

Magnety a magnetické pole

Magnety jsou tělesa, která ve svém okolí vytvářejí magnetické pole.

Magnety působí na feromagnetické látky přitažlivými silami. Magnetické přitažlivé síly nejsou způsobeny ani gravitací, ani přitažlivostí mezi oddělenými náboji.

Každý magnet má severní a jižní pól. Nestejnojmenné póly magnetů se přitahují, stejnojmenné póly se odpuzují.

Poznámka:

Kolem **nepohybujícího se** elektrického náboje vzniká **elektrické pole**.

Kolem **pohybujícího se** elektrického náboje vzniká **magnetické pole**.

Magnety

Z řeckého "Magnesijský kámen". Může mít formu trvalého (permanentního) magnetu nebo elektromagnetu (dočasného magnetu). Trvalé magnety nepotřebují k vytváření magnetického pole vnější vlivy. Vyskytují se přirozeně v některých horninách, ale dají se také vyrobit. Elektromagnety potřebují k vytvoření magnetického pole elektrický proud. Při zvýšení elektrického proudu se zvýší i magnetické pole.

Magnety jsou tělesa, která ve svém okolí vytvářejí magnetické pole.

Magnety působí na feromagnetické látky přitažlivými silami.

Magnet přitahuje železo (ocel, litinu), nikl a kobalt a pevně je přidržuje. Látky přitahované magnetem jako železo se nazývají **feromagnetické látky** (feromagnetický - magnetický jako železo - ferrum). Všechny ostatní prvky, kovové i nekovové nejsou feromagnetické. Magnetické přitažlivé síly nejsou způsobeny ani gravitací, ani přitažlivostí mezi oddělenými náboji.

Trvalé magnety

Ocelové předměty se zachycují převážně na koncích tyčového magnetu. Místa s nejsilnějšími přitažlivými účinky se nazývají póly magnetu. Magnetické silové účinky slábnou s rostoucí vzdáleností od pólů. Ve středu tyčového magnetu mezi póly se neprojevují žádné silové účinky. Střed magnetu je magneticky neutrální zónou.

Trvalé (permanentní) magnety mají:

- **Severní pól** – označuje se **N (S)**

(north-sever) – červená barva

- **Jižní pól** – označuje se **S (J)**

(south-jih) – modrá barva.

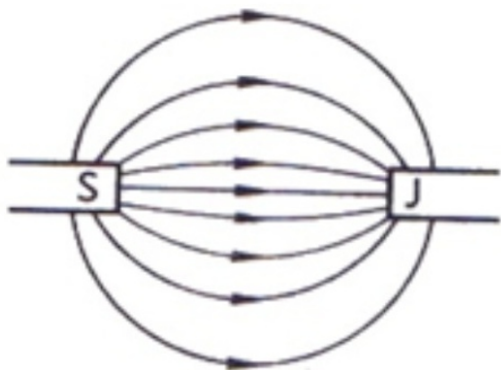
Při zavěšení malého tyčového magnetu otočně kolem příčné osy tak, aby se mohla jeho osa natáčet ve vodorovné rovině, natočí se podélnou osou přibližně ve směru sever - jih.

Pól magnetu směřující na sever označujeme jako severní pól magnetu (S) a opačný pól jako jeho jižní pól (J). Mezinárodní (anglické) značení je pro severní pól N (north) a pro jižní pól S (south).

Nesouhlasné póly magnetu se přitahují.

Severní pól magnetu se přitahuje s jižním pólem jiného magnetu.

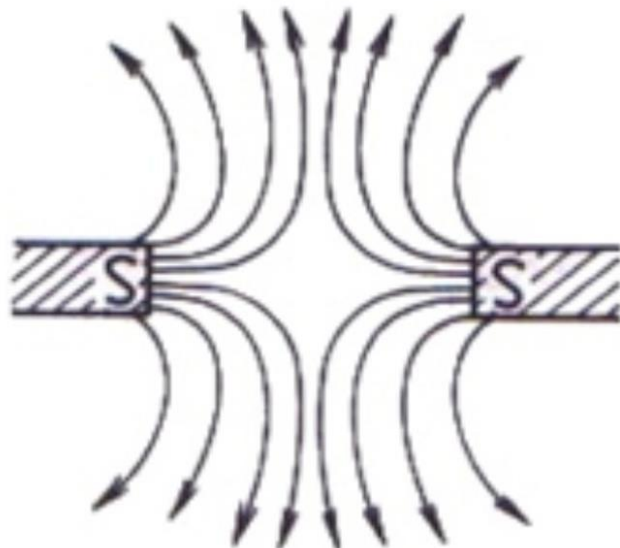
Obr. 1: Znárodnění magnetického pole mezi severním a jižním pólem magnetů



Souhlasné póly magnetu se odpuzují.

Dva severní nebo dva jižní póly magnetů se navzájem odpuzují.

Obr. 2: Znárodnění magnetického pole dvou severních pólů magnetů



Provedení trvalých magnetů

- Tyčové magnety
- Válcové
- Podkovovité
- Magnetka

Trvalé magnety se vyrábějí nejčastěji z tvrdé oceli nebo z feritu (keramické oxidy).

