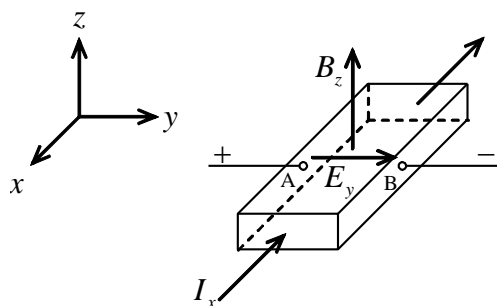


# Úloha 18

## Mapování magnetického pole

### Magnetické pole

Magnetické pole vznikající např. mezi pólovými nástavci elektromagnetu je plně popsáno vektorem magnetické indukce  $\vec{B}$ . Velikost a směr magnetické indukce lze určit pomocí následujících metod.



Obr.1 Hallův jev

První metoda využívá **Hallova jevu v polovodiči**. Vložíme-li do magnetického pole pásek polovodivého materiálu, kterým podélně protéká elektrický proud  $I_x$ , působí magnetické pole  $B_z$  Lorentzovou silou na pohybující se nosiče náboje tak, že jsou odchylovány od původního směru. To se projeví vznikem příčného elektrického pole  $E_y$  na pásku (obr.1). Podrobné pojednání o Hallově jevu je ve skriptech Fyzika II. Hallova jevu se využívá k měření magnetického pole a přístroje založené na tomto principu se nazývají **teslametry**. Teslametr se skládá z elektrického měřidla (voltmetru) kalibrovaného přímo v hodnotách magnetické indukce  $B$  a ze sondy, kterou vkládáme do magnetického pole. Sonda má tvar pásku a výchylka měřidla je maximální tehdy, je-li rovina pásku kolmá na vektor magnetické indukce. Tak lze určit nejen velikost magnetické indukce, ale také směr vektoru  $\vec{B}$ .

Druhá metoda využívá **silového působení magnetického pole o indukcí  $\vec{B}$  na cívku, kterou protéká elektrický proud  $I$**  (obr. 3). Ampérův magnetický moment krátké cívky o  $n$  závitů a velikosti plochy závitu  $S$  je

$$\vec{m} = n \vec{S} I . \quad (1)$$

Vložíme-li cívku s Ampérovým magnetickým momentem  $\vec{m}$  do magnetického pole o indukcí  $\vec{B}$ , působí na cívku mechanický moment

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} . \quad (2)$$

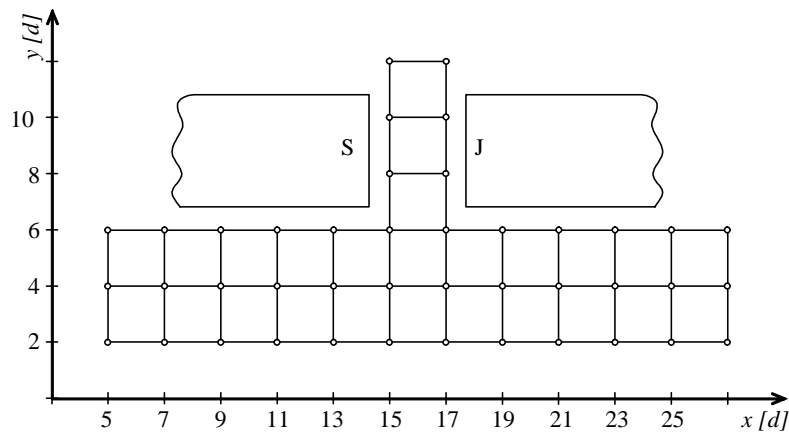
Tento vztah je výchozí pro určení velikosti magnetické indukce  $\vec{B}$ .

