

## 4.2.15 Ohmův zákon pro uzavřený obvod

**Předpoklady:** 040214

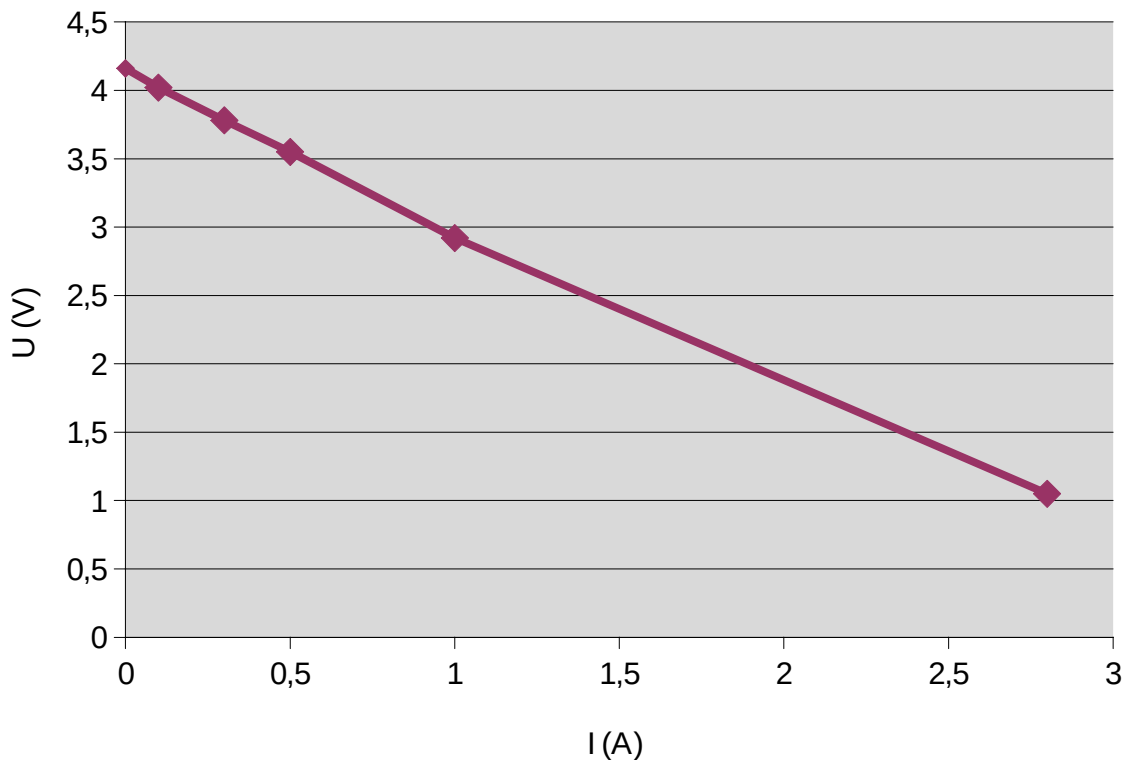
**Postřeh z minulých měření:** Při sestavování obvodů jsme používali stále stejnou plochou baterku. Přesto se její napětí po zapojení do obvodu měnilo. Čím větší byl odebíraný proud, tím menší bylo napětí, které jsme naměřili.

**Pedagogická poznámka:** Zatěžovací charakteristiku baterie mají žáci naměřenou z minulé hodiny, v následujícím příkladu si jenom zkontrolujeme výsledky.

Zatěžovací charakteristika naší baterie (změřená v minulé hodině):

$I$ [A]	0	0,1	0,3	0,5	1	2,8
$U$ [V]	4,16	4,02	3,78	3,55	2,92	1,05

Čím větší proud odebíráme, tím menší je napětí baterie.



**Pedagogická poznámka:** V průběhu hodiny používáme hodnoty uvedené v učebnici (kvůli kontrole výsledků). Spočítat parametry své baterie může na konci hodiny každý sám. Při opisování tabulky připomínám žákům, aby si v tabulce vynechali dvě řádky, které později doplní.