Naše Země je obrovský magnet. Její jižní magnetický pól leží v blízkosti severního zeměpisného pólu a severní magnetický pól leží poblíž jižního zeměpisného pólu. Severní pól magnetky se přitahuje k nesouhlasnému magnetickému pólu Země.

Obr. 3: Trvalé magnety



Využití magnetů

- **Záznamová média:** videokazety, audiokazety, pevné disky, diskety. Informace mohou být zaznamenány analogově nebo digitálně do feromagnetického materiálu jako proměnné magnetické pole. Čtecí zařízení detekuje změny magnetického pole a dále je zpracovává jako elektrické signály.
- **Kreditní nebo debetní karty** do bankomatu mají magnetický proužek, ve kterém jsou zapsány potřebné informace.
- **Přenášení předmětů a separace kovů.** Dostatečně silné magnetické pole dokáže zvednout jakýkoliv feromagnetický nebo paramagnetický materiál.
- **Domácí použití:** magnety na ledniče, ve dveřích skříněk, v rukavicích, u magnetických hraček a podobně.
- **Střelka kompasu** reaguje na magnetické pole Země, její póly však musí být naopak, než je na ní vyznačeno.
- **Audioteknika:** V reproduktorech jsou elektromagnety, které rozkmitají své jádro a kmity se pak přenáší na membránu, která vydává zvuk. V elektrických kytarách jsou magnety v cívkách. Při rozeznění struny se kmity přenáší na magnet, který se rozkmitá a v cívce generuje proud.
- **Medicína:** Permanentní magnety a elektromagnety jsou součástí přístrojů pro nahlížení do lidského těla bez nutnosti chirurgického zákroku. Oproti rentgenu není potřeba ozáření.

Dočasné magnety

Účinky dočasných magnetů trvají, jen pokud jsou v magnetickém poli, nebo krátce po zániknutí pole. Elektrický proud vytváří magnetické pole (stejně jako permanentní magnet).

Magnetické vlastnosti látek

Látky rozlišujeme podle toho, jak na ně působí magnetické pole.

Velikost magnetické indukce je závislá na permeabilitě prostředí. Hodnota relativní permeability je určena vlastnostmi atomů, z nichž je látka složena. Magnetické vlastnosti látek určují elektrické proudy uvnitř těchto látek. Elektrony v atomech vytvářejí elementární magnetická pole, která se skládají a vytvářejí výsledné magnetické pole atomu. Podle uspořádání elektronů v atomu dělíme magnetické látky do tří skupin.

Nemagnetické látky

- **Diamagnetické látky** – se skládají z diamagnetických atomů a mají relativní permeabilitu o málo menší než 1 a mírně zeslabují magnetické pole. Tyto látky jsou z magnetického pole **slabě vypuzovány**. Mezi diamagnetické látky patří např. uhlík, měď, síra, zlato, voda, inertní plyny, rtuť atd.
- **Paramagnetické látky** – jsou složeny z paramagnetických atomů a jejich permeabilita je o málo větší než 1 a mírně zesilují magnetické pole. Tyto látky jsou **slabě vtahovány** do magnetického pole a také přitahují drobné kovové předměty v případě, že budou v blízkosti magnetu. Paramagnetické látky není možné trvale zmagnetovat. Mezi paramagnetické látky patří např. hliník, vápník, kyslík, sodík, draslík, modrá skalice atd.

Magnetické látky

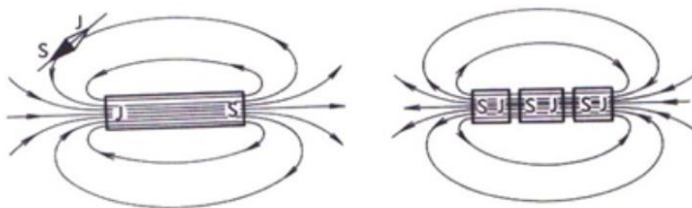
- **Feromagnetické látky** – jsou složeny také z paramagnetických atomů, ale mají takové uspořádání, že výrazně zesilují magnetické pole. Jejich relativní permeabilita je mnohem větší než 1. Již slabým magnetickým polem lze vyvolat takové uspořádání atomů, že se magnetické pole zesílí a dojde ke zmagnetování látky. Magnetické pole ve feromagnetické látce zůstává i když vnější pole zanikne. Jsou **silně vtahovány** do magnetického pole a lze je trvale zmagnetovat. Mezi feromagnetické látky patří např. Fe – železo, Co – kobalt, Ni – nikl, ferity (sloučeniny Fe_2O_3 s oxidy jiných kovů např. Mn, Ba,..).

Feromagnetické látky snadno podléhají magnetizaci a stávají se magnetem. Molekuly těchto látek jsou uspořádány do tzv. domén, ve kterých jsou skupiny molekul natočeny stejným směrem. V nezmagnetovaném materiálu jsou domény natočeny náhodně a jejich účinky se tedy navzájem ruší. Při vložení feromagnetického materiálu do magnetického pole se domény natočí do jednoho směru a tím se zesílí vzájemný magnetický účinek domén, látka se zmagnetuje a stává se sama magnetem.

