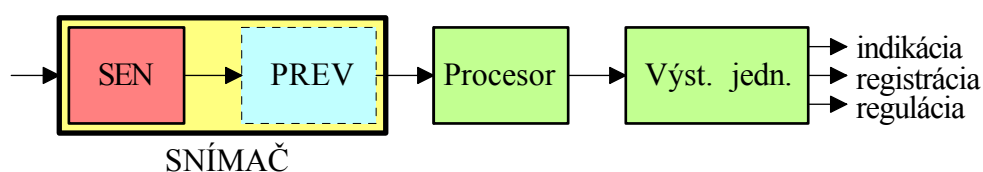


# 1. ÚVOD

Niečo o senzoch je známe už z histórie, ale najmä v poslednej dobe vznikajú náročné požiadavky na snímanie rôznych veličín. Dostatok vhodných senzorov môže byť limitujúci faktor pre realizáciu náročných automatizovaných, resp. robotických systémov. V predmete budú opísané rôzne druhy senzorov pre snímanie reálne sa vyskytujúcich veličín, či už v "počítačovo riadených výrobných", alebo iných oblastiach. Dôraz je kladený najmä na vstupné časti, ich vlastnosti, možnosti a vplyv rôznych poruchových veličín. Ako pomocné kapitoly sú uvedené podporné elektronické obvody a napájacie zdroje.

## 1.1. Merací kanál

Základná bloková schéma je na obr. 1. Je to jedno z možných, často sa vyskytujúcich znázornení.



Obr. 1.

Tu je *senzor* chápaný ako vstupná citlivá časť snímača (česky čidlo), poskytuje už využiteľný, obvykle elektrický signál. Po doplnení prevodníkom poskytuje už určitý normovaný signál, vhodný pre ďalšie spracovanie procesorom. *Snímač* sa potom chápe ako zložitejší celok.

*Poznámka:* Niektorí autori problém uvádzajú opačne, t.j. *senzor* je zložitejšia časť už i s pomocnými obvodmi.

Niekde sa môže stretnúť i so stotožnením pojmov *senzor* a *snímač*. V anglickej literatúre je obvykle používaný na všetko výraz "sensor". Pre jednoznačnosť je obvykle vhodné viacnásobné "vydiskutovanie" problematiky.

## 1.2. Rozdelenie senzorov

Môže byť podľa rôznych kritérií.

Podľa infonosiča (základné citlivé médium):

- ♦ neelektrické (pneumatické, mechanické, optické, magnetické...)
- ♦ elektrické (elektronické, polovodičové, mikroelektronické)

Podľa výstupu:

- aktívne - U, I, f..
- pasívne - vyhodnocujeme zmenu parametrov (R, L, C, index lomu, polarizáciu...)

Podľa meranej veličiny:

- ♦ mechanické - poloha, otáčky, sila...

- ♦ tepelné - teplota
- ♦ elektrické - U, I, P, R ..
- ♦ magnetické - B, H,  $\Phi$
- ♦ radiačné - svetlo (IR , UV),  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , kozmické ...
- ♦ chemické - pH, analýza ..

### 1.3. Generácie senzorov

V súčasnosti delenie stráca na význame. Snaha je používať najvhodnejšie senzory, patria k nim najmä polovodičové a optické senzory. Pretrvávajúce formálne delenie je :

Prvá generácia. Využíva *makroskopické princípy* (mechanické, chemické,...). Systémy sú rozmernejšie, ťažšie. Metrologické vlastnosti sa dajú len obmedzene vylepšiť. Časté v praxi.

Druhá generácia. Využíva elektronické javy (piezo, fotoelektrické, povrchové akustické vlny-PAV) najmä pre *polovodičové senzory*. Vyznačujú sa vyššou citlivosťou, rýchlosťou, malými rozmermi. V praxi používané, relatívne nové.

Tretia generácia. Veličina pôsobí na svetelný lúč - *svetlovodné senzory*. Majú malé rozmery, veľkú rýchlosť odozvy, odolné voči rušeniu. Používajú sa už v praxi a sú v intenzívnom laboratórnom vývoji

## 2. MAGNETICKÉ PRINCÍPY

### 2.1. MAGNETICKÉ OBVODY SENZOROV

Tvorí základné časti senzorov s magnetickým princípom, rozoznávame u nich :

- ♦ pasívne časti - len vedú mag. tok (napr. pólové nástavce)
- ♦ permanentné magnety - vytvárajú pomocnú energiu ("napájanie")
- ♦ zmena mag. parametrov od meranej veličiny - magnetostriekcia, magnetorezistor...

