

23. MĚŘENÍ INTENZITY MAGNETICKÉHO POLE SOUSÝCH KRUHOVÝCH CÍVEK

Pracovní úkol

1. Změřte průběh intenzity magnetického pole na ose sousých kruhových magnetizačních cívek
 - a) v zapojení s nesouhlasným směrem magnetizačního proudu při vzdálenostech cívek 12, 16 a 20 cm,
 - b) v zapojení se souhlasným směrem magnetizačního proudu při týchž vzdálenostech cívek.
2. Změřte intenzitu magnetického pole na ose uprostřed mezi sousými kruhovými magnetizačními cívkami v zapojení se souhlasným směrem magnetizačního proudu při proměnné vzájemné vzdálenosti cívek 7 až 20 cm .
3. Přesvědčte se, že při Helmholtzově poloze magnetizačních cívek v zapojení se souhlasným směrem magnetizačního proudu je pole na ose cívek v rámci možnosti homogenní. Pro tento případ stanovte experimentálně konstantu úměrnosti mezi intenzitou magnetického pole cívek a napětím indukovaným na detekční cívce a porovnejte ji s teoretickou hodnotou.
4. Experimentální výsledky podle bodů 1 - 3 porovnejte s teoretickými výpočty. Veškeré výsledky zpracujte tabelárně a graficky. K dispozici je počítač PMD 85 s příslušným programem a grafická jednotka.

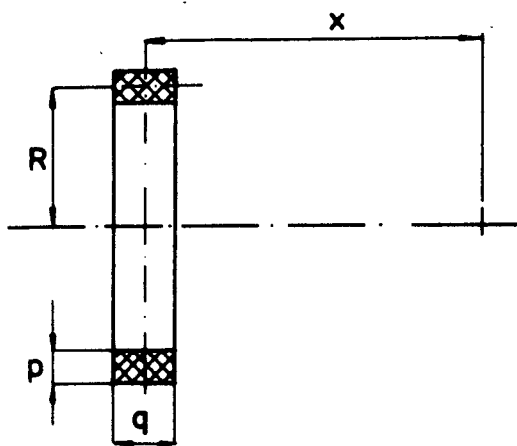
Sousých kruhových cívek se užívá v případě, kdy prostor s magnetickým polem má být dobře přístupný. Přitom intenzita pole na ose cívek i gradient pole jsou přesně spočítatelné (na rozdíl od elektromagnetu) a při tzv. Helmholtzově uspořádání cívek prakticky konstantní. Intenzita pole se dá zvýšit krátkodobými opakovanými silnými proudovými pulsy (tzv. pulsní technika magnetování) nebo užitím supravodivého vinutí cívek (možnost velmi silných magnetizačních proudů).

V této úloze experimentálně ověříme teoretické vztahy pro intenzitu magnetického pole sousých kruhových cívek a seznámíme se s metodou měření intenzity magnetického pole při použití periodických změn pole (srov. s úlohou 20). Uvědomíme si výhodu počítačového zpracování výsledků, bez něhož by nebylo možné úlohu v praxi zvládnout, ačkoli se užívá elementárních matematických vztahů.

Základní vztahy

Intenzita H magnetického pole na ose kruhové cívky ve vzdálenosti x od středu cívky je dána známým vzorcem (viz [1][2][3])

$$H = \frac{N I R^2}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

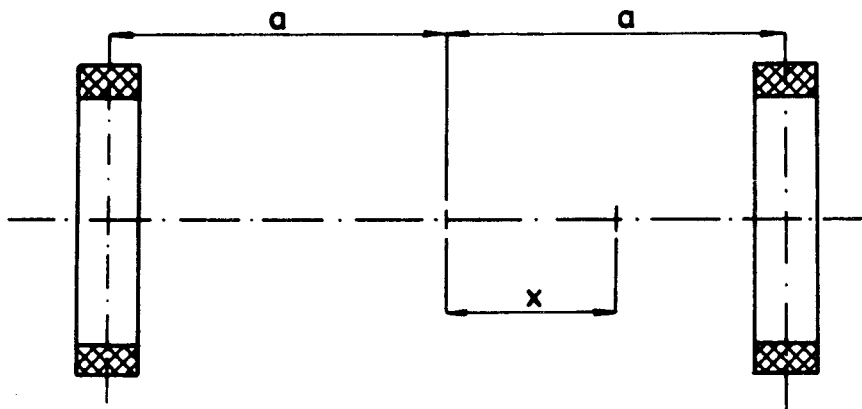


Obr. 1

kde R je střední poloměr cívky, N počet jejích závitů a I proud procházející cívkou (obr.1). Předpokládáme, že rozměry vinutí p , q jsou velmi malé vůči poloměru R ($p, q \ll R$).

