

Střídavý RC obvod

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant, aplikuje poznatky o mechanismech vedení elektrického proudu při analýze chování kondenzátoru v elektrických obvodech

Klíčová slova: kondenzátor, kapacita kondenzátoru, nabíjení a vybíjení, střídavé obvody, fázový posuv, impedance, RC obvod

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

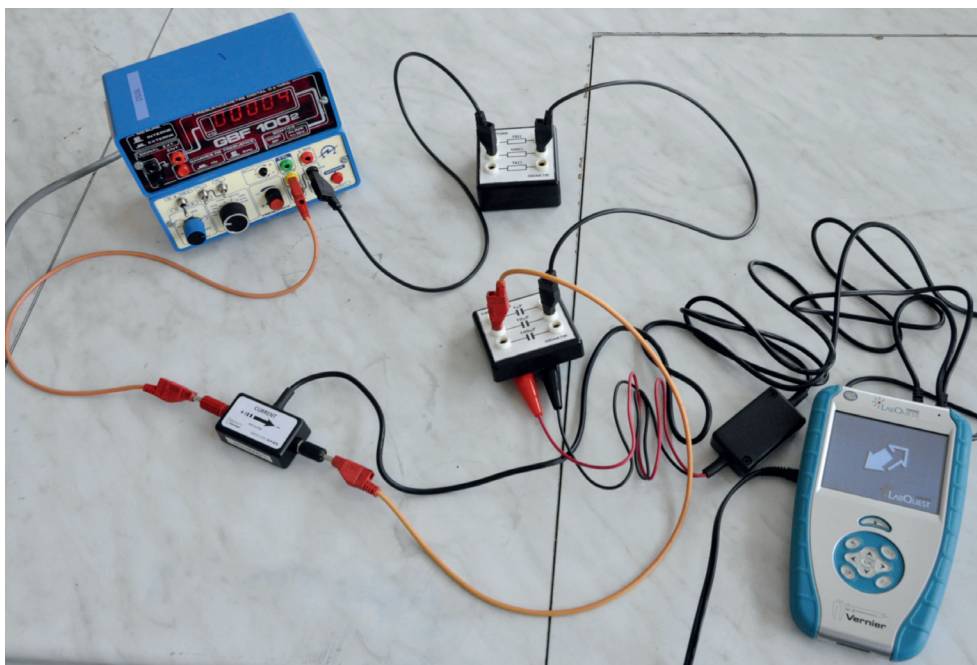
45 min

Obtížnost:

vysoká

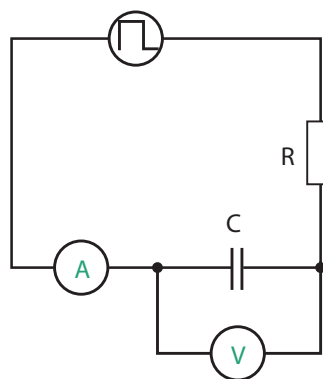
Úkol Prozkoumejte chování kondenzátoru v obvodu s generátorem obdélníkového napětí a s generátorem harmonického napětí.

Pomůcky Nízkofrekvenční zdroj obdélníkového a sinusového napětí, kondenzátory 100 μF , 1 000 μF , rezistor 100 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), 2 diferenciální voltmetry Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, vodiče

