

Fyzikálny korešpondenčný seminár

2. ročník, 2008/2009

UFO, KTFDF FMFI UK, Mlynská dolina, 84248 Bratislava

e-mail: otazky@fks.sk

web: <http://ufo.fks.sk>

Elektrina a elektrické obvody

Milí riešitelia,

ak sa vám zdalo, že posledné dva seriálové texty boli viac matematické ako fyzikálne, tak teraz sa môžete tešiť. Už sme si totiž vybudovali veľmi slušný základ, na ktorom môžeme postaviť prvú veľkú tému tohto ročníka – elektrické obvody.

Čo je vlastne elektrina?

Elektrina (alebo ešte lepšie elektromagnetizmus) je jedna zo štyroch základných síl, ktoré sa vo vesmíre vyskytujú. Dôsledkom elektrických vlastností látok nie je iba ich správanie sa voči elektrickému a magnetickému poľu. Elektromagnetizmus je zároveň základným kameňom optiky – svetelné lúče sú v konečnom dôsledku iba akési kmity elektromagnetického poľa.

Veličinou, ktorá určuje, ako sa bude nejaká častica správať v elektrickom poli, je jej náboj. Hodnota náboju ale nemôže byť ľubovoľná, musí byť vždy násobkom tzv. *elementárneho elektrického náboja*, ktorý sa označuje e a je rovný

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C},$$

Celkom malé číslo. Toto je totiž náboj, ktorý nesie jeden elektrón (so záporným znamienkom) alebo jeden protón (naopak, s kladným znamienkom).

Elektrické pole

Silové účinky nábojov na iné náboje určuje veličina, ktorá sa nazýva elektrická intenzita. Označuje sa E a jej jednotkou je V.m. Intenzita elektrického poľa v nejakom mieste vyjadruje, aká sila by v tomto mieste pôsobila na náboj s veľkosťou 1 C. Ak sa elektrický náboj veľkosti q bude nechádzať v mieste s elektrickou intenzitou E , bude naň pôsobiť sila

$$F = qE,$$

Smer sily bude rovnaký ako smer E pre kladný náboj, pre záporný náboj bude presne opačný.

Elektrický prúd

Elektrický prúd je (podľa školskej definície) usmernený pohyb elektrónov vo vodivom materiáli. Každý jeden elektrón sa vo vodiči správa tak, ako sme popísali vyššie, tj. na každý pôsobí sila $-eE$. To znamená, že elektróny sa začínajú pohybovať so zrýchlením. Okamžite sa ale prejavi niečo ako trenie: elektróny začnú vrázať samé do seba a začnú

Seminár podporujú:



iuventa

reagovať aj na prítomnosť kladných jadier a pohyb sa veľmi rýchlo stane rovnomerný. Toto potom nazývame elektrický prúd.

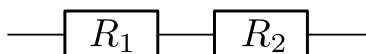
Keďže ale elektrónov je vo vodiči veľmi veľa, jednoduchý popis pomocou elektrického poľa nám nestačí. Preto v obvodoch používame namiesto elektrickej intenzity napätie U a pre „trenie“ elektrický odpor R . Medz týmito veličinami platí Ohmov zákon

$$U = RI,$$

Teda napätie je priamo úmerné pretekajúcemu prúdu. Veľkosť prúdu určuje konštanta nazvaná elektrický odpor. A ten predsa chceme počítať!

Sériové zapojenie

Sériové zapojenie znamená, že dve (a viac) elektrické súčiastky sú zapojené *za sebou*:



Obr. 1: Sériové zapojenie

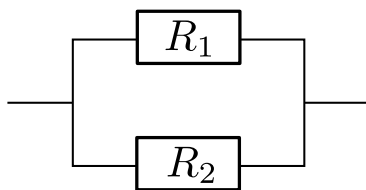
Súčiastkami preteká rovnaký prúd I . Napätie na súčiastkach však rovnaké nie je. Vieme ale, že výsledné napätie je súčet napätí na jednotlivých súčiastkach:

$$U = U_1 + U_2 = R_1I + R_2I = (R_1 + R_2)I,$$

Celkový odpor sériového zapojenia je teda súčet jednotlivých odporov:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{(R_1 + R_2)I}{I} = R_1 + R_2,$$

Paralelné zapojenie



Obr. 2: Paralelné zapojenie

V paralelnom zapojení, tj. v zapojení *vedľa seba*, zasa platí, že na všetkých súčiastkach je rovnaké napätie. Ak by v jednej vetve bolo napätie iné ako v ostatných, v uzle, kde sa vetvy spájali, by sa bili dve rôzne napätia, čo je fyzikálne neprípustné. Sčítava sa prúd:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

Celkový odpor paralelného zapojenia spočítame ako

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{U}{I}} = \frac{I}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

Teda prevrátená hodnota celkového paralelného odporu je súčet prevrátených odporov jednotlivých rezistorov. Tento vzťah, samozrejme, platí aj pre viac paralelne zapojených rezistorov. Špeciálne pre dva rezistory si ho vieme upraviť do užitočnejšej formy

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

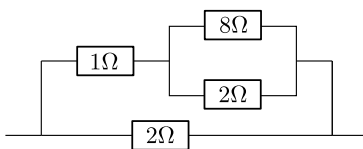
Pre fajnšmekrov sa dá podobne upraviť pre tri rezistory:

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1},$$

Pre väčšie počty rezistorov sa dá nájsť podobný vzťah, no bol by ešte väčší a komplikovanejší a už vôbec nie praktický a zapamätateľný.

