

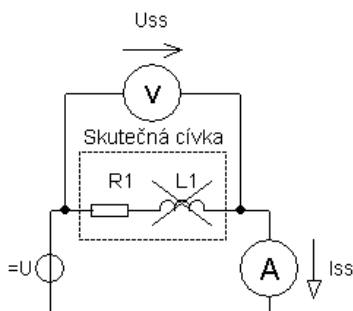
## 10 Měření parametrů vzduchové cívky

### 10.1 Zadání úlohy

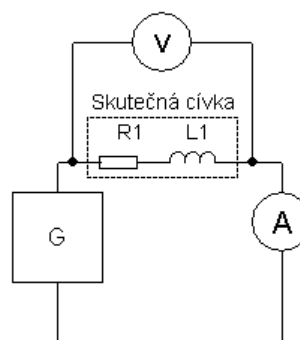
- Změřte indukčnost a ohmický (činný) odpor vzduchové cívky ohmovou metodou.
- Změřte indukčnost a ohmický odpor cívky rezonanční metodou.
- Změřte indukčnost a ohmický odpor cívky RLC můstkem.
- Vypočítejte činitel jakosti cívky  $Q_V$  a porovnejte ho s naměřeným činitelem jakosti  $Q_N$ .
- Zhodnoťte chyby měření a porovnejte výsledky obou metod.

**Poznámka:** U všech naměřených a vypočítaných hodnot vypočítejte chyby měření

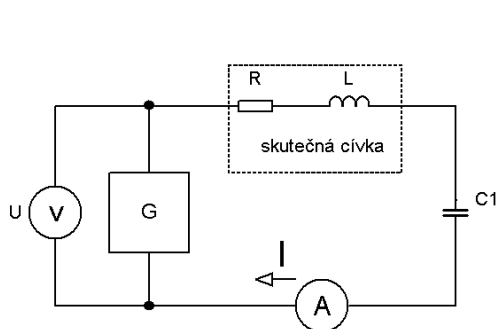
### 10.2 Schémata zapojení



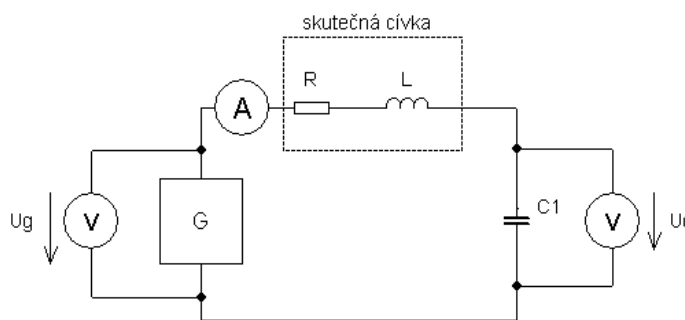
Obr. 10.1 Měření ohmického odporu cívky ohmovou metodou



Obr. 10.2 Měření impedance cívky ohmovou metodou



Obr. 10.3 Měření indukčnosti rezonanční metodou



Obr. 10.4 Měření činitele jakosti

### 10.3 Teoretický rozbor

Při informativních měřeních *ohmovou metodou* lze ohmický odpor vinutí (odpor vodiče) zanedbat, měření a hlavně výpočet se tím značně zjednoduší. To lze ovšem provést pouze u cívek vinutých drátem s větším průřezem a menším počtem závitů, aby byl ohmický odpor co nejmenší a vznikl na něm co nejmenší úbytek napětí, který nám zhoršuje přesnost výsledku.

