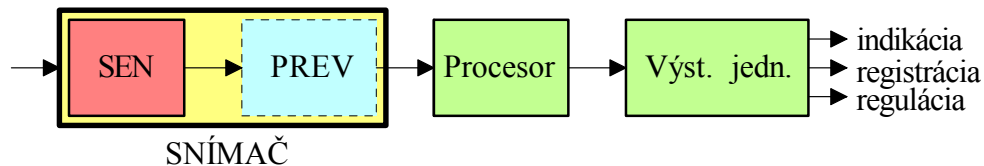


# 1. ÚVOD

- ♦ požiadavky na snímanie **rôznych** veličín
- ♦ vhodné senzory - rôzne druhy sensorov
- ♦ vstupné časti - vlastnosti, možnosti, poruchové veličiny

## 1.1. Merací kanál



Obr.. 1.

Tu je *senzor* chápaný ako vstupná citlivá časť snímača (česky čidlo)

*Snímač* sa potom chápe ako zložitejší celok.

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

## 1.2. Rozdelenie sensorov

Podľa infonosiča :

- ♦ neelektrické (pneu, mech, opt, magn...)
- ♦ elektrické (elektron, polovodič, mikroelektron.... )

Podľa výstupu:

- aktívne - U, I, f..
- pasívne - zmena parametrov (R, L, C,...)

Podľa meranej veličiny:

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

### 1.3. Generácie senzorov

Prvá generácia. - makroskopické princípy (mechanické, chemické,...).

Druhá generácia. - elektronické javy (piezo, fotoel, PAV) najmä **polovodičové senzory**

Tretia generácia. Veličina pôsobí na svetelný lúč - **svetlovodné senzory**

## 2. MAGNETICKÉ OBVODY SENZOROV

- ♦ pasívne časti
- ♦ permanentné magnety

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**.

Vlastnosti podľa stavby atómu (počet elektrónov, spin, jeho kompenzácie...)

podľa kritéria  $\mu_r$  delíme na:

- ♦ diamagnetické -  $\mu_r \leq 1$  (0,9999)  
(Cu, Ag, Be, Zn, Hg, Ge, Pb, Bi, Se )
- ♦ paramagnetické -  $\mu_r \geq 1$  (1,000111)  
(Na, K, Mg, Ca, Al, Sn, Mn, Pt, O<sub>2</sub> ...)
- ♦ feromagnetické -  $\mu_r \gg 1$  (50 000) (Fe, Co, Ni)

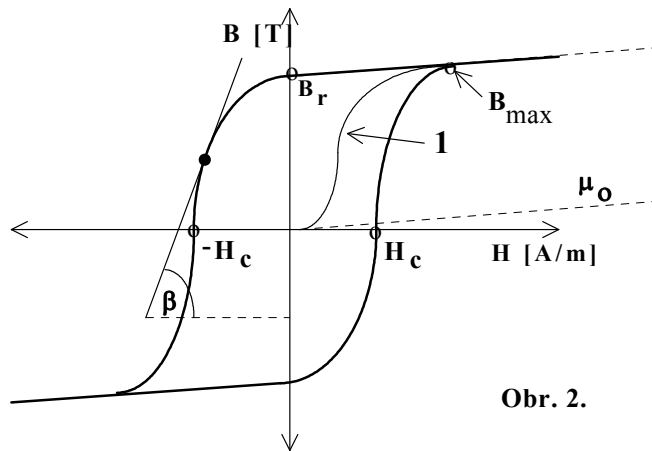
zliatiny z para prvkov Mn-Al-Cu, resp. Mn-Sn- Cu.

Heusslerova zliatina - 15%Mn, 10%Al, 75%Cu má  $B_{\max}$  ako Ni)

- obvody s magneticky mäkkými materiálmi
- obvody s magneticky tvrdými materiálmi

Hysterézna krivka

- ♦ zadaná tabuľkou, alebo graficky
- ♦ získa sa meraním na hotových materiáloch



Obr. 2.

