

ELEKTRIČNE STRUJE

ELEKTRIČNE STRUJE

- ***Električna struja*** predstavlja usmereno kretanje elektrona ili jona u provodniku, koji može biti metal (legura), elektrolit ili jonizovan gas. Takvo usmereno kretanje moguće je samo onda kada u pobrojanim provodnicima postoji napon (ili razlika potencijala) koji u pomenutim provodnicima prouzrokuje električno polje.
- ***Generatori električne struje*** jesu sistemi (mašine) u kojima se vrši transformacija izvesnih oblika energije, kao što su *hemijska, mehanička, toplotna, svetlosna i nuklearna* u električnu energiju. Otuda imamo razne generatore: *elektrohemijske (akumulatori i galvanski elementi), dinamomašine, termoelemente i fotoelemente*, zavisno od toga koji se oblik energije transformiše u električnu energiju.

JAIČINA I GUSTINA ELEKTRIČNE STRUJE

- Veličina koja kvantitativno karakteriše električnu struju u provodniku zove se *jačina struje* ili *intenzitet struje* koja je vrlo važna elektrotehnička veličina, zbog čega je uzeta za jednu od sedam osnovnih veličina u SI - sistemu.
- Jačina električne struje u kolu data je količnikom naelektrisanja koje prođe kroz poprečni presek provodnika i vremena za koje je to naelektrisanje prošlo:

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

- *Odavde sledi da je jačina struje brojno jednaka naelektrisanju koje prođe kroz poprečni presek provodnika tokom jedne sekunde!*
- *Ovakva formula važi samo za konstantnu, odnosno stacionarnu struju, dakle za onu koja se ne menja sa vremenom!*

JAIČINA I GUSTINA ELEKTRIČNE STRUJE

- Ako je reč o promenljivoj struji u kolu, uvodi se tzv. *trenutna vrednost* jačine struje koja je data diferencijalnim količnikom naelektrisanja i vremena: $i = dq/dt$.
- Jedinica za jačinu električne struje u Međunarodnom sistemu jedinica jeste *amper* [A].
- Pored jačine struje važna je i tzv. *gustina električne struje* koja je data količnikom jačine struje i površine poprečnog preseka provodnika kroz koji struja teče:

$$j = \frac{I}{S}, S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}, r \text{ je poluprečnik, a } d \text{ – prečnik žice}$$

- *Gustina struje brojno je jednaka jačini struje koja prolazi kroz jediničnu površinu poprečnog preseka provodnika!*

JAIČINA I GUSTINA ELEKTRIČNE STRUJE

- Jedinica za gustinu struje u SI - sistemu je *amper po kvadratnom metru* (A/m^2). S obzirom da je presek od kvadratnog metra veliki i nesvakidašnji, u praksi se koristi kvadratni milimetar, pa je za gustinu struje u upotrebi milion puta veća jedinica za gustinu: A/mm^2 .
- Na osnovu obrasca za jačinu struje može se dobiti *jedinica za naelektrisanje*, odnosno *za količinu elektriciteta*: $q = I \cdot t$, odnosno: $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$.
- Dakle, *kulon* je ona količina elektriciteta koja za jednu sekundu prođe kroz presek provodnika kada je jačina struje od *jednog ampera!*

ELEKTRIČNA OTPORNOST PROVODNIKA

- *Električna otpornost* je svojstvo provodnika da se suprotstavlja proticanju struje. To važi kako za metalne provodnike, tako i za elektrolite i jonizovane gasove.
- Elektroni i joni (koji su nosioci naelektrisanja zavisno od tipa provodnika) pri usmerenom kretanju kroz provodnik sudaraju se sa atomima, jonima ili molekulima na koje nailaze, pa otuda potiče otpornost provodnika.
- Otpornost provodnika zavisi od prirode materijala od koga je provodnik napravljen, dimenzija provodnika, temperature i nekih drugih faktora.

ELEKTRIČNA OTPORNOST PROVODNIKA

- Otpornost provodnika je upravo srazmerna dužini žice, a obrnuto proporcionalna njenom poprečnom preseku:

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

- Veličina ρ (grčko slovo ro) predstavlja *specifičnu otpornost provodnika*, koja zavisi od prirode provodnika, odnosno žice. Po definiciji, *specifična otpornost provodnika brojno je jednaka otpornosti koju struji pruža žica dužine 1 m, čiji je poprečni presek površine 1 mm².*
- Jedinica za električnu otpornost u SI - sistemu je **om (1 Ω)**.
- **Om** je električna otpornost provodnika u kome stalni napon od 1 V, naložen na njegovim krajevima, prouzrokuje struju jačine 1 A!

ELEKTRIČNA OTPORNOST PROVODNIKA

- Jedinica za specifičnu otpornost u Međunarodnom sistemu je *ommetar* (**1 Ωm**), koja se dobija ako se prethodna jednačina reši po veličini ρ :

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} (=) \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} = \Omega\text{m}$$

- Ommetar je nepraktična jedinica, zbog velikog poprečnog preseka, pa se uzima milion puta manja jedinica, kada je presek 1 mm^2 :

$$1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 1 \frac{\Omega}{\text{m}/\text{mm}^2} = 10^{-6} \Omega\text{m}$$

ELEKTRIČNA OTPORNOST PROVODNIKA

- Specifična otpornost jednog provodnika zavisi od temperature do koje se provodnik zagreva. Kod svih metala otpornost raste sa povišenjem temperature i taj odnos je uglavnom *linearan*:
$$\rho(t) = \rho_0(1 + \alpha t)$$
, gde je ρ_0 – specifičan otpor provodnika na 0°C
- Koeficijent proporcionalnosti α je ***temperaturski koeficijent otpornosti*** koji je brojno jednak povećanju jedinične otpornosti pri povišenju temperature za jedan Celzijusov stepen.
- Brojna vrednost temperaturskog koeficijenta za mnoge metale iznosi oko $1/250$, što je približno jednako koeficijentu širenja idealnih gasova.

ELEKTRIČNA PROVODNOST PROVODNIKA

- *Električna provodnost* je data recipročnom vrednošću otpornosti provodnika, pa imamo relaciju:

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

- *Očigledno je da će jedan provodnik imati utoliko veću provodnost ukoliko je njegova otpornost manja, i obrnuto!*
- Jedinica za električnu provodnost u SI - sistemu nosi naziv *simens* ($1 \text{ S} = 1/\Omega = \Omega^{-1}$).
- Električna provodnost kod žica (tj. linijskih provodnika), koje su napravljene od homogenog materijala, data je izrazom:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{l} = \gamma \frac{S}{l} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{G \cdot l}{S}$$

