

11. MAGNETICKÁ MĚŘENÍ

11a. ZOBRAZENÍ HYSTEREZNÍ SMYČKY A MĚŘENÍ AMPLITUDOVÉ PERMEABILITY

11a.1. Úvod

Ztráty ve feromagnetiku při střídavém magnetování jsou přímo úměrné ploše hysterezní smyčky. Hledisko ztrát je velmi významné nejen u distribučních transformátorů velkých výkonů, kde každá desetina procenta zlepšení účinnosti přináší velké ekonomické úspory, ale i v pulsních zdrojích měřicích přístrojů a počítačů (ohřev jádra). Tvar hysterezní smyčky má zásadní vliv i na parametry senzorů, které obsahují jádro z magnetického materiálu (senzory proudu, senzory magnetické indukce). Totéž platí o amplitudové permeabilitě. Hysterezní smyčku lze snadno zobrazit na osciloskopu a z indukovaného napětí na sekundárním vinutí vzorku a digitalizovaného průběhu magnetovacího proudu stanovit maximální hodnoty magnetické indukce a intenzity magnetického pole (viz přednáška 11).

11a.2. Domácí příprava

11.2.1. Prostudujte si teoretický úvod.

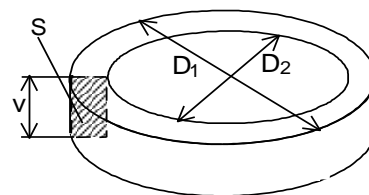
11.2.2. Z Faradayova zákona odvoďte vztah pro výpočet maximální hodnoty magnetické indukce z napětí indukovaného v cívice.

11.2.3. Vypočítejte hodnoty indukovaného napětí pro hodnoty magnetické indukce z bodu 11.3.3.

Parametry vzorku:

počty závitů: $N_1 = 35$ závitů, $N_2 = 60$ závitů

rozměry: $D_1 = 80$ mm, $D_2 = 45$ mm, $v = 25$ mm



11a.3. Úkol měření

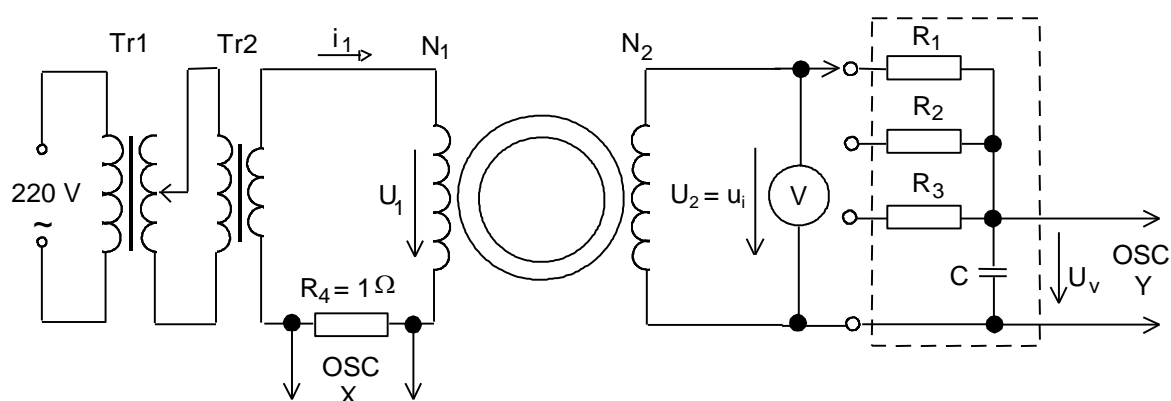
11.3.1. V zapojení na obr. 11.1 zobrazte na osciloskopu dynamickou hysterezní smyčku prstencového vzorku magneticky měkkého materiálu při napěťovém magnetování (sinusovém průběhu B). Smyčka je zadána maximální hodnotou magnetické indukce $B_m = 1,7$ T (odpovídající indukované napětí vypočítejte dle bodu 11.2.3.). Pozorujte vliv velikosti integrační konstanty použitého pasivního integračního RC članku na tvar smyčky a pro další měření rozhodněte, který z rezistorů R_1 , R_2 , R_3 v integračním članku je vhodné použít.

Parametry RC članku: $C = 470$ nF, $R_1 = 40$ k Ω , $R_2 = 120$ k Ω , $R_3 = 350$ k Ω

11.3.2. Z naměřených hodnot I_{1m} a zadaných parametrů vzorku určete maximální hodnotu intenzity magnetického pole H_m . Dále pomocí osciloskopu zjistěte hodnotu remanence B_r a koercitivitu H_c (pouze pro magnetickou indukci $B_m = 1,7$ T).

11.3.3. Změřte závislost amplitudové permeability μ_a na maximální hodnotě magnetické indukce pro hodnoty $B_m = 0,5; 0,9; 1,3; 1,7$ T a závislost vynesete do grafu.

