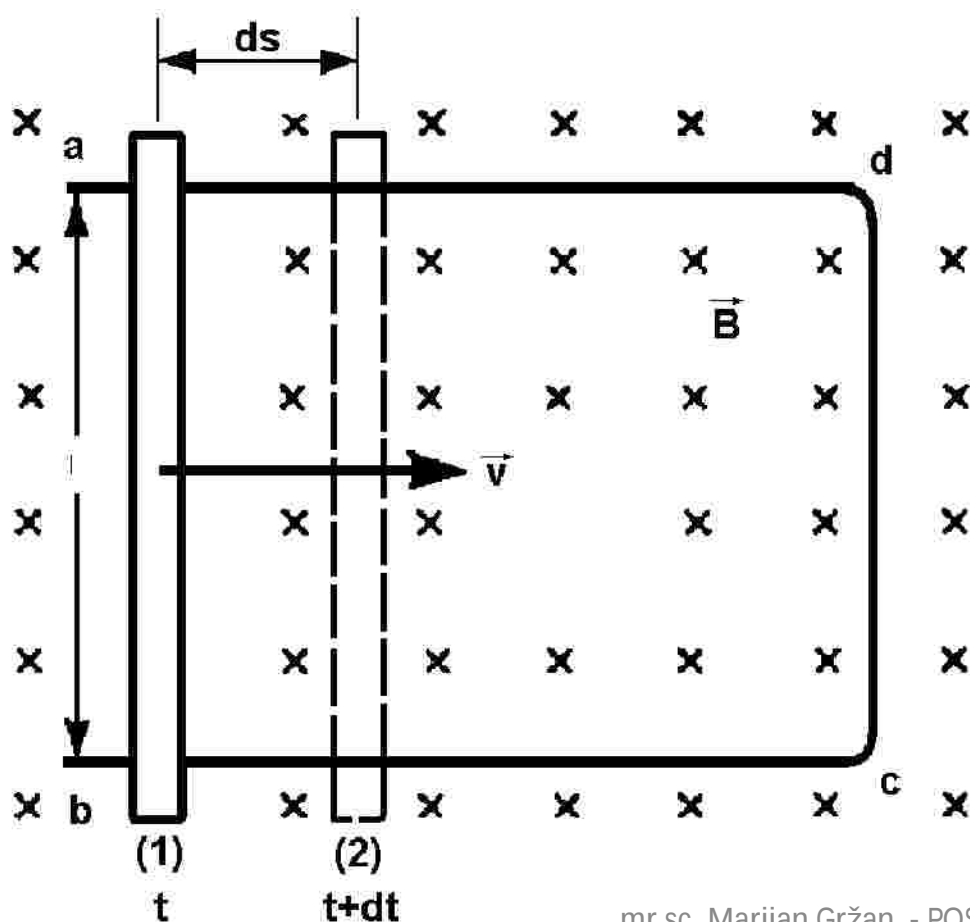
$$e = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

- Znacenje minusa objašnjava se Lencovim zakonom: smjer induciranog napona uvijek je takav da se od tog napona stvorena struja svojim magnetskim ucinkom protivi promjeni magnetskog toka uslijed kojeg je došlo do induciranog napona.

NAPON POMICANJA NAPON ROTACIJE

Napon pomicanja

- Vodic se giba po vodljivom okviru brzinom okomito u odnosu na magnetsko polje gustoće B . Naponom pomicanja dat je izrazom:



