

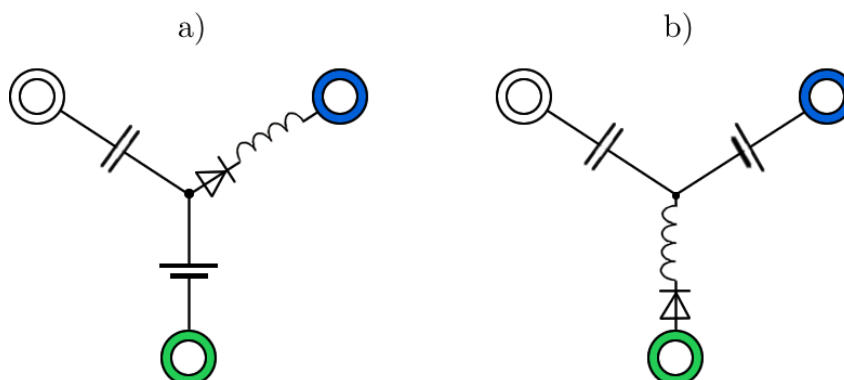


Ústřední komise fyzikální olympiády České republiky
Experimentální úloha celostátního kola
62. ročníku FO
Elektrická černá skříňka

- a) Připojíme ampérmetr mezi bílou a zelenou zdířku. Naměříme $I_{BZ} = 0$. Podobně mezi bílou a modrou zdířkou proud také neteče, $I_{BM} = 0$. Při spojení červené zdířky ampérmetru s modrou zdířkou černé skříňky a černé zdířky ampérmetru se zelenou zdířkou černé skříňky se proud v podstatě okamžitě ustálí na hodnotě $I_{MZ} = 95$ mA. Obrátíme-li polaritu, naměříme $I_{ZM} = -95$ mA. **1 bod**

Při sériovém spojení baterie a cívky se proud velice rychle dle vztahu (4) dostane na hodnotu U_e/R . Tedy mezi zelenou a modrou zdířkou jsou zapojeny v sérii baterie a cívka s diodou. Dioda musí být vzhledem k baterii zapojena v propustném směru. Kondenzátor tedy nutně musí být připojen k bílé zdířce. **1 bod**

Vzhledem k výše popsanému zapojení kondenzátoru, polaritě proudu a diody v propustném směru jsou možná následující dvě zapojení:



2 body

Jiskra vznikla při odpojení ampérmetru. Proud se při rozpojení velice rychle změnil z naměřené hodnoty I_{MZ} na nulu, čímž se na cívce indukovalo napětí dostatečné k přeskočení jiskry.

- b) Pokud paralelně k cívce zapojíme kondenzátor, jiskra přeskakovat nebude, neboť indukované napětí při rozpojení nabije kondenzátor. Kondenzátor zůstane nabitý, jelikož dioda je nyní v závěrném směru. V případě, že připojíme kondenzátor paralelně ke zdroji stejnosměrného napětí, jiskra bude dále přeskakovat.

1 bod

Zapojme tedy ampérmetr mezi modrou a zelenou zdířku. Nejprve spojíme bílou zdířku se zelenou. Po odpojení ampérmetru opět pozorujeme jiskru. Naopak, při stejném zapojení ampérmetru spojíme bílou a modrou zdířku. Pak již při odpojení ampérmetru jiskra nepřeskakuje. Tedy, při spojení bílé a modré zdířky jsme zapojili kondenzátor paralelně k cívce. Z toho plyne, že správné schéma je na obrázku a).

1 bod

- c) Začněme měřením U_{MZ} . Multimetr přepneme na voltmetr, červenou zdířku voltmetru spojíme s modrou zdířkou černé skříňky a černou zdířku voltmetru se zelenou zdířkou černé skříňky. Napětí se velice rychle ustálí na $U_{MZ} = 9,5 \text{ V}$. V případě přehození červené a černé zdířky na voltmetru by to bylo $U_{ZM} = -9,5 \text{ V}$. Úbytek napětí na vnitřním odporu ampérmetru je tedy $9,5 \text{ V}$. Předpokládejme, že vnitřní odpor cívky $R_L \ll R_m$, tedy $U_e = U_{MZ} = 95 \text{ V}$. **1 bod**

Vnitřní odpor cívky vypočteme z Ohmova zákona, $R_L = U_e / I_{ZM} = 100 \Omega$.