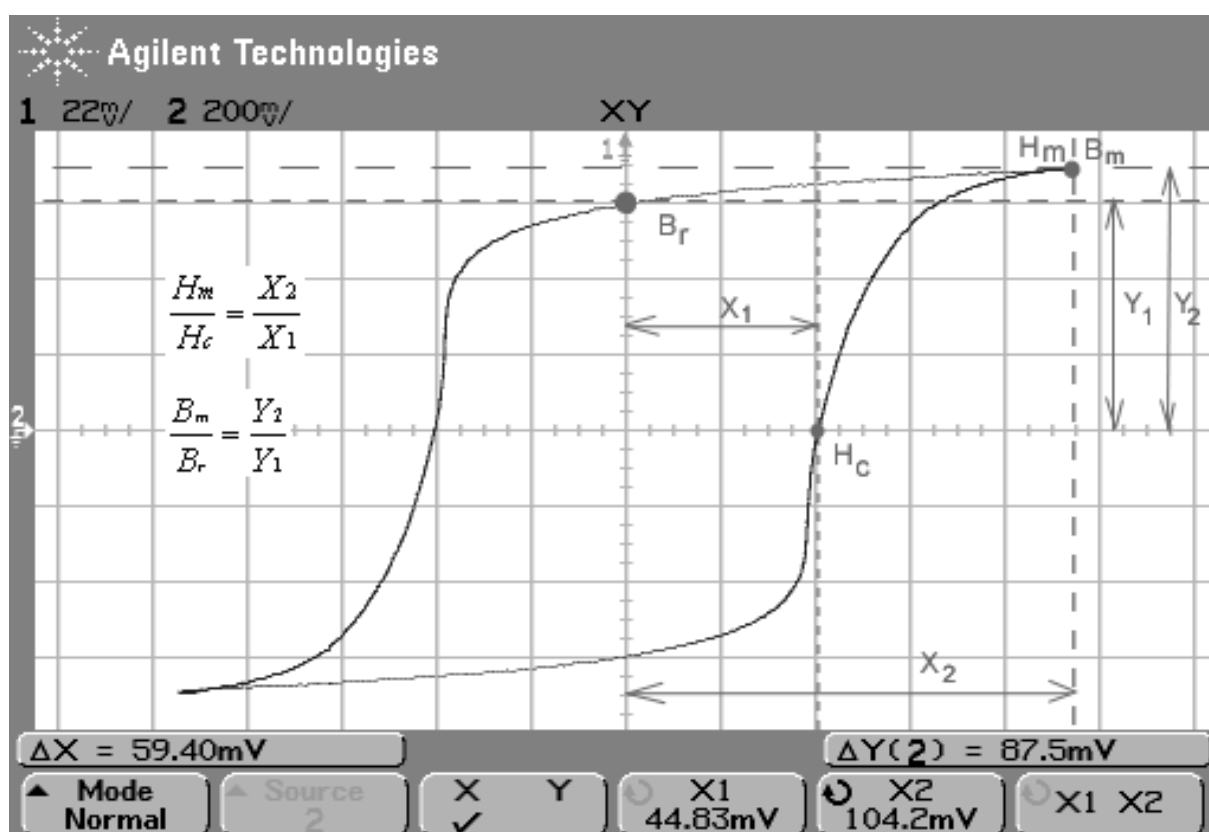
11a.4. Schéma zapojení



Obr. 11a.2. Schéma zapojení pro měření amplitudové permeability a zobrazení dynamické hysterezní smyčky na osciloskopu

11a.5. Poznámky k měření

11.5.1. Hodnotu remanence B_r a koercitivity H_c (pouze pro magnetickou indukci $B_m = 1,7$ T) zjistíte pomocí osciloskopu, viz obr. 11.3. Maximální hodnoty magnetovacího proudu I_{1m} se zjišťují měřením úbytku napětí na snímacím rezistoru R_4 osciloskopem.



Obr. 11a.3. Princip výpočtu hodnoty H_c a B_r s použitím kurzorů v režimu XY

11b. MĚŘENÍ ROZPTYLOVÉHO MAGNETICKÉHO POLE TRANSFORMÁTORU

11b.1. Úvod

Důležitou magnetickou veličinou, kterou je brát v úvahu, je velikost rušivých magnetických polí např. v blízkosti transformátorů v napájecích zdrojích. „Klasický“ síťový transformátor je běžně používanou součástí síťových zdrojů. Protože neexistuje dokonalý magnetický materiál (relativní permeabilita jádra je maximálně v desítkách tisíc a vzduch má relativní permeabilitu 1), magnetický tok se neuzavírá pouze jádrem a vždy existuje rozptylové magnetické pole. Pokud tento fakt nezohledníme při konstrukci elektronického zařízení s transformátorem a do oblasti rozptylového pole umístíme třeba desku plošného spoje, bude se do smyček vodičů na spoji indukovat rušivé napětí 50 Hz (tzv. brum). Pro měření intenzity magnetického pole se běžně používá vzduchová cívka a voltmetrem, který umožňuje měřit usměrněnou střední hodnotu, se měří indukované napětí. Podmínkou ale je, že vlastní rezonanční kmitočet cívky je řádově vyšší, než nejvyšší harmonická složka rušivého pole.

