20. Měření statické hysterezní smyčky uzavřeného vzorku

20.1. Teoretický rozbor

Před měřením je nejprve nutno pečlivě vykompenzovat vliv rušivých napětí ve vstupním obvodu integrátoru. To se provede několik minut po jeho zapnutí a ustálení při připojeném měřicím vinutí N_2 a rozpojeném magnetovacím obvodu $[i(t) = 0]$. Při správné kompenzaci se napětí na výstupu integrátoru nesmí v čase měnit. Nejlépe lze kompenzaci provést při nulovém výstupním napětí, kdy lze nastavit maximální citlivost výstupního voltmetru. Kompenzace se provede pomocí regulačních prvků na předním panelu webermetru. Nesprávně provedená kompenzace se projeví na grafickém záznamu neuzavřením nebo předčasným uzavřením hysterezní smyčky.

Při měření je vzorek magnetován proudem $i(t)$, jehož časový průběh je řízen buď ručně, nebo automaticky a mění se v rozsahu $+I_m$ až $-I_m$. Při automatickém řízení je nastavena maximální hodnota magnetovacího proudu, rychlost nárůstu a změna polarity přímo na zdroji, při ručním řízení se I_m nastaví pomocí ampérmetru A a změna velikosti a polarity se provádí ručně.

Před záznamem hysterezní smyčky je nutno bez zápisu nastavit polohu pisátka zapisovače tak, aby smyčka ležela uprostřed kreslicí plochy. Po nakreslení hysterezní smyčky se pomocí posuvů pisátka nakreslí směr alespoň jedné osy. Tím je záznam ukončen. Dále doplníme osovou soustavu symetricky vzhledem k nakreslené smyčce. Polohu osy x dostaneme rozpůlením vertikálního rozměru smyčky. Pro maximální hodnotu intenzity magnetického pole H_m bude platit vztah

$$H_m = \frac{N_1 I_m}{l_s} = \frac{N_1 X(H_m) k_{ZX}}{R_N l_s}$$

kde

- N_1 je počet magnetovacích závitů,
- I_m je maximální hodnota magnetovacího proudu [A],
- l_s je délka střední siločáry toroidu [m], pro $\frac{d_1}{d_2} < 1{,}3$ platí $l_s = \pi \frac{d_1+d_2}{2}$
- d_1, d_2 je vnější, resp. vnitřní průměr toroidu [m],
- $X(H_m)$ je x-ová souřadnice vrcholu hysterezní smyčky [cm],
- k_{ZX} je konstanta souřadnicového zapisovače v ose x [V/cm],
- R_N je odpor snímacího rezistoru [Ω].

Protože vzorek není před měřením odmagnetován a z velikosti výstupního napětí integrátoru nelze přímo počítat velikost magnetické indukce vzorku B_m (u integrátoru odpovídá změně výstupního napětí ΔU_2 změna indukce ΔB), je nutno hodnotu B_m určit z grafického záznamu. Změna výstupního napětí odpovídající B_m se určí pomocí vztahu

$$\Delta U_2(B_m) = k_{ZY} Y(B_m)$$

kde k_{ZY} je konstanta zapisovače v ose y [V/cm] a $Y(B_m)$ je y-ová souřadnice vrcholu hysterezní smyčky [cm].

Pro maximální hodnotu magnetické indukce B_m pak platí vztah

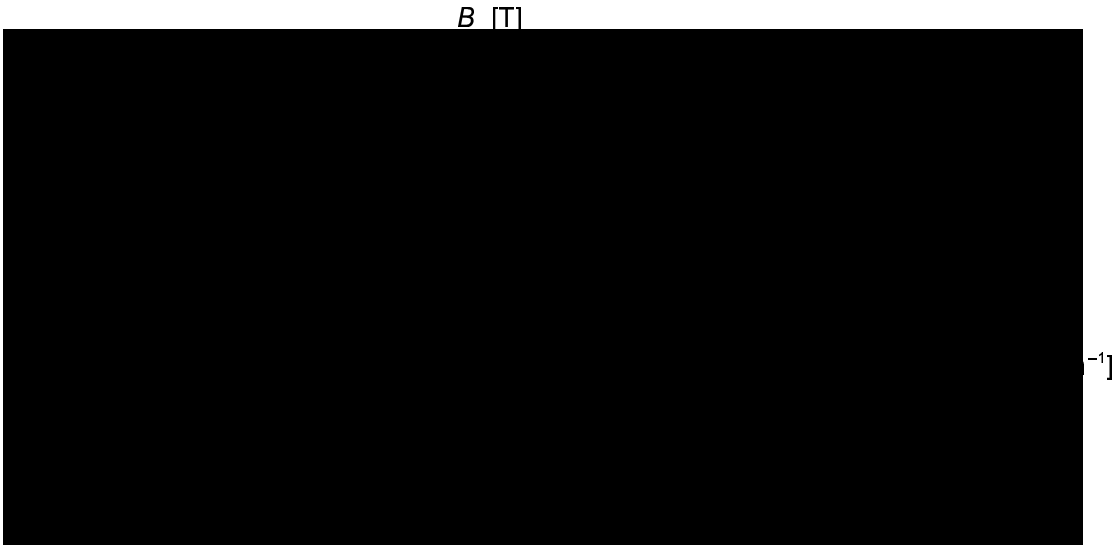
$$B_m = \frac{k_I \Delta U_2(B_m)}{N_2 S_{Fe}} = \frac{k_I k_{ZY} Y(B_m)}{N_2 S_{Fe}}$$

