

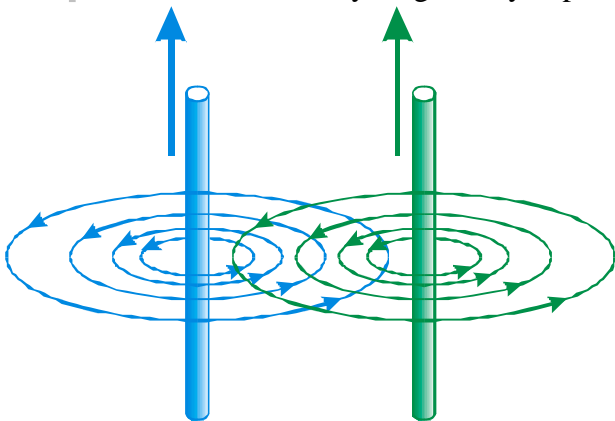
4.5.5 Magnetické působení rovnoběžných vodičů s proudem

Předpoklady: 4502, 4503, 4504

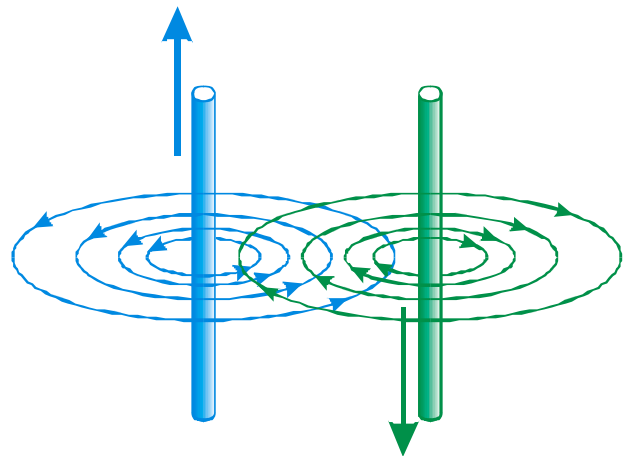
Př. 1: Dvěma velmi dlouhými svislými vodiči prochází elektrický proud. Rozhodni pomocí rozboru magnetických indukčních čar polí obou vodičů, jak na sebe budou tyto dva vodiče působit pokud:

- je směr proudu v obou vodičích stejný,
- je směr proudu v obou vodičích opačný.

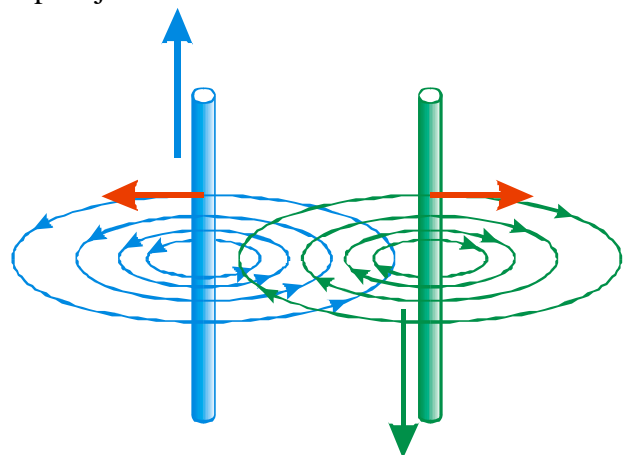
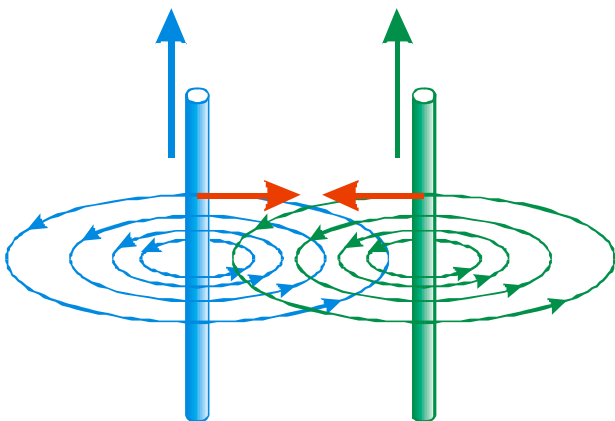
Nakreslíme si obrázky magnetických polí obou drátů.