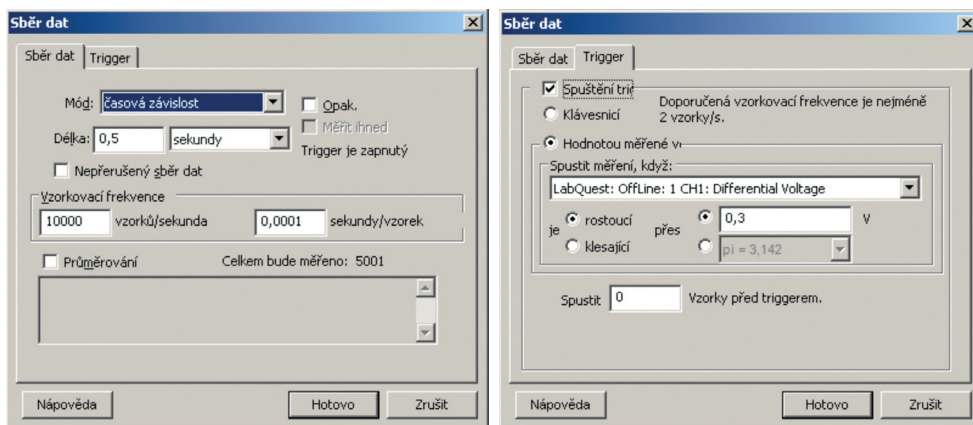


Vypracování Pozorování a analýza RC obvodu se zdrojem obdélníkových pulzů (nabíjení a vybíjení)

1. Na zdroji nastavíme frekvenci $f = 4 \text{ Hz}$, obdélníkové napětí ($0; +U_e$), přičemž elektromotorické napětí U_e nepřekročí 6 V.
2. Zapojíme obvod podle schématu. Použijeme rezistor o odporu 100 Ω a kondenzátor o kapacitě 100 μF .
3. Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme USB kabelem s počítačem.
4. Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment** $\rightarrow$ **Sběr dat...**):
 - dobu měření 0,5 sekundy,
 - vzorkovací frekvenci 10 kHz,
 - trigger: spustit měření, když napětí přesáhne 0,3 V.