ELEKTRIČNA PROVODNOST PROVODNIKA

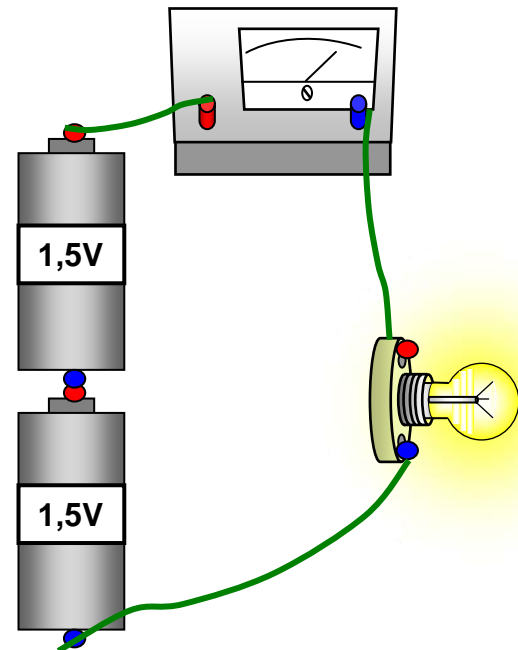
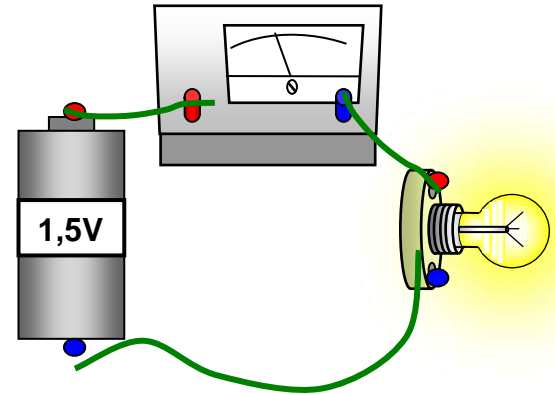
- Recipročna vrednost specifične otpornosti zove se *specifična provodnost* materijala od kojeg je žica (provodnik) napravljena i obeležava se grčkim slovom γ (gama).
- *Vidi se da provodnost jedne žice zavisi kako od prirode materijala, tako i od dimenzija samog provodnika!*
- Jedinica za specifičnu provodnost u SI - sistemu dobija se iz relacije $\gamma = G \cdot l / S$ i nosi naziv *simens po metru* (S/m).
- Slično specifičnoj otpornosti i ovde se uzima poprečni presek od 1 mm^2 , pa je praktična jedinica za specifičnu provodnost 10^6 S/m .

OMOV ZAKON ZA DEO KOLA

- **Omov zakon** predstavlja jedan od osnovnih zakona elektrotehnike, koji daje odnos tri tako važne veličine kao što su: *jačina struje*, *napon* i *otpornost provodnika*. Ovde je reč o Omovom zakonu koji se odnosi na spoljašnji deo strujnog kola (u kome se nalazi potrošač otpornosti R).
- Om je 1827. godine eksperimentalno utvrdio da jačina struje raste sa naponom U , ako je otpornost u spoljašnjem delu kola R konstantna. S druge strane, jačina struje (za istu vrednost napona) opada kada otpornost kola raste.
- Otuda se Omov zakon za deo kola (na krajevima potrošača) može napisati u obliku: $I = U/R = G \cdot U \Rightarrow 1 \text{ A} = 1 \text{ V}/1 \text{ } \Omega$.

OMOV ZAKON ZA DEO KOLA

- *Jačina električne struje u nekom delu kola, upravo je srazmerna naponu na krajevima tog dela kola, a obrnuto srazmerna njegovom električnom otporu!*
- *Demonstracioni ogled:* Pri promeni napona, posmatrati intenzitet svetlosti sijalice.
- Kada sijalica jače svetli?
- U kom slučaju ampermetar meri jaču struju?



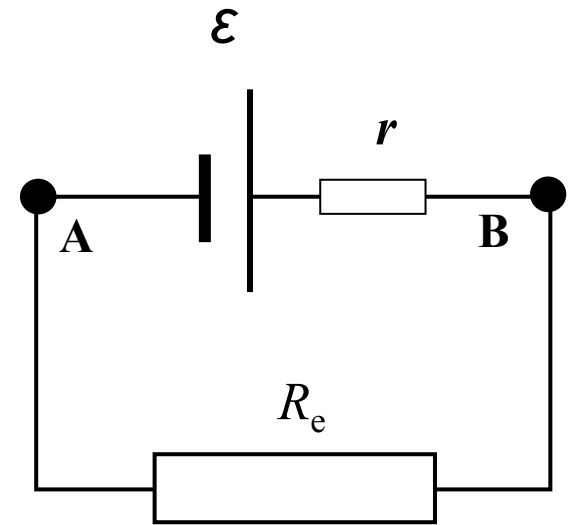
OMOV ZAKON ZA CELO STRUJNO KOLO

- Jačina struje u celom kolu upravo je srazmerna naponu izvora, a obrnuto srazmerna zbiru spoljašnjeg i unutrašnjeg otpora:*

$$I = \frac{\varepsilon}{R_e + r} \Rightarrow IR_e + Ir = \varepsilon \Rightarrow U + Ir = \varepsilon$$

$\varepsilon > U$, r - unutrašnji otpor izvora,

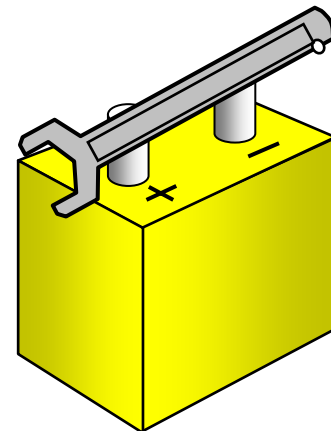
R_e – otpor u spoljašnjem delu kola



KRATKA VEZA ELEKTRIČNOG IZVORA

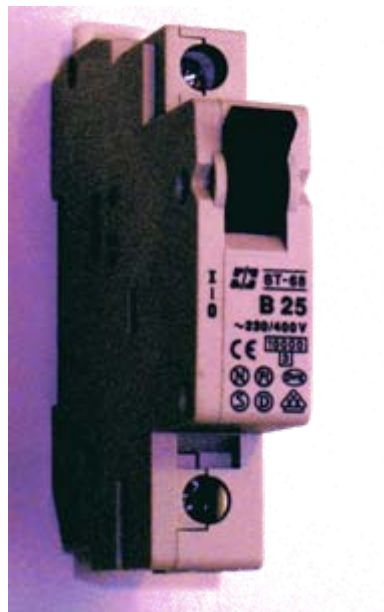
- Ako se krajevi izvora spoje provodnikom malog otpora, dolazi do *kratkoj spoja*. Kratka veza može nastati i na električnoj instalaciji, kada se dodirnu neizolovani ili loše izolovani provodnici.
- U svakom kratkom spoju u električnom kolu nastaje veoma jaka struja. Ona može oštetiti električni izvor, ostale delove električnog kola, a može doći i do paljenja instalacije. Jačina struje kratkog spoja računa se po izrazu:

$$R_e \approx 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r}$$



KRATKA VEZA ELEKTRIČNOG IZVORA

- Da bi se sprečila oštećenja usled kratkog spoja na instalacijama i u električnim uređajima stavljaju se *osigurači*. Pri kratkom spoju oni prekidaju dovod struje.



