

Měření indukčnosti

Teorie

Měření indukčnosti přímou metodou

Indukčnost L je fyzikální veličina, která je definovaná jako podíl magnetického indukčního toku ϕ procházejícího plochou ohraničenou vodičem a proudem I procházejícím tímto vodičem, tedy:

$$L = \frac{\phi}{I}. \quad (1)$$

Pokud vezmeme vodič, na kterém jsme vytvořili smyčky a necháme jím protékat proud, zvětší se jeho indukčnost. Takovýto vodič představuje jednoduchou cívku. Indukčnost cívky vyjadřuje schopnost vodiče měnit elektrickou energii na energii magnetického pole. Tzn. čím bude indukčnost cívky větší, tím silnější magnetické pole kolem cívky vznikne při stejné velikosti proudu procházejícího cívku. Indukčnost cívky lze dále ovlivňovat tvarem smyčky, rozměrem, tím jestli cívka má nebo nemá jádro, z jakého materiálu je jádro vyrobeno atd.

K určení velikost indukčnosti L cívky, je třeba znát fyzikální vlastnosti cívky. Každá reálná cívka má svůj vnitřní činný odpor R_L . Tento odpor lze zjistit zapojením cívky do obvodu se stejnosměrným proudem a je dán vztahem:

$$R_L = \frac{U_{DC}}{I_{DC}},$$

respektive:

$$\overline{R_L} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{DCi}}{\sum_{i=1}^n I_{DCi}},$$

kde U_{DC} a I_{DC} představují stejnosměrné napětí a proud, n je počet měření.

Při zapojení cívky do obvodu se střídavým harmonickým proudem, je její odpor dán impedancí Z , která je rovna:

$$Z = \frac{U_{AC}}{I_{AC}},$$

respektive:

$$\overline{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{ACi}}{\sum_{i=1}^n I_{ACi}},$$

kde U_{AC} a I_{AC} je střídavé efektivní napětí a střídavý efektivní proud, n je počet měření. Impedance Z je také dána vektorovým součtem činného odporu R_L , indukčnosti X_L a kapacity X_C :

$$Z = \sqrt{R_L^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (2)$$

Pro obvod reálné cívky můžeme kapacitanci X_C zanedbat, neboť cívka má převážně jen indukční odpor – induktanci X_L ,

$$X_L = 2\pi fL, \quad (3)$$

kde f je frekvence a L je indukčnost cívky. Po vložení vztahu (2) do (3) a následné úpravě při

zanedbání kapacity X_C se dostane vztah pro zjištění vlastní indukčnosti cívky:

$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R_L^2}, \quad (4)$$

resp.

$$\bar{L} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\bar{Z}^2 - \bar{R}_L^2}. \quad (5)$$

Vztah (5) lze použít jen při měření vlastní indukčnosti cívky bez jader, nebo pokud jsou změny proudu v cívkách tak malé, že neovlivní L . U měření cívky s uzavřeným jádrem lze při přesném měření zjistit závislost indukčnosti na proudu procházejícím cívkou. Tyto změny jsou způsobeny závislostí permeability jádra na velikosti magnetické indukce v jádře. Pro solenoid (ideálně nekonečně dlouhá cívka) s jádrem platí:

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{l}, \quad (6)$$

kde μ_0 permeabilita vakua, μ_r relativní permeabilita, N počet závitů solenoidu, S průřez solenoidu a l je proud solenoidem.

