

## 23. MĚŘENÍ INTENZITY MAGNETICKÉHO POLE SOUOSÝCH KRUHOVÝCH CÍVEK

Souosých kruhových cívek se užívá v případě, kdy prostor s magnetickým polem má být dobře přístupný. Přitom intenzita magnetického pole na ose cívek i gradient pole jsou přesně spočitatelné (na rozdíl od elektromagnetu) a při tzv. Helmholtzově uspořádání cívek prakticky konstantní.

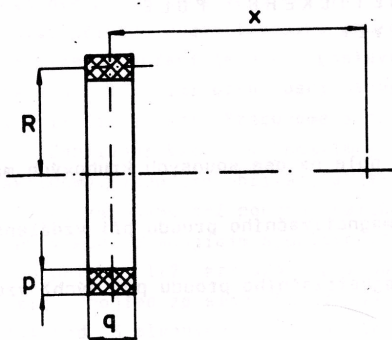
V této úloze experimentálně ověříme teoretické vztahy pro intenzitu magnetického pole souosých kruhových cívek a seznámíme se s metodou měření intenzity magnetického pole při použití periodických změn pole.

### Základní vztahy

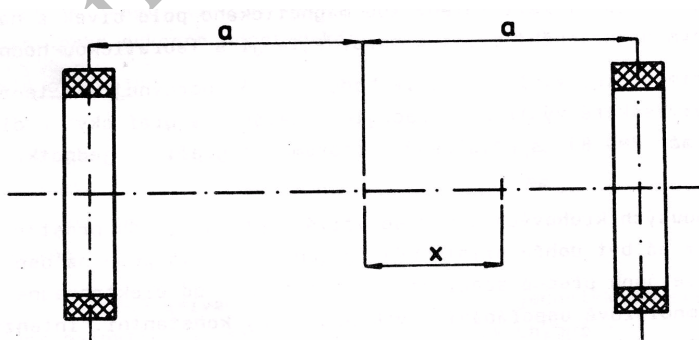
Intenzita magnetického pole na ose kruhové cívky  $H$  ve vzdálenosti  $x$  od středu cívky je dána známým vztahem (viz [1]-[3])

$$H = \frac{N \cdot I \cdot R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (1)$$

kde  $R$  je střední poloměr cívky,  $N$  počet jejích závitů a  $I$  proud protékající cívkou. Předpokládáme, že rozměry vinutí  $p, q$  (obr. 1) jsou vůči poloměru  $R$  velmi malé ( $p, q \ll R$ ).



Obr. 1



Obr. 2

Jsou-li dvě stejné cívky protékané stejným proudem  $I$  umístěna na stejné ose a vzdálenost středů cívek je  $2a$ , máme podle principu superpozice pro intenzitu pole  $H$  na ose cívek ve vzdálenosti  $x$  od střední polohy mezi cívkami vztah

$$H = \frac{N \cdot I \cdot R^2}{2} \left\{ \frac{1}{[R^2 + (a + x)^2]^{\frac{3}{2}}} \pm \frac{1}{[R^2 + (a - x)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (2)$$

Znaménko  $+$  zde platí, prochází-li proud cívkami ve stejném směru, znaménko  $-$  prochází-li proud cívkami v nesouhlasném (opačném) směru. V tomto případě je intenzita pole uprostřed mezi cívkami ( $x = 0$ ) vždy nulová.

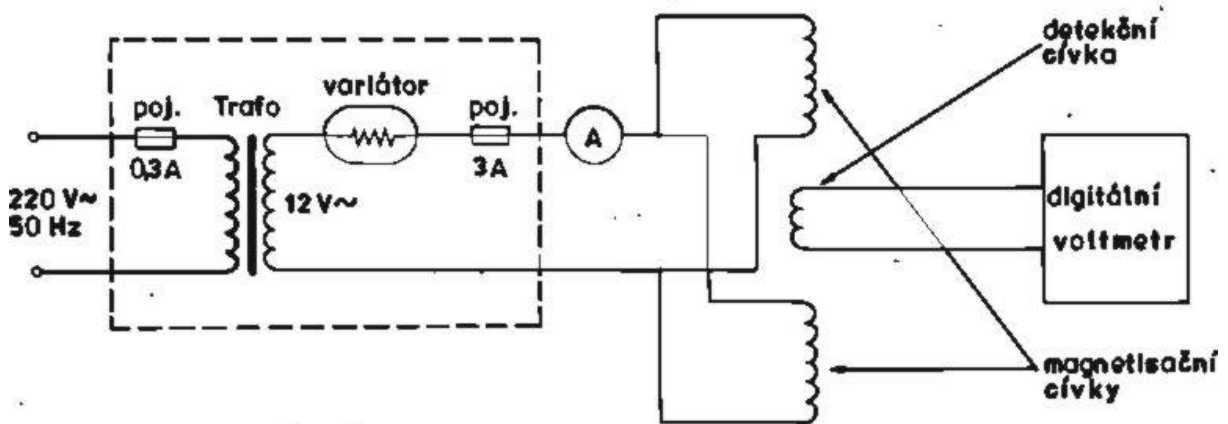
Lze ukázat, že při proudu procházejícím cívkami souhlasným směrem je nejlepší homogenita pole, je-li  $2a = R$ . Cívky v tomto uspořádání se nazývají Helmholtzovy. Uprostřed mezi cívkami ( $x = 0$ ) dostáváme v tomto případě podle (1)

