



Úloha č. 6

Určování ztrát magnetika z hysterezní smyčky

1 Zadání úlohy

S pomocí osciloskopu určete velikost magnetických ztrát u předložených vzorků magnetických obvodů tvořených magneticky měkkými materiály s označením Ei60 ($S = 99 \text{ mm}^2$, $N_1 = 200$ a $N_2 = 3900$) a M6X ($S = 105 \text{ mm}^2$, $N_1 = 200$ a $N_2 = 5200$). Nastavení hysterezní smyčky pro oba magnetické obvody doložte nákresy v měřítku (případně fotografiemi displeje osciloskopu s viditelným nastavením měřítka osy v horizontálním a vertikálním směru). Dané magnetické obvody vzájemně porovnejte primárně z hlediska hodnot měrných magnetických ztrát (stanovených na základě provedených měření a výpočtů).

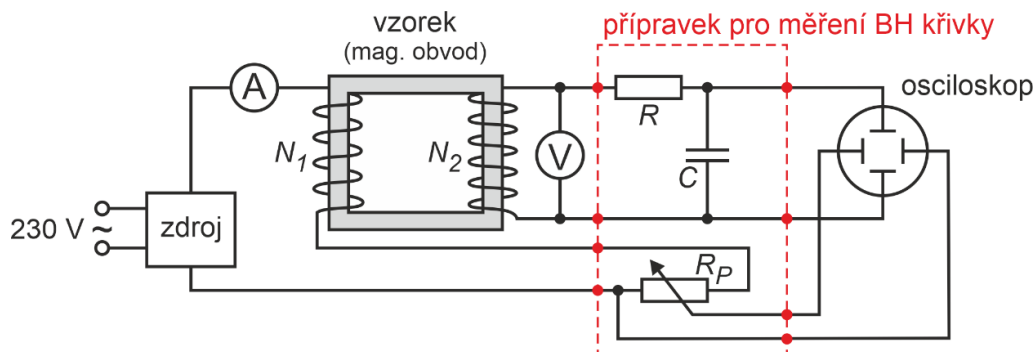
2 Teoretický rozbor problematiky

Vypracujte teoretický rozbor tematiky týkající se magnetických materiálů (především magneticky měkké materiály, magnetické obvody, hysterezní smyčka a magnetické ztráty) v rozsahu **2 normostrany** (1 normostrana = 1800 znaků včetně mezer). V textu **aktivně používejte** citace na použitou odbornou literaturu. Použitou literaturu formátujte v souladu s normou ČSN ISO 690 Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

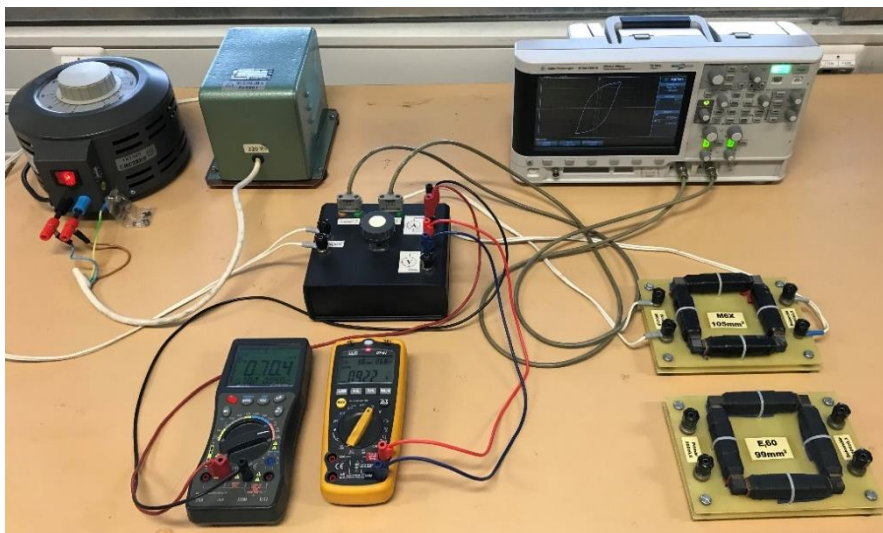
3 Používané přístrojové vybavení a jeho stručný popis

- digitální dvoukanálový osciloskop
- digitální multimetr ve funkci voltmetru
- digitální multimetr ve funkci ampérmetru
- autotransfornátor a oddělovací transformátor (regulovatelný zdroj)
- přípravek pro měření hysterezní smyčky (BH křivky)