## Zadání:

- 1) Proměřte teslametrem a graficky znázorněte rozložení vektoru magnetické indukce  $\vec{B}$  v nehomogenním magnetickém poli mezi pólovými nástavci v bodech podle obr. 2.
- 2) Stanovte pomocí měřicí cívky velikost magnetické indukce  $B$  uprostřed mezi plochými pólovými nástavci. Měřte minimálně při 5 různých hodnotách proudu.

## Teorie

**Teslametrem** určíme směr a velikost magnetické indukce mezi pólovými nástavci v bodech podle obr. 2. Podobný náčrtek použijeme pro grafické zobrazení magnetického pole, kdy směr magnetické indukce vyznačujeme jednotkovými vektory a velikost magnetické indukce  $B$  zaokrouhlenou na 2 platné cifry přepíšeme číslem k vektoru.

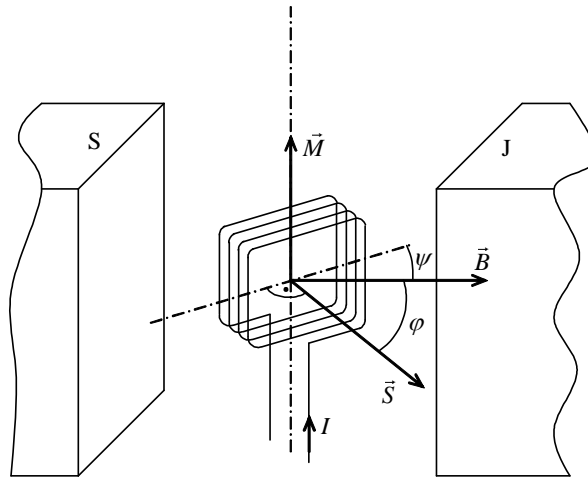


Obr. 2 Grafické zobrazení magnetického pole

**Ve druhé metodě** použijeme vztahy (1) a (2), ze kterých pro velikost momentu silové dvojice plyne

$$M = n S I B \sin \varphi, \quad (3)$$

kde  $\varphi$  je úhel, který svírá normála  $\vec{S}$  k rovině závitů se směrem indukce  $\vec{B}$  (obr. 3).



Obr. 3 Cívka mezi pólovými nástavci elektromagnetu

Cívku umístíme do magnetického pole tak, aby při nulovém proudu tekoucím cívkou (tj. nepůsobí-li na ni moment magnetických sil) byla rovina jejích závitů rovnoběžná s vektorem magnetické indukce  $\vec{B}$ . Úhel  $\psi$  mezi rovinou závitů a vektorem  $\vec{B}$  bude tedy rovný nule. Jakmile se cívka vychýlí o úhel  $\psi \neq 0$ , bude na ni působit torzní vlákno tuhosti  $K$  silovým momentem velikosti

$$M' = K \psi . \quad (4)$$

**Z geometrie uspořádání (obr. 3) vyplývá, že  $\psi = 90^\circ - \varphi$  a tedy  $\sin \varphi = \cos \psi$ .**

Rovnost momentů magnetických a mechanických sil v rovnováze  $M = M'$  vede k rovnici

$$n S I B \cos \psi = K \psi . \quad (5)$$

Z rovnice (5) získáme hledaný vztah pro velikost  $B$  magnetické indukce v závislosti na úhlu natočení  $\psi$  cívky:

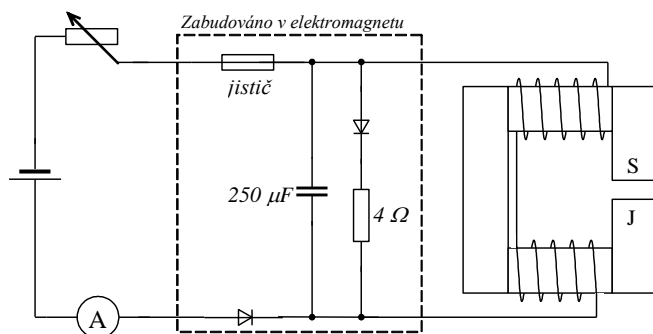
$$B = \frac{K}{n S I} \frac{\psi}{\cos \psi} . \quad (6)$$