RAD ELEKTRIČNE STRUJE

- Električna struja pri proticanju kroz provodnik u stanju je da izvrši rad jer poseduje energiju koju emituje generator. Tako, električna struja *zagreva provodnik*, jer savlađuje otpornost koju pruža provodnik. Zatim, električna struja može da *pokreće motor*, bilo da je reč o jednosmernoj ili naizmeničnoj struji, pri čemu dolazi do transformacije električne energije u mehaničku.
- Eksperimentalno je potvrđeno da **rad struje** zavisi od napona otpornika, tj. potrošača, jačine struje i vremena proticanja te struje:

$$A = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t, \text{ (Omov zakon: } U = I \cdot R \text{)}$$

RAD ELEKTRIČNE STRUJE

- Jedinica za rad ili energiju električne struje je *džul* (**J**). On pretstavlja rad struje jačine jednog ampera za vreme jedne sekunde, kada je napon na krajevima provodnika jedan volt.
- U praksi se često koristi *kilovatčas*: $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.
- Ako se proizvod jačine struje i vremena zameni naelektrisanjem koje je prošlo kroz poprečni presek provodnika ($q = I \cdot t$), onda imamo relaciju iz koje se može definisati volt: $A = q \cdot U \Rightarrow U = A/q$ ($1 \text{ V} = 1 \text{ J}/1 \text{ C}$).
- *Napon između dve tačke u provodniku biće od jednog volta, ako je za prenošenje naelektrisanja od jednog kulona potrebno izvršiti rad od jednog džula!*

SNAGA ELEKTRIČNE STRUJE

- Obrazac za *snagu električne struje* se dobija na osnovu opšteg obrasca za snagu ($P = A/t$), gde se zamenjuju relacije za rad struje:

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

- Jedinica za snagu je **v**at (1 W) kao i za druge oblike snage.
- Navedeni obrasci za rad i snagu električne struje važe samo za *stacionarnu struju*. Kada je struja promenljivog intenziteta, onda se iste relacije pišu u diferencijalnom obliku, sa trenutnim vrednostima jačine struje (i) i napona u kolu (u), tj. na potrošaču:

$$dA = iu \cdot dt = i^2 R \cdot dt = \frac{u^2}{R} \cdot dt \Rightarrow p = \frac{dA}{dt} = iu = i^2 R = \frac{u^2}{R}$$

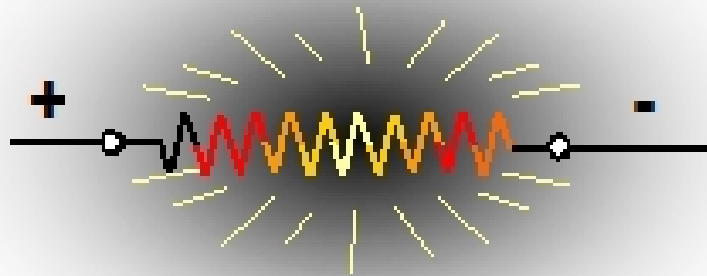
DŽULOV ZAKON

- *Džul* je pre više od 150 godina proučio pretvaranje električnog rada u toplotnu energiju u provodniku, dok kroz provodnik teče električna struja. U tom cilju postavio je izolovani provodnik u običan kalorimetar sa vodom. Zatim je propuštao struju da bi mogao da izmeri proizvedenu količinu toplote koju provodnik otpornosti R predaje vodi u kalorimetru.
- Pri tome je ustanovio da *izvršeni rad*, odnosno *proizvedena količina toplote*, zavisi od otpornosti kola, vremena proticanja struje i kvadrata jačine struje u kolu, odakle imamo obrazac, poznat kao *Džulov zakon*:

$$A = Q = I \cdot U \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

DŽULOV ZAKON

- Na osnovu napred datog, zaključujemo da je Džul dao relaciju koja karakteriše *potpunu i nepovratnu* transformaciju električne energije u toplotnu.
- Reč je, dakle, o *termičkom dejstvu električne struje*, koje ima široku primenu u praksi: termički potrošači u koje spadaju, npr. termičke sijalice, električni štednjaci, grejači u bojlerima za vodu, električna grejna tela, kao i termički osigurači.



REDNA I PARALELNA VEZA OTPORNIKA

- **Redna veza**

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \text{const.}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

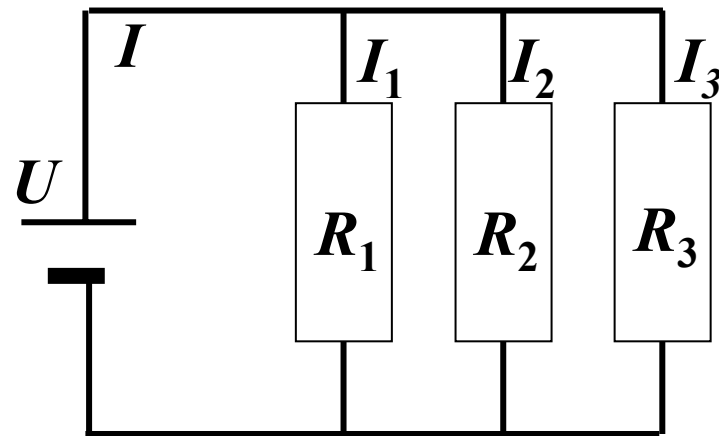
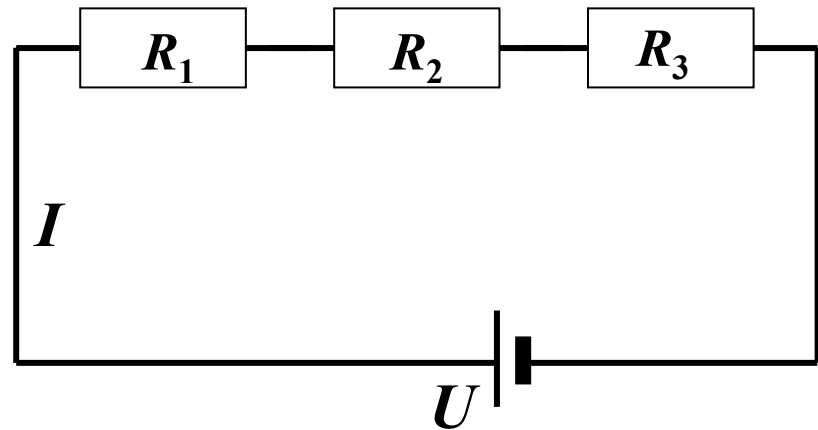
$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

- **Paralelna veza**

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



KIRHOFOVA PRAVILA

- *Razgranata* ili *složena strujna kola* imamo u slučajevima kada se prijemnici (potrošači) vezuju paralelno. U takvim kolima struje po granama su u opštem slučaju različite. Pored toga potrošači, odnosno otpornici, rade nezavisno jedan od drugog, što je od posebnog značaja za električnu mrežu.
- Za takva složena kola *Kirhof* je dao svoja dva poznata pravila ili zakona. Prvi se odnosi na čvor, a drugi na zatvoreno strujno kolo.
- *Prvi Kirhofov zakon kaže da je algebarski zbir struja u granama jednog čvora uvek jednak nuli.*
- Jačina struje I koja ulazi u čvor (vidi sliku) jednaka je zbiru onih struja koje iz istog čvora ističu: $I = I_1 + I_2$.