Na zopakovanie najčastejšie používané veličiny a jednotky:

- indukcia B [T] (1 T = 10 000 G [gauss])
- intenzita H [A/m] (1 A/m =  $4\pi \cdot 10^3$  Oe [oersted])
- permeabilita  $\mu$  [H/m] ( $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ ) ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  [H/m])

Poznámka: Citlivé senzory zmerajú indukcie od **7 nT ÷ 0,6 mT** . Zemské magnetické pole má cca **24 ÷ 66  $\mu$ T**.

#### 2.1.1. Materiály

Vlastnosti materiálov sú dané štruktúrou stavby atómu (počet elektrónov, spin, jeho kompenzácie...). V praxi sú materiály charakterizované obvykle kritériom permeability  $\mu_r$  (relatívna permeabilita) a delia sa na:

- ♦ diamagnetické -  $\mu_r$  je málo menšie ako 1 (blízke 1), z magnetického poľa sú mierne vytlačované von (Cu, Ag, Be, Zn, Hg, Ge, Pb, Bi, Se )
- ♦ paramagnetické -  $\mu_r$  je málo väčšie ako 1 (blízke 1), do magnetického poľa sú mierne vťahované (Na, K, Mg, Ca, Al, Sn, Mn, Pt, O<sub>2</sub> ...)

- ♦ feromagnetické -  $\mu_r \gg 1$ , materiály sú vťahované do mag. poľa. **Fe, Co, Ni**, (možné sú i zliatiny z para prvkov Mn-Al-Cu, resp. Mn-Sn, Cu. Heusslerova zliatina - 15%Mn, 10%Al, 75%Cu má  $B_{max}$  ako Ni)

Najčastejšie sa vyskytujú dve skupiny obvodov s feromagnetickými materiálmi:

- obvody s magneticky mäkkými materiálmi. Sú to mag. vodiče, pólové nástavce, obvody cievok, mag. tienenie
- obvody s magneticky tvrdými materiálmi, pomocou nich sa vytvára mag. tok ako pomocná energia, alebo ako meronosná veličina

Základné údaje o materiáli poskytuje hysterezná krivka (slučka), obr.2., kde:

1 - krivka prvotnej magnetizácie

B - magnetická indukcia, jednotka T (tesla)  $B = \mu \cdot H$

H - intenzita magnetického poľa, jednotka A/m

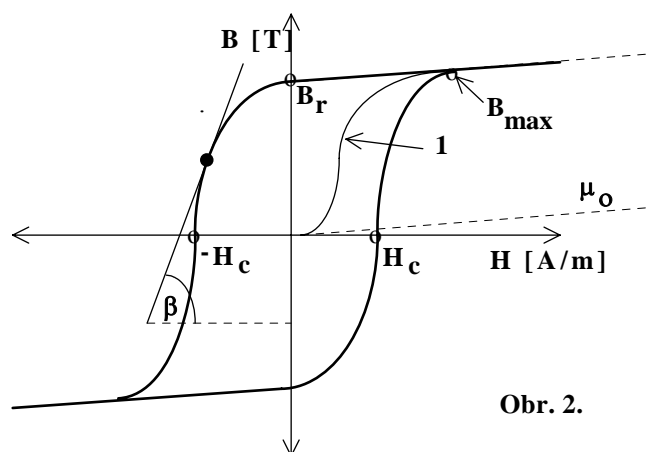
$B_r$  - remanentná indukcia

$H_c$  - koercitívna sila

$B_{max}$  - maximálna dosiahnuteľná indukcia

$\mu_0$  - permeabilita vákua, konštanta ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m), pričom  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \mu \quad \text{permeabilita diferenciálna (v pracovnom bode)}$$



Hysterezná krivka býva zadaná tabuľkou, alebo graficky a získa sa meraním na hotových materiáloch. Konkrétny tvar závisí od zloženia (prvkov) a tepelného spracovania, prípadne magnetickej orientácie.

*Poznámka:* Krivka má dosť špecifický tvar a ťažko sa vyjadruje vzorcom - polynómom. Grafický tvar sa dá získať bez problémov, preto pri výpočtoch obvodov sú stále aktuálne graficko - matematické metódy.

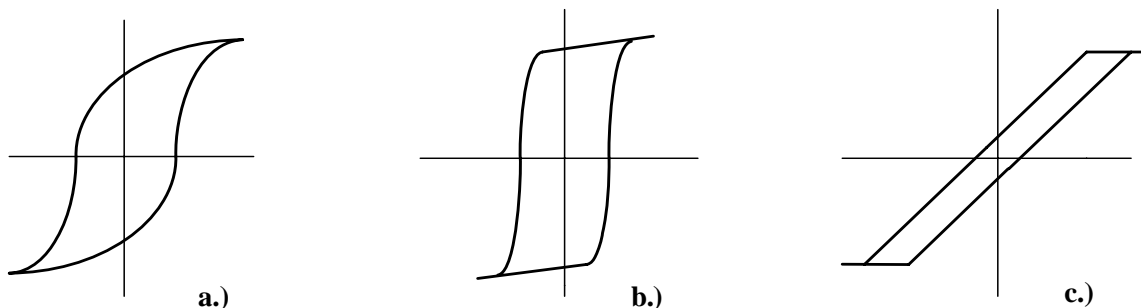
### Magneticky mäkké materiály

Všeobecný znak je úzka hysterezná krivka → nízka číselná hodnota  $H_c$  (máva hodnoty 2 až 10 A/m). Základné tvary kriviek sú na obr.3.