Ako počítať komplikované obvody?

Odpoveď znie: rozdeľuj a panuj. Najskôr si obvod musíme rozdeliť na časti, ktoré sú zapojené paralelne a sériovo a ďalej to už pôjde samo. Pozrime sa na takúto schému



Obr. 3: Kombinované zapojenie

Najskôr si spočítame celkový odpor rezistorov s odpormi $8\ \Omega$ a $2\ \Omega$. Vidíme, že sú zapojené paralelne:

$$R_1 = \frac{8\ \Omega \cdot 2\ \Omega}{8\ \Omega + 2\ \Omega} = \frac{8}{5}\ \Omega,$$

Táto dvojica rezistorov je sériovo pripojená k $1\ \Omega$ rezistoru. Odporov teda sčítame:

$$R_2 = R_1 + 1\ \Omega = \frac{13}{5}\ \Omega,$$

A nakoniec celá tento vypočítaný odpor je paralelne pripojený s dolnou vetvou obvodu. Celkový odpor teda bude

$$R_c = \frac{R_2 \cdot 2\ \Omega}{R_2 + 2\ \Omega} = \frac{\frac{26}{5}}{\frac{13+10}{5}}\ \Omega = \frac{26}{23}\ \Omega.$$

Elektrický potenciál a triky s ním

Život fyzika je niekedy krutý. A môže sa stať, že dostaneme obvod, ktorý sa jednoducho *nedá* rozložiť na sériovo-paralelné zapojenie. Môžu nastať dva prípady:

- (i) je to komplikovaný obvod a na jeho vyriešenie je treba použiť tzv. Kirchhoffove zákony,
- (ii) alebo je to naozaj sériovo-paralelný obvod, ale my o tom ešte nevieme.

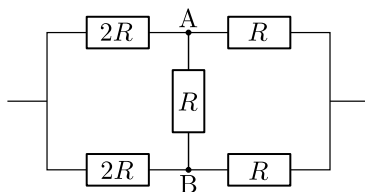
V druhom prípade nám pomôže práve elektrický potenciál. Označuje sa gréckym písmenom φ a jeho jednotka je V (volt). My si ho môžeme predstaviť jednoducho ako číslo prislúchajúce nejakému bodu v obvode. Samotná hodnota potenciálu nemá v obvodoch veľký význam. Ten sa dostaví až vtedy, keď si v obvode vyberieme dva body a zmeriame rozdiel ich potenciálov. Z rovnakej jednotky možno tušíte, čo znamená rozdiel potenciálov – áno, je to jednoducho elektrické napätie.

Ak majú dva body rovnaký potenciál, je medzi nimi nulové napätie. Ak by sme mali tieto dva body spojené vodičom, z Ohmovho zákona $I = U/R$ dostávame, že týmto vodičom potečie nulový prúd. To ale znamená, že ak by sme tento vodič odstrihli, v obvode by sa nič nezmenilo!

Mechanizmus platí ale aj naopak. Body s rovnakým potenciálom môžeme spojiť vodičom, pretože ním aj tak nepotečie žiaden prúd. No podobne ako vo vzorových riešeniach o Chobotníkovi¹

je spojenie jednoduchým vodičom bez rezistoru iba predĺženie uzlu. Znamená to teda, že body s rovnakým potenciálom môžeme spojiť do jedného uzlu a znova sa tým v obvode nič nezmení.

Obe spomenuté veci vyzerajú celkom mocne. Ako ale zistíme, či majú nejaké body v obvode rovnaký potenciál? To často nie je až tak jednoduché. No v prípade symetrických obvodov vieme body s rovnakým potenciálom určiť ľahko. Pozrime sa na toto zapojenie rezistorov:



Obr. 4: Premostené zapojenie

Vidíme, že body A a B v ňom ležia na osi symetrie: pri „pohľade“ z bodu A vyzerá obvod rovnako, ako z bodu B (tzn. rezistor s odporom $2R$ na jednej strane, rezistor s odporom R na druhej strane a medzi nimi rezistor R , ktorý spája skúmané body). Táto symetria znamená, že po pripojení napätia budú mať body A a B rovnaký potenciál a stredný rezistor môžeme z obvodu vystrihnúť. Obvod sa nám teda zjednoduší na jednoduché paralelné zapojenie s dvomi vetvami s odporom $R + 2R = 3R$. Celkový odpor bude

$$R_c = \frac{3R \cdot 3R}{3R + 3R} = \frac{9R^2}{6R} = \frac{3R}{2},$$

Nakoniec ešte jedno upozornenie: Potenciály môžeme porovnávať len medzi bodmi, ktoré nie sú vodivo spojené. Vodivé spojenie okrem nulového odporu znamená rovnosť potenciálov úplne automaticky: z Ohmovho zákona $U = RI$ dostávame pre $R = 0\Omega$ nulové napätie (a teda rovnosť φ) pre ľubovoľný prúd. Preto medzi bodmi spojenými vodičom bez rezistoru nevieme o pretekajúcom prúde pomocou potenciálu povedať nič.

¹http://ufo.fks.sk/archiv/2013_14/7vzorakyZima1.pdf