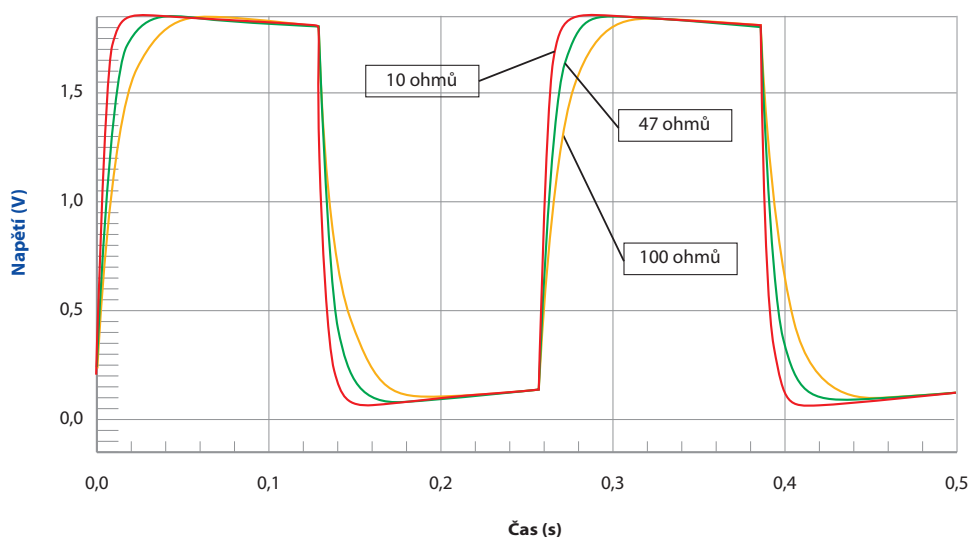


Střídavý RC obvod

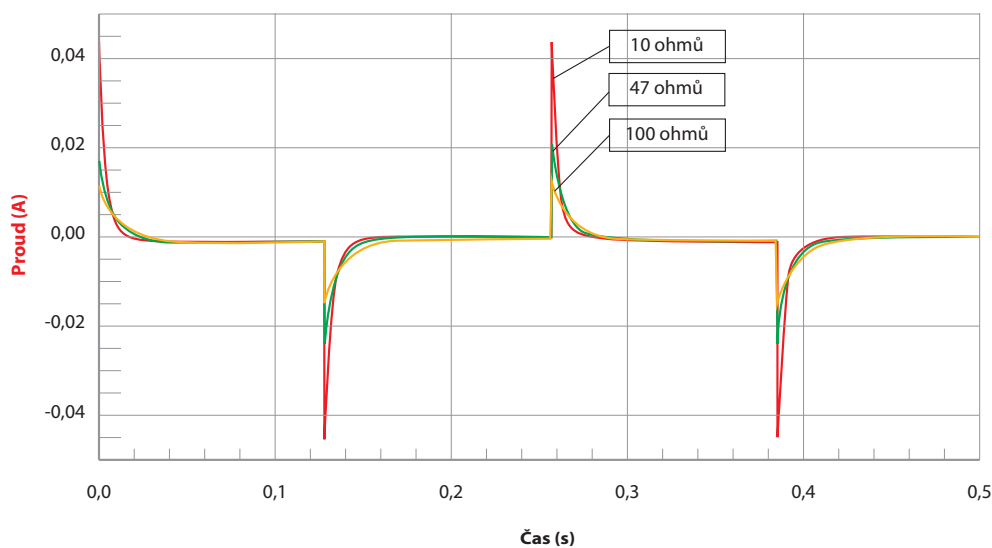


- Před zahájením měření (zdroj odpojen) senzory vynulujeme kliknutím na ikonu .
- Měření spustíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat**.
- Chceme-li do téhož grafu přidat křivku pro jiný rezistor, v menu **Experiment** zvolíme **Uchovat poslední měření**.

Časový
průběh
napětí na
kondenzátoru



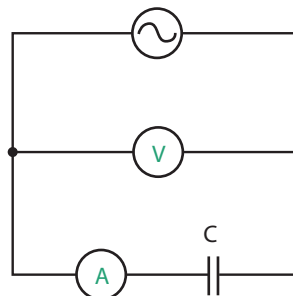
Časový
průběh
proudu na
kondenzátoru



Vyučující může se žáky identifikovat křivky, diskutovat znaménko proudu, rychlost nabíjení a vybíjení v závislosti na odporu. Podrobněji rozebráno v aktivitě **Nabíjení kondenzátoru**.

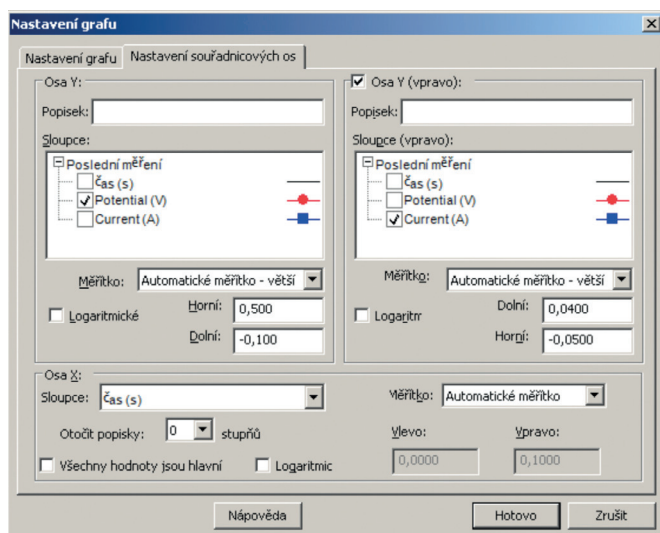
Kondenzátor připojen ke zdroji harmonického napětí

1. Na zdroji nastavíme frekvenci $f = 20$ Hz, sinusové napětí o amplitudě menší než 2 V.
2. Zapojíme obvod podle schématu.
Použijeme kondenzátor o kapacitě $1\,000\ \mu\text{F}$.
3. 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 0,1 sekundy,
 - vzorkovací frekvenci 10 kHz,
 - trigger: vypnutý.