- izotropný (transformátorový plech)
- anizotropný orientácia || so smerom B

c.) anizotropný orientácia  $\perp$  na smer B

*Poznámka: Anizotropia vzniká i pri mechanickom namáhaní. Pri ťahu rastie rel. permeabilita  $\mu_r$ , teda i mag. vodivosť  $\rightarrow$  orientované materiály.*

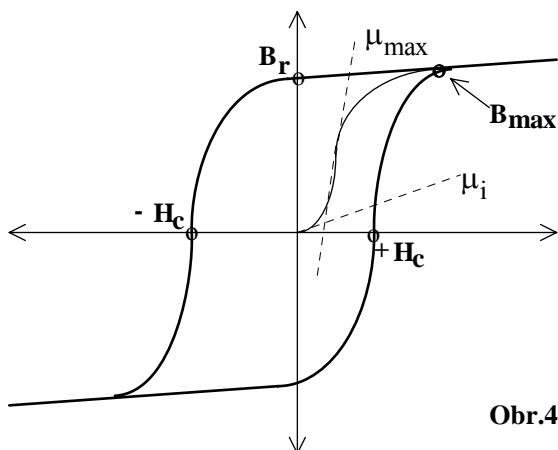


Obr.3

**Straty v materiáli** vznikajú v striedavom magnetickom poli (cievky, transformátory), menia sa na teplo. Delíme ich na :

- ♦ hysterézne straty - vznikajú pri premagnetovaní, závisia od hodnoty  $H_c$ , dosahovanej hodnoty B a od frekvencie f
- ♦ vírivé straty - Joulove straty vírivými prúdmi, závisia od  $\rho$  (merný odpor) materiálu a od  $f^2$

Na hysteréznej krivke je niekoľko zaujímavých hodnôt, obr.4.



Obr.4.

$\mu_i$  - počiatočná (absolútna) permeabilita, dotyčnica v bode 0 [A/m]

$\mu_{max}$  - maximálna permeabilita, dotyčnica v inflexnom bode krivky prvotnej magnetizácie

$H_c$  - koercitívna sila

$B_r$  - remanentná indukcia

$B_{\max}$  - maximálna indukcia (možná)

## Typy a tvary materiálov

Podľa zloženia máme dve základné skupiny :

- ♦ kovové - vyššie  $B_{\max}$  (1 - 1,5 T), vhodné pre nízke  $f$  (do 10 kHz)
- ♦ ferity - nižšie  $B_{\max}$  (0,3 - 0,4 T), vhodné pre vyššie  $f$ , menšie vírivé straty

## Kovové materiály

Základný materiál je Fe s prímiesami, teda zliatiny. Tvary bývajú obvykle plechy s rôznou hrúbkou. Rozoznávame :

- strihané (transformátorové plechy, dynamové plechy...)
- vinuté - toroid, C jadro, orientované plechy, neznášajú ďalšie mech. namáhanie
- leptané - pre veľmi tenké plechy (cca 3  $\mu\text{m}$ )

Dôležité hodnoty sú  $B_{\max}$ ,  $B_r$ ,  $H_c$ ,  $\mu$  ( $\mu_i$ ,  $\mu_{\max}$ )

$B_{\max}$  závisí od materiálu, napr: pre kremíkovú oceľ (Fe + Si) do 1,8 T  
pre zliatiny do 2 T - vinuté

Poznámka: Maximálnu hodnotu indukcie  $B_{\max}$  má zliatina Fe - Co **2,43 T pri  $H = 100 \text{ A/m}$ .**

**Vzduchová medzera** - časť obvodu, kde mag. tok prechádza vzduchom. Rozoznávame:

- dĺžku  $\delta$  - dĺžka siločiar prechádzajúcej vzduchom
- plochu  $S_v$  - plocha kolmá na mag. siločiar

V obvodoch s mag. mäkkými materiálmi môže byť parazitná ( $\delta$  len nutná - technologická, 0,05 - 0,1 mm), alebo žiadaná, kedy:

- linearizuje krivku
- stabilizuje parametre
- je vhodná pri jednosmernej predmagnetizácii (tlmivky)

## Ferity

Sú to lisované spekané materiály s malou elektrickou vodivosťou  $\rho = 10 - 10^5 \text{ } \Omega\text{m}$  ( $\rho_{\text{Cu}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m}$ ), z čoho vyplývajú malé vírivé straty. Na druhej strane majú ale podstatne menšiu indukciu  $B_{\max}$ , okolo 0,3 až 0,4 T. Mechanicky sa podobajú keramike, sú veľmi tvrdé a krehké. Dodatočné obrábanie je možné brúsením, alebo špeciálnymi technológiami - ultrazvuk.

