# 11b. Měření rozptylového magnetického pole transformátoru

### 11b.1. Úvod

"Klasický" síťový transformátor – transformátor s jádrem skládaným z plechů – 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).

### 11b.2. Domácí příprava

$$B_m = \frac{U_s}{4fSN} = \frac{U_{ef}}{4.44fSN} [T] \qquad H_m = \frac{B_m}{\mu_0} [A m^{-1}]$$

 $B_m$  maximální hodnota složky měřené indukce kolmé k ploše  $S; U_s$  aritmetická střední hodnota napětí (po dvoucestném usměrnění);  $U_{ef}$  efektivní hodnota napětí (pro harmonický průběh B); f kmitočet základní harmonické měřeného napětí; S plocha průřezu měřící cívky; N počet závitů měřící cívky;  $H_m$  maximální hodnota intenzity magnetického pole;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  [H m<sup>-1</sup>]

**11b.2.1.** Jaký senzor je vhodný pro měření maximální hodnoty indukce střídavého magnetického pole?

magnetoelektrickým voltmetrem (dvoucestným usměrněním měří střední aritmetickou hodnotu napětí) s vhodným frekvenčním rozsahem (vyhovuje frekvenčnímu spektru signálu) a dostatečně velkým vstupním odporem (aby nebzla zatížena měřící cívka)

11b.2.2. Jaká hodnota výstupního napětí u tohoto senzoru (střední, efektivní nebo maximální) odpovídá maximální hodnotě magnetické indukce?

střední aritmetická hodnota (efektivní hodnotu převádíme na střední)

## 11b.3. Úkol měření

- 11b.3.1. Určete konstantu měřicí cívky  $K_{CH}$ .
- 11b.3.2. Změřte intenzitu rozptylového magnetické pole transformátoru. Měření proveď te ve vodorovné rovině procházející středním sloupkem transformátoru (viz obr. 11b.3).

Poznámky k měření

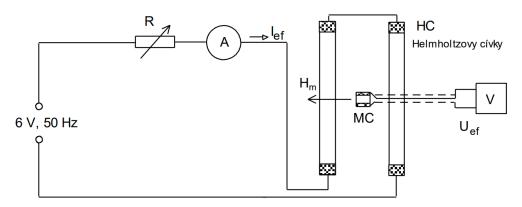
Konstantu  $K_{CH}$  měřicí cívky určíme ve známém poli Helmholtzových cívek v zapojení podle obr. 11b.1. Předpokládejme, že magnetické pole cívek má stejnou frekvenci (50 Hz) a stejný průběh (harmonický) jako rozptylové pole transformátoru. Pak platí

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

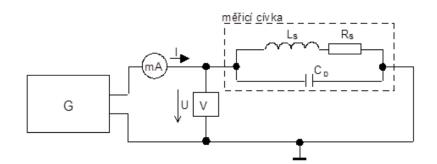
kde  $K_{HZ}$  - konstanta Helmholtzových cívek (m<sup>-1</sup>),  $I_{ef}$  - proud Helmholzových cívek (A),  $U_{ef}$  - napětí indukované v měřicí cívce (V).

Předem musíme ale znát hodnotu vlastního rezonančního kmitočtu  $f_r$  cívky, který zjistíme např. měřením v zapojení podle obr. 11b.2.

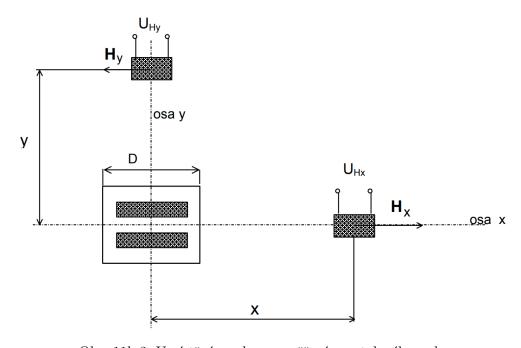
# 11b.4. Schéma zapojení



Obr. 11b.1. Obvod pro stanovení konstanty měřicí cívky



Obr. 11b.2. Obvod pro stanovení vlastní rezonance měřicí cívky



Obr. 11b.3. Umístění sondy pro měření rozptylového pole

#### 11b.3.1

pro stanovení vlastní rezonanční frekvence MC jsme použili zapojení z obr. 11b.1., kdy jsme pozorovali závislost proudu měřeného miliampérmetrem mA na změně frekvence střídavého napětí generovaného audiogenerátorem G, hledali jsme takovou frekvenci pro kterou bude proud minimální, neboť při rezonanci se obvod začne chovat jako rezistence, toho bylo dosaženo při frekvenci  $f_r = 4.3786$  kHz, tato frekvence je mnohem větší, nežli námi použitých 50 Hz, tudíž lze měření provést

pro stanovení konstanty MC  $K_{CH}$  jsme použili zapojení z obr. 11b.1., pro větší přesnost jsme MC umístili co nejvíce do středu, tak aby závity MC byly rovnoběžně se závity HC