Mezi dráty směřují indukční čary obou polí proti sobě \Rightarrow velikost magnetického pole mezi dráty se zmenšuje \Rightarrow dráty se přitahují.

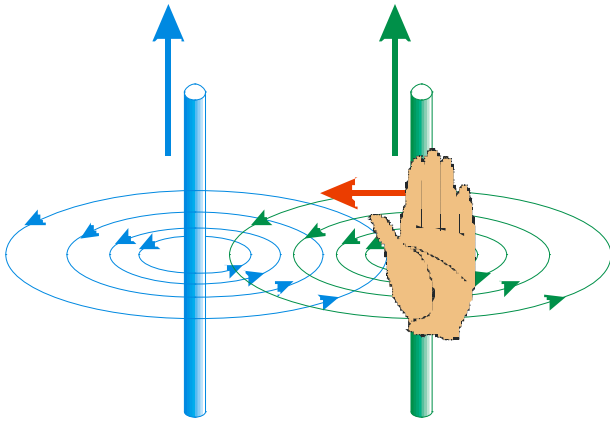


Mezi dráty směřují indukční čary obou polí stejným směrem \Rightarrow velikost magnetického pole se mezi dráty zvětšuje \Rightarrow dráty se odpuzují.

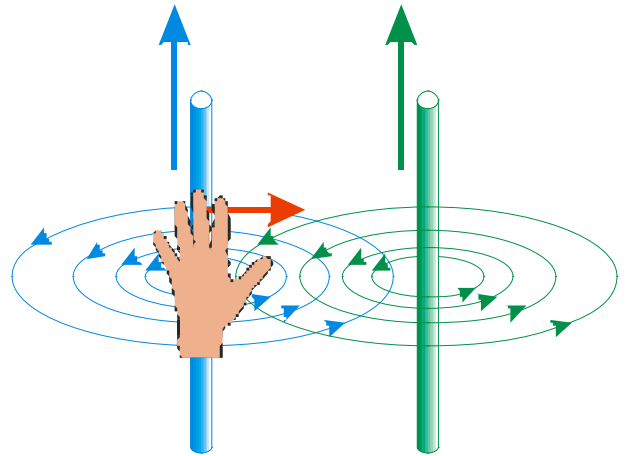


Př. 2: Ověř výsledek předchozího příkladu pomocí Flemingova pravidla levé ruky.

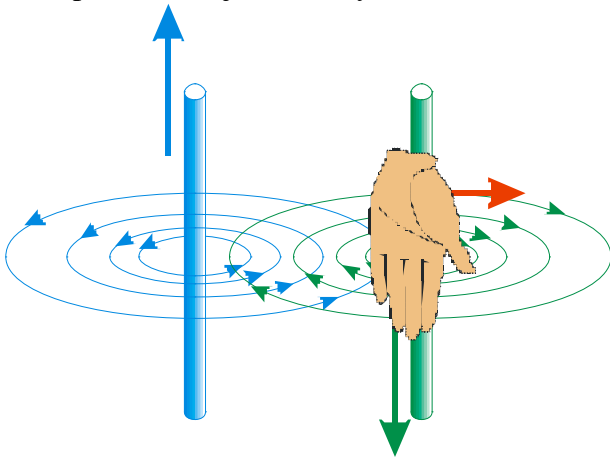
Vždy jeden z drátů považujeme za zdroj magnetického pole a zjišťujeme působení tohoto pole na druhý drát.



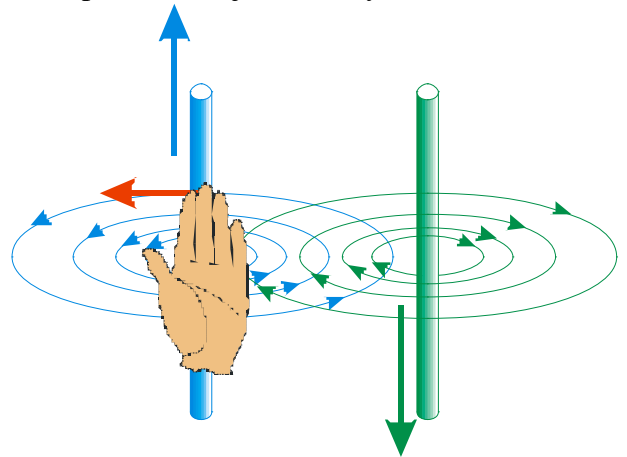
Síla, kterou působí levý drát na pravý (siločáry jdou do dlaně levé ruky položené na pravém drátu, palec ukazuje směr síly).