Změřené chování není ničím zvláštní, stejně se chovají i jiné zdroje. Podle toho, jak rychle klesá jejich napětí, je dělíme:

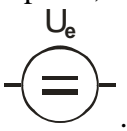
- **tvrdé zdroje:** napětí při zvětšování proudu klesá pomalu (např. zásuvka),
- **měkké zdroje:** napětí při zvětšování proudu klesá rychle (např. všechny baterky, čím jsou

menší, tím jsou obvykle měkčí).

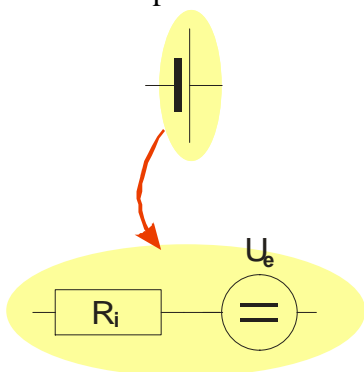
Fyzikální příčiny jsou různé (podle druhu zdroje), ale můžeme používat vždy stejný model.

Reálný zdroj si představíme jako zařízení složené ze dvou sériově zapojených částí:


- 1. část: **ideální zdroj** – zdroj, který při všech proudech vyrábí stejné napětí  $U_e = U_s$ . Elektromotorické napětí  $U_e$  je práce, kterou musí dodat neelektrické síly elektronům při

jejich zvedání od + k -, značka .

- 2. část: **vnitřní odpor zdroje** ( $R_i$ ) – odpor sériově připojený k ideálnímu zdroji. Na vnitřním odporu se ztrácí část energie, kterou elektronům dodaly neelektrické síly ve zdroji.



**Př. 1:** Jak zařazení sériového vnitřního odporu vysvětluje pokles svorkového napětí při zvýšení odebíraného proudu?

Úbytek napětí na vnitřním odporu je dán vztahem  $U_{R_i} = R_i I \Rightarrow$  při větším proudu bude větší napětí na vnitřním odporu  $\Rightarrow$  na zbytek obvodu zůstane menší napětí  $\Rightarrow$  s rostoucím proudem klesá svorkové napětí ( $U_s = U_e - U_{R_i}$ ), značka .

Jak by to vypadalo s naší baterkou, kdyby pro ni platilo  $R_i = 10 \Omega$  a  $U_e = 4,2 \text{ V}$  ?

**Př. 2:** Doplň v tabulce hodnoty úbytku napětí na vnitřním odporu a svorkového napětí pro baterii s vnitřním odporem  $R_i = 10 \Omega$  a elektromotorickým napětím  $U_e = 4,2 \text{ V}$  a porovnej její chování s baterií z úvodu hodiny.

Odebíraný proud $I$	Úbytek napětí na vnitřním odporu	Svorkové napětí $U_s$
0 A		
0,1 A		
0,2 A		
0,3 A		

Odebíraný proud $I$	Úbytek napětí na vnitřním odporu	Svorkové napětí $U_s$
0 A	$U_{R_i} = 0 \cdot 10 = 0 \text{ V}$	$U_s = U_e - U_{R_i} = 4,2 - 0 \text{ V} = 4,2 \text{ V}$

0,1 A	$U_{R_i} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ V}$	$U_s = U_e - U_{R_i} = 4,2 - 1 \text{ V} = 3,2 \text{ V}$
0,2 A	$U_{R_i} = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ V}$	$U_s = U_e - U_{R_i} = 4,2 - 2 \text{ V} = 2,2 \text{ V}$
0,3 A	$U_{R_i} = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ V}$	$U_s = U_e - U_{R_i} = 4,2 - 3 \text{ V} = 1,2 \text{ V}$

⇒ Imaginární baterka se chová stejně jako naše skutečná, ale pokles je příliš rychlý ⇒ naše baterka bude mít asi menší  $R_i$ .