1 bod

Měříme nyní napětí na spojení baterie a kondenzátoru, spojíme červenou zdířkou s bílou a černou se zelenou. Voltmetrem na začátku naměříme napětí zdroje U_e , které postupně (exponenciálně) klesá. Kondenzátor se postupně přes voltmetr nabíjí až na napětí zdroje, v tomto stavu odečteme na voltmetru nulu. **1 bod**

Na závěr změříme napětí mezi bílou a modrou zdířkou. Červenou připojíme k modré a černou k bílé zdířce. Opět pozorujeme na začátku napětí U_e , které postupně (exponenciálně) klesá. Při opačné polaritě voltmetru bychom pozorovali totéž, jen s opačným znaménkem. **1 bod**

Vzhledem k tomu, že je pokles exponenciální, lze usoudit, že v RLC obvodu s voltmetrem platí $R_m > 2\sqrt{L/C}$, což jsme mohli předpokládat už předem vzhledem k velikosti R_m .

- d) Je jedno, který z výše pozorovaných exponenciálních poklesů změříme. Zvolme např. vybíjení kondenzátoru přes cívku. Nejprve nabijeme kondenzátor spojením bílé a zelené zdířky. Poté tento vodič rozpojíme a připojíme červenou zdířku na modrou a černou na bílou. Naměřené údaje obsahuje následující tabulka:

$\frac{t}{\text{s}}$	0	4	8	12	16	20	24
$\frac{U}{\text{V}}$	9,52	6,34	4,27	2,86	1,92	1,29	0,86
$\frac{t}{\text{s}}$	28	32	36	40	44	48	52
$\frac{U}{\text{V}}$	0,58	0,39	0,26	0,17	0,12	0,08	0,05

