

Cvičení 4 STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

Příklad 1

Konce přímého vodorovného vodiče délky 8 cm jsou zavěšeny na svislé pružiny o stejné tuhosti $20 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. Vodičem prochází proud 2,5 A. Určete prodloužení pružin, jestliže je vodič v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 0,6 T. Magnetické indukční čáry jsou vodorovné a kolmé na vodič.

Řešení

$$l = 8 \text{ cm} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}, k = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}, I = 2,5 \text{ A}, B = 0,6 \text{ T}; y = ?$$

Tuhost pružiny k určuje prodloužení pružiny působením síly F . Za předpokladu, že prodloužení y je přímo úměrné působící síle, je celková síla pružnosti dvou pružin

$$F = 2ky.$$

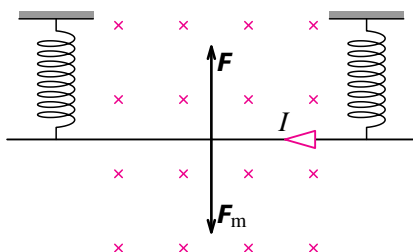
Na vodič s proudem, který je kolmý k vodorovným indukčním čarám magnetického pole, působí magnetická síla o velikosti

$$F_m = BIl,$$

která má svislý směr. Podle směru proudu může mít směr svisle nahoru nebo svisle dolů. Směr síly určíme Flemingovým pravidlem. V případě, že indukční čáry a proud I mají směr patrný z obr. C4-1, míří magnetická síla dolů a prodloužení pružiny

$$y = \frac{BIl}{2k} = \frac{0,6 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10} \text{ m} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3 \text{ mm}.$$

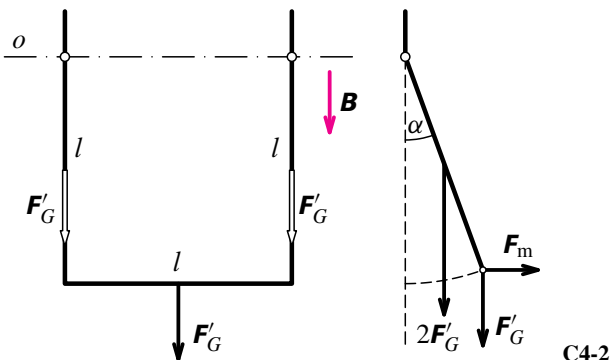
Pružina se působením magnetické síly prodlouží o 3 mm.



C4-1

Příklad 2

Měděný vodič o průměru 6 mm je ohnuto do tvaru patrného z obr. C4-2 a upevněno tak, že se může volně otáčet kolem vodorovné osy o . Vodič je umístěn v homogenním magnetickém poli, jehož indukční čáry jsou svislé. Velikost magnetické indukce pole je 0,1 T. Určete úhel, o který se vodič vychýlí ze svislého směru, jestliže jím prochází proud 10 A. Hustota mědi $\rho_{\text{Cu}} = 9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

**Řešení**

$$d = 6 \text{ mm} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \quad B = 0,1 \text{ T}, \quad I = 10 \text{ A}, \quad \rho_{\text{Cu}} = 9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; \quad \alpha = ?$$

Na vodič působí následující síly:

1. Magnetická síla F_m o velikosti

$$F_m = BIl.$$

2. Tíhová síla F_G , která je výslednicí složek F'_G , jejichž působíště je patrné z obr. C4-2. Složka F'_G má velikost

$$F'_G = \frac{\pi}{4} d^2 l \rho_{\text{Cu}} g.$$

Vodič považujeme za tuhé těleso, které se působením uvedených sil vychýlí o hledaný úhel α . Ve vychýlené poloze nastává rovnováha momentů sil:

$$F_m l \cos \alpha - F'_G l \sin \alpha - 2F'_G \frac{l}{2} \sin \alpha = 0.$$

Po dosazení a úpravě dostaneme

$$BI \cos \alpha - \frac{\pi}{2} d^2 \rho_{\text{Cu}} g \sin \alpha = 0$$

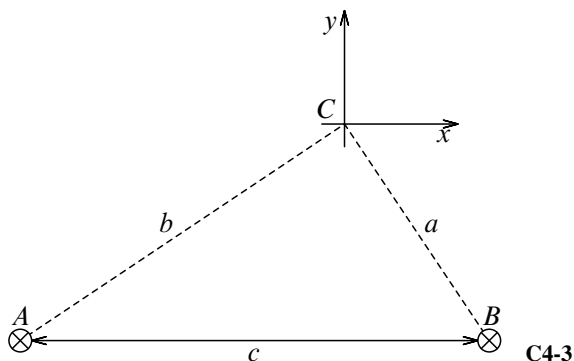
a odtud

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha &= \frac{IB}{\frac{1}{2} \pi d^2 \varrho_{\text{Cu}} g} = \frac{10 \cdot 0,1}{\frac{1}{2} \pi \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9 \cdot 10^3 \cdot 10} \approx 0,20, \\ \alpha &\approx 11^\circ.\end{aligned}$$

Vodič se vychýlí od svislého směru přibližně o úhel 11° .

Příklad 3

Dva dlouhé rovnoběžné vodiče jsou ve vzájemné vzdálenosti $|AB|$ a prochází jimi stejný proud (obr. C4-3). Bod C je ve vrcholu pravouhlého trojúhelníku, v němž vzdálenost od prvního vodiče je $|AC|$ a vzdálenost od druhého vodiče je $|BC|$. Dokažte, že složka magnetické indukce na ose y výsledného magnetického pole vytvářeného oběma proudy je v bodě C nulová.



Řešení

$$|AC| = b, |BC| = a; B_{Cy} = ?$$

První vodič vytváří magnetické pole, které má v bodě C magnetickou indukci popsanou vektorem $\mathbf{B}_A$. Vektorová přímka tohoto vektoru je tečnou k magnetické indukční čáře procházející bodem C a směr vektoru určíme Ampèrovým pravidlem pravé ruky. Velikost magnetické indukce

$$B_A = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{b}$$

a složka do osy y má souřadnici

$$B_{Ay} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{b} \cos \alpha.$$

Podobně najdeme složku magnetické indukce pole vytvářeného druhým vodičem

$$B_{By} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \cos \beta.$$

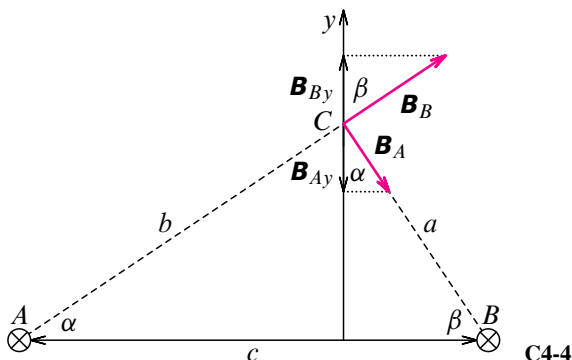
Poněvadž

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} \quad \text{a} \quad \cos \beta = \frac{a}{c},$$

je výsledná složka v bodě C

$$\begin{aligned} B_{Cy} &= -\frac{\mu_0 I}{2\pi b} \cos \alpha + \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \cos \beta = \\ &= \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(-\frac{1}{b} \cos \alpha + \frac{1}{a} \cos \beta \right) = 0. \end{aligned}$$

Dokázali jsme, že výsledná složka B_{Cy} magnetické indukce je nulová.



Příklad 4

Dva dlouhé rovnoběžné vodiče s proudy I_1 a I_2 jsou ve vzájemné vzdálenosti 12 cm. Měřením magnetické indukce na spojnici kolmé k oběma vodičům bylo zjištěno, že magnetická indukce ve vzdálenosti 8 cm od prvního vodiče je nulová ($B = 0$). Proud $I_1 = 6$ A. Určete velikost a směr proudu ve druhém vodiči. Kde na spojnici vodičů by byla magnetická indukce nulová, kdybychom změnili směr proudu v jednom vodiči?