**Př. 3:** Urči vnitřní odpor baterie, pro kterou jsi měřil zatěžovací charakteristiku.

Máme k dispozici tabulku.

I [A]	0	0,1	0,3	0,5	1	2,8
U [V]	4,16	4,02	3,78	3,55	2,92	1,05

Napětí v tabulce jsou svorková napětí baterie.

**1. sloupec** – nulový proud ⇒ svorkové napětí je rovno elektromotorickému (na vnitřním odporu se nemůže nic ztratit) ⇒  $U_e = 4,16 \text{ V}$ .

**6. sloupec** – při proudu  $I = 2,8 \text{ A}$  byla na svorkách napětí  $U_s = 1,05 \text{ V}$  ⇒ na vnitřním odporu se ztratilo  $U_{R_i} = U_e - U_s = 4,16 - 1,05 \text{ V} = 3,01 \text{ V}$ .

Známe napětí i proud přes vnitřní odpor baterky, i pro vnitřní odpor platí Ohmův zákon

$$\Rightarrow \text{dopočítáme ho: } I_{R_i} = \frac{U_{R_i}}{R_i} \Rightarrow R_i = \frac{U_{R_i}}{I_{R_i}} = \frac{3,01}{2,8} \Omega = 1,08 \Omega.$$

Naše baterie má vnitřní odpor  $1,08 \Omega$  (opravdu méně než  $10 \Omega$ ).

**Př. 4:** Dopln tabulku zatěžovací charakteristiky o řádek, do kterého u všech sloupců s nenulovým proudem spočítáš hodnotu vnitřního odporu. Vypočítané hodnoty porovnej.

I [A]	0	0,1	0,3	0,5	1	2,8
U [V]	4,16	4,02	3,78	3,55	2,92	1,05
$U_{R_i}$ [V]		0,14	0,38	0,61	1,24	3,11
$R_i$ [ $\Omega$ ]		1,4	1,3	1,22	1,24	1,08

Vypočtené hodnoty nejsou sice zcela stejné, ale poměrně dobře si odpovídají ⇒ náš model reálného zdroje je použitelný.

Konečně zjistíme, co znamená nadpis.

- **Ohmův zákon** = odpověď na otázku: „Jaký proud poteče přes součástku, když je na ní nějaké napětí?“
- **Ohmův zákon pro uzavřený obvod** = odpověď na otázku: „Jaký proud poteče uzavřeným obvodem, když budeme uvažovat odpory spotřebičů i vnitřní odpor zdroje?“

Jak tedy budeme u uzavřeného obvodu postupovat?

Zdroj nahradíme ideálním zdrojem a vnitřním odporem ⇒ v obvodu přibude další odpor  $R_i$ .

Pro napětí platí:  $U_e = U_{R_i} + U_R$ , dosadíme:  $U_R = I \cdot R$ ,  $U_{R_i} = I \cdot R_i$ .

$$U_e = (I \cdot R) + (I \cdot R_i)$$

$$U_e = I \cdot (R + R_i)$$

$$I = \frac{U_e}{(R + R_i)}$$

Vlastně to není nic překvapivého, určuje proud v obvodu s dvěma sériově zapojenými rezistory.

**Důsledek:** Nemůžeme z baterky odebírat libovolně velký proud (i při nulovém  $R$  bude proud v obvodu omezovat  $R_i$ ).

**Př. 5:** Urči, jaký největší proud může dodávat naše plochá baterie.

Největší proud bude dodávat, když k ní bude připojen nulový odpor  $\Rightarrow$  v obvodu zůstane zapojený pouze vnitřní odpor zdroje, kterého se nemůže zbavit.