Síla, kterou působí pravý drát na levý (siločáry jdou do dlaně levé ruky položené na levém drátu, palec ukazuje směr síly).



Síla, kterou působí levý drát na pravý (siločáry jdou do dlaně levé ruky položené na pravém drátu, palec ukazuje směr síly).



Síla, kterou působí pravý drát na levý (siločáry jdou do dlaně levé ruky položené na levém drátu, palec ukazuje směr síly).

⇒ Ve všech případech potvrdíme výsledky rozboru magnetických indukčních čar.

Pokud pokus provedeme, potvrdíme výsledky předchozích příkladů.

Pedagogická poznámka: Na pokus používám dva slabé měděné dráty. Pokud je pokus dobře zapojený, rozžhává je procházející proud a jsou dobře vidět.

Podle III.NZ musí být síly na oba dráty stejně velké (jde o vzájemné působení). Jak velké?

Označíme veličiny:

- d - vzdálenost drátů od sebe,
- I_1 - proud v prvním vodiči,
- I_2 - proud v druhém vodiči,
- l - délka vodičů.

Vzorec pro magnetickou sílu: $F_m = B \cdot I \cdot l$ (v našem případě jsou siločáry kolmé na drát).

⇒ Síla, kterou působí druhý drát na první $F_1 = B_2 \cdot I_1 \cdot l_1$.

⇒ Síla, kterou působí první drát na druhý $F_2 = B_1 \cdot I_2 \cdot l_2$.

⇒ Potřebovali bychom znát velikost magnetického pole, které vytváří druhý drát v místě, kde je umístěn první drát.

Př. 3: Odhadni významy jednotlivých symbolů v následujících vzorcích. Vyber z nabídky správný vzorec pro velikost magnetické indukce magnetického pole velmi dlouhého přímého vodiče.

a) $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{r}{I}$ b) $B = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$ c) $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot I \cdot r$ d) $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$

I – proud ve vodiči, r vzdálenost od vodiče, μ konstanta popisující prostředí, π matematická konstanta.

- $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{r}{I}$ - špatný vzorec, magnetická indukce by rostla se vzdáleností od vodiče a klesala by s velikostí proudu,
- $B = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$ - možná dobrý vzorec, ale neobsahuje konstantu popisující vliv prostředí na magnetické pole,
- $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot I \cdot r$ - špatný vzorec, magnetická indukce by se zvětšovala se vzdáleností od vodiče,
- $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$ - zřejmě dobrý vzorec, obsahuje konstantu pro prostředí, i správně popisuje pokles magnetického indukce se vzdáleností a její vzrůst se vzrůstem elektrického proudu.

Vzorec pro velikost indukce magnetického pole velmi dlouhého přímého vodiče: $B = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$.

- I – proud ve vodiči,
- r – vzdálenost od vodiče,
- μ - **permeabilita prostředí** (obdoba permitivity u elektrické síly).

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$, kde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - **permeabilita vakua** $\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$

μ_r - **relativní permeabilita prostředí** (zda prostředí zesiluje nebo zeslabuje magnetické pole), pro vzduch $\mu_r = 1$.

Můžeme začít počítat: $F_1 = B_2 \cdot I_1 \cdot l$,

B_2 - magnetická indukce, kterou způsobil proud procházející druhým drátem v místě, kde je první drát $\Rightarrow B_2 = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_2}{d}$.

$$F_1 = \mu \frac{I_2}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot I_1 \cdot l$$

$$F_1 = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l$$

Kontrola: Podle III NZ působí na oba dráty stejně velké síly \Rightarrow vzorec je symetrický pro proudy I_1 , I_2 (jejich prohozením se výsledek nezmění).

Odhadneme velikosti veličin v pokusu a zkusíme přibližně určit velikost síly, kterou se dráty přitahovaly.

Př. 4: Urči sílu, kterou se přitahují dva vodiče v pokusu z úvodu hodiny. Potřebné veličiny odhadni.

