

Úloha č. 9: Měření indukčnosti a kapacity

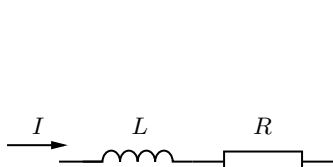
Úkol:

1. Změřte indukčnost
2. Změřte kapacitu

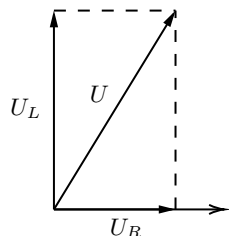
Měření malých indukčností

Technickou cívku nemůžeme nikdy považovat za čistou indukčnost, neboť musíme vždy počítat s tím, že je navinutá z vodiče o určitém měrném odporu ρ , určité délce l a průřezu S . Z tohoto plyne, že se náhradní schéma technické cívky skládá ze sériově zapojené indukčnosti cívky L a činného odporu R , kde $R = \rho \frac{l}{S}$ (obr. 1). Vlastní kapacitu cívky pro zjednodušení zanedbáme.

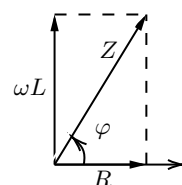
Vektorový diagram technické cívky (obr. 2).



Obrázek 1:
Náhradní schéma
technické cívky



Obrázek 2:
Vektorový
diagram technické cívky



Obrázek 3:
Vektorový
diagram technické cívky

V symbolickém vyjádření můžeme napětí U_R nahradit součinem IR a $U_L = Ij\omega L$ a konečně $U = IZ$.

Po úpravě dostaneme vektorový diagram technické cívky podle obr. 3.

Po této úvaze je možno přejít k vlastnímu měření malých indukčností. Z vektorového diagramu je patrné, že impedance Z technické cívky je dána vektorovým součtem činného odporu R a reaktance ωL .

$$Z^2 = R^2 + \omega^2 L^2 \tag{1}$$

z toho

$$\omega^2 L^2 = Z^2 - R^2 \tag{2}$$

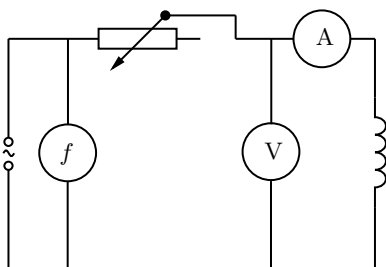
a hledaná indukčnost L se bude rovnat výrazu

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (3)$$

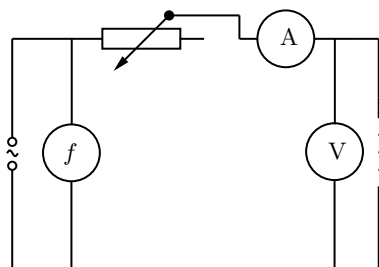
Z toho je patrné, že chceme-li zjistit velikost indukčnosti L , musíme znát jednak impedanci cívky, jednak činný odpor této technické cívky.

Činný odpor R cívky zjistíme měřením, za použití stejnosměrného proudu a vhodné metody pro měření činného odporu. Tyto metody byly popsány v předchozích kapitolách.

Velikost impedance lze zjistit např. jednoduchou metodou pomocí voltmetru a ampérmetru. Zapojení podle obr. 4 nebo 5.



Obrázek 4:
Zapojení pro měření
malé indukčnosti



Obrázek 5:
Zapojení pro měření
malé indukčnosti

Potřebná zařízení:

- zdroj střídavého sinusového proudu stálého kmitočtu
- kmitočtoměr f
- voltmetr V
- ampérmetr A
- posuvný odpor
- měřená cívka L
- propojovací kablíky

Zapojení podle obr. 4 lze provést tehdy, jestliže je indukčnost ampérmetru malá vůči měřené indukčnosti.

Vhodnější je zapojení podle obr. 5, zvláště při použití vhodného rozsahu voltmetru s velkým vnitřním odporem, abychom zmenšili chybu obdobně jako při měření odporů voltmetrem a ampérmetrem. Je třeba, aby proud jdoucí voltmetrem, byl zanedbatelný vůči proudu jdoucímu cívkou. Celkový proud ukazuje ampérmetr. Platí vztah

$$Z = \frac{U}{I} \quad (4)$$

Změřená impedance Z a odpor R se dosadí a vypočte se indukčnost L z výrazu

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U^2}{I^2} - R^2\right)} \quad (5)$$

Přesnost měření závisí na přesnosti zjištění odporu R , přesnosti použitých měřících nástrojů, na chybě způsobené velikostí části proudu ve voltmetru a na eventuální možnost vlivu cizích magnetických polí na vlastní měření.

Vhodnou volbou měřících přístrojů, popř. jejich rozsahů, lze prakticky měřit indukčnosti všech technických cívek.

Naměřené hodnoty se zapisují do tabulky pro vzoru tab. 1 a vypočte se velikost indukčnosti L . Na jedné cívce provedeme opět pět měření a vypočtem průměrnou hodnotu indukčnosti L .

