

Kondenzátor v obvodu střídavého proudu

Cíle

Cílem úlohy je experimentálně ověřit teoretické časové závislosti napětí a proudu v obvodu střídavého proudu s kondenzátorem a osvojit si praktickou metodu určení kapacity kondenzátoru pomocí střídavého proudu. Dílčím cílem je potom prohloubit dovednost aproximace naměřených dat křivkou odpovídající požadované závislosti – tzv. fitování naměřených hodnot.

Zadání úlohy

Určete kapacitu kondenzátoru pomocí střídavého proudu, ověřte teoretický průběh napětí a proudu v obvodu střídavého proudu s kapacitou.

Pomůcky

počítač s programem Logger Pro, zdroj střídavého napětí 3 V/50 Hz, měřicí rozhraní LabQuest s čidly – voltmetr a ampérmetr, potenciometr, tři různé svitkové kondenzátory o kapacitách 10 μF –500 μF , propojovací vodiče

Zařazení do výuky

Úlohu je vhodné zařadit do výuky při probírání učiva *Jednoduché obvody střídavého proudu*. Žák řešením úlohy plní očekávané výstupy RVP: *měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami a určuje v jednodušších případech absolutní a relativní odchylky měření*.

Časová náročnost

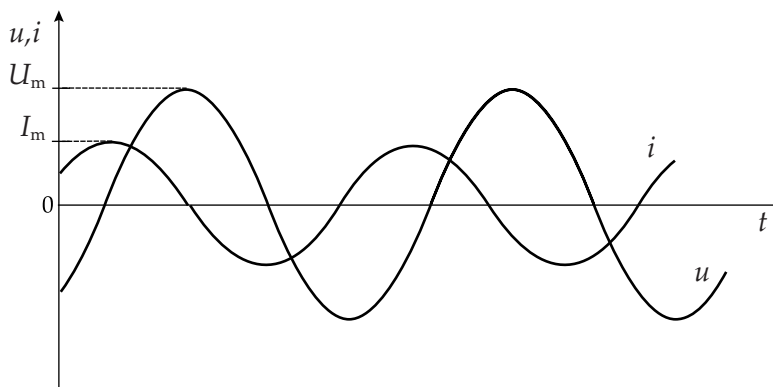
Nastavení měřicího rozhraní, naměření potřebných dat a jejich základní zpracování je možné stihnout během jedné vyučovací hodiny. Předpokladem je předchozí seznámení se s úlohou, měřicí aparaturou a způsobem zpracování naměřených dat. Toto seznámení lze uskutečnit formou samostudia pracovního návodu, nebo frontální výukou v předchozí hodině.

Návaznost experimentů

Po této úloze, nebo před ní je možné realizovat úlohu *Cívka v obvodu střídavého proudu*, ve které analogickým způsobem zkoumáme průběh napětí a proudu v obvodu střídavého proudu s cívkou a určujeme indukčnost cívky.

Teoretický úvod

Připojíme-li kondenzátor ke zdroji střídavého napětí o frekvenci f , začne obvodem procházet elektrický proud, který je dán střídavým nabíjením a vybíjením kondenzátoru se stejnou frekvencí. Tento proud bude mít stejně jako přiložené střídavé napětí **harmonický časový průběh**, oba průběhy jsou znázorněny na obrázku 1.



Obr. 1: Závislost proudu a napětí na čase u kondenzátoru v obvodu střídavého proudu

Obě závislosti okamžitého napětí u a okamžitého proudu i na čase t můžeme popsat rovnicemi

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u), \quad (1)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i), \quad (2)$$

kde U_m a I_m jsou maximální hodnoty napětí a proudu, φ_u a φ_i jsou počáteční fáze napětí a proudu a ω je úhlová frekvence, kterou lze vyjádřit pomocí frekvence f daného střídavého napětí a proudu vztahem

$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$

Poměr maximálního napětí a maximálního proudu v obvodu střídavého proudu s ideálním kondenzátorem (bez uvažování jeho odporu) se nazývá **kapacitance** a závisí na kapacitě kondenzátoru a úhlové frekvenci střídavého proudu vztahem

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

Odtud můžeme vyjádřit kapacitu kondenzátoru jako

$$C = \frac{I_m}{\omega U_m} \quad (5)$$

Na obr. 1 je vidět, že průběh proudu je fázově posunut před napětí. Velikost tohoto posunu můžeme vyjádřit jako rozdíl počátečních fází proudu a napětí

$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_u \quad (6)$$

Pro ideální kondenzátor v obvodu střídavého proudu je velikost tohoto fázového rozdílu rovna $\pi/2$ rad.

