

9. MĚŘENÍ MALÝCH INDUKČNOSTÍ

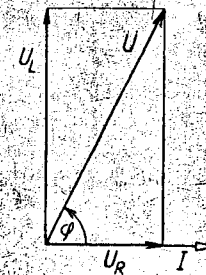
Technickou cívku nemůžeme nikdy považovat za čistou indukčnost, neboť musíme vždy počítat s tím, že je navinutá z vodiče o určitém měrném odporu ρ , určité délce l , a průřezu S . Z tohoto plyne, že se náhradní schéma technické cívky skládá ze sériově zapojené indukčnosti cívky L a činného odporu R , kde $R = \rho \frac{l}{S}$ (obr. 37). Vlastní kapacitu cívky pro zjednodušení zanedbáme.

Vektorový diagram technické cívky je na obr. 38.

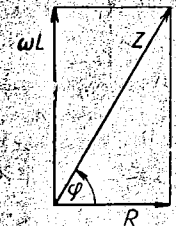
V symbolickém vyjádření můžeme napětí U_R nahradit součinem IR a $U_L = Ij\omega L$ a konečně $U = IZ$.



Obr. 37. Náhradní schéma technické cívky



Obr. 38. Vektorový diagram technické cívky



Obr. 39. Vektorový diagram technické cívky

Po úpravě dostaneme vektorový diagram technické cívky podle obr. 39.

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 ,

$$Z^2 = R^2 + \omega^2 L^2$$

z toho

$$\omega^2 L^2 = Z^2 - R^2$$

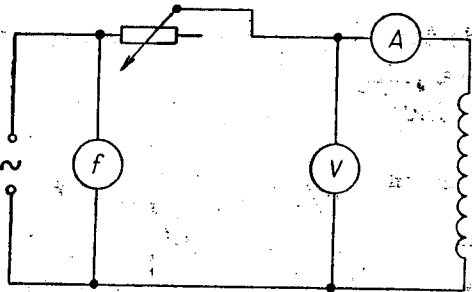
a hledaná indukčnost L se bude rovnat výrazu

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad [\text{H; rad/s, } \Omega]$$

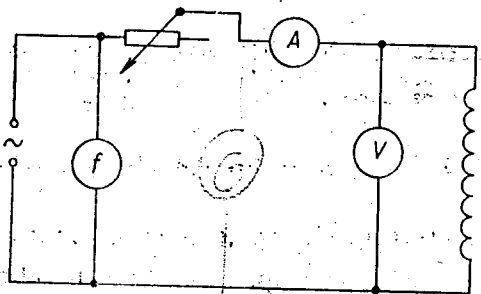
Z toho je patrné, že chceme-li zjistit velikost indukčnosti L , musíme znát jednak impedanci cívky, jednak činný odpor této technické cívky.

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. 40 nebo 41.



Obr. 40. Zapojení pro měření malé indukčnosti



Obr. 41. Zapojení pro měření malé indukčnosti

proudu jdoucímu cívkou. Celkový proud ukazuje ampérmetr.

Platí vztah

$$Z = \frac{U}{I}$$

Potřebná zařízení:

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

Zapojení podle obr. 40 lze provést tehdy, jestliže je indukčnost ampérmetru malá vůči měřené indukčnosti.

Vhodnější je zapojení podle obr. 41, 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

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

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}$$

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

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

Naměřené hodnoty se zapisují do tabulky podle vzoru tab. 7 a vypočte se velikost indukčnosti L . Na jedné cívce provedeme opět pět měření a vypočteme průměrnou hodnotu indukčnosti L .

Tab. 7. Vzor tabulky pro měření malých indukčností

Měření	R Ω	U V	I A	L H
1				
.				
.				
.				
Výsledná indukčnost $L = \dots H$				

10. 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

$$P = RI^2 \quad [W; \Omega, A]$$

z čehož

$$R = \frac{P}{I^2}$$

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. 42.

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

Zapojení lze provést také podle obr. 43.

Toto zapojení je vhodnější tehdy, jestliže je indukčnost tak velká, že lze zanedbat vlastní indukčnost ampérmetru a proudové cívky wattmetru, nebo prochází-li cívku malý proud; v tom případě není nutné provádět opravu.

Při výpočtech indukčnosti cívky použijeme opět vztahu

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2}$$

kde za Z dosadíme ze vztahu

$$Z = \frac{U}{I}$$

a za R ze vztahu

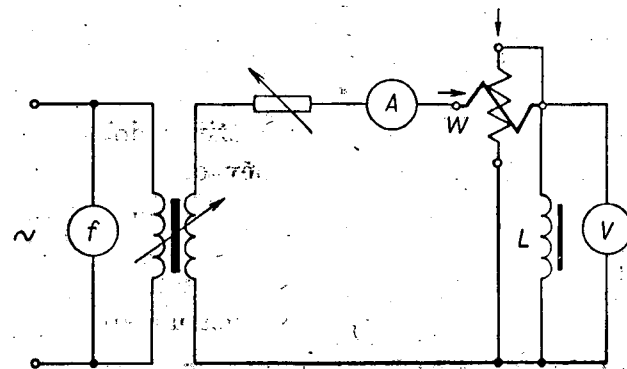
$$R = \frac{P}{I^2}$$

Indukčnost L tedy bude dána výrazem

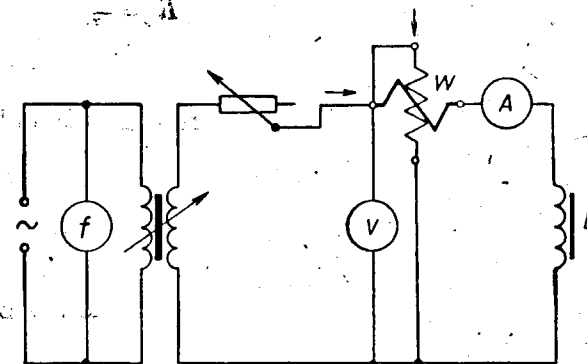
$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - \frac{P^2}{I^4}}$$

a po úpravě

$$L = \frac{1}{2\pi f I^2} \sqrt{U^2 I^2 - P^2}$$



Obr. 42. Zapojení pro měření velkých indukčností



Obr. 43. Zapojení pro měření velkých indukčností

Přesnost tohoto měření je dána hlavně přesností použitých měřicích přístrojů. Je třeba také dodržovat při měření jmenovitou hodnotu proudu pro měřenou cívku, neboť velikost indukčnosti cívek s feromagnetickým jádrem je na tomto proudu do značné míry závislá.

Naměřené hodnoty opět zapisujeme do tabulky podle vzoru tab. 8.