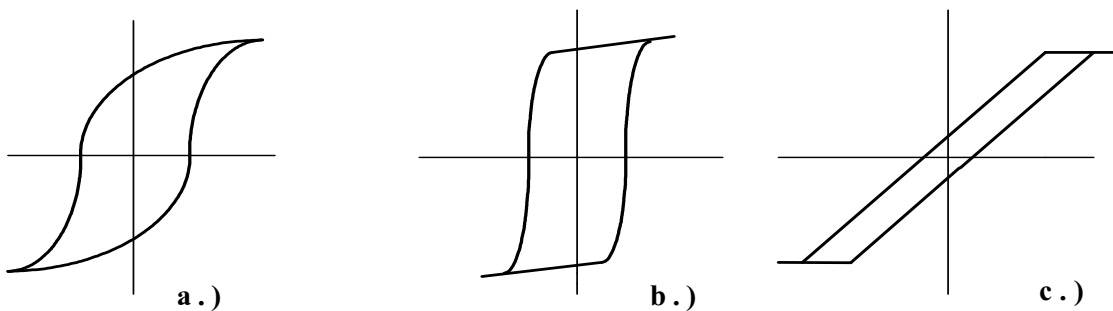
- 1 - krivka prvotnej magnetizácie
- B - magnetická indukcia  $B = \mu \cdot H$
- H - intenzita magnetického poľa
- $B_r$  - remanentná indukcia
- $H_c$  - koercitívna sila
- $B_{max}$  - maximálna dosiahnuteľná indukcia

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

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

## 2.1. Magneticky mäkké materiály

- úzka hysterézná krivka  $\rightarrow$  nízka hodnota  $H_c$  (2 až 10 A/m)



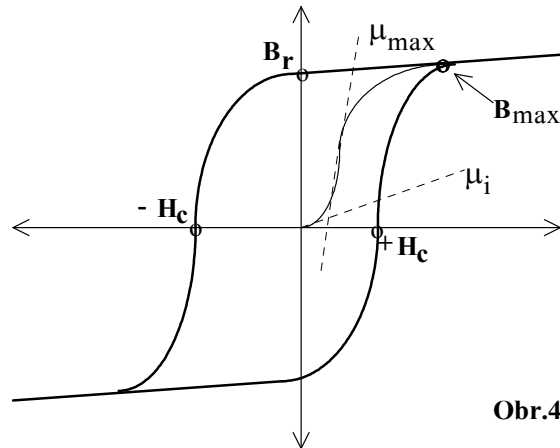
Obr.3

- a.) izotropný (trafoplech)
- b.) anizotropný orientácia  $\parallel$  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 → orientované materiály.

Hysterézne straty - závisia od  $H_c$ , hodnoty  $B$  a od  $f$

Vírivé straty - závisia od  $\rho$  (merný odpor) a od  $f^2$



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

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

### 2.1.1. Typy a tvary materiálov

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

#### Kovové materiály

Tvar - plechy s rôznou hrúbkou :

- strihané
- vinuté - toroid, C jadro (orientované plechy)
- leptané - veľmi tenké (cca 3  $\mu\text{m}$ )

Dôležité hodnoty sú  $B_{\max}$ ,  $B_r$ ,  $H_c$ ,  $\mu$ .

$B_{\max}$  pre rôzne materiály :     kremíková oceľ do 1,8 T  
  zliatiny do 2 T - vinuté

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

**Vzduchová medzera** v obvode:

- ♦ parazitná (má byť čo najmenšia)
- ♦ žiadaná, kedy:
  - linearizuje krivku
  - stabilizuje parametre
  - zabraňuje presýteniu (tlmivky)

**Ferity**

- lisované spekané materiály
- malá elektrická vodivosť ( $\rho = 10 - 10^5 \Omega\text{m}$ )
- malé vírivé straty
- menšia  $B_{\text{max}}$ , okolo 0,3 až 0,4 T
- mechanicky podobné keramike, sú veľmi tvrdé a krehké
- obrábanie - brúsenie, špeciálne technológie - ultrazvuk

