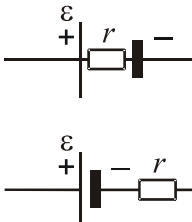


## Stejnoseměrný proud II

### Elektromotorické a svorkové napětí zdroje

V předchozí kapitole jsme ukázali, že má-li obvodem téci proud, musí v něm být zdroj udržující mezi konci vodiče napětí. Zdroj přenáší kladné náboje do místa s vyšším potenciálem a záporné do místa s nižším potenciálem, koná tedy práci a dodává do obvodu energii. Takovému zdroji říkáme **zdroj elektromotorického napětí**  $\varepsilon$ .



Obr. 10.1: Zdroj elektromotorického napětí

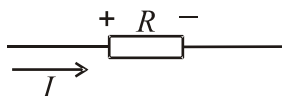
Je-li zdrojem elektromotorického napětí například galvanický článek, musí při jeho práci procházet jeho elektrolytem náboje – teče jím proud. Elektrolyt má tak jako každá látka nějaký odpor. K vlastnostem zdroje kromě elektromotorického napětí patří i jeho vnitřní odpor  $r$ . Odpor je uvnitř zdroje, můžeme ho tedy zakreslit jako na obr. 10.1 nahoře, většinou se ale zakresluje se zdrojem sériově jako je na obr. 10.1 dole. Pokud ze zdroje odebíráme proud, dochází na jeho vnitřním odporu k úbytku napětí a **svorkové napětí**  $U$ , které skutečně naměříme na svorkách zdroje je zpravidla menší.

$$U = \varepsilon - rI \quad (10.1)$$

Elektromotorické napětí je napětí nezátíženého zdroje (napětí zdroje, který nedodává do obvodu proud).

Svorkové napětí je skutečné napětí na svorkách zdroje.

### Výkon stejnosměrného proudu



Obr. 10.2: Odpor protékáný proudem

Mějme rezistor  $R$ , kterým teče zleva doprava proud  $I$  (obr. 10.2). Na rezistoru je podle Ohmova zákona (9.4) napětí  $U = RI$ , přitom levá strana rezistoru má vyšší potenciál než pravá. Proud má směr pohybu kladného náboje, kladný náboj tak přechází z místa s vyšším potenciálem do místa s nižším potenciálem, jejich potenciální energie je po průchodu rezistorem nižší. Potenciální energie nábojů se mění v rezistoru na kinetickou, urychlené náboje naráží na atomy mřížky a rozkmitávají je – rezistor se zahřívá.

Energie, která se přemění na teplo, je rovna změně potenciální energie nábojů (7.9)

$$W = UQ = UIt. \quad (10.2)$$

Výkon elektrického proudu dostaneme derivací energie podle času

$$P = UI. \quad (10.3)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

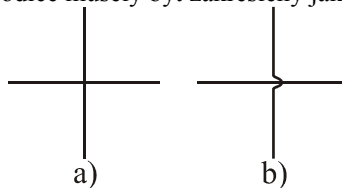
## Kirchhoffovy zákony

Proud v jednoduchých obvodech lze vypočítat zjednodušením těchto obvodů tím, že v obvodu nalezneme sériově nebo paralelně spojené rezistory a nalezené dvojice nahradíme jedním rezistorem s příslušným odporem. V případě složitějších obvodů není často možné takové zjednodušení obvodu. Řešením této situace jsou Kirchhoffovy zákony.

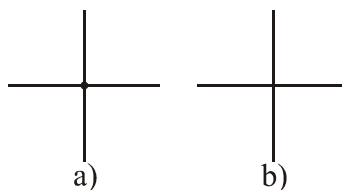
### Definice

**Uzel** je místo, kde se setkávají více než dva vodiče

Připomeňme, že existují dvě konvence pro znázorňování uzlů. Budeme používat konvenci podle obr. 10.3 přesto, že správnější je konvence podle obr. 10.4. V obou obrázcích v části a) jsou čtyři vodiče vodičivě spojené a v části b) dva vodiče, které se kříží, ale nejsou vodičivě spojené. Konvence podle obr. 10.4 je užitečná zejména u složitých schémata s mnoha křížícími se vodiči. My se budeme setkávat pouze s velmi jednoduchými obvody, kde se jen zřídka stává, aby dva nespojené vodiče musely být zakresleny jako křížící se.



