

Nabíjení kondenzátoru

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant
Klíčová slova: kondenzátor, nestacionární děj, nabíjení, časová konstanta, RC obvod

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

30 min

Obtížnost:

střední

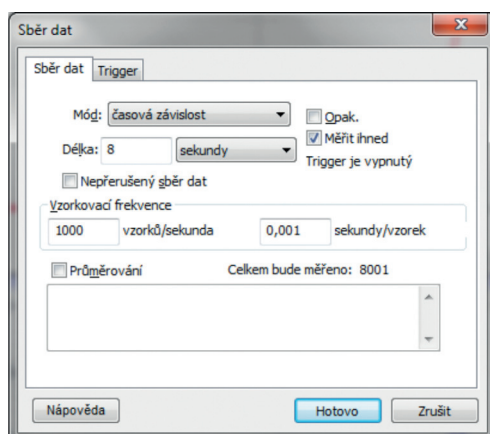
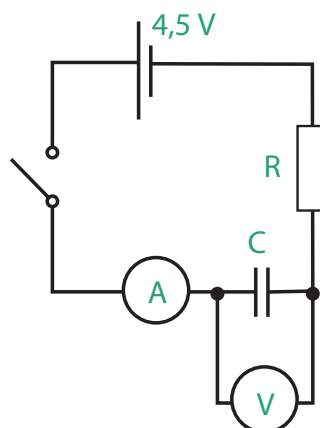
Úkol Současně pozorujte proud procházející kondenzátorem a napětí na jeho svorkách při procesu nabíjení.

- Zaznamenejte proud a napětí při nabíjení kondenzátoru a vzniklé křivky analyzujte. Zjistěte časovou konstantu obvodu.
- Porovnejte rychlost nabíjení pro různé odpory při stálé kapacitě.
- Porovnejte rychlost nabíjení pro různé kapacity při stálém odporu.

Pomůcky Plochá baterie 4,5 V ve stojánku, vypínač, kondenzátory 10 μF , 100 μF , 1 000 μF , rezistory 10 Ω , 22 Ω , 47 Ω , 100 Ω a 1 000 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), diferenciální voltmetr Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, vodiče

Postup Pozorování a analýza nabíjení

- 1) Zapojíme obvod podle schématu. Použijeme rezistor o odporu 100 Ω a kondenzátor o kapacitě 1 000 μF . Před začátkem měření je vypínač vypnutý a kondenzátor vybitý (doporučuji kondenzátor zkratovat).
- 2) Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme USB kabelem s počítačem.

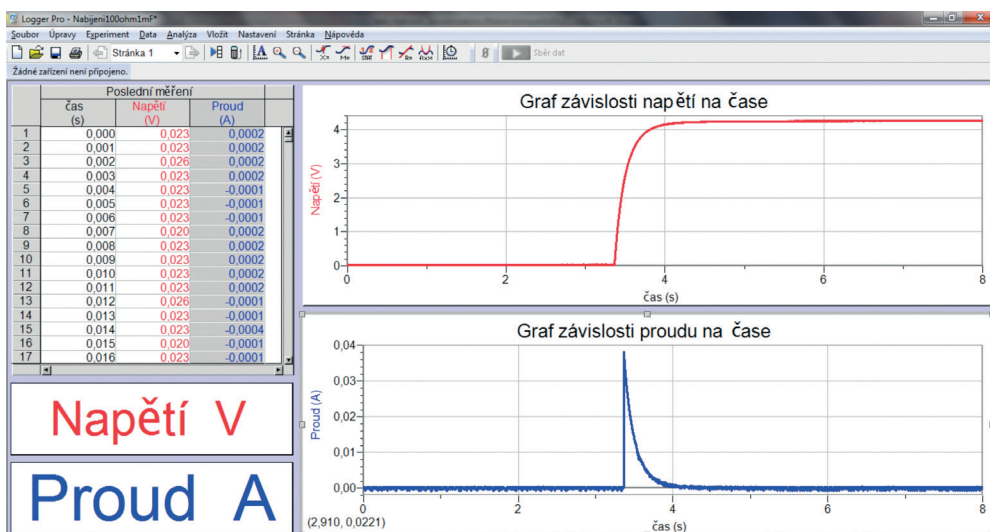


- 3) Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment**→**Sběr dat...**):
 - dobu měření 8 sekund,
 - vzorkovací frekvenci 1 000 Hz.