Naměřené závislosti napětí a proudu na čase můžeme pomocí takzvaného fitování proložit obecnou harmonickou funkcí ve tvaru

$$y = A \sin(Bx + C) + D, \quad (7)$$

kde proměnná y odpovídá okamžité hodnotě napětí, nebo proudu a proměnná x představuje čas t . Srovnáním vztahu (7) s rovnicemi (1) a (2) dále zjistíme, že konstanta A představuje maximální hodnotu napětí, nebo proudu, konstanta B představuje úhlovou frekvenci a konstanta C odpovídá počáteční fázi napětí, respektive proudu. Poslední konstanta D vyjadřuje posun funkce sinus ve směru osy a nemá tedy pro nás bezprostřední význam (v případě správně kalibrovaných měřidel by měla dosahovat přibližně nulové hodnoty).

Motivace

Deskový kondenzátor je tvořen dvěma odizolovanými vodivými deskami a nemůže jím tudíž procházet stejnosměrný proud. Jak se bude takový kondenzátor chovat v obvodu se zdrojem střídavého napětí? Naměříme v tomto případě nějaký proud procházející obvodem, a jak bude případně tento proud velký? Existuje zde něco jako elektrický odpor kondenzátoru?

Bezpečnost práce

Při práci je třeba dbát všech pravidel pro bezpečné zacházení s elektrickými spotřebiči a dodržovat laboratorní řád.

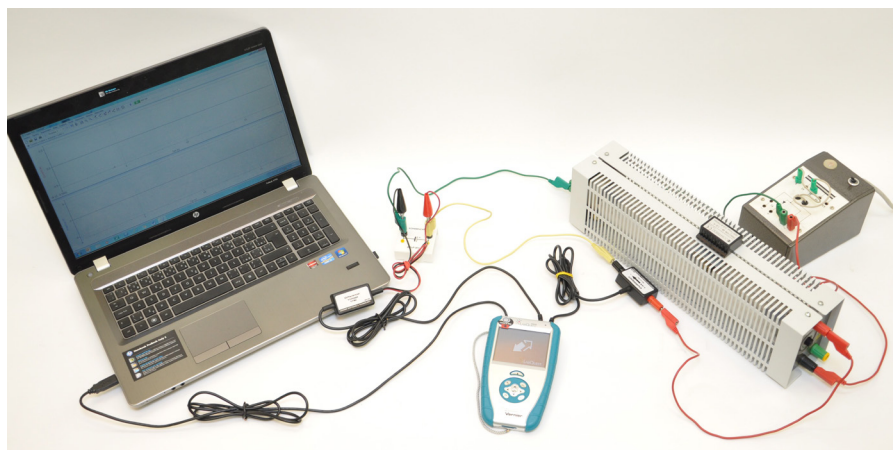
Příprava úlohy

Podle obrázku 2 zapojíme elektrický obvod se zdrojem střídavého napětí a kondenzátorem. Zapojený potenciometr slouží jako dělič napětí k regulaci napětí přiváděného na kondenzátor. Čidla napětí a proudu připojíme k měřicímu rozhraní a rozhraní propojíme s počítačem.

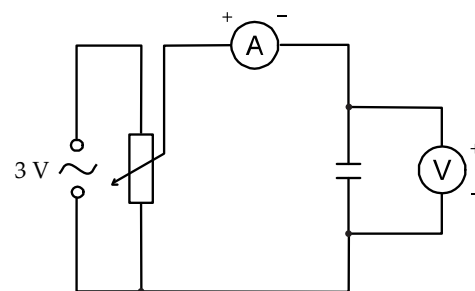
Postup práce

Nastavení HW a SW

Spustíme program Logger Pro, v menu *Experiment* vybereme *Sběr dat...* a v otevřeném okně provedeme základní nastavení. V okénku *Délka*: nastavíme celkovou dobu měření na 0,1 sekundy a v okénku *Vzorkovací frekvence* nastavíme 2000 vzorků za sekundu. Nastavení potvrdíme stiskem tlačítka *Hotovo*.