Měření	R/Ω	U/V	I/A	L/H
1.				
2.				
3.				
...				

Tabulka 1: Vzor tabulky pro měření malých indukčností

Měření velkých indukčností

Velké indukčnosti lze měřit podobnou metodou jako při měření malých indukčností. Poněvadž však technické cívky o velkých indukčnostech mají obvykle feromagnetická jádra, ve kterých vznikají ztráty, je nutné zjistit velikost ztrát. Ztrátový odpor cívky se železem je tedy větší, než je činný odpor vinutí (mědi) a určíme ho z údaje wattmetru a ampérmetru podle vztahu

$$P = RI^2 \quad (6)$$

z čehož

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (7)$$

Potřebná zařízení

- zdroj střídavého sinusového proudu stálého kmitočtu (např. regulační transformátor)
- kmitočtoměr f
- voltmetr V
- ampérmetr A
- wattmetr (nejlépe soustavy dynamické bez železa) W
- posuvný odpor
- měřená cívka L
- spojovací kablíky

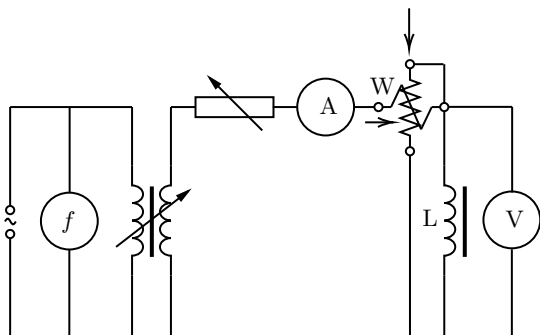
Zapojení se provede podle obr. 6.

Toto zapojení je vhodnější pro cívky menší indukčnosti a větší proudy, poněvadž lze spíše zanedbat chybu, která nastává průchodem proudu voltmetrem a napětovou cívkou wattmetru. Aby se nemusela provádět případná oprava, je vhodné při čtení proudu odpojit napětovou cívku wattmetru a voltmetru. Od naměřeného příkonu je třeba odečíst příkon voltmetru a napětové cívky wattmetru.

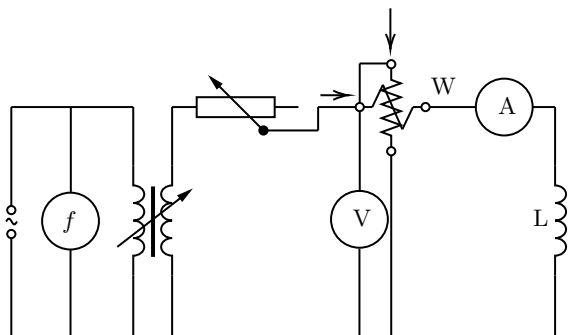
Zapojení lze provést také podle obr. 7.

Toto zapojení je vhodnější tehdy, jestliže je indukčnost tak velká, že lze zanedbat vlastní indukčnost

ampérmetru a proudové cívky wattmetru, nebo prochází-li cívkou malý proud. V tom případě není nutné provádět opravu.



Obrázek 6:
Zapojení pro měření
velké indukčnosti



Obrázek 7:
Zapojení pro měření
velké indukčnosti

Při výpočtech indukčnosti cívky použijeme opět vztahu

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (8)$$

kde za Z dosadíme ze vztahu

$$Z = \frac{U}{I} \quad (9)$$

a za R ze vztahu

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (10)$$

Indukčnost L tedy bude dána výrazem

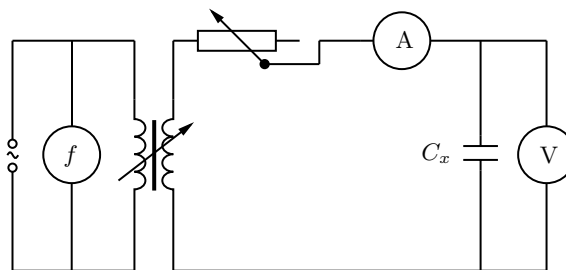
$$L = \frac{I}{2\pi f I^2} \sqrt{U^2 I^2 - P^2} \quad (11)$$

Přesnost tohoto měření je dána hlavně přesností použitých měřících přístrojů. Třeba také dodržovat při měření jmenovitou hodnotu proudu pro měřené cívky, neboť velikost indukčnosti cívek s feromagnetickým jádrem je na tomto proudu do značné míry závislá.

Naměřené hodnoty opět zapisujeme do tabulky podle vzoru tab. 1.

Potřebná zařízení:

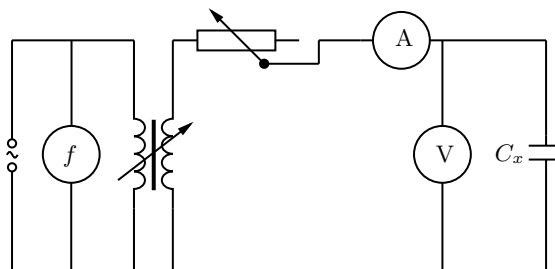
- zdroj střídavého sinusového proudu (např. regulační transformátor)
- kmitočtoměr f
- voltmetr V
- ampérmetr A
- posuvný odpor
- měřená kapacita C_x
- zapojovací dráty



Obrázek 8: Zapojení pro měření větších kapacit

Toto zapojení je vhodné pro měření větších kapacit, protože lze spíše zanedbat chybu danou vnitřním odporem voltmetru, neboť odpor kondenzátoru je menší $X_C = \frac{1}{\omega C}$, a pak větší část měřeného proudu prochází měřeným kondenzátorem. Toto zapojení můžeme použít i pro malé kapacity, použijeme-li statického voltmetru.