- 4) Před zahájením měření senzory vynulujeme (**Experiment**→**Nulovat...**).

- 5) Měření spustíme kliknutím na ikonu **Sběr dat** a v obvodu sepneme vypínač. Po skončení měření (8 s) vypínač vypneme.

Nabíjení kondenzátoru



Analýza procesu nabíjení

K sepnutí obvodu došlo v čase 3,36 s (použijte funkci **Analýza**→**Odečet hodnot**).

Při nabíjení narůstá napětí na kondenzátoru z hodnoty 0 V na maximální hodnotu 4,25 V (napětí na baterii). Napětí nejdříve prudce roste a po 1 s se stabilizuje na maximální hodnotě – kondenzátor je prakticky nabíjen. Křivka v grafu napětí je exponenciála (proložení viz níže).

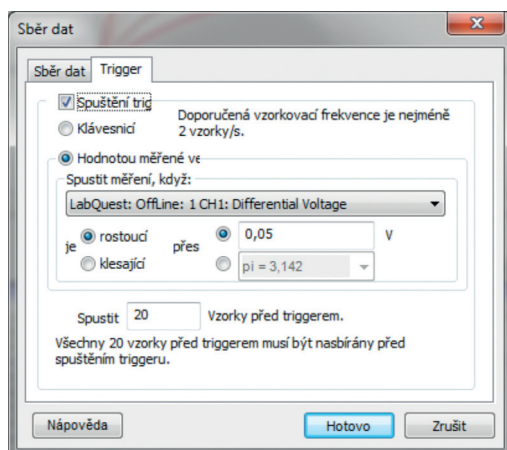
Ihned po uzavření obvodu se v něm objeví proud, který je při vybitém kondenzátoru maximální a roven 38,2 mA. Čím větší je napětí na kondenzátoru, tím menší je proud, a tím pomaleji se kondenzátor nabíjí. Po 1 s intenzita proudu poklesne na nulovou hodnotu.

Rychlost nabíjení – vliv odporu

Nabíjení není okamžitý děj, ale trvá určitou dobu. Rychlost nabíjení charakterizuje časová konstanta obvodu $\tau = RC$. Je rovna době, za kterou se vybitý kondenzátor nabije na 63 % maximální hodnoty napětí. Po uplynutí doby 5τ je rozdíl mezi napětím na kondenzátoru a nabíjecím napětím menší než 1 %.

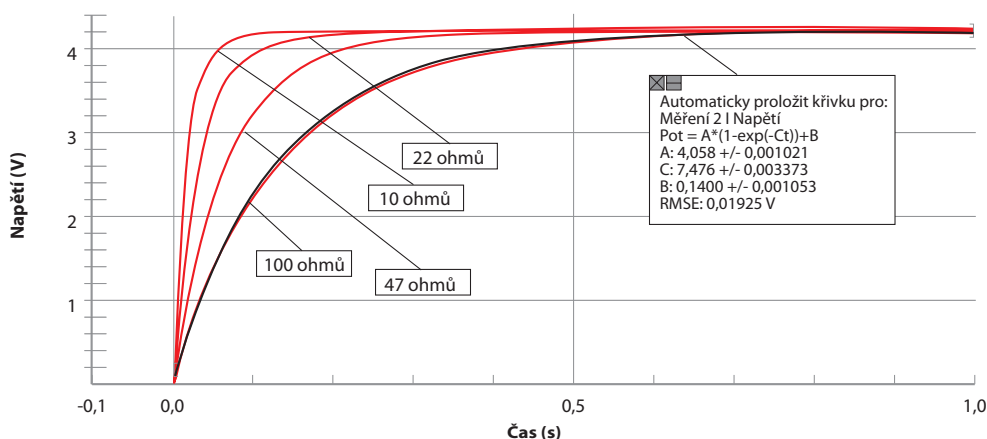
Prozkoumání vlivu R :

- Stejný obvod, $C = 1\,000\ \mu\text{F}$, odpory $10\ \Omega$, $22\ \Omega$, $47\ \Omega$ a $100\ \Omega$ postupně vyměňujeme (doporučuji kondenzátor pokaždé zkratovat).
- Nastavíme dobu měření 1 s, vzorkovací frekvenci 10 kHz, na záložce **Trigger** zvolíme **Spustit měření**, když napětí přeroste 0,05 V.



