

## Permeabilita materiálů

Materiály podle jejich chování v magnetickém poli dělíme do tří základních skupin na diamagnetika (po vložení do mag. pole ho mírně zeslabují), paramagnetika (mag. pole mírně zesilují) a feromagnetika (významně zesilují mag. pole). Poslední skupina materiálů bývá pro své výrazné magnetické vlastnosti a pro své použití v konstrukci magnetických obvodů nazývána také materiály magnetickými.

Hlavními veličinami, které charakterizují magnetické pole, jsou magnetická indukce  $B$  a intenzita magnetického pole  $H$ . Vztah mezi těmito dvěma veličinami je popsán permeabilitou  $\mu$ , která je parametrem úměrnosti mezi indukcí  $B$  a intenzitou pole  $H$  v určitém materiálu. Čím vyšší je hodnota permeability, tím větší indukce se vybudí v materiálu magnetickým polem stejné intenzity. Platí tedy vztah

$$B = \mu \cdot H \quad (1)$$

kde  $H$  je intenzita vnějšího magnetického pole,  $B$  magnetická indukce v materiálu a  $\mu$  je jeho permeabilita. Permeabilita  $\mu$  bývá také označována jako absolutní permeabilita daného materiálu. Vedle této veličiny se často používá také permeabilita relativní, definovaná jako podíl permeability materiálu a permeability vakua ( $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ ). Platí tedy vztah

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2)$$

Jak je ze vztahu patrné, závisí hodnota relativní permitivity na vlastnostech daného materiálu - jde tedy o materiálovou konstantu. Relativní permeabilita je bezrozměrná veličina!

Na základě velikosti hodnoty relativní permeability rozdělujeme materiály do tří základních skupin:

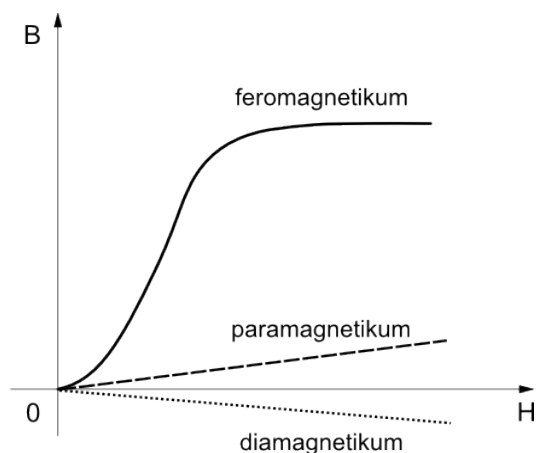
- **paramagnetické** ( $\mu_r > 1$ , konstantní)
  - mírně mag. pole zesilují (např. Al, Mn, Cr, Pt)
- **diamagnetické** ( $\mu_r < 1$ , konstantní)
  - mag. pole zeslabují (např. inertní plyny, většina org. látek, Cu, Ag, Au, Hg)
- **feromagnetické** ( $\mu_r \gg 1$ , závisí na intenzitě magnetického pole)
  - mag. pole výrazně zesilují (Fe, Co, Ni, Gd)

Materiál	$\mu_r (-)$	Materiál	$\mu_r (-)$
Měď	0.999990	Platina	1.000264
Voda	0.999991	Hliník	1.000023
Vakuum	1.0000000	Kobalt	80 - 200
Vzduch	1.0000003	Železo	300 - 10000
Kyslík	1.00000186	Permalloy	50000 - 140000

Tab. 1: Relativní permeability některých materiálů

U diamagnetik a paramagnetik je hodnota  $\mu_r$  konstantní a blízká jedničce (jejich absolutní permeability se příliš neliší od vakua).

U feromagnetik však takovou jednoznačně určenou veličinu nelze najít. Magnetujeme-li dosud nemagnetované feromagnetikum (obr. 1), stoupá indukce  $B$  se vzrůstající intenzitou  $H$  nejprve pomaleji, pak rychleji a pak opět pomaleji. Tato křivka se také někdy nazývá **magnetizační (panenská) křivka** a je důležitou charakteristikou feromagnetika potřebnou pro navrhování magnetických obvodů. Jak je patrné, hodnota permeability materiálu tedy není konstantní, ale mění se v závislosti na velikosti intenzitě vnějšího magnetického pole.



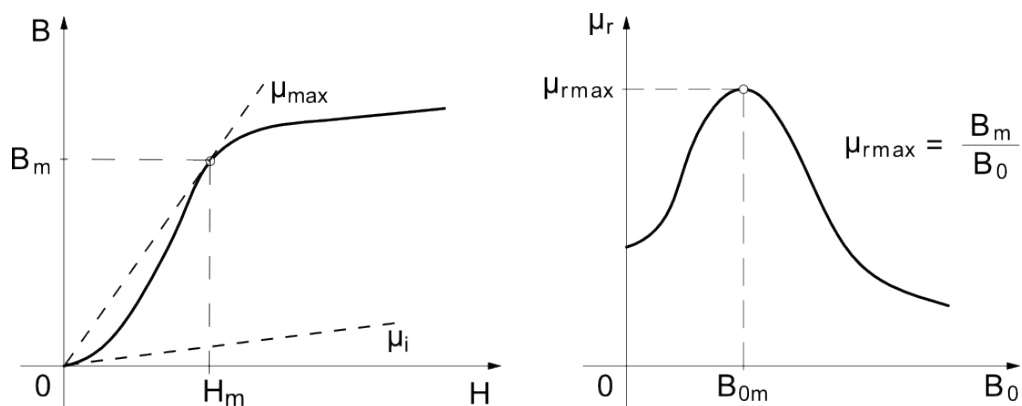
Obr. 1: Průběh magnetické indukce v závislosti na intenzitě vnějšího pole u diamagnetik, paramagnetik a feromagnetik

