

12 Obvod jednosmerného elektrického prúdu

12.1 podmienky vzniku elektrického prúdu

12.1.1 vodič v elektrickom poli

- elektrické vodiče sú látky, ktoré obsahujú veľký počet častíc s nábojom, ktoré sa v nich môžu voľne pohybovať. Tieto častice nazývame **voľné častice s nábojom**. V kovových vodičoch (napr. meď, hliník, striebro) sú to **voľné elektróny**, v kvapalinových vodičoch (v elektrolytoch, napr. roztokoch solí alebo kyselín vo vode) sú to **kladné a záporné ióny** a vo vodivých plynoch elektróny a oba druhy iónov.
- voľné častice s nábojom sa vo vodičoch ustavične a neusporiadane pohybujú, preto je vo vodiči, ktorý nie je nabitý a nie je vo vonkajšom elektrickom poli, ich rozloženie také, že v ľubovoľnej časti vodiča je úhrnný náboj nulový. Navonok sú vodiče elektricky neutrálne.
- zmena rozloženia voľných nabitých častíc vo vodiči nastane, ak vložíme nenabitý vodič do elektrického poľa – nastane **elektrostatická indukcia**
 - o elektrostatická indukcia je jav, pri ktorom sa protíahlé časti povrchu vodiča vloženého do elektrického poľa zelektrizujú nábojom s rovnakou veľkosťou, ale opačným znamienkom. Takto vzniknuté náboje častíc nazývame indukované náboje.
 - o keď vodič nabitý nesúhlasnými nábojmi vyberieme z elektrického poľa, elektrická indukcia zanikne; vodič sa vráti do pôvodného stavu

12.1.2 vznik jednosmerného prúdu

- usporiadaný pohyb voľných častíc s elektrickým nábojom sa nazýva **elektrický prúd**. Podmienkou vzniku elektrického prúdu v látke je prítomnosť voľných častíc s elektrickým nábojom a utvorenie elektrického poľa v tejto látke.
- pri elektrostatickej indukcii a polarizácii dielektrika je prúd vo vodiči dočasný; aby vo vodiči bol prúd trvalý, musí byť vnútri vodiča nielen utvorené, ale aj udržiavané elektrické pole, takýto stav nastane, ak je vodič pripojený na **elektrický zdroj**
- usporiadaný pohyb elektricky nabitých častíc stáleho smeru sa nazýva **jednosmerný prúd**. Podľa dohody sa za **smer prúdu** pokladá smer usporiadaného pohybu voľných častíc s kladným nábojom (od + k -). Keď je prúd utvorený usporiadaným pohybom voľných častíc so záporným nábojom, jeho smer je podľa tejto dohody opačný ako smer usporiadaného pohybu častíc.
- v okolí každého vodiča s prúdom pozorujeme magnetické pole
- **elektrický prúd**:
 - o $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{dQ}{dt}$, kde ΔQ je celkový náboj častíc, ktoré prejdú prierezom vodiča v jednom smere za dobu Δt
 - o jednotkou prúdu je **ampér**
 - ampér je stály prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného prierezu, umiestnenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 m, vyvolá medzi týmito vodičmi silu s veľkosťou $2 \cdot 10^{-7}$ N na 1 m dĺžky vodiča
- elektrický prúd meriame **ampérmetrom** (zapája sa sériovo do obvodu)

12.1.3 elektrický zdroj

- **elektrický zdroj (zdroj napätia)** je každé zariadenie, medzi ktorého dvoma rozličnými časťami, **pólmi (svorkami zdroja)**, je aj po pripojení vodiča udržiavaný rozdiel elektrických potenciálov alebo napätia