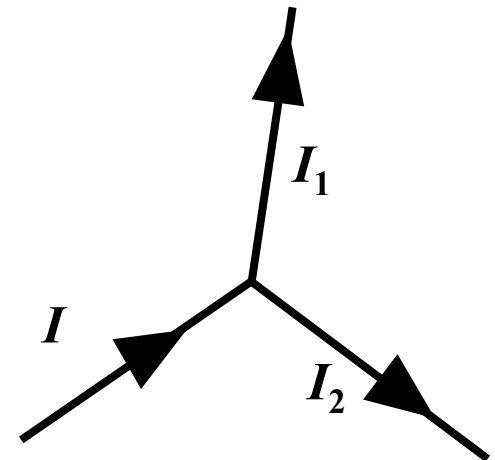
KIRHOFOVA PRAVILA

- Ako se svi članovi sa desne strane prebace na levu dobićemo:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

- Odavde se vidi da je sa pozitivnim znakom uzeta ona struja koja pritiče, a sa negativnim znakom one struje koje otiču iz čvora. Ako uzmemo broj grana n jednog čvora, dobićemo opšti obrazac za prvi Kirhofov zakon:

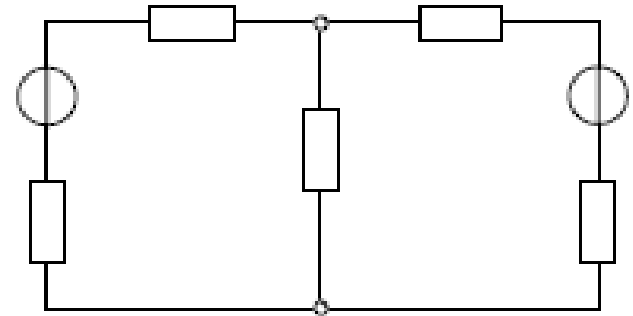
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$



KIRHOFOVA PRAVILA

- **Drugi Kirhofov zakon** se odnosi na zatvoreno strujno kolo u kome se nalazi jedan ili više generatora i otpora.
- Proizvodi jačine struje i otpora u pojedinim granama koji daju njihove napone, zovu se *elektrootporne sile*. **Drugi Kirhofov zakon kaže da za zatvoreno strujno kolo zbir elektromotornih i elektrootpornih sila mora da bude jednak nuli.** Ovaj algebarski zbir se formira prema proizvoljno izabranom referentnom smeru duž zatvorenog puta (unutar jedne konture složenog strujnog kola) i simbolički se označava kao:

$$\sum_j \varepsilon_j - \sum_i I_i \cdot R_i = 0$$



KIRHOFOVA PRAVILA

- U specijalnom slučaju, kada u zatvorenom kolu nema generatora, Kirhofov zakon svodi se na algebarski zbir elektrootpornih sila:

$$\sum_i I_i \cdot R_i = 0$$

- Kirhof je dao svoje zakone pošto je uvideo da je za dati raspored elektromotornih sila u kolu, moguća samo jedna raspodela struje po granama, pod uslovom da za svaki čvor važi zakon kontinuiteta.
- Pored toga, neophodan je i uslov da je u zatvorenom strujnom kolu postignuta elektrodinamička ravnoteža.

MEHANIZAM PROVOĐENJA STRUJE

- Provodnici se dele u dve grupe: *provodnike prve vrste* - elektronske provodnike (metali, njihove legure i poluprovodnici) i *provodnike druge vrste* - jonske provodnike (elektroliti i jonizovani gasovi).
- U *metalima* ima neutralnih atoma, pozitivnih jona i slobodnih elektrona. Pozitivni joni su posledica odvajanja elektrona od matičnih atoma.
- Kretanje elektrona unutar, recimo, provodne žice je haotično, nastalo usled temperature samog metala, sve dok žicu ne vežemo za generator i potrošač, kada se zatvara strujno kolo.
- Tada se u žici javlja električno polje (E), koje deluje na slobodne elektrone.

MEHANIZAM PROVOĐENJA STRUJE

- S obzirom da su elektroni negativno naelektrisani, kreću se suprotno od smera dejstva polja, sudarajući se sa atomima i jonima u žici. Brzina kretanja elektrona srazmerna je jačini polja unutar žice, pa imamo relaciju:

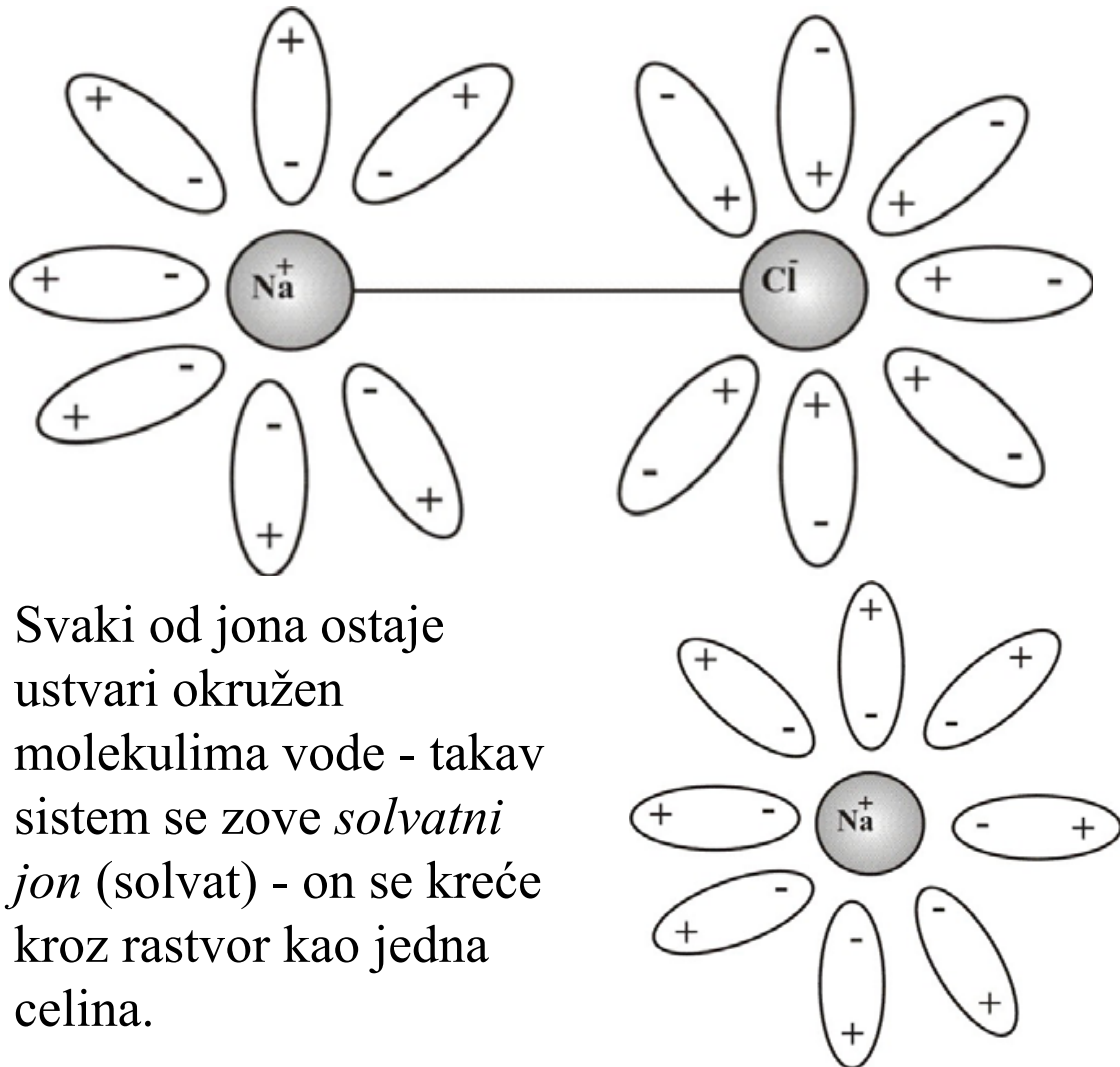
$$v = \mu \cdot E$$

- Koeficijent pokretljivosti elektrona (μ) zavisi od prirode metala, kao i od temperature koju metal ima.
- Naime, *koeficijent pokretljivosti opada kod svih metala sa porastom temperature, što je sasvim logično s obzirom da je kretanje atoma i jona jače, odnosno amplitude su im veće pri oscilovanju oko svojih ravnotežnih položaja!*

ELEKTRIČNA STRUJA U TEČNOSTIMA

- Tečnosti - čiste (voda, alkohol, ulja, ...), ne provode struju.
- Ako se rastvori neka *kiselina*, *baza* ili *so*, relativno dobro provode električnu struju - rastvori elektrolita (provodnici II vrste)
- Provode jer imaju “+” i “-” jone - nastaju elektrolitičkom disocijacijom.
- *Razlaganje molekula rastvorene supstance na pozitivne i negativne jone zove se **elektrolitička disocijacija**.*

ELEKTRIČNA STRUJA U TEČNOSTIMA



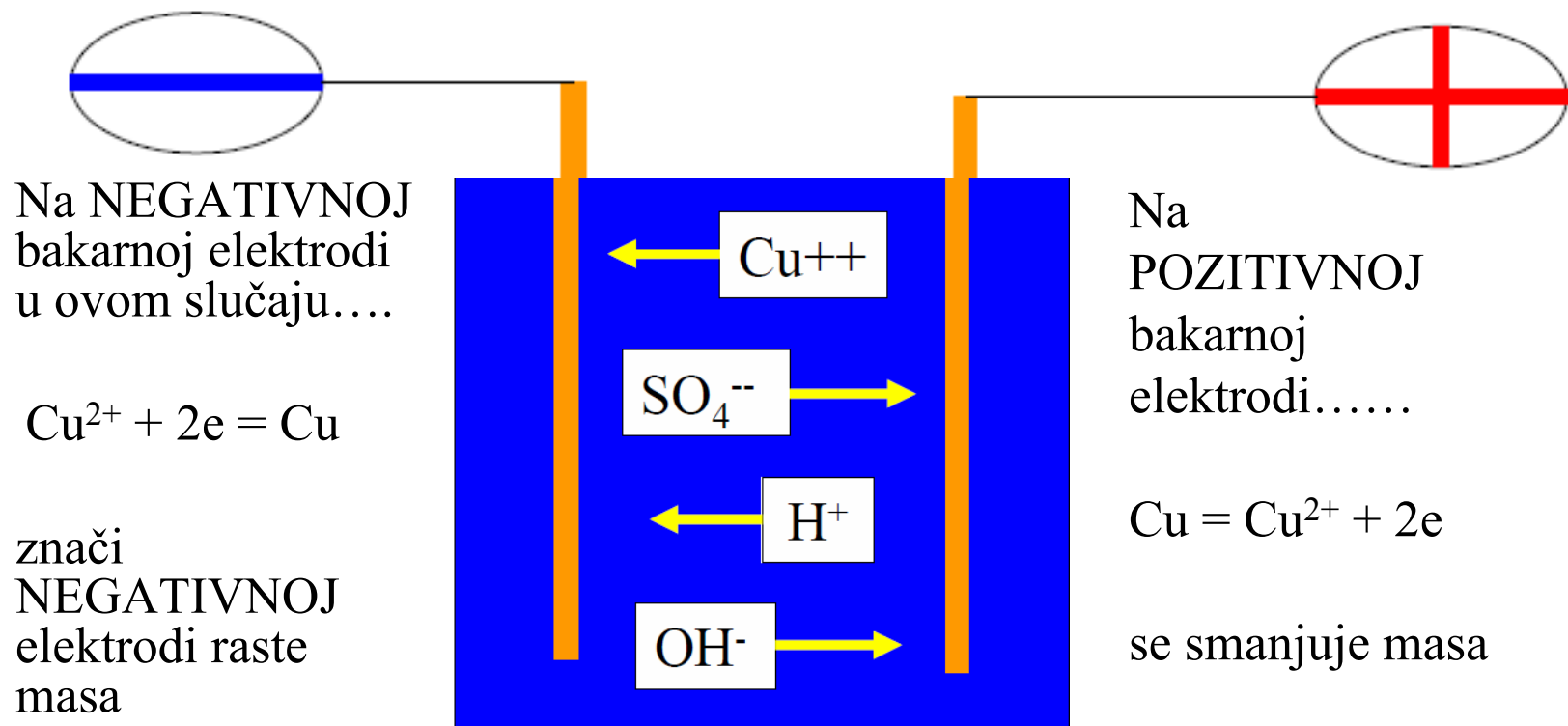
U rastvoru molekuli vode (imaju relativno veliki dipolni momenat) okružuju molekul soli i deluju privlačnim silama na konstituente i raskidaju njihovu vezu.

Svaki od jona ostaje ustvari okružen molekulima vode - takav sistem se zove *solvatni jon* (solvat) - on se kreće kroz rastvor kao jedna celina.

ELEKTRIČNA STRUJA U TEČNOSTIMA

- Ako nema spoljašnjeg polja u elektrolitu nema struje - joni se haotično kreću.
- Da bi se uspostavila struja potapaju se 2 elektrode (metalne ili ugljenične) u elektrolit i spoljašnjim provodnicima povezuju za izvor jednosmerne struje.
- **Pozitivni joni (katjoni)** se u tom slučaju kreću ka katodi, a **negativni (anjoni)** kao anodi.
- Kada stignu na nju, svaki će ili otpustiti suvišne elektrone ili primiti elektrone koji mu nedostaju i postati neutralan.
- Izdvajanje komponenti rastvorene supstancije na elektrodama pri proticanju električne struje zove se **elektroliza** (otkrivena početkom 19. veka).

ELEKTROLIZA BAKAR (II) SULFATA



ELEKTROLIZA BAKAR (II) SULFATA

- *Elektrolitički čist bakar* dobija se tako što se za anodu uzme bakar u sirovom stanju, a za katodu - elektrolitički čista folija tog metala. Kao elektrolit mora da bude rastvor bakar (II) sulfata.
- Joni bakra kreću se prema katodi (vidi sliku), uzmu dva elektrona, neutrališu se i lepe za katodu, jer kao neutralni nisu više interesantni za električno polje.
- Prema anodi kreće se SO_4^{2-} jon, koji predaje svoja dva elektrona anodi i vezuje se za atom bakra gradeći pri tome bakar (II) sulfat. Zatim se CuSO_4 odvaja od anode i odlazi u rastvor, gde se disosuje na jone. Cu^{2+} jon se kreće prema katodi, a drugi SO_4^{2-} jon vraća se na anodu za novu »žrtvu«, sve dok na anodi ima metala.

FARADEJEVI ZAKONI ELEKTROLIZE

- Pojavu elektrolize kvantitativno je prvi proučio Faradej 1834. godine i eksperimentalnim putem utvrdio dva zakona koji su danas poznati pod imenom *Faradejevi zakoni elektrolize*.
- Prvi Faradejev zakon elektrolize kaže da je masa metala, ili uopšte elementa, koji se taloži na katodi pri proticanju struje, upravo srazmerna jačini struje i vremenu proticanja, tj.:

$$m = k \cdot I \cdot t = k \cdot q$$

- Konstanta proporcionalnosti (k) zove se elektrohemijski ekvivalent, koji je brojno jednak nataloženoj masi na katodi pri proticanju struje od jednog ampera za jednu sekundu.
- Jedinica za elektrohemijski ekvivalent u SI - sistemu je *kilogram po kulonu* (kg/C).

FARADEJEVI ZAKONI ELEKTROLIZE

- Međutim, to je neverovatno velika jedinica i prema tome neadekvatna, pa se u praksi koristi milion puta manja jedinica: *miligram po kulonu (mg/C)*.
- *Drugi zakon elektrolize kaže da su elektrohemijski ekvivalenti upravo srazmerni hemijskim ekvivalentima, kada je reč o različitim supstancijama:*

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z}, \text{ gde je } A \text{ - atomska masa elementa,}$$

a z - njegova valenca

- *Jedan Faradej $1 F = 96\,500 C$ je brojno jednak količini elektriciteta koja pri prolazu kroz elektrolit izdvoji na katodi gram-ekvivalent datog elementa.*

FARADEJEVI ZAKONI ELEKTROLIZE

- Kada se tako definisan obrazac za elektrohemijski ekvivalent unese u jednačinu za prvi zakon elektrolize, dobiće se relacija u kojoj su sadržana oba zakona elektrolize:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot q = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot I \cdot t$$

- Zakoni elektrolize su nastali u vreme kada se vrlo malo znalo o električnim strujama, a vrlo uspešno se tumače savremenom elektronskom teorijom.
- Zbog toga, *Faradejevi zakoni elektrolize spadaju u grupu fundamentalnih zakona prirode!*

PRIMENE ELEKTROLIZE

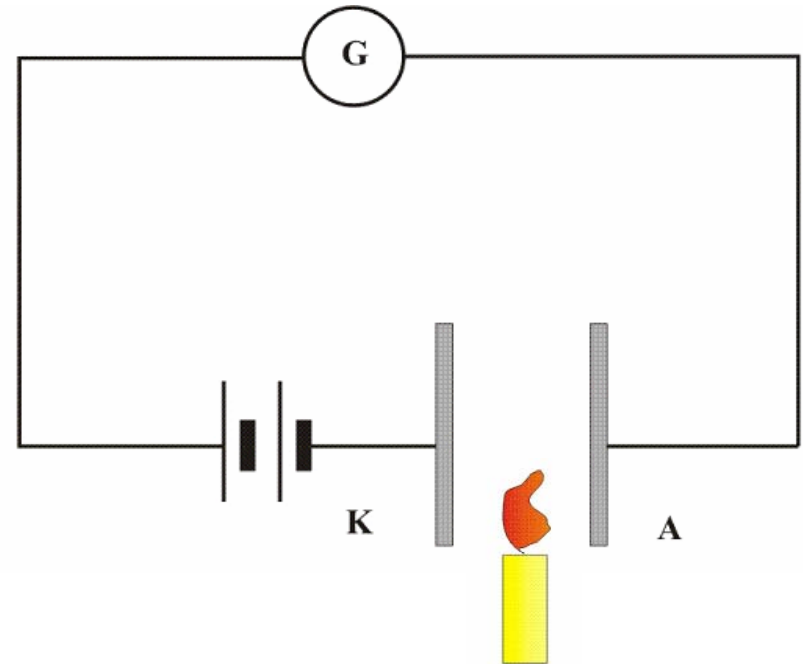
- Prečišćavanje bakra (za dobijanje bakarnih kablova za provođenje struje).
- Dobijanje bakra elektrolizom rastvora bakar sulfata, dobijanje aluminijuma elektrolizom rastvora soli koje sadrže ovaj element, dobijanje srebra, zlata i sl.
- Prevlačenje predmeta tankim slojem metala (niklovanje, hromiranje, pozlaćivanje, ...). Predmet se potopi kao katoda u odgovarajući rastvor i na njemu se lagano nataloži željeni metal iz rastvora.
- *Galvanoplastika*: Dobijanje reljefnih otisaka (bakroreza npr.). Predmet čiji otisak treba da se dobije pospe se grafitnim prahom (grafit je provodnik) i postavi u rastvor kao katoda. Na njemu se nataloži sloj metala koji će posle elektrolize imati odgovarajući reljefni oblik (biće “negativ - kopija”), ...

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Gasovi su izolatori: ne provode struju jer su sastavljeni od neutralnih molekula/atoma.
- U određenim uslovima postaju provodnici: uz neutralne molekule se pojave slobodni elektroni i joni - procesom jonizacije.
- *Jonizacija - proces odvajanja elektrona od atoma.*
- Suprotan proces - rekombinacija.
- *Električna struja može da teče samo kroz jonizovane gasove.*
- Za jonizaciju mora da se uloži određena energija - mora da postoji neko spoljašnje delovanje: toplota, ultraljubičasto zračenje, rendgensko zračenje, radioaktivno zračenje, ...

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Galvanometar ne registruje struju u kolu jer je gas izolator.
- Plamen sveće jonizuje gas pa se pojavljuje struja.
- Kada se skloni plamen sveće struja nakon nekog vremena opet pada na nulu.
- Gas je, dakle, postao provodan pod dejstvom spoljašnjeg jonizatora.

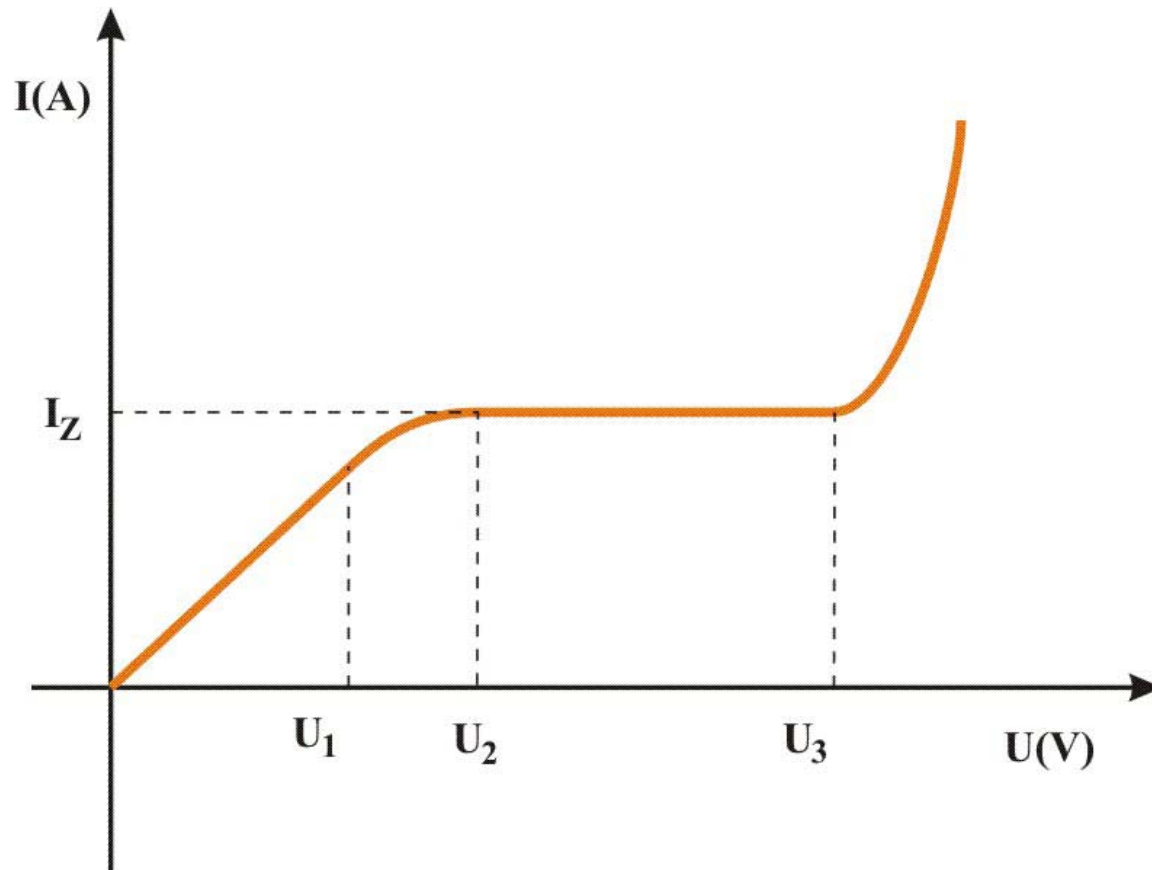


ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Proces proticanja struje kroz gasove se zove *električno pražnjenje*.
- Električna provodnost gasa izazvana delovanjem spoljašnjeg jonizatora (plamen, zračenje,... - zove se *nesamostalna provodljivost*.
- Proces proticanja struje kroz gas u prisustvu spoljašnjeg jonizatora zove se *nesamostalno pražnjenje*.

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Jačina struje nesamostalnog pražnjenja zavisi od napona između elektroda. Grafik zavisnosti ima 4 oblasti:



ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Pri malim naponima (manjim od U_1) jačina struje je linearna funkcija napona. Pri malim naponima za gasove važi Ohmov zakon!
- Za neke vrednosti napona struja nije više linearna funkcija napona već raste sporije od napona.
- Od neke vrednosti napona jačina struje je konstantna iako se napon i dalje menja. To je struja zasićenja - saturacije I_z .
- Ako je napon veći od neke vrednosti (U_3) jačina struje naglo poraste i raste brže od napona među elektrodama - udarna jonizacija.

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Oblast 1: Broj jona koji su nastali jonizacijom ima određenu vrednost. Povećanjem napona sve veći i veći broj tih jona učestvuje u provođenju, tj. stiže na elektrode - linearna zavisnost struje od napona.
- Oblast 2: Smanjenje struje izazvano smanjenjem broja slobodnih nosilaca naelektrisanja - utiče proces rekombinacije.
- Oblast 3 - *zasićenje*. Svi joni nastali jonizovanjem učestvuju u provođenju i ne stižu da se rekombinuju, jer je napon dovoljno veliki.

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Oblast 4 - *udarna jonizacija*: u dovoljno jakom električnom polju primarni elektroni (nastali prvobitnom jonizacijom) imaju tako velike kinetičke energije da mogu jonizovati molekul pri sudaru.
- Tako dobijeni (novi) sekundarni elektroni se takođe ubrzavaju u istom polju, pa i oni mogu da jonizuju molekule - stvara se lavina nosilaca struje i znatno se povećava provodljivost gasa.
- Ako se ukine jonizator - ova struja *prestaje* - reč je i dalje o nesamostalnom pražnjenju!

ELEKTRIČNA STRUJA U GASOVIMA

- Na elektrode stiže mnogo veći broj jona nego što je slučaj sa primarnim jonima (čitava lavina), pa struja naglo raste. Tada kažemo da je nastupilo *disruptivno pražnjenje*, kada se javlja varnica.
- Odatle postaje očigledno da je varnica vezana za pojavu udarne jonizacije, što je slučaj sa munjom, varnicom kod Voltinog luka i slično.
- Primera radi, za vazduh pod normalnim uslovima za udarnu jonizaciju je potreban napon od oko 30 000 V na putu od jednog centimetra.

SAMOSTALNO PRAŽNENJE

- *Ako nosioci struje nastaju u procesima izazvanim delovanjem električnog polja u gasu, provodljivost se zove samostalna provodljivost.*
- U tom slučaju je spoljašnji jonizator nepotreban.
- *Proticanje električne struje kroz gas bez delovanja spoljašnjeg jonizatora zove se samostalno pražnjenje.*
- Moguće je ako se u gasu stalno odigravaju procesi u kojima nastaju nosioci struje.
Npr. iz katode mogu da se izbijaju nosioci usled:
 - zagrevanja katode,
 - kada joni pri udaru izbijaju elektrone,
 - kada jako električno polje počne da “čupa” elektrone, ...

POLUPROVODNICI

- *Poluprovodnici* predstavljaju specifičnu grupu materijala koji nisu dobri provodnici električne struje, niti su, pak, dobri izolatori. Njihova specifična otpornost se kreće u granicama od 10^{-4} - 10^8 Ωm .
- Grupu poluprovodnika čine silicijum, germanijum, bor, telur, selen, sulfidi bakra, srebra, olova, kadmijuma, a zatim legure antimona sa cinkom, germanijumom i drugi materijali.
- Tipični materijali od kojih se danas proizvode poluprovodnici za elektrotehniku i radiotehniku, jesu *silicijum* i *germanijum*.
- Iz tog razloga ćemo upoznati neka osnovna svojstva ta dva elementa.

POLUPROVODNICI

- Čist germanijum je praktično izolator, što znači da ne provodi električnu struju. Svaki atom germanijuma je u kristalnoj rešetci kovalentno vezan za četiri susedna atoma.
- Međutim, kada se u germanijumov kristal unese *fosfor* ili *arsen* u vidu primesa, on postaje poluprovodnik. To znači da će struji pružiti manji otpor nego izolator.
- Atomi fosfora ili arsena se razlikuju od atoma germanijuma po tome što imaju 5 valentnih elektrona, a germanijum 4. zato atom fosfora ili arsena ostaje sa jednom slobodnom vezom, tj. jednim elektronom koji se odvaja od atoma i slobodno se kreće u kristalu germanijuma.

POLUPROVODNICI

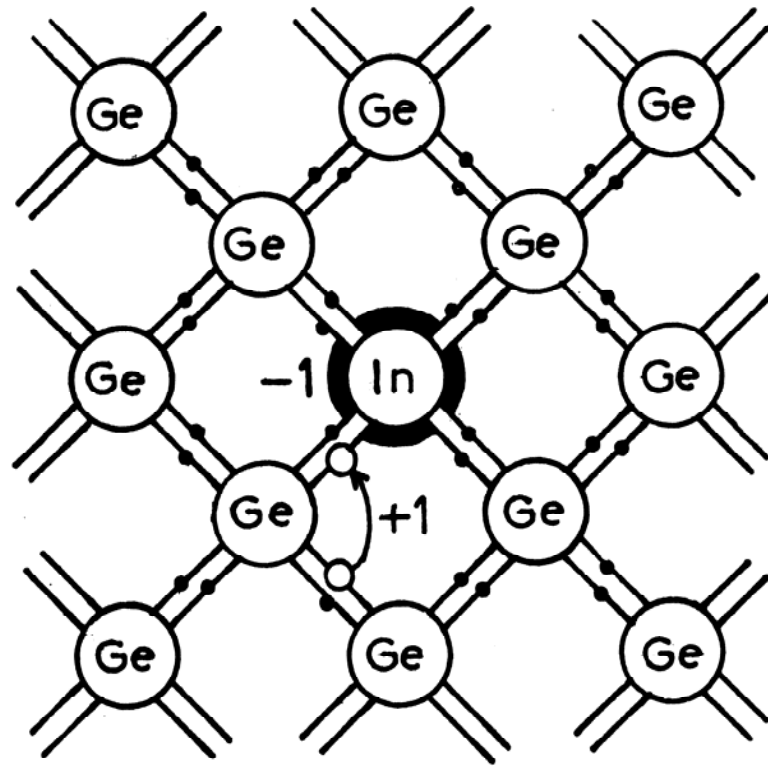
- Pošto se to dešava sa svim atomima primese, očigledno je da će u kristalu biti onoliko slobodnih elektrona koliko ima i samih atoma fosfora ili arsena. Zato takav kristal germanijuma ima u većini negativne nosioce naelektrisanja - elektrone - pa se zove **poluprovodnik *n*-tipa**.
- Provodljivost poluprovodnika izazvana dopiranjem primesama naziva se ***primesna provodljivost***.
- Primeše koje unošenjem u poluprovodnik povećavaju broj slobodnih elektrona nazivaju se ***donori***.

POLUPROVODNICI

- Germanijum može da postane i poluprovodnik *p*-tipa, ako se kao primesa doda malo *bora*, *indijuma* ili *galijuma*. Takvi atomi imaju tri valentna elektrona, što znači da imaju manje za jedan od atoma germanijuma.
- Zbog toga atom primese uzme jedan elektron od susednog atoma germanijuma tako da se u susedstvu pojavljuje tzv. pozitivna »šupljina«.
- Tih šupljina ima onoliko koliko ima i atoma primese, s obzirom da svaki atom primese uzima elektrone od susednog germanijuma. Primeše koje unošenjem u poluprovodnik povećavaju broj šupljina zovu se *akceptori*.
- Šupljine se ponašaju kao pozitivni nosioci naelektrisanja zbog čega se takav kristal zove **poluprovodnik *p*-tipa**.

POLUPROVODNICI

- Ako se kao primesa u kristalnu rešetku germanijuma doda malo *indijuma* nastaje poluprovodnik *p*-tipa:



POLUPROVODNICI

- Mehanizam provođenja struje kroz poluprovodnike može se objasniti pomoću tzv. pozitivnih »šupljina« i negativnih elektrona.
- Naime, elektroni se kreću suprotno od smera dejstva električnog polja. Nasuprot tome, šupljine se kreću u smeru dejstva polja.
- Proces provođenja struje se, praktično svodi na kretanja elektrona koji za sobom ostavljaju pozitivne šupljine. Te nove šupljine neutrališu novi elektroni, pa ispada da se i šupljine »kreću«.
- Primena poluprovodnika je veoma velika bilo da se radi o poluprovodničkim diodama, tranzistorima ili fotoelementima!

DIELEKTRICI

- *Dielektrici* ili *električni izolatori* imaju danas veliku primenu u elektronici, kao što je izolovanje provodnika, žica, delova električnih mašina i brojni drugi primeri.
- Iz tog razloga ćemo proučiti neka osnovna svojstva ovih materijala.
- *Pod dielektricima se podrazumevaju materijali koji faktički na sadrže slobodne elektrone i jone što je inače slučaj kod metalnih provodnika i poluprovodnika.*
- *Vakuum* se ponaša kao idealan dielektrik jer nema ni molekule, ni jone, niti pak elektrone. Pored ovog imamo brojne dielektrike koji se grubo mogu podeliti na dobre i loše izolatore.

DIELEKTRICI

- Primera radi, navedimo da u dobre izolatore spadaju: *porculan, liskun, razne vrste stakla, guma, razne vrste ulja, parafin, neki sintetički materijali* i drugi.
- Električna provodnost dielektrika, zavisi od brojnih faktora, a posebno od napona kondenzatora između čijih se ploča nalazi odgovarajući dielektrik. Zbog toga, Omov zakon ne važi za dielektrike (slično kod provođenja struje u gasovima!). Kod sintetičkih materijala provodnost može u mnogome da se menja.
- Provodnost dielektrika, a to znači i njegova otpornost, veoma mnogo zavisi od stranih primesa u dielektriku i to kako od vrste primesa, tako i od procenta učešća takvih »nečistoća«.
- Primesa od samo 1% u nekom dielektriku može da poveća provodnost, tj. da smanji specifičnu otpornost i za nekoliko stotina puta.

DIELEKTRICI

- Specifična otpornost zavisi i od temperature, tako što se sa porastom temperature otpornost smanjuje, a to je od posebnog značaja za probojnost datog dielektrika.
- Probojnost dielektrika je jedno od najvažnijih svojstava izolatorskog materijala s obzirom na njihovu primenu u elektronici.
- Do proboja dielektrika dolazi pri povišenju napona do neke vrdnosti koja je kritična za dati dielektrik (U_k). Tada dolazi do naglog pada otpornosti, što u izvesnom smislu znači »kratki spoj«.
- Za pločasti kondenzator probojnost se daje količnikom kritičnog napona i debljine između ploča:

$$E_k = \frac{U_k}{d}$$

DIELEKTRICI

- Navedeni količnik ima dimenzije jačine električnog polja, jer se meri kilovoltima po centimetru, pa se E_k zove još i *električna čvrstina* ili *električna izdržljivost dielektrika*.
- Probojni napon zavisi pre svega od vrste dielektrika, a za jedan isti dielektrik zavisi od temperature, dimenzija i oblika dielektrika.
- Probojni napon nije srazmeran debljini dielektrika (što proističe iz prethodne formule), već raste sporije nego debljina - što pokazuju brojni primeri u praksi.
- Objašnjenje probijanja dielektrika: *Pri visokim naponima električno polje postaje tako jako da se javlja jonizacija kada otpornost naglo padne i praktično prođe varnica, tj. lavina jonova kojom se dielektrik probije.*