Odhady: $d = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$, $I_1 = I_2 = 10 \text{ A}$, $l = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$, $F = ?$

Dosadíme do vzorce: $F_1 = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{10 \cdot 10}{0,03} \cdot 0,4 \text{ N} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.

Dráty se přitahují silou 0,00027 N.

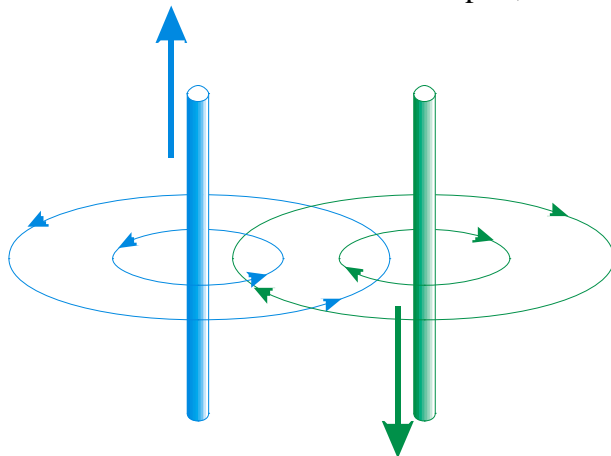
Pedagogická poznámka: Odhad v předchozím příkladu dělá každý žák sám. Pak si odhady srovnáme a všichni počítáme se stejnou sadou hodnot.

Ačkoliv je síla vzájemného přitahování hodně malá (a je zřejmé, proč dráty v pokusu musely být volné a co nejslabší), přesto se tento vztah používá pro **definici ampéru**:

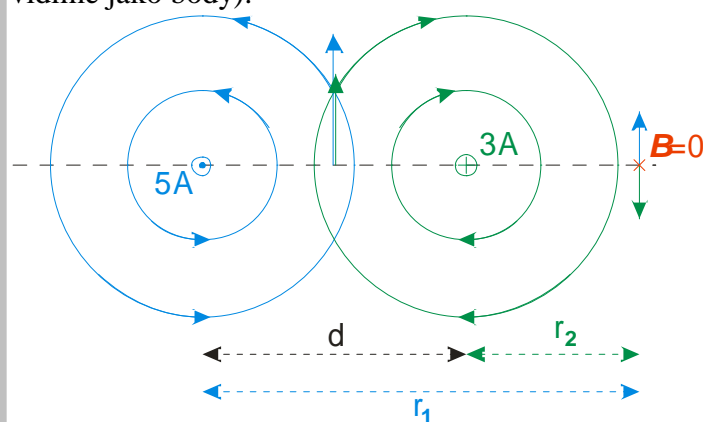
„Ampér je stálý proud, který při průchodu 2 přímými, rovnoběžnými, nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti jednoho metru od sebe, vyvolá mezi vodiči sílu o velikosti $2 \cdot 10^{-7}$ N na jeden metr délky.“

Př. 5: Ve vzdálenosti 15 cm od sebe jsou umístěny dva svislé (rovnoběžné) vodiče. Levým vodičem prochází proud 5 A směrem vzhůru, pravým 2 A směrem dolů. Rozhodni, zda v prostoru existuje místo, kde je výsledná magnetická indukce nulová. Pokud takové místo existuje, najdi ho.

Nakreslíme obrázek indukčních čar polí, které vytvářejí oba vodiče.



Magnetické pole přímého vodiče sahá do nekonečna \Rightarrow místo s nulovou magnetickou indukcí můžeme najít pouze v místě, kde mají vektory magnetické indukce vybuzené obě proudy stejnou velikost a opačný směr. Nakreslíme si situaci při pohledu seshora (vodiče tak vidíme jako body).



Z obrázku je zřejmé, že opačný (stejný) směr mohou mít oba vektory magnetické indukce pouze na přímce, která prochází oběma vodiči kolmo na jejich směr, v prostoru mezi vodiči je směr obou vektorů shodný \Rightarrow stejně velké mohou být oba vektory napravo od pravého vodiče (blíže k vodiči, který vytváří slabší pole).