Tvary môžu byť rôzne, v podstate závisia len od technológie lisovania. Rozšírené sú :

- tvar "dvojité E"
- hrnčekové jadrá
- tyčinky, skrutky
- toroidy

**Magnetostrikcia** - zmena magneticko  $\Leftrightarrow$  mechanických vlastností:

- zmena rozmerov v mag. poli, napr. cievky (UZ meniče, snímače polohy)
- zmena mag. parametrov pri mech. namáhaní (mag. vodivosť)

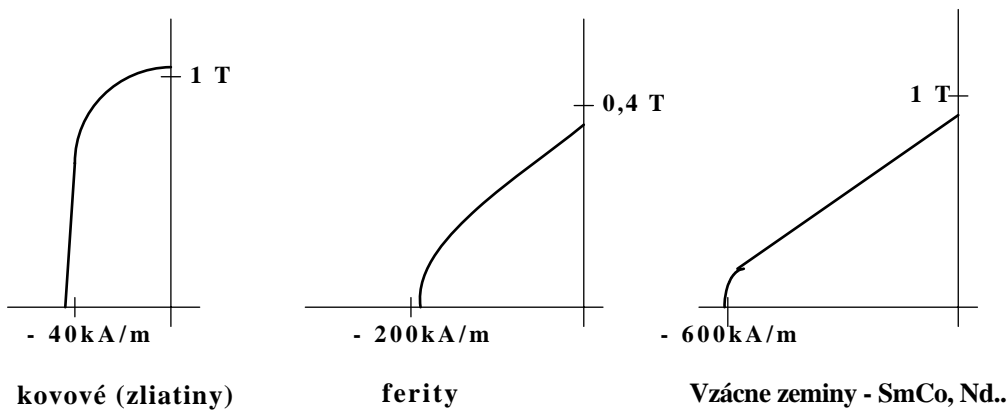
- 2-1 1. Prečo majú byť kovové materiály pre striedavé obvody čo najtenšie.  
2. Orientované materiály neznašajú mech. namáhanie, resp. opracovanie. Prečo?

## Magneticky tvrdé materiály, permanentné magnety

$H_c$  týchto materiálov je značne vyššia, typická hodnota je  $20 \div 800$  [kA/m]. Materiál charakterizuje časť hysteréznej krivky, tzv. demagnetizačná charakteristika (obr.5.), kde sú uvedené rôzne typy materiálov.

Podobne ako u mag. mäkkých materiálov vlastnosti závisia od typu materiálu :

- ♦ kovové - vysoká  $B$ , nízke  $H_c$ , Curieho bod vysoký (AlNiCo 800 °C)
- ♦ ferity - nízka  $B$ , vyššia  $H_c$ , demagnetizácii odolný tvar krivky
- ♦ vzácne zeminy - dost' vysoká  $B$  a vysoká  $H_c \rightarrow$  vysoký energetický súčin



Obr.5.

Medzi vzácne zeminy patria najmä *neodymové* a *samarium-kobaltové* materiály. Materiály typu  $Nd_2Fe_{14}B$  (B - Boron) sú vhodné pre pevné disky a reproduktory. Curieho bod asi 80 °C. Materiál s označením N 48 má  $B_r = 1,38$  T a  $H_c = -1000$  kA/m. Dôsledok je, že aj malý element (plochy cca  $1\text{cm}^2$ ) udrží závažie takmer 10kg. Svojou mechanickou príťažnou silou k železu môže dokonca preseknúť kožu, väčší rozmer dokonca zlomiť kosť.

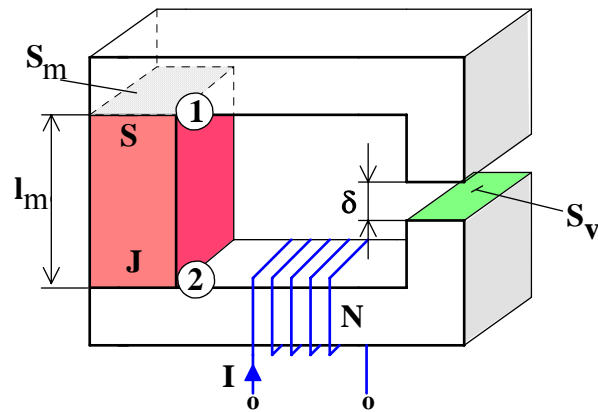
**Perličky :**

1. **Plastický magnet** - PANiCNQ (polyaniline +tetracyanoquinodimetan) ohybný polymér, použitie v počítačoch, zdravotníctve
2. **Kravský magnet** - kovový AlNiCo v plaste, v bachore chytá kúsky železa, ktoré krava zožerie, celok sa obalí, neškodí.

