

MĚŘENÍ HYSTEREZNÍ SMYČKY

Jména: Jiří Paar, Zdeněk Nepraš

Datum: 23.12.2007

Pracovní skupina: 4

Úkol

1. Určete počet závitů primáru a sekundáru transformátoru
2. Vypočítejte z rozměrů jádra transformátoru efektivní průřez jádra a střední délku siločáry v jádře
3. Vypočtete sekundární napětí odpovídající vybuzení magnetické indukce B_{\max} 0,5 T, 1,0 T a 1,5 T.
4. Změřte remanentní indukci a koercitivní sílu pro jednotlivé B_{\max} .

Určení počtu závitů primáru a sekundáru

Měřený transformátor připojte k regulačnímu transformátoru. Využijte odbočky 231 V. Nastavte napětí transformátoru na cca 100 V a pomocí číslicového multimetru změřte indukované napětí na sekundáru (použijte odbočku 13,8 V) a napětí na pomocných závitech $N_p = 10$ z. Z následujících vztahu vypočítejte počet závitů primáru N_1 a sekundáru N_2 .

$$N_1 = N_p \frac{U_1}{U_p}$$

$$N_2 = N_p \frac{U_2}{U_p}$$

Tabulka 1 Naměřené hodnoty

U_1 [V]	U_2 [V]	U_p [V]	N_1 [z]	N_2 [z]
103	6,55	2,52	409	26

$$N_1 = N_p \cdot \frac{U_1}{U_p} = 10 \cdot \frac{103}{2,52} = 408,73$$

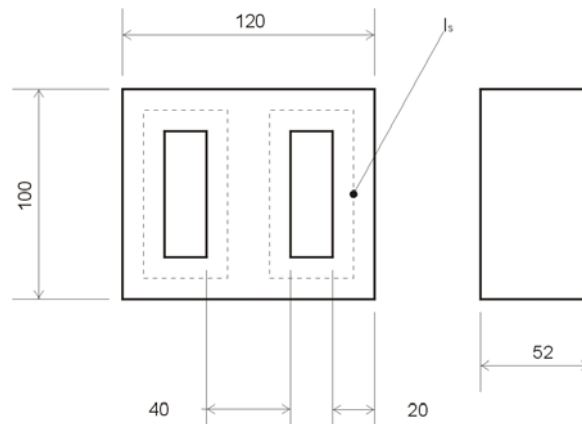
$$N_2 = N_p \cdot \frac{U_2}{U_p} = 10 \cdot \frac{6,55}{2,52} = 25,99$$

Stanovení efektivního průřezu jádra a střední délky siločáry

Dle rozměrů jádra (viz obr. 1) vypočtete efektivní průřez jádra a střední délku siločáry. V případě tohoto typu transformátoru (plášťový typ) mají krajní sloupky poloviční průřez jak střední sloupek. Pro výpočet efektivního průřezu lze uvažovat průřez středního sloupku. Jelikož jádro je sestaveno z plechů, mezi kterými je vložena izolace (z důvodu omezení výřivých proudů) je nutné vypočtený geometrický průřez násobit koeficientem plnění $k_p \approx 0,9$.

$$S_{Fe} = 40 \cdot 52 \cdot 0,9 = 1872 \text{ mm}^2 = 1,872 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$l_s = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 80 = 240 \text{ mm} = 0,24 \text{ m}$$



Obr. 1 Geometrické rozměry jádra měřeného transformátoru

Výpočet sekundárního napětí odpovídajícího buďcí magnetické indukci

Sekundární indukované napětí odpovídá následujícímu známému vztahu. Vypočtete sekundární napětí odpovídající maximální magnetické indukci $B_{\max} = 0,5 \text{ T}$, $1,0 \text{ T}$ a $1,5 \text{ T}$.

$$U_2 = 4,44 B_{\max} S_{Fe} N_2 f$$

Tabulka 2 Vypočtené hodnoty sekundárních napětí

$B_{\max} [\text{T}]$	0,5	1,0	1,5
$U_2 [\text{V}]$	5,4	10,8	16,2

$$B_{\max} = 0,5 \text{ T} : U_2 = 4,44 \cdot 0,5 \cdot 1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 26 \cdot 50 = 5,4 \text{ V}$$

$$B_{\max} = 1,0 \text{ T} : U_2 = 4,44 \cdot 1 \cdot 1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 26 \cdot 50 = 10,8 \text{ V}$$

$$B_{\max} = 1,5 \text{ T} : U_2 = 4,44 \cdot 1,5 \cdot 1,872 \cdot 10^{-3} \cdot 26 \cdot 50 = 16,2 \text{ V}$$

Měření hysterezní smyčky

Hysterezní smyčka je závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole, kterým je buzeno magnetické jádro např. jádro transformátoru. Intenzita magnetického pole je přímo úměrná proudu tekoucímu do primáru transformátoru. Indukované napětí je přímo úměrné derivaci magnetické indukce v jádře transformátoru. Pokud na výstup transformátoru připojíme integrační článek, jeho výstupem bude průběh odpovídající průběhu magnetické indukce v jádře transformátoru. Hysterezní smyčku pak lze snadno zobrazit pomocí osciloskopu, pokud snímáme vstupní proud transformátoru a výstupní integrované napětí (osciloskop pracuje v režimu X-Y).

