

Kalibrace snímačů akustické emise impulsní metodou

Petr Hora, ÚTSSK ČSAV, Plzeň, Veleslavínova II

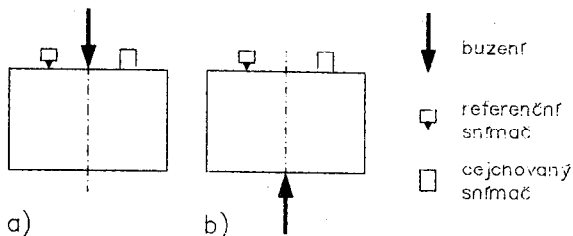
An impulse method for calibration of transducers for acoustic emission is presented. The impulse calibration method is based on the comparison of the response of calibrated transducer and the response of standard transducer to surface or buried excitation respectively. The conical or cylindrical piezoelectric transducer with extended backing was used as the standard transducer. The calibration of standard transducer was carried out by a comparison of its response to surface or buried excitation produced by a step force and the response calculated from the theory.

Článek navazuje na příspěvek Ing. Rufera v Bulletinu ČSAS č. 1/91, ve kterém byla nastíněna problematika akustické emise a uveden přehled kalibračních metod snímačů. Tento článek si detailněji všímá impulsní metody kalibrace snímačů akustické emise. Podrobně je popsáno kalibrační zařízení [3, 4] a normálový kónický snímač akustické emise [2], který byl touto metodou zkalibrován.

1. Impulsní metoda kalibrace

Principem impulsní metody je porovnání signálů získaných ze standardního referenčního snímače a ze snímače cejchovaného při buzení krátkým napěťovým pulsem. Signály ze snímačů odpovídají napěťovým vlnám, které jsou vybudeny lámáním kapiláry, lámáním tuhy popřípadě pádem kuličky na povrch zkušebního prostředí. Zkušební prostředí bývá obvykle ocelový válec o co možná největších radiálních i axiálních rozměrech, které potom zaručují dostatečně dlouhou dobu pro nerušený záznam (tj. bez odrazů) napěťových vln.

Podle toho, zda se nachází snímače a zdroj buzení na jedné podstavě zkušebního válce, nebo jsou snímače umístěny na opačné podstavě válce než zdroj buzení, rozeznáváme dva druhy impulsní kalibrace - kalibrace při povrchovém buzení a kalibrace při podpovrchovém buzení (obr. 1). Kalibrace při podpovrchovém buzení není zatížena aperturovým jevem, ale na druhou stranu je u tohoto typu kalibrace úroveň signálu na snímačích přibližně o řád menší než u kalibrace při povrchovém buzení, z čehož vyplývá zhoršení šumových poměrů. Dále budeme uvažovat jen kalibraci při povrchovém buzení.



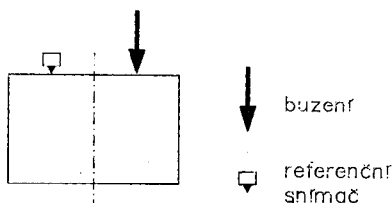
Obr. 1. Schéma kalibrace při buzení a) povrchové
b) podpovrchové

Jako standardní snímač se používá snímač kapacitní nebo snímač s malým kónickým piezoelementem a velkým zakončovacím blokem. Tyto snímače jsou velice citlivé a mají v širokém frekvenčním pásmu (od desítek kHz do jednotek MHz) vyrovnanou charakteristiku.

Při výpočtu frekvenční charakteristiky cejchovaného snímače jsme předpokládali, že frekvenční charakteristika referenčního snímače je známá. Nyní uvedeme postup, jak zjistit frekvenční charakteristiku referenčního kónického snímače.

Postup kalibrace standardního snímače se opírá o výpočty časových závislostí axiální složky vektoru posuvu na povrchu poloprostoru při povrchové i podpovrchové buzení skokovou funkcí síly [1, 5, 6]. Budeme-li tedy budit poloprostor skokovou silou, můžeme porovnávat signály z referenčního snímače s průběhy teoretickými a tím získávat frekvenční charakteristiku referenčního snímače.

Schema kalibrace referenčního snímače při povrchové buzení je uvedeno na obr.2.



Obr. 2. Kalibrace referenčního snímače při povrchové buzení

2. Kónický snímač

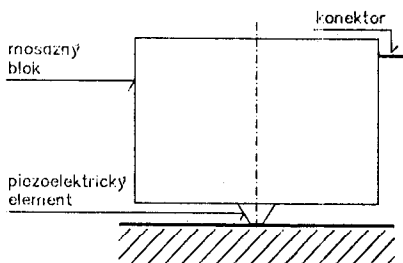
Nyní provedeme stručný popis kónického snímače [2], neboť se jedná o snímač, který není všeobecně rozšířen a znám, a dále jde o snímač, který jsme použili pro kalibraci.