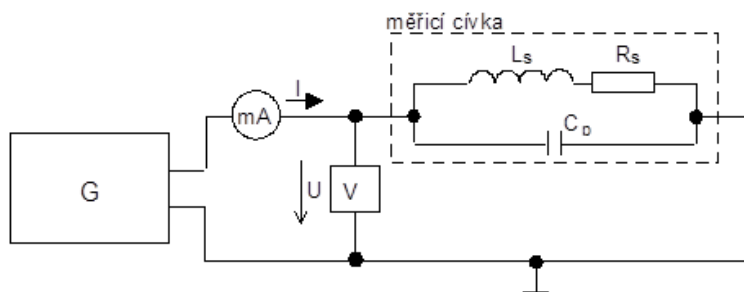
11b.2. Domácí příprava

- 11b.2.1. Jaký senzor je vhodný pro měření maximální hodnoty indukce střídavého magnetického pole?
- 11b.2.2. Jaká hodnota výstupního napětí u tohoto senzoru (střední, efektivní nebo maximální) odpovídá maximální hodnotě magnetické indukce?

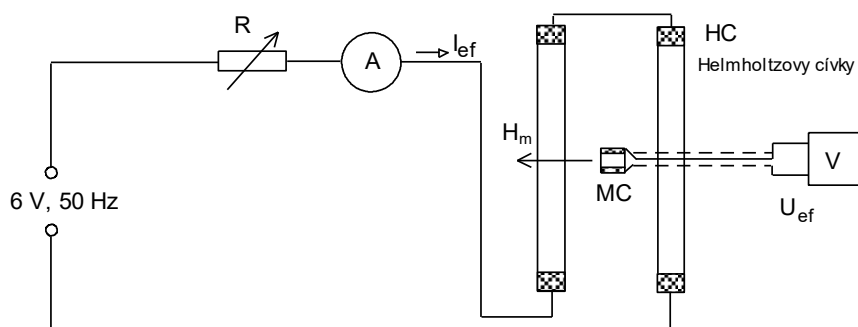
11b.3. Úkol měření

- 11b.3.1. Měřením zjistíte hodnotu vlastního rezonančního kmitočtu f_r cívky, např. měřením v zapojení podle obr. 11b.2 a určete parametry náhradního schématu cívky (viz poznámky). Určete konstantu měřicí cívky K_{CH} .
- 11b.3.2. V okolí měřeného transformátoru najděte místo, kde je jeho rozptylové pole maximální. Měření proveďte ve všech třech rovinách.

11b.4. Schéma zapojení



Obr. 11b.1. Obvod pro stanovení vlastní rezonance měřicí cívky



Obr. 11b.2. Obvod pro stanovení konstanty měřicí cívky

11b.5. Poznámky k měření

Hodnotu vlastního rezonančního kmitočtu f_r cívky, lze zjistit měřením v zapojení podle obr. 11b.1. Odpor vinutí cívky R_s ($k\Omega$) lze určit libovolnou stejnosměrnou metodou a je na měřicí cívice udán. Celkovou impedanci cívky změříme např. Ohmovou metodou. Obvod je napájen ze zdroje konstantního napětí U . Při rezonančním kmitočtu f_r , kdy je impedance cívky maximální, je proud I minimální. Platí

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_p}}$$

Kapacita C_p je fiktivní a nahrazuje účinek jednotlivých mezizávitových kapacit. Náhradní obvod dobře vyhovuje pro nejnižší rezonanční kmitočet, kapacita C_p je zde tvořena hlavně kapacitou kabelu. Impedanci měřicí cívky měříme při $f_m = 0,1 f_r$, kdy je vliv C_p zanedbatelný. Pro impedanci při kmitočtu f_m platí

$$Z_m = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R_s^2 + \omega_m^2 L_s^2}, \quad L_s = \frac{1}{\omega_m} \sqrt{Z_m^2 - R_s^2}$$

kde U_m je napětí měřené při kmitočtu f_m , I_m je proud měřený při kmitočtu f_m . Hodnotu C_p vypočteme z výše uvedeného vztahu pro rezonanční kmitočet, kde známe změřený rezonanční kmitočet f_m a indukčnost L_s .

Pro určení intenzity magnetického pole z indukovaného napětí určíme měřením ve známém poli Helmholtzových cívek v zapojení podle obr. 11b.2. Předpokládejme, že magnetické pole cívek má stejnou frekvenci (50 Hz) a stejný průběh (harmonický) jako rozptylové pole transformátoru. Pak platí pro maximální hodnotu měřeného rozptylového magnetického pole $H_{max,RP}$ platí:

$$\frac{U_{ef,PR}}{H_{max,RP}} = \frac{U_{ef,HC}}{\sqrt{2} I_{ef} K_{HZ}}$$

$$H_{max,RP} = \sqrt{2} I_{ef} K_{HZ} \frac{U_{ef,RP}}{U_{ef,HC}}$$

kde K_{HZ} - konstanta Helmholtzových cívek (m^{-1}),
 I_{ef} - proud Helmholtzových cívek (A),
 $U_{ef,HC}$ - napětí indukované v měřicí cívice v poli Helmholtzových cívek (V).
 $U_{ef,RP}$ - napětí indukované v měřicí cívice při měření rozptylového pole (V).