Jsou-li dvě stejné takové cívky protékané stejným proudem I umístěny na společné ose a vzdálenost středů cívek je $2a$, máme podle principu superpozice pro intenzitu pole H na ose cívek ve vzdálenosti x od střední polohy mezi cívkami (obr.2) vztah (viz [4]).

$$H = \frac{NIR^2}{2} \left\{ \frac{1}{[R^2 + (a+x)^2]^{3/2}} + \frac{1}{[R^2 + (a-x)^2]^{3/2}} \right\} \quad (1)$$



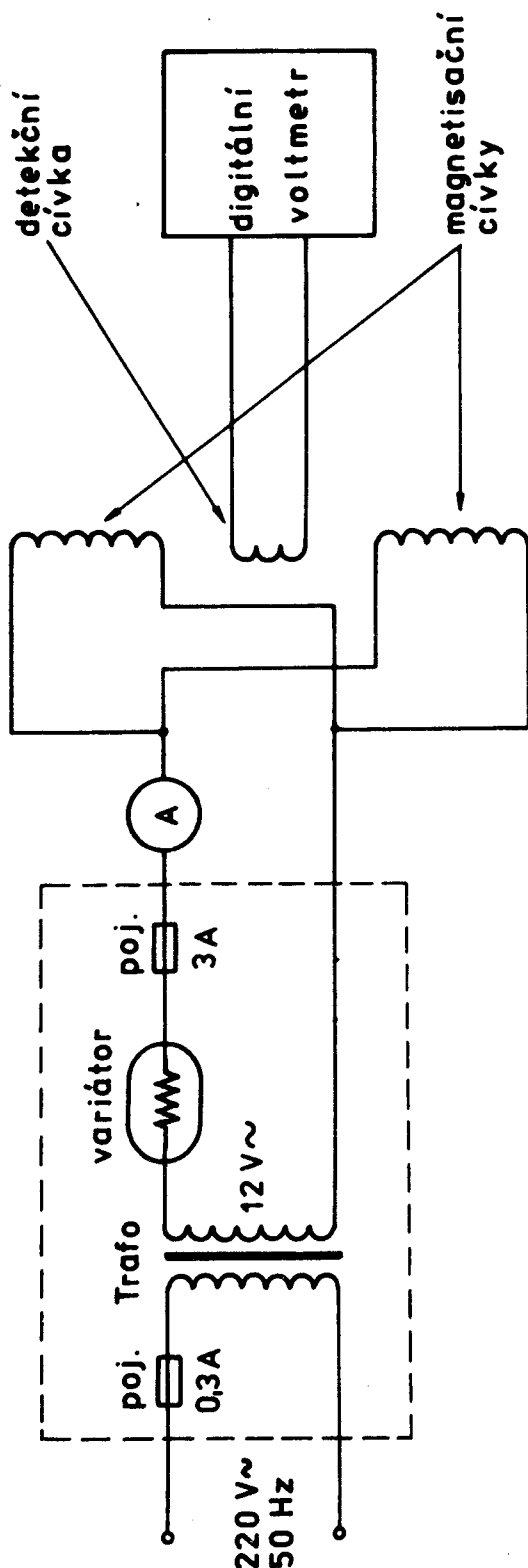
Obr. 2

Znaménko $+$ zde platí, prochází-li proud cívkami v souhlasném směru, znaménko $-$ prochází-li proud cívkami v nesouhlasném (opačném) směru. V tomto druhém případě je intenzita pole uprostřed mezi cívkami ($x = 0$) vždy nulová.

Lze ukázat [4], že při proudu procházejícím cívkami souhlasným směrem dosáhne se nejlepší homogenity pole, je-li $2a = R$. Cívky v tomto uspořádání se nazývají Helmholtzovy. Uprostřed mezi cívkami ($x = 0$) dostáváme v tomto případě podle (1) (viz též [5])

$$H = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{NI}{R} = 0,7155 \frac{NI}{R} \quad (2)$$

Prochází-li cívkaři v Helmholtzově uspořádání proud v nesouhlasném směru, má intenzita magnetického pole na ose cívek prakticky konstantní gradient ($dH / dx = \text{konst.}$).



Obr. 3

Ve všech uvedených případech můžeme místo s intenzitou magnetického pole H počítat s indukcí magnetického pole $B = \mu_0 H$ (μ_0 = permeabilita vakua).

Použijeme-li v cívkách sinusového střídavého proudu, mohou mít intenzita magnetického pole H a magnetizační proud I ve vzorcích (1) a (2) význam okamžitých hodnot nebo maximálních hodnot (amplitud H_0, I_0) nebo efektivních hodnot ($H_0/\sqrt{2}, I_0/\sqrt{2}$).

Pro sinusový střídavý proud máme při obvyklém použití znaků $I = I_0 \sin \omega t$; obdobně pro intenzitu magnetického pole buzeného tímto proudem platí $H = H_0 \sin \omega t$.

Má-li detekční cívka umístěná na ose mezi magnetizačními cívkami (obr.3) n závitů a střední plocha závitů detekční cívky je S , prochází jí indukční tok

$$\begin{aligned} \phi &= n S \mu_0 H = \\ &= n S \mu_0 H_0 \sin \omega t \end{aligned}$$

a pro napětí U indukované na detekční cívkce dostáváme

$$\begin{aligned} U &= - d\phi / dt = \\ &= - \omega n S \mu_0 H_0 \cos \omega t \end{aligned}$$

Konstanta úměrnosti k mezi intenzitou magnetického pole a napětím indukovaným na detekční cívkce je pak

$$k = \frac{1}{\mu_0 \omega n S} \quad (3)$$

Vlastní měření

Používáme zapojení podle obr.3 . Proud v magnetizačních cívkách se stabilizuje variátorem. Variátor je železný odporový drát umístěný v ochranné atmosféře. Jeho odporově-teplotní charakteristika je taková, že při rozžhavení drátu do temně červeného žáru proud procházející drátem prakticky nezávisí na vloženém napětí, tedy variátor stabilizuje proud.

Transformátor, variátor a pojistky jsou uzavřeny v kovové skřínce (na obr.3 čárkovaný obdélník). Přístupné máme pouze výstupní svorky $12\text{ V} \sim$ a přívod k síti $220\text{ V} \sim$. Proud měřený ampérmetrem A je v ustáleném stavu 3 A .

Aparatura je zařízena pro paralelní zapojení magnetizačních cívek ke zdroji. Zda proud prochází magnetizačními cívkami v souhlasném nebo nesouhlasném směru poznáme ihned podle průběhu intenzity magnetického pole mezi cívkami (uprostřed mezi cívkami nulová intenzita pole = cívky zapojeny v nesouhlasném směru).

Detekční cívku zapojujeme k rozsahu $2\text{ V} \sim$ digitálního voltmetru (rozsah $0,2\text{ V} \sim$ je pro náš účel zbytečně citlivý). Pro potřeby počítačového zpracování registrujeme údaje v mV .

V úkolu 1. posunujeme detekční cívku po 1 cm . V úkolu 2. měníme vzdálenost magnetizačních cívek po 1 cm , tj. vzdalujeme každou magnetizační cívku od detekční cívky postupně po $1/2\text{ cm}$. Nejmenší dosažitelná vzdálenost mezi magnetizační a detekční cívku je asi 3 cm .

Magnetizační cívky nejsou geometricky úplně stejné. Proto v úkolu 1. při stejné vzdálenosti detekční cívky vpravo a vlevo od střední polohy mezi magnetizačními cívkami měříme různé hodnoty napětí na detekční cívce (rozdíly $1-2\%$) a zpracováváme jejich střed (zahrnuto do programu počítače). Při grafickém zpracování výsledků užíváme těchto středních hodnot a pouze kladných hodnot vzdáleností x (obr.2, pro $x < 0$ je graf zrcadlově souměrný).

Experimentální hodnotu konstanty úměrnosti k úkolu 3. dostaneme z intenzity pole vypočtené přímo podle vzorce (2) bez použití počítače a z příslušného napětí změřeného na detekční cívce. Teoretická hodnota je dána vzorcem (3) .

Praktické pokyny

Ihned po zapojení obvodu prochází jím proud asi $3,5\text{ A}$, který poklesne na stabilní hodnotu 3 A po plném nažhavení variátoru (za $3-5\text{ min.}$). Po přerušení obvodu při přepojování magnetizačních cívek je tato doba kratší.

Variátor vyrovnává běžné kolísání síťového napětí i změnu odporu vinutí magnetizačních cívek působenou jejich slabým zahřátím. Přesto proud v obvodu během měření kontrolujeme, případné změny zaznamenáváme a započítáváme.

Magnetizační cívky zapojujeme přímo ke zdroji bez jakéhokoli předřazeného odporu. Musíme se tedy zvláště pečlivě vyvarovat zkratu!

V úloze velmi záleží na dobrých elektrických kontaktech. Proto používáme spojů typu pacička-pacička, které pevně utahujeme pod svorky. Samotné magnetizační cívky (u nichž jsou pouze přívody s banánky) po skončeném měření nevypojujeme.

Před vlastním měřením zkoumáme, zda při zapojení magnetizačních cívek s nesouhlasným směrem proudu je intenzita magnetického pole uprostřed mezi cívkami nulová. Poloha detekční cívky, neměříme-li na ní žádné napětí, se přitom smí od střední polohy mezi magnetizačními cívkami odchylovat nejvýše o 1-2 mm. Není-li tomu tak, pak detekční cívka nejspíše snímá okolní rušivé pole. Odpomoc : vhodněji rozložíme pomůcky k úloze na pracovním stole nebo natočíme celý stojan s cívkami. Jiný důvod závady : znečištěné nebo poškozené kontakty (paralelně zapojenými magnetizačními cívkami neprotéká stejný proud). Tyto zkoušky můžeme provádět už během ustalování magnetizačního proudu.

Cívky při posouvání je nutno uchopit za střed, ne za okraj (cívky se mohou vzpříčit) a také ne za ukazatel polohy. Zacházíme opatrně s přívody detekční cívky, které se snadno ulomí. Vodící tyč cívek je skleněná, proto pozor na násilné uvolňování vzpříčených cívek, nárazy apod.!

Pro úspěšné zvládnutí úlohy je nutné seznámit se s jednotkami měřených veličin a potřebnými fyzikálními konstantami. Při zpracování výsledků si uvědomte realitu počítaných a měřených míst!

Potřebné údaje

Střední poloměr magnetizační cívky	$R = 10,4 \text{ cm}$	} stejné u obou cívek
Počet závitů magnetizační cívky	$N = 100$	
Střední poloměr detekční cívky	$r = 1,28 \text{ cm}$	$(S = \pi r^2)$
Počet závitů detekční cívky	$n = 1000$	
Síťová frekvence	$f = 50 \text{ Hz}$	(pro určení chyb : může poklesnout až o 1 %)

Pro komunikaci s počítačem

Název úlohy : Kruhové cívky

Cívky za sebou = proud prochází magnetizačními cívkami v souhlasném směru

Cívky proti sobě = proud prochází magnetizačními cívkami v nesouhlasném (opačném) směru

Literatura

- [1] Bakule R., Sedlák B.: Elektřina a magnetismus, Praha, SPN (skriptum), 1973, str. 168
- [2] Sedlák B., Štoll I.: Elektřina a magnetismus, Praha Academia, 1990, odst. 3.3.5b

- [3] Brož J.: Elektřina a magnetismus II. Praha, SPN (skriptum), 1976, str. 21
- [4] Brož J. a kol.: Základy magnetických měření. Praha, nakl. ČSAV, 1953, str. 22
- [5] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, Praha, SPN, 1983, str. 431

29. ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

Pracovní úkol

1. Zjistěte závislost intenzity přijímané vlny na úhlu vzájemného natočení přijímací a vysílací antény. Výsledky měření zpracujte graficky a zdůvodněte získaný výsledek.
2. Změřte závislost intenzity vysílané vlny na vzdálenosti od antény. Výsledek měření nakreslete do grafu.
3. Změřte průběh stojatých vln vzniklých interferencí vysílané a odražené vlny. Určete přibližnou hodnotu poměru stojatých vln a činitele odrazu kovové desky a desky z materiálu absorbujícího elektromagnetické vlny. Průběh intenzity v závislosti na vzdálenosti od desky znázorněte do grafu. Z grafu odečtěte délku vlny. Diskutujte naměřený průběh.

Šíření vln ve vlnovodu

V oboru frekvencí elektromagnetických vln vyšších než 1000 MHz je vlnová délka vln ve vakuu natolik malá, že prakticky nelze zkonstruovat obvody a stavební elementy těchto obvodů, jejichž rozměry by byly zanedbatelně malé vůči vlnové délce. Hodnoty intenzity elektrického či magnetického pole se v daném časovém okamžiku mění podél obvodu. Mluvíme pak o síti s rozloženými parametry, jejíž řešení nelze provádět metodami používanými při kvasistacionárním přiblížení, ale je nutno vycházet z úplné soustavy Maxwellových rovnic.

V technice těchto velmi krátkých vln, decimetrových, centimetrových a milimetrových, nelze použít drátových vedení jako spojovacích vodičů. Tato vedení mají velmi velký útlum a kromě toho úseky drátového vedení, jejichž délka je srovnatelná s vlnovou délkou elektromagnetické vlny, značně vyzařují. Používá se proto jako napájecí a rozvodné vedení vlnovodů. Vlnovod tvoří dutina z nevodivé dielektrika uzavřená dobře vodivým pláštěm ze stříbra nebo mědi. Dutina je obvykle jednoduchého geometrického tvaru (hranol, válec, prostor mezi dvěma koaxiálními válci) a její příčné rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou. Uzavřený vlnovod nevyzařuje energii do