Obr. 3: Sestavený elektrický obvod s měřicími čidly



Obr. 2: Schéma zapojení elektrického obvodu

Technická úskalí, tipy a triky

Při zapojování dbáme na správnou polaritu zapojených čidel napětí a proudu. Zapojení jednoho z čidel s opačnou než znázorněnou polaritou by sice samotné měření nijak neovlivnilo, ale ve výsledných grafech by se projevilo posunutím příslušné závislosti o polovinu periody (závislost by se posunula fázově o π rad). Při výpočtu fázového posunu mezi proudem a napětím by potom vycházely chybné hodnoty.

Místo potenciometru je možné použít zdroj střídavého napětí s nastavitelnými hodnotami výstupního napětí. Protože maximální rozsah voltmetru je 6 V a ampérmetru 0,6 A, dbáme na to, aby efektivní hodnota výstupního střídavého napětí nepřekračovala pro uvažované kondenzátory do 500 μF přibližně 3 V.

Místo svitkových kondenzátorů lze použít v případě potřeby i elektrolytické kondenzátory, pokud jsou určeny pro dostatečně vysoké napětí – alespoň 30 V.

Technická úskalí, tipy a triky

Okno *Sběr dat* pro nastavení měření lze vyvolat klávesovou zkratkou *Ctrl+D*.

Vlastní měření a záznam dat

Pomocí potenciometru nastavíme napětí mezi 0 V a 3 V a v programu Logger Pro spustíme záznam dat zeleným tlačítkem s šipkou v horním ikonovém menu. Po analýze naměřených dat opakujeme měření pro další čtyři jiné hodnoty napětí nastavené potenciometrem. Celý postup potom opakujeme pro ostatní dva kondenzátory.

Analýza naměřených dat

Zobrazené křivky závislosti napětí a proudu na čase aproximujeme harmonickou funkcí sinus.

Nejdříve klikneme myší do grafu závislosti napětí na čase. V ikonovém menu programu vybereme tlačítko *Proložit křivku*, z nabízených rovnic vybereme rovnici *Sinusovka*, odpovídající vztahu (7) a klikneme na tlačítko *Aproximovat*. V grafu napětí se zobrazí příslušná funkce sinus, odpovídající nejlépe naměřeným hodnotám, spolu s uvedenými hodnotami konstant A, B, C, D v rámečku. Do připravené tabulky zapíšeme hodnoty maximálního napětí, úhlové frekvence a počáteční fáze napětí, odpovídající po řadě konstantám A, B, C .

Dále klikneme myší do grafu závislosti naměřeného proudu na čase a opakujeme proložení dat funkcí sinus. V tomto případě už opisujeme do tabulky pouze konstanty A a C , odpovídající maximálnímu proudu a počáteční fázi proudu.

Při opakovaném měření s jinými hodnotami napětí a jinými zapojenými kondenzátory už zůstává funkce *Proložení křivkou* aktivována a nemusíme ji znovu nastavovat, u naměřených dat se hned zobrazí i proložená závislost s příslušnými konstantami.

Z naměřených hodnot spočítáme pomocí vztahu (5) kapacitu kondenzátorů a u každého kondenzátoru pak určíme aritmetický průměr kapacit z měření při pěti různých napětích. Dále vypočítáme u jednotlivých měření fázový rozdíl mezi proudem a napětím pomocí vztahu (6) – pokud vyjde v některých případech záporná hodnota, přičteme k ní hodnotu jedné periody, tj. 2π rad, abychom získali fázový posun v jednotném kladném formátu.

Technická úskalí, tipy a triky

Výsledné hodnoty zjištěných kapacit je vhodné porovnat s nominálními hodnotami, nebo ještě lépe s hodnotami změřenými C-metrem, pokud ho máme k dispozici.

Hodnocení výsledků

V závěru by měli žáci zhodnotit, nakolik se naměřené charakteristiky blíží průběhu napětí a proudu v obvodu střídavého proudu s ideálním kondenzátorem a čím se liší reálný kondenzátor od ideálního. V porovnání zjištěných průměrných hodnot kapacity s nominálními je třeba uvažovat, že nominální hodnoty udávané na kondenzátoru jsou přibližné a mohou mít poměrně velkou toleranci. Také při porovnání s hodnotami změřenými jinou metodou – například C-metrem, je třeba uvažovat odchylky měření oběma metodami a zhodnotit, zda si zjištěné hodnoty kapacity odpovídají v rámci těchto odchylek.