Je tedy třeba tyto materiály charakterizovat jiným způsobem. Vhodným způsobem je feromagnetikum charakterizovat střední velikostí relativní permeability  $\bar{\mu}_r$  pro dané sycení. Jednoduše se určí ze vztahu

$$\bar{\mu}_r = \frac{B}{B_0} = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} \quad (3)$$

kde B je indukce magnetického pole vyvolaná určitou hodnotou intenzity H pole ve vakuu. V literatuře se  $\bar{\mu}_r$  prostě označuje  $\mu_r$ . Typický průběh funkce  $\mu_r = f(H)$  je na obr. 2. Maximální velikost permeability  $\mu_{rmax}$  určíme tak, že vedeme tečnu z počátku k magnetizační křivce, určíme příslušné hodnoty  $H_m$ ,  $B_m$  a vypočteme  $\mu_{rmax}$ .

Dále je možné pro malé intenzity vnějšího pole určit *počáteční permeabilitu*  $\mu_i$  (obr. 2), nebo *inkrementální permeabilitu* z přírůstků  $\Delta B$  a  $\Delta H$  při stejnosměrné předmagnetizaci.



Obr. 2 a 3: K popisu magnetizační křivky a střední relativní permeability

## Měření permeability vzduchu

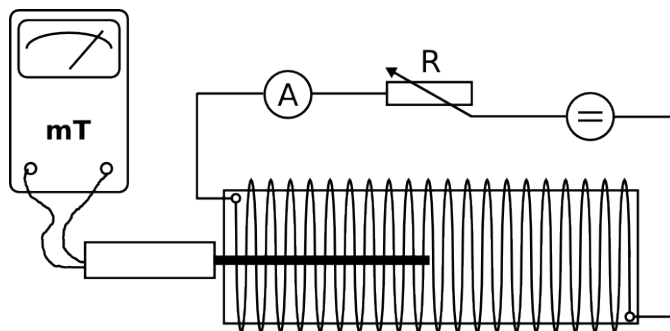
### Zadání

Určete hodnotu relativní permeability  $\mu_r$  a absolutní permeability  $\mu$  vzduchu a porovnejte naměřené hodnoty s tabulkovými.

Pro určení relativní permeability vzduchu využijeme znalosti závislosti magnetické indukce  $B$  v dutině vzduchové cívky (solenoidu) na intenzitě vnějšího magnetického pole  $H$  vyvolaného proudem  $I$ , procházejícím cívkou. Tuto závislost lze popsat vztahem

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{n}{l} \cdot I \quad (4)$$

Velikost indukce ve středu cívky by tedy podle vztahu (3) měla být přímo úměrná velikosti proudu tekoucímu solenoidem a hustotě závitů cívky  $\frac{n}{l}$  ( $n$  je počet závitů cívky a  $l$  je její délka).



Obr. 1: Principiální schéma zapojení pro měření relativní a absolutní permeability vzduchu.

Vzhledem k tomu, že hodnoty  $\mu_r$ ,  $\mu_0$ ,  $n$  i  $l$  jsou konstanty, lze vztah (3) zjednodušit do tvaru

$$B = k \cdot I \quad (5)$$

kde

$$k = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{n}{l} \quad (6)$$

Pokud tedy vytvoříme graf závislosti  $B=f(I)$ , získáme přímku, kterou lze popsat rovnicí (4). Směrnici přímky  $k$  lze snadno určit odečtením z grafu. Dosazením získané směrnice a vyjádřením ze vztahu (5) lze následně vypočítat hodnotu relativní permeability vzduchu  $\mu_r$  a následně ze vztahu (2) i hodnotu absolutní permeability vzduchu  $\mu$ .

## Použité přístroje

zdroj napětí  
teslametr  
ampérmetr  
reostat

## Postup

1. Přístroje zapojte podle schématu na obr. 1.
2. Sondu teslametru umístěte do středu vzduchové cívky, vynulujte teslametr a pomocí autotransformátoru nastavte proud v obvodu na hodnotu 100 mA.
3. Z teslametru odečtěte hodnotu mag. indukce ve středu cívky.
4. Postupně zvyšujte proud až do 1,5 A s krokem 100 mA a zaznamenávejte hodnoty indukce z teslametru.
5. Vytvořte graf závislosti  $B=f(I)$  a z něho určete směrnici  $k$ .
6. Vypočtěte hodnotu relativní a absolutní permeability vzduchu (s přesností na 2 desetinná místa) a srovnejte s tabulkovou hodnotou.