

VNITŘNÍ ODPOR BATERIE

Úkoly:

Pro vybrané zdroje elektromotorického napětí určete:

- 1) Změřte závislost svorkového napětí U_{sv} zdroje elektromotorického napětí na protékajícím proudu, sestrojte grafy $U_{sv} = U_{sv}(I)$ a $U_{sv} = U_{sv}(R)$.
- 2) Na základě grafu $U_{sv} = U_{sv}(I)$ z úkolu 1 určete základní parametry zdroje, tj. elektromotorické napětí \mathcal{E} a vnitřní odpor baterie R_i .
- 3) Z grafu $U_{sv} = U_{sv}(R)$ určete znovu elektromotorické napětí \mathcal{E} a vnitřní odpor baterie R_i . Porovnejte s výsledky získanými v úkolu 2.

Zdroje napětí se využívají ve všech elektrických a elektronických zařízeních, protože jim dodávají energii nutnou na jejich provoz. Kromě zdrojů napětí napájených ze sítě používáme zdroje přenosných, většinou pracujících na elektrochemickém principu - baterií. Každý zdroj je charakterizován tzv. elektromotorickým napětím \mathcal{E} a vnitřním odporem R_i . Tento odpor ovlivňuje chování zdrojů v obvodech a způsobí, že při zapojení do obvodu není napětí na svorkách zdroje rovno elektromotorickému napětí \mathcal{E} , ale je podle Ohmova zákona nižší o velikost $R_i I$, kde I je proud v obvodu.

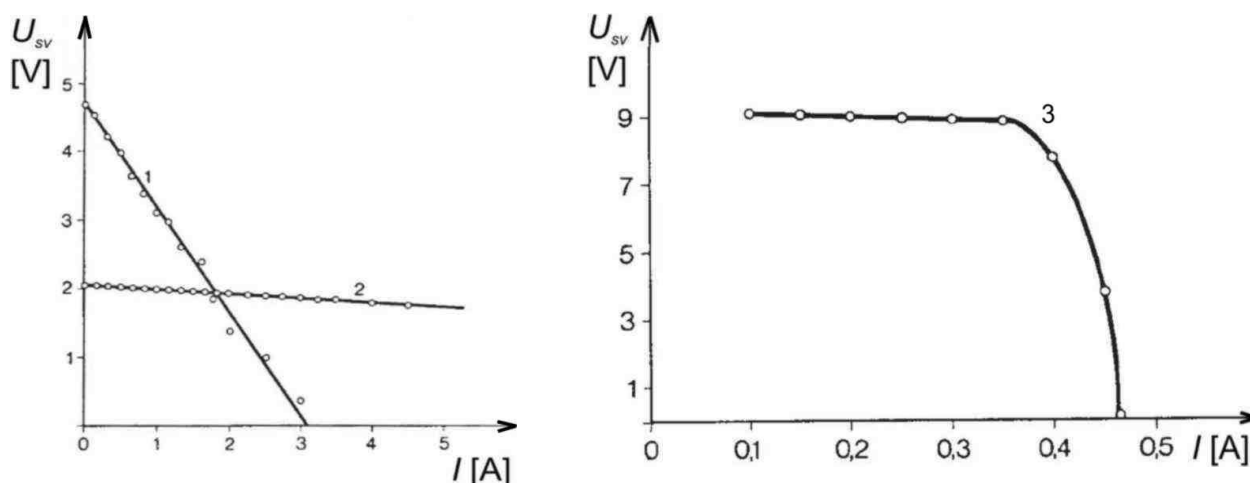
Zapojíme-li takový zdroj do obvodu s rezistorem o odporu R (viz obr. 1), prochází obvodem proud I , jehož velikost je dána Ohmovým zákonem pro uzavřený obvod

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_i}. \quad (1)$$

Svorkové napětí U_{sv} (tj. napětí, které naměříme v zapojeném obvodu na svorkách zdroje) je rovno

$$U_{sv} = \mathcal{E} - R_i I. \quad (2)$$

Ze vztahu (2) plyne, že pokud neprochází zdrojem žádný proud ($I = 0$), je svorkové napětí rovno elektromotorickému napětí ($U_{sv} = \mathcal{E}$).