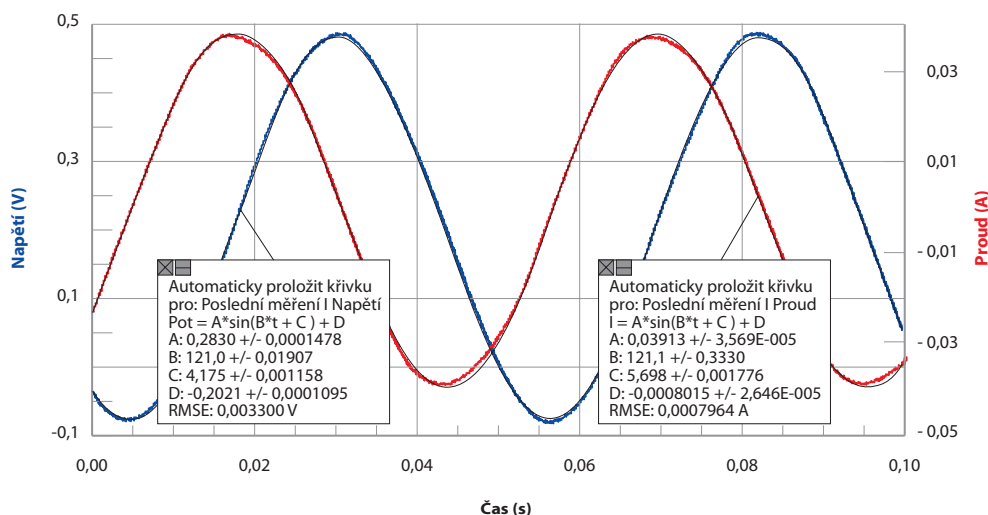


Před zahájením měření senzory vynulujeme kliknutím na ikonu . Měření spustíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat**.

Zobrazíme proud i napětí do jediného grafu (viz obr.) a proložíme je sinusoidami (**Analýza** → **Proložit křivku...**).



**Průběh
napětí
a proudu**



Střídavý RC obvod

Graf ukazuje, že střídavý zdroj (harmonického napětí) způsobí střídavý proud předbíhající napětí o 1/4 periody.

– totožná úhlová frekvence $\omega = 121 \text{ rad/s}$, $f = 19,3 \text{ Hz}$

– fázový posuv $5,696 - 4,172 = 1,524 \text{ rad} = 0,5 \cdot \pi \text{ rad}$

$$U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m, \text{ takže } C = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{I_m}{U_m} = \frac{1}{2\pi \cdot 19,3} \cdot \frac{0,03913}{0,2830} = 1,14 \text{ mF ve shodě}$$

s nominální hodnotou.

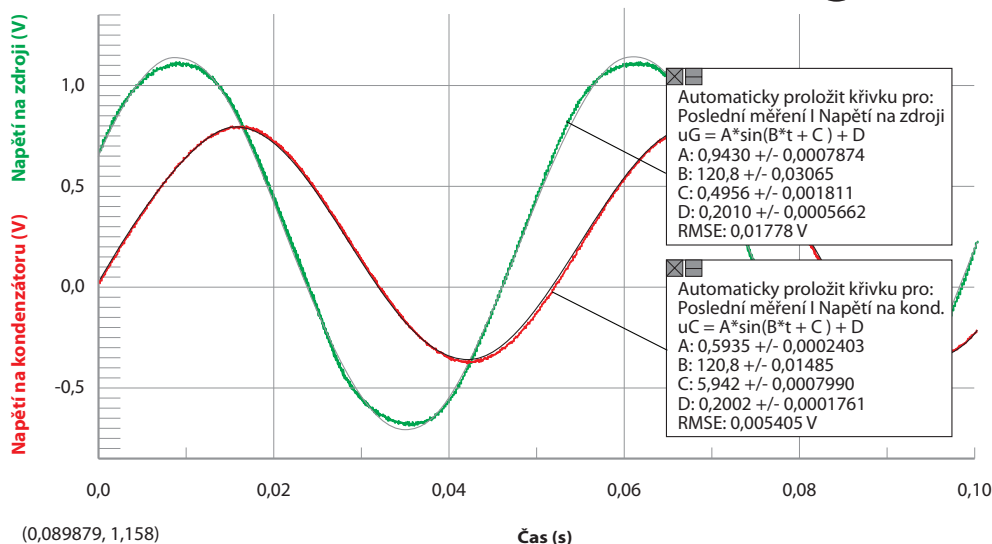
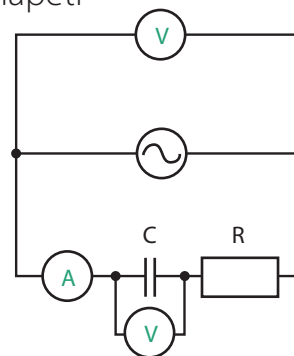
Z grafu je vidět, že v tomto obvodu proud předbíhá napětí: v dřívějším čase nastane maximum proudu, v pozdějším maximum napětí. V okamžiku, kdy je proud maximální, roste napětí nejrychleji. V okamžiku, kdy je proud nulový, napětí se nemění (maximum nebo minimum).