Spojování magnetů

Spojením magnetů (opačnými póly k sobě) vznikne nový magnet s **jedním S a jedním J** pólem. Severní pól magnetu se přitahuje s jižním pólem jiného magnetu. Stejnomené póly (severní nebo jižní) dvou magnetů se odpuzují. V místě spojení magnetů vznikne neutrální zóna nově vzniklého magnetu.

Obr. 1: Magnetické pole magnetů



Dělení magnetu

Při dělení magnetu se v místech oddělení na koncích obou částí vytvoří opačné póly a vzniknou tak dva nové magnety a každý z nich má opět severní a jižní pól.

Opakovaným dělením získáme **elementární magnety**, tvořené **spiny** (angl. otáčet se).

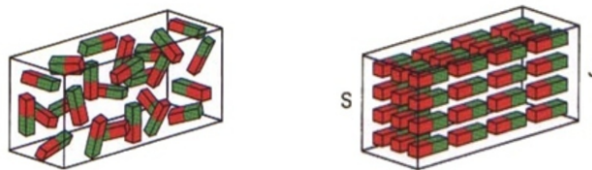
Spin je označení pro rotační pohyb elementární částice kolem vlastní osy.

Feromagnetické látky, které nejsou zmagnetovány, mají neuspořádané spiny se navenek jeví jako nemagnetické.

Působením silného magnetu dojde ke zmagnetizování, tj. natočení spinu tak, že vznikne jediný magnet.

Magnetizací nevznikne uvnitř feromagnetické látky žádná magnetická síla, dojde jen k vynaložení práce k souhlasnému natočení elementárních magnetů.

Obr. 2: Uspořádání spinů



K natočení spinů je nutné dodat určitou energii, tzn. vykonat určitou práci. Tuto energii je možné získat ohřevem materiálu, kdy částice začnou intenzivněji vibrovat a je tedy snadnější překloupat spiny do požadované polohy, nebo silným magnetickým polem, kdy spiny natáčí magnetická síla.

Rozdělení látek podle magnetizace:

- **Látky magneticky měkké** - vyžadují ke zmagnetizování i odmagnetizování málo energie. Používají se např. na výrobu elektroplechů, transformátorových plechů apod.
- **Látky magneticky tvrdé** - si trvale uchovávají magnetické vlastnosti a k jejich odmagnetizování je potřeba mnoho energie. Používají se např. k výrobě permanentních magnetů v elektromotorech apod.

Magnetické pole magnetu

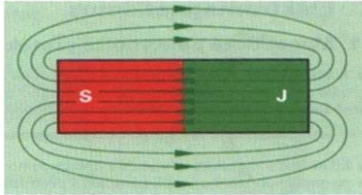
Magnetické pole je fyzikální pole, jehož zdrojem je pohybující se elektrický náboj, tzn. elektrický proud. Magnetické pole se tedy vytváří kolem elektrických vodičů, kde je zdrojem volný elektrický proud, ale také kolem permanentních magnetů, kde jsou zdrojem pole vázaná elektrické proudy. Magnetické pole může být vyvoláno také změnami elektrického pole.

Magnetické pole se znázorňuje **indukčními** čarami, které ukazují rozložení magnetického pole v prostoru.

Indukční čáry jsou vždy **uzavřené a prochází i magnetem**. Indukční čáry jsou uzavřené neprotínající se orientované křivky, jejichž tečna v daném bodě má směr vektoru magnetické indukce a jejichž hustota je úměrná velikosti vektoru magnetické indukce. Volně otáčivá úzká magnetka vložená do magnetického pole se ustálí tak, že jejich osa bude tečnou k indukčním čarám magnetického pole v tomto bodě.

Dohodnutá orientace indukčních čar mimo magnet je od severního pólu k jižnímu – vně magnetu a uvnitř magnetu od jižního pólu k severnímu. Magnetické indukční čáry procházejí kolmo povrchem magnetu.

Obr. 1: Magnetické pole magnetu



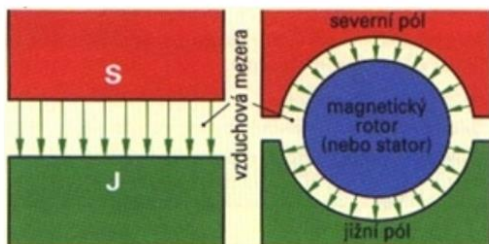
Magnetické pole existuje uvnitř i v okolí magnetů. Magnetické pole je nositelem energie, která je akumulována uvnitř magnetu a v jeho okolí. V magnetickém poli působí na feromagnetické látky síly a příčina těchto sil je označována jako magnetismus.

Druhy magnetického pole

Rozdělení podle prostorového rozložení:

- **Homogenní pole** – stejnorodé – indukční čáry probíhají rovnoběžně stejným směrem se stejnými odstupy, směr i velikost magnetického silového působení jsou ve všech místech pole stejné
- **Radiálně homogenní pole** – nestejnorodé – indukční čáry probíhají od severního k jižnímu pólu statoru kolmo k válcovým plochám statoru a rotoru, směr silového působení je všude kolmý k válcové ploše rotoru a velikost silového působení je ve vzduchové mezeře mezi rotorem a státorem všude stejné
- **Nehomogenní** - vyskytuje se v oblastech, kde nejsou splněny předcházející podmínky.

