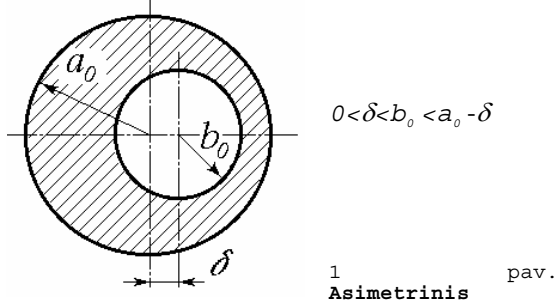


Asimetrinio pjezinio pjezelemento akustinio lauko teorinis tyrimas

N. Sajauskas, S. Sajauskas

Kauno technologijos universitetas
K. Donelaičio g. 73, 3006 Kaunas

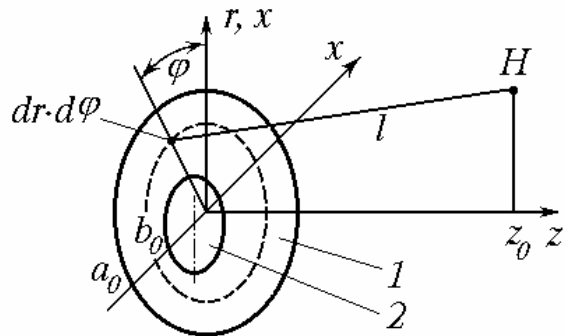
Vienu iš galimų būdų išvengti diskinio pjezelemento pačialinio radialinio virpesio modų yra asimetrinės kiaurymės jame padarymas [1,2]. Diskinis pjezelementas su asimetrine kiauryme (asimetrinis pjezopjėdas) (1 pav.) yra tarpinis variantas tarp pjezolektrinio disko ir pjėdo, todėl jo sukuriama akustiniam laukui aprašyti netinka nei diskinio [3] nei pjėdinio [4] pjezelemento lauką aprašanios lygtys.



1 pjezopjėdas

Asimetrinio pjezopjėdo akustiniam laukui suskaičiuoti pasinaudojome metodika, aprašyta [3]. Ėia akustinis

laukas Frenelio srityje skaičiuojamas pagal lygtis, išvestas iš Reilio formulės, ávertinančias pjezelemento virpesio pasiskirstymą spinduliujančiame pavirđiuje.



2 pav. Asimetrinio pjezopjėdo schema: 1 - pjezopjėdas; 2 - kiaurymė

Asimetrinio plokđėiojo pjezopjėdo normuotas akustinio slėgio laukas Frenelio srityje (2 pav.) aprašomas lygtimi

$$p_n(x,z) = \frac{p(x,z)}{p_{max}(x,z)} = \omega \rho c \left\{ \sqrt{\left[\int_0^{1/2\pi} \int_0^{1/2\pi} \frac{U_1(r) \cos ka_0 l_1}{l_1} R_1 dR_1 d\varphi \right]^2 + \left[\int_0^{1/2\pi} \int_0^{1/2\pi} \frac{U_1(r) \sin ka_0 l_1}{l_1} R_1 dR_1 d\varphi \right]^2} - \sqrt{\left[\int_0^{1/2\pi} \int_0^{1/2\pi} \frac{U_2(r) \cos kb_0 l_2}{l_2} R_2 dR_2 d\varphi \right]^2 + \left[\int_0^{1/2\pi} \int_0^{1/2\pi} \frac{U_2(r) \sin kb_0 l_2}{l_2} R_2 dR_2 d\varphi \right]^2} \right\},$$

ėia $\omega = 2\pi f$, f - virpesio dąpnis; ρ - terpės tankis; c - garso greitis terpėje; $U_1(r), U_2(r)$ - realus

virpesio pasiskirstymai pjezopjėdo ir tariamas pasiskirstymas kiaurymės apertūrose; $k = 2\pi/\lambda$, λ - akustinės bangos ilgis;

$$l_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2 + Z_1^2 - 2R_1 X_1 \cos \varphi},$$

$$l_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2 + Z_2^2 - 2R_2 X_2 \cos \varphi} \quad \text{- lauko}$$

tađko atstumas nuo pjezopjėdo pavirđiaus tađko ir nuo kiaurymės tađko, $R_1 = r/a_0$, $X_1 = x/a_0$,

$Z_1 = z/a_0$; $R_2 = r/b_0$, $X_2 = (x+\delta)/b_0$, $Z_2 = z/b_0$ - normuotas pjezopjėdo pavirđiaus ir kiaurymės

koordinatės cilindrinėje koordinacių sistemoje, a_0 ir b_0 - išorinis pjezopjėdo ir kiaurymės radiusai, δ - kiaurymės postūmis pjezopjėdo atpvilgiu (1 pav.).

Asimetrinio pjezopjėdo akustinio lauko trimaėio pasiskirstymo skaiėiavimas reikalauja gana daug kompiuterio resursų, todėl jis buvo vykdomas greitaveikiu IBM - 486/120 MHz kompiuteriu, naudojant profesionalų programų paketą Mathcad 6.0 Plus. Siekiant ávertinti

asimetrinės kiauromės atakà akustiniam laukui Frenelio ($z \leq z_0 \approx a_0^2/\lambda$) srityje, kaip etaloninis buvo suskaičiuotas pjezodisko akustinis laukas, esant $a_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $f = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$, $a_0/\lambda = 2,66$, $z_0 = 0,533 \text{ m}$, virpanèio vandenyje ($c = 1500 \text{ m/s}$, $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) (3 pav.). Paprastumo dèlei visuose skaièiavimuose priimta, kad virpesiø

pasiskirstymas visame virpanèiame pavirðiuje yra tolygus ($U_1(r) = U_2(r) = 1$). 3a pav. parodytas pjezodisko trimatis akustinis laukas. Nepiûrint á trimaèio akustinio lauko vaizdumà, jo konfiguracijai ir simetriðkumui ávertinti patogesnis yra akustinio lauko atvaizdavimas vienodo lygio lauko linijomis (3b pav.).

a)
b)

3 pav. Pjezodisko akustinis laukas vandenyje ($c = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$, $\rho = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$) Frenelio srityje: a) - trimatis normuoto slègio vaizdas, b) - normuoto slègio vienodo lygio linijø laukas. $a_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $f = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

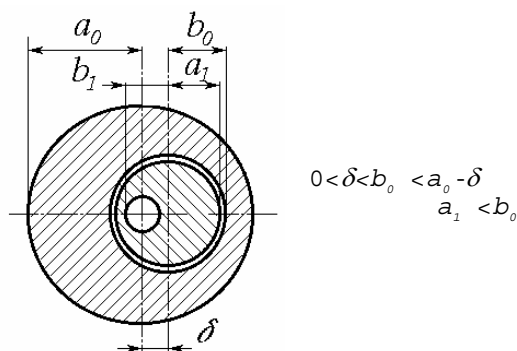
a)
b)

4 pav. Asimetrinio pjezopiedo ($a_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $b_0 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $f = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$) akustinis laukas vandenyje Frenelio srityje: a) - $\delta = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; b) - $\delta = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Asimetrinio pjezopiedo akustinio suskaièiuoti laukai asimetriniø lauko asimetriðkumui ávertinti pjezopiedø su kiaryme ($b = 0,01 \text{ m}$),

esant santykiniams jos centro postūmams atpvilgiu disko centro $\delta/b = 0,3$ ir $0,6$ (4 pav.). Sprendžiant pagal akustinio lauko deformacijos Frenelio srityje (4a pav.), galima daryti išvadą apie asimetrinio pjezopiedo netinkamumą tiksliams aksialiniams matavimams. Pjezopiedo su necentriška kiauryme kryptingumo charakteristikos asimetriškumui padalinti pasiūlytas sudėtinis pjezopiedas, sudarytas iš dviejų

analogiškų asimetrinio pjezopiedo, kuriu antrasis patalpintas pirmojo kiaurymėje taip, kad antrojo disko kiaurymės centras sutaptų su pirmojo disko centru (5 pav.) [2,5]. Tokio sudėtinio pjezoelemento akustinis laukas (6 pav.) yra simetriškas, ir, esant vidinio pjezopiedo kiaurymės radiusui $r_2 \ll a$, yra identiškas diskinio pjezoelemento akustiniam laukui (3 pav.).



$$0 < \delta < b_0 < a_0 - \delta$$

$$a_1 < b_0$$

a)

b)

5 pav. Sudėtinis kvazisimetrinis pjezopiedas - a) ir jo akustinis laukas vandenyje Frenelio srityje - b): ($a_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $b_0 \approx a_1 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $b_1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $f = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$)

Tokiu būdu asimetrinio pjezopiedo trimačio akustinio lauko Frenelio srityje skaičiavimai parodė, kad dėl pymaus akustinio lauko asimetriškumo aksialiniams matavimams tikslinga naudoti sudėtinius pjezoelementus, sudarytus iš dviejų asimetrinio pjezopiedo.

Autoriai dėkingi A. Mažoniui už suteiktas vaisingas konsultacijas.

Literatūros sąrašas

1. **Ā. n. 1490616 NĖNĖ.** Iuāçyēāīāīō āēy ōēūōāāçāōēīāūō ēçīāāīēē/N. Ē. Nāyōñēāñ. Āpēēāōāīū ēçīāāōāīēē. 1989. '24.
2. **S. Sajauskas.** Izotropinū kietū kūnū elektroakustiniai tyrimo metodai. Kaunas: Technologija. 1994. P.124-125.
3. **N. Ī. Dēāāēēī.** Ēōđñ ēāēōēē n̄ dāāīđēē çāōēā. - Īñēāā: ēçā. Īñēāñēāīāī ōēāāōñēōāā. 1960.

4. **Ā. Īāōīēñ.** Āēōñōē-āñēīā nēā āēñēīāīāī - ēīēūōāāīāī īōāīāāçāīāāōāēy ā īāīđāōūāīī dāæēīā//Ōēūōdāāāōñāñ. 1991. '23. N.100-109.

5. **Lietuvos Resp. pat. N. 2014.** Pjezoelementas ultragarsiniams matavimams/ S. Sajauskas ir kt. //Lietuvos Resp. valst. pat. biul. 1993. N. 2.

N. Sajauskas, S. Sajauskas

Theoretical Investigations of the Acoustical Field of Asymmetric Piezoelectric Ring

Summary

Calculation results of piezoelectric disk with asymmetrical hole are presented there. For eliminating acoustic field distortions is proposed composit piezoelement. This piezoelement consists of two disks with asymmetrical holes. One of these disks is set into the hole of the other.