$$\Phi_1(t) = B \cdot S_{abcd}$$

$$\Phi_2(t + dt) = B \cdot (S_{abcd} - l \cdot ds)$$

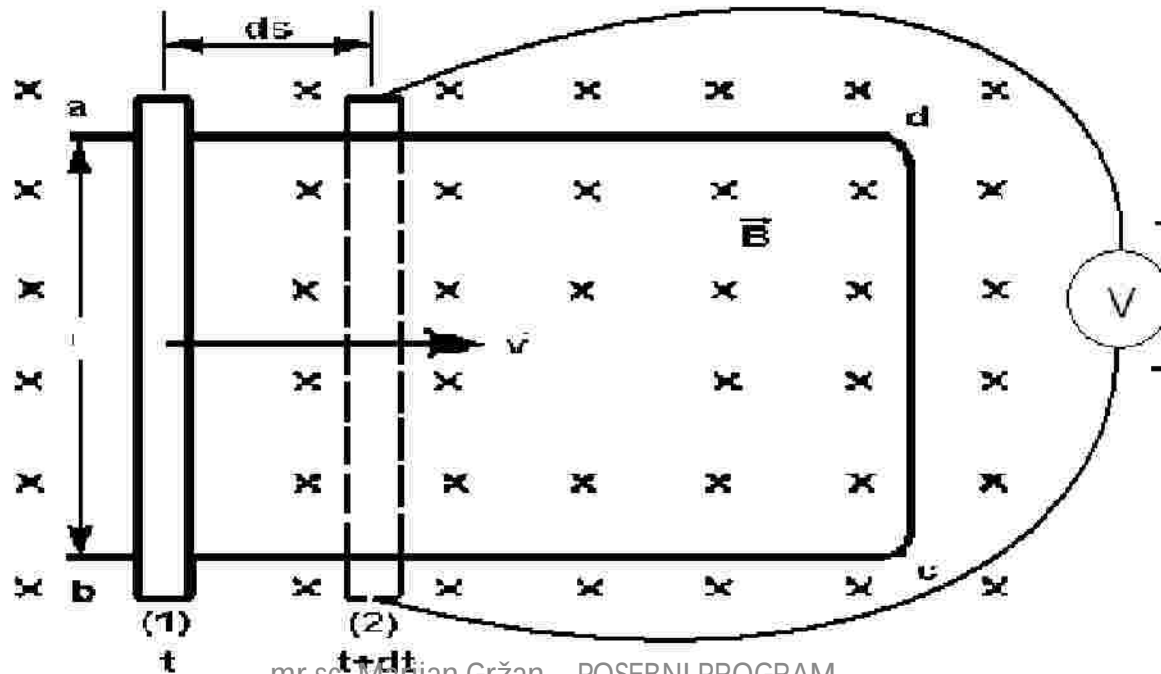
$$d\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$$

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot l \cdot v$$

Smjer induciranog napona

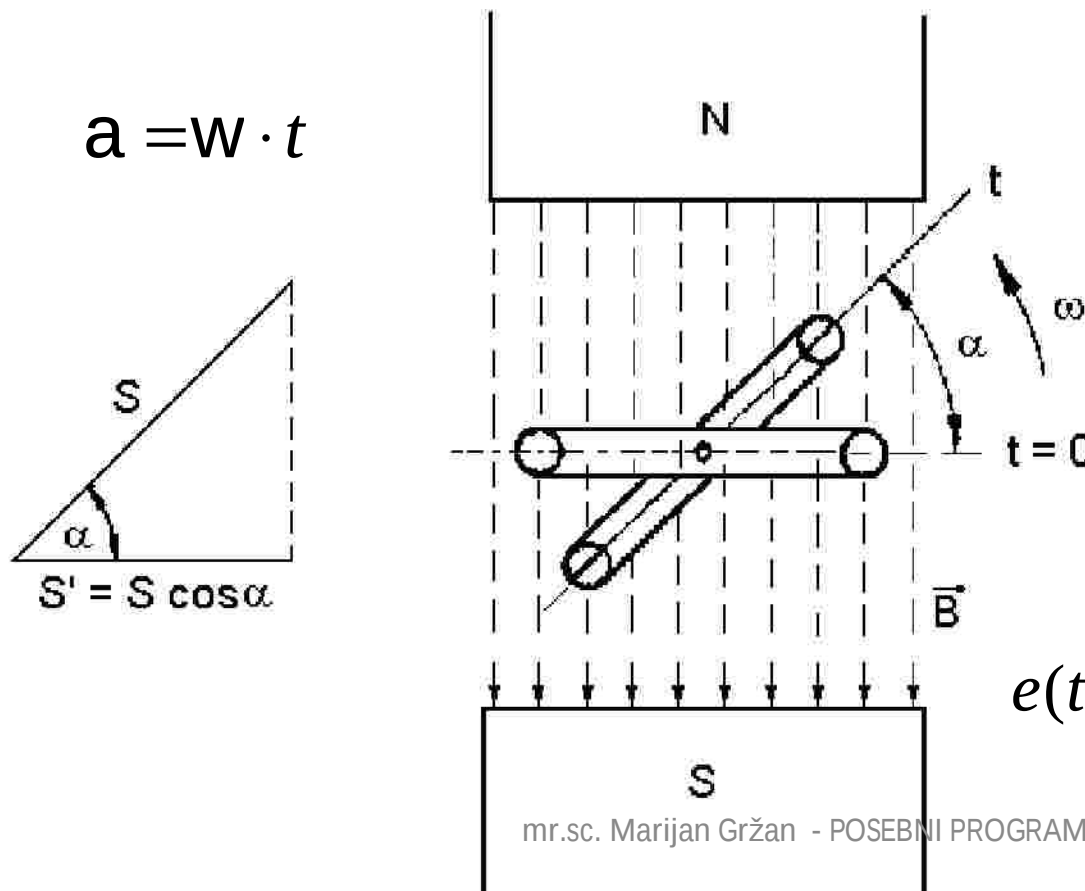
Pravilo desne ruke:

Ako se desna ruka postavi tako da silnice magnetskog polja upadaju na dlan ispružene desne šake i ako ispruženi palac pokazuje smjer gibanja vodica, onda prsti pokazuju smjer induciranog napona.