### 2.1.2. Riešenie obvodov s permanentnými magnetmi (PM)

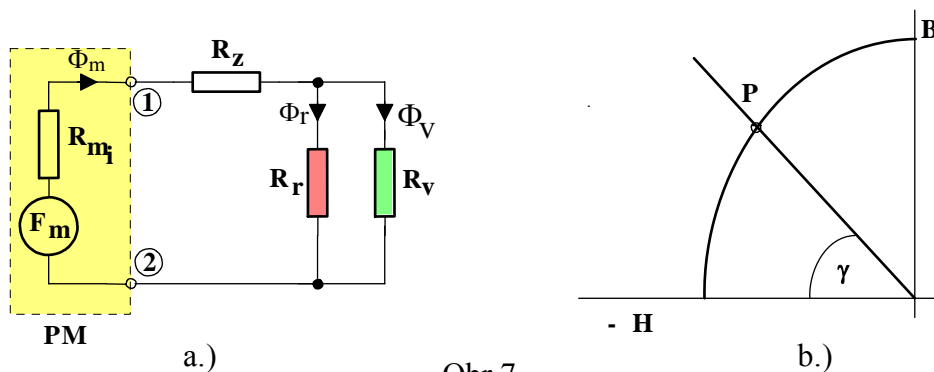
Jednoduchý obvod s PM je na obr.6. Pri zjednodušení je to princíp každého obvodu s PM. **Vzduchová medzera** - je opäť časť obvodu (obecne priestorový útvar), v ktorom mag. tok prechádza vzduchom. Dĺžka  $\delta$  býva väčšia, rádovo až [mm]. Plocha vzd. medzery  $S_v$  môže mať jednoduchý tvar (štvorec, obdĺžnik), ale aj veľmi zložitý (anuloid). Taktiež jej hodnota

nemusi byť v celom úseku rovnaká, obvykle sa berie potom stredná hodnota. Pri týchto systémoch je to tzv. pracovná vzduchová medzera, teda žiadaná. Sú tam umiestnené časti zariadenia, napr. Hallova sonda, merná cievka. Okrem PM sa v obvode môžu vyskytovať aj silové vinutia (cievky), ktoré tento obvod ovplyvňujú.



Obr.6.

Náhradná schéma jednoduchého magnetického obvodu s PM je na obr.7.



Obr.7.

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| $F_m$ - magnetomotorická sila                   | $R_{mi}$ - vnútorný mag. odpor PM |
| $R_z$ - mag. odpor pól. nastavcov               | $R_r$ - rozptylový odpor          |
| $R_v$ - mag. odpor vzduchovej medzery (žadanej) | $\Phi_r$ - rozptylový mag. tok    |
| $\Phi_m$ - mag. tok z PM                        |                                   |
| $\Phi_v$ - mag. tok vo vzd. medzere             |                                   |

### Riešenie graficko - výpočtové

Riešenie obvodu je potom graficko - výpočtové, lebo krivka sa nedá analyticky vyjadriť. Pretože pre "normálnu" vzduch. medzeru platí  $R_z \ll R_v$ , môžeme povedať, že zvyšná časť

magnetického obvodu je lineárna (vzd. medzera) a jej vyjadrením je priamka, nazývaná pracovná priamka (obr.7b).

### Rovnica pracovnej priamky

Môžeme ju získať zo základných rovníc magnetického poľa:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{i} \cdot d\vec{S} \quad \text{a} \quad \Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Pre konkrétny obvod môžeme tieto rovnice zjednodušiť :

$$H_m l_m + H_v \delta + H_z l_z = \pm NI \quad (1)$$

$$B_m S_m = B_v S_v \sigma_r \quad (2)$$

$$B_v = \mu_0 H_v \quad (3)$$

kde:

$$\sigma_r = \frac{R_v + R_r}{R_r} > 1 \quad \text{je koeficient rozptylu s hodnotami 1,2 - 3.}$$

$B_m, B_v$  - indukcia v PM a vo vzduchu

$H_m, H_v, H_z$  - intenzita v PM, vo vzduchu a v železe

$l_m, l_z$  - dĺžka PM a dĺžka siločiar v železe

$\delta$  - veľkosť (dĺžka) vzduchovej medzery

$NI$  - počet závitov a prúd cez cievku v systéme (ak existuje)

$S_m, S_v$  - plocha PM a vzduchovej medzery

Definujeme konštantu úbytku na mag. mäkkých častiach :

$$\sigma_p = \frac{H_z l_z + H_v \delta}{H_v \delta} > 1 \quad \text{pre reálnu vzduch. medzeru zanedbáme} \rightarrow \text{hodnota} = 1.$$