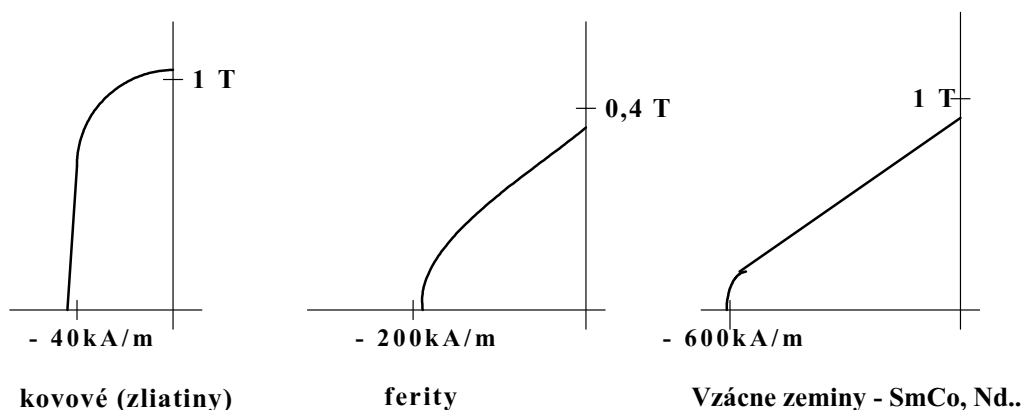
**Magnetostrikcia** - zmena magneticko  $\Leftrightarrow$  mechanických vlastností

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

## 2.2. Magneticky tvrdé materiály, permanentné magnety

$H_c$  je značne vyššia, typicky  $20 \div 800$  [kA/m]

Materiál - tzv. demagnetizačná charakteristika (časť hyst. krivky)



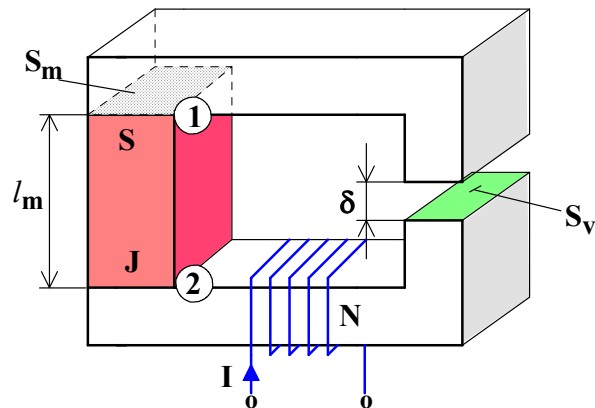
Obr.5.

Poznámka: **Plastický magnet** - polymér PANiCNQ (polyaniline + tetracyanoquinodimetan)

**Kravský magnet** - AlNiCo v plaste, v bachore chytá kúsky železa, obalí sa, neškodí.

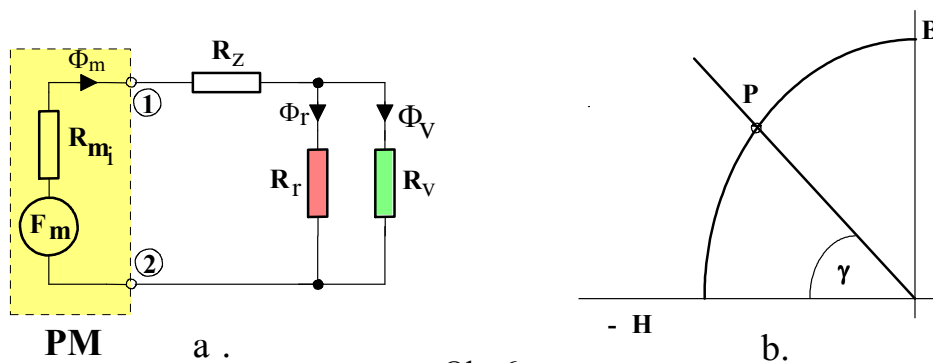
## 2.2.1. Riešenie obvodov s permanentnými magnetmi (PM)

Jednoduchý obvod s PM (obr.5a)



Obr.5a.