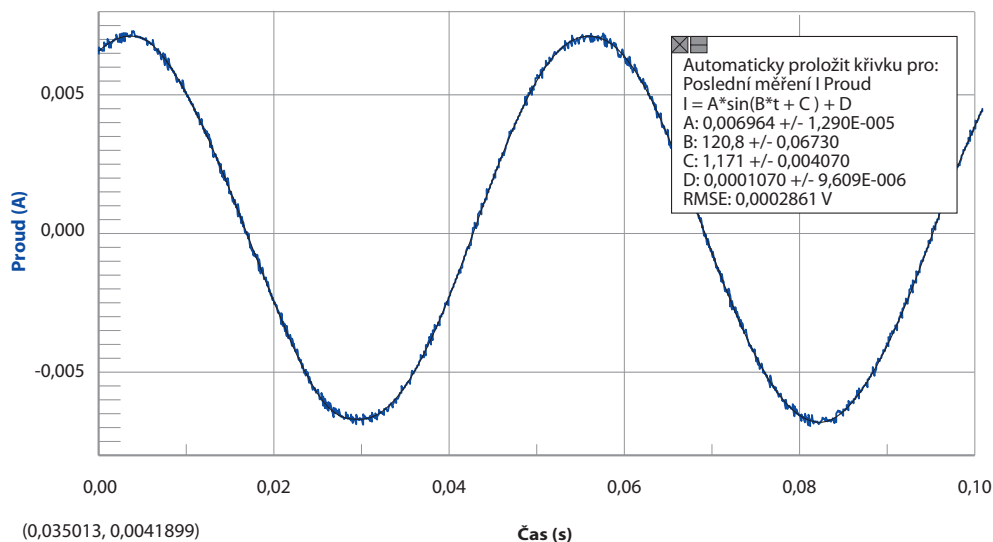
Pokročilejším studentům (4. ročník SŠ, VŠ) může posloužit tento graf k demonstraci vztahu

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}.$$

Sériový RC obvod se zdrojem harmonického napětí

Zapojíme obvod podle schématu, zvolíme $C = 100 \mu\text{F}$, $R = 100 \Omega$. Ponecháme dobu měření 0,1 s, vzorkování 10 kHz. Získanými křivkami můžeme proložit sinusoidy (menu **Analýza** → **Proložit křivku...**).





Na grafech může vyučující demonstrovat výklad učiva o fázorech.

- Všechny křivky mají tutéž úhlovou frekvenci $\omega = 120,8 \text{ rad/s}$.
- Fázor napětí na zdroji je součtem fázoru napětí na rezistoru a fázoru napětí na kondenzátoru. Podle očekávání proud i (úměrný u_R) předbíhá napětí na zdroji u_G a naopak napětí na kondenzátoru u_C se opožďuje vůči u_G .

- Fázový posuv proudu i vůči napětí zdroje u_G je $\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}}$.

Teoreticky: $\varphi = 0,69 \text{ rad}$,

Experimentálně: $\varphi = 1,171 - 0,496 = 0,675 \text{ rad}$.

Impedance obvodu $Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$

Teoreticky: $Z = 130 \Omega$

Experimentálně: $Z = 0,943/0,00696 = 135 \Omega$.

Rozdíly jsou způsobené především parazitními odpory a kapacitami v obvodu.