Měření vzájemné indukčnosti absolutní metodou

Okamžitý indukční tok ϕ_{12} , který primární cívka posílá plochou sekundární cívky, je dán vztahem:

$$\phi_{12} = M i_1,$$

Kde M je vzájemná indukčnost a i_1 je okamžitá hodnota proudu v primární cívkách. V sekundární cívkách se indukují okamžité napětí :

$$u_2 = -\frac{\partial \phi_{12}}{\partial t} = -M \frac{\partial i_1}{\partial t}.$$

Pokud proud primární cívkou je harmonického průběhu s kruhovou frekvencí ω tj. $i_1 = I_0 \sin \omega t$, je indukované napětí určeno vztahem:

$$u_2 = -M I_0 \omega \cos \omega t = -M I_0 \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

Amplituda indukovaného napětí je pak rovna $U_0 = M I_0 \omega$ a odtud pro efektivní hodnotu napětí vyplývá:

$$U_{2ef} = \frac{M I_0 \omega}{\sqrt{2}} = M I_{1ef} \omega,$$

Kde I_{1ef} je efektivní hodnota proudu v primární cívkách. Platí tedy:

$$M = \frac{U_{2ef}}{I_{1ef}\omega} = \frac{U_{2ef}}{I_{1ef}2\pi f}. \quad (7)$$

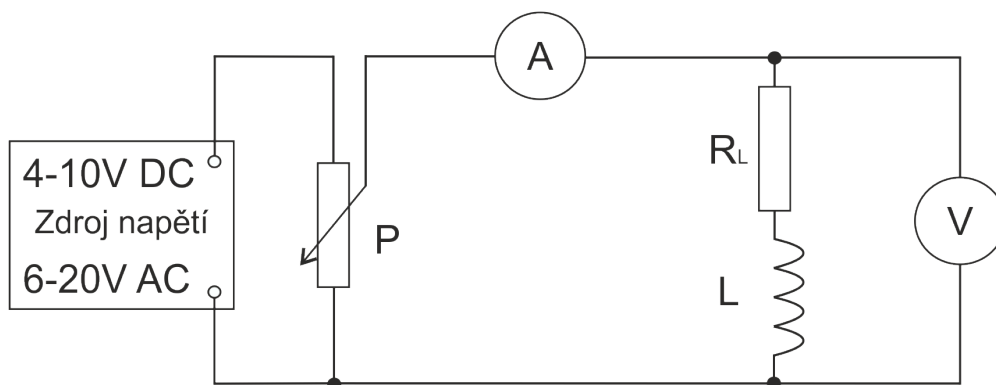
Úkol

- Určete vlastní indukčnost dvou cívek z rozkladného transformátoru, se vzduchovým a s uzavřeným železným jádrem.
- Proměřte vzájemnou indukčnost cívek absolutní metodou, se vzduchovým a s uzavřeným železným jádrem.

a) Určete vlastní indukčnost dvou cívek z rozkladného transformátoru.

Pomůcky:

Rozkladný transformátor s cívkami $L_1 = 6000$ závitů a $L_2 = 600$ závitů, AC/DC ampérmetr a voltmetr, AC a DC zdroj napětí, potenciometr, sada propojovacích vodičů a tabulka pro zapisování naměřených hodnot.



Obr.1. Zapojení pro měření vlastní indukčnosti cívky

Postup:

- Zapojte obvod dle obr. 1.
- Proměřte deseti hodnotami stejnosměrného a střídavého proudu a napětí obě cívky ($L_1 = 6000$ závitů a $L_2 = 600$ závitů) se vzduchovým jádrem. Naměřené hodnoty uveďte v tabulce 1a2.
- Vypočítejte vlastní indukčnost ze vztahu (4), dále střední hodnotu indukčnosti ze vztahu (5) a pravděpodobnou chybu aritmetického průměru.

Tabulka 1: Tabulka pro zápis výsledků měření vlastní indukčnosti cívky $L_1 = 6000$ závitů se vzduchovým jádrem

Číslo měření $i \downarrow$	U_{DC} (V)	I_{DC} (A)	R_L (Ω)	U_{AC} (V)	I_{AC} (A)	Z (Ω)	L (H)	$L_i - \bar{L}$ (H)	$(L_i - \bar{L})^2$ (H^2)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Tabulka2: Tabulka pro zápis výsledků měření vlastní indukčnosti cívky $L_2 = 600$ závitů se vzduchovým jádrem

Číslo měření $i \downarrow$	U_{DC} (V)	I_{DC} (A)	R_L (Ω)	U_{AC} (V)	I_{AC} (A)	Z (Ω)	L (H)	$L_i - \bar{L}$ (H)	$(L_i - \bar{L})^2$ (H^2)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

- 4) Proměřte deseti hodnotami stejnosměrného a střídavého proudu a napětí obě cívky ($L_1 = 6000$ závitů a $L_2 = 600$ závitů) s uzavřeným železným jádrem. Naměřené hodnoty uveďte v tabulce 3 a 4.
- 5) Vypočítejte vlastní indukčnost ze vztahu (4).

