

Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

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

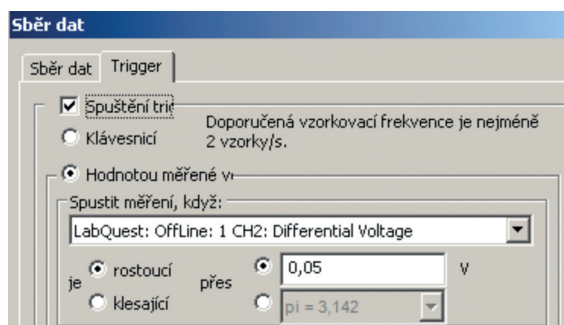
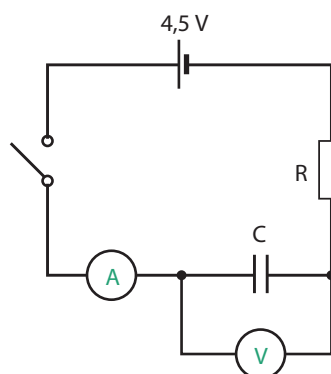
Laboratorní práce
Doba na přípravu:
10 min
Doba na provedení:
90 min
Obtížnost:
vysoká

Úkol Určete kapacitu kondenzátoru C čtyřmi metodami.
Pozorujte, jakou roli hraje kondenzátor v elektrickém obvodu.

Pomůcky Plochá baterie 4,5 V ve stojánku, zdroj harmonického napětí, kondenzátor o neznámé kapacitě C , vypínač, rezistory 10 Ω , 22 Ω , 47 Ω a 100 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), voltmetr Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro, vodiče

Postup I Pozorování nabíjení kondenzátoru

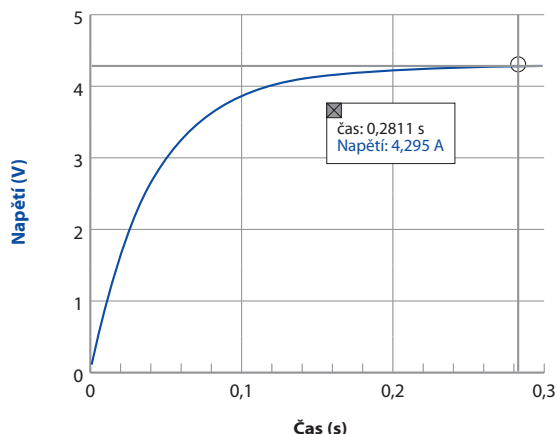
1. Zapojte obvod podle schématu. Použijte rezistor 100 Ω . Na začátku měření je vypínač vypnutý a kondenzátor vybitý.
2. Ampérmetr a voltmetr zapojte do vstupů CH1 a CH2 LabQuestu a propojte jej s USB portem počítače.
3. V programu Logger Pro pomocí ikony  vynulujte oba senzory. Pak v menu **Experiment** → **Sběr dat...** nastavte :
 - dobu měření = 0,3 s,
 - vzorkovací frekvenci = 10 kHz,
 - trigger : spustit měření, jakmile napětí na kondenzátoru u_C přesáhne 0,05 V.



4. Měření zahájíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat** a sepneme vypínač. Jak měření skončí, opět vypínač vypneme. Počítač automaticky vykreslí dva grafy : $u_C = f(t)$ a $i = f(t)$.
5. Pomocí ikony  určíme z grafu $u_C = f(t)$
 - a. maximální napětí U_m ,
 - b. časovou konstantu obvodu τ ,
 - c. kapacitu kondenzátoru C .
 Hodnoty zapisujeme do odpovědního archu.
6. Vybijte kondenzátor (je třeba jej zkratovat), nahradte rezistor jiným o jiném odporu a opakujte kroky 4) a 5). Pokud křivka napětí stoupá příliš strmě, můžete si ji pro přesnější změření zvětšit pomocí lupy .

Měření kapacity kondenzátoru

Graf závislosti napětí na čase



II Modelování křivek

Zopakujte experiment s $R = 100 \Omega$.

V menu **Analýza** → **Proložit křivku...**, proložte

- křivku $u_c = f(t)$ zápornou exponenciálou $A \cdot (1 - \exp(-Ct)) + B$ a určete konstanty A , B a C . Z nich určete τ a kapacitu C .
- křivku $i = f(t)$ přirozenou exponenciálou $A \cdot \exp(-Ct) + B$ a určete konstanty A , B a C . Z nich určete τ a kapacitu C .

Výsledky zapisujte do odpovědního archu.

III Integrál

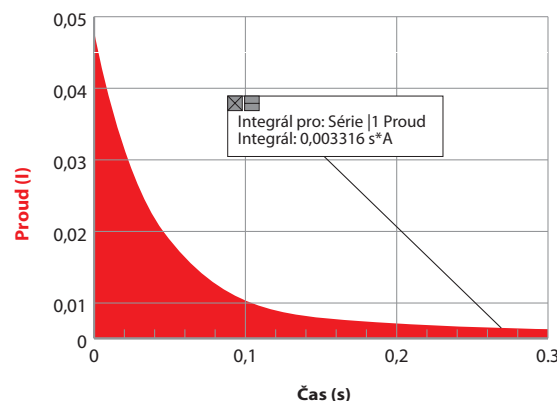
Pro kondenzátor platí $Q_m = C \cdot U_m$, kde Q_m je maximální náboj na kondenzátoru.

Okamžitý proud je definován jakožto $i = \frac{dq}{dt}$, takže q je integrál z proudu, $q = \int i \cdot dt$.

Geometricky vyjadřuje integrál plochu pod křivkou $i = f(t)$.

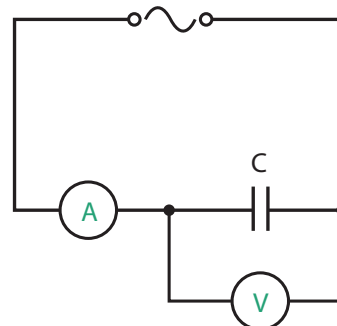
Označíme předchozí graf $i = f(t)$ a Q_m určíme kliknutím na ikonku **Integrál** (). K výpočtu použijeme U_m z předchozího úkolu.

Graf závislosti proudu na čase



IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

1. Zapojte obvod podle schématu. Použijte zdroj harmonického napětí o amplitudě mezi 0 a 2 V a o frekvenci 90 Hz.
2. V programu Logger Pro nastavte :
 - dobu měření = 0,1 s,
 - vzorkovací frekvenci = 10 kHz,
 - trigger vypnutý.
3. Provedte měření. Získanými křivkami proložte sinusoidy (menu **Analýza** → **Proložit křivku...**) a z nich určete amplitudu napětí U_m , amplitudu proudu I_m a fázový posuv φ napětí vůči proudu.



Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

I Pozorování nabíjení kondenzátoru

$R (\Omega)$	$U_m (V)$	$0,63 \cdot U_m (V)$	$\tau (s)$	$C (F)$
100				
47				
22				
10				

Aritmetický průměr $\bar{C} = \dots\dots\dots$

II Modelování křivek

Kvalitativně popište průběh funkcí $u_c = f(t)$ a $i = f(t)$.

.....

.....

.....

.....

křivka	konstanta A	konstanta B	konstanta C	$\tau (s)$	kapacita $C (F)$
$u_c = f(t)$					
$i = f(t)$					

Maximální proud I_m :

experimentální hodnota $I_m = \dots\dots\dots$

teoretická hodnota $I_m = \frac{U_m}{R} = \dots\dots\dots$

III Integrál

$U_m = \dots\dots\dots$

$Q_m = \dots\dots\dots$

$C = \dots\dots\dots$

IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

$U_m = \dots\dots\dots$

$I_m = \dots\dots\dots$

$\varphi = \dots\dots\dots$

$f = \dots\dots\dots$

Měření kapacity kondenzátoru

Z hodin víme, že $U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m$, vypočtěte $C = \dots\dots\dots$

V Zpracování výsledků

Na kondenzátoru najděte nominální hodnotu kapacity : $C_0 = \dots\dots\dots$

Pro každou metodu spočítejte absolutní a relativní odchylku měření od nominální hodnoty a rozhodněte, která z metod je nejpřesnější.

Metoda	C (F)	ΔC (F)	δC (%)
I			
II			
III			
IV			

Závěr:

.....

.....

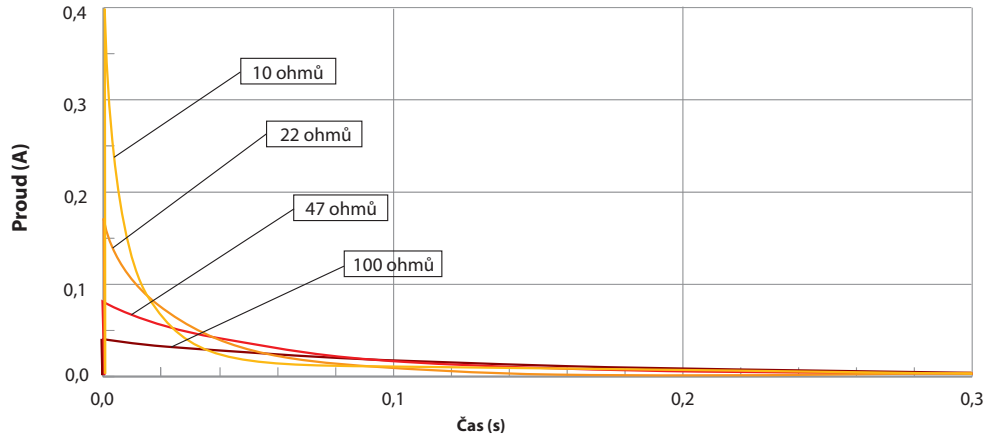
Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

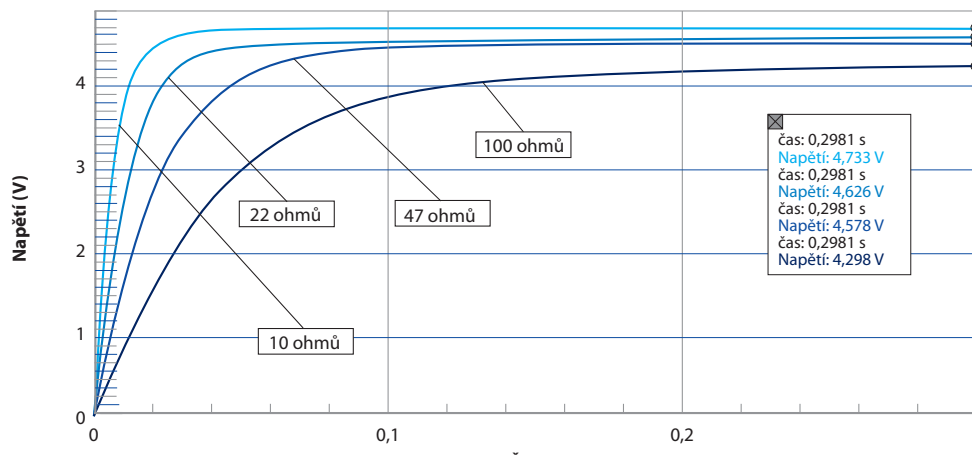
Používejte kondenzátory o kapacitě 470 μF a 680 μF . Níže uvedené výsledky se vztahují ke kapacitě 470 μF .

I Pozorování nabíjení kondenzátoru

Graf závislosti proudu na čase



Graf závislosti napětí na čase



$R (\Omega)$	$U_m (V)$	$0,63 \cdot U_m (V)$	$\tau (s)$	$C (F)$
100	4,298	2,708	0,0411	$4,11 \cdot 10^{-4}$
47	4,578	2,884	0,0209	$4,45 \cdot 10^{-4}$
22	4,626	2,914	0,0106	$4,82 \cdot 10^{-4}$
10	4,733	2,982	0,0058	$5,80 \cdot 10^{-4}$

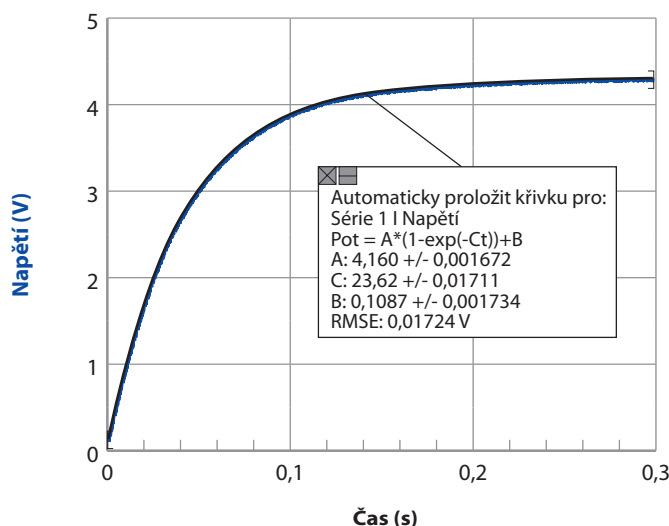
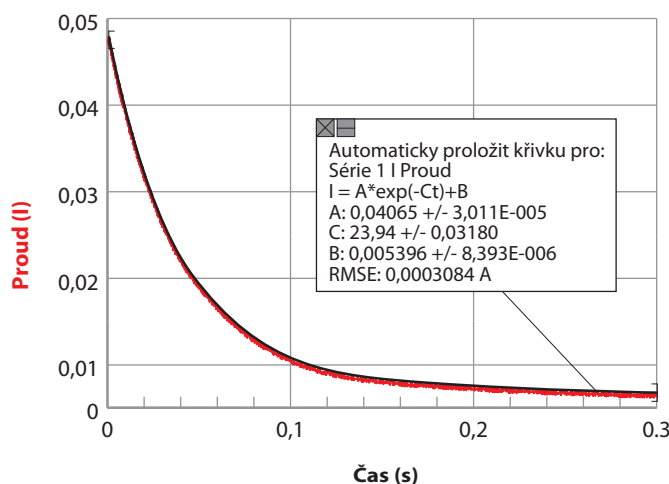
Aritmetický průměr $\bar{C} = 0,479 \text{ mF}$.

II Modelování křivek

Křivka $u_c = f(t)$ je rostoucí záporná exponenciála která prochází počátkem a má horizontální asymptotu $u_c = U_m$ v $+\infty$. Původně vybitý kondenzátor se tedy exponenciálně nabíjí. Maximální napětí, jehož je možno dosáhnout v ustáleném stavu, se rovná elektromotorickému napětí baterie.



Měření kapacity kondenzátoru

Graf
závislosti
napětí
na časeGraf
závislosti
proudu
na čase

Křivka $i = f(t)$ je klesající exponenciála protínající osu proudu v bodě I_m (maximální proud na začátku nabíjení). Tato křivka má horizontální asymptotu $i = 0$ A v $+\infty$. Elektrický proud tedy exponenciálně klesá a blíží se nule v ustáleném stavu.

křivka	konstanta A	konstanta B	konstanta C	τ (s)	kapacita C (F)
$u_c = f(t)$	4,160	0,1087	23,62	0,0423	$4,23 \cdot 10^{-4}$
$i = f(t)$	0,04065	0,005396	23,94	0,0418	$4,18 \cdot 10^{-4}$

Maximální proud I_m :

experimentální hodnota $I_m = 40,65$ mA

teoretická hodnota $I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{4,160 + 0,1087}{100} = 42,7$ mA