Přepíšeme-li vztah (6) do tvaru

$$\frac{\psi}{\cos \psi} = \frac{n S B}{K} I , \quad (7)$$

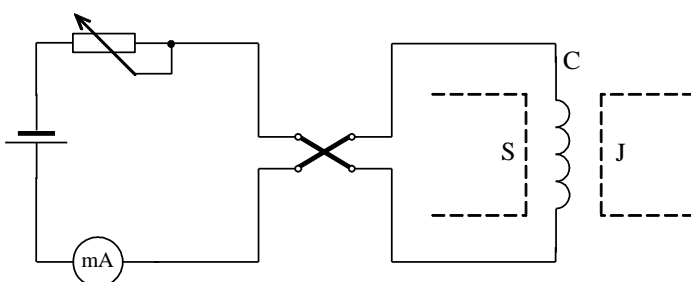
## Měření

- Použitý elektromagnet se skládá ze dvou cívek, každá má 3200 závitů. Každá cívka má železné jádro a jádra cívek jsou na jednom konci propojena spojkou z magneticky měkkého železa. Na druhém konci jader cívek jsou umístěny pólové nástavce a magnetický obvod je uzavřen vzduchovou mezerou.



Obr. 4 Zapojení elektromagnetu

- V elektrickém zapojení elektromagnetu (obr.4) je použita polovodičová dioda zapojená v závěrném směru, jejíž funkcí je zkratovat indukované proudy tekoucí obvodem při zapínání a vypínání proudu.
- **Pro druhou část úlohy** zapojíme měřicí cívku podle schématu na obr.5. Před zapojením napájecího proudu do měřicí cívky pečlivě vyrovnáme výchylku ukazatele směru natočení na nulu.



Obr.5 Zapojení měřicí cívky

- Pomocí změny napájecího proudu cívku proměříme výchylky na obě strany od rovnovážné polohy. Výchylku  $\psi$  pro danou hodnotu proudu určíme jako střední hodnotu obou naměřených výchylek.
- Podle vztahu (7) dostaneme lineární závislost veličiny  $\frac{\psi}{\cos\psi}$  na  $I$ , metodou lineární regrese určíme směrnici  $a$  ze směrnice přímky určete magnetickou indukci  $B$ .

$$\frac{\psi}{\cos \psi} = \frac{n S B}{K} I$$

- Hodnoty úhlu  $\psi$  **musí být uvedena v radiánech**, velikost tuhosti  $K$  závěsu malé cívky je uvedena u úlohy.
- Nepřekračujte proud elektromagnetem  $I = 1 \text{ A}$ .

### *Parametry cívek:*

**Cívka č.1 :** počet závitů  $n = 15$ , plocha závitů  $S = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , tuhost vlákna  $K = 2,55 \cdot 10^{-6} \text{ N.m}$

**Cívka č.2 :** počet závitů  $n = 15$ , plocha závitů  $S = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , tuhost vlákna  $K = 2,49 \cdot 10^{-6} \text{ N.m}$

**Cívka č.3 :** počet závitů  $n = 60$ , plocha závitů  $S = 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ , tuhost vlákna  $K = 4,61 \cdot 10^{-6} \text{ N.m}$

### *Nejistoty měření*

- Kombinovanou standardní nejistotu magnetické indukce stanovte na základě zákona šíření nejistot - text „Chyby a nejistoty měření“ a “Nejistoty nepřímého měření“.
- Nejistotu typu A magnetické indukce určete z nejistoty směrnice z lineární regrese závislosti  $\frac{\psi}{\cos \psi}$  na proudu  $I$ .
- Stanovenou hodnotu  $B$  porovnejte s hodnotou určenou teslametrem v prostoru mezi pólovými nástavci v prvním úkolu.