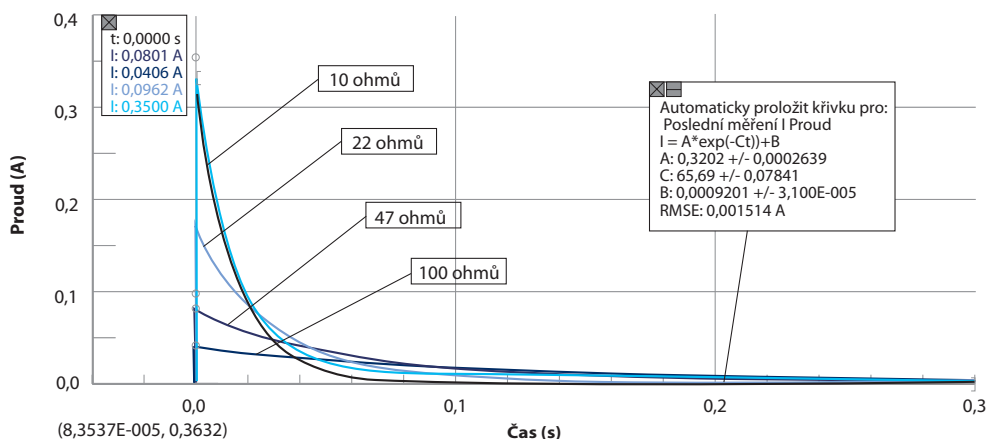
- Měření bude spuštěno automaticky triggerem, jakmile vypínačem uzavřeme obvod. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment**→**Uchovat poslední měření**.

Graf závislosti napětí na čase



Je zřejmé, že pro větší odpory probíhá nabíjení pomaleji, velikost odporu nemá vliv na limitní hodnotu napětí (určena zdrojem).

Graf závislosti proudu na čase

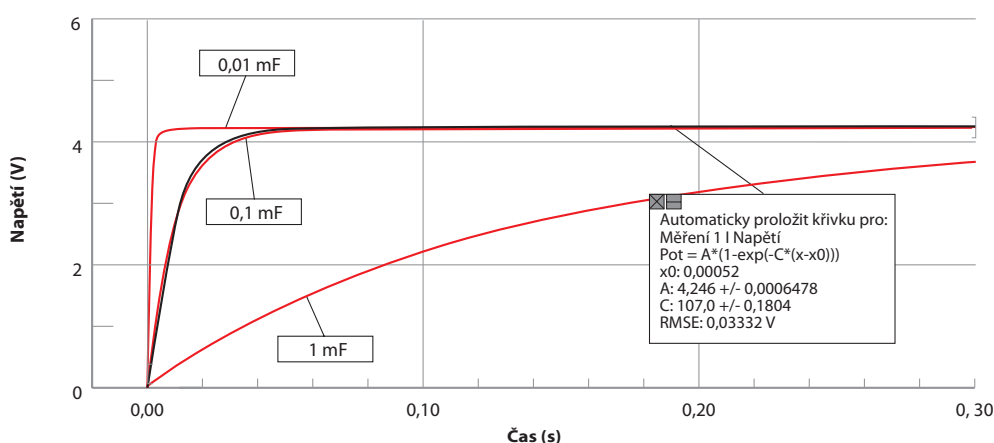


Podobně je vidět, že pro větší odpory probíhá nabíjení pomaleji, tzn. proud klesá k nule pomaleji. Velikost odporu ovlivňuje maximální proud v obvodu (při uzavření obvodu). Přibližně můžeme ověřit $I_0 = U_e/R = 4,25/10 = 0,425$ A. Hodnota neodpovídá změřenému proudu 0,35 A kvůli parazitním odporům (např. vnitřní odpor zdroje, ampérmetru).

Rychlost nabíjení – vliv kapacity

- Stejný obvod, vezmeme $R = 100 \Omega$, kapacity $10 \mu\text{F}$, $100 \mu\text{F}$ a $1\,000 \mu\text{F}$ postupně vyměňujeme (doporučuji kondenzátor pokaždé zkratovat).
- Ponecháme dobu měření 1 s, vzorkovací frekvenci 10 kHz, na záložce **Trigger** zvolíme **Spustit měření, když napětí přeroste přes 0,05 V**.
- Měření bude spuštěno automaticky triggerem, jakmile vypínačem uzavřeme obvod. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment** → **Uchovat poslední měření**.