- 6) Zakreslete závislost vlastní indukčnosti obou cívek na proudu, který jimi protéká.
- 7) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data, výpočty a grafy. Na závěr shrňte výsledky svého snažení a diskutujte možné chyby měření.

Tabulka 3: Tabulka pro zápis výsledků měření vlastní indukčnosti cívky $L_1 = 6000$ závitů s uzavřeným železným jádrem

	U_{DC} (V)	I_{DC} (A)	R_L (Ω)	U_{AC} (V)	I_{AC} (A)	Z (Ω)	L (H)
Číslo měření i ↓							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

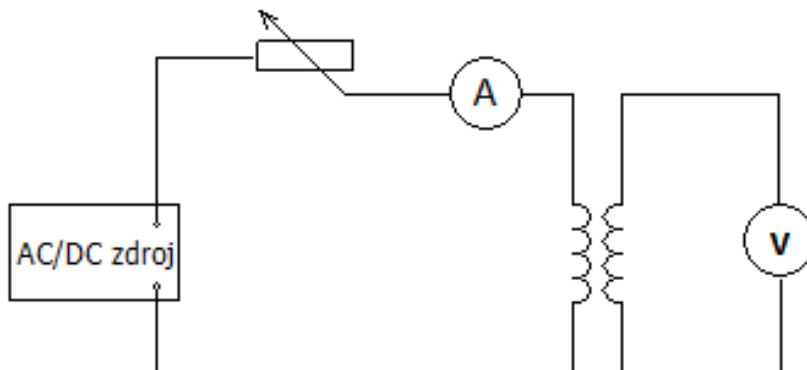
Tabulka 4: Tabulka pro zápis výsledků měření vlastní indukčnosti cívky $L_2 = 600$ závitů s uzavřeným železným jádrem

	U_{DC} (V)	I_{DC} (A)	R_L (Ω)	U_{AC} (V)	I_{AC} (A)	Z (Ω)	L (H)
Číslo měření i ↓							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

b) Proměřte vzájemnou indukčnost cívek absolutní metodou.

Pomůcky:

Rozkladný transformátor s cívkami $L_1 = 6000$ závitů a $L_2 = 600$ závitů, AC ampérmetr a voltmetr, AC zdroj napětí, potenciometr, sada propojovacích vodičů a tabulka pro zapisování naměřených hodnot.



Obr.2. Zapojení pro měření vzájemné indukčnosti cívek

Postup:

- 1) Zapojte obvod dle obr. 2., měření proveďte pro 10 hodnot střídavého proudu a napětí s cívkami se vzduchovým jádrem, změřené hodnoty zapište do tabulky 5.
- 2) Vypočítejte vzájemnou indukčnost ze vztahu (7).
- 3) Zakreslete závislost vzájemné indukčnosti cívek na proudu v primární cívce.
- 4) Opakujte body 2) až 4) pro cívky s uzavřeným železným jádrem.
- 5) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data, výpočty a grafy. Na závěr shrňte výsledky svého snažení a diskutujte možné chyby měření.

Tabulka 5: Tabulka pro zápis výsledků měření vzájemné indukčnosti cívek $L_1 = 6000$ závitů a $L_2 = 600$ závitů

	se vzduchovým jádrem			s uzavřeným železným jádrem		
Číslo měření i ↓	U_{2ef} (V)	I_{1ef} (A)	M (H)	U_{2ef} (V)	I_{1ef} (A)	M (H)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						