

Měření kapacity přímou metodou a pomocí RLC můstku

Teorie

Elektrická kapacita C je fyzikální veličina, která je obecně definována jako množství elektrického náboje ve vodiči s jednotkovým elektrickým potenciálem. Velikost kapacity C závisí na tvaru, velikosti a vzdálenosti elektrod a je vždy kladná. Nezávisí na náboji Q ani na vloženém napětí U . Soustavu dvou vodičů upravených tak, že při malých rozměrech mají velkou kapacitu, nazýváme kondenzátor.

Ke zjištění neznámé kapacity C kondenzátoru lze využít jeho elektrických vlastností. Zapojí-li se ideální kondenzátor do obvodu se střídavým harmonickým elektromotorickým napětím

$$e = \varepsilon \sin \omega t,$$

zjistíme, že napětí na kondenzátoru je

$$u_C = U_C \sin \omega t, \quad (1)$$

kde U_C je amplituda napětí na kondenzátoru. Z definice kapacity plyne

$$q_C = C u_C = C U_C \sin \omega t. \quad (2)$$

Derivováním rovnice (2) dostáváme vztah pro proud:

$$i_C = \frac{dq_C}{dt} = \omega C U_C \cos \omega t = \omega C U_C \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Dosadíme-li do rovnice kapacitní reaktanci kondenzátoru:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad (3)$$

dostáváme vztah pro proud protékajícím obvodem:

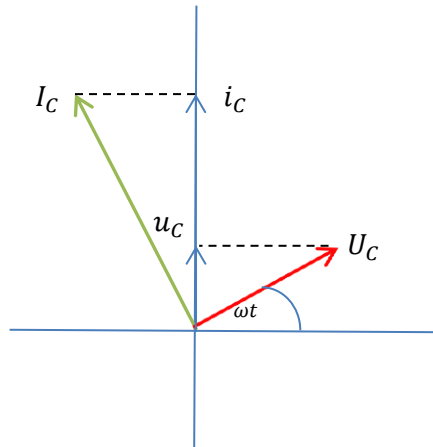
$$i_C = \frac{U_C}{X_C} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_C \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (4)$$

kde I_C je amplituda veličiny i_C . Ze vztahu (4) je zřejmé, že amplitudy napětí a proudu jsou spolu spojeny vztahem:

$$U_C = I_C X_C = \frac{I_C}{\omega C}.$$

Porovnáním rovnice (1) a (4) je zřejmé, že veličiny u_C a i_C jsou posunuty o úhel 90° , tedy i_C dosahuje maxima o čtvrtinu periody před maximem u_C , viz fázový diagram na obrázku 1.

Každý kondenzátor však vykazuje určité ztráty způsobené nedokonalostí dielektrika, odporem elektrod a ztrátami v dielektriku při střídavé polarizaci. Připojíme-li na kondenzátor střídavé napětí, bude fázový posuv mezi proudem a napětím menší než 90° a to o ztrátový úhel δ . Jeho tangenta je poměr činného příkonu k jalovému a nazývá se ztrátový činitel.



Obrázek 1: Fázový diagram pro obvod s kapacitní zátěží

Reálný kondenzátor můžeme, kromě aplikací pro velmi vysoké kmitočty, nahradit spojením ideální kapacity a odporu, představujícím všechny reálné části impedance skutečného kondenzátoru, tj. svodový odpor dielektrika, ztráty v dielektriku způsobené polarizačními efekty, odpor přívodů a pod.

Toto náhradní spojení může být obecně sériové nebo paralelní. Zapojíme-li do zdroje harmonického elektromotorického napětí

$$e = \varepsilon \sin \omega t$$

ideální kondenzátor a odpor do série, pak oběma prvky protéká tentýž proud:

$$i = I \sin(\omega t - \varphi).$$

Chceme-li nalézt vztah mezi amplitudou elektromotorického napětí ε a proudem I v obvodě s reálným kondenzátorem, sestrojme fázový diagram pro sériový RC obvod, obr. 2. Z diagramu vyplývá, že fázor ε je roven vektorovému součtu fázorů U_C a U_R :

$$\varepsilon^2 = U_R^2 + U_C^2 = (IR)^2 + (IX_C)^2$$

a dostáváme po úpravě vztah mezi amplitudami ε a I :

$$I = \frac{\varepsilon}{Z},$$

kde Z je impedance obvodu:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

Pro ztrátový úhel δ platí (dle obr.2):