- medzi svorkami zdroja vznikne napätia, ak jedna svorka bude obsahovať menej voľných elektrónov (kladná svorka) ako druhá (záporná svorka), preto vnútri zdroja musia pôsobiť sily, ktoré odovzdávajú napr. z kladnej svorky voľné elektróny. Tieto sily prekonávajú elektrostatické sily utvoreného elektrického poľa medzi nabitými svorkami. Vnútri zdroja napätia musia teda pôsobiť *neelektrostatické sily*.
- neelektrostatické sily pri presune nabitých častíc s celkovým nábojom veľkosti Q konajú prácu W_z , potom platí:
 - o $U_e = \frac{W_z}{Q}$, kde U_e je *elektromotorické napätie zdroja* (je jednou z charakteristík zdroja napätia); jednotkou elektromotorického napätia je *volt*
 - o keď elektrický obvod nie je pripojený na zdroj, zdrojom prúd nepreteká a U_e sa rovná rozdielu elektrických potenciálov medzi svorkami zdroja
- elektrické napätie meriame *voltmetrom* (zapája sa paralelne do obvodu)
- druhy zdrojov:
 - o *elektrochemický zdroj (akumulátor)* – neelektrostatické sily vznikajú chemickou reakciou elektród s elektrolytom
 - o *fotoelektrický zdroj (fotočlánok)* – napätie vzniká vzájomným pôsobením svetla s elektrónmi v kovoch alebo polovodičoch
 - o *termoelektrický zdroj (termočlánok)* – využíva sa tu poznatok, že napätie, ktoré vzniká na spoji dvoch rozličných kovov, závisí od teploty spoja (napätie je tým väčšie, čím väčší je rozdiel teplôt)
 - o *elektrodynamický zdroj (akumulátor, dynamo)* – neelektrostatické sily vznikajú pohybom vodiča v magnetickom poli
 - o *van Graaffov generátor* (mechanický zdroj) – náboje sa oddeľujú trením pásu a prenášajú sa jeho pohybom

12.2 Ohmov zákon

12.2.1 pre časť elektrického obvodu

- *Ohmov zákon*: elektrický prúd I v kovovom vodiči je priamo úmerný elektrickému napätiu U medzi koncami vodičov
 - o $I = GU$, kde G je konštanta úmernosti
- z Ohmovho zákona vyplýva, že podiel $\frac{U}{I}$ je pre istý vodič konštantný a nezávisí od napätia alebo prúdu vo vodiči, potom pre každý vodič môžeme zaviesť charakteristickú veličinu – *elektrický odpor R* :
 - o $R = \frac{U}{I}$, $[R] = \Omega$, jednotkou elektrického odporu je *ohm*
 - o prevrátená hodnota R sa nazýva *elektrická vodivosť G* :
 - $G = \frac{1}{R}$, jednotkou elektrickej vodivosti je *siemens*
- vodiče, pre ktoré platí Ohmov zákon, nazývame *lineárne (ohmické)*; ostatné vodiče sú *nelineárne*
- súčiastky, ktoré majú stály elektrický odpor, sa nazývajú *rezistory*; rezistor s nastaviteľným odporom sa volá *reostat, potenciometer*

12.2.2 elektrický odpor

- príčinou existencie elektrického odporu kovov sú zrážky vodivostných elektrónov s iónmi mriežky v dôsledku tepelného pohybu; ďalšou príčinou sú bodové poruchy kryštálovej mriežky
- *závislosť elektrického odporu od geometrických rozmerov a od látky*:

- $R = \rho \frac{l}{S}$, kde l je dĺžka kovového vodiča, S obsah priečneho rezu a ρ **merný elektrický odpor** látky (jednotkou merného elektrického odporu je $\Omega \cdot m$)
- **merná elektrická vodivosť:**
 - $\gamma = \frac{1}{\rho}$, $[\gamma] = S \cdot m^{-1}$, jednotkou mernej elektrickej vodivosti je siemens na meter
- látky s veľkým merným odporom (nikelán, konštantán, chrómnikel) sa používajú na výrobu **odporových materiálov**
- **závislosť elektrického odporu od teploty:**
 - elektrický odpor sa so zvyšujúcou teplotou zväčšuje približne lineárne
 - $R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$, kde R je elektrický odpor vodiča pri teplote t , R_0 elektrický odpor pri teplote t_0 , Δt teplotný rozdiel a α **teplotný súčiniteľ elektrického odporu** (jednotkou teplotného súčiniteľa elektrického odporu je K^{-1})
 - z hľadiska teórie elektrónovej vodivosti kovov sa elektrický odpor zväčšuje pri zvyšovaní teploty kovového vodiča v dôsledku zväčšenia rozkmitu iónov mriežky. Tým nastávajú častejšie zrážky vodivostných elektrónov s iónmi mriežky, čo sa prejaví v menšej hodnote prúdu vo vodiči alebo väčším odporom vodiča.

12.2.3 pre uzavretý elektrický obvod

- ľubovoľný **uzavretý elektrický obvod** sa skladá z vonkajšej (rezistory, vodiče, spotrebiče a pod.) a vnútornej (vodivý priestor medzi pólmi vnútri zdroja) časti
- keď je obvod uzavretý, prechádza elektrický prúd I nielen jeho vonkajšou časťou, ale aj vnútri zdroja. Pri premiestňovaní konajú neelektrické sily vnútri zdroja prácu $W = U_e \cdot Q$, kde U_e je elektromotorické napätie zdroja. Zdroj teda vydá energiu $E_z = U_e \cdot Q$, ktorá sa premieňa na energiu E elektrického poľa vo vonkajšej časti obvodu a energiu E_i elektrického poľa vnútri zdroja
- zo zákona zachovania energie platí:
 - $E_z = E + E_i \Rightarrow U_e Q = UQ + U_i Q \Rightarrow U_e = U + U_i$
 - súčet napätí na vonkajšej a vnútornej časti obvodu sa rovná elektromotorickému napätiu zdroja
- keď podľa Ohmovho zákona pre časť obvodu dosadíme do vzťahu pre elektromotorické napätie, dostaneme:
 - $U_e = RI + R_i I = I(R + R_i) \Rightarrow I = \frac{U_e}{R + R_i}$, kde R je odpor vonkajšej časti obvodu a R_i je odpor vnútornej časti obvodu (výraz $R + R_i$ je celkový odpor obvodu)
 - **Ohmov zákon pre uzavretý obvod:** prúd v uzavretom obvode sa rovná podielu elektromotorického napätia zdroja a súčtu odporov vonkajšej a vnútornej časti obvodu
- platí:
 - $U_e = RI + R_i I$
 - veličinu $U = RI$ nazývame **svorkové napätie zdroja** a rovná sa napätie vo vonkajšej časti obvodu, $U_i = R_i I$ **úbytok napätia na zdroji**, pre svorkové napätie platí:
 - $U = U_e - R_i I$
 - keď je vonkajší odpor R obvodu oveľa väčší ako vnútorný odpor R_i zdroja, potom $R_i I$ môžeme vzhľadom na U zanedbať
- keď spojíme svorky zdroja vodivým drôtom, nastane **spojenie nakrátko (skrat)**, vonkajší odpor je takmer nulový, preto $U = 0$ V, a prúd v obvode dosiahne najväčšiu možnú hodnotu:
 - $I_{\max} = \frac{U_e}{R_i}$

12.3 Kirchhoffove zákony

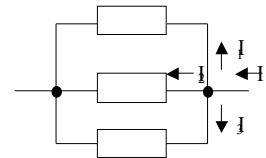
- elektrické obvody s rezistormi a zdrojmi elektromotorického napätia môžu byť jednoduché alebo rozvetvené (zložené). Miesto v rozvetvenom obvode, kde sa stýkajú najmenej tri vodiče, nazýva sa **uzol elektrického obvodu**. Časť obvodu medzi dvoma uzlami je **vetva elektrického obvodu**.

