

Měření rozptylového magnetického pole transformátoru

Jakub Dvořák

2.11.2020



**FACULTY OF
ELECTRICAL ENGINEERING**

17b. Měření rozptylového magnetického pole transformátoru

Úkol měření

1. Určete potřebné parametry měřicí cívky: konstantu K_{CH} , vlastní rezonanční úhlový kmitočet ω_r a hodnoty prvků L_s a C_p paralelního náhradního schématu.
2. Změřte rozptylové magnetické pole transformátoru. Měření proveďte ve vodorovné rovině procházející středním sloupkem transformátoru (viz obr. 4).
3. Z výsledků měření určete, v jaké vzdálenosti lze pole transformátoru považovat za pole dipólového charakteru.

Schéma zapojení - viz obr. 2 a 3

Poznámky k měření

Pro periodické průběhy s jedním průchodem nulou během periody, lze magnetickou indukci vypočítat ze vztahu

$$B_m = \frac{U_s}{4f S N} \quad (1)$$

kde B_m je maximální hodnota složky měřené indukce $B(t)$ (T),
 U_s aritmetická střední hodnota napětí $U(t)$ (po dvoucestném usměrnění) indukovaného v měřicí cívce (V),
 f kmitočet základní harmonické měřeného napětí (Hz),
 N počet závitů měřicí cívky,
 S plocha průřezu měřicí cívky (m^2).

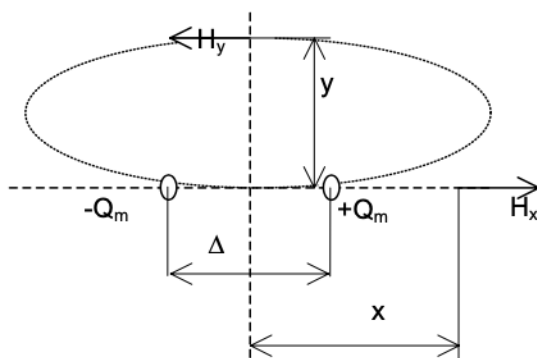
Maximální hodnotu intenzity magnetického pole H_m vypočítáme ze vztahu

$$H_m = \frac{B_m}{\mu_0} \quad (A \cdot m^{-1}; T, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H \cdot m^{-1}) \quad (2)$$

Budeme-li napětí indukované v měřicí cívce měřit voltmetrem udávajícím hodnotu U_{ef} získanou měřením střední hodnoty U_s po dvoucestném usměrnění a násobením činitelem tvaru 1,11 pro sinusový průběh, můžeme hodnotu U_s získat vydělením údaje přístroje 1,11. (Pozor, pro neharmonický průběh neodpovídá údaj efektivní hodnotě).

Měřený objekt

V některých případech lze zdroj magnetického pole, jehož siločáry se uzavírají převážně vzduchem, přibližně nahradit polem magnetického dipólu (viz obr. 1).



Obr. 1 Souřadnicový systém pro měření dipólového pole v rovině xy

Za předpokladu, že $\Delta \ll x$ resp. y , lze intenzitu magnetického pole v rovině xy na osách x a y vyjádřit vztahy

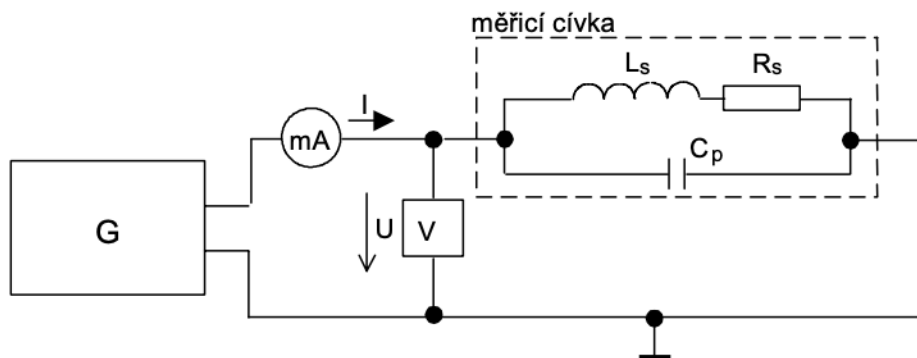
$$H_x = \frac{m_C}{2\pi\mu_0 x^3}, \quad H_y = \frac{m_C}{4\pi\mu_0 y^3} \quad (3)$$

kde m_C je Coulombův magnetický moment ($\text{Wb} \cdot \text{m} = \text{T} \cdot \text{m}^3$),
 μ_0 je magnetická konstanta (permeabilita vakua) $= 4\pi \cdot 10^{-7} (\text{H} \cdot \text{m}^{-1})$,
 x, y jsou vzdálenosti měřených bodů od středu dipólu (m).