Obr. 2: Znárodnění homogenního a radiálního magnetického pole



Mezi póly magnetů je hustota magnetických indukčních čar největší, což vyjadřuje největší silové účinky na feromagnetické látky. Větší rozestup magnetických indukčních čar znamená menší magnetické silové účinky.

V praxi jsou využívána magnetická pole, která jsou homogenní, nebo radiálně (cylindricky) homogenní v prostoru mezi dvěma válcovými plochami. V homogenním poli je energie rovnoměrně rozložena a této homogenity bývá často dosaženo jen v určitém omezeném prostoru. U elektrických točivých strojů je radiální homogenost magnetického pole důležitá pro optimální nastavení vlastností magnetického pole v celé vzduchové mezeře mezi státorem a rotorem. Radiálně homogenní pole je potřeba i u magnetoelektrických měřících přístrojů.

Rozdělení magnetického podle (vektor magnetické indukce) závislosti na čase:

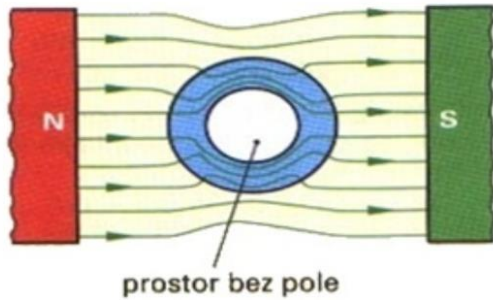
- **Nestacionární** magnetické pole - obecné, časově proměnné magnetické pole
- **Stacionární** magnetické pole - magnetostatické pole - časově neproměnné, v němž se nevyskytují volné elektrické proudy (zmagnetované látky).

Stínění magnetického pole

Šíření magnetického pole můžeme odstínit kovovými kryty nebo povlaky, kterými magnetické pole neproniká.

Cizí magnetická pole nesmějí rušit citlivé měřicí přístroje a některé další přístroje. Vliv magnetického pole může odstínit kryt nebo pouzdro z feromagnetického materiálu s velkou magnetickou vodivostí, tj. s velkou poměrnou permeabilitou. Uvnitř stínění je pak prostor bez cizího magnetického pole. Odstínění stejnosměrných magnetických polí se realizuje pomocí krytů různých tvarů (nádob, trubek) nebo ochranných fólií z magneticky měkkých materiálů. Kromě měřicích přístrojů se odstiňují také obrazovky, magnetické hlavy, sdělovací vedení, elektronické součástky, i celé zkušební a měřicí laboratoře. Odstínění se používá i proti magnetickému poli Země.

Obr. 3: Magnetické odstínění

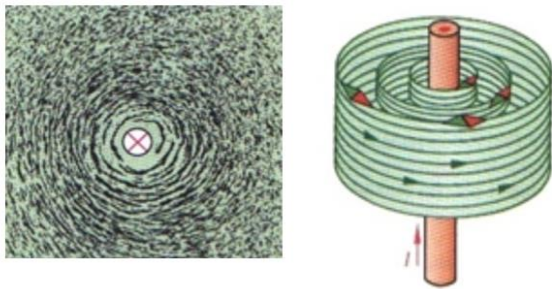


Magnetické pole vodiče

Kolem každého pohybujícího se elektrického náboje vzniká magnetické pole. Kolem každého nepohybujícího se elektrického náboje vzniká elektrické pole. Kolem vodiče protékaného proudem vzniká magnetické pole. Magnetické indukční čáry kolem pohybujícího se náboje nebo vodiče mají tvar soustředných kružnic. Orientace indukčních čar je závislá na orientaci proudu. Silové účinky magnetického pole vodiče klesají se vzdáleností od vodiče. Elektrický proud vytváří magnetické pole stejně jako permanentní magnet.

Prochází-li vodičem elektrický proud, vzniká kolem vodiče magnetické pole.

Indukční čáry jsou kružnice se středem ve vodiči.

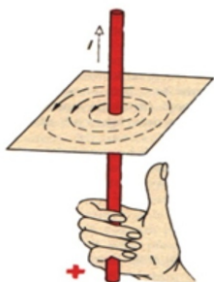


Obr. 1: Znárodnění magnetického pole vodiče

Směr indukčních čar

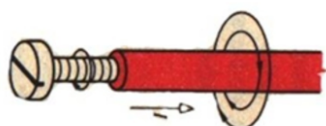
Směr indukčních čar můžeme určit pomocí Ampérova pravidla:

• **Pomocí Ampérova pravidla pravé ruky** – pravou ruku položíme tak, že palec ukazuje dohodnutý směr proudu ve vodiči a zahnuté prsty nám určí směr magnetických indukčních čar.



Obr. 2: Určení směru magnetického pole pomocí pravidla pravé ruky

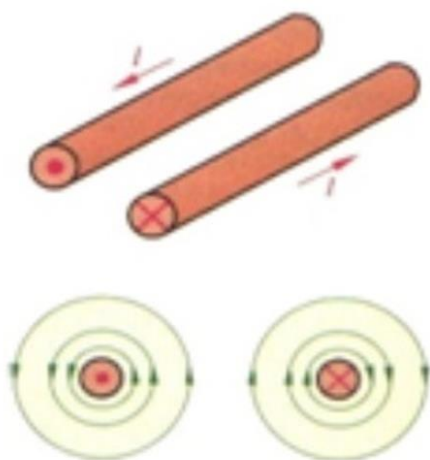
• **Pravidlem pravotočivého šroubu** – směr magnetických indukčních čar je stejný jako směr otáčení pravotočivého šroubu, který zašroubováváme po směru, kterým prochází proud.



Obr. 3: Určení směru magnetického pole pravidlem pravotočivého šroubu

• Protéká-li proud vodičem od pozorovatele, jsou magnetické indukční čáry orientovány ve směru pohybu hodinových ručiček a obráceně.

Směr proudu ve vodiči k pozorovateli je označován tečkou (šipkou přilétajícího šípu) a opačný směr od pozorovatele křížkem (křídélka vzdalujícího se šípu).



Obr. 4: Orientace proudu a odpovídajícího magnetického pole

Magnetické pole cívky

Cívka vznikne stočením vodiče do vícezávitové šroubovice.

Kolem cívky se průchodem stejnosměrného proudu vytváří stálé magnetické pole. Magnetický indukční tok závisí přímo úměrně na indukčnosti cívky a velikosti proudu. Indukčnost cívky a tím i magnetické pole je možné zesílit vložení jádra do cívky.

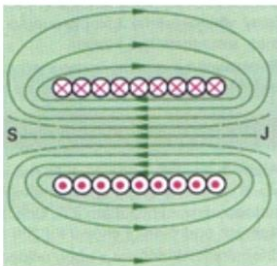
Dostatečně dlouhá válcová cívka s větším počtem závitů, jejíž průměr je menší než délka se nazývá solenoid. Stočíme-li takovouto cívku do prstence, dostaneme toroid.

Podle tvaru můžeme cívky rozdělit na:

- Válcové - solenoid,
- Prstencové - toroid.

Prochází-li válcovou cívku elektrický proud, vytváří se kolem magnetické pole.

To má stejné účinky jako magnetické pole trvalého magnetu. Obdobně jak se znázorňuje magnetické pole přímého vodiče, je možné znázornit i magnetické pole vodičů navinutých ve tvaru závitů, kterými prochází elektrický proud. Magnetické pole cívky se skládá z magnetických polí jednotlivých závitů a je podobné jako magnetické pole tyčového magnetu. Indukční čáry uvnitř cívky jsou rovnoběžné a mají velkou hustotu, magnetické pole je zde homogenní. V místě, ve kterém indukční čáry vycházejí z cívky, se vytváří severní pól, a v místě vstupu jižní pól. Vně cívky je magnetické pole nehomogenní.



Obr. 1: Znázornění magnetického pole válcové cívky

Směr indukčních čar

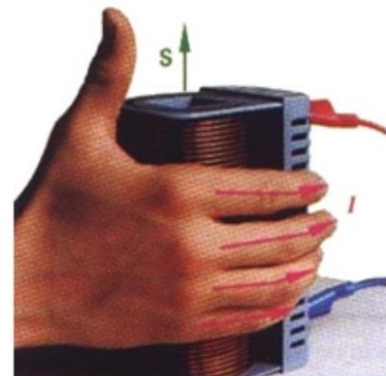
Polarita magnetického pole válcové cívky závisí na směru proudu v cívce.

Směr indukčních čar určíme:

Ampérovým pravidlem pravé ruky:

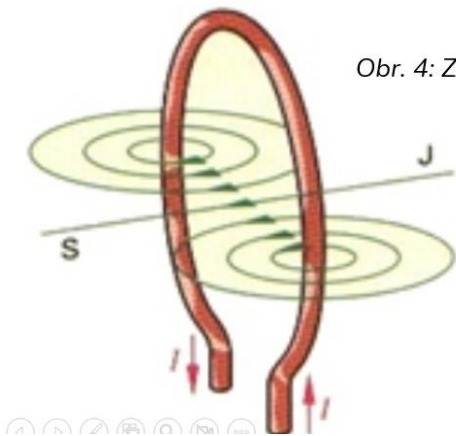
Uchopíme cívku do pravé ruky tak, aby prsty směřovaly po proudu v závitech, odkloněný palec ukáže **severní pól cívky**.

