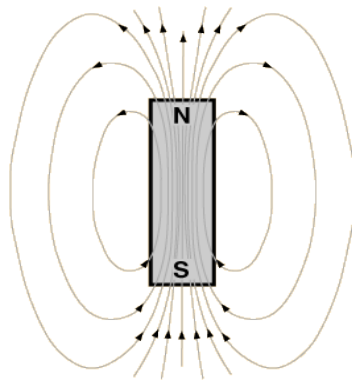


Měření polí permanentních magnetů

Základní konstrukční součástí magnetických obvodů elektrických zařízení jsou feromagnetické materiály. Rozlišujeme dvě kategorie feromagnetik, měkká a tvrdá. Magneticky měkká feromagnetika (např. měkké železo, křemíkové železo) mají úzkou hysterezní smyčku (viz skripta). Lze je tedy snadno přemagnetovat a protože se u nich při každém přemagnetování přeměňuje na teplo jen malé množství energie, jsou vhodné pro magnetické obvody se střídavým proudem (např. jádra transformátorů nebo cívek). Magneticky tvrdá feromagnetika (např. kobaltová, wolframová a chrómová ocel, tvrdé ferity) mají hysterezní smyčku širokou. Vzhledem k vysokým hodnotám remanentní indukce je lze jen velice obtížně přemagnetovat a hodí se proto pro výrobu permanentních (stálých) magnetů.

Pojmem permanentní magnet označujeme materiály, které mají schopnost vytvářet vlastní magnetické pole bez působení vnějších vlivů. Mohou být jak přirozeného původu (minerály), tak mohou být připravovány uměle. Slovo magnet pochází z řeckého $\mu\alpha\gamma\eta\tau\eta\varsigma \lambda\acute{\iota}\theta\omicron\varsigma$ (magnētēs lithos), což znamená „magnésiový kámen“. Magnesia byla oblast v Antickém Řecku, dnešní Manisa v Turecku, kde byly objeveny zásoby magnetitu už v antice.

Tvar pole permanentního magnetu lze popsat tzv. *magnetickými indukčními čarami*. Jsou to uzavřené neprotínající se orientované křivky, jejichž tečna v daném bodě má směr vektoru magnetické indukce a jejichž hustota (počet čar procházejících skrz jednotkový kolmý element plochy) je úměrná velikosti vektoru magnetické indukce. Podle zvyklosti, vycházející z obdoby s magnetickým polem Země, se někdy oblast tělesa (magnetu), ze které směřuje vektor magnetické indukce ven z tělesa označuje jako severní pól (a značí anglickým N či méně často českým S) a oblast kde vektor magnetické indukce směřuje dovnitř tělesa jižní pól (a značí anglickým S či méně často českým J).



Obr. 1: Magnetické pole tyčového permanentního magnetu

Obecně útvary, které mají dva opačné póly označujeme jako dipóly. Analogické dipóly se vyskytují např. i v poli elektrickém. Magnetické a elektrické dipóly mají však odlišné chování. V případě rozdělení elektrického dipólu dostaneme dva elektrické náboje, které se mohou vyskytovat samostatně. V případě rozdělení magnetického dipólu (magnetu) dostaneme dva samostatné magnety, každý se severním a jižním magnetickým pólem. Proces dělení může dále pokračovat, až se dostaneme na molekulární nebo atomární úroveň. U většiny materiálů by však pravděpodobně nastal dříve případ, kdy by částice ztratily schopnost si magnetické pole uchovat.

Materiály používané pro permanentní magnety

Ferity

Významná skupina magnetických materiálů. Feritové magnety se skládají z cca 86 % Fe_2O_3 a cca 14 % BaO nebo SrO (stechiometrický vzorec $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ nebo $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). V závislosti na uspořádání spinelové struktury se může u těchto látek projevovat jak ferimagnetické, tak feromagnetické chování. Feromagnetismus je způsoben částečnou kompenzací magnetických momentů v podmřížkách a je tedy někdy označován jako nevykompenzovaný antiferomagnetismus. Ve feromagnetických a ferimagnetických materiálech existuje spontánní magnetizace v mikroskopických objemech krystalu. Pokud je na krystal přiloženo magnetické pole, dochází k přednostnímu růstu domén, jejichž vektor magnetizace je souhlasný s vnějším polem.

Z tvrdých feritů se vyrábějí cenově nejvýhodnější a celosvětově nejpoužívanější permanentní magnety. Výhodou feritů je nejlevnější cena za kilogram a velký rozměrový i tvarový rozsah.

AlNiCo

AlNiCo magnety jsou směsí hliníku, niklu, kobaltu, železa, mědi a titanu. Vyrábějí se sléváním nebo spékáním. Mají vysokou remanenci, avšak malou koercitivitu. Do objevení magnetů na bázi vzácných zemin v 70. letech se jednalo o nejsilnější vyráběné magnety. Typické složení AlNiCo magnetů je 8–12% Al, 15–26% Ni, 5–24% Co, cca 6% Cu, do 1% Ti, zbytek doplňuje Fe (cca 30 až 70 %). Alnico magnety mají vysokou odolnost vůči teplotě (T_c až 800 °C) a obecně vysokou teplotu tání, což znamená, že jsou použitelné do vysokých provozních teplot (500 °C). Mají také vysokou odolnost vůči chemikáliím.

SmCo

Samarium-kobaltové magnety jsou druhým nejsilnějším typem permanentních magnetů. Patří k magnetickým vzácným zeminám (do skupiny lantanoidů). Hlavní složku tvoří samarium (Sm) a kobalt (Co). Tyto dvě hlavní složky mohou být v poměru 1:5 (SmCo_5) nebo 2:17 ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$). Poměr těchto dvou složek poté určuje jejich výsledné magnetické vlastnosti a maximální pracovní teplotu. Jsou velice odolné vůči korozi, a proto nevyžadují povrchovou úpravu. Naopak velice špatně snáší mechanické namáhání (vysoká křehkost, malá odolnost vůči pňoucím silám a obzvláště velká náchylnost ke štěpení!).

NdFe

Neodymové magnety, přesněji NdFeB, jsou směsí neodymu, železa a boru ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Tento materiál je v současnosti nejnovějším a nejsilnějším typem magnetu s vynikajícími magnetickými vlastnostmi (nejvyšší hodnoty remanence a energetického součinu). Mají také dobrou odolnost proti působení vnějšího demagnetizačního pole díky jejich vysoké koercitivě. Přesto jsou relativně levné (levnější než SmCo magnety), což je předurčuje pro použití v celé řadě technických aplikací. Mezi hlavní nevýhody NdFeB magnetů pak patří zejména velice nízká odolnost vůči korozi (materiál je poškozován i pouhou vzdušnou vlhkostí), proto je třeba u nich provádět povrchovou úpravu povlakováním (nejčastěji niklováním, zinkováním nebo polymerními povlaky). Ve srovnání s ostatními typy magnetů mají neodymové magnety i nízkou teplotní odolnost (T_c pouze okolo 300 °C).

Někdy bývá pro jednodušší představu o síle permanentního magnetu a pro jejich snadné vzájemné srovnání uváděna hodnota tzv. odtrhové (přidržené) síly. Tato hodnota se dá buď přímo změřit (měří se síla potřebná pro odtržení magnetu od kovové podložky – ocelové desky tloušťky 10 mm) nebo se nechá přibližně určit ze vztahu

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0} \cdot S, \quad (1)$$

kde F je přidržená síla magnetu

B je hodnota magnetické indukce na povrchu magnetu (B_r)

μ_0 je relativní permeabilita vzduchu vakua ($1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$)

S je styčná plocha magnetu

Zadání

S pomocí teslametru vyšetřete a graficky znázorníte magnetická pole různých typů permanentních magnetů. Podle vztahu (1) vypočtete pro všechny vzorky teoretickou hodnotu přidržené síly magnetu a v závěru proveďte diskuzi výsledků a porovnání jednotlivých typů magnetů.

Použité přístroje

univerzální zkušební stroj (lineární pohon)

teslametr

Postup

1. Hrot sondy teslametru nastavte pomocí ovládacích prvků softwaru Labtest na nulovou hodnotu (viz. Návod k obsluze)
2. Sledovaný typ permanentního magnetu umístěte na přípravek ve zvoleném směru podle připravených rysek tak, aby se povrch magnetu lehce dotýkal sondy (**Pozor, sonda je velice křehká!!!**)
3. V ovládacím software zkušebního stroje spusťte podle návodu skript pro příslušný typ magnetu.
4. Ze zjištěných hodnot graficky znázorníte průběh intenzity mag. pole v závislosti na vzdálenosti od povrchu magnetu pro jednotlivé vzorky a vypočtete hodnoty přidržených sil jednotlivých typů magnetů. Aproximujte naměřené hodnoty křivkou popisující tuto závislost a uveďte její matematickou rovnici.
5. U neodymového magnetu vynesete závislost $B=f(H)$ a z jejího průběhu určete hodnotu permeability vzduchu. Srovnejte s tabulkovou hodnotou.