Napon rotacije

- Do induciranog napona može se doći i na način da svitak rotira u homogenom magnetskom polju indukcije B . Takav napon naziva se *naponom rotacije*, a u biti to je načelo rada *generatora izmjenicne struje*.



$$e(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} =$$

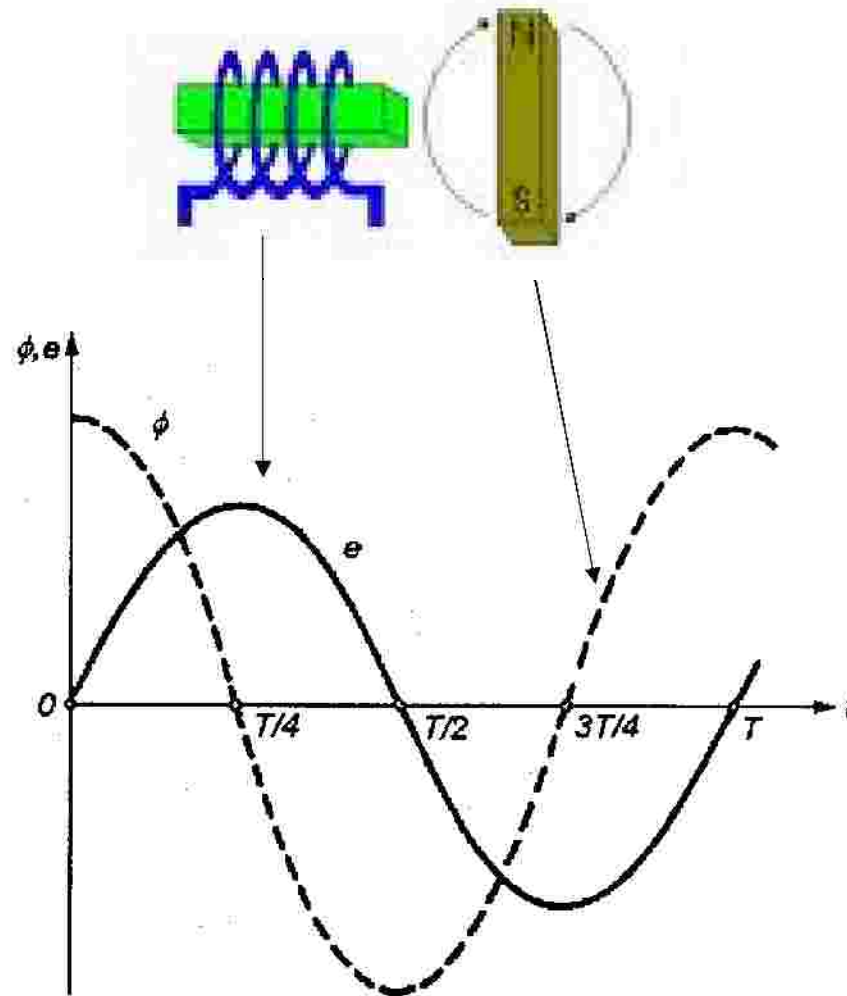
$$-N \frac{d}{dt}(B \cdot S \cdot \cos \omega t)$$

$$e(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Graficki prikaz magnetskog toka i induciranog izmjenicnog napona

T – period izmjenicnog napona [s]

$f=1/T$ – frekvencija (broj titraja u s [Hz])