Lze-li měřením složek H_x a H_y dokázat, že v určité vzdálenosti od měřeného objektu má magnetické pole dipólový charakter, je v této oblasti zcela určeno hodnotou m_C .

Určení parametrů měřicí cívky

Odpor vinutí cívky $R_s =$ k Ω (lze určit libovolnou stejnosměrnou metodou). Celkovou impedanci cívky změříme např. Ohmovou metodou. Předem musíme ale znát hodnotu vlastního rezonančního kmitočtu f_r cívky, který zjistíme např. měřením v zapojení podle obr. 2.



Obr. 2 Obvod pro stanovení vlastního rezonančního kmitočtu

Obvod je napájen ze zdroje konstantního napětí U . Při rezonančním kmitočtu f_r , kdy je impedance cívky maximální, je proud I minimální. Platí

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_p}} \quad (4)$$

Poznámka: 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

$$Z_m = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R_s^2 + \omega_m^2 L_s^2}, \quad L_s = \frac{1}{\omega_m} \sqrt{Z_m^2 - R_s^2} \quad (5)$$

kde U_m je napětí měřené při kmitočtu f_m ,

I_m je proud měřený při kmitočtu f_m .

Hodnotu C_p vypočteme ze vztahu (4), kde známe změřený rezonanční kmitočet f_r a indukčnost L_s .

Určení konstanty měřicí cívky

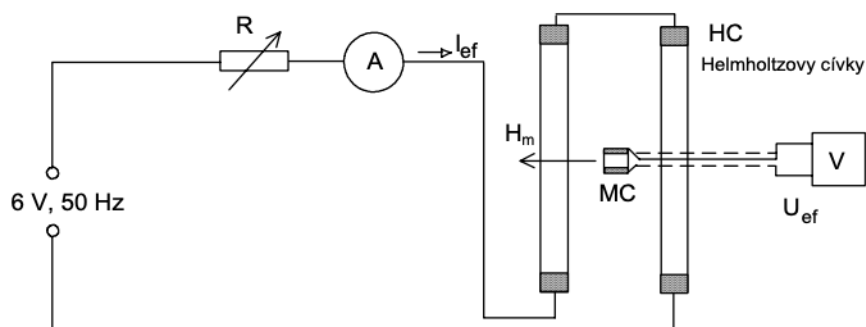
Konstantu K_{CH} měřicí cívky určíme ve známém poli Helmholtzových cívek v zapojení podle obr. 3. Protože magnetické pole cívek má stejnou frekvenci (50 Hz) a stejný průběh (harmonický) jako rozptylové pole transformátoru, platí

$$K_{CH} = \frac{H_{\max}}{U_{ef}} = \frac{\sqrt{2} I_{ef} K_{HZ}}{U_{ef}} \quad (6)$$

kde K_{HZ} - konstanta Helmholtzových cívek (m^{-1}),

I_{ef} - proud Helmholtzových cívek (A),

U_{ef} - napětí indukované v měřicí cívkce (V).



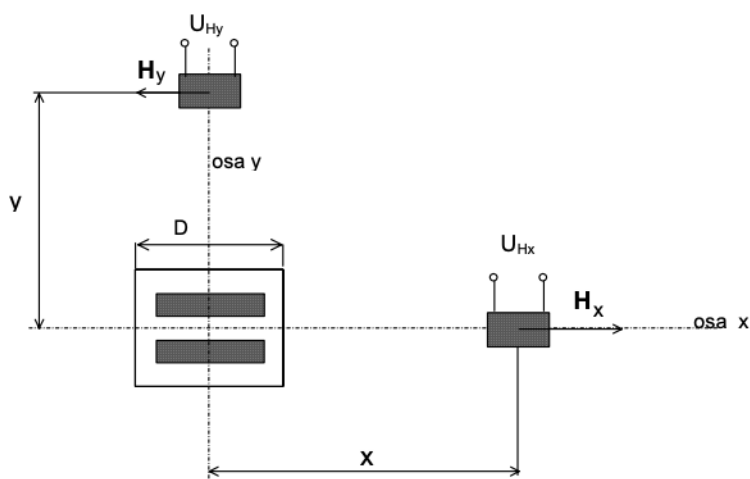
Obr. 3 Obvod pro stanovení konstanty měřicí cívky

Měření intenzity rozptylového pole transformátoru

Měření rozptylového magnetického pole transformátoru provedeme v uspořádání dle obr. 4.

V několika vzdálenostech na osách x a y od středu transformátoru změříme napětí indukovaná v měřicí cívce a s využitím vztahu (6) vypočteme hodnoty intenzity $H_{x\max} = K_{CH} \cdot U_{Hx} = f(x)$ a $H_{y\max} = K_{CH} \cdot U_{Hy} = f(y)$.

Z naměřených hodnot vypočteme podle (3) m_C a zjistíme, v jakých vzdálenostech měřené pole odpovídá poli dipólového charakteru ($m_C = \text{konst}$).



Obr. 4 Umístění sondy pro měření rozptylového pole

Poznámka: Před měřením je nutno při vypnutém napájení transformátoru pro každou polohu měřicí cívky zkontrolovat napětí vyvolané rušivým magnetickým, resp. elektrickým polem. Jeho hodnota musí být zanedbatelná vzhledem k napětí indukovanému rozptylovým polem transformátoru.

1 Teoretický úvod

Intenzita magnetického pole transformátoru je nejjednodušší měřit pomocí cívky se vzduchovým jádrem. Jedná-li se o periodické průběhy s jedním průchodem nulou, můžeme magnetické pole spočítat jako

$$B_m = \frac{U_{SAR}}{4 f S N}. \quad (1)$$

Hodnoty intenzity magnetického pole H_m vypočteme jako

$$H_m = \frac{M_m}{\mu_m}. \quad (2)$$

2 Naměřené hodnoty

Resonance	
4060	kHz
Pracovní frece	
f=400 Hz	
0,475	mA
5,4	V
Z = 11,36 kΩ	

U=48 V 50 Hz		
D (cm)	U _x (mV)	U _y (mV)
10	227	178
15	81,7	54,7
20	37,86	24
25	20,9	13
30	12,9	–
35	8,84	–

3 Zpracování naměřených hodnot

Impedanci cívky spočteme jako

$$Z_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{5,4}{0,475} = 11,36 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

Indukčnost poté jako

$$L_s = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_m^2 - R_s^2} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z_m^2 - R_s^2} = 3,15 \text{ H}. \quad (4)$$

Parazitní kapacitu lze spočítat jako

$$C_p = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L_s} = 50 \text{ nF.} \quad (5)$$

Konstanta měřené cívky je $K_{hz}=276 \text{ m}^{-1}$. $I_{ef} = 1 \text{ A}$, $U_{ef} = 0,74 \text{ V}$.

$$K_{CH} = \frac{H_{max}}{U_{ef}} = \frac{271}{0,74} = 518 \text{ Am}^{-1}\text{V}^{-1} \quad (6)$$

Vypočtená H_x a H_y jsou v tabulce níže

U=48 V 50 Hz		
D (cm)	Hx (A/m)	Hy (A/m)
10	117,36	92,03
15	42,24	28,28
20	19,57	12,41
25	10,81	6,72
30	6,67	–
35	4,57	–

4 Závěrečné vyhodnocení

Naměřili jsme rozptylové pole cívky a ověřili, že platí vzorec popsán v úvodu. Rozptylové pole skutečně klesá se třetí mocninou vzdálenosti, což jsme ověřili měřicí cívkou, u které jsme zjistili parametry.

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použitých internetových zdrojů

[1] Návod k laboratorní úloze