Obr. 2: Určení směru indukčních čar u cívky



Magnetické pole kruhového závitu

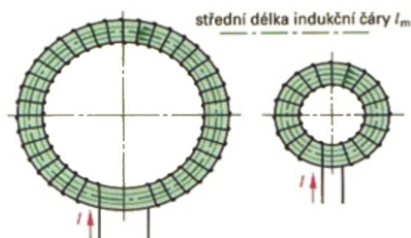
Magnetické pole jednoho závitu (kruhové smyčky) je možné skládat z magnetických polí dvojic rovnoběžných malých úseků vodiče, kterými proud protéká opačnými směry. V ose závitu mají indukční čáry stejný směr a účinky jednotlivých částí závitu se zde sčítají, indukční čáry zde mají velkou hustotu. Vně závitu hustota indukčních čar s rostoucí vzdáleností klesá. K získání magnetického pole se silnějšími účinky slouží cívky složené z více závitů, tvořených jediným vodičem.



Obr. 4: Znárodnění magnetického pole kruhového závitu

Magnetické pole prstencové cívky (toroidu)

Magnetické účinky jsou tím intenzivnější, čím větší je magnetomotorické napětí a čím menší je střední délka magnetické indukční čáry. U prstencové cívky je střední délka indukční čáry stejná jako délka středního vlákna prstence uvnitř toroidu.



Obr. 5: Znárodnění magnetického pole prstencové cívky

Elektromagnet

Elektromagnet tvoří cívka, která je navinutá na jádru z magneticky měkkého materiálu a využívá silových účinků magnetického pole cívky.

Řadíme ho mezi dočasné magnety, protože působení magnetického pole trvá jen po dobu, dokud cívkou elektromagnetu prochází proud. Magnetická síla zde vzniká při průchodu elektrického proudu vinutím cívky na ocelovém jádře, které přitahuje pohyblivou část - kotvu. Magnetický tok elektromagnetu a přitažlivá síla elektromagnetu závisí přímo na velikosti elektrického proudu procházejícího cívkou, na počtu závitů cívky a nepřímo na délce vzduchové mezery mezi jádrem a kotvou. V praxi je přitažlivá síla omezena celkovou magnetickou vodivostí jádra elektromagnetu a rozptylem magnetického toku.

Použití elektromagnetů:

upínání kovů na obráběcích strojích, třídění kovů, elektromagnetické jeřáby, elektrické motory, elektrické měřicí přístroje, ventily, stykače, relé, v automobilovém průmyslu jakosnímač otáček, brzdění vozů, obráběcích strojů, zdravotnictví a podobně.

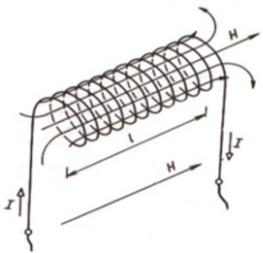
Magnetické veličiny

Popisují vlastnosti magnetického pole.

Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole je vektorová veličina, tzn. že má nejen velikost, ale i směr.

Udává velikost magnetického pole v okolí cívky, kterou prochází elektrický proud. Intenzita účinků magnetického pole je přímo úměrná koncentraci energie magnetického pole. Magnetické účinky jsou tím intenzivnější, čím větší je magnetomotorické napětí a čím menší je střední délka magnetické indukční čáry. U protáhlých válcových cívek (solenoidů) bez železného jádra je pole vně cívky velmi slabé a pro výpočet intenzity pole uvnitř solenoidu se počítá s délkou solenoidu jako s délkou indukční čáry.



Obr. 1: Magnetické pole cívky

Uvnitř solenoidu, kterým prochází proud I , je intenzita magnetického pole:

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

kde:

H – intenzita magnetického pole,

I – proud procházející cívku,

N – počet závitů cívky,

l – délka cívky.

Jednotkou intenzity magnetického pole je ampér na metr ($A \cdot m^{-1}$). Jeden ampér na metr je intenzita magnetického pole uvnitř velmi dlouhého solenoidu, u něhož součin proudu a délkové hustoty závitů je jeden ampér na metr.

Délková hustota závitů se počítá ze vztahu N/l , kde N je počet závitů a l délka solenoidu. Číselná hodnota délkové hustoty závitů se tedy rovná počtu závitů na jednom metru délky cívky.

Magnetická indukce

Určuje mechanické síly, které vznikají v magnetickém poli. Je to vektorová veličina. Určuje se měřením mechanických sil, které vznikají v magnetickém poli, např. při vtahování ocelového válečku do dutiny cívky nebo při vychýlování vodiče v magnetickém poli.

Intenzita účinků magnetického pole je úměrná hustotě indukčních čar. Je tedy tím větší, čím větší je magnetický tok a čím menší je plocha průřezu, kterým magnetický tok prochází. Čím větší je magnetická indukce magnetického pole magnetu, tím intenzivnější jsou jeho silové účinky.

$$B = \mu \cdot H$$

kde: **B** – magnetická indukce

Jednotka magnetické indukce je Vs/m², speciální jednotka je T (Tesla),

H – intenzita magnetického pole,

μ – permeabilita magnetického pole.

Permeabilita vyjadřuje magnetické vlastnosti dané látky. Pro stejnou látku je za stejných podmínek permeabilita stálá, proto je permeabilita látková konstanta. Permeabilita látek se mění v závislosti na intenzitě magnetického pole.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Jednotka – Hm⁻¹ (henry na metr)

Permeabilita vakua (přibližně i vzduchu) je:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Hm}^{-1} = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{Hm}^{-1}$$

Častěji než permeabilitu používáme relativní permeabilitu μ_r . Udává, kolikrát menší nebo větší je permeabilita látky než permeabilita vakua.