Náhradná schéma obvodu obr.6a



Obr.6.

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $F_m$ - magnetomotorická sila                   | $R_{m_i}$ - vnútorný mag. odpor PM |
| $R_z$ - odpor pól. nástavcov                    | $R_r$ - 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

- pre "normálnu" vzduch. medzeru platí  $R_z \ll R_v$
- zvyšok je lineárny (vzd. medzera), vyjadrením je priamka (pracovná)

## Rovnica pracovnej priamky

Môžeme ju získať zo základných rovníc magnetického poľa:

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

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

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

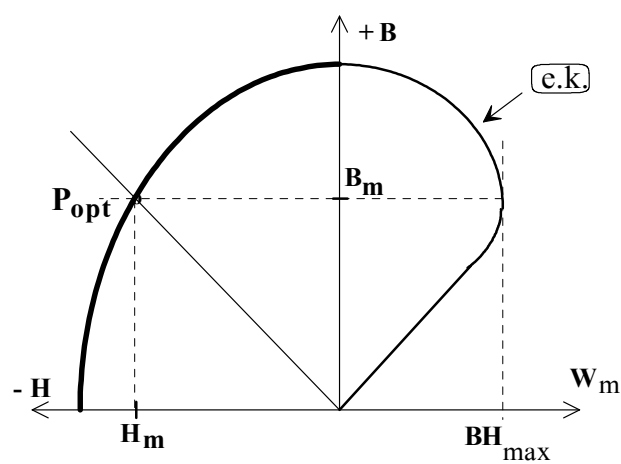
Konečné vyjadrenie :

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

Zaujímavé polohy priamky sú pre prípady :

- ♦ ak  $\delta \rightarrow 0$ , potom  $\operatorname{tg} \gamma \rightarrow \infty$  a uhol  $\gamma \rightarrow 90^\circ$   
uzavretý magnetický obvod - toroid. (pamäťové prvky)
- ♦ ak  $\delta \rightarrow l_m$ , potom  $\operatorname{tg} \gamma \rightarrow \mu_0$  a uhol  $\gamma$  je malý  
otvorený mag. obvod (napr. PM je vybraný z obvodu)

## Pracovný bod a jeho umiestnenie



Obr.7.

súradnice  $B_m$  a  $H_m$  predstavujú hodnoty vo vnútri PM.

Energia PM ako súčin :  $W_m = B_m H_m$  "energetická krivka" (e.k.) na obr. 7.

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

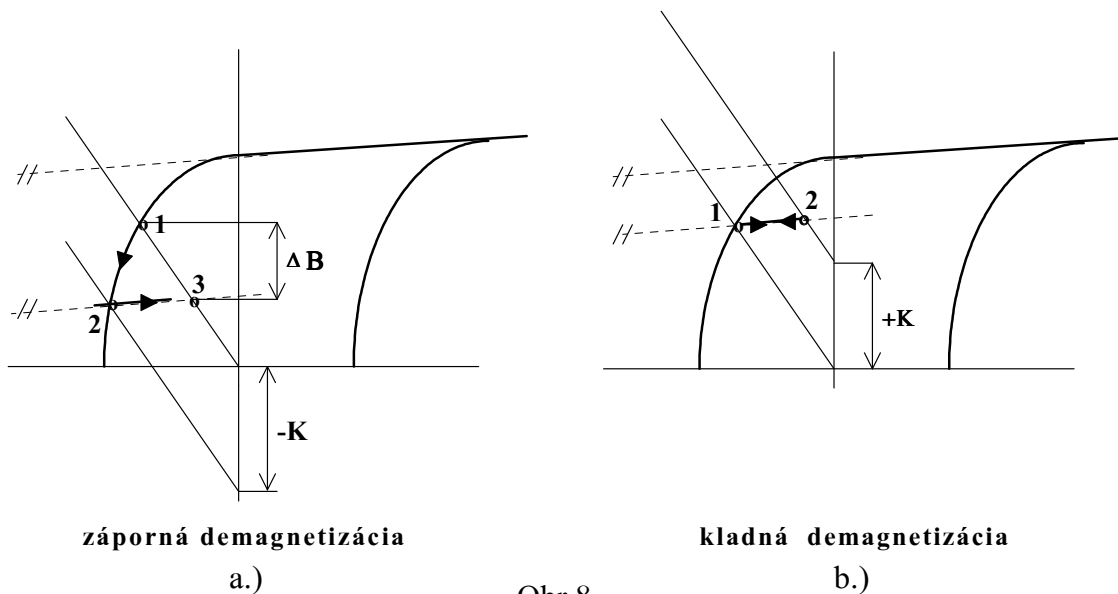
$W_m$  maximálne  $\rightarrow$  energetické maximum  $\rightarrow$  optimálny prac. bod