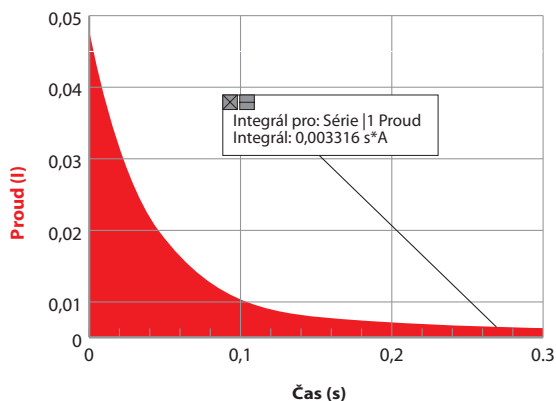
III Integrál

$U_m = 4,160 + 0,1087 = 4,269$ V

$Q_m = 3,316$ mC

$C = 0,777$ mF

**Graf
závislosti
proudu
na čase**



IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

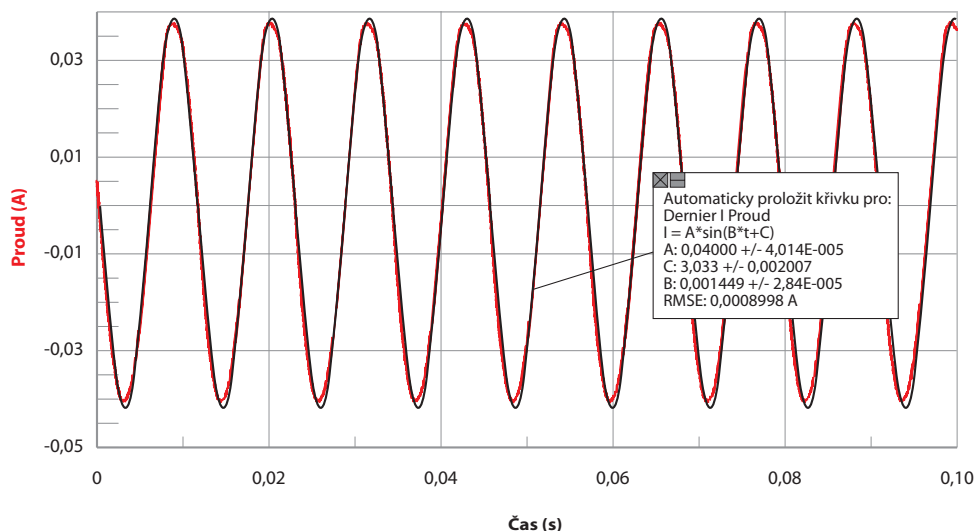
$$U_m = 0,1705 \text{ V}$$

$$I_m = 40,00 \text{ mA}$$

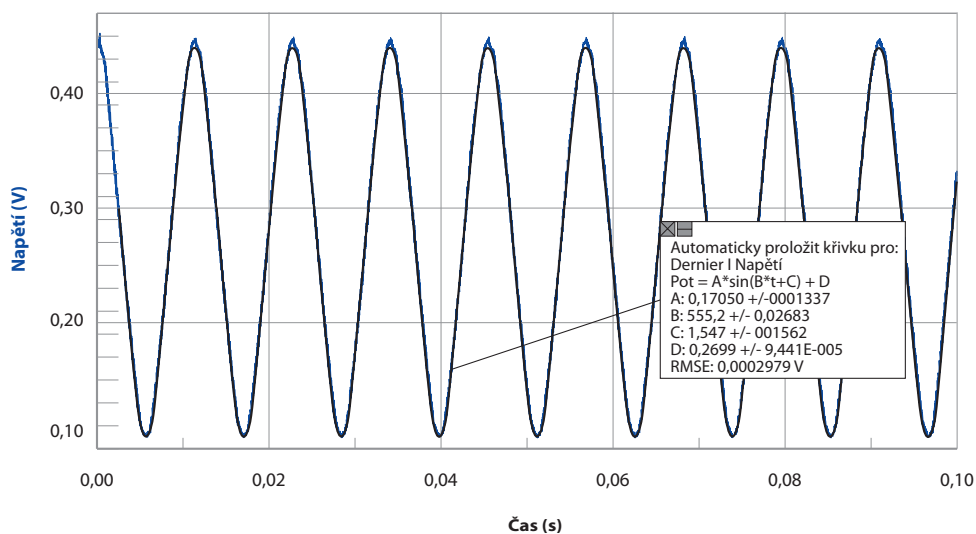
$$\varphi = 3,033 - 1,547 = 1,486 \text{ rad} = 0,47\pi \text{ rad}$$

$$f = 555,2/2\pi = 88,4 \text{ Hz}$$

**Graf
závislosti
proudu
na čase**



**Graf
závislosti
napětí
na čase**



Z hodin víme, že $U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m$, takže $C = 0,423 \text{ mF}$

Měření kapacity kondenzátoru

Poznámka pro pokročilé Elektrický proud procházející kondenzátorem je přímo úměrný derivaci napětí na tomto kondenzátoru podle času ($i = C \frac{du_c}{dt}$), proto :

když se u_c zvětšuje, proud je kladný,
 když u_c klesá, proud je záporný,
 když dosáhne u_c maxima nebo minima, proud je nulový,
 když je i maximální, zvětšuje se u_c nejrychleji.

V Zpracování výsledků

Nominální hodnota kapacity : $C_0 = 470 \mu\text{F}$

Metoda	$C (\mu\text{F})$	$\Delta C (\mu\text{F})$	$\delta C (\%)$
I	479	9	2
II	420	50	11
III	777	307	65
IV	423	47	10

Závěr Výsledek získaný první metodou je nejbližší nominální hodnotě. Poněvadž neznáme vnitřní odpor, kapacitu nebo indukčnost měřicích přístrojů ani zdroje, nelze rozhodnout, která z naměřených kapacit je správná.

Třetí metodu je možno použít pouze tehdy, pokud je ampérmetr před měřením pečlivě vynulován (což v ukázkových výsledcích nebylo dodrženo).