Relativní permeabilita

- relativní permeabilita vakua je 1,
- u feromagnetických látek je relativní permeabilita mnohotisíckrát větší než u vakua.

Magnetický indukční tok

Je celkové magnetické pole a lze je označit jako souhrn všech magnetických čar.

Celkové magnetické pole magnetu nebo cívky označujeme jako magnetický indukční tok a lze jej znázornit jako souhrn všech magnetických indukčních čar. Magnetický tok může být měřen podle silových účinků. Jednotkou magnetického indukčního toku je voltsekunda, speciální jednotkou je weber (Wb).

Větší elektrický proud vytváří větší magnetický indukční tok. Magnetický tok cívky protékané proudem je přímo úměrný počtu závitů cívky.

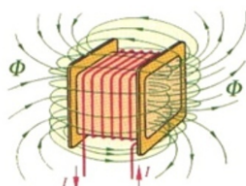
Výpočet magnetického indukčního toku: $\Phi = B \cdot S$

kde: Φ – magnetický indukční tok – jednotka Wb (weber)

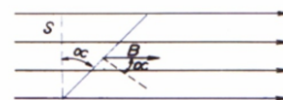
$$1 \text{Wb} = 1 \text{Vs},$$

B – magnetická indukce,

S – plošný obsah.



Obr. 2: Znázornění magnetického indukčního toku



Obr. 3: Směr působení magnetické indukce

Není-li plocha kolmá k vektoru indukce, potom: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos\varphi$

φ - je úhel vektoru magnetické indukce a roviny, ve které leží sledovaná plocha.

Magnetomotorické napětí

Charakterizuje příčinu magnetického toku Φ .

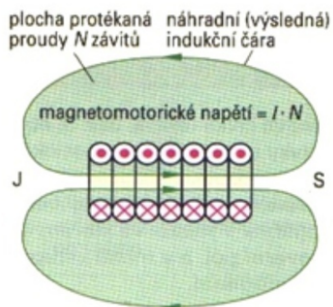
Magnetický indukční tok cívky je přímo úměrný součinu proudu a počtu závitů. Tato veličina charakterizující příčinu magnetického toku se nazývá magnetomotorické napětí.

$$U_m = I \cdot N [A]$$

kde: U_m – magnetomotorické napětí,

I – elektrický proud,

N – počet závitů.

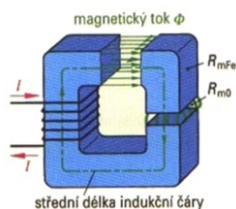


Obr. 4: Znázornění magnetomotorického napětí

Tvary magnetických obvodů

Magnetické obvody jsou tvořené uzavřenou magnetickou cestou magnetického toku, znázorněnou magnetickými indukčními čarami.

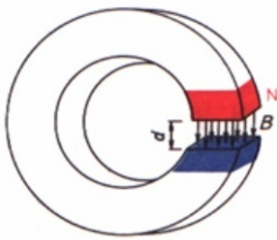
Vzhledem k tomu, že magnetický indukční tok je vždy uzavřený, musí být každý magnetický obvod uzavřený. V technice však magnetické obvody dělíme na uzavřené a otevřené.



Obr. 1: Magnetický obvod

Uzavřený magnetický obvod

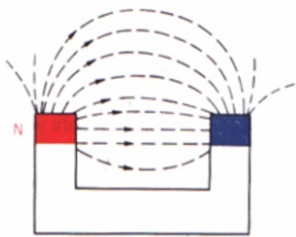
Je takový obvod, který je sestaven z feromagnetického materiálu, jenž není přerušeno nebo v němž je jen malá mezera. Tato mezera je vyplněna buď vzduchem, nebo jinou látkou s relativní permeabilitou blízkou jedné.



Obr. 2: Uzavřený magnetický obvod

Otevřený magnetický obvod

Je takový obvod, kde velká část magnetického indukčního toku prochází mimo feromagnetickou látku (převážně vzduchem). Tím se indukční tok v obvodu rozptyluje a značně zeslabuje.



V praxi se řeší převážně uzavřené jednoduché a složené magnetické obvody.

Řešení magnetických obvodů

Řešení magnetických obvodů je formálně analogické jako u elektrických obvodů, magnetické veličiny však mají jiný charakter a vlastnosti a také se zcela jinak počítají.

V magnetickém obvodu vyvolává magnetomotorické napětí magnetický indukční tok, který závisí na magnetickém odporu obvodu. Magnetický odpor je přímo úměrný délce prostředí a nepřímo úměrný ploše průřezu a permeabilitě. Magnetický odpor železného jádra je velmi malý.

Čím menší je vzduchová mezer v magnetickém obvodu železa, tím větší je magnetický tok a tedy i magnetická indukce. V nerozvětveném magnetickém obvodu prochází veškerý magnetický tok železným jádrem a vzduchovou mezerou. Magnetomotorické napětí se rozdělí v poměru magnetických odporů, tj. na každém dílčím magnetickém odporu je dílčí magnetomotorické napětí.

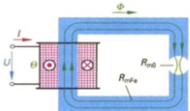
Analogií Ohmova zákona je Hopkinsonův zákon.

$$R_m = \frac{U_m}{\Phi}$$

kde: R_m – magnetický odpor (elektrický odpor),

Φ – magnetický tok (elektrický proud),

U_m – magnetomotorické napětí (elektrické napětí).

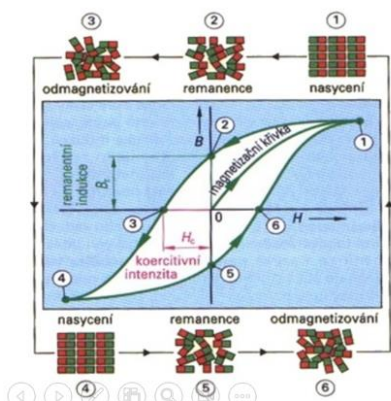


Obr. 4: Magnetický obvod se železným jádrem a vzduchovou mezerou

Magnetizační křivka

Magnetizační křivka (hysterézní smyčka) je závislost **magnetické indukce B** na **intenzitě magnetického pole H** ve feromagnetické látce.

Magnetizační křivka je uzavřená křivka magnetování. Jde o graf podávající informaci o tom, jaký vliv má působení vnějšího magnetického pole na magnetické schopnosti materiálu, který se v tomto poli nachází. Získáme ji provedením tzv. cyklu magnetování. Pro každý materiál je jiná a podává informaci o daném materiálu. Závisí na druhu materiálu, na tom jak byl vyroben, na teplotě materiálu a na dalších vlivech. Znázorňuje se graficky.



Obr. 1: Magnetizační křivka

Vložíme-li do magnetického pole feromagnetický materiál, který ještě nebyl nikdy zmagnetován, začne se materiál magnetovat podle křivky **prvotní magnetizace do tzv. bodu nasycení**.

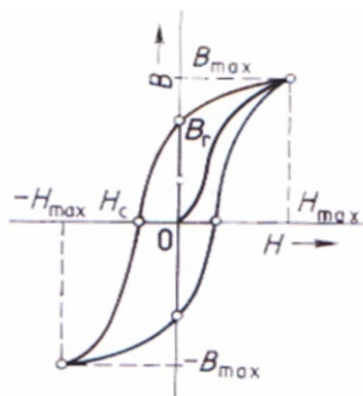
Jakmile magnetické pole zanikne, zůstane část domén v každé feromagnetické látce orientována, tzn. látka zůstane částečně zmagnetovaná, což se projeví tzv. **remanentní indukci B_r** . Remanentní (zbytkový) magnetismus magneticky měkké látky zanikne teprve po dlouhé době vlivem tepelných pohybů látkových částic. U magneticky tvrdých látek nezaniká.

Aby remanentní magnetismus zanikl, **demagnetizujeme** látku tím, že na ni působíme opačným magnetickým polem. Magnetizaci musíme přerušit v okamžiku, kdy látka nevykazuje žádné magnetické účinky (proběhla demagnetizace).

K odstranění remanentního magnetismu musíme vynaložit práci. Intenzita magnetického pole potřebná k odstranění remanentní indukce se nazývá **koercivní intenzita H_c** . Pokračováním magnetizace dosáhneme nového **zmagnetování** feromagnetické látky, ale **magnetické póly budou opačné**.

Z hysterézní smyčky je patrné, že magnetizace pokračuje jen do bodu, který odpovídá nejvyšší dosažené magnetické indukci. Magnetizace feromagnetických látek neprobíhá rovnoměrně. Zpočátku se v magnetickém poli usměrní nejvíce domén, později se přírůstek usměrněných domén stále zmenšuje. Po usměrnění všech domén již nelze žádným způsobem zvětšit magnetickou indukci látky. Dochází k jejímu **magnetickému nasycení B_{max}** .

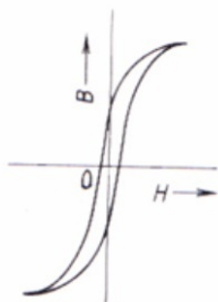
Po změně směru magnetického pole probíhá opět demagnetizace, takže se hysterézní křivka uzavře v tzv. **hysterézní smyčku**.



Obr. 2: Hysterézní smyčka

Z šířky hysterézní smyčky můžeme zjistit druh feromagnetické látky:

- **úzká** – magneticky měkké látky, např. slitiny železa s křemíkem, niklem...
- **široká** – magneticky tvrdé materiály, např. slitiny ocele, chromu...



④ Obr. 3: Znázornění magneticky měkkého materiálu (úzká smyčka) a magneticky tvrdého materiálu (široká smyčka)

Ztráty ve feromagnetických materiálech

Čím je větší obsah uvnitř hysterézní smyčky, tím větší práci musíme dodat, aby se feromagnetická látka vrátila do výchozího stavu.

Plocha uvnitř smyčky úměrně odpovídá výkonovým ztrátám.