$$H = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{NI}{R} = 0,7155 \frac{NI}{R} \quad (3)$$

Prochází-li cívkami v Helmholtzově uspořádání proud v nesouhlasném směru, má intenzita magnetického pole na ose cívek prakticky konstantní gradient ( $dH/dx = \text{konst}$ ).

Ve všech uvedených případech můžeme místo s intenzitou magnetického pole počítat s indukcí magnetického pole  $B = \mu_0 H$  ( $\mu_0$  je permeabilita vakua).

Použijeme-li v cívkách sinusového střídavého proudu, mohou mít intenzita magnetického pole  $H$  a magnetizační proud  $I$  ve vzorcích (1) a (2) význam okamžitých hodnot (amplitud  $H_0, I_0$ ) nebo efektivních hodnot ( $\frac{H_0}{\sqrt{2}}, \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ). Pro sinusový střídavý proud máme při obvyklém použití znaků  $I = I_0 \sin \omega t$ ; obdobně pro intenzitu magnetického pole buzené tímto proudem  $H = H_0 \sin \omega t$ .



Obr. 3

Má-li detekční cívka umístěná na ose mezi magnetizačními cívkami (obr. 3)  $n$  závitů a střední plocha závitů detekční cívky je  $S$ , prochází jí indukční tok

$$\Phi = nS\mu_0 H = nS\mu_0 H_0 \sin \omega t, \quad (4)$$

a pro napětí  $U$  indukované na detekční cínce dostáváme

$$U = -d\Phi/dt = -\omega nS\mu_0 H_0 \cos \omega t. \quad (5)$$

Konstanta úměrnosti  $k$  mezi intenzitou magnetického pole a napětím na indukční cínce je pak

$$k = 1/(\mu_0 \omega nS) \quad (6)$$

### ***Vlastní měření***

Použijeme zapojení podle obr. 3. Proud v magnetizačních cívkách se stabilizuje variátorem. Variátor je železný odporový drát umístěný v ochranné atmosféře. Jeho odporově-teplotní charakteristika je taková, že při rozžhavení do temně červeného žáru proud procházející drátem prakticky nezávisí na vloženém napětí, tedy variátor stabilizuje proud.

Transformátor, variátor a pojistky jsou uzavřeny v kovové skřínce. Proud měřený střídavým ampérmetrem je v ustáleném stavu roven 3 A. Zapojení je v praxi již připraveno k měření, není třeba nic sestavovat.

Detekční cívku připojujeme k rozsahu 2 V střídavý, rozsah 0,2 V je pro náš účel zbytečně citlivý. Magnetizační cívky nejsou geometricky zcela shodné. Proto v úkolu 1 při stejné vzdálenosti detekční cívky vpravo a vlevo od střední polohy mezi magnetizačními cívkami měříme různé hodnoty napětí na detekční cívkce (rozdíl 1 – 2 %) Při grafickém zpracování výsledků užíváme středních hodnot a pouze kladných hodnot vzdálenosti  $x$ .

### ***Potřebné údaje***

Střední poloměr magnetizační cívky	$R = 10,4 \text{ cm}$
Počet závitů magnetizační cívky	$N = 100$
Střední poloměr detekční cívky	$r = 1,28 \text{ cm}$
Počet závitů detekční cívky	$n = 1000$
Síťová frekvence	$f = 50 \text{ Hz}$

### ***Literatura***

- [1] Bakule R., Sedlák B.: Elektřina a magnetismus, skriptum, SPN, Praha 1973, str. 168
- [2] Sedlák B., Štoll I.: Elektřina a magnetismus, Academia. Praha, 2002
- [3] Bakule R., Šternberk J.: Fyzikální praktikum II., SPN, Praha 1989