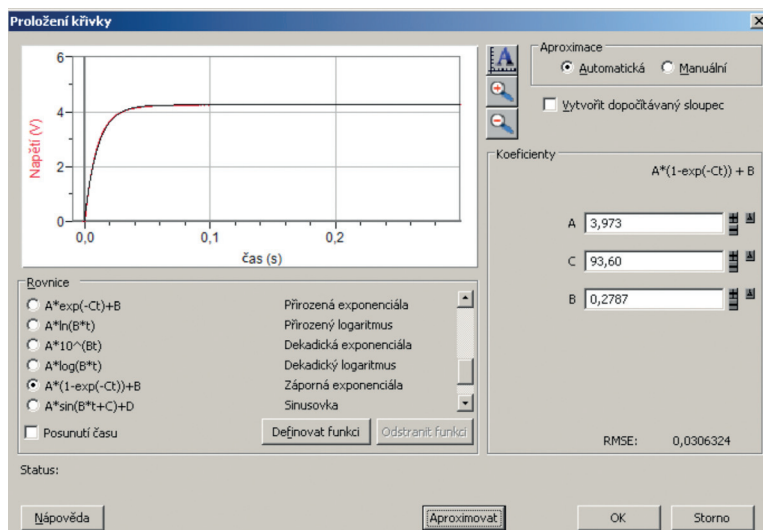
Graf závislosti napětí na čase při konstantním odporu



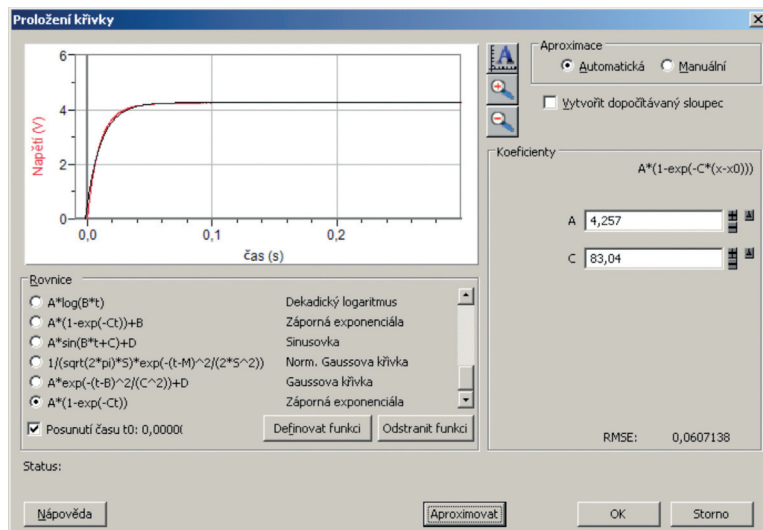
Nabíjení kondenzátoru

Je zřejmé, že se vzrůstající kapacitou se doba nabíjení prodlužuje; kapacita nemá vliv na maximální hodnotu napětí.

Pokročilé zpracování Křivkami v grafu je možné proložit exponenciální křivky, jak je ukázáno v posledních třech grafech (menu **Analýza**→**Proložit křivku...**). Pro napětí na čase vybereme zápornou exponenciálu a klikneme na **Aproximovat**. Pokud fit „sedí“, potvrdíme.



Vylepšení Víme, že křivka musí procházet počátkem; neprochází-li, je to způsobeno nastavením triggeru pro pohodlné měření. Víme, že křivka závisí jen na parametrech A a C, B = 0, přičemž časový počátek byl posunut. Ke zjištění A a C v menu **Analýza**→**Proložit křivku...** zatrhneme **Posunutí času** a definujeme funkci $f(t) = A \cdot (1 - \exp(-C \cdot t))$. Klikneme na **Aproximovat**, a pokud proložení sedí, potvrdíme.



V základním okně programu Logger Pro můžeme ještě jemně upravit začátek a konec proložené části křivky.

Začátek proložení křivky jsem takto upravit v grafu závislosti napětí na čase při konstantním odporu při kapacitě $C = 0,1 \text{ mF}$ (viz graf výše) a získal jsem:

- maximální (limitní) napětí = 4,246 V (je rovno konstantě A),
- časová konstanta obvodu (je rovna převrácené hodnotě konstanty C v obecném vyjádření křivky) $\tau = 1/C = 1/107 = 9,35 \text{ ms}$.

Tato hodnota je v dobré shodě s vypočítanou časovou konstantou dle nominálních hodnot $\tau = RC = 100 \Omega \cdot 0,1 \text{ mF} = 10 \text{ ms}$.