

Gymnázium, Soběslav, Dr. Edvarda Beneše 449/II



# Laboratorní cvičení z fyziky

## Kapacita kondenzátoru

Autor: Mgr. Ivana Stefanová

Jméno souboru: Kapacita

Poslední úprava: 26. ledna 2020

# Kapacita kondenzátoru

## Obsah

Pracovní úkoly.....	1
Teorie.....	1
Protokol o měření.....	3
Příprava pracoviště.....	4
Pokyny k provádění měření.....	5
Nastavení.....	5
Měření napětí při nabíjení.....	5
Měření napětí při vybíjení.....	7
Měření proudu při nabíjení.....	7
Měření proudu při vybíjení.....	8
Teoretické úkoly.....	9
Upozornění.....	10
Soupiska pomůcek a materiálu.....	10
Příloha.....	10

# Kapacita kondenzátoru

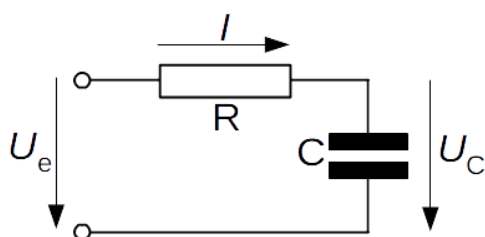
Úkolem laboratorního cvičení je studium nabíjení a vybíjení kondenzátoru a určení jeho kapacity. Někdy se v této souvislosti též hovoří o přechodových jevech v RC obvodu.

## Pracovní úkoly

1. Připravte si pracoviště a měřicí aparaturu dle pokynů níže.
2. Proved'te měření napětí na kondenzátoru při jeho nabíjení a vybíjení v RC obvodu a pomocí časové konstanty přechodového děje určete jeho kapacitu.
3. Měřením napětí při nabíjení určete kapacitu dalšího kondenzátoru a následně i kapacitu sériové a paralelní kombinace obou kondenzátorů,
4. Proved'te měření proudu v RC obvodu při nabíjení a vybíjení kondenzátoru a určete kapacitu kondenzátoru pomocí přeneseného náboje. Při vybíjení navíc určete kapacitu rozborem časové závislosti proudu.

## Teorie

Výklad učiva o kondenzátorech naleznete v učebnici *Fyzika pro gymnázia*, díl *Elektřina a magnetismus* od O. Lepila a P. Šedivého (oddíly 1.8 a 1.9). Alternativou je Svobodův *Přehled středoškolské fyziky* (kapitola 5 *Elektřina a magnetismus*, kondenzátorům se autor věnuje na str. 251 až 253).



Budeme se zabývat RC obvodem podle obrázku (tj. jednoduchým obvodem složeným z rezistoru  $R$  a kondenzátoru  $C$ ), na jehož svorky připojujeme vnější zdroj stejnosměrného napětí  $U_e$ , případně svorky zkratujeme<sup>1</sup>. Napětí mezi elektrodami kondenzátoru označíme  $U_C$  a proud protékající obvodem je  $I$ .

Uvažujme nejprve zcela vybitý kondenzátor, tj. napětí na kondenzátoru je zpočátku nulové. V čase  $t = 0$  připojíme ke svorkám obvodu zdroj s napětím  $U_0 > 0$ . Mezi vývody rezistoru se objeví napětí (potenciálový rozdíl) a proto obvodem začne téct elektrický proud. Tento proud je vlastně přenos náboje, který se začne hromadit na elektrodách kondenzátoru. Tím mezi nimi vznikne napětí, což vede k poklesu napětí na rezistoru  $U_R = U_0 - U_C$  a také proud  $I$  obvodem se zmenší. Přesto se na kondenzátoru hromadí další náboj, který zvyšuje napětí mezi elektrodami. V důsledku klesá i proud obvodem. Celý děj probíhá do okamžiku, kdy napětí na kondenzátoru dosáhne napětí zdroje; potom jsou vývody rezistoru na stejném potenciálu a proud již obvodem neteče. Principiálně by nám tento jev měl být jasný, ale přesný matematický popis časového průběhu napětí na kondenzátoru a proudu obvodem je zatím mimo naše možnosti. Zahrnuje totiž sestavení *diferenciální* rovnice a její řešení,

<sup>1</sup> To je vlastně to samé, jako připojení ideálního zdroje s nulovým napětím (jak víme, jeho vnitřní odpor je nulový).