Obr. 10.3: Naše konvence kreslení vodičů



Obr. 10.4: Standardní konvence kreslení vodičů

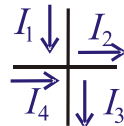
**Větev** je část obvodu mezi dvěma uzly.

**Smyčka** je uzavřená část obvodu.

### 1. Kirchhoffův zákon

Součet proudů jdoucích do uzlu je nulový.  $\sum I_i = 0$ .

Proudy tekoucí do uzlu bereme kladně, proudy tekoucí z uzlu bereme záporně. Na obrázku 10.5 je zakreslen uzel s vyznačením všech proudů. 1. Kirchhoffův zákon pro tento uzel lze zapsat ve tvaru:  $I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$  (proudy  $I_1$  a  $I_4$  tečou do uzlu, mají kladné znaménko, proudy  $I_2$  a  $I_3$  tečou z uzlu ven, mají záporné znaménko).



Obr. 10.5: Proudy tekoucí do uzlu

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky

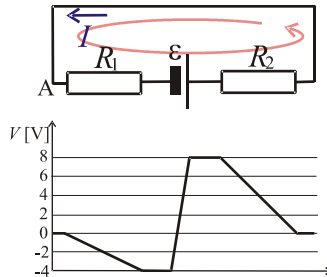


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 2. Kirchhoffův zákon

Součet všech změn potenciálu v uzavřené části obvodu musí být nulový.

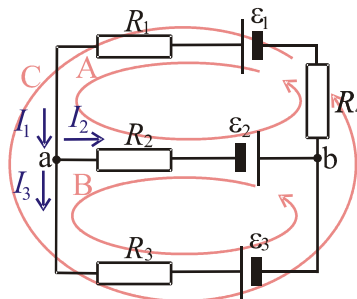
Zákon lze zformulovat i jinak: Součet všech napětí na zdrojích v uzavřené části obvodu musí být roven součtu všech úbytků napětí na odporech. Přitom jdeme-li přes zdroj od záporného pólu ke kladnému, bereme napětí kladně, jdeme-li přes odpor po směru proudu, bereme součin  $RI$  kladně.



Obr. 10.6: Změny potenciálu v obvodu

V horní části obr. 10.6 je velmi jednoduchý obvod. Předpokládejme, že  $\varepsilon = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 2 \text{ } \Omega$  a  $R_2 = 4 \text{ } \Omega$ . Celkový odpor obvodu je  $R = R_1 + R_2 = 6 \text{ } \Omega$ . Proud v obvodu podle Ohmova zákona je  $I = \varepsilon/R = 2 \text{ A}$ . Napětí na rezistorech je  $U_1 = R_1 I = 4 \text{ V}$ ,  $U_2 = R_2 I = 8 \text{ V}$ . Svislé a horní strana obvodu jsou celé vodivé, potenciál na nich je konstantní. Všechny změny potenciálu se tak vlastně odehrávají na spodní straně obvodu. Potenciál v bodě A položíme nulový. Na rezistoru  $R_1$  potenciál poklesne o  $4 \text{ V}$ , na zdroji se zvýší o  $12 \text{ V}$  a na  $R_2$  poklesne o  $8 \text{ V}$ . Po průchodu celou smyčkou a návratu do bodu A je potenciál opět nulový.

### Příklad řešení obvodu



Obr. 10.7: Obvod pro Kirchhoffovy zákony

Mějme obvod podle obr. 10.7, kde  $\varepsilon_1 = 1 \text{ V}$ ;  $\varepsilon_2 = 2 \text{ V}$ ;  $\varepsilon_3 = 3 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1 \text{ } \Omega$ ;  $R_2 = 2 \text{ } \Omega$ ;  $R_3 = 3 \text{ } \Omega$ ;  $R_4 = 4 \text{ } \Omega$ . Obvod má 3 větve a 2 uzly. Cílem je vypočítat proudy všemi rezistory. Postup řešení rozdělíme do jednotlivých kroků. V každém kroku nejprve napíšeme co uděláme, a pak to předvedeme.

#### 1. Libovolně zvolíme orientaci proudů ve všech větvích obvodu

V obvodu jsou tři větve, označme proudy  $I_1$ ,  $I_2$  a  $I_3$ . Zvolme proudy tak, že  $I_1$  přitéká do uzlu (a),  $I_2$  a  $I_3$  z uzlu vytékají.

