



EMAT SNÍMAČ AKUSTICKÉ EMISE

Petr FIDLER, Petr BENEŠ

FEKT VUT Brno, Ústav automatizace a měřicí techniky, ČR

ABSTRAKT

Príspevek se věnuje vysvětlení základního principu elektro-magneto-akustického snímače (EMAT) akustické emise. Je uveden postup návrhu snímače včetně nejdůležitějších potřebných vztahů. Snímač byl na základě uvedeného postupu navržen a realizován, byly proměřeny jeho základní charakteristiky. Ukázalo se, že citlivost realizovaného snímače je nízká a získaný signál je třeba zesílit nízkošumovým širokopásmovým zesilovačem.

Výhodou EMAT snímače je možnost bezkontaktního snímání a generování signálu akustické emise, což je z principu nemožné u častěji používaných snímačů piezoelektrických. Další výhodou je teoreticky hladší a širší frekvenční charakteristika. Hlavní nevýhodou je malá citlivost snímače a omezení na elektricky vodivé materiály.

I. ÚVOD

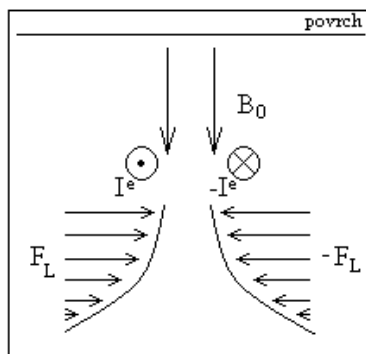
EMAT je reciproční zařízení určené pro generování a snímání signálu akustické emise. Skládá se z permanentního magnetu, případně elektromagnetu pro vytvoření stacionárního magnetického pole a dále z cívky ve tvaru meandru určené pro vytvoření vysokofrekvenčního vírového magnetického pole. Podmínkou fungování EMAT snímače i generátoru je elektrická vodivost zkoušeného materiálu, protože vysokofrekvenční magnetické pole ve vodivém materiálu indukuje vířivé proudy. Tyto proudy I^e v interakci se stacionárním magnetickým polem B_0 vytvářejí silové působení definované vztahem

$$\vec{F}_L = \vec{I}^e \times \vec{B}_0. \quad (1)$$

Střídavé magnetické pole je tlumeno v elektricky vodivém materiálu. Hloubka vniku pole do vodivého materiálu je definována vztahem

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\gamma}}. \quad (2)$$

Kde ω je kruhová frekvence, μ je permeabilita materiálu a γ je elektrická vodivost. Parametrem δ je omezeno silové působení vysílací části EMAT převodníku. To je znázorněno na obrázku 1.



Obr.1. Rozložení silového působení budící části EMAT převodníku

Silové pole je rozloženo pod povrchem s amplitudou klesající exponenciálně s hloubkou vniku. Směr silového působení je rovnoběžný s povrchem a je kolmý na čelo Rayleighovy vlny, pomocí níž se následná deformace šíří rychlostí danou vztahem (3)

$$c_R \approx \frac{0,87 + 1,12\mu}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (3)$$

Deformace povrchu generovaná vysílací cívkou se při interakci se stacionárním magnetickým polem B_0 přijímací cívky analogicky se vztahem (1) vytvářejí vírové elektrické pole. V tomto poli se nachází meandrové vinutí přijímací cívky, ve které se následně indukují vířivé proudy. Tento elektrický signál se poté dále zpracovává.

II. Přínos a výhody EMATu

U nejčastěji používaného piezoelektrického snímače AE je prvotním předpokladem fungování dokonalý kontakt mezi snímačem a testovaným vzorkem. Tento fakt omezuje pole působnosti piezoelektrického snímače na kontaktní aplikace. EMAT je vzhledem k velikosti oblasti generovaného magnetického pole schopen pracovat ve vzdálenostech řádu desítek milimetrů a zároveň nevyžaduje úpravu povrchu. K této velmi ceněné výhodě se přidává hladší průběh frekvenční charakteristiky u vysílací i přijímací cívky, tedy generátoru a snímače signálu AE. Zmíněnou nevýhodou je nízký poměr mechanického výkonu vůči elektrickému u vysílací cívky a tudíž nízká úroveň generovaného signálu AE. Tomuto nedostatku lze předejít optimalizací návrhu budící cívky pro dosažení maximálního elektrického proudu, a dále dosažení maximální hodnoty stacionárního magnetického pole. Problematika přijímací cívky, konkrétně její malé citlivosti, lze řešit zesílením snímaného signálu nízkošumovým širokopásmovým zesilovačem s vysokým ziskem. Nevýhodou je i vznik zbytkové magnetizace při použití permanentních magnetů u feromagnetických materiálů. Tento problém lze řešit použitím elektromagnetu se střídavým odmagnetováním.

Optimalizací návrhu cívek a elektroniky lze snížit uvedené nevýhody a učinit z EMAT snímače AE rovnocenného konkurenta snímače piezoelektrického.

III. Teoretické předpoklady

Vysílací cívka by dle teoretických předpokladů měla generovat vzrůstající úroveň signálu AE se zvyšující se frekvencí budícího signálu. Vzhledem k předřazení impedančního přizpůsobení před vysílací cívku s vlastní rezonanční frekvencí rovné frekvenci zvolené pro návrh

přijímacího vinutí lze očekávat nárůst úrovně generovaného signálu v okolí dané hodnoty. Návrh vysílací a přijímací části snímače vychází z [1] a [2]. Při předpokladu rychlosti akustické vlny udané vztahem (2) je vlnová délka dána vztahem:

$$\lambda_R \approx \frac{0,87 + 1,12\mu}{f(1 + \mu)} \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4)$$

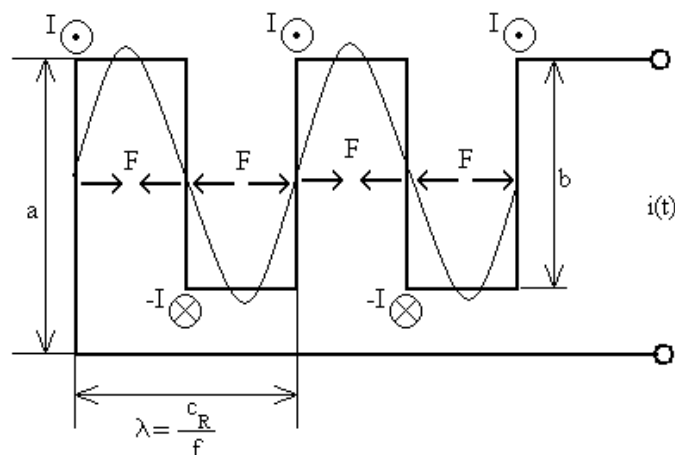
Přijímací cívka by měla vykazovat nejvyšší zisk při vlnové délce signálu AE rovnému rozteči vinutí meandrové cívky. V testovaném pásmu se očekává konstantní zesílení zesilovače přijímaného signálu.

IV. Praktická realizace

Praktická realizace experimentálního vzorku snímače spočívá kromě návrhu vlastního mechanického uspořádání v návrhu tvaru měřicí cívky.

Meandrové cívky

Návrh meandrového vinutí přijímací cívky vychází ze vztahu (4) a principiálně je znázorněn na obrázku 2.



Obr.2. Návrh meandru vysílací cívky

Materiál testovaného vzorku je dural s parametry: modul pružnosti $G = 3,8 \cdot 10^4$ MPa, hustotou $2800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a elektrickou vodivostí $\gamma = 37 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$. Rozteč vinutí pro zvolenou frekvenci generátoru $f = 1,5 \text{ MHz}$ je cca. $1,5 \text{ mm}$. Další rozměry meandru jsou $a = 30 \text{ mm}$ a $b = 25 \text{ mm}$. Meandr je zhotoven na polyamidové folii o tloušťce $90 \mu\text{m}$ při tloušťce vodivé měděné vrstvy $70 \mu\text{m}$. Šířka spoje je 1 mm . Vysílací vinutí je v rámci zachování reciprocity snímače navrženo stejně.

Zdroj stacionárního magnetického pole

Pro experimenty byl zvolen neodymový NdFeB magnet s remanentní indukcí $B_R = 1200\text{--}1280 \text{ mT}$, koercitivní silou $H_C = 876\text{--}915 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ a celkovým energetickým součinem $BH_{\text{max}} = 286\text{--}302 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$. Magnet je tvaru krychle o rozměrech $25 \times 25 \times 25 \text{ mm}$. Nevýhodou našeho

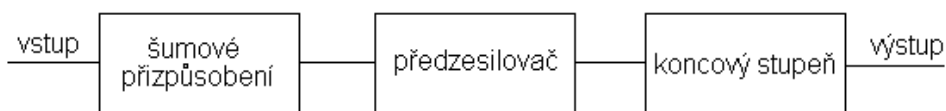
vzorku magnetu byla jeho elektrická vodivost, povrch je potažen niklem o vysoké elektrické vodivosti.

Impedanční přizpůsobení vysílací cívky

Zdrojem budícího signálu je funkční generátor Agilent 33220A s výstupní impedancí $Z = 50\Omega$. Dle [3] bylo navrženo impedanční přizpůsobení ve formě LC obvodu s rezonanční frekvencí $f_0 = 1\text{MHz}$. Vypočtený činitel jakosti obvodu $Q = 12,556$. Vzhledem k impedanci generátoru a maximálnímu rozptýlu výstupního napětí $10V_{pp}$ amplituda napájecího proudu dosahuje maxima přibližně 100mA . Při normované maximální hustotě $J_{max} = 0,4\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$ činí maximální dlouhodobá hodnota proudu $I_{max} = 31,2\text{mA}$, což generátor umožňuje.

Nízkošumový širokopásmový zesilovač

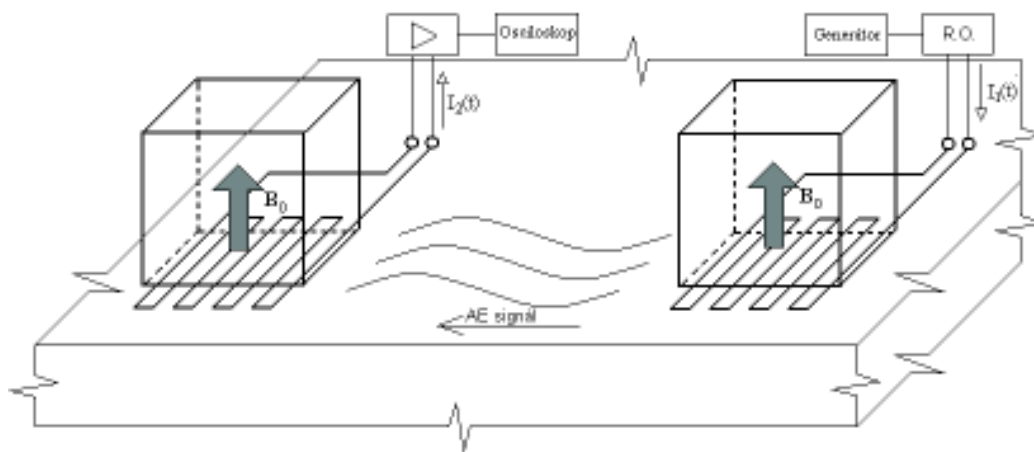
Navržený zesilovač lze rozdělit dle blokového schématu uvedeného na obrázku 3.



Obr.3 Blokové schéma navrženého zesilovače

Přijímací cívka má činný odpor $R = 0,31\Omega$. Lze na ní pohlížet jako na anténu a šumové přizpůsobení bylo navrženo dle [Žalud]. Předzesilovač je tvořen vysokofrekvenční kaskadou SG – SE tvořenou čtveřicí paralelních unipolárních tranzistorů BF245C a nízkošumovým bipolárním tranzistorem MAT02EH. Koncový stupeň je tvořen rychlým nízkošumovým operačním zesilovačem AD811. Zisk zesilovače se pohybuje od 66 do 50dB na zvoleném frekvenčním pásmu.

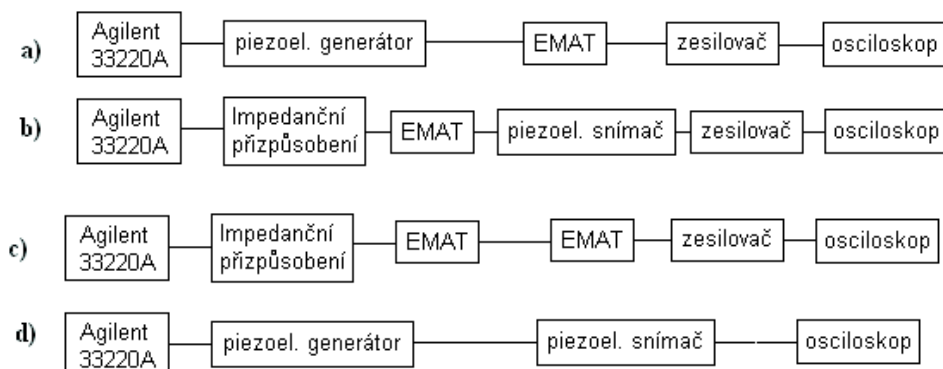
Celý měřicí řetězec je znázorněn na obrázku 4.



Obr.4 Navržený měřicí řetězec

Popis experimentu

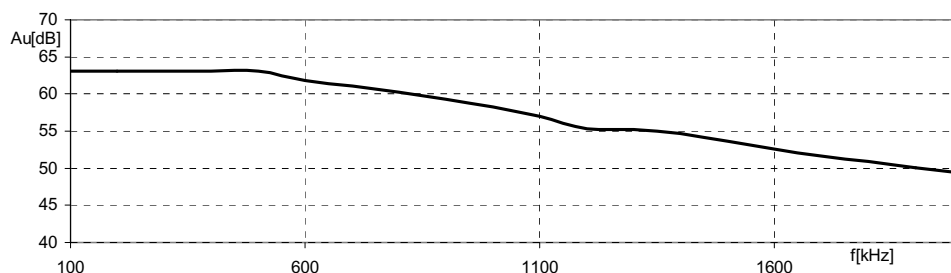
Cílem navrženého experimentu je zaznamenání časových odezev na harmonické buzení a ověření fungování navrženého přípravku jako zařízení pro generování signálu AE. Prováděná měření lze popsat dle blokového schématu na obrázku 5.



Obr.5 Varianty provedeného experimentu

V. Výsledky

Na obr. 6 je vynesena změřená frekvenční charakteristika navrženého nízkošumového širokopásmového zesilovače

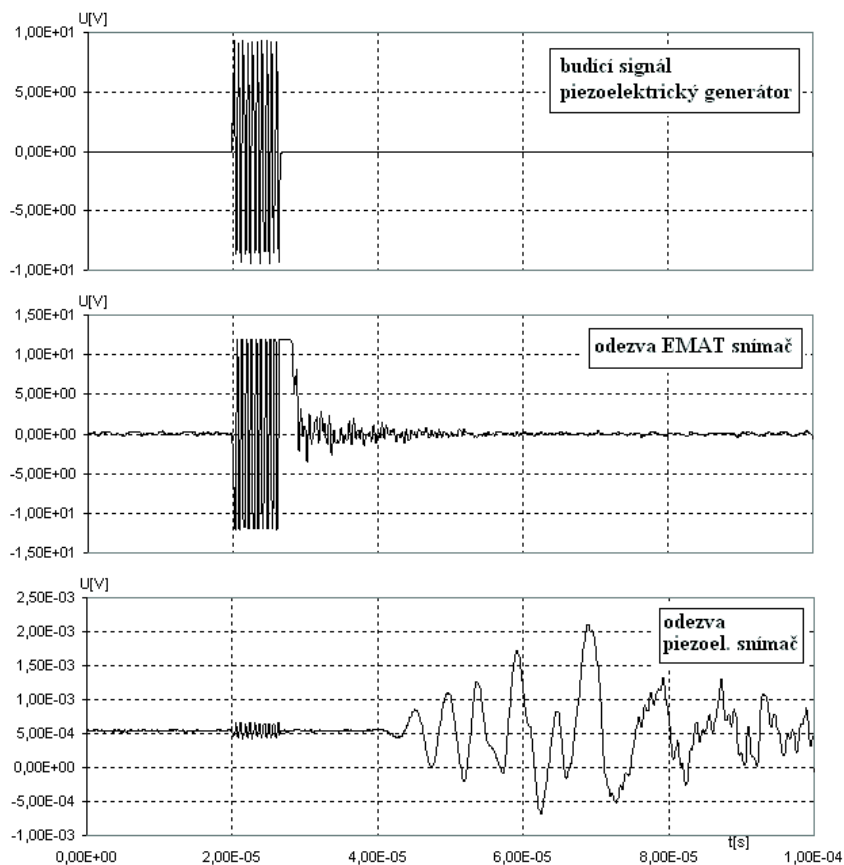


Obr.6 frekvenční charakteristika zesilovače

Na obrázku 7 jsou znázorněny změřené časové průběhy. V prvním průběhu obrázku 7 je znázorněn budící signál vstupující do piezoelektrického generátoru signálu AE. Budící harmonický signál měl frekvenci 1,5MHz o délce trvání 10 period. Druhý průběh na obrázku 6 znázorňuje odezvu snímače EMAT na budící signál. Z průběhu vyplývá, že snímač reaguje pouze na elektrický signál přenesený do vodivé desky pravděpodobně vlivem kapacitní a galvanické vazby. Podobně dopadly i měření provedená za zbývajících variant experimentu V tabulce 1 jsou uvedeny změřené hodnoty parazitních veličin, přičemž měřicí přípravek byl nahrazen sériovým spojením kapacity a odporu..

	EMAT-EMAT	Piezo-EMAT	EMAT-zkoumaný blok	Piezo-zkoumaný blok
C_s [pF]	27,2	10,5	62	16
R_s [Ω]	90	333	46	75
Z [k Ω]	3,9	9,95	1,7	950

Tab.1 kapacita, odpor a impedance mezi uvedenými komponenty



Obr.7 Časové průběhy zaznamenané ve variantě experimentu b) a d)

VI. ZÁVĚR

Z výsledků experimentu vyplývá, že hlavním problémem je jednak velice nízká citlivost snímače EMAT a rovněž velice nízká energetická účinnost generátoru. Z důvodu naměřené vysoké kapacitní a galvanické vazby mezi generátorem a snímačem, a to ve všech čtyřech variantách zapojení je užitečný signál AE skryt v přechodném ději budícího signálu a je v současné fázi je nemožné jej zaznamenat. Cílem dalšího vývoje je na základě výpočtového modelu navrhnout maximálně citlivý snímač a maximálně účinný generátor EMAT, zabránění ovlivňování rušivým okolním signálem a zároveň omezení parazitních vazeb znemožňujících analýzu získaného signálu AE.

VII. LITERATURA

- [1] Dědek, L., Dědková, J.: Elektromagnetismus. Skripta. Brno, VUTUM, 1998.
- [2] Obraz, J.: Zkoušení materiálu ultrazvukem. Praha, SNTL, 1989.
- [3] Hirao, M., Ogi, H.: EMATS for science and industry noncontacting ultrasonic measurements. Boston, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [4] Žalud, V., Kulešov, V. N.: Polovodičové obvody s malým šumem. Praha, SNTL, 1980.

Poděkování

Vývoj EMAT snímače probíhá díky podpoře grantu GAČR 101/06/1689.