Kónický snímač je vysoce citlivé, širokopásmové zařízení (asi od 10 kHz do několika MHz) pro měření vertikální složky výchylky malé plošky povrchu tělesa. Kónický snímač je navržen pro širokou oblast využití - testování pomocí akustické

emise, normálový snímač apod. Schématické zobrazení kónického snímače je na obr. 3.

Hlavní charakteristiky snímače jsou následující:

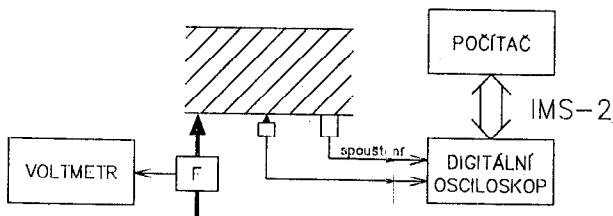
- 1) aktivní prvek je z piezoelektrické keramiky, je kónický a je polarizován rovnoběžně se svojí osou;
- 2) větší konec kónusu, který je opatřen napařenou stříbrnou nebo zlatou elektrodou, je přilepen nebo připájen k relativně velkému válcovému zakončovacímu bloku, který je obvykle z mosazi;
- 3) menší konec kónusu, který je též opatřen napařenou stříbrnou nebo zlatou elektrodou, je spojen (pokud možno přes tenkou vazební vrstvu) s částí relativně velkého povrchu, na kterém se měří vertikální složka výchylky;
- 4) výstupní napětí se měří mezi mosazným válcovým zakončovacím blokem a povrchem, na kterém je snímač umístěn.



Obr. 3. Schématické zobrazení kónického snímače

3. Měřicí aparatura

Schéma zařízení pro kalibraci referenčního kónického snímače při povrchovém buzení je znázorněno na obr. 4. V okrázkách není zakresleno zařízení podpírající ocelový kalibrační blok, neboť schéma by pak bylo nepřehledné.



Obr. 4. Zařízení pro kalibraci kónického snímače při povrchovém buzení

Pod blokem, který je ve schématech označen F, se skrývá zařízení pro měření síly při zlomu tenké skleněné kapiláry. Údaj o celkové síle při zlomu kapiláry je nezbytný pro absolutní kalibraci snímačů. Zařízení pro měření síly sestává z tenzometrického můstku (polovodičové tenzometry), který je natmelen na tenkou duralovou tyčku, která slouží k rozdrčení kapiláry. Kapiláry použité pro generování budící síly ve tvaru skokové funkce mají pro správnou funkci kalibračního zařízení klíčový význam. Námi použité kapiláry byly z křemenného skla a měly vnější průměr 100 μm a vnitřní 50 μm . Při jedněch z prvních pokusů o kalibraci jsme používali skleněné kapiláry o vnějším průměru 1 mm, které nebyly téměř použitelné, neboť praskaly postupně.

Ocelový blok ve tvaru válce použitý při kalibraci měl průměr 195 mm a výšku 140 mm. Obě podstavy ocelového válce byly vyhlazeny do zrcadlového lesku. Válec spočíval na třech ocelových kuličkách, které byly zapuštěny v ocelových válečcích podpěrného zařízení. Podpěrné zařízení slouží kromě podpory kalibračního bloku ještě k instalaci zařízení pro lámání kapilár.

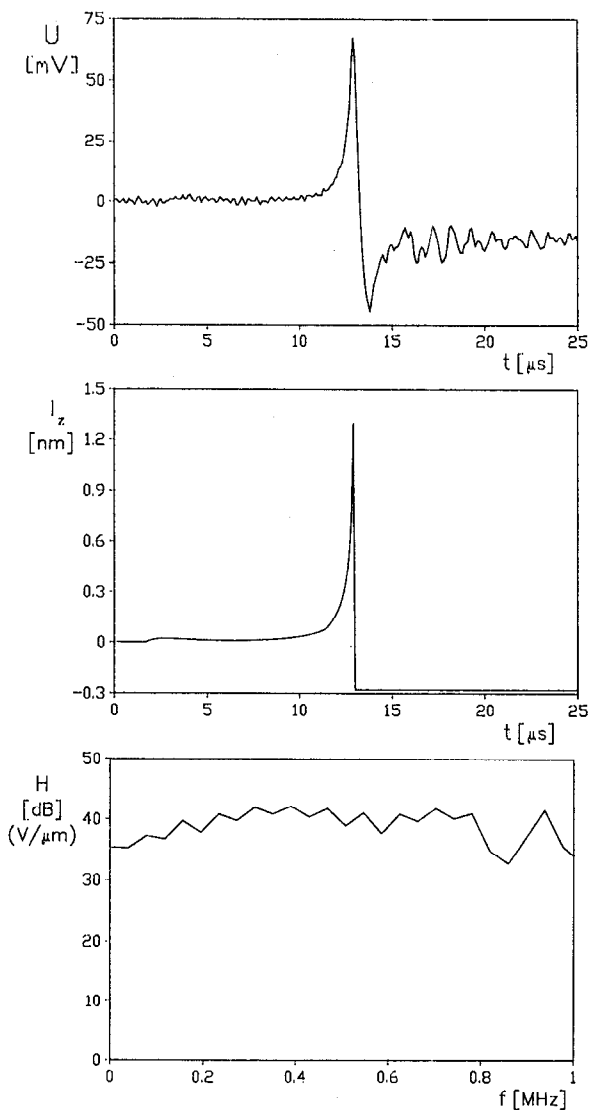
Signál z kónického snímače byl veden do digitálního osciloskopu KIKUSUI 7201A (vzorkovací kmitočet 20 MHz), který byl propojen s počítačem PC AT. Spouštěcí signál byl odebírán z klasického rezonančního snímače akustické emise, který byl umístěn v blízkosti budícího zdroje.

4. Výsledky kalibrace

Signál z kónického snímače, sestávající z 1024 hodnot (záznam dlouhý 51.2 μs se vzorkovacím krokem 0.05 μs), byl po přenesení z osciloskopu do počítače PC AT podroben dalšímu zpracování, které vypadalo následovně:

- vybrat ze záznamu úsek dlouhý 25.6 μs (512 vzorků), který není ovlivněn žádnými odrazy od stěn bloku,
- z tohoto vybraného úseku vzít pouze každý druhý vzorek, neboť vzorkovací krok je zbytečně malý (vysoké kmitočty jsou značně ovlivněny šumem a nás zajímá kmitočtová charakteristika pouze do 1 MHz); máme tedy záznam dlouhý 25.6 μs se vzorkovacím krokem 0.1 μs (256 vzorků),
- vypočítat teoretický průběh výchylky,
- provést FFT signálů získaných podle bodu b) a c),
- vydělit tato spektra.

Na obr. 5 je zobrazen výsledek kalibrace - frekvenční charakteristiky kónického snímače při kalibraci povrchovým buzením. Na obrázku je nahoře průběh naměřeného signálu, uprostřed je teoretický průběh výchylky a dole je frekvenční charakteristika použitého snímače vyjádřená v dB vztažených k V/ μm .



Obr. 5 Charakteristika kónického snímače

5. Závěr

V článku popsaná metoda kalibrace umožňuje absolutně kalibrovat snímače akustické emise a tím dává možnost kvantitativně porovnávat jak snímače různých firem, které se k nám dovážejí, tak i snímače z našich pracovišť. Zvláště výrazně se nutnost kalibrace projevuje při lokalizaci zdrojů akustické emise, kde je nezbytné znát citlivost jednotlivých snímačů.

Poděkování

Na závěr bych rád poděkoval Doc. Ing. R. B r e p t o v i , DrSc. za cenné rady a pomoc při zpracování zvolené problematiky a ÚTSSK ČSAV v Plzni za poskytnutí kónického snímače akustické emise. Dále děkuji Ing. L. R u f e r o v i , CSc. a paní Jitce R e m k o v é z katedry radioelektroniky FEL-ČVUT za pomoc při přípravě a realizaci měření.

Literatura

- [1] Cagniard, L.: Reflexion et réfraction des ondes séismiques progressives. Gauthiér-Villars, Paříž, 1939.
(Reflection and refraction of progressive seismic waves.
anglický překlad Flynn, E.A.a Dix, C.H., McGraw-Hill, New York, 1962).
- [2] Greespan, M.: The NBS conical transducer: Analysis.
J.Acoust.Soc.Am., Vol.81, 1987, str.173-183.
- [3] Hora, P.: Kalibrace snímačů akustické emise impulsní metodou.
Kandidátská disertační práce ČVUT FEL, Praha, 1990.
- [4] Hora, P.: Calibration of Transducers for Acoustic Emission.
Acta Technica ČSAV, Vol. 36, 1991, str. 190-220.
- [5] Mooney, H.M.: Some numerical solutions for Lamb's problem.
B.Seism.Soc.Am., Vol. 64, 1974, str. 473-491.
- [6] Pekeris, C.L.: Lifson, H.: Motion of the surface of a uniform elastic half-space produced by a buried pulse.
J.Acoust.Soc.Am., Vol. 29, 1957, str. 1233-1238.

E r r a t u m

V minulém čísle Bulletinu byl uveden seznam některých československých pracovišť, která se zabývají problematikou akustické emise. Naší vinou v tomto výčtu nebylo uvedeno ultrazvukové pracoviště katedry fyziky ČVUT - FEL vedené Prof.Ing.Dr. O.Tarabou, DrSc.

Omlouváme se tímto za uvedené nedopatření.

Ing. Libor R u f e r , CSc.