#### 2. Pro $n-1$ uzlů napíšeme 1. Kirchhoffův zákon

Napišme 1. Kirchhoffův zákon pro uzel (a)

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (10.4)$$

Všimněme si, že 1. Kirchhoffův zákon pro uzel (b) je

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0,$$

je to tedy vztah (10.4) vynásobený -1. Pouze rovnice  $n-1$  uzlů jsou nezávislé.

### 3. Zvolíme směr oběhu ve smyčkách

Opět můžeme zvolit směr oběhu libovolně. V obvodu lze zvolit 3 smyčky označené červeně A, B a C. Směr oběhu jsme ve všech smyčkách zvolili proti směru hodinových ručiček.

### 4. Pro potřebný počet smyček napíšeme 2. Kirchhoffův zákon

Máme tři neznámé – proudy  $I_1$ ,  $I_2$  a  $I_3$ . Potřebujeme tři rovnice. Jednu rovnici už máme – (10.4).

2. Kirchhoffův zákon pro smyčku A:

Vyjdeme z uzlu (a). Nejdřív sledujeme zdroje. Prošli jsme přes zdroj 2 od záporného ke kladnému pólu, bereme jeho napětí kladně  $+\varepsilon_2$ , pak jsme přešli přes zdroj 1 od záporného ke kladnému pólu, bereme jeho napětí kladně  $+\varepsilon_1$ . Vrátili jsme se do uzlu (a), žádné další zdroje ve smyčce A nejsou. Znovu obejdeme smyčku A a budeme sledovat odpory. Narazili jsme na rezistor  $R_2$ , teče jím proud  $I_2$  stejným směrem jako jdeme, bereme součin kladně  $+R_2I_2$ . Pak procházíme rezistorem  $R_4$ , teče jím proud  $I_1$  stejným směrem jako jdeme, bereme součin kladně  $+R_4I_1$ . Pak procházíme rezistorem  $R_1$ , teče jím proud  $I_1$  stejným směrem jako jdeme, bereme součin kladně  $+R_1I_1$ . Rovnice pro smyčku A ze 2. Kirchhoffova zákona je

$$\varepsilon_2 + \varepsilon_1 = R_2I_2 + R_4I_1 + R_1I_1. \quad (10.5)$$

2. Kirchhoffův zákon pro smyčku B:

Vyjdeme z uzlu (a). Nejdřív sledujeme zdroje. Prošli jsme přes zdroj 3 od kladného k zápornému pólu, bereme jeho napětí záporně  $-\varepsilon_3$ . Pak jsme přešli přes zdroj 2 od kladného k zápornému pólu, bereme jeho napětí záporně  $-\varepsilon_2$ . Vrátili jsme se do uzlu (a), žádné další zdroje ve smyčce B nejsou. Znovu obejdeme smyčku B a budeme sledovat odpory. Narazili jsme na rezistor  $R_3$ , teče jím proud  $I_3$  stejným směrem jako jdeme, bereme součin kladně  $+R_3I_3$ . Pak procházíme rezistorem  $R_2$ , teče jím proud  $I_2$  opačným směrem jako jdeme, bereme součin záporně  $-R_2I_2$ . Rovnice pro smyčku B ze 2. Kirchhoffova zákona:

$$-\varepsilon_3 - \varepsilon_2 = R_3I_3 - R_2I_2. \quad (10.6)$$

Všimněme si, že rovnice pro 2. Kirchhoffův zákon pro smyčku C:

$$-\varepsilon_3 + \varepsilon_1 = R_3I_3 + R_4I_1 + R_1I_1$$

je součtem (10.5) a (10.6) není to tedy nezávislá rovnice.

Získali jsme soustavu tří rovnic o třech neznámých (10.4-6), nyní dosadíme číselně.

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$5I_1 + 2I_2 = 3$$

$$3I_3 - 2I_2 = -5$$

### 5. Vyřešíme soustavu rovnic

$$I_1 = 5/31,$$

$$I_2 = 34/31,$$

$$I_3 = -29/31.$$

### 6. Záporné proudy tečou opačným směrem

Jestliže některý vypočítaný proud vyjde záporný, znamená to, že ve skutečnosti teče proud opačným směrem než je zvolený směr. V našem případě tečou proudy  $I_1$  a  $I_2$  směrem, který jsme zvolili, a proud  $I_3$  opačně - do uzlu (a).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