12.3.1 prvý Kirchhoffov zákon

- 1. Kirchhoffov zákon (pre uzol jednosmerného obvodu): algebraický súčet prúdov v uzle sa rovná nule

- o $\sum_{k=1}^n I_k = 0 A$ (vstupujúce prúdy berieme s kladným znamienkom a vystupujúce so záporným)

- zákon vyjadruje princíp zachovania náboja, t.j., že pri konštantnom prúde sa v žiadnom mieste vodiča, a teda ani v uzle, nehromadia častice s nábojom
- pre obvod na obr. platí:
 - o $I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$

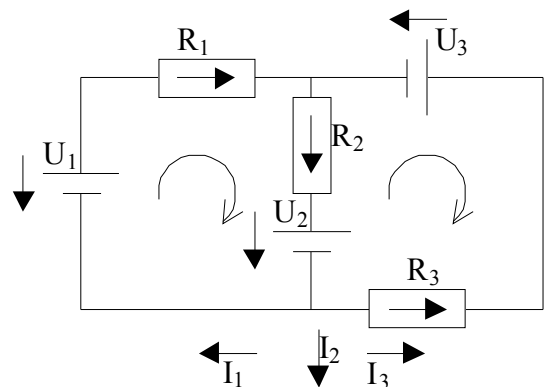


12.3.2 druhý Kirchhoffov zákon

- 2. Kirchhoffov zákon (pre jednoduché uzavreté obvody): v jednoduchom uzavretom obvode sa súčet elektromotorických napätí U_{ei} zaradených zdrojov rovná súčtu úbytkov napätí $R_k I_k$

- o $\sum_{i=1}^m U_{ei} = \sum_{k=1}^n R_k I_k$ (ak máme v obvode n uzlov (vetiev), môžeme zapísať najviac n-1 nezávislých rovníc)

- pre obvod na obr. platí:
 - o $-U_1 + U_2 = R_1 I_1 + R_2 I_2$
 - o $-U_2 - U_3 = -R_2 I_2 - R_3 I_3$



12.3.3 spájanie rezistorov

- **sériové spojenie:**

- o pri sériovom spojení sa celkový odpor R rovná súčtu odporov jednotlivých rezistorov

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

- o rezistormi prechádza rovnaký prúd I , napätie sa rozdelí na rezistoroch v pomere:

$$U_1 : U_2 : U_3 : \dots : U_n = R_1 : R_2 : R_3 : \dots : R_n$$

- o pre celkové napätie platí:

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

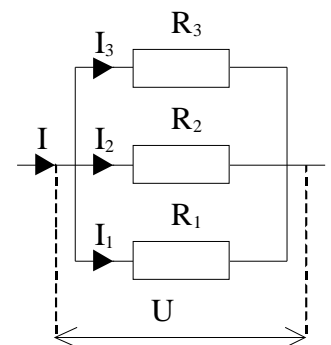
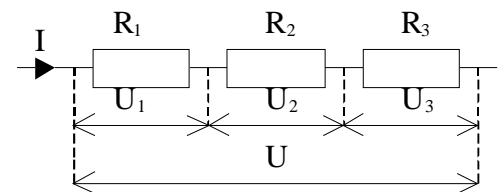
- **paralelné spojenie:**

- o pri paralelnom spojení rezistorov sa prevrátená hodnota celkového odporu rovná súčtu prevrátených hodnôt jednotlivých odporov rezistorov

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

- o na rezistoroch je rovnaké napätie, no prúd sa rozdelí do jednotlivých vetiev v pomere:

$$I_1 : I_2 : I_3 : \dots : I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n}$$



- pre celkový prúd platí:
 - $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$