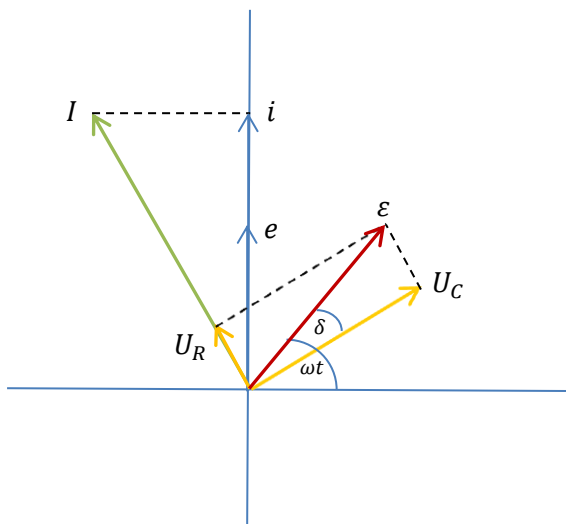
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{IR}{IX_C} = R\omega C.$$

Měření kapacity metodou přímou

Měření kapacity kondenzátoru s malými ztrátami provádíme v zapojení podle obr. 3. Kapacitu určíme ze vztahu

$$C = \frac{I_{ef}}{\omega U_{ef}} = \frac{I_{ef}}{2\pi f U_{ef}}, \quad (5)$$

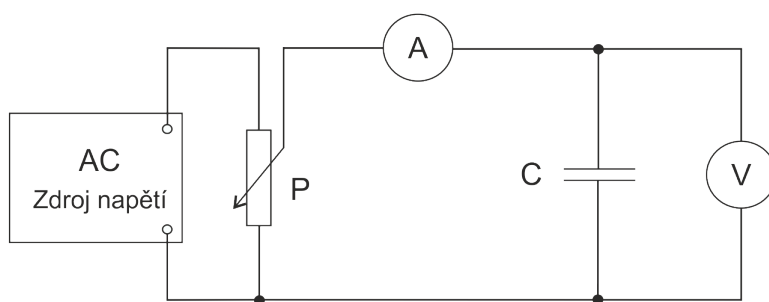
v němž I_{ef} a U_{ef} jsou efektivní hodnoty proudu a napětí, ω je kruhová frekvence a f je střídavá frekvence harmonického proudu a napětí.



Obrázek 2: Fázový diagram pro sériový RC obvod

Měříme-li se zapojením podle obrázku 3, není třeba brát ohled na odpor přístroje za předpokladu, že odpor voltmetru R_V je podstatě větší (alespoň 100x) než reaktance kondenzátoru, tj.

$$R_V \gg \frac{1}{C\omega}. \quad (6)$$



Obrázek 3: Obvod pro měření kapacity metodou přímou

Měření kapacity multimetrem

Jako Multimetr je označován měřicí přístroj, který je určený pro měření více fyzikálních veličin. Základní číslicový voltmetr je schopen měřit pouze stejnosměrné napětí. Pokud ho doplníme

vhodnými převodníky, měří také střídavé napětí, stejnosměrné a střídavé proudy, odpory, někdy i prahové napětí diod, kmitočet a kapacitu. Při použití multimetru pro měření kapacity se obvykle používá Ohmova metoda. Zjištěné hodnoty kapacity při použití digitálního multimetru mají často jen informativní charakter. Ke zjištění přesné hodnoty kapacity se používají specializované přístroje založené na principu tzv. RLC můstku.

Úkol

- Určete kapacitu dvou daných kondenzátorů přímou metodou. Změřte kapacitu sériové a paralelní kombinace těchto kondenzátorů.
- Určete kapacitu dvou kondenzátorů pomocí multimetru. Poté změřte kapacitu sériové a paralelní kombinace těchto kondenzátorů.

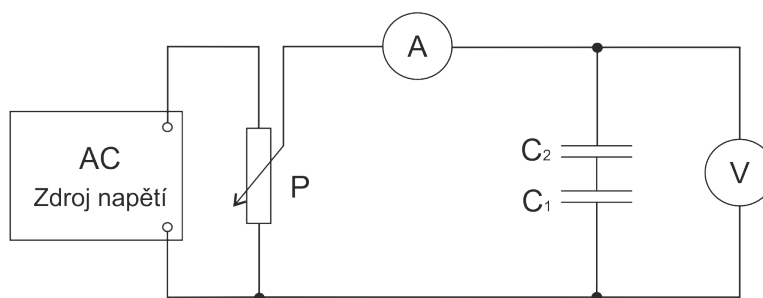
a) Určete kapacitu dvou daných kondenzátorů přímou metodou. Změřte kapacitu sériové a paralelní kombinace těchto kondenzátorů.

