

Sintetinės apertūros fokusavimo technikos (SAFT) pjezokeitikliai

A. Vladišauskas

KTU Ultragarso mokslo centras

Įvadas

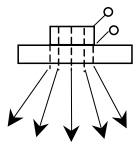
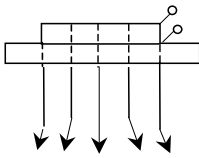
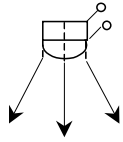
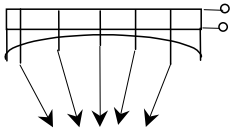
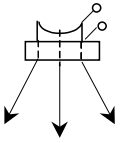
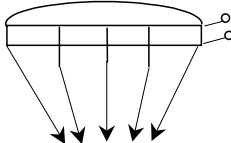
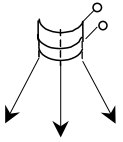
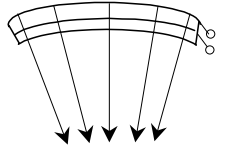
Skaičiavimo techniką panaudojus ultragarso technologijoje, prasiplėtė jos galimybės medicinoje ir neardančiojoje kontrolėje [1-3]. Ypatingas dėmesys šiose srityse skiriamas tiems metodams, kurie leidžia gauti geresnės kokybės vaizdus arba tikslesnius matavimo rezultatus. Vienas iš jų - sintetinės apertūros fokusavimo technikos (SAFT) metodas. Šiam metodui reikalingi specialios konstrukcijos pjezokeitikliai, kuriems, be įprastinio reikalavimo jautrumui (ultragarso spindulio sklaidai), keliamas reikalavimas, kad kryptingumo diagrama skenavimo kryptimi (x ašis) būtų labai plati, o kryptimi statmena skenavimo kryptčiai (y ašis), - pakankamai siaura. Nuo to, kaip šios sąlygos taikomos, priklauso SAFT rezultatai. Todėl standartiniai pjezokeitikliai negali būti naudojami, arba jie yra mažiau

efektyvūs, nei specialiai šiam metodui sukurti pjezokeitikliai. Be to, papildomas reikalavimas SAFT pjezokeitikliams yra juostos plotis, nes, kuo trumpesnis impulsas, tuo geresnė skiriamoji geba. Specialūs reikalavimai SAFT pjezokeitiklių kryptingumo diagramoms įvykdomi skirtingai formuojant akustinius laukus skenavimo kryptimi ir statmenai šiai kryptčiai. Dažniausiai tam panaudojamas ultragarso bangų fokusavimo ir defokusavimo savybės arba pasirenkami pjezoelemento parametrai.

Akustinių laukų formavimo būdai

Pagrindiniai SAFT pjezokeitiklių akustinių laukų (ultragarso spindulio) formavimo būdai pavaizduoti 1 lentelėje. Akustinis laukas x ir y kryptimis formuojamas pjezoelementu ir tarpiniu sluoksniu. Paprasčiausiu atveju pjezoelementas ir tarpinis sluoksnis yra plokšti (1 lentelėje

1 lentelė.

Eil. Nr.	X kryptis	Eil. Nr.	Y kryptis
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	

1 eilutė), bet pjezoelemento skersiniai matmenys bent penkis kartus mažesni už išilginius.

Todėl x kryptimi kryptingumo diagrama (tolimame lauke) bus kur kas platesnė nei y kryptimi. Ši plotį 0.5 lygyje (-6 dB) galima apskaičiuoti iš formulės

$$\theta_{0,5} = \arcsin 0.72 \frac{\lambda}{H}, \quad (1)$$

o 0.1 lygyje (-20 dB) - iš formulės

$$\theta_{0,1} = \arcsin 1.08 \frac{\lambda}{H}, \quad (2)$$

čia λ - ultragarso bangos ilgis sklidimo aplinkoje, H - pjezoelemento plotis arba ilgis.

Kadangi SAFT pjezokeitikliai naudojami atliekant tyrimus imersiniais ir kontaktiniais metodais, tai dėl ultragarso bangų ilgio skirtumo kryptingumo diagramų plotis gerokai skirsis. Imersiniu atveju esant 3 MHz dažniui, ultragarso bangos ilgis vandenyje $\lambda=0.5$ mm, o kontaktiniu atveju pliene - $\lambda=2.0$ mm. Atitinkamai 4 mm pjezokeramikos plokštelės kryptingumo diagramos plotis vandenyje bus $\theta_{0,1}=7.75^\circ$, arba, įvertinant antrą lapelio pusę $2\theta_{0,1}=15.51^\circ$. Pliene - $2\theta_1=65.3^\circ$. Taip pat galima apskaičiuoti pjezokeraminės juostelės plotį norimam kampui

$$H_p = 1.08 \lambda / \sin \theta_{0,1}. \quad (3)$$

Plienui 90° kampą gautume esant $H_p=2.16$ mm ir 3MHz dažniui.