Při našem měření bereme ztrátový odpor v úvahu. Měříme ho tak, že měříme jeho hodnotu nepřímou, a to ohmovou metodou se stejnosměrným zdrojem (obr.10.1). Induktivní reaktance cívky je totiž lineárně závislá na kmitočtu. Při stejnosměrném napájení se tudíž chová jako zkrat, odpor obvodu je dán pouze činným odporem vinutí (činný ztrátový odpor). Činný odpor cívky tedy zjistíme ze vztahu:

$$R_L = \frac{U_{SS}}{I_{SS}} \quad [10.1]$$

Pro lepší přesnost lze korigovat chybu metody vlivem spotřeby voltmetru tak, že od celkového naměřeného proudu odečteme proud odebraný voltmetrem. Pak dostaneme  $R_L = U_{SS} / (I_{SS} - I_V)$ . Tento proud zjistíme opět ohmovou metodou – napětí na voltmetru měříme právě tímto voltmetrem (voltmetr měří úbytek sám na sobě) a odpor voltmetru najdeme na stupnici (analogové MP) nebo v manuálu.

Při připojení cívky na zdroj střídavého napětí (v našem případě generátor funkcí) je proud tekoucí obvodem dán ztrátovým odporem cívky a její reaktancí a samozřejmě hodnotou napájecího napětí (obr 10.2). Modul impedance tedy zjistíme z naměřených hodnot ze vztahu:

$$|Z| = \frac{U_{STR}}{I_{STR}} \quad [10.2]$$

, víme, že modul impedance je roven

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad [10.3]$$

po spojení těchto dvou rovnic dostaneme rovnici o jedné neznámé, kterou je indukčnost L. Absolutní chyba kmitočtu  $\Delta_f$  je jeden digit na displeji generátoru.

**Rezonanční metoda** spočívá v rovnosti induktivní a kapacitní reaktance při rezonančním kmitočtu. Platí tedy

$$X_{Lr} = X_{Cr} \quad [10.4]$$

Přesnou hodnotu kapacity kondenzátoru zjistíme RLC můstkem.

**Rezonanční kmitočet najdeme** pomocí ampérmetru zapojeného do série (obr. 10.3). Víme totiž, že při rezonanci je impedance obvodu dána pouze ztrátovým odporem (je nejmenší). Při rezonanci tedy obvodem protéká největší proud. Postup při zjišťování rezonanční frekvence bude takovýto: sériově s impedancí a zdrojem střídavého napětí zapojíme měřicí přístroj. Frekvenci na generátoru nastavíme na nulu a postupně zvyšujeme. Sledujeme ukazatel ampérmetru (popř. displej). Proud stoupá. Za chvíli zpozorujete, že proud stoupá pomaleji než na začátku měření. To znamená, že se blížíme rezonanci. Kmitočet tedy zvyšujeme pomaleji. Jakmile proud přestane stoupat, zastaví se a při dalším zvyšování kmitočtu by se snižoval, obvod je poblíž stavu rezonance. Najdeme frekvenci, při které je proud absolutně nejvyšší a na displeji generátoru odečteme hodnotu rezonančního kmitočtu. Při rezonanci je tedy, jak jsme již uvedli kapacitní i induktivní reaktance shodná. Obě součástky posouvají fázor proudu oproti napětí o určitý úhel. Každá ze součástí ovšem v opačném smyslu. Pro celkovou impedanci obvodu tedy platí, že

$$\hat{Z} = R + j(X_L - X_C) \quad [10.5]$$

Úbytky napětí na kapacitě i indukčnosti jsou tedy stejné a s opačným směrem, můžeme je tedy zrušit. Celá hodnota napětí je pak na rezistoru představujícím ztrátový odpor cívky a proud je dán hodnotou napětí na ztrátovém odporu cívky.

$$I_r = \frac{U}{R_L} \quad [10.6]$$

Do rovnice rovnosti induktivní a kapacitní reaktance dosadíme hodnotu rezonančního kmitočtu a dopočítáme velikost indukčnosti. Z ampérmetru odečteme velikost rezonančního proudu a dopočítáme velikost ztrátového odporu. Vzhledem k tomu, že je velice složité určit přesně stav rezonance, většinou se při měření pohybujeme pouze v okolí tohoto stavu a na velikost proudu v obvodu má vliv nejen odpor, ale také kapacitní, resp. induktivní reaktance-záleží na poloze pracovního bodu na frekvenční charakteristice. Toto měření je tedy provázáno celkem velkou chybou.

