

#### 4. MAGNETICKÉ POLE, ELEKTROMAGNETY

##### Příklad 4.1:

V železném jádře obdélníkového průřezu o rozměrech  $S = a \cdot b$  je elektromagnetické pole s magnetickou indukcí  $B_m$ . Vypočítejte magnetický tok  $\Phi_m$  v železném jádře.

Zadáno:  $a = 0,3$  m;  $b = 0,42$  m;  $B_m = 1,05$  T

Určit:  $\Phi_m$

Řešení:

Průřez jádra

$$S = a \cdot b = 0,3 \cdot 0,42 = 0,126 \text{ m}^2$$

a magnetický tok

$$\Phi_m = B_m \cdot S = 1,05 \cdot 0,126 = 0,132 \text{ Wb}$$

##### Příklad 4.2:

Dva vodiče délky  $l_1$  a  $l_2$  vzdálené od sebe  $r$  jsou protékány stejnosměrnými avšak opačnými proudy o velikosti  $I_1$  a  $I_2$ . Jaká je síla  $F$ , kterou na sebe vodiče působí. Průřez vodičů zanedbejte.

Zadáno:  $l_1 = l_2 = l = 15,0$  m;  $r = 0,16$  m;  $I_1 = I_2 = I = 630$  A;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H.m<sup>-1</sup>

Určit:  $F$

Řešení:

Intenzita magnetického pole v okolí přímého vodiče

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{630}{2 \cdot \pi \cdot 0,16} = 626,7 \text{ A.m}^{-1}$$

a magnetická indukce pro  $\mu_r = 1$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 626,7 = 7,87 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

Sílu, kterou působí na sebe dva vodiče vypočteme podle vzorce  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$ , kde  $\alpha$  je úhel, který svírá směr indukce  $B$  s osou vodiče. Pro kolmý směr je  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin\alpha = 1$  a síla

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha = 7,87 \cdot 10^{-4} \cdot 630 \cdot 15 \cdot 1 = 7,44 \text{ N}$$

##### Příklad 4.3:

Zkontrolujte, zda magnetické pole vodiče protékaného proudem  $I$  neruší údaje měřícího elektromagnetického přístroje, který je umístěn ve vzdálenosti  $r$ . Výrobce ručí za správnost naměřených hodnot do velikosti magnetické indukce v místě měření  $B_{\text{přístroje}} = 5 \cdot 10^{-5}$  T.

Zadáno:  $I = 120 \text{ A}$ ;  $r = 1,5 \text{ m}$ ;  $B_{\text{přístroje}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$   
Určit:  $B_m$

Řešení:

Intenzita magnetického pole v místě měření

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{120}{2 \cdot \pi \cdot 1,5} = 12,73 \text{ A.m}^{-1}$$

a magnetická indukce v místě měření pro  $\mu_r = 1$

$$B_m = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 12,73 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Údaje měřicího přístroje nejsou magnetickým polem vodiče rušeny, protože  $B_m < B_{\text{přístroje}}$  ( $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ T} < 5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ ).

#### Příklad 4.4:

Jak velké napětí  $U_i$  se indukuje v tyčovém vodiči délky  $l$ , který se pohybuje stálou rychlostí  $v$  v homogenním magnetickém poli s indukcí  $B_m$  kolmo k silovým čarám.

Zadáno:  $l = 1,5 \text{ m}$ ;  $v = 7,0 \text{ m.s}^{-1}$ ;  $B_m = 1,15 \text{ T}$

Určit:  $U_i$

Řešení:

Indukované napětí ve vodiči vypočteme podle vzorce  $U_i = B_m \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha$ , kde úhel  $\alpha$  je úhel, který svírá směr rychlosti  $v$  a směr magnetické indukce  $B_m$ . Pro  $\alpha = 90^\circ$  je  $\sin\alpha = 1$ . Potom indukované napětí

$$U_i = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 7 \cdot 1 = 12,1 \text{ V}$$

#### Příklad 4.5:

Ve vzdálenosti  $l$  byla od osy přímého vodiče naměřena magnetická indukce  $B_m$ . Jaká je velikost proudu  $I$  procházejícího vodičem.

