



Ústřední komise fyzikální olympiády České republiky  
Experimentální úloha celostátního kola  
62. ročníku FO  
Elektrická černá skříňka

*Převzato z Nordicko-Baltické FO,  
autoři původní úlohy: Jaan Kalda a Mihkel Heidelberg,  
úprava pro FO: Jan Kříž, tvorba simulátoru: Jan Prachař*

Černá skříňka má tři zdířky – modrou, zelenou a bílou. Uvnitř je do hvězdy zapojena baterie (zdroj stejnosměrného napětí), kondenzátor, a cívka v sérii s diodou. Diodu považujte za ideální, v propustném směru vede proud bez odporu, v závěrném směru nevede žádný proud. Můžete taktéž zanedbat vnitřní odpor baterie a vodičů, ale cívka má odpor, se kterým je potřeba počítat. K dispozici máte multimetr, který umožňuje měření napětí a proudu. Při měření napětí má multimetr vnitřní odpor  $R_m = 10 \text{ M}\Omega$ , při měření proudu jej považujte za ideální ampérmetr. Multimetr zobrazuje novou hodnotu každých  $\Delta t = 0,4 \text{ s}$ . Červená zdířka multimetru je kladný pól, černá záporný. Máte k dispozici tři vodiče k propojování a stopky pro měření času.

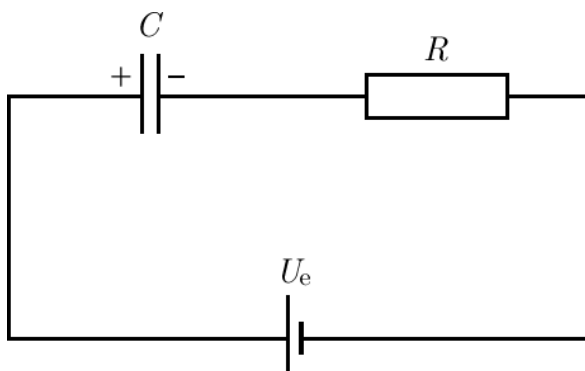
- Změřte proud protékající mezi každou dvojicí zdířek na černé skříňce. Svá měření запиšte do řešení. Ke které zdířce je připojen kondenzátor? Nakreslete všechna možná zapojení černé skříňky, která odpovídají Vašemu měření proudu. Co znamená jiskra, kterou jste pozorovali při rozpojení obvodu?
- Navrhněte způsob, jak spojením dvou zdířek eliminovat jiskru, která se objevuje při odpojení ampérmetru. Při spojení kterých dvou zdířek jiskra při odpojení ampérmetru zmizí? Nakreslete zapojení černé skříňky.
- Měřte napětí mezi každou dvojicí zdířek na černé skříňce. Spojením vhodné dvojice zdířek před měřením nabijte nebo vybijte kondenzátor. Popište kvalitativně, co při měření napětí pozorujete. Určete elektromotorické napětí zdroje a vypočtěte vnitřní odpor cívky.
- Podrobně proměřte vhodnou závislost napětí na čase. Pomocí vhodného grafu určete kapacitu kondenzátoru.
- Nabijte kondenzátor. Poté nechte kondenzátor vybíjet přes cívku. Jaké napětí by mělo být nyní na kondenzátoru? Odpojte vodiče. Poté změřte napětí na sériovém spojení baterie a multimetru při měření napětí. Z Vašeho měření určete indukčnost cívky.

Simulátor pro měření naleznete na adrese <https://exp62.fyzikalniolympiada.cz/>.

## Teoretické vztahy

Pro řešení se vám mohou hodit následující poznatky:

### 1. Nabíjení kondenzátoru



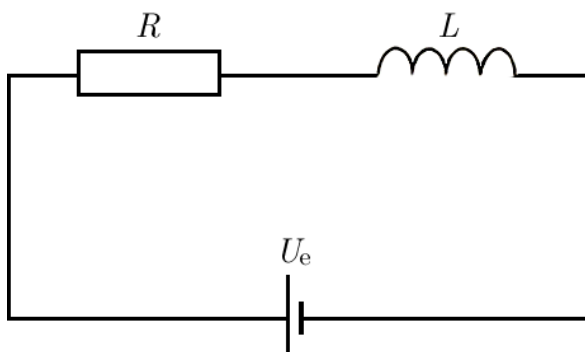
Přechodový jev popisuje diferenciální rovnice

$$U_e = RC \frac{dU}{dt} + U \quad (1)$$

s počáteční podmínkou  $U = U_0$ , kde  $U$  značí napětí na kondenzátoru. Řešením rovnice dostaneme

$$U = U_e \left[ 1 - \left( 1 - \frac{U_0}{U_e} \right) e^{-\frac{t}{RC}} \right]. \quad (2)$$

### 2. RL obvod



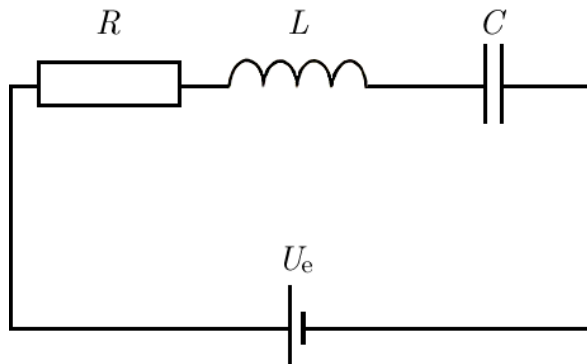
Přechodový jev popisuje diferenciální rovnice

$$U_e - \frac{dI}{dt} = RI. \quad (3)$$

Pro velké časy prochází cívkou proud  $I_0 = U_0/R$ . Řešením rovnice dostaneme

$$I = \frac{U_e}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right). \quad (4)$$

### 3. RLC obvod



Přechodový jev popisuje diferenciální rovnice

$$\frac{1}{C}U + L\frac{d^2U}{dt^2} + R\frac{dU}{dt} = 0 \quad (5)$$

s počátečními podmínkami  $U = U_0$  a  $I = -\frac{1}{C}\frac{dU}{dt} = 0$ . Řešení rovnice se liší podle velikosti parametrů.

(a)  $R < 2\sqrt{L/C}$

$$U = U_0\sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}}e^{-\frac{R}{2L}t} \cos(\omega t - \varphi), \quad (6)$$

kde  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$  a  $\sin \varphi = \frac{R}{2L}\sqrt{LC}$ . Pro proud platí

$$I = \frac{U_0}{L} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \omega t. \quad (7)$$

(b)  $R > 2\sqrt{L/C}$

Použijeme přibližné vztahy pro  $R \gg \sqrt{L/C}$ .

$$U = U_0 \left( e^{-\frac{t}{RC}} - \frac{L}{R^2C} e^{-\frac{R}{L}t} \right), \quad (8)$$

$$I = \frac{U_0}{R} \left( e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{R}{L}t} \right). \quad (9)$$

(c)  $R = 2\sqrt{L/C}$  Mezní případ není pro úlohu relevantní.