Pasívny súčet úbytkov je teda:

$$H_z l_z + H_v \delta = \sigma_p H_v \delta \quad \text{a dosadíme ho do (1)}$$

$$H_m l_m + H_v \delta \sigma_p = \pm NI \quad (1a)$$

Z (2) a (3) získame:

$$H_v = \frac{B_v}{\mu_0} = \frac{B_m S_m}{\mu_0 \sigma_r S_v} \quad \text{dosadíme do (1a) a po odstránení zlomku získame :}$$

$$\delta B_m S_m \sigma_p = - H_m l_m \mu_0 \sigma_r S_v \pm NI \mu_0 \sigma_r S_v$$

Výpočtami je možné dosiahnuť rovnicu priamky v súradniciach B a H. Ak za základný smernicový tvar berieme výraz :

$$y = \operatorname{tg} \alpha \cdot x + q$$



Tento je pre B a H súradnice:  $B_m = -\operatorname{tg}\gamma \cdot H_m \pm K$

Konečné vyjadrenie po úpravách je potom :

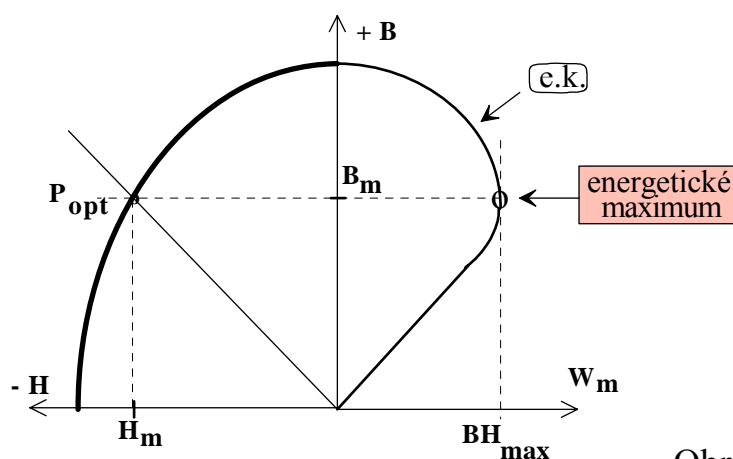
$$B_m = -\mu_0 \frac{l_m}{\delta} \frac{S_v}{S_m} \frac{\sigma_r}{\sigma_p} H_m \pm \frac{S_v}{S_m} \frac{1}{\delta} \frac{\sigma_r}{\sigma_p} \mu_0 N I \quad (2-1)$$

Zaujímavé polohy priamky sú pre prípady :

- ♦ ak  $\delta \rightarrow 0$ , potom  $\operatorname{tg}\gamma \rightarrow \infty$  a uhol  $\gamma \rightarrow 90^\circ$ . Prípado charakterizuje uzavretý magnetický obvod - toroid. (pamät'ové prvky)
- ♦ ak  $\delta \rightarrow l_m$ , potom  $\operatorname{tg}\gamma \rightarrow \mu_0$  a uhol  $\gamma$  je malý. Vzduchová medzera je veľká, prípad reprezentuje otvorený mag. obvod (napr. PM je vybraný z obvodu)

### Pracovný bod a jeho umiestnenie

Priesečník pracovnej priamky a demagnetizačnej charakteristiky sa nazýva pracovný bod PM. Reprezentuje určité vlastnosti a energiu, súradnice B a H predstavujú hodnoty vo vnútri PM.



Obr.8.

Pracovný bod môže byť umiestnený ľubovoľne na krivke, niektoré polohy sú však výhodnejšie, najmä z hľadiska energie PM. Energia PM sa dá vyjadriť ako súčin :  $W_m = B_m H_m$ . Vzťah vyjadruje tzv "energetická krivka" (e.k.) na obr. 8. Výpočtom môžeme dokázať súvislosť medzi objemom pracovnej vzduchovej medzery a potrebným objemom PM :

$$V_m = \frac{\sigma_r \sigma_p B_v^2}{B_m H_m \mu_0} V_i$$

kde :  $V_m, V_\delta$  - objem PM a vzduchovej medzery

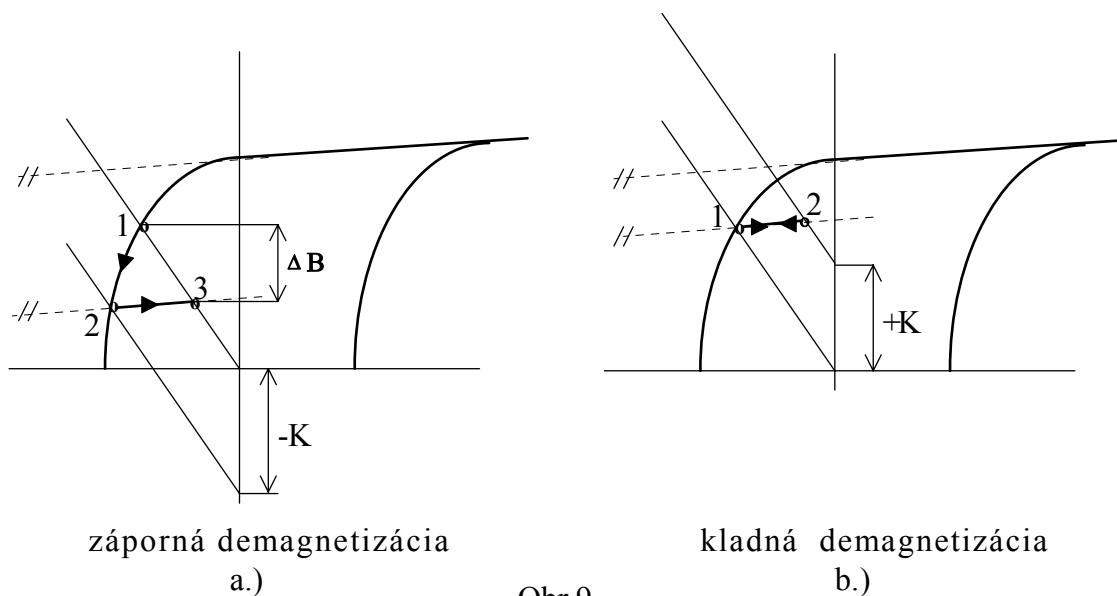
Zo vzťahu vyplýva, že potrebný objem PM je minimálny vtedy, ak je súčin  $B_m H_m$ , teda  $W_m$  maximálne. Prac. bod sa optimálne (najčastejšie) teda umiestňuje v tzv. energetickom maxime.

## Demagnetizácia

Ak máme v obvode s PM ešte iný zdroj mag. energie (iný magnet, alebo cievku s pretekajúcim prúdom), musíme uvažovať tzv. demagnetizačný efekt. Smer tohoto prídavného mag. toku môže byť súhlasný, kladný - výsledný tok stúpa, alebo pôsobí proti pôvodnému, je záporný - výsledný tok klesá, možné až na 0. Pracovný bod sa pritom posúva.

Posun môže byť teda spôsobený :

- ♦ cievkou - posun prac. bodu o hodnotu  $K$  v smere  $+$  , alebo  $-$
- ♦ ale tiež zmenou sklonu prac. priamky (rozobraním obvodu)



Obr.9.

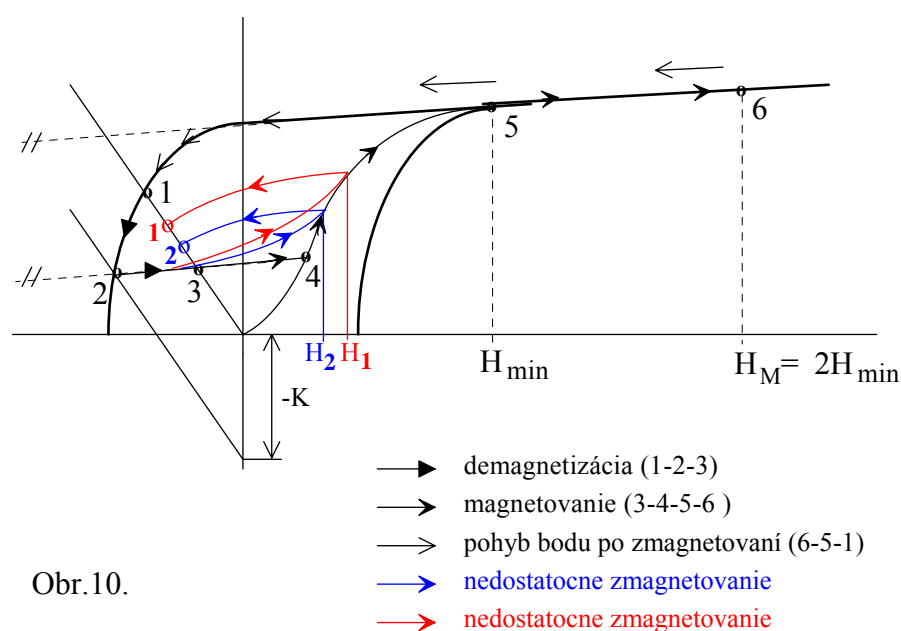
Pohyb prac. bodu  $P$  je vidieť na obr.9. Pri zápornej demagnetizácii ( $-K$  na obr 9a.) sa posúva najskôr prac. priamka a následne s ňou  $P$  ako priesečník po krivke smerom k nižším hodnotám  $B$ . Posunie sa z bodu 1 do bodu 2. Keď zanikne prídavný mag. tok, priamka sa vráti do pôvodnej polohy.  $P$  sa však nemôže posunúť v "protismere" po krivke späť. Posúva sa po tzv. vratnej hysteréznej krivke, ktorej smernica je približne rovnobežná s dotyčnicou v bode  $B_r$ . Bod  $P$  sa ustáli ako priesečník tejto krivky s prac. priamkou v bode 3. Prakticky je na niektorej vnútornej hysteréznej krivke s menšími hodnotami  $B$  a  $H$ . Došlo k trvalému poklesu  $B$  a  $H$ , teda k "odmagnetovaniu" PM. Pri ďalšej demagnetizácii o  $-K$  je pohyb prac. bodu z 3 do 2, pri zaniknutí  $-K$  sa vráti do 3. Prakticky ale pri každom ďalšom cykle dochádza k malému prídavnému poklesu, takže po veľkom počte cyklov môže prísť k trvalému úplnému odmagnetovaniu PM (odmagnetovanie v striedavom poli). K úplnému odmagnetovaniu môže prísť i vtedy, ak  $-K$  je príliš veľké. Potom treba PM znovu namagnetovať. Voči demagnetizácii sú odolnejšie PM s krivkou ako ferity, teda veľký sklon v bode  $B_r$ . Podobne "prvky vzácnych zemín".

Pri kladnej demagnetizácii  $+K$  (prídavný tok je súhlasný), obr.9.b. obvykle nie sú problémy, lebo prac. bod sa presúva medzi bodmi 1 a 2 a dochádza len k malej zmene  $B$ .

### 2.1.3. Zmagnetovanie (namagnetovanie) PM

Robí sa medzi pólovými nástavcami, alebo častejšie cievkou, ovitúou okolo PM, lebo obvykle sa magnetuje zložený mag. obvod. Potrebná je vysoká intenzita prúdu, aby sa dosiahla hodnota intenzity  $2 H_{\min}$ , čo dosiahneme napr. vybitím kondenzátora do daných závitov. Magnetovacie vinutie má niekoľko závitov hrubého drôtu, aby malo malý odpor, čím dosiahneme na krátky okamih (stačia jednotky ms) vysoké intenzity prúdu a teda i H. Magnetické obvody bývajú tak zložené, že magnetizačné vinutie sa nevyberá a zostáva súčasťou zariadenia.

Priebeh posunov pracovného bodu je na obr. 10.



Obr.10.

*Poznámka:* Ideálny posun z 3 do 4 je teoretické predĺženie vratnej krivky. Pre väčšie odchýlky (hodnotu H) sa priebeh zakrivuje a predstavuje krivky prislúchajúce intenzitám  $H_2$ , resp  $H_1$ .

Pridaním "kladnej" intenzity sa prac. bod presunie z 3 na krivku prvotnej magnetizácie do 4, po nej do bodu 5. Táto  $H_{\min}$  je minimálne potrebná na úplné namagnetovanie. Pre istotu, aby sme skutočne zostali na obalovej (maximálnej) krivke, odporúča sa dosiahnuť intenzitu  $2 H_{\min}$ . Po vypnutí prúdu prac. bod "skĺzne" do bodu 1.

### 2.1.4. Stabilizácia parametrov

Permanentné magnety najmä pre meracie účely by mali mať stabilné parametre, najmä hodnotu B. Materiály ale starnú, najviac na začiatku činnosti. Tento úsek je vhodné vynechať a magnet nasadiť do činnosti "až zostarne", teda ustáli si parametre. Do procesu výroby sa obvykle zaraďuje teda i starnutie. Môže byť :

- ♦ prirodzené
- ♦ umelé

Prirodzené starnutie je síce "kvalitné", ale na dnešné pomery je pomalé, počíta sa na roky. Preto sa preferuje umelé starnutie. Toto môže byť uskutočnené:

- teplotou - materiál je podrobený zvýšenej teplote definovanej doby. Účinok závisí od kombinácie oboch činiteľov, teploty musia byť pod Curieho bodom
- odmagnetovaním - materiál sa čiastočne odmagnetuje v striedavom magnetickom poli. Odporúčaná zmena parametrov je 10%. Pri slabšom odmagnetovaní je tendencia ešte s časom meniť parametre, pri silnejšom odmagnetovaní materiál má snahu zotaviť sa, teda vrátiť sa k pôvodným hodnotám.

- |   |
|---|
| <p>2-2. 1. Magnetuje sa hotový zložený mag. obvod, alebo sa zmagnetovaný perm. magnet vkladá do obvodu? Záleží to od typu materiálu?</p> <p>2. Môžeme dosiahnuť v niektorej časti obvodu, napr. vzduchovej medzere väčšiu <math>B</math> ako v perm. magnete?</p> |
|---|