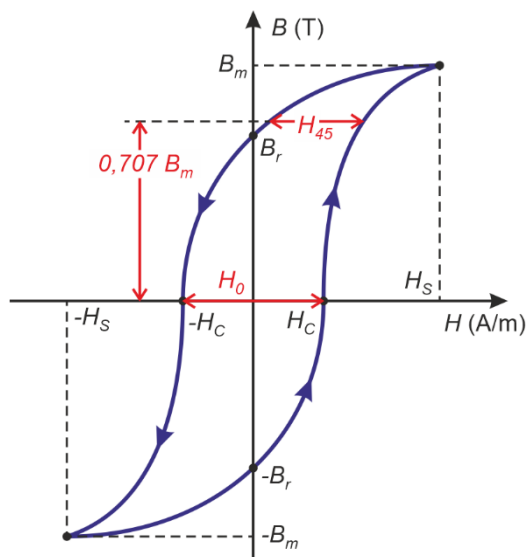
Schéma zapojení



Obr. 1: Schéma zapojení obvodu pro měření hysterezní smyčky (BH křivky) magnetického obvodu.



Obr. 2: Reálné provedení zapojení pro měření magnetických ztrát z hysterezní smyčky.



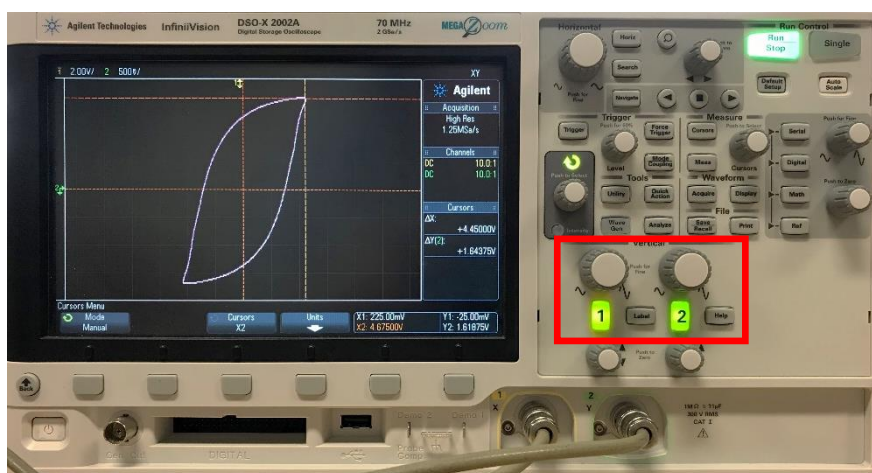
Obr. 3: Příklad hysterezní smyčky (zobrazené na osciloskopu v režimu XY) s vyznačením parametrů potřebných pro výpočet ztrát magnetika.

4 Postup měření

1. Zapojte obvod dle schématu a nechte zapojení zkontrolovat vyučujícím.
2. Po spuštění zkontrolujte, zda máte na multimetrech (voltmetr a ampérmetr) zapnutý střídavý rozsah měření.
3. Osciloskop přepněte do režimu XY (pokud není již nastaveno).



4. Pomocí autotransformátoru dostatečně vybud'te hysterezní smyčku tak, aby bylo možno odečíst její charakteristické parametry (viz Obr. 4).
5. Z multimetrů odečtete hodnotu napětí a proudu pro zobrazenou hysterezní smyčku. Po odečtení napětí a proudu již neupravujte (autotransformátorem a potenciometrem) tvar na osciloskopu zobrazené hysterezní smyčky.
6. Vycentrujte hysterezní smyčku posunem signálu X (kanál 1) a signálu Y (kanál 2).

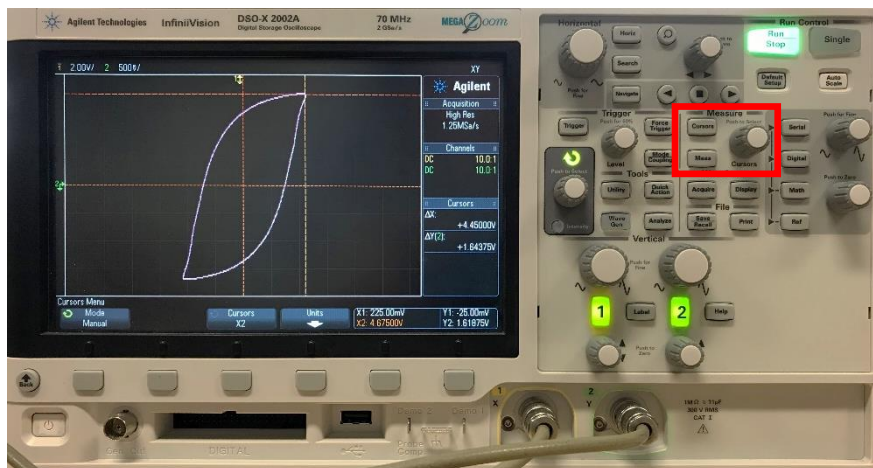


Obr. 4: Čelní panel osciloskopu – centrování hysterezní smyčky pomocí otočných regulátorů v červeném rámečku.

7. Na osciloskopu odečtete charakteristické hodnoty B_m (maximální magnetická indukce), H_S (intenzita nasycení), H_0 (šířka hysterezní smyčky v ose x) a H_{45} . Intenzita magnetického pole H_{45} neodpovídá intenzitě při remanentní indukci (B_r), ale jedná se o intenzitu při magnetické indukci $0,707 \cdot B_m$ (šířka hysterezní smyčky ve vzdálenosti $0,707 \cdot B_m$ od osy x). **Osciloskop zobrazuje zmiňované hodnoty jako napětí daného kanálu osciloskopu.** Tyto hodnoty je nutné pro výpočet ztrát přepočítat.
Aby bylo možné přepočítat hodnoty napětí z osciloskopu na hodnoty veličin magnetického pole (H a B), je třeba nejprve ocejchovat osciloskop pomocí rovnic (1) a (2). Napětí a proud máte změřené pomocí voltmetru a ampérmetru. Ze vztahů vyjádřete a vypočtete hodnoty B_m a H_S .



8. Pro odečet charakteristických hodnot využijte otočný regulátor *Measure*, který umožňuje nastavování kurzorů (X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2). Stiskem otočného regulátoru je možné vybírat mezi jednotlivými kurzory.



Obr. 5: Čelní panel osciloskopu – nastavování kurzorů otočným regulátorem v červeném rámečku.

- Z osciloskopu odečítáte hodnoty napětí U_X (ΔX) a U_Y (ΔY) pro příslušné body hysterezní smyčky pomocí měřicích kurzorů. Jedná se o napětí na kanálech 1 a 2 osciloskopu. Hodnoty magnetického pole získáte jako poměr napětí ve sledovaném bodě smyčky a napětí, které odpovídá maximu dané veličiny (viz kalibrační vztahy).
9. Měrné ztráty vypočítejte pomocí vztahu (4). Další hodnoty nutné pro výpočet jsou délka střední siločáry $l_s = 360$ mm (délka magnetického obvodu vedená jeho středem) a hustota materiálu ρ , která je pro Ei60 7750 kg·m⁻³ a pro M6X 7650 kg·m⁻³.
10. Porovnejte předložené magnetické obvody (materiály, z kterých jsou zhotoveny).

Nezapomeňte si poznamenat parametry prostředí!

- Teplota (°C):
- Vlhkost (%RH):
- Tlak (mbar nebo kPa):



5 Vztahy nutné k výpočtům

Vztah pro výpočet maximální magnetické indukce B_m

$$U = 4,44 \cdot f \cdot S \cdot N_2 \cdot B_m \text{ (V)} \rightarrow B_m = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot S \cdot N_2} \text{ (T)}, \quad (1)$$

kde U (V) je napájecí napětí, f (Hz) je frekvence střídavého pole ($f = 50$ Hz), S (m²) je plocha průřezu magnetického obvodu, N_2 (-) je počet závitů sekundárního vinutí a B_m (T) je maximální magnetická indukce.

Vztah pro výpočet intenzity nasycení magnetického obvodu H_s

$$I = \frac{H_s \cdot l_s}{N_1} \text{ (A)} \rightarrow H_s = \frac{I \cdot N_1}{l_s} \text{ (A} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}, \quad (2)$$

kde I (A) je napájecí proud, H_s (A · m⁻¹) je intenzita nasycení, N_1 (-) je počet závitů primárního vinutí a l_s (m) je délka střední siločáry magnetického obvodu.

Kalibrační vztahy (přepočet napětí měřených pomocí osciloskopu)

$$\frac{U_X}{U_{Xmax}} = \frac{H}{H_s} \text{ a } \frac{U_Y}{U_{Ymax}} = \frac{B}{B_m}, \quad (3)$$

kde H je hodnota intenzity magnetického pole odpovídající libovolnému napětí U_X změřeného na osciloskopu ve směru osy x a B je hodnota magnetické indukce odpovídající libovolnému napětí U_Y změřeného na osciloskopu ve směru osy y .

Vztah pro výpočet magnetických ztrát p

$$p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{f}{\rho} \cdot (H_0 + \sqrt{2} \cdot H_{45}) \cdot B_m \text{ (W} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}, \quad (4)$$

kde ρ (kg · m⁻³) je hustota magnetika, H_0 a H_{45} jsou hodnoty intenzity magnetického pole získané z hysterezní smyčky s využitím kalibračních vztahů.