Obr. 1: Vzorová závislost svorkového napětí U_{sv} na proudu I . Křivka 1 platí pro zinkouhlíkovou baterii, křivka 2 pro olověný akumulátor a křivka 3 platí pro stabilizovaný zdroj napětí.

Na obr. 1 je uvedena závislost svorkového napětí U_{sv} na proudu procházejícím obvodem pro různé typy zdrojů. Podle rovnice (2) se jedná o přímky s různým sklonem, který je dán vnitřním odporem R_i (jedná se o tzv. lineární zdroje). U stabilizovaného zdroje napětí (křivka č. 3) elektrické obvody zdroje udržují svorkové napětí U_{sv} přibližně konstantní (přímka má malou směrnici, tj. zdroj má malý vnitřní odpor) až do určité hodnoty, kdy U_{sv} prudce klesá – zdroj je přetížen. Ze závislostí je možné přímo odečíst hodnotu elektromotorického napětí pro $I = 0$.

Sledujeme-li závislost výkonu P , dodávaného zdrojem do zátěže, na odporu zátěže R , platí, že pro určitou hodnotu odporu zátěže R je dodávaný výkon maximální. Jeho hodnotu lze vypočítat nalezením extrému funkce

$$P = U_{sv} I = (\varepsilon - R_i I) I = \varepsilon I - R_i I^2, \quad (3)$$

$$\frac{dP}{dI} = \varepsilon - 2R_i I = 0,$$

$$I = \frac{\varepsilon}{2R_i}. \quad (4)$$

Dosadíme-li tento proud znovu do rovnice (3), zjistíme, že

$$P = \varepsilon I - R_i I^2 = \frac{\varepsilon^2}{2R_i} - R_i \left(\frac{\varepsilon}{2R_i} \right)^2 = \frac{\varepsilon^2}{4R_i}.$$

Výsledek udává maximální možný výkon zdroje P . Po dosažení odpovídajícího proudu (4) do Ohmova zákona pro uzavřený obvod (1) získáme vztah pro hodnotu odporu zátěže R , pro který zdroj maximální výkon dodává

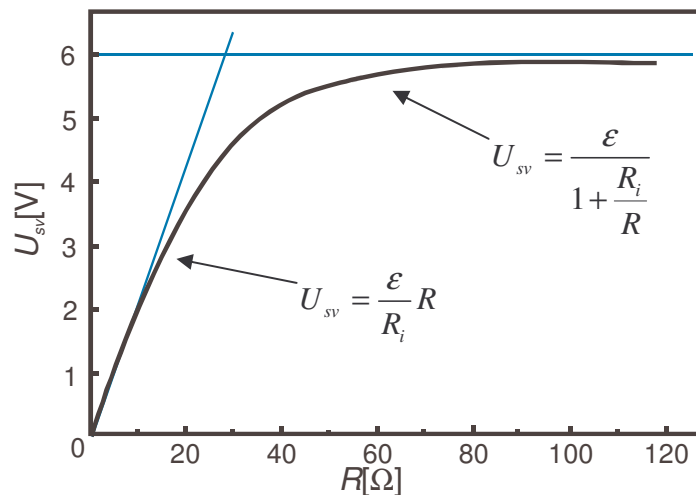
$$\frac{\varepsilon}{2R_i} = \frac{\varepsilon}{R + R_i} \Rightarrow R = R_i.$$

Pro svorkové napětí U_{sv} plyne ze vztahu (1)

$$U_{sv} = RI = \frac{R\varepsilon}{R + R_i} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{R_i}{R}}. \quad (5)$$