 $K_{CH}$  jsme uřcili z nastaveného  $I_e f = 0.90$  A pomocí R (nepoužila jsem  $I_e f = 1$  A, protože tato hodnota by byla v mezi rozsahu 1 A), naměřeného  $U_e f = 0.56$  V a známé  $K_{HZ} = 276$  m<sup>-1</sup>

$$K_{CH} = \frac{H_{max}}{U_{ef}} = \frac{\sqrt{2}I_{ef}K_{HZ}}{U_{ef}} = 627.3 \text{ AV}^{-1}\text{m}^{-1}$$

#### 11b.3.2

z předchozího vztahu můžeme odvodit vzorec pro intenzitu rozptylového MP  $H_{x,y}$  jako:

$$H_{x,y} = K_{CH} \cdot U_{ef,x,y} \text{ [Am}^{-1}; \text{ AV}^{-1}\text{m}^{-1}; \text{ V]}$$

vzhledem k tomu, že siločáry zdroje magnetického pole (transformátoru T) se uzavírají převážně vzduchem, lze zdroj MP nahradit polem magnetického dipólu, za předpokladu, že  $D \ll x$  (viz obr. 11b.3.), lze intenzitu MP  $H_{x,y}$  v rovině xy na osách vyjádřit:

$$H_x = \frac{m_C}{2\pi\mu_0 x^3} [\text{Am}^{-1}] \qquad H_y = \frac{m_C}{4\pi\mu_0 y^3} [\text{Am}^{-1}] \qquad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$$

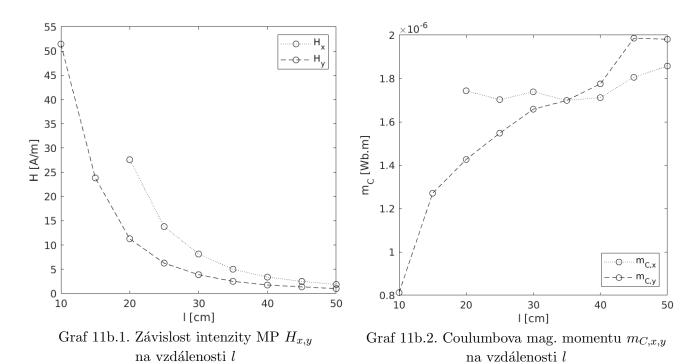
z toho lze odvodit vztah pro  $m_C$  Coulombův magnetický moment:

$$m_{C,x} = H_x \cdot 2\pi \mu_0 x^3 \text{ [Wb \cdot m]} \qquad m_{C,y} = H_y \cdot 4\pi \mu_0 y^3 \text{ [Wb \cdot m]} \qquad \left[\frac{A}{m} \cdot \frac{H}{m} \cdot m^3 \xrightarrow{H=Wb/A} Wb \cdot m\right]$$

protpreotože  $D \approx 13$  cm,  $m_C$  bude validní pro x, y >> 13 cm

T.11b.1. Výsledky měření 11b.3.2

l [cm]	$U_{ef,x}$ [mV]	$U_{ef,y}$ [mV]	$H_x$ [Am <sup>-1</sup> ]	$H_y$ [Am <sup>-1</sup> ]	$m_{C,x} [\mathrm{Wb} \cdot \mathrm{m}]$	$m_{C,y} [\mathrm{Wb} \cdot \mathrm{m}]$
10		82		51.439		0.812e-6
15		38		23.837		1.270e-6
20	44	18	27.601	11.291	1.743e-6	1.426e-6
25	22	10	13.801	6.273	1.703e-6	1.548e-6
30	13	6.2	8.155	3.889	1.738e-6	1.658e-6
35	8	4.0	5.018	2.509	1.699e-6	1.699e-6
40	5.4	2.8	3.387	1.756	1.712e-6	1.775e-6
45	4.0	2.2	2.509	1.380	1.805e-6	1.986e-6
50	3.0	1.6	1.882	1.004	1.857e-6	1.981e-6



11b.5. Seznam použitých přístrojů a obvodvých prvků

zn	přístroj/prvek	specifikace
G	audiogenerátor	LG AG-7001C
V	voltmetr	Troneer TVT-321: M= 0.3, 1, 3, 10, 30, 100 mV; AC
mA	miliampérmetr	M = 0.2  mA; Tp = 1.5; AC
A	ampémetr	M = 1 A; Tp = 0.5; AC
MC	měřící cívka	$R_S = 8.15 \text{ k}\Omega$
HC	Helmholtzovy cívky	$K_{HZ} = 276 \text{ m}^{-1}$
Т	transformátor	
R	nastavitelný rezistor	IP00: 44 Ω; 2.5 A; 500 V

## 11b.6. Závěrečné vyhodnocení

pomocí konstanty cívky lze přímo z efektivní hodnoty střídavého napětí (střídavé pro generaci magnetického toku) určit intenzitu jí indukovaného magnetického pole, to lze však učinit pouze pokud se frekvence napětí liší od vlastní rezonanční frekvence cívky, dále jsme ukázali, že tato intenzita má ve vodorovných osách exponenciální průběh  $(e^{-(x-k)})$