Řešení

$$d_{12} = 12 \text{ cm}, d = 8 \text{ cm}, I_1 = 6 \text{ A}; I_2 = ?$$

Ve vzdálenosti d_0 je velikost magnetické indukce prvního vodiče

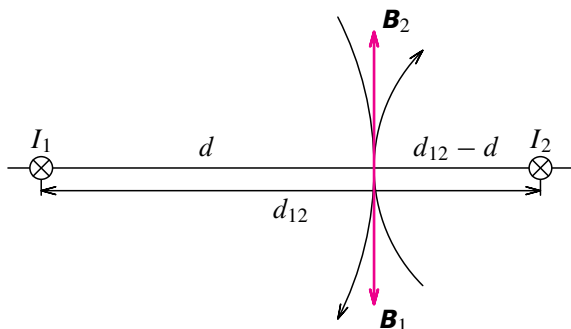
$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d}$$

a ve stejném bodě je velikost magnetické indukce druhého vodiče

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2}{d_{12} - d}.$$

Magnetická indukce výsledného magnetického pole bude nulová, když $B_1 = B_2$ a směry vektorů magnetické indukce budou opačné, čili v případě, že jsou směry proudu v obou vodičích souhlasné (obr. C4-5). Z této podmínky dostaneme

$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d} &= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2}{d_{12} - d}, \\ I_2 &= I_1 \frac{d_{12} - d}{d} = 6 \text{ A} \cdot \frac{(12 - 8) \text{ cm}}{8 \text{ cm}} = 3 \text{ A}. \end{aligned}$$



C4-5

V případě, že budou mít proudy opačný směr, zvětší se magnetická indukce ve všech bodech na spojnici mezi vodiči. Bod s nulovou magnetickou indukcí bude na prodloužené spojnici ve vzdálenosti d' vně vodiče s menším proudem. Platí

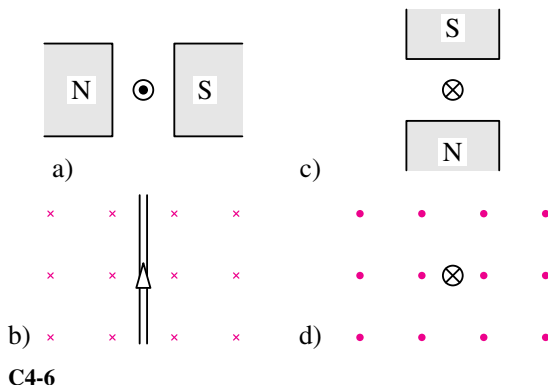
$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d_{12} + d'} &= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2}{d'}, \\ d' &= d_{12} \frac{I_2}{I_1 - I_2} = 12 \frac{3}{6 - 3} \text{ cm} = 12 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Bod s nulovou hodnotou magnetické indukce je na prodloužené spojnici vodičů ve vzdálenosti 12 cm od vodiče s proudem I_2 .

Úlohy

První tři úlohy řešte ve skupinách A a B.

- 1** Na obr. C4-6 je vyznačeno několik případů silového působení magnetického pole na vodič s proudem. Překreslete si do svých sešitů případy:



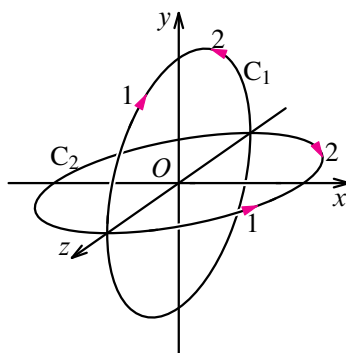
Skupina A – a, b

Skupina B – c, d

Vyznačte směr magnetické síly v jednotlivých případech.

Poznámka: Značky $\odot$ a $\otimes$ znamenají, že + pól zdroje napětí je za nákresem, popř. před nákresem. Značky $\times$ a $\bullet$ znamenají, že magnetické indukční čáry míří za nákresem a před nákresem.

- 2** Rovinné cívky C_1 a C_2 leží v rovinách navzájem kolmých (obrázek C4-7) a v bodě O vzbuzuje proud v cívkách magnetické pole, jehož magnetická indukce má velikost $1,4 \cdot 10^{-3}$ T. Určete velikost a směr vektoru magnetické indukce výsledného pole v následujících případech:



C4-7

Skupina A

Případ	Směr proudu v cívice	
	C_1	C_2
a	1	1
b	1	2

- 3** Vodič, kterým prochází proud 3 A, je umístěn v homogenním magnetickém poli, jehož magnetická indukce má velikost 20 mT. Určete sílu, která působí na 10 cm vodiče, jestliže vodič svírá s indukčními čarami úhel 45° .