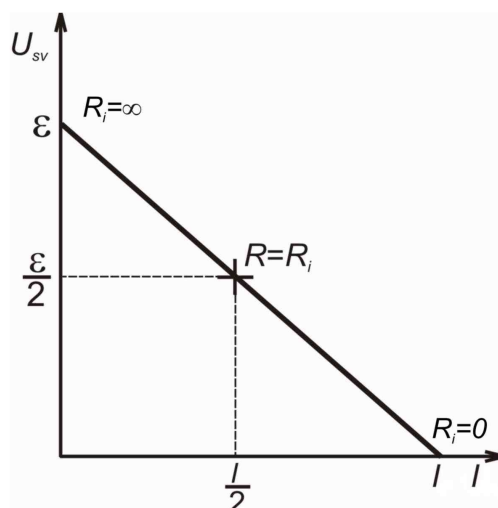
Pro $R \ll R_i$ lze ve vztahu jedničku zanedbat. Dostáváme pak přibližné vyjádření

$$U_{sv} \approx \frac{\varepsilon}{R_i} R. \quad (6)$$



Obr. 2: Závislost $U_{sv} = U_{sv}(R)$.

Experimentálně změřená závislost svorkového napětí ε na odporu zátěže R je znázorněna na obr. 2. Křivka se skládá z několika oblastí. Pro velmi malou vnější zátěž ($R \ll R_i$) narůstá U_{sv} podle vztahu (4) lineárně. Pro vyšší hodnoty R se svorkové napětí U_{sv} blíží podle vztahu (5) elektromotorickému napětí ε . Tuto závislost je možné využít pro nalezení charakteristik zdrojů elektromotorického napětí ε a R_i . Nejdříve se do grafu nakreslí limita, ke které se svorkové napětí U_{sv} blíží a na svislé ose se odečte hodnota elektromotorického napětí. Dále se do grafu nakreslí přímka vyjadřující směrnicí křivky pro $R \ll R_i$. Ze směrnic této přímky a znalosti ε lze dopočítat R_i .



Obr. 3: Závislost $U_{sv} = U_{sv}(I)$.

Dalším možným způsobem určení parametrů zdroje (a pravděpodobně nejrychlejší) využít změřené závislosti $U_{sv} = U_{sv}(I)$ (viz obr. 3). Pro velikost svorkového napětí U_{sv} odpovídající zátěži $R = R_i$ podle rovnice (5) platí

$$U_{sv} = \frac{\varepsilon}{2}. \quad (6)$$

Tento poznatek nám umožňuje určit jednoduše vnitřní odpor zdroje ze závislosti $U_{sv} = U_{sv}(I)$. Na přímkce v grafu nalezneme napětí U_{sv} , pro které platí podmínka (6) a jemu příslušející proud I . Vnitřní odpor je pak roven ($R = R_i$)

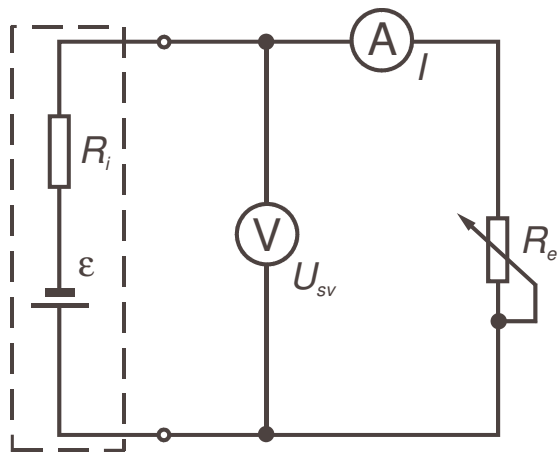
$$R_i = \frac{U_{sv}}{I}.$$

Experimentálně určíme vnitřní odpor zdroje tak, že měníme hodnotu zátěže R , dokud se nebude svorkové napětí U_{sv} rovnat polovině elektromotorického napětí ε . Nastavená hodnota odporu na potenciometru je pak rovna vnitřnímu odporu zdroje R_i .

Další možností k určení parametrů zdroje je úprava vztahu (1) na tvar

$$\frac{1}{I} = \frac{R + R_i}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon} R + \frac{R_i}{\varepsilon}. \quad (5)$$

Vyneseme-li do grafu závislost $1/I = 1/I(R)$, získáme rovnici přímky. Z ní pak lze jednoduše vypočítat parametry ε a R_i .



Obr. 4: Zapojení elektrického obvodu pro měření vlastností zdrojů elektromotorického napětí.