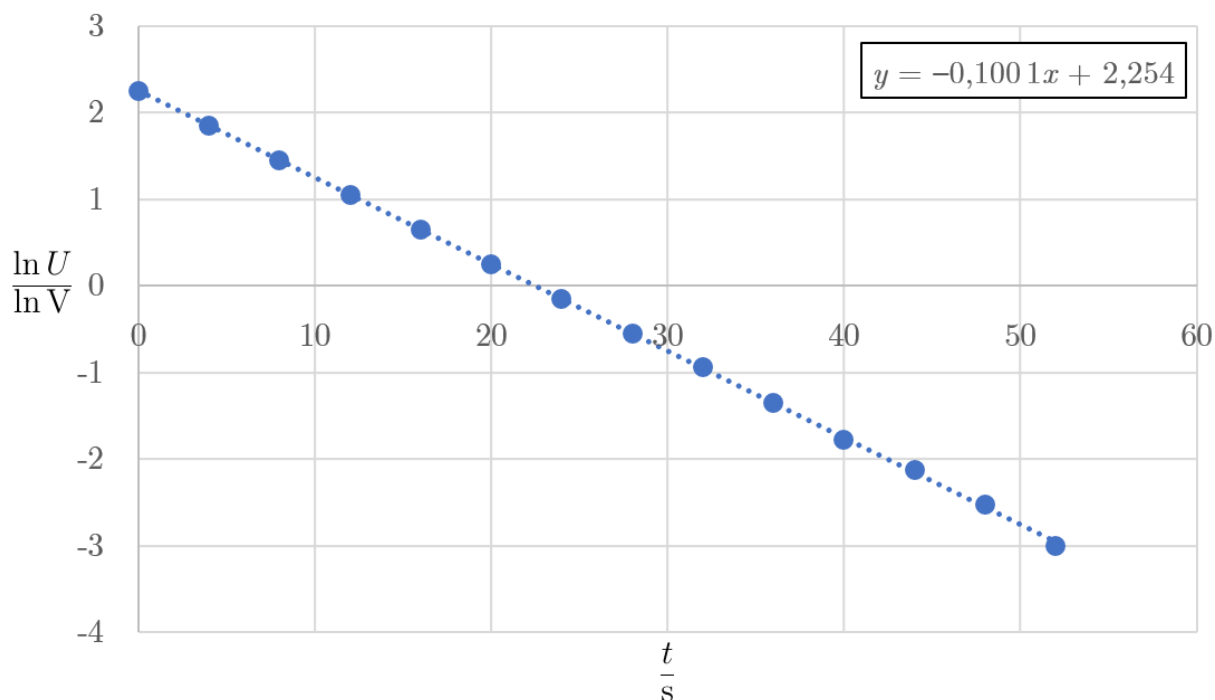
2 body

Podle vztahu (8) lze soudit, že převažuje klesající exponenciála, tedy $\frac{L}{R_m^2 C} \ll 1$. Po zanedbání druhého členu v rovnici (8) dostaneme logaritmováním

$$\ln U = \ln U_e - \frac{t}{R_m C}.$$

Vyneseme tedy do grafu závislost logaritmu napětí na čase.

1 bod



2 body

Z grafu odečteme směrnici sponice trendu $k = -0,1 \text{ s}^{-1}$,

$$-\frac{1}{R_m C} = k \Rightarrow C = -\frac{1}{k R_m} = 1 \text{ } \mu\text{C}.$$

1 bod

Přesnějšího měření lze docílit následujícím způsobem: Spojením zelené a modré zdičky poteče proud přes cívku. Paralelně k cívce připojíme (vybitý) kondenzátor, spojíme tedy bílou a modrou zdičku. Nyní odpojíme zdroj napětí, na cívce se prudkou změnou proudu indukují vysoké napětí, které nabije kondenzátor na napětí $U_C < 0$. Odpojíme oba vodiče a mezi bílou a zelenou zdičku připojíme voltmetr. Počáteční napětí $U_e - U_C \approx 30 \text{ V}$. Následuje nabíjení kondenzátoru, které se projevuje exponenciálním poklesem napětí na voltmetru.

- e) Předpokládejme, že RLC obvod koná tlumené kmity, tj. $R_L < 2\sqrt{L/C}$. Po jedné tlumené půlperiodě (dokud je dioda v propustném směru) by tedy vzhledem ke vztahu (6) mělo být na kondenzátoru napětí

$$\begin{aligned} U &= U_e \sqrt{\frac{4L}{4L - R_L^2 C}} e^{-\frac{R}{2L} \frac{\pi}{\omega}} \cos \varphi = \\ &= -U_e \sqrt{\frac{4L}{4L - R_L^2 C}} e^{-\frac{R}{2L} \frac{\pi}{\omega}} \sqrt{1 - \frac{R_L^2 C}{4L}} = -U_e e^{-\frac{R}{2L} \frac{\pi}{\omega}}. \end{aligned}$$

1 bod

Spojíme bílou a zelenou zdičku, čímž se kondenzátor rychle nabije. Dále odpojíme bílou od zelené a naopak ji spojíme s modrou. Pak by měla proběhnout výše zmíněná tlumená půlperioda a na kondenzátoru je napětí U . Nyní odpojíme bílou zdičku od modré a k bílé a zelené zdičce připojíme voltmetr. Kondenzátor

se začne nabíjet ze záporné hodnoty U na U_e . Tedy první údaj na voltmetru odpovídá napětí $U_e - U$. Změříme $U_e - U = 15,2$ V, tedy $U = -5,7$ V.

1 bod

Pokračujme v úpravách

$$\ln \left| \frac{U}{U_0} \right| = -\frac{R_L}{L} \frac{\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{4}}}$$

Po úpravě

$$L = CR_L^2 \left(\frac{\pi}{\ln^2 \left| \frac{U}{U_e} \right|} + \frac{1}{4} \right) = 124 \text{ mH.}$$

2 body