

R2.4 Kirchhoffovy zákony

Složitější elektrické obvody nazýváme **elektrické sítě**. Místo, v němž se stýkají nejméně tři vodiče, nazýváme **uzel**. Vodivé spojení sousedních uzlů je **větev**. Příkladem může být obr. 2-14 v čl. 2.6, který představuje paralelní spojení tří rezistorů. Obvod má dva uzly a tři větve. Do uzlu vlevo vstupuje proud I a z uzlu vystupují proudy I_1, I_2, I_3 . Poněvadž v uzlu se náboje nemohou hromadit, bude celkový proud do uzlu vstupující stejný jako součet proudů, které z uzlu vystupují: $I = I_1 + I_2 + I_3$.

Při řešení elektrických sítí využíváme dva zákony, které objevil G. R. KIRCHHOFF . První Kirchhoffův zákon se týká uzlů a proudů, které do uzlu vstupují, popř. z něho vystupují. Druhý Kirchhoffův zákon vyjadřuje poznatek, že v uzavřeném obvodu, čili v tzv. **smyčce** elektrické sítě, kterou v rozvětveném obvodu vyčleníme, je celkový součet změn elektrického potenciálu nulový.

1. Kirchhoffův zákon

Algebraický součet proudů v uzlu je nulový. Jestliže se v uzlu stýká n větví, platí

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

2. Kirchhoffův zákon (pro jednoduchou smyčku elektrické sítě)

V uzavřené smyčce je součet napětí na rezistorech stejný jako součet elektromotorických napětí zdrojů. Jestliže se ve smyčce nachází n rezistorů a m zdrojů, platí

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{j=1}^m U_{ej}.$$

V následujících příkladech a úlohách se omezíme na sítě, v nichž jsou jen zdroje napětí a rezistory. Proudů a napětí v těchto obvodech mají ustálenou hodnotu. Řešení sítí spočívá v tom, že obvykle známe napětí zdrojů a odpory rezistorů. Úkolem je určit proudy v jednotlivých větvích a napětí na rezistorech. Můžeme také při známých hodnotách napětí a proudů určovat hodnoty neznámých odporů. Při řešení úloh je třeba dodržovat postup, který je vloženo v příkladu 1.

Příklad 1

Postup při praktickém použití Kirchhoffových zákonů si ukážeme na příkladu elektrické sítě se dvěma uzly a třemi větvemi (obr. R2-12). Známe elektromotorická napětí zdrojů a odpory rezistorů, hledáme proudy ve větvích a napětí mezi uzly.

a) Nejprve zvolíme označení a kladnou orientaci proudů v jednotlivých větvích (bez ohledu na to, že skutečnou orientaci zatím neznáme).

b) Při sestavování rovnice na základě 1. Kirchhoffova zákona bereme proudy, jejichž vyznačený směr je orientován do uzlu, s kladným znaménkem, ostatní se znaménkem záporným. Například pro uzel *B* můžeme psát

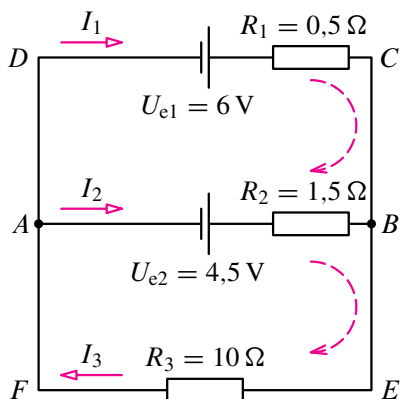
$$I_1 + I_2 - I_3 = 0. \quad (2,1)$$

c) Při sestavování rovnice na základě 2. Kirchhoffova zákona vybereme v síti uzavřenou smyčku a zvolíme v ní směr obíhání (čárkované šipky na obr. R2-12). Elektromotorická napětí orientovaná souhlasně se směrem obíhání a napětí na rezistorech, kde zvolená orientace proudu souhlasí se směrem obíhání, píšeme s kladným znaménkem, ostatní se znaménkem záporným. Například pro smyčku *ADCB*A platí

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_{e1} - U_{e2} \quad (2,2)$$

a pro smyčku *ABEFA*

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e2}. \quad (2,3)$$



R2-12 Příklad jednoduché sítě

d) Dále pracujeme jen s číselnými hodnotami veličin. Dosazením známých číselných hodnot do veličinových rovnic (2,1), (2,2) a (2,3) dostáváme soustavu číselných rovnic*

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0, \\ 0,5I_1 - 1,5I_2 &= 1,5, \\ 1,5I_2 + 10I_3 &= 4,5. \end{aligned}$$