Seznam použitých pomůcek

Měřené kondenzátory, ampérmetr a voltmetr na stejnosměrné i střídavé napětí, zdroj střídavého i stejnosměrného napětí, potenciometr, propojovací vodiče, tabulka pro zapisování naměřených hodnot.

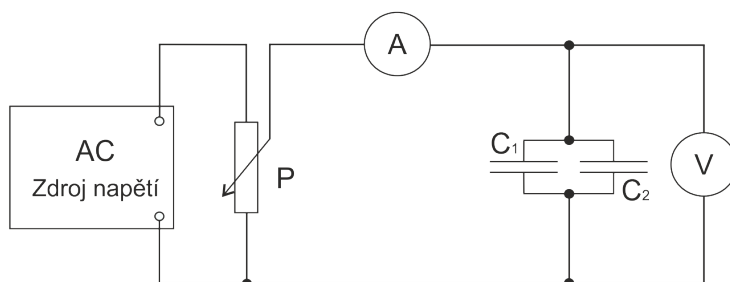
Postup:

- Zapojte obvod dle obrázku 3. Proměřte neznámou kapacitu kondenzátorů C_1 a C_2 při deseti různých hodnotách napětí a proudu. Změnu napětí provádějte pomocí napěťového zdroje nebo pomocí potenciometru. Hodnoty zaznamenejte do tabulky 1.



Obrázek 4: Obvod pro měření kapacity metodou přímou v sériovém zapojení

- 2) Zjistěte kapacitu těchto kondenzátorů v sériovém a paralelním zapojení, viz obr. 4 a 5, postupem uvedeném v bodě 1).
- 3) Výslednou kapacitu porovnejte s kapacitou vypočítanou dle vztahu pro řazení kondenzátorů.
- 4) Ověřte, zda pro měřené kondenzátory platí, že odpor voltmetru je mnohem větší než reaktance kondenzátoru, vztah (6).



Obrázek 5: Obvod pro měření kapacity metodou přímou v paralelním zapojení

b) Určete kapacitu dvou kondenzátorů pomocí multimetru. Poté změřte kapacitu sériové a paralelní kombinace těchto kondenzátorů.

Seznam použitých pomůcek

Digitální multimetr schopný měřit kapacitu, měřené kondenzátory, propojovací vodiče, tabulka pro zapisování naměřených hodnot.

Tabulka 1: Tabulka pro zápis naměřených hodnot z obvodů na obr. 3,4 a 5

Číslo měření	C_1 (μF)		C_2 (μF)		Sériové zapojení C_1 a C_2		Paralelní zapojení C_1 a C_2	
	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)
1								
2								
3								
4								

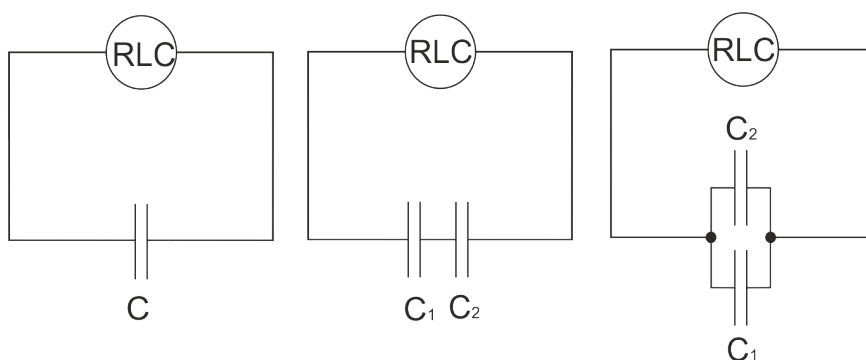
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Postup:

- 1) Pomocí multimetru zjistěte neznámou kapacitu kondenzátorů C_1 a C_2 ,
- 2) Zjistěte výslednou kapacitu těchto kondenzátorů zapojených v kombinaci sériové a paralelní. Pro měření použijte zapojení obr. 6.
- 3) Hodnoty kapacit, které byly naměřeny pomocí multimetru, porovnejte s hodnotami kapacit naměřenými přímou metodou.
- 4) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data a výpočty. Na závěr shrňte výsledky svého snažení.

Tabulka 2: Tabulka pro zápis naměřených hodnot pomocí multimetru

C_1 (μF)	C_2 (μF)	Sériové zapojení C_1 a C_2	Paralelní zapojení C_1 a C_2



Obrázek 6: Zapojení pro měření kapacity pomocí multimetru