Zadáno:  $l = 0,18 \text{ m}$ ;  $B_m = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ ;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$

Určit:  $I$

Řešení:

Intenzita magnetického pole pro  $\mu_r = 1$

$$H = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot \mu_r} = \frac{1,33 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1} = 1,06 \cdot 10^3 \text{ A.m}^{-1}$$

a velikost proudu (pro  $r = l$ )

$$I = H \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = 1,06 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,18 = 1\,200 \text{ A}$$

#### Příklad 4.6:

Vodič délky  $l$ , který se nachází v homogenním magnetickém poli a kterým prochází proud  $I$ , je vytlačován kolmo k silovým čarám silou  $F$ . Jaká je intenzita magnetického pole  $H$ .

Zadáno:  $l = 0,2$  m;  $I = 20,0$  A;  $F = 0,5$  N;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H.m<sup>-1</sup>

Určit:  $H$

Řešení:

Sílu, kterou působí na sebe dva vodiče vypočteme podle vzorce  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$ , kde  $\alpha$  je úhel, který svírá směr indukce  $B_m$  s osou vodiče. Pro kolmý směr je  $\alpha = 90^\circ$  a  $\sin\alpha = 1$ .

Ze vzorce pro výpočet síly je magnetická indukce pro  $\alpha = 90^\circ$

$$B_m = \frac{F}{I \cdot l \cdot \sin\alpha} = \frac{0,5}{20 \cdot 0,2 \cdot 1} = 0,125 \text{ T}$$

Intenzita magnetického pole pro  $\mu_r = 1$

$$H = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot \mu_r} = \frac{0,125}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1} = 9,95 \cdot 10^{-4} \text{ A.m}^{-1}$$

#### Příklad 4.7:

Jaká je přitažlivá síla  $F$  stejnosměrného elektromagnetu, jehož cívkou o  $N$  závitěch prochází proud  $I$ . Kotva elektromagnetu má průměr  $d$ , zdvih  $l_\delta$ . Do magnetického napětí pro vzduchovou mezeru  $U_\delta$  zahrňte magnetické napětí pro železo  $U_{Fe}$  koeficientem  $k_s$ . Sestavení elektromagnetu je na obrázku.

Zadáno:  $N = 1\,800$  závitů;  $I = 10$  A;  $l_\delta = 0,06$  m;  $d = 0,04$  m;  $k_s = 1,1$ ;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H.m<sup>-1</sup>

Určit:  $F$

Řešení:

Proud  $I$  procházející cívkou elektromagnetu s  $N$  závitů vyvolá magnetomotorické napětí

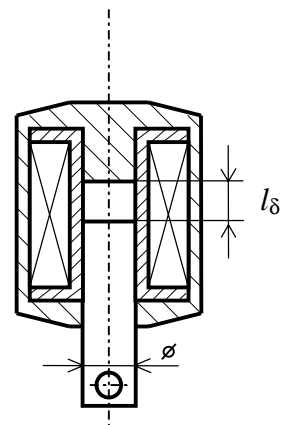
$$F_m = N \cdot I = 1\,800 \cdot 10 = 18\,000 \text{ A}$$

Koeficient  $k_s = \frac{F_m}{U_\delta}$ , z toho magnetické napětí

$$U_\delta = \frac{F_m}{k_s} = \frac{18\,000}{1,1} = 16\,364 \text{ A}$$

Pro průměr kotvy  $d = 0,04$  m je průřez kotvy

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



a přitažlivá síla

$$F = 0,5 \cdot U_{\delta}^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l_{\delta}^2} = 0,5 \cdot 16\,364^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,001\,256}{0,06^2} = 58,7 \text{ N}$$

Příklad 4.8:

Jaká je střední hodnota přitažlivé síly  $F_{av}$  střídavého elektromagnetu při zdvihu kotvy  $l_{\delta}$ , který je připojen na napětí  $U$  o frekvenci  $f$ . Cívka elektromagnetu má  $N$  závitů, rozměr jádra  $a \cdot b$ . Sestavení elektromagnetu je na obrázku.

Zadáno:  $l_{\delta} = 0,15 \text{ m}$ ;  $U = 230 \text{ V}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $N = 1\,200$  závitů;  $a = 0,03 \text{ m}$ ;  $b = 0,04 \text{ m}$ .

Určete:  $F_{av}$

Řešení:

Celkový magnetický tok

$$\Phi_m = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot N} = \frac{230}{4,44 \cdot 50 \cdot 1\,200} = 8,63 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Jestliže rozptyl magnetického pole odhadneme

na 120%, pak činitel rozptylu  $\tau = 1,2$   
a magnetický tok ve vzduchové mezeře je

$$\Phi_{\delta m} = \frac{\Phi_m}{1 + \tau} = \frac{8,63 \cdot 10^{-4}}{1 + 1,2} = 3,92 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

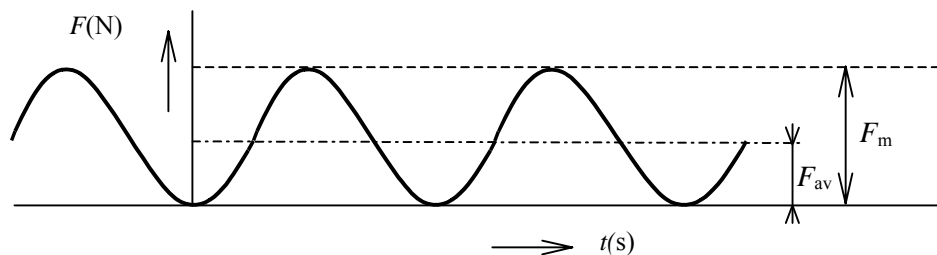
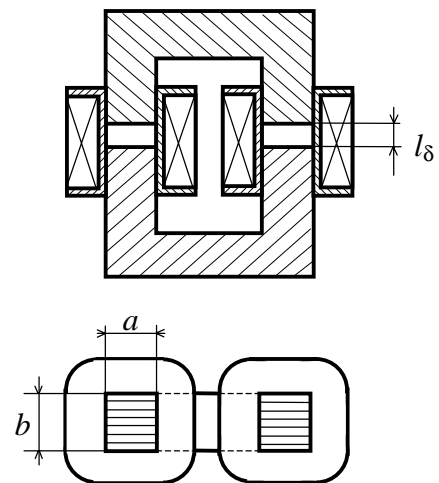
Magnetická indukce ve vzduchové mezeře

$$B_{\delta m} = \frac{\Phi_{\delta m}}{S} = \frac{3,92 \cdot 10^{-4}}{12 \cdot 10^{-4}} = 0,39 \text{ T,}$$

kde  $S = a \cdot b = 0,03 \cdot 0,04 = 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  je průřez jádra elektromagnetu.

Střední hodnota přitažlivé síly  $F_{av}$  při použití maximální hodnoty magnetické indukce ve vzduchové mezeře  $B_{\delta m}$ , dvojnásobného průřezu jádra elektromagnetu  $S$  a zanedbání zvětšení vzduchové mezery ( $\epsilon = 1$ ) je střední hodnota přitažlivé síly elektromagnetu

$$F = 0,4 \cdot B_{\delta m}^2 \cdot \epsilon^2 \cdot S \cdot 10^6 = 0,4 \cdot 0,39^2 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 = 51,0 \text{ N}$$



Průběh přitažlivé síly elektromagnetu.