Platí: $B_1 = B_2$.

$$\frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_1}{r_1} = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_2}{r_2}$$

$$\frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}, \text{ dosadíme } r_1 = r_2 + d$$

$$\frac{I_1}{r_2 + d} = \frac{I_2}{r_2}$$

$$r_2 I_1 = I_2 r_2 + I_2 d$$

$$r_2 I_1 - I_2 r_2 = I_2 d$$

$$r_2 (I_1 - I_2) = I_2 d \Rightarrow r_2 = \frac{I_2 d}{I_1 - I_2} = \frac{2 \cdot 15}{5 - 2} \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

Výsledná magnetická indukce je nulová 10 cm napravo od pravého vodiče.

Vzorce pro B v jiných případech:

- vnitřek solenoidu (cívka jejíž průměr je zanedbatelný vzhledem k její délce, pole v dutině je přibližně homogenní) $B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$ (N – počet závitů, l – délka cívky),
- střed závitů: $B = \mu \cdot \frac{I}{2 \cdot r}$ (r – poloměr závitů).

Př. 6: Vypočti pro školní cívku se 60 závitů hodnotu magnetické indukce pro maximální zatížení 20 A podle vzorce pro solenoid i pro závit. Diskutuj použití, kterého vzorce je pro získání přibližné velikosti magnetické indukce oprávněnější. Jakou by cívka musela mít délku, aby z obou vzorců vyšly stejné hodnoty? Délka cívky je 7 cm, průměr závitů je 5 cm.

$$l = 7 \text{ cm} = 0,07 \text{ m}, \quad I = 20 \text{ A}, \quad r = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Magnetická indukce uvnitř solenoidu: } B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{60 \cdot 20}{0,07} \text{ T} = 0,022 \text{ T}$$

$$\text{Magnetická indukce ve středu závitů: } B_1 = \mu \cdot \frac{I}{2 \cdot r} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{20}{2 \cdot 0,025} \text{ T} = 0,0005 \text{ T} \Rightarrow \text{ pro}$$

$$60 \text{ závitů } B = 60 \cdot B_1 = 60 \cdot 0,0005 \text{ T} = 0,03 \text{ T}$$

Obě hodnoty jsou řádově stejné \Rightarrow pro odhady můžeme použít oba. Přesnější je zřejmě vzorec pro solenoid, protože délka cívky je větší než poloměr a můžeme tedy spíše zanedbat poloměr vůči délce (jako ve vzorci pro solenoid) než délku vůči poloměru (jako ve vzorci pro závit).

$$\text{Stejně výsledky z obou vzorců: } \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l} = N \mu \cdot \frac{I}{2 \cdot r}$$

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{2 \cdot r} \Rightarrow l = 2 \cdot r = 2 \cdot 0,025 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

Stejný výsledek bychom pomocí obou vzorců získali v případě, že by cívka měla délku 5 cm.

Pedagogická poznámka: Považuji za důležité, aby studenti kromě používání vzorců přemýšleli o tom, zda jsou získané výsledky reálné.

Jistič

Základní vybavení každé domácnosti, vypíná proud, pokud jeho hodnota překročí zadanou mez.

Dva principy vypínání:

- **elektromagnet:** Pokud cívku prochází příliš velký proud, přitáhne kotvu a rozpne obvod. Reaguje ihned na proud, který výrazně překračuje jmenovitou hodnotu (zkrat).
- **bimetal:** Pokud bimetalovým proužkem děle prochází proud překračující jmenovitou hodnotu, bimetal se zahřeje, prohne a rozpne obvod (přetížení).

Rozpojení probíhá ve zhášecí komoře, která zabraňuje tomu, aby se mezi rozpínanými kontakty vytáhl elektrický oblouk.

Proč jistič obsahuje dva mechanismy vypínání obvodu?

Mnoho spotřebičů odebírá krátce po zapnutí více proudu než během další činnosti \Rightarrow krátkodobé překročení jmenovitého proudu jistič toleruje (bimetal nevypne, když se nestihne zahřát), cívka vypne okamžitě pouze v případě, že proud jmenovitou hodnotu překročí výrazněji (a příčinou nárůstu proudu zřejmě není zapínání některého z přístrojů).

Shrnutí: Magnetické indukce je v různých situacích určena pomocí různých vzorců. Vždy v nich vystupuje velikost budícího proudu a permeabilita prostředí.