

Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů FS

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 Φ_m v železném jádře.

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

Určit: Φ_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; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$

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 α 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 měřicího elektromagnetického přístroje, který je umístěn ve vzdálenosti r . Výrobce ručí za správnost naměřených hodnot do velikosti magnetické indukce v místě měření $B_{\text{přístroje}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

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

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

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

Určit: U_i

Řešení:

Indukované napětí ve vodiči vypočteme podle vzorce $U_i = B_m \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$, kde úhel α 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: $l = 0,18 \text{ m}$; $B_m = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ T}$; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$

Určit: I

Řešení:

Intenzita magnetického pole pro $\mu_r = 1$

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

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

Určit: H

Řešení:

Sílu, kterou působí na sebe dva vodiče vypočteme podle vzorce $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$, kde α 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_δ . Do magnetického napětí pro vzduchovou mezeru U_δ zahrňte magnetické napětí pro železo U_{Fe} koeficientem k_s . Sestavení elektromagnetu je na obrázku.

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

Určit: F

Řešení:

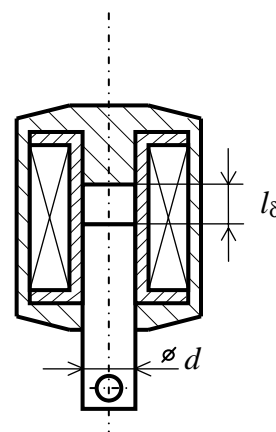
Proud I procházející cívkou elektromagnetu s N závity vyvolá magnetomotorické napětí

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

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 $d = 0,04 \text{ m}$ 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_{δ} , 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

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

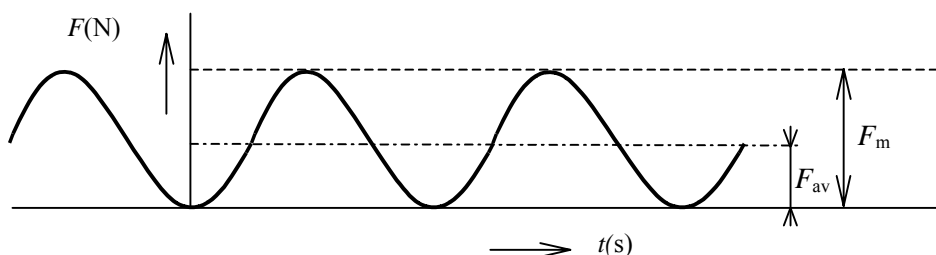
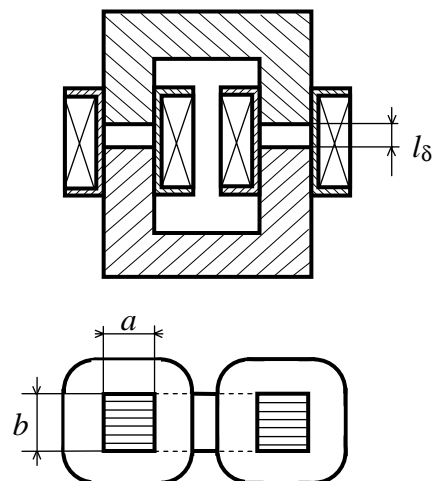
Magnetická indukce ve vzduchové mezeře

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

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.