kde

- k_I je konstanta integračního zesilovače [Vs/V],
- $S_{Fe} = \frac{d_1 - d_2}{2} v$ je průřez vzorku [m^2],
- v je výška vzorku [m],
- N_2 je počet závitů snímacího vinutí [–].

Koercitivita H_c a remanence B_r se vypočítají ze předchozích vztahů po dosazení souřadnic $X(H_c)$ a $Y(B_r)$. Nakonec doplníme měřítka os.

20.2. Naměřené a vypočtené hodnoty



- Parametry vzorku
  - Materiál permalloy PY 50
  - Počet závitů magnetizačního vynutí $N_1 = 35$
  - Počet závitů snímacího vynutí $N_2 = 180$
  - Rozměry: $D_1 = 63$ mm, $D_2 = 50$ mm, $v = 20$ mm
  - Průřez vzorku S_{Fe}

$$S_{Fe} = \frac{1}{2}(D_1 - D_2)v = \frac{1}{2} \cdot 0{,}013 \cdot 0{,}020 \text{ m}^2 = 1{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

  - Délka střední siločáry toroidu l_s

$$l_s = \pi \frac{D_1 + D_2}{2} = \pi \frac{0{,}063 + 0{,}050}{2} \text{ m} = 0{,}1775 \text{ m}$$

- Konstanty zapisovače $k_{ZX} = k_{ZY} = 50\ \mathrm{V \cdot cm^{-1}}$
- Maximálmí hodnota magnetovacího proudu $I_m = 500\ \mathrm{mA}$
- Odpor snímacího rezistoru $R_N = 1\ \Omega$
- Konstanta webermetru $k_I = 10^{-1}\ \mathrm{Wb \cdot V^{-1}}$
- Maximální hodnota intenzity magnetického pole H_m pro $X(H_m) = 10{,}84\ \mathrm{cm}$

$$H_m = \frac{N_1 X(H_m) k_{ZX}}{R_N l_s} = \frac{35 \cdot 10{,}84 \cdot 0{,}050}{1 \cdot 0{,}1775}\ \mathrm{A \cdot m^{-1}} = 106{,}87\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$$

- Maximální hodnota magnetické indukce B_m pro $Y(B_m) = 5{,}10\ \mathrm{cm}$

$$B_m = \frac{k_I k_{ZY} Y(B_m)}{N_2 S_{Fe}} = \frac{10^{-1} \cdot 5{,}10 \cdot 0{,}050}{180 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-4}}\ \mathrm{T} = 1{,}09\ \mathrm{T}$$

- Koercivita pro $X(H_c) = 1{,}35\ cm$

$$H_c = \frac{X(H_c)}{X(H_m)} H_m = \frac{1{,}35}{10{,}84} 106{,}87\ \mathrm{A \cdot m^{-1}} = 13{,}31\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$$

- Remanence $Y(B_r) = 4{,}20\ cm$

$$B_r = \frac{X(B_r)}{X(B_m)} H_m = \frac{4{,}20}{5{,}10} 1{,}09\ \mathrm{T} = 0{,}90\ \mathrm{T}$$

20.3. Závěr

Na vzorku magnetovaného materiálu byly z hysterezní smyčky určeny následující hodnoty:

- Maximální hodnota intenzity magnetického pole $H_m = 106{,}87\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$
- Koercivita $H_c = 13{,}31\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$
- Maximální hodnota magnetické indukce $B_m = 1{,}09\ \mathrm{T}$
- Remanence $B_r = 0{,}90\ \mathrm{T}$

Měřítko zapisovače odpovídá ose x pro intenzitu $1\ \mathrm{cm} = 9{,}85\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$ v ose y pro indukci $1\ \mathrm{cm} = 0{,}21\ \mathrm{T}$.