Antroje eilutėje nurodytų pjezokeitiklių kryptingumo diagramos plotį (žr. 1 lentelę) lemia ne tik pjezoelemento matmenys, bet ir tarpinio sluoksnio forma; x kryptimi - defokusavimas, y kryptimi - fokusavimas. Abu pjezoelementai yra paprastos pjezokeraminės plokštelės, todėl šios konstrukcijos pjezokeitiklių gamybos technologija nesudėtinga, tačiau dėl išgaubto ar įgaubto tarpinio sluoksnio paviršiaus jie naudojami tik imersiniams tyrimams. Tuo tarpu pirmoje eilutėje parodytos konstrukcijos pjezokeitikliai (plokščias tarpinis sluoksnis ir plokščias pjezoelementas) gali dirbti ir imersiniais, ir kontaktiniais metodais.

Trečioje eilutėje pateikti būdai kryptingumo diagramai formuoti panaudojant pjezoelemento įgaubimus ar

išgaubimus. Plokščias suderinimo sluoksnis daro pjezokeitikli universalų, o skirtingo storio pjezoelementas praplatina keičiamų dažnių juostą.

Ketvirtoje eilutėje parodytų pjezokeitiklių abu formavimo elementai yra išgaubti ir įgaubti, todėl jų gamybos technologija sudėtinga, ir jie tinka tik imersiniams tyrimams.

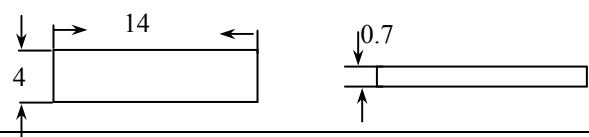
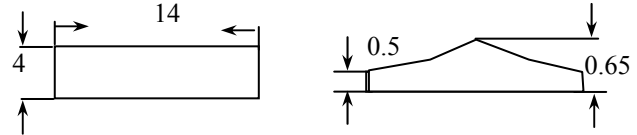
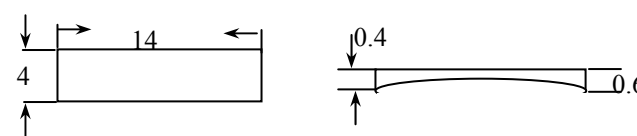
Akustinio lauko formavimo elementai, pateikti 1 lentelėje, gali būti jungiami nuosekliai ar lygiagrečiai sudarant sudėtingesnės struktūros pjezokeitiklius norimoms kryptingumo diagramoms gauti. Nuosekliai gali būti jungiami ne du, bet trys ir daugiau tiek aktyvių, tiek pasyvių elementų. Lygiagrečiai elementai gali būti jungiami akustinėse gardelėse.

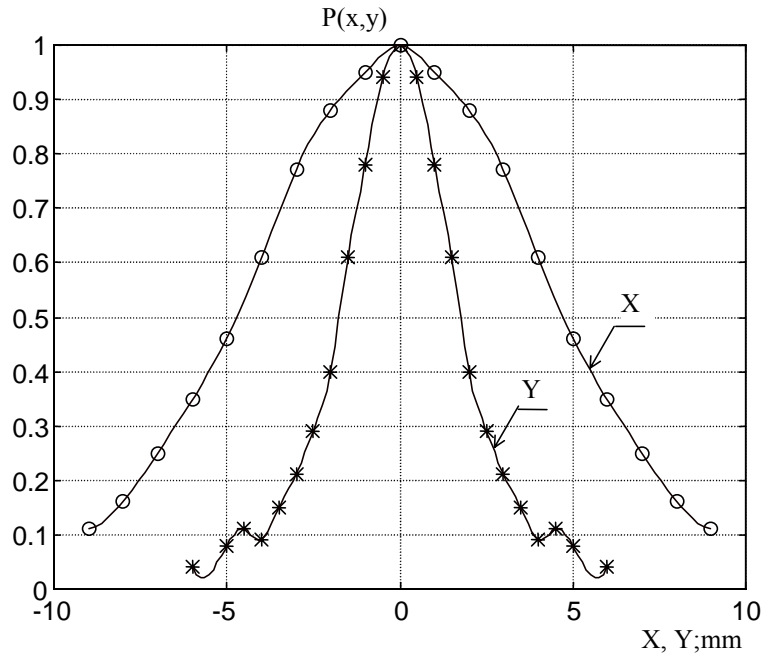
Būtina pažymėti, kad kryptingumo diagramos sąvoka tinka tik tolimam akustiniam laukui. SAFT pjezokeitikliai taikomi tyrimams taip pat ir artimame akustiniame lauke, ir tarpiniame. Šiais atstumais SAFT pjezokeitiklių galimybes tikslinga vertinti ultragarso spindulio skersiniais parametrais. Analitinės kryptingumo diagramų išraiškos čia netaikytinos. Dėl skirtingų skersinių pjezoelemento matmenų artimas pjezokeitiklio laukas X ir Y kryptimis yra nevienodas. Pavyzdžiui, pjezoelemento 4×14 mm artimas laukas X kryptