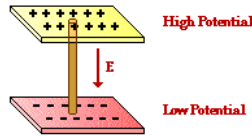


Električne struje

- ◆ Električna struja (AP247-252)
- ◆ Elektromotorna sila (AP252-253)
- ◆ Omov zakon za deo provodnika i otpor provodnika (AP253-261)
- ◆ Omov zakon za prosto električno kolo (AP261-263)
- ◆ Kirhofova pravila (AP263-266)
- ◆ Vezivanje otpornika (AP266-267)
- ◆ Rad, snaga i toplotno dejstvo električne struje (AP268-269)

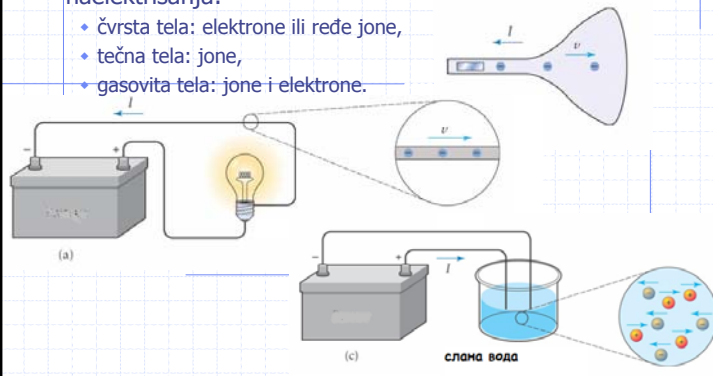


Električne struje

- ◆ Električna struja.
 - Usmereno kretanje naelektrisanja generiše električnu struju.
 - Neophodni uslovi za nastanje električne struje:
 - ♦ postojanje slobodnih nosioca naelektrisanja;
 - ♦ postojanje električnog polja koje usmerava slobodne nosioce naelektrisanja koji se inače nalaze u haotičnom kretanju.

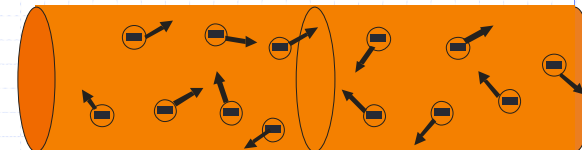
Električne struje

- ◆ Električna struja.
 - Svi materijali u većoj ili manjoj meri sadrže slobodne nosioce naelektrisanja:
 - ♦ čvrsta tela: elektrone ili ređe jone,
 - ♦ tečna tela: jone,
 - ♦ gasovita tela: jone i elektrone.



Električne struje

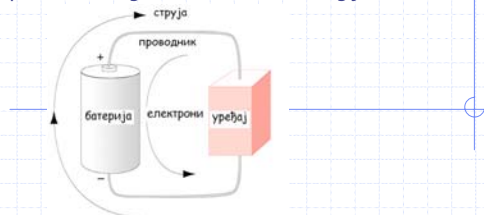
- ◆ Električna struja.
 - Materijali se dele na:
 - ♦ provodnike - koncentracija slobodnih nosioca naelektrisanja 10^{22} cm^{-3} ;
 - ♦ poluprovodnike - koncentracija $10^8 - 10^{21} \text{ cm}^{-3}$;
 - ♦ izolatori - koncentracija manja od 10^7 cm^{-3} .
 - Slobodni nosioci se kreću u materijalu haotično kada nema električnog polja - slično molekulima u gasu.



Električne struje

◆ Električna struja.

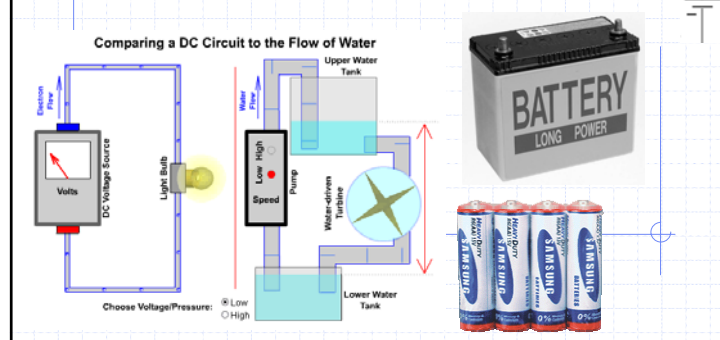
- Kada se provodnik unese u električno polje:
 - ♦ dolazi do razdvajanja naelektrisanja i usmerenog kretanja naelektrisanja;
 - ♦ nastaje električna struja koja kratko traje.
- Da bi struja bila trajnog karaktera neophodno je da:
 - ♦ postoji provodna sredina;
 - ♦ postoji stalno električno polje, odnosno potencijalna razlika koja se ostvaruje pomoću nekog izvora električne energije.



Električne struje

◆ Električna struja.

- Izvori jednosmerne struje imaju pozitivan i negativan kraj.
- Simbol za električne izvore sa jednosmernim naponom:
- Analogija sa protokom vode:



Električne struje

◆ Električna struja.

- Jačina električne struje definiše količinu naelektrisanja koja po jedinici vremena prođe kroz poprečni presek provodnika.

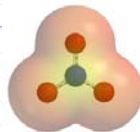
$$i = \frac{dQ}{dt} \left[\frac{C}{s} = A \right]$$

- Za stacionaran protok naelektrisanja, jačina električne struje je konstantna.

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

- Električna struja može nastati usled kretanja negativnih i pozitivnih nosioca naelektrisanja (kretanje jona):

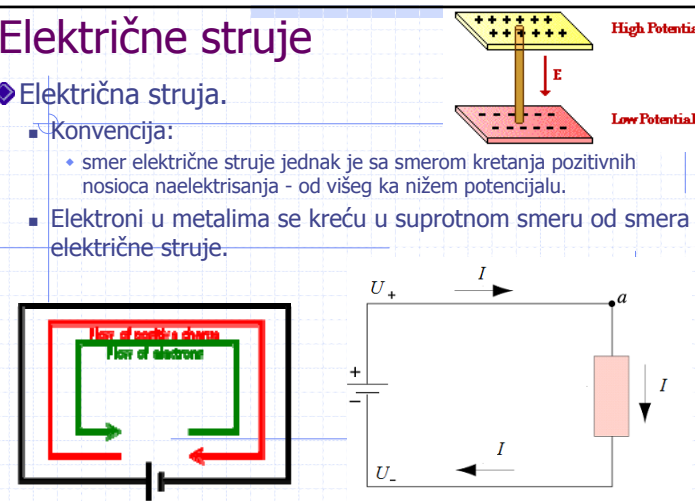
$$I = \frac{Q^+}{t} + \frac{Q^-}{t}$$



Električne struje

◆ Električna struja.

- Konvencija:
 - ♦ smer električne struje jednak je sa smerom kretanja pozitivnih nosioca naelektrisanja - od višeg ka nižem potencijalu.
 - ♦ Elektroni u metalima se kreću u suprotnom smeru od smera električne struje.



Električne struje

◆ Električna struja.

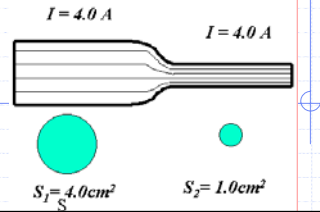
- Gustina struje se definiše kao jačina struje po jedinici površine poprečnog preseka provodnika:

$$j = \frac{di}{ds}$$

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

- Gustina struje je vektorska veličina:

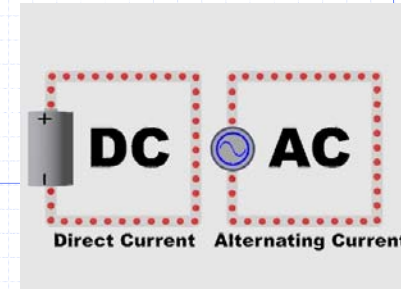
$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{s}$$



Električne struje

◆ Električna struja.

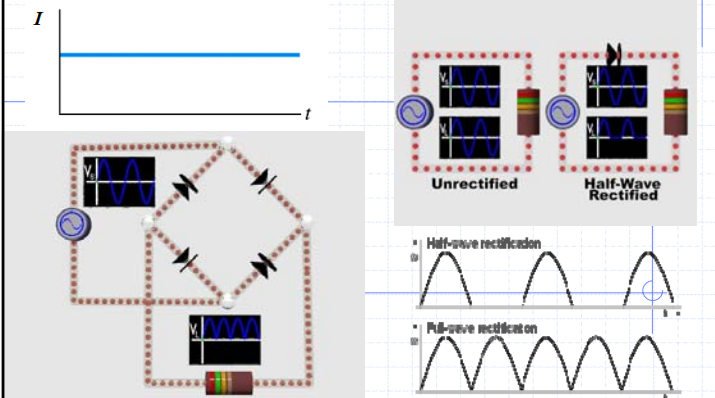
- Ako se nosioci naelektrisanja kreću u jednom smeru struja je jednosmerna i ne menja smer.
- Ako se nosioci naelektrisanja kreću u oba smera struja je naizmenična i menja smer kao posledica promene smera električnog polja.



Električne struje

◆ Električna struja.

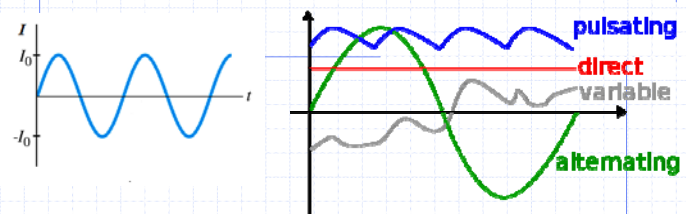
- Jednosmerna struja može biti konstantna ili promenljiva.



Električne struje

◆ Električna struja.

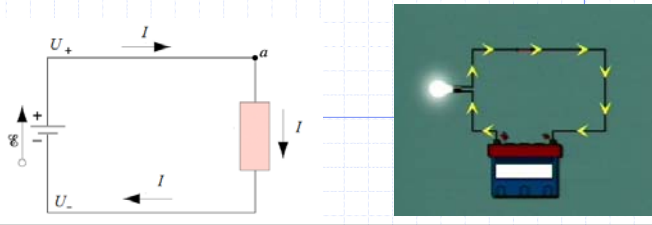
- Naizmenična struja može imati proizvoljan periodičan oblik ili sinusni oblik.



Električne struje

◆ Elektromotorna sila.

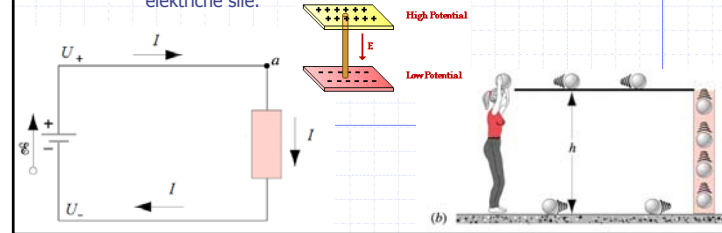
- Zatvoreno strujno kolo se sastoji od izvora električne energije i spoljašnjeg dela kola.
- Izvor sadrži jedan pol na višem potencijalu a drugi na nižem.
- U strujnom kolu nema nagomilavanja naelektrisanja:
 - ♦ ista količina naelektrisanja prođe kroz svaki presek spoljašnjeg kola i između polova električnog izvora.



Električne struje

◆ Elektromotorna sila.

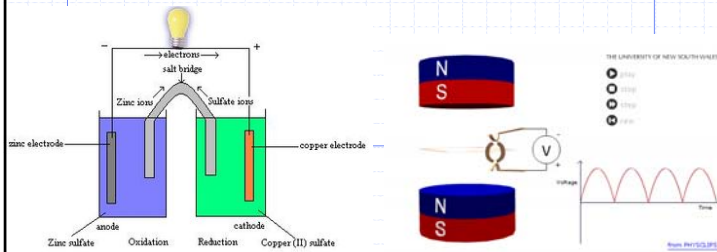
- Pozitivni nosioci naelektrisanja definišu smer struje:
 - ♦ u spoljašnjem delu kola pod dejstvom električnog polja se kreću od pozitivnog ka negativnom polu;
 - ♦ unutar električnog izvora se kreću od negativnog ka pozitivnom polu izvora
 - suprotno dejstvu sile električnog polja (qE);
 - potrebno je uložiti rad za kretanje naelektrisanja suprotno dejstvu električne sile.



Električne struje

◆ Elektromotorna sila.

- Uređaji kod kojih se neelektrična energija pretvara u električnu nazivaju se izvori elektromotorne sile (EMF) ili električni izvori.
 - ♦ akumulatori - hemijsku energiju pretvaraju u električnu,
 - ♦ elektrogeneratori - mehaničku energiju pretvaraju u električnu.



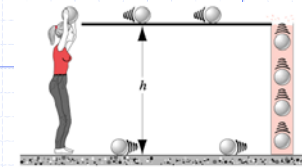
Električne struje

◆ Elektromotorna sila.

- Elektromotorna sila se definiše kao rad utrošen po jedinici naelektrisanja koje prolazi kroz poprečni presek u električnom izvoru.

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \left[\frac{J}{C} = V \right]$$

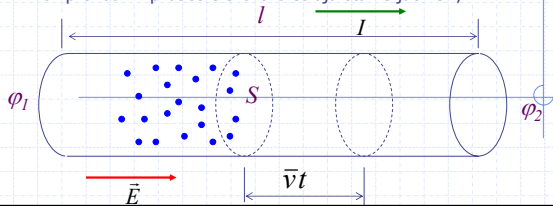
- Elektromotorna sila nije sila.
- Određuje se kao razlika potencijala između polova neopterećenog električnog izvora kroz koji ne protiče električna struja.



Električne struje

◆ Omov zakon za deo provodnika.

- Odsečak homogenog cilindričnog provodnika dužine l i poprečnog preseka S :
 - Na krajevima provodnika postoji stalna razlika potencijala: $U = \varphi_1 - \varphi_2$
 - jačina električnog polja je konstantna; $E = U/l$
 - slobodni nosioci naelektrisanja se kreću usmereno pod dejstvom polja u smeru polja konstantnom brzinom koja je srazmerna jačini električnog polja: $\vec{v} = \mu E$ μ - pokretljivost nosioca naelektrisanja
 - nosioci naelektrisanja za Δt pređu rastojanje $v\Delta t$
 - kroz provodnik protiče električna struja stalne jačine I ;



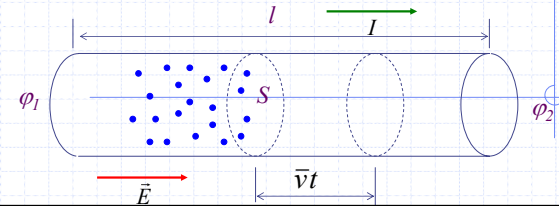
Električne struje

◆ Omov zakon za deo provodnika.

- zapremina provodnika između dva poprečna preseka $S\vec{v}\Delta t$
- broj slobodnih naelektrisanja između dva poprečna preseka $\Delta n = nS\vec{v}\Delta t$ n - ukupan broj slobodnih nosioca u provodniku
- ukupno naelektrisanje u delu provodnika:

$$\Delta Q = q\Delta n = qnS\vec{v}\Delta t$$

- kroz deo provodnika protiče struja: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qnS\vec{v}$



Električne struje

◆ Omov zakon za deo provodnika.

- Izraz za jačinu električne struje se može napisati:

$$I = qnS\mu \frac{U}{l} = qn\mu S \frac{U}{l} = \sigma S \frac{U}{l} = \frac{U}{l} = \frac{\rho l}{\sigma S} \quad \begin{matrix} E = U/l \\ \vec{v} = \mu E \end{matrix}$$

$\sigma = qn\mu$ električna provodljivost materijala

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ specifični otpor materijala

- Električni otpor homogenog provodnika:

- zavisi od prirode materijala,
- dužine provodnika,
- poprečnog preseka.

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

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qnS\vec{v}$$

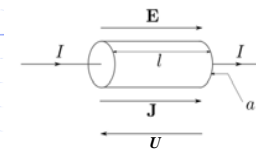
Električne struje

◆ Omov zakon za deo provodnika.

- Omov zakon:

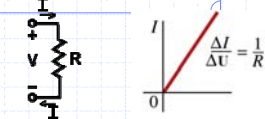
- jačina električne struje koja prolazi kroz neki provodnik srazmerna je naponu na krajevima tog provodnika i obrnuto srazmerna njegovom otporu

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



$$U = R \cdot I$$

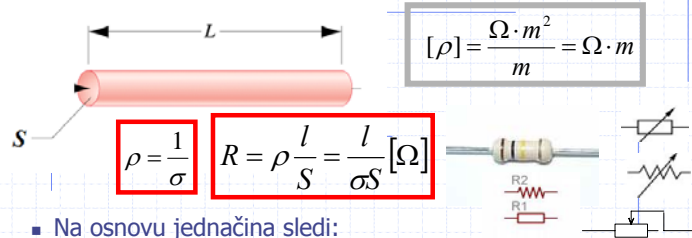
Pad napona na otporu kroz koji protiče struja.



Električne struje

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

◆ Električni otpor provodnika.



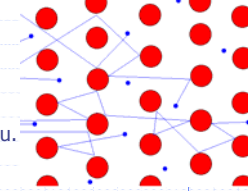
■ Na osnovu jednačina sledi:

- Materijal je bolji provodnik kada mu je električna provodljivost veća, odnosno specifični otpor manji.
- Provodnik ima otpor od 1Ω ako kroz njega protiče struja od 1 A kada je na njegovim krajevima napon 1 V .
- Specifična otpornost provodnika brojno je jednaka otpornosti koju struju pruža provodnik dužine 1 m sa poprečnim presekom 1 m^2 .

Električne struje

◆ Električni otpor provodnika.

- Otpornost metala se javlja usled sudara slobodnih nosioca naelektrisanja (elektrona) sa pozitivnim jonima kristalne rešetke.
- Povećanjem temperature:
 - povećava se brzina kretanja slobodnih elektrona i jona rešetke;
 - elektroni nailaze na veći otpor pri kretanju.



$$\frac{m_e \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$$

Električne struje

◆ Električni otpor provodnika.

- Otpornost metala se linearno menja sa temperaturom:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

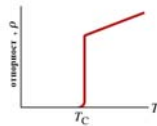
$$R = R_0 + R_0 \alpha t$$

$$R = R_0 + \Delta R$$

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 t}$$

■ Termički koeficijent otpora:

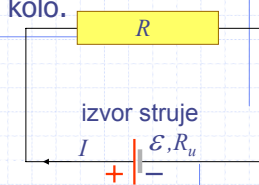
- relativna promena otpora po temperaturnom stepenu;
- vrednost približno ista za sve metale - 0.004°C^{-1} .
- Kod nekih provodnika (grafit, elektroliti) otpor opada sa porastom temperature - termički koeficijent negativan.
- Kod nekih metala u blizini apsolutne nule otpor je jednak nuli - superporodnici.



Električne struje

◆ Omov zakon za prosto električno kolo.

- Prosto električno kolo sadrži:
 - električni izvor EMS;
 - jedan otpornik.
- Struja prolazi kroz:
 - električni izvor, i
 - otpornik R.
- Električni izvor ima unutrašnju otpornost R_u :
 - ista struja protiče kroz otpor R i unutrašnji otpor R_u jer su redno vezani.
- Omov Zakon:
 - Jačina struje u prostom električnom kolu srazmerna je EMS u kolu a obrnuto srazmerna zbiru spoljašnjeg i unutrašnjeg otpora.

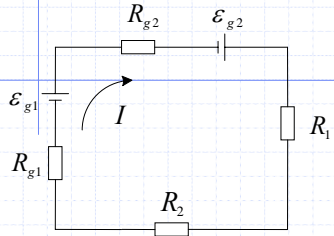


$$I = \frac{\epsilon}{R + R_u}$$

Električne struje

◆ Ohmov zakon za prosto električno kolo.

- Za prosto električno kolo koje sadrži više EMS-a i otpornika:



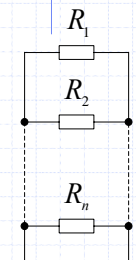
$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{E_{g1} + E_{g2}}{R_{g1} + R_{g2} + R_1 + R_2}$$

Električne struje

◆ Vezivanje otpornika.

- Paralelno vezivanje:

- Složeno razgranato kolo
- Napon na krajevima pojedinih otpornika isti.
- Struja kroz granu električnog izvora jednaka je zbiru struja kroz grane kola.



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

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} = \frac{U}{R_e}$$

$$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Električne struje

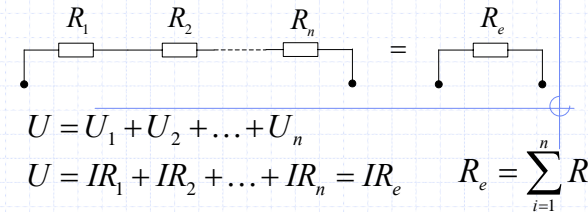
◆ Vezivanje otpornika.

- Vezivanje otpornika:

- redno,
- paralelno.

- Redno vezivanje:

- Ukupan napon na krajevima električnog izvora jednak je zbiru napona na krajevima pojedinih otpornika.
- Kroz sve otpornike protiče ista struja.



Električne struje

◆ Kirchofova pravila.

- Osnovni elementi električnog kola:

- čvor,
- grana,
- zatvorena kontura.

- I Kirchofovo pravilo:

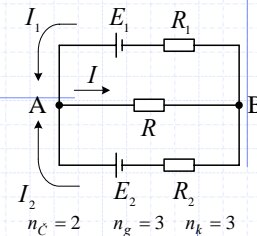
- Algebarski zbir jačina struja u nekom čvoru električnog kola jednak je nuli.
- Zbir jačina struja koje utiču u čvor električnog kola jednak je zbiru struja koje ističu iz čvora.

- Pri računanju zbira važe pravila:

- struje koje utiču u čvor su pozitivne,
- struje koje ističu iz čvora su negativne.

- Za čvor A:

$$I_1 + I_2 - I = 0 \quad I = I_1 + I_2$$



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Električne struje

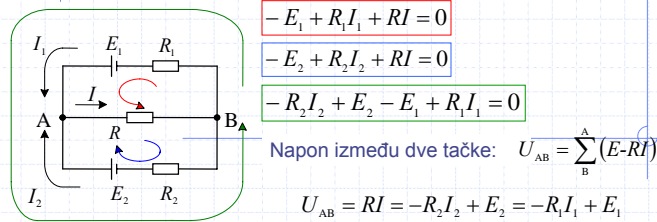
◆ Kirhofova pravila.

- II Kirhofovo pravilo važi za zatvorene konture kola koje sadrže jedan ili više generatora i otpora.

- Algebarski zbir elektromotornih sila i elektrootprornih sila ($R \cdot I$) jednak je nuli.

$$\sum (E - RI) = 0$$

- Zbir napona za zatvoreno strujno kolo jednak je nuli.



Električne struje

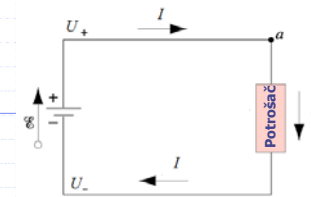
◆ Rad, snaga i toplotno dejstvo električne struje.

- Potrošnja električne energije podrazumeva njeno pretvaranje u druge oblike energije.

- Uređaji u kojima se električna energija pretvara u drugi vid energije nazivaju se potrošači.

- U zavisnosti od potrošača električna energija se pretvara u:

- mehaničku (elektromotor),
- toplotnu (otpornik),
- svetlosnu (sijalica),
- hemijsku (akumulator) ...



Električne struje

$$\varphi = \frac{E_p}{q} = \frac{A}{q}$$

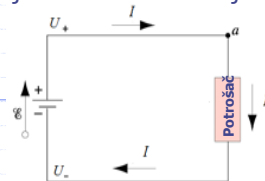
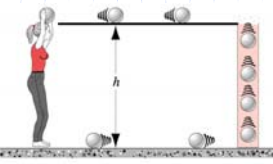
◆ Rad, snaga i toplotno dejstvo električne struje.

- Pri proticanju električne struje kroz potrošač slobodni nosioci naelektrisanja se kreću od višeg ka nižem potencijalu:

- potencijalna energija nosioca naelektrisanja se smanjuje usled utrošenog rada na prebacivanje nosioca naelektrisanja sa višeg na niži potencijal:

$$dA = dq \cdot (\varphi_a - \varphi_b) = dq \cdot U$$

- Električna energija koja se troši kroz potrošač jednaka je proizvodu napona na njegovim krajevima i naelektrisanja koje kroz potrošač protiče.



Električne struje

◆ Rad, snaga i toplotno dejstvo električne struje.

- Ukupan rad (odnosno energija):

$$A = \int dA = \int_0^t UI dt = UI t$$

$$A = RI^2 t = \frac{U^2}{R} t$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

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

- Pri konstantnom naponu, rad električne struje jednak je proizvodu napona, jačine struje i vremena proticanja struje.

- Energija koja se preda potrošaču u jedinici vremena odgovara snazi koju treba uložiti da se u kolu održi stalna struja:

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

- snaga električne struje jednaka je proizvodu jačine električne struje i napona (razlike potencijala).

Električne struje

◆ Rad, snaga i toplotno dejstvo električne struje.

- Kada strujno kolo sadrži samo metalni provodnik (provodnik prve vrste) sva energija se pretvara u toplotu:
 - pod dejstvom električnog polja elektroni se ubrzavaju;
 - povećava se njihova kinetička energija;
 - prilikom sudara sa jonima kristalne rešetke elektroni predaju energiju jinima;
 - energija jona se povećava usled čega se provodnik zagreva;
 - u provodniku se stvara količina toplote na račun električne energije.
- Ako ne postoji druga vrsta energije, toplotna energija je jednaka radu koji izvrši električna struja - Džulov zakon:

$$Q = UIt = RI^2t = \frac{U^2}{R}t [\text{J}]$$

Test pitanja - kolokvijum

1. Neophodni uslovi za nastanje električne struje.

- postojanje slobodnih nosioca naelektrisanja;
- postojanje električnog polja koje usmerava slobodne nosioce naelektrisanja koji se inače nalaze u haotičnom kretanju.

2. Jačina električne struje.

- Jačina električne struje definiše količinu naelektrisanja koja po jedinici vremena prođe kroz poprečni presek provodnika.

$$i = \frac{dQ}{dt} \left[\frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{A} \right]$$

3. Jednosmerna i naizmjenična struja.

- Ako se nosioci naelektrisanja kreću u jednom smeru struja je jednosmerna i ne menja smer.
- Ako se nosioci naelektrisanja kreću u oba smera struja je naizmjenična i menja smer kao posledica promene smera električnog polja.

Test pitanja - kolokvijum

4. Elektromotorna sila.

- Elektromotorna sila je razlika potencijala između polova neopterećenog električnog izvora kroz koji ne protiče električna struja.

5. Električni otpor provodnika.

- zavisi od prirode materijala,
- dužine provodnika,
- poprečnog preseka.

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

6. Omov zakon.

- Jačina električne struje koja prolazi kroz neki provodnik srazmerna je naponu na krajevima tog provodnika i obrnuto srazmerna njegovom otporu

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

Test pitanja - kolokvijum

7. Promena otpornosti provodnika sa temperaturom.

- Otpornost provodnika se linearno menja sa temperaturom.

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

8. Redno vezivanje otpornika.

- Ukupan napon na krajevima električnog izvora jednak je zbiru napona na krajevima pojedinih otpornika.
- Kroz sve otpornike protiče ista struja.

$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i$$

9. Paralelno vezivanje otpornika.

- Napon na krajevima pojedinih otpornika isti.
- Struja kroz granu električnog izvora jednaka je zbiru struja kroz grane kola.

$$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Test pitanja - kolokvijum

10. I Kirhofovo pravilo.

- Algebarski zbir jačina struja u nekom čvoru električnog kola jednak je nuli.
- Zbir jačina struja koje utiču u čvor električnog kola jednak je zbiru struja koje ističu iz čvora.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

11. II Kirhofovo pravilo.

- Zbir napona za zatvoreno strujno kolo jednak je nuli.

$$\sum (E - RI) = 0$$

Test pitanja - kolokvijum

12. Snaga električne struje.

- Snaga električne struje jednaka je proizvodu jačine električne struje i napona (razlike potencijala).

$$P = UI$$

13. Džulov zakon.

- Toplotna energija je jednaka radu koji izvrši električna struja.

$$Q = UIt$$