Soustava má číselné řešení

$$I_1 = \frac{96}{83} \doteq 1,16, \quad I_2 = -\frac{51}{83} \doteq -0,61, \quad I_3 = \frac{45}{83} \doteq 0,54.$$

e) Získané číselné hodnoty doplníme příslušnými jednotkami. Hledané proudy jsou

$$I_1 = 1,16 \text{ A}, \quad I_2 = -0,61 \text{ A}, \quad I_3 = 0,54 \text{ A}.$$

Záporný výsledek u proudu I_2 znamená, že skutečný směr proudu I_2 je opačný než původně vyznačený ve schématu. Napětí mezi uzly B , A je orientováno stejně jako proud I_3 a má hodnotu $U_{BA} = R_3 I_3 = 5,4 \text{ V}$.

Příklad 2

K obr. R2-12 se váže i příklad 2:

Jak bychom museli změnit odpor rezistoru R_3 , aby jím procházel proud 5 A? Jaké proudy by pak procházely rezistory R_1 , R_2 ? Hodnoty U_{e1} , U_{e2} , R_1 , R_2 zůstávají beze změny.

Při řešení úlohy opět použijeme soustavu rovnic (2,1), (2,2), (2,3). Dosazením číselných hodnot dostáváme soustavu číselných rovnic

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= 5, \\ 0,5I_1 - 1,5I_2 &= 1,5, \\ 1,5I_2 + 5R_3 &= 4,5. \end{aligned}$$

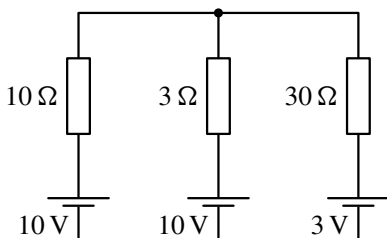
Řešením dostaneme číselné hodnoty $I_1 = 4,5$, $I_2 = 0,5$, $R_3 = 0,75$.

Odpor rezistoru musíme zmenšit na $R_3 = 0,75 \Omega$. Hledané proudy mají hodnoty $I_1 = 4,5 \text{ A}$, $I_2 = 0,5 \text{ A}$ a jejich směr souhlasí se směrem vyznačeným ve schématu.

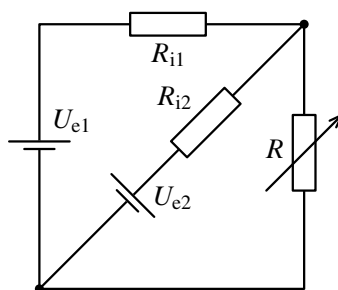
* Pro zjednodušení použijeme symboly I_1 , I_2 a I_3 ve významu číselných hodnot $\{I_1\}$, $\{I_2\}$ a $\{I_3\}$.

Úlohy

- 1 Zopakujte Kirchhoffovy zákony a vysvětlete pravidla pro jejich použití při řešení elektrické sítě.
- 2 Řešte síť na obr. R2-13, ve které jsou tři rezistory a tři ideální zdroje napětí. Jaké proudy procházejí větvemi? Jaké napětí je na jednotlivých rezistorech a mezi uzly?
- 3 V síti na obr. R2-14 platí $U_{e1} = 4,50 \text{ V}$, $R_{i1} = 1,50 \Omega$, $U_{e2} = 3,00 \text{ V}$, $R_{i2} = 0,30 \Omega$. Jaký musí být odpor R , aby oba zdroje dodávaly stejný proud?



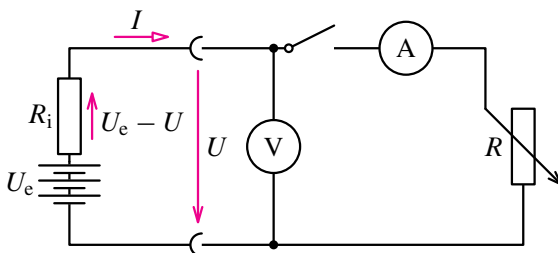
R2-13 K úloze 2



R2-14 K úloze 3

R2.5 Zatěžovací charakteristika zdroje a jeho účinnost

Vyjdeme z pokusu, jehož schéma je na obr. R2-15. K pólům ploché baterie připojíme nejprve voltmetr a změříme napětí nezatíženého zdroje U_0 , které nazýváme **napětí naprázdno**. (Nepatrný proud procházející voltmetrem zanedbáváme.) Z čl. 2.2 víme, že napětí naprázdno je stejné jako elektromotorické napětí zdroje $U_0 = U_e$.

R2-15 Měření
zatěžovací cha-
rakteristiky zdroje