Pro měření malých kapacit je vhodnější zapojení podle obr. 9.



Obrázek 9: Zapojení pro měření menších kapacit

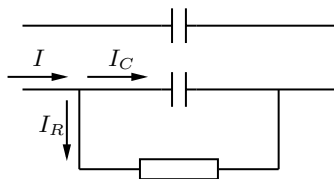
Při tomto zapojení se dopustíme menší chyby proto, že voltmetr měří součet úbytků na napětí jednak na ampérmetru, jednak na měřeném kondenzátoru. Při malých kapacitách lze předpokládat, že kapacitní odpor $X_C = \frac{1}{\omega C}$ bude podstatně větší než odpor na ampérmetru, a lze tedy zanedbat úbytek napětí vzniklý na ampérmetru. Voltmetr pak ukazuje prakticky (a menší chybou) napětí na kondenzátoru.

Toto měření lze úspěšně provést pouze u kondenzátorů, u nichž můžeme zanedbat ztráty.

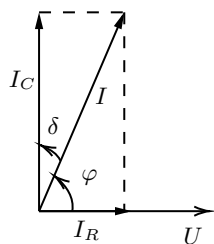
Náhradní schéma technického kondenzátoru je na obr. 10.

Jestliže si nakreslíme vektorový diagram takového obvodu (obr. 11), vidíme, že proud v technickém kondenzátoru nepředbíhá o 90° před napětím, ale o něco méně.

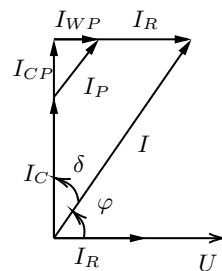
Fázový posun mezi napětím U a proudem I označujeme úhlem φ . Doplněk do 90° označujeme



Obrázek 10:
Náhradní schéma
technického kondenzátoru



Obrázek 11:
Vektrový
diagram obr.: 10



Obrázek 12:
Přesnější náhradní schéma
technického kondenzátoru

úhlem δ a $\tan \delta$ nám vyjadřuje právě ztráty v kondenzátoru. Víme však již z elektroniky a elektrotechnologie, že ztráty v kondenzátoru jsou daleko složitější, že se uplatňuje kromě svodového odporu např. polarizace dielektrika, vyzařování energie atd. a že vektorový diagram je poněkud složitější (obr. 12). Proud I_R je proud polarizační, který se dělí na kapacitní a činný. Činné ztráty jsou pak větší, než by byly jen při uvažování svodového odporu.

Jestliže však lze předpokládat podle druhu kondenzátoru (např. u vzduchového, slídového), že paralelní odpor vyjadřující ztráty je tak velký, že úhel δ je nepatrný, pak lze ztráty zanedbat. Potom je velikost impedance dány pouze kapacitním odporem.

$$Z = \frac{1}{\omega C} \quad (12)$$

z toho

$$C = \frac{1}{\omega Z} \quad (13)$$

a ponděvadž impedanci Z lze nahradit vztahem

$$Z = \frac{U}{I} \quad (14)$$

kde za U a I dosadíme naměřené hodnoty. Měřenou kapacitu kondenzátoru vypočítáme podle vztahu

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \quad (15)$$

Při měření je nutné v obou zapojeních zachovat určitou velikost posuvného odporu v obvodu, aby tento odpor v případě probití kondenzátoru sloužil jako ochranný odpor.

Přesnost měření závisí na přesnosti použitých měřících přístrojů na průběhu napětí, na eventuálním rušivém vlivu blízkých elektrostatických polí. Prakticky se tato metoda používá pro měření velkých a středních kapacit.

Naměřené hodnoty se zapisují do tabulky (vzor tab. 2) a vypočítá se průměrná výsledná hodnota kapacity měřeného kondenzátoru.

Měření	U/V	I/A	C/F
1.			
2.			
3.			
...			

Tabulka 2: Vzor tabulky pro měření malých kapacit

K měření elektrolytických kondenzátorů nelze tuto metodu použít. Víme, že nesmíme zapojit elektrolytický kondenzátor na střídavý proud, neboť by nastalo poškození dielektrika, tj. tenké vrstvičky kysličníku hliníku. Při měření elektrolytických kondenzátorů musím dodržet provozní podmínky.

Musíme tedy přivést na kondenzátor stejnosměrné napětí při dodržení polaritě a menší amplitudu střídavého napětí, než je jeho stejnosměrná hodnota napětí. Tyto podmínky splňují např. můstky Tesla TM 352 pro měření velkých kapacit.