což je předmětem až vysokoškolských kurzů matematiky. Proto uvedeme pouze konečný výsledek pro napětí na kondenzátoru v závislosti na čase  $t$  při nabíjení

$$U_C = U_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau}),$$

kde tzv. časová konstanta  $\tau = R \cdot C$ . Proud v obvodu pak se znalostí  $U_C$  vypočteme pomocí Ohmova a druhého Kirchhoffova zákona<sup>2</sup>

$$I = \frac{U_0 - U_C}{R} = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-t/\tau}.$$

Je důležité si uvědomit, že napětí na kondenzátoru i proud obvodem jsou nyní časově závislé veličiny (odvozené vztahy platí pro kladné časové okamžiky). Vztahy říkají, že napětí na kondenzátoru se postupně blíží napětí zdroje a proud obvodem klesá k nule. Rychlost těchto dějů vhodně vystihuje časová konstanta  $\tau$ . Po uplynutí doby  $5 \cdot \tau$  se hodnota od konečné liší o 0,7%, po uplynutí  $10 \cdot \tau$  jen o 0,005%, což je v rámci běžných měření nezjistitelný rozdíl. Dokážeme-li zpracováním měření určit časovou konstantu, pak při znalosti odporu rezistoru  $R$  již snadno určíme kapacitu kondenzátoru  $C$ .

Za druhé se podívejme na situaci, kdy máme kondenzátor nabitý na kladné napětí  $U_0$  a v čase  $t = 0$  zkratujeme svorky obvodu. Mezi vývody rezistoru se objeví napětí a obvodem začne protékat proud. Tímto proudem přenesený náboj rekombinuje, následkem toho se zmenšuje náboj vázaný na elektrodách kondenzátoru a tím i napětí na kondenzátoru. Napětí mezi vývody rezistoru se postupně blíží nule stejně jako proud obvodem. Popsaný proces ustane, až se kondenzátor zcela vybije. Opět uvádíme pouze výsledek řešení diferenciální rovnice pro  $U_C$  v této situaci

$$U_C = U_0 \cdot e^{-t/\tau}.$$

Obdobně (tj. pomocí Ohmova a druhého Kirchhoffova zákona) vypočtete proud obvodem – je to jeden z úkolů této úlohy. Stejně jako při nabíjení kondenzátoru máme časově proměnné veličiny  $U_C$  a  $I$ , vztahy opět platí pouze pro kladné časy. Z časové konstanty je možné určit kapacitu kondenzátoru při známém odporu rezistoru.

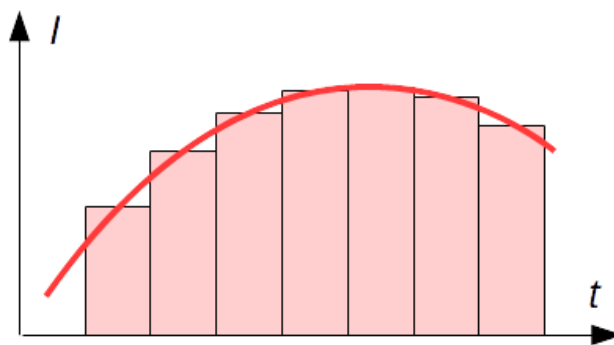
Nakonec popíšeme postup určení kapacity kondenzátoru pouze ze změřené časové závislosti proudu obvodem při nabíjení či vybíjení kondenzátoru a při znalosti napětí na nabitém kondenzátoru. Víme, že kapacita kondenzátoru je koeficientem úměrnosti mezi velikostí náboje vázaného na jeho elektrodách a napětím mezi elektrodami

$$C = \left| \frac{Q}{U_C} \right|.$$

Okamžitý proud procházející obvodem je poměr náboje, který protekl za velmi krátký časový interval, a délky tohoto intervalu. Mějme naměřenou časovou závislost proudu protékajícího obvodem. Rozdělíme si časovou osu na nějaké krátké časové intervaly délky  $\Delta t$ . Nyní pro každý

<sup>2</sup> Ohmův a Kirchhoffovy zákony jsme si uváděli pro obvody v ustáleném stavu. Platí však i za obecnějších podmínek (jako je např. naše situace), je potřeba ale důsledně použít okamžité hodnoty všech napětí a proudů.

takový interval nakreslíme obdélník o šířce intervalu a výšce, která odpovídá naměřené hodnotě proudu ve středu intervalu; viz obrázek. Plocha obdélníku je rovna součinu proudu a délky intervalu  $\Delta Q = I \cdot \Delta t$ . Má tedy fyzikální význam náboje přeneseného během tohoto časového intervalu. Součet ploch všech obdélníků v nějakém rozsahu pak reprezentuje celkový přenesený náboj za zkoumaný časový úsek. Přesnost tohoto postupu



se zjevně zlepšuje se zkracováním časového intervalu  $\Delta t$ . Můžeme učinit závěr, že plocha pod naměřenou křivkou proudu v grafu má význam celkově přeneseného náboje během zkoumaného období.<sup>3</sup> V našem případě to znamená, že plocha ohraničená naměřenou závislostí proudu od počátku děje až do stavu, kdy proud je prakticky nulový, je celkový náboj  $Q$  uložený do kondenzátoru při jeho nabíjení resp. celkový náboj  $Q$  odebraný z kondenzátoru při jeho vybíjení. Při znalosti napětí nabitého kondenzátoru  $U_C$  již můžeme určit kapacitu kondenzátoru. Pověšměte si, že pro výsledek není důležitý konkrétní tvar časové závislosti proudu, ale jen plocha v grafu.

## Protokol o měření

Skupina odevzdá jako výsledek své práce protokol o měření, může být zpracován (i odevzdán) elektronicky nebo ručně, volba je jenom na vás. U dokumentu bude hodnocena jeho úplnost, správnost, jasnost a fyzikální argumentace. Protokol z tohoto cvičení by měl obsahovat:

- naměřené grafy napětí na kondenzátoru při nabíjení i vybíjení kondenzátoru  $C_1$  s popisem,
- vypočtené hodnoty kapacity kondenzátoru  $C_1$  z časové konstanty přechodového děje v obou případech (vzorec, dosazované hodnoty, chyba výsledku),
- tabulku s naměřenými časovými konstantami přechodového děje při nabíjení a vypočtenými kapacitami (včetně chyb) pro kondenzátor  $C_2$  a sériovou i paralelní kombinaci obou kondenzátorů,
- porovnání kapacit obou kombinací kondenzátorů s teoretickými předpoklady,
- naměřené grafy proudu v obvodu při nabíjení i vybíjení kondenzátoru  $C_1$  a jejich vzájemné porovnání,
- vypočtené hodnoty kapacity kondenzátoru  $C_1$  pomocí celkově přeneseného náboje v obou případech (včetně výše uvedených náležitostí),
- odvození vztahu pro proud v RC obvodu při vybíjení kondenzátoru a určení kapacity  $C_1$  jeho pomocí,
- závěr obsahující celkové shrnutí získaných výsledků,
- vypracování dvou níže uvedených teoretických úkolů (tento bod není povinný).

<sup>3</sup> Naznačené úvahy je možné postavit na pevné matematické základy (viz *integrální počet*, který potkáte v matematice v maturitním ročníku). Již nyní je ale vidět, že uvedené „odvození“ má dobrý fyzikální význam.

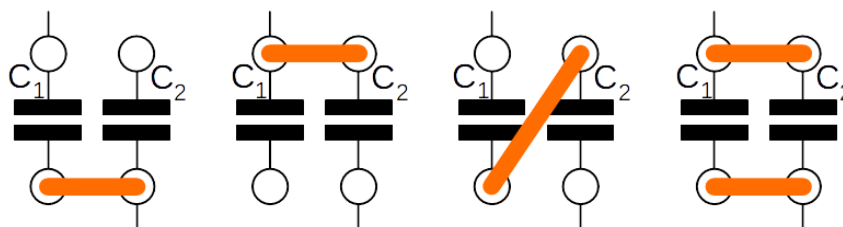
## Příprava pracoviště

Při měření budete používat jednoduchý přípravek CAP1, který obsahuje všechny prvky RC obvodu.



*Přípravek CAP1*

Jeho zapojení by mělo být zřejmé ze schématu na horní straně. Kablíkem s banánky se přípravek připojuje k vnějšímu zdroji napětí (červený na kladný pól zdroje). Kolébkový přepínač volí pracovní režim – v poloze s jednou čárkou je RC obvod zkratován, v poloze se dvěma čárkami je RC obvod připojen ke zdroji napětí. Metaloxidový rezistor s jmenovitou hodnotou  $1\text{ k}\Omega$  má vývody připojeny na zdířky pro měření napětí na něm. Konkrétní změřený odpor je uveden na štítku na spodní straně přípravku (v rozsahu běžných pokojových teplot a povolených pracovních napětí by měla být zaručena uvedená přesnost). V přípravku jsou osazeny dva elektrolytické kondenzátory, jejich elektrody jsou rovněž vyvedeny na zdířky. Pomocí jednoho nebo dvou propojovacích vodičů zařadíme do obvodu jeden z kondenzátorů nebo sériovou či paralelní kombinací obou; viz obrázek.



*Propojení pro měření na kondenzátoru  $C_1$ , na kondenzátoru  $C_2$ , na sériové kombinaci  $C_1$  a  $C_2$  a na paralelní kombinaci  $C_1$  a  $C_2$ .*

Snímač napětí a proudu připojte k rozhraní ([Airlink](#) nebo [PowerLink](#)), které odpovídajícím způsobem propojte s počítačem. Stabilizovaný napájecí zdroj [PeakTech 6080](#) zapojte do elektrické sítě, zapněte jej pomocí kolébkového vypínače a knoflíkovým ovladačem nastavte výstupní napětí  $10,0\text{ V}$ . Ovladač proudu nastavte asi do čtvrtiny jeho dráhy. Do výstupních svorek zdroje zapojte přívodní kabel přípravku CAP1, respektujte při tom správnou polaritu.

Po zapnutí počítače, startu operačního systému a spuštění programu Capstone pomocí zástupce na ploše máte pracoviště připravené k měření. Při bezdrátovém přenosu dat pomocí rozhraní Airlink je třeba ještě dokončit připojení dle [tohoto návodu](#).

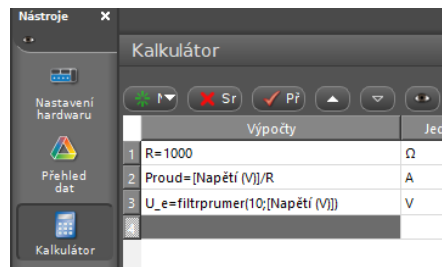
## Pokyny k provádění měření

V programu Capstone pomocí položky v podmenu *Soubor* (případně standardním tlačítkem) otevřete soubor `kapacita.cap`, který je připraven pro tuto úlohu. Na úvodní stránce vyplňte údaje o složení skupiny a datu měření a uložte si její kopii do laboratorního deníku.

### Nastavení

Přepněte na další stránku pracovního sešitu – *Nastavení*. Na liště nástrojů můžete zkontrolovat stav nastavení hardware. Snímač napětí připojte pomocí vodičů s banánky k přípravku CAP1 – kladný (červený) pól na červenou zdířku kondenzátoru  $C_1$ , záporný pól na černou zdířku kondenzátoru  $C_2$  (jiné propojovací vodiče nejsou použity). Přepínačem zkratujte vstup RC obvodu a tlačítkem *Zaznamenat data* dole na liště ovládacích prvků spusťte měření napětí. Na displeji byste měli vidět hodnotu velmi blízkou nule. Přepněte na vnější zdroj napětí. Ovladačem na zdroji jemně doladte napětí, aby zobrazovaná hodnota byla v mezích 9,90 až 10,10 V. Nastavené napětí pak již neměňte, změřenou hodnotu si poznamenejte. Měření ukončete tlačítkem *Ukončit*.

Proud procházející obvodem se neměří přímo, ale určuje se výpočtem pomocí Ohmova zákona ze změřeného napětí na rezistoru. Velikost napětí (v absolutní hodnotě) v RC obvodu nepřesáhne 10 V (napětí nastavené na stabilizovaném zdroji), což záměrně koresponduje s napěťovým rozsahem snímače PS-2115. Naproti tomu jsou dosahované proudy (v řádu jednotek miliampérů) výrazně menší než proudový rozsah použitého snímače ( $\pm 1$  A), proto by přímé měření mělo výrazně nižší přesnost. Hodnota odporu rezistoru je pro každý přípravek CAP1 uvedena na štítku a je třeba ji nastavit do programu Capstone, aby mohl výpočet proudu automaticky provádět. Na liště nástrojů zvolte položku *Kalkulátor*, tam na prvním řádku v přehledu výpočtů vidíte přiřazení konstanty  $R$  (přednastaveno na 1000  $\Omega$ ). Upravte podle potřeby, pak kartu můžete zavřít.



### Měření napětí při nabíjení

Přejděte na stránku *U-nabíjení*. Snímačem napětí budete měřit napětí na kondenzátorech, tj. kladný pól na červené zdířce  $C_1$ , záporný pól na černé zdířce  $C_2$ . Propojovacími vodiči zapojte do obvodu požadovaný kondenzátor či jejich kombinaci. Vstup obvodu zkratujte přepínačem<sup>4</sup>.

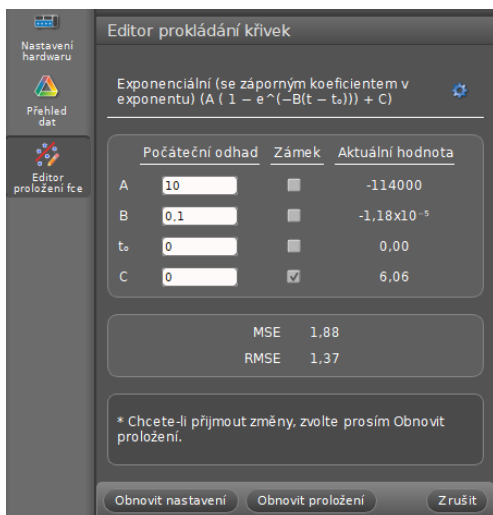
Po spuštění měření tlačítkem *Zaznamenat data* se program uvede do pohotovostního režimu. Přepínačem připojíme do obvodu vnější zdroj, program detekuje zvýšení napětí na snímači a spustí záznam s vykreslováním měřených hodnot do grafu. Měřená veličina se v tomto i následujících měřeních vzorkuje s frekvencí 100 Hz. Po uplynutí 4 s se záznam automaticky ukončí.

V souladu s teoretickými předpoklady se program snaží proložit naměřenými daty křivku ve tvaru

<sup>4</sup> Časová konstanta  $\tau$  pro všechny možné kombinace RC poskytované přípravkem je menší než 1 s. Pokud před začátkem každého průběhu vyčkáte asi 10 s s přepínačem v požadované poloze, máte jistotu, že kondenzátor je ve správném počátečním stavu (plně nabitý, resp. zcela vybitý).

$$f(t) = A \cdot (1 - e^{-B(t-t_0)}) + C,$$

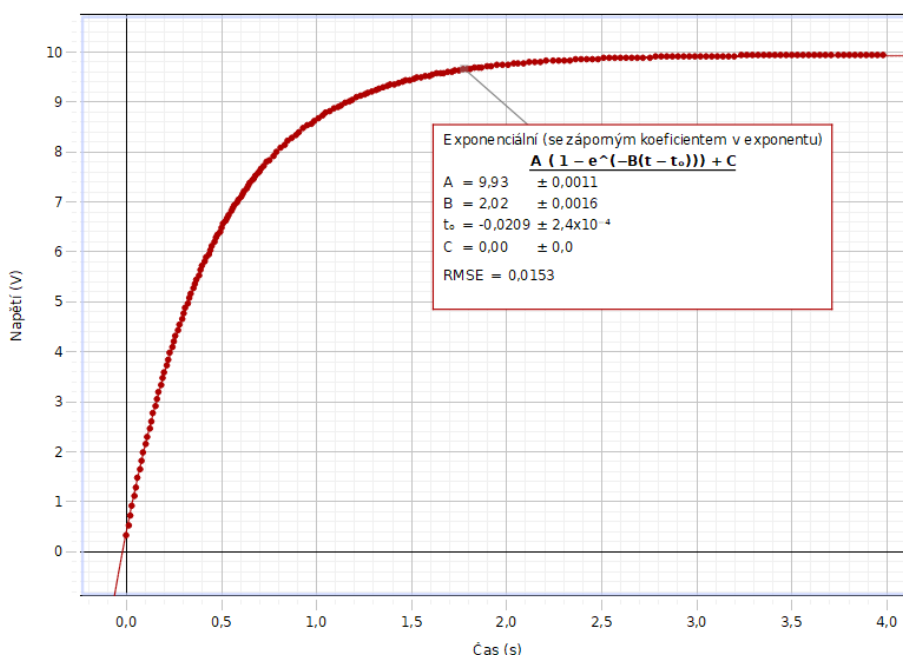
tj. najít koeficienty  $A$ ,  $B$ ,  $C$  a  $t_0$  tak, aby shoda byla co nejlepší. Jedná se o poměrně náročnou úlohu numerické matematiky, u níž není v obecném případě zaručeno, že povede k přijatelnému výsledku.



U tohoto měření shoda obvykle uspokojivá není, je ale možné poskytnout výpočetnímu algoritmu vhodné počáteční odhady některých koeficientů, které mu pomohou k úspěšnému řešení. Klikněte na oblast s výsledky proložení křivky v grafu (tím se vybere aktuální sada dat pro zpracování). Otevřete kartu nástroje *Editor prokládání křivek* s nastaveními. Koeficient  $C$  určuje posun po vertikální ose, pro toto měření jej zamkněte na nulové hodnotě, naopak koeficient  $t_0$  (horizontální posun) není třeba pevně vázat (tj. odškrtněte zámeček). Koeficient  $A$  má pak význam ustálené hodnoty, kterou přednastavte na 10 (ve V). Nyní můžete tlačítkem *Obnovit proložení* znovu spustit výpočet a po

zavření karty byste v grafu měli vidět, že proložení proběhlo velmi úspěšně<sup>5</sup>. Hodnota  $A$  by se měla blížit napětí zdroje, malý záporný posun  $t_0$  je způsoben tím, že záznam dat je spuštěn až po detekci

### Napětí na kondenzátoru při nabíjení



malého kladného napětí. Zásadní pro vyhodnocení je koeficient  $B$  (v jednotkách  $s^{-1}$ ); porovnáním tvaru křivky a teoretické závislosti napětí na kondenzátoru je vidět, že  $B = 1/\tau$ . Z toho již díky  $\tau = R \cdot C$  můžete při známém odporu rezistoru vypočítat kapacitu kondenzátoru včetně odhadu chyby.

<sup>5</sup> Dokladem lepší shody je kromě vizuálního posouzení i hodnota statistické veličiny RMSE (Root Mean Square Error – střední kvadratická odchylka), která je pro upravený výpočet řádově nižší.



Koeficienty proložené křivky si poznamenejte a výsledný graf si přinejmenším pro kondenzátor  $C_1$  uložte do laboratorního deníku. Měření opakujte pro všechny požadované konfigurace kondenzátorů.

## Měření napětí při vybíjení

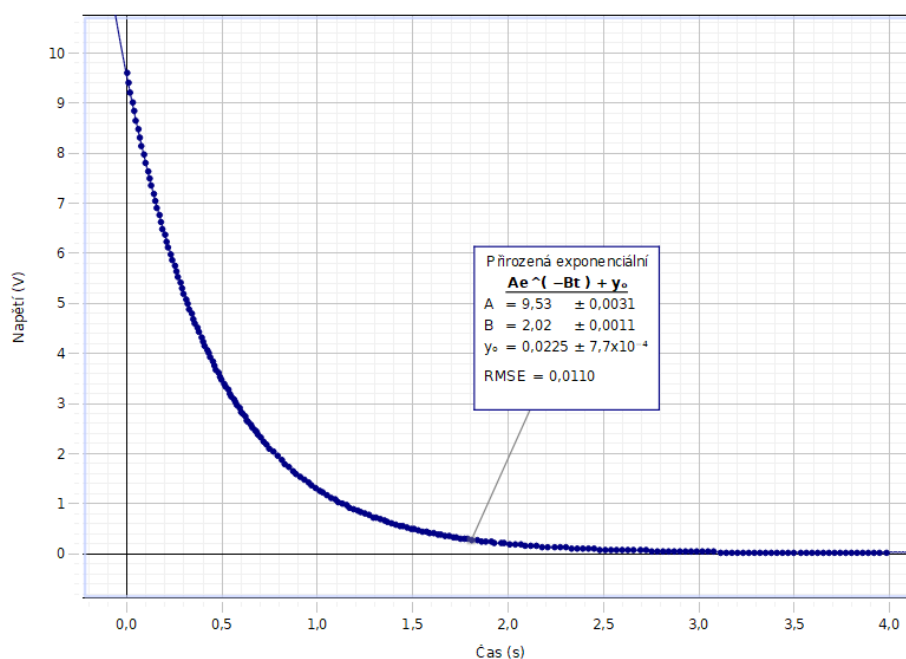
Vybíjení kondenzátorů se měří na stránce *U-vybíjení*. Zapojení je stejné jako v předchozím oddíle, začněte s přepínačem v poloze „vnější zdroj“. Po spuštění měření čeká program na pokles napětí, který je důsledkem přepnutí přepínače do polohy „zkrat“. Po uplynutí 4 s je záznam ukončen.

Dle uvedené teorie by měřené napětí na kondenzátoru mělo exponenciálně klesat k nule, proto program proloží získaná data křivkou ve tvaru

$$f(t) = A \cdot e^{-Bt} + C.$$

Význam koeficientů je obdobný výše popsanému případu nabíjení kondenzátoru; proložení nyní obvykle dobře interpretuje data bez nutnosti manuálního zásahu obsluhy. Stejný je vztah časové

### Napětí na kondenzátoru při vybíjení




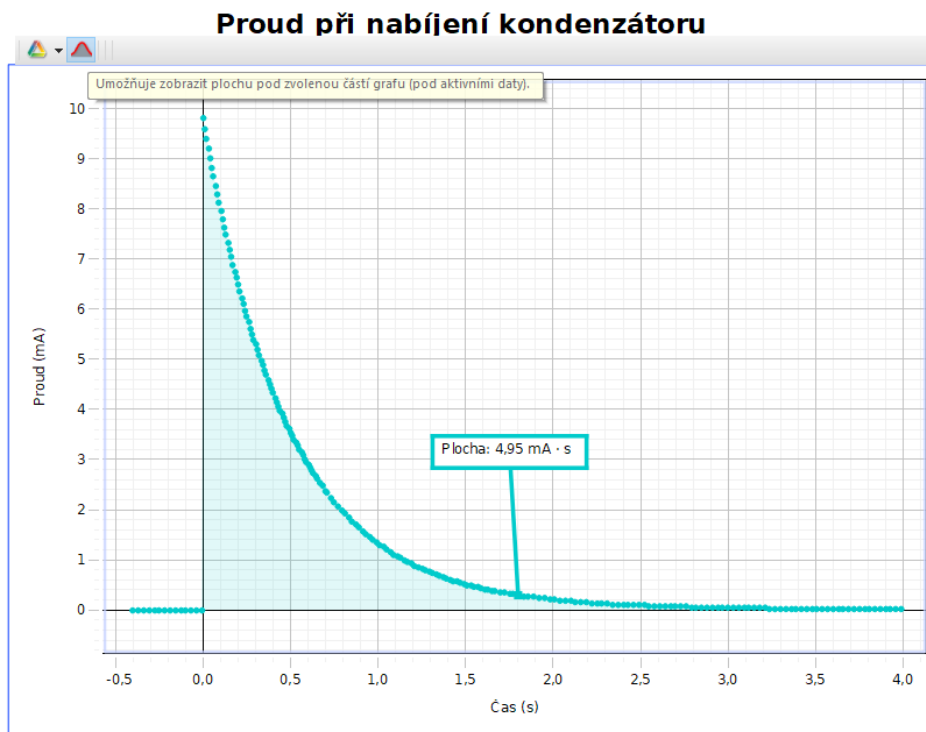
konstanty a koeficientu  $B$  a následně i výpočet kapacity kondenzátoru.

Poznamenejte si údaje potřebné pro další výpočty a uložte si graf do laboratorního deníku.

## Měření proudu při nabíjení

V pracovním sešitu přejděte na stránku *I-nabíjení*. Snímač napětí připojte do zdířek rezistoru (respektujte polaritu), zapojte požadovaný kondenzátor a přepínačem zkratujte vstupní svorky RC obvodu. Po spuštění měření se čeká na nárůst proudu po připojení zdroje přepínačem. Sběr dat trvá 4 s, jsou však uloženy i hodnoty, které těsně předcházejí počátečnímu nárůstu proudu.

Pro vyhodnocení potřebujete znát plochu pod grafem naměřené závislosti. Klikněte do grafu, tím zobrazíte jeho lištu nástrojů. Měření plochy aktivujte pomocí ikony . Započtená oblast se podbarví a v rámečku vidíte číselný výsledek včetně fyzikální jednotky. Při výpočtu kapacity pomocí



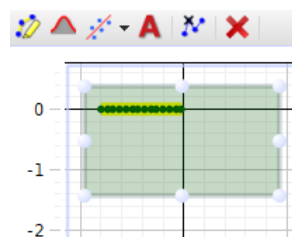
celkového náboje na elektrodách použijte jako napětí nabitého kondenzátoru hodnotu získanou při počátečním nastavení. Napětí měříme dle výrobce snímače s přesností  $\pm 50$  mV, relativní chybu určení náboje lze kvalifikovaně odhadnout na 2%<sup>6</sup>.

Kopii stránky si uložte a potřebné údaje poznamenejte pro vypracování protokolu.

## Měření proudu při vybíjení

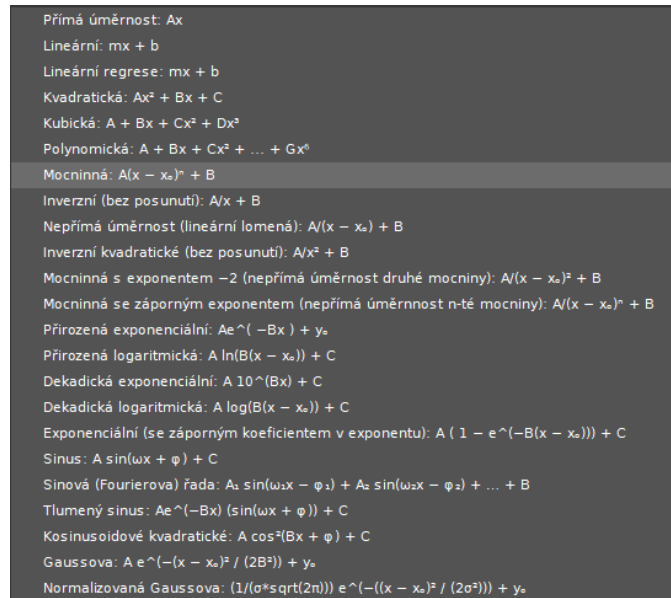
Přepněte se na stránku *I-vybíjení*, vše ostatní by po dokončení předchozího měření mělo být připraveno. Záznam dat probíhá analogicky jako v předchozím případě, počátečním impulsem je zkratování obvodu přepínačem. Použijte stejný postup pro vyhodnocení plochy i výpočet kapacity.

Nyní můžete posoudit, jak naměřená data odpovídají závislosti, kterou jste si podle teoretického výkladu odvodili. Vzhledem k tomu, že veškeré získané vztahy jsou platné pouze pro kladné časy, je třeba vyloučit z dalšího zpracování naměřená data pro  $t < 0$ . K tomu naleznete na liště grafu potřebné nástroje. Ikonky na obrázku umožňují (postupně zleva): výběr dat v definované oblasti, měření plochy, prokládání křivek, vložení popisku, vyloučení označení dat a smazání označeného prvku či nástroje. Prvním nástrojem zobrazíte v grafu oblast pro výběr dat, kterou lze myší posouvat a upravovat. Data uvnitř oblasti se podbarví žlutě



<sup>6</sup> Kromě chyb při měření napětí a přepočtu na proud (neurčitost odporu rezistoru) ztrácíme přesnost hlavně při započítání proudové špičky blízko nulového času.

(viz obrázek). Na vybraná data aplikujte nástroj pro vyloučení, grafické znázornění dotčených datových bodů by se mělo změnit. Oblast pro výběr nyní můžete smazat, aby v grafu nepůsobila rušivě. Šipkou vpravo vedle nástroje pro prokládání křivek rozbalte roletovou nabídku funkcí a kliknutím vyberte vhodného kandidáta. Pomocí šipky nabídku srolujte a nyní již kliknutím na ikonu



proložení spusťte výpočet koeficientů vybrané funkce. Tak jako v předchozích měřeních, výsledek je vykreslen v grafu i uveden číselně. Podle potřeby můžete ovlivnit výpočet editorem prokládání křivek. Je-li to možné, vypočtete pomocí získaných koeficientů kapacitu kondenzátoru.

Uložte si potřebné náležitosti z tohoto měření. Na úplný závěr si uložte soubor s provedeným experimentem (který budete odevzdávat jako doklad o provedeném měření) a také nezapomeňte na export laboratorního deníku s podklady pro zpracování protokolu o měření. Nezapomeňte na závěrečný úklid počítače.

## Teoretické úkoly

Do protokolu můžete přidat vypracování dvou nepovinných úkolů. Jejich správné řešení může kompenzovat některé případné nedostatky jiných částí protokolu, na nesprávné nebo chybějící řešení nebude při hodnocení brán žádný zřetel.

1. V učebnicích se obecně uvádí, že kondenzátorem neprochází stejnosměrný proud. My jsme během měření nepracovali se zdroji střídavého napětí, přesto jsme nějaký proud v obvodu naměřili. Vysvětlete, zda je mezi těmito skutečnostmi nějaký rozpor.
2. Na grafu v příloze je znázorněn průběh napětí přivedený na vstup RC obvodu (časové osy jsou kótovány v jednotkách  $\tau = R.C$ ). Doplňte průběh napětí na kondenzátoru a průběh proudu obvodem v tomto časovém rozsahu, své řešení vysvětlete. Můžete předpokládat, že v počátečním čase je kondenzátor zcela vybitý.

## Upozornění



Žáci jsou povinni dodržovat veškerá bezpečnostní pravidla, se kterými byli seznámeni v úvodní hodině. Při práci dbají pokynů vyučujícího a chovají se tak, aby zabránili jakékoliv újmě na zdraví i na svěřeném materiálu. Uvědomte si prosím, že zvláště počítače a elektronická zařízení jsou z hlediska rozpočtu školy poměrně nákladné položky, které by měly sloužit jako učební pomůcky i pro vaše spolužáky a následovníky.

## Soupiska pomůcek a materiálů

- počítač (notebook) s programem Capstone, napájecí adaptér,
- rozhraní Airlink PS-3200 nebo PowerLink PS-2001 s příslušenstvím,
- snímač napětí a proudu PS-2115 (propojovací kabel s banánky – 2 ks v příslušenství),
- napájecí zdroj napětí PeakTech 6080,
- přípravek CAP1 (Nabíjení a vybíjení kondenzátoru).

## Příloha