SAMOINDUKCIJA MEĐUINDUKCIJA

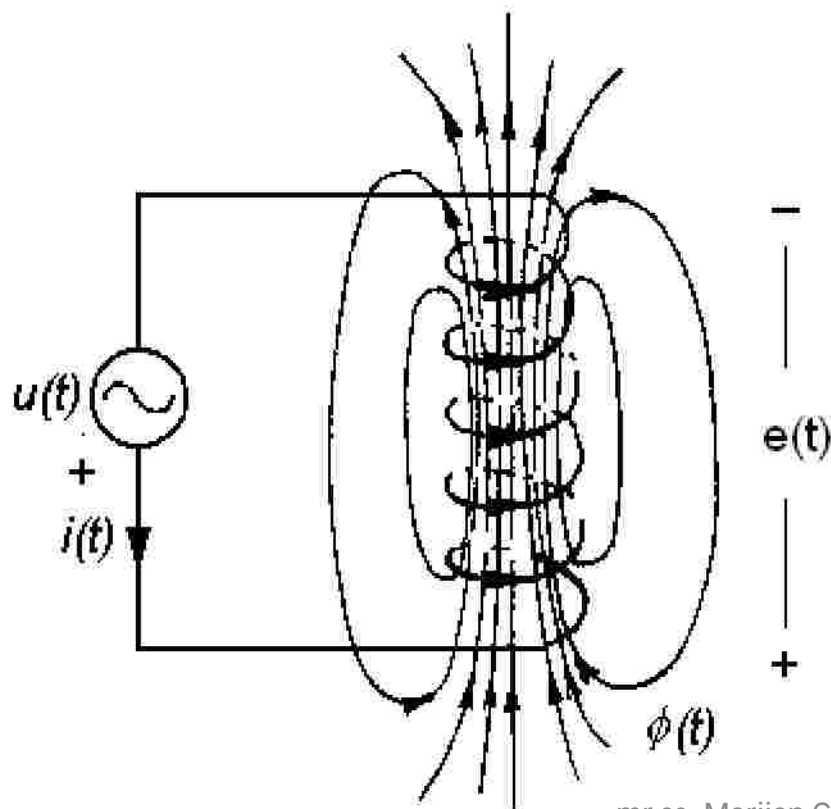
Svitak sa magnetskom jezgrom posjeduje induktivitet



$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l} \quad [H]$$

Samoindukcija

- Pojava da se u istoj zavojnici (svitku) kojom protječe izmjenicna električna struja inducira napon $e(t)$, kao posljedica promjenjivog magnetskog toka $F(t)$, naziva se samoindukcija, a tako inducirani napon naziva se naponom samoindukcije.



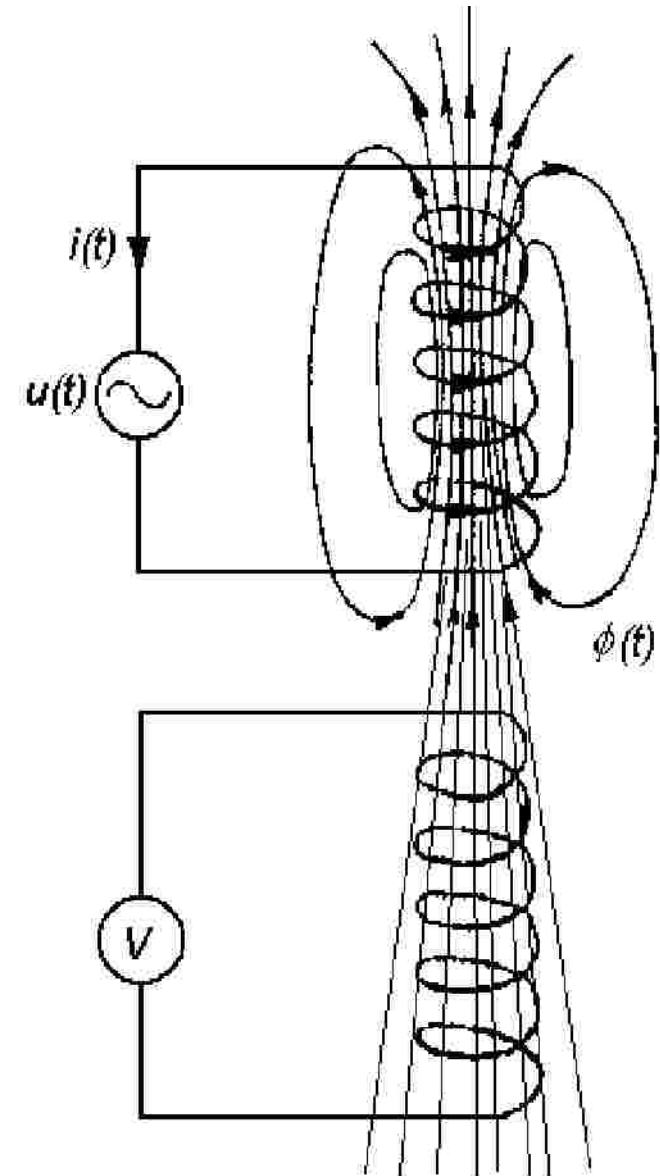
$$e(t) = -L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

Meduindukcija

- Pojava stvaranja napona u donjem svitku kao posljedica promjenjivog magnetski toka u gornjem svitku koji obuhvata i zavoje donjeg svitka naziva se meduindukcija.

$$e_2(t) = -N_2 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} = -N_2 \cdot \frac{N_1}{R_m} \cdot \frac{di_1(t)}{dt}$$

$M_{1,2}$ - $e_2(t) = -M_{1,2} \cdot \frac{di_1(t)}{dt}$ (meduinduktivitet).
Ukazuje na magnetsku povezanost prvog i drugog svitka.



$$M_{1,2} = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$