

E7. Studium vlastností magnetických polí

Magnetické pole v okolí dlouhého přímého vodiče

Magnetické pole popisují veličiny \vec{B} - magnetická indukce a \vec{H} - intenzita magnetického pole, jejich vzájemný vztah $\vec{B} = \mu \vec{H}$, kde μ je permeabilita prostředí. Při výpočtech polí v jednoduchých symetrických případech můžeme vypočítat intenzitu magnetického pole z Maxwellovy rovnice. Ve složitějších případech užíváme Biot-Savartova zákona a intenzitu magnetického pole počítáme jako integrál z příspěvků všech proudových elementů v daném vodiči.

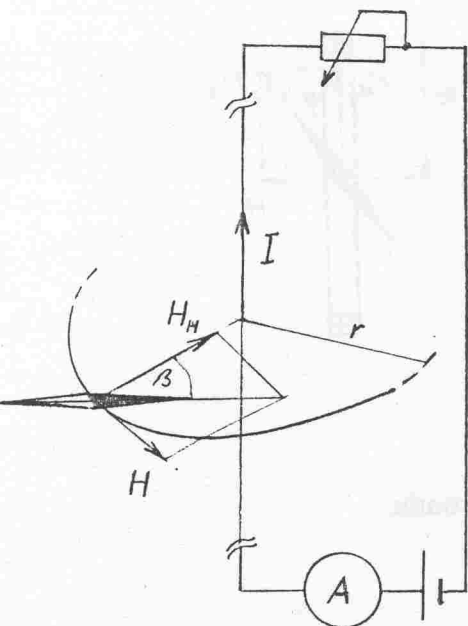
Velikost intenzity H v okolí dlouhého přímého vodiče (zanedbatelného průřezu), jimž prochází proud I je

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (1)$$

kde r je vzdálenost od vodiče (obr. 1).

Magnetické indukční čáry mají tvar soustředných kružnic rozložených v rovině kolmé k vodiči a se středem v místě průchodu vodiče rovinou.

Obr. 1



Absolutní měření intenzity H magnetického pole je obtížné pro všudypřítomné magnetické pole Země. To nám však na straně druhé umožňuje určit relativní velikost intenzity vzhledem k horizontální složce intenzity magnetického pole Země H_M . Je-li zapojení orientováno tak, aby magnetické pole Země a magnetické pole vodiče byly na sebe kolmé (obr. 1), potom platí

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{H_M} \quad (2)$$

kde β je úhel výchylky magnetky. Dosazením (1) do (2) dostaneme

$$\frac{1}{r} = \frac{2\pi H_M}{I} \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

V případě $I = 0$ magnetka ukazuje na vodič. Při stálém proudu I měřte vzdálenost r a určete výchylku β magnetky. Potvrzením vztahu (3) dostáváme potvrzení vztahu (1).

Měření horizontální složky zemského magnetismu

Magnetické pole Země na povrchu popisujeme třemi parametry. Je to deklinace, inklinace a horizontální složka intenzity magnetického pole H_M .

Deklinace představuje úhel mezi magnetickým poledníkem, který má směr ustálené magnetky a zemským poledníkem. Magnetická inklinace je úhel odklonu totální intenzity k vodorovné rovině. Horizontální složka intenzity magnetického pole leží ve vodorovné rovině ve směru severo-jížním (magnetické póly).

Horizontální složku magnetického pole Země je možné měřit využitím přídavných známých magnetických polí vytvořených permanentním magnetem nebo cívkou, kterou protéká proud (tzv. tangentová buzola).

Tangentová buzola se skládá z cívky o N závitů, poloměru R , s horizontální osou, v jejíž středu je v horizontální rovině uložena magnetka (obr. 2). Neprochází-li cívkou proud, magnetka buzoly se ustálí ve směru magnetického poledníku Země. Před měřením natočíme cívku tak, aby její osa byla kolmá na tento směr. Protéká-li cívkou elektrický proud I , magnetka se od původního směru odchýlí o úhel φ , neboť kromě magnetického pole Země na ni působí i magnetické pole cívky. Vektor intenzity tohoto pole ve středu cívky má směr její osy a jeho velikost je rovna

$$\vec{H} = \frac{NI}{2R} \quad (4)$$

obr. 2

Výsledné pole je dáno superpozicí obou polí :

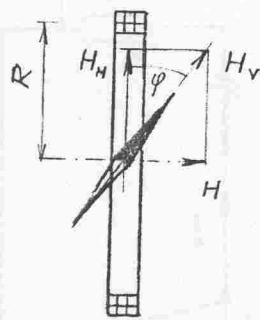
$$\vec{H}_V = \vec{H} + \vec{H}_M \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\vec{H}}{H_M} \quad (6)$$

Po dosazení z (4)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{NI}{2RH_M} \quad (7)$$

$$H_M = \frac{N}{2R} \frac{I}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (8)$$



Výchylku magnetky φ v závislosti na proudu I měřte pro oba směry proudu.

Magnetické pole kruhové cívky

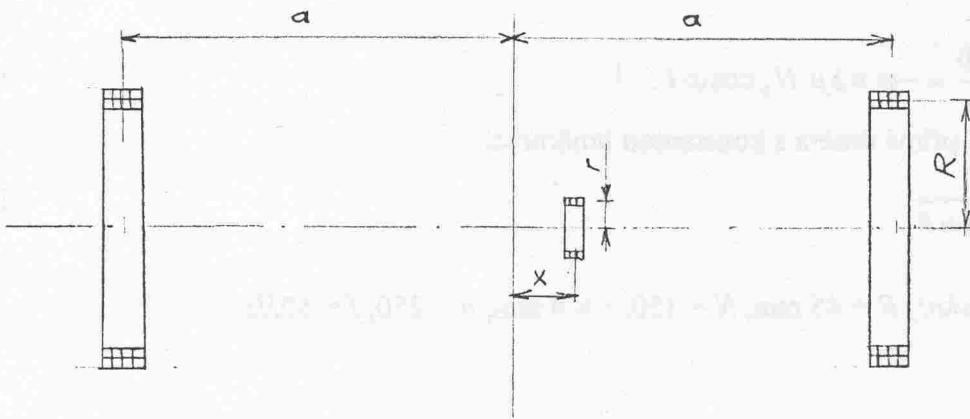
Intenzita magnetického pole H na ose kruhové cívky poloměru R o N závitů ve vzdálenosti x od středu cívky je dána vztahem

$$H = \frac{NIR^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (9)$$

příčměž rozměry průřezu vinutí jsou zanedbatelné vzhledem k R .

Magnetické pole souosých kruhových cívek

Obr. 3



Jsou-li dvě stejné cívky, jimiž teče proud I , umístěné na společné ose a vzdálenost středů cívek je $2a$ (obr. 3), platí podle principu superpozice pro intenzitu pole H na ose cívek ve vzdálenosti x od střední polohy mezi cívkami vztah

$$H = \frac{NI R^2}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{(R^2 + (a+x)^2)^3}} \pm \frac{1}{\sqrt{(R^2 + (a-x)^2)^3}} \right) \quad (10)$$

Znaménko $+$ zde platí, prochází-li cívkami proud v souhlasném směru, znaménko $-$ v nesouhlasném směru. (Ve druhém případě je H uprostřed mezi cívkami nulová).

Při proudu procházejícím cívkami souhlasným směrem se dosáhne velké homogenity pole je-li $2a = R$. Cívky v tomto uspořádání se nazývají Helmholtzovy. Uprostřed mezi cívkami v tomto případě je

$$H = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{NI}{R} = 0,7155 \frac{NI}{R}. \quad (11)$$

Prochází-li cívkami proud v nesouhlasném směru, má intenzita magnetického pole na ose cívek konstantní gradient.

Měření:

Protéká-li cívkami proud harmonického průběhu $i = I_0 \sin \omega t$, má harmonický průběh i intenzita magnetického pole

$$H = H_0 \sin \omega t.$$

Má-li detekční cívka D umístěná na ose mezi cívkami n závitů plochy S , prochází jí indukční tok

$$\Phi = nS\mu H_0 \sin \omega t . \quad (12)$$

Napětí indukované v detekční cívce

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = -\omega nS\mu H_0 \cos \omega t . \quad (13)$$

Mezi H a U platí přímá úměra s konstantou úměrnosti

$$K = \frac{1}{\mu \omega nS} . \quad (14)$$

Údaje na přípravku: $R = 45 \text{ mm}$, $N = 150$, $r = 8 \text{ mm}$, $n = 250$, $f = 50 \text{ Hz}$

Úkoly:

1. Ověřte teoretickou závislost velikosti intenzity magnetického pole v okolí dlouhého přímého vodiče. (3)
2. Určete velikost horizontální složky intenzity magnetického pole Země. (8)
3. Změřte průběh intenzity magnetického pole na ose kruhové cívky. (9)
4. Změřte průběh intenzity magnetického pole na ose souosých kruhových cívek pro různé vzdálenosti a) v zapojení s nesouhlasným směrem magnetického proudu.
b) v zapojení se souhlasným směrem magnetického proudu.
5. Úlohu 4. opakujte pro Helmholtzovy cívky.
 - a) vyšetřete homogenitu pole, určete konstantu úměrnosti mezi intenzitou magnetického pole a napětím indukovaným na detekční cívce.
 - b) vyšetřete gradient intenzity magnetického pole.