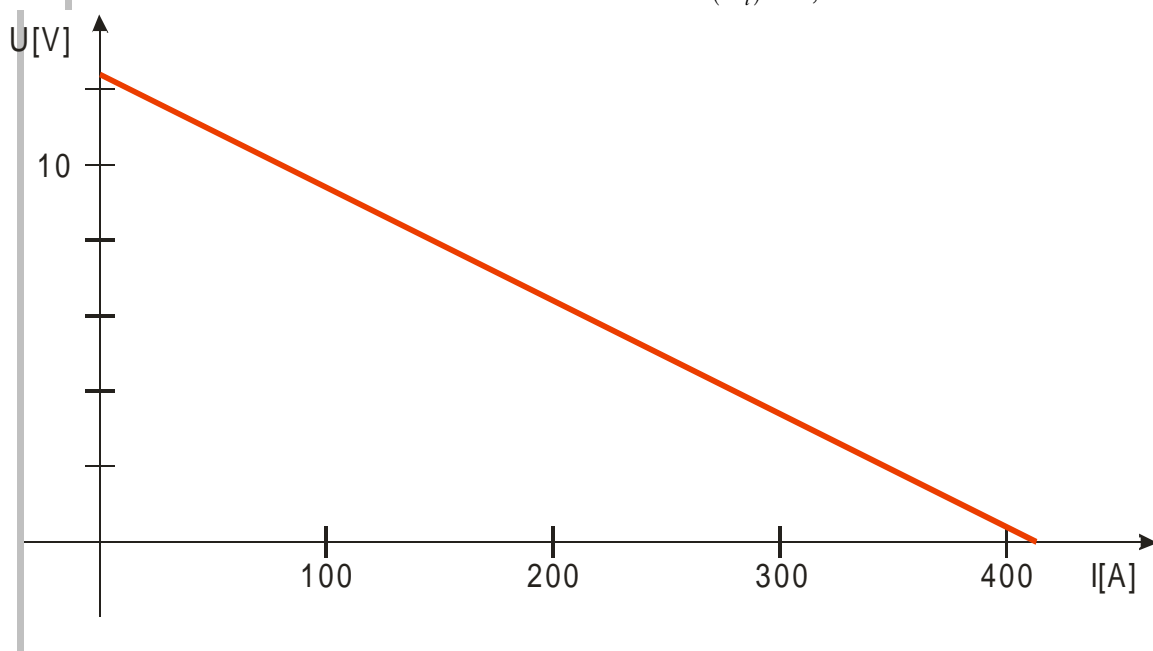
$$I = \frac{U_e}{(R + R_i)} = \frac{U_e}{(0 + R_i)} = \frac{4,16}{1,2} \text{ A} = 3,5 \text{ A}$$

Zapojení bez vnějšího odporu se říká zapojení ve zkratu, spočtený proud se pak označuje jako zkratový a někdy se značí  $I_k$ .

**Př. 6:** Nakresli zatěžovací charakteristiku zdroje s elektromotorickým napětím  $U_e = 12,4 \text{ V}$  a vnitřním odporem  $R_i = 0,03 \Omega$ .

Zatěžovací charakteristika = přímka, která klesá z hodnoty elektromotorického napětí při nulovém proudu k hodnotě nulového svorkového napětí při zkratovém proudu  $\Rightarrow$  potřebujeme dva body na její sestavení,

- 1. bod = nulový proud, svorkové napětí = elektromotorickému,
- 2. bod = nulové napětí, zkratový odpor  $I_k = \frac{U_e}{(R_i)} = \frac{12,4}{0,03} \text{ A} = 413 \text{ A}$ .



**Dodatek:** Parametry předchozího zdroje odpovídají automobilové baterii. Při startování automobilu musí baterie dodávat velký proud, proto je třeba, aby její vnitřní odpor byl co nejmenší.

**Př. 7:** Stářím a používáním se vnitřní odpor galvanických článků zvětšuje. Jaký to má vliv na jejich zatěžovací charakteristiku?

Větší vnitřní odpor  $\Rightarrow$  rychlejší pokles napětí při zvyšování odebíraného proudu a menší proud při zkratu  $\Rightarrow$  zatěžovací charakteristika bude rychleji klesat.

**Shrnutí:** U reálného zdroje s růstem odebíraného proudu klesá svorkové napětí. Tuto skutečnost modelujeme sériovou kombinací ideálního zdroje a vnitřního odporu.