Obvod zapojte dle schématu na obr. 2. Pro snímání proudu použijte proudovou sondu LEM (převod $1 \text{ V} \approx 1 \text{ A}$). Integrační RC článek sestavte na kontaktním poli. Pro výpočet potřebných veličin využijte následujících vztahů:

$$H_{max} = I_{max} \frac{N_1}{l_s}$$

$$I_{max} = \frac{U_{pp}}{2}$$

$$\mu_r = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}$$

Z osciloskopu odečtete úseky a , b , c , d viz obr. 3. Dle následujících vztahů vypočtete remanentní indukci a koercoitivní sílu.

$$H_k = \frac{a}{b} H_{max}$$

$$B_r = \frac{c}{d} B_{max}$$

Tabulka 3 Naměřené a vypočtené hodnoty

B_{max} [T]	U_2 [V]	I_{max} [mA]	H_{max} [Am^{-1}]	B_r [T]	H_k [Am^{-1}]	μ_r [-]
0,5	5,4	105	178,94	0,186	55,696	2223,60
1,0	10,8	290	494,21	0,316	77,308	1610,20
1,5	16,2	700	1192,92	0,375	102,250	1000,62

$$B_{max} = 0,5T :$$

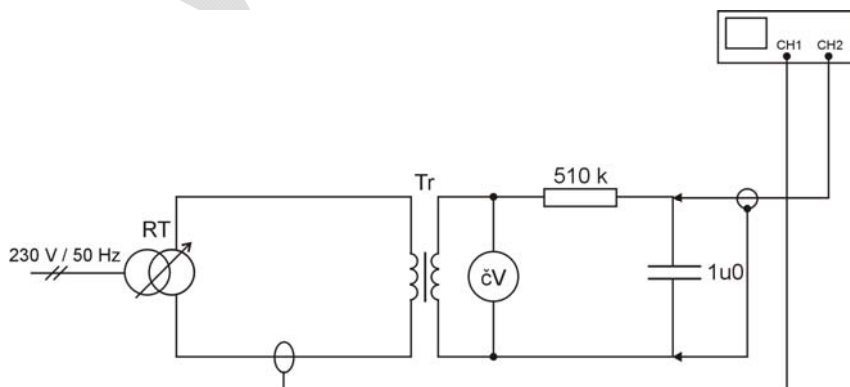
$$I_{max} = \frac{0,21}{2} = 0,105A = 105mA$$

$$H_{max} = 0,105 \cdot \frac{409}{0,24} = 178,938Am^{-1}$$

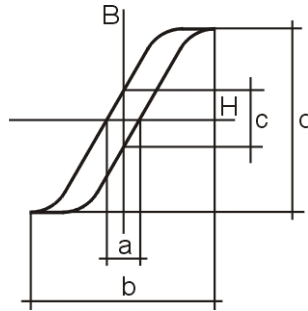
$$B_r = \frac{1,9}{5,1} \cdot 0,5 = 0,186T$$

$$H_k = \frac{1,3}{4,2} \cdot 178,94 = 55,696Am^{-1}$$

$$\mu_r = \frac{0,5}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 178,938} = 2223,604$$



Obr. 2 Zapojení pro měření hysterezní smyčky, RT – regulační transformátor, Tr – měřený transformátor, čV – číslicový voltmetr



Obr. 3 Odečet remanentní indukce a koercitivní síly z hysterezní smyčky

Použité přístroje

Označení ve schématu	Typ	Rozsah přístroje	Třída přesnosti	Systém	Inv. číslo
čV	MS8205F	–	–	digitální	20051025609
čV	MS8205F	–	–	digitální	20051025619
RT	AC250K1D	0-250V, 1,2A	–	digitální	1-154936
OSC	TDS1002B	–	–	digitální	C030936

Závěr

Z tabulky naměřených a vypočtených hodnot je patrné, že se zvyšujícím napětím na primárním vinutí transformátoru se zvyšuje i výstupní napětí na sekundární cívice. Zároveň se zvyšuje proud I_{\max} v primární cívice. Se zvyšujícím se proudem zároveň vzrůstá i intenzita magnetického pole H_{\max} v jádře transformátoru.

Následnými výpočty bylo dále zjištěno, že se remanentní indukce i koercitivní síla zvyšuje se vzrůstajícím proudem. Vypočtená relativní permitivita μ_r materiálu jádra se jako jediná naměřená a vypočtená hodnota snižovala. Z její velikosti lze usuzovat, že jádro transformátoru je tvořeno feromagnetickým materiálem.