- 4** Přímý vodič s proudem 4 A svírá úhel 60° s indukčními čarami homogenního magnetického pole, jehož magnetická indukce má velikost 0,68 T. Aktivní délka vodiče je 0,15 m. Určete velikost síly působící na vodič.

- 5** Na přímý vodič s proudem 6 A působí v homogenním magnetickém poli síla o velikosti 0,45 N. Magnetická indukce pole má velikost 0,5 T. Určete aktivní délku vodiče, jestliže s indukčními čarami svírá úhel 60° .

- 6** Jaký úhel svírá přímý vodič se směrem magnetických indukčních čar homogenního magnetického pole, jestliže na aktivní délku 8 cm vodiče v homogenním poli o magnetické indukci 0,2 T působí magnetická síla o velikosti 0,078 N? Vodičem prochází proud 5 A. Určete úhel, který svírá vodič s indukčními čarami magnetického pole.

- 7** V homogenním magnetickém poli, jehož indukční čáry jsou svislé, je na dvou vláknech zavěšen vodič délky 20 cm o hmotnosti 40 g. Konce vodiče jsou připojeny ke zdroji proudu pomocí ohebných přívodů, které jsou vně pole. Vodičem prochází proud 20 A a magnetické pole má magnetickou indukci o velikosti 0,1 T. Určete úhel, o jaký se vychýlí závěs ze svislého směru.

- 8** Na vodorovných vodivých tyčích ve vzájemné vzdálenosti 6 cm leží kolmo k tyčím volně pohyblivý vodič o hmotnosti 50 g. Tyče jsou umístěny v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 60 mT, jehož magnetické indukční čáry jsou svislé. Určete velikost proudu, který musí

Skupina B

Případ	Směr proudu v cívice	
	C_1	C_2
a	2	2
b	2	1

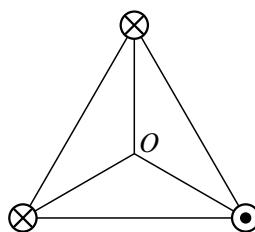
- 3** Na vodič délky 4 cm, kterým prochází proud 5 A, působí v magnetickém poli o magnetické indukci 0,2 T síla 20 mN. Jaký úhel svírá vodič se směrem indukčních čar?

procházet tyčí, aby se začala pohybovat. Součinitel smykového tření mezi vodičem a tyčemi je 0,10.

9 Dvěma rovnoběžnými vodiči ve vzájemné vzdálenosti 3 cm procházejí stejně velké proudy 15 A. Určete velikost magnetické indukce výsledného magnetického pole vodičů v bodě uprostřed jejich kolmé spojnice.

10 Dvěma rovnoběžnými vodiči, jejichž vzájemná vzdálenost je 3 cm, procházejí opačnými směry proudy 10 A a 4 A. Jak je třeba umístit v rovině těchto vodičů třetí rovnoběžný vodič s proudem, aby výslednice sil působících na tento vodič byla nulová? Záleží na směru proudu v třetím vodiči?

11 Tři dlouhé rovnoběžné vodiče jsou ve vzduchu ve vzájemné vzdálenosti 15 cm a prochází jimi stejný proud 12 A. Směry proudů ve vodičích jsou naznačeny na obr. C4-8 (viz poznámku v úloze 1). Určete magnetickou indukci výsledného pole v bodě O ve stejné vzdálenosti od vodičů.



C4-8

12 Tři rovnoběžné vodiče leží vedle sebe ve vodorovné rovině a vzdálenost mezi vodiči je 5 cm. Každým z vodičů prochází proud 10 A, přičemž prvním a druhým (středním) vodičem prochází tento proud souhlasným směrem a třetím vodičem prochází opačným směrem. Určete velikost síly, která působí na jednotku délky každého z vodičů.