## Demagnetizácia

prídavný mag. tok, vplyv : kladný, záporný

Posun spôsobený :

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



Obr.8.

Pre malé posuny:

Vratná hysterézná krivka - smernica je približne rovnobežná s dotyčnicou v bode  $B_r$

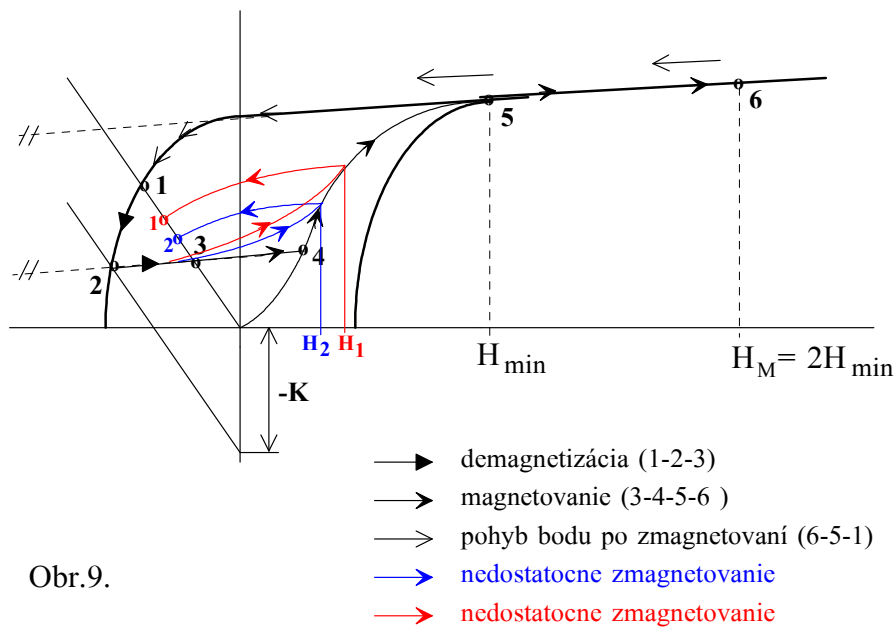
### 2.2.2. Zmagnetovanie (namagnetovanie) PM

a.) robí sa medzi pólovými nastavcami

b.) častejšie cievkou, ovinutou okolo PM - magnetuje sa zložený mag. obvod

vysoká intenzita prúdu (pre  $2 H_{min}$ )  $\rightarrow$  vybitie kondenzátora do cievky





Obr.9.

odporúča sa  $2 H_{\min}$  (resp.  $5 H_c$ ) → sme na obalovej (maximálnej) krivke

### Stabilizácia parametrov

- starnutie :
- prirodzené
  - umelé : - teplotou
  - odmagnetovaním (cca 10%)

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