12.3.4 aplikácie Kirchoffových zákonov

- **zvüčšenie rozsahu ampérmetra:**

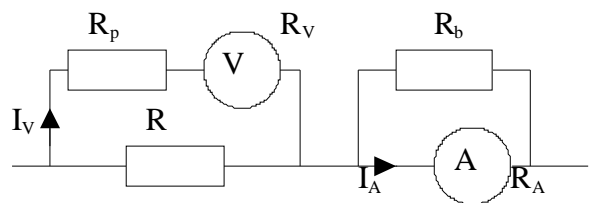
- ampérmeter, ktorým meriame elektrický prúd, zapájame sériovo so spotrebičom; odpor R_A ampérmetra musí byť veľmi malý, a by čo najmenej ovplyvnil prúdové a napät'ové pomery v obvode. Ampérmetrom môže prechádzať najvyšší istý maximálny prúd I_A .
- pri meraní prúdov n -krát väčších, ako je maximálny prúd I_A postupujeme tak, že k ampérmetru paralelne pripojíme rezistor s odporom R_b , tzv. **bočník**, pre ktorého odpor podľa Kirchoffových zákonov musí platiť:

$$nI_A - I_A - I_B = 0 \wedge R_A I_A - R_b I_b = 0 \Rightarrow R_b = \frac{1}{n-1} R_A$$

- **zvüčšenie rozsahu voltmetra:**

- voltmeter, ktorým meriame elektrické napätia, zapájame paralelne do obvodu; pri paralelnom spojení sa prúd rozdeľuje do jednotlivých vetiev a odpor paralelnej kombinácie sa pozmení. Zapojený voltmeter prúdovo zaťaž'í zdroj a zmerané napätie na meranom úseku je o niečo menšie ako pred zapojením voltmetra, a preto odpor voltmetra má byť veľký, aby sa nezaťaž'ila sieť (má ním prechádzať minimálny prúd), a aby sa prúdové pomery veľmi nezmenili.
- voltmeter môže merať isté maximálne napätie U_v , dané maximálnym prúdom I_v , ktorý môže prechádzať cievkou voltmetra s odporom R_v : Keď je merané napätie n -krát väčšie ako napätie U_v , tak k voltmetru sériovo pripájame tzv. **predradný rezistor** s odporom R_p . Tým sa utvorí delič napätia, ktorého časťami (prvkami) prechádza rovnaký prúd; potom pre odpor predradného rezistora platí:

$$R_p = (n-1)R_v$$



- **meranie elektrického odporu:**

○ **priama metóda:**

- je založená na definícii elektrického odporu. Ampérmetrom odmeriame prúd I , ktorý prechádza rezistorom s odporom R a voltmetrom napätie medzi jeho koncami. Výsledok je približný, lebo zaradením oboch meracích prístrojov sa pomery v obvode zmenia tak, že na rezistore nemožno priamo odmerať súčasne napätie aj prúd, a preto sa používajú dva spôsoby zapojenia (**1. spôsob**: voltmeter zaradíme paralelne k rezistoru a k nim sériovo ampérmeter; voltmeter ukazuje skutočné napätie na rezistore, no ampérmeter ukazuje o niečo väčší prúd; **2. spôsob**: ampérmeter zaradíme sériovo k rezistoru a k nim paralelne voltmeter; ampérmeter ukazuje skutočnú hodnotu prúdu, no voltmeter ukazuje o niečo väčšiu hodnotu napätia)

○ **substitučná metóda:**

- je založená na porovnávaní odporu neznámeho rezistora s odpormi známych rezistorov. Určíme prúd, ktorý tečie neznámym rezistorom a túto hodnotu porovnáваме s hodnotami prúdov, ktoré tečú známymi odpormi.

○ **mostíková metóda:**

- je založená na zapojení mostíka s galvanometrom do obvodu, jedna časť je pohyblivá; posúvaním mostíka dosiahneme, aby galvanometrom neprechádzal prúd, a tak zo známych údajov určíme neznámy odpor (touto metódou získavame najpresnejšie výsledky)