**Činitel jakosti** cívky (vypočítaný) je dán poměrem induktivní reaktance cívky ku jejímu činnému odporu. Je tedy dán vztahem.

$$Q_V = \frac{\omega L}{R} \quad [10.7]$$

Udává nám, kolikrát větší napětí bude na kapacitě a indukčnosti při rezonanci. Tato napětí jsou přibližně stejná a jsou jalového charakteru. Pokud uvádíme obvod do rezonance, je zapotřebí činitel jakosti znát, popřípadě ho odhadnout a součástky na rezonanční napětí  $U_{Lr}$  a  $U_{Cr}$  dimenzovat. Tato napětí jsou tedy dána vztahem:

$$U_{Lr} = U_{Cr} = Q_N * U_g \quad [10.8]$$

My se měřením pokusíme zjistit činitel jakosti tak, že budeme měřit napětí na kondenzátoru a na generátoru a vzájemně je podělíme, takže:

$$Q_N = \frac{U_C}{U_g} \quad [10.9]$$

## 10.4 Postup měření:

- zapojíme obvod dle obr. 10.1 a změříme hodnotu stejnosměrného napětí a proudu a z nich dopočítáme ohmický odpor cívky  $R_{Lo}$ ,
- zapojíme obvod podle obr. 10.2, změříme střídavý proud procházející cívku a napětí na jejich svorkách. Z těchto hodnot dopočítáme modul impedance a následně indukčnost  $L_o$ ,
- obvod zapojíme dle obr. 10.3, přivedeme obvod do rezonance (taková frekvence, při které obvodem teče největší proud). Z hodnot napětí a proudu zjistíme odpor cívky  $R_{Lrez}$  a dosazením kapacity a kmitočtu do odvozeného a upraveného vztahu získáme indukčnost  $L_{rez}$ ,
- obvod zapojíme podle obr. 10.4 a měříme napětí na generátoru a napětí na kondenzátoru, jejich podělením získáme naměřený činitel jakosti  $Q_N$  a porovnáme ho s činitelem jakosti vypočteným z parametrů cívky,
- změříme parametry cívky síťovým RLC můstkem,
- porovnáme hodnoty naměřené jednotlivými metodami a porovnáme je s hodnotami naměřenými RLC můstkem. Určíme absolutní a relativní chyby a zhodnotíme je.

## 10.5 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot a výpočty

Ohmova metoda (ztrátový odpor $R_{Lo}$ )								
$U_{SS}$ [V]	$\Delta_U$ [V]	$\delta_U$ [%]	$I_{SS}$ [mA]	$\Delta_I$ [mA]	$\delta_I$ [%]	$R_{Lo}$ [ $\Omega$ ]	$\Delta_R$ [ $\Omega$ ]	$\delta_R$ [%]

$\Delta_U$  – absolutní chyba naměřeného napětí – vypočteno z parametrů voltmetru

- chyba voltmetru: ..... z něho odvozená absolutní chyba napětí  $\Delta_U = \dots\dots\dots$  mV

$\delta_U$  – relativní chyba napětí – vyp. z absolutní chyby a naměř. hodnoty  $\delta_U = (\Delta_U / U_{SS}) * 100$  [%] = ..... %

$\Delta_I$  – absolutní chyba naměřeného proudu – vypočteno z parametrů ampérmetru

- chyba ampérmetru: ..... z něho odvozená absolutní chyba proudu  $\Delta_I = \dots\dots\dots$  mA

$\delta_I$  – relativní chyba proudu – vyp. z absolutní chyby a naměř. hodnoty  $\delta_I = (\Delta_I / I_{SS}) * 100$  [%] = ..... %

$\delta_R$  – relativní chyba odporu  $\delta_R = \sqrt{\delta_U^2 + \delta_I^2} = \dots\dots\dots$  %

$\Delta_R$  – absolutní chyba naměř. odporu – vypočteme z relativní chyby  $\Delta_R = \delta_R * R_{Lo} / 100$  [%] = .....  $\Omega$

Ohmova metoda (impedance cívky a indukčnost)														
U	$\Delta_U$	$\delta_U$	I	$\Delta_I$	$\delta_I$	f	$\Delta_f$	$\delta_f$	Z	$\Delta_Z$	$\delta_Z$	$L_o$	$\Delta_L$	$\delta_L$
[V]	[V]	[%]	[mA]	[mA]	[%]	[Hz]	[Hz]	[%]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	[%]	[H]	[H]	[%]

$\Delta_U$  – absolutní chyba naměřeného napětí – vypočteno z parametrů voltmetru

- chyba voltmetru: ..... z něho odvozená absolutní chyba napětí  $\Delta_U = \dots\dots\dots$  mV

$\delta_U$  – relativní chyba napětí – vyp. z absolutní chyby a naměř. hodnoty  $\delta_U = (\Delta_U / U) * 100$  [%] = ..... %

$\Delta I$  – absolutní chyba naměřeného proudu – vypočteno z parametrů ampérmetru

- chyba ampérmetru: ..... z něho odvozená absolutní chyba proudu  $\Delta I = \dots\dots\dots$  mA

$\delta_I$  – relativní chyba proudu – vyp. z absolutní chyby a naměř. hodnoty  $\delta_I = (\Delta I / I) * 100 [\%] = \dots\dots\dots\%$

$f$  – kmitočet – odečteme z displeje generátoru

$\Delta f$  - absolutní chyba kmitočtu (2 % rdg + 2 dgt)

$\delta_f$  – relativní chyba kmitočtu – získáme výp. z absolutní chyby kmitočtu:  $\delta_f = (\Delta f / f) * 100 [\%] = \dots\dots\dots\%$

$|Z|$  - modul impedance získáme výpočtem z naměřeného proudu a napětí

$$|Z| = U_{\text{stř}} / I_{\text{stř}} = \dots\dots\dots \Omega$$

$\delta_Z$  = relativní chyba impedance – získáme z relativních chyb proudu a napětí

$$\delta_Z = \sqrt{\delta_U^2 + \delta_I^2}$$

$\Delta_Z$  = absolutní chyba impedance – vypočítáme z relativní chyby impedance a vypočítané impedance

$$\Delta_Z = \delta_Z * Z / 100 [\Omega] = \dots\dots\dots \Omega$$

$L$  – indukčnost cívky – vypočítáme ze vztahu  $L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi f} = \dots\dots\dots$  mH

$\delta_L$  – relativní chyba indukčnosti je dána relativní chybou impedance, relativní chybou odporu a relativní chybou kmitočtu dle vztahu:  $\delta_L = \sqrt{\delta_Z^2 + \delta_R^2 + \delta_f^2} = \dots\dots\dots\%$

$\Delta_L$  – absolutní chyba indukčnosti vypočítáme z relativní chyby dle vztahu:  $\Delta_L = \delta_L * L_o / 100 = \dots\dots\dots$  mH

Rezonanční metoda					
C [μF]	f <sub>r</sub> [Hz]	U [V]	I <sub>r</sub> [mA]	R <sub>Lrez</sub> [Ω]	L <sub>rez</sub> [mH]

$C$  – kapacita kondenzátoru – změříme RLC můstkem

$f_r$  – rezonanční kmitočet – odečteme z displeje generátoru

$U$  – napětí změřené voltmetrem na generátoru

$I_r$  – rezonanční proud změřený analogovým ampérmetrem

$R_L$  – odpor cívky – spočítáme pomocí U a I<sub>r</sub>:  $R_L = U / I_r = \dots\dots\dots \Omega$

$L_{rez}$  – indukčnost cívky, kterou získáme ze vztahu  $L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} = \dots\dots\dots$  mH

RLC můstek (skutečné parametry cívky)	
R <sub>L</sub> [Ω]	L [mH]

Měření činitele jakosti cívky Q			
U <sub>g</sub> [V]	U <sub>C</sub> [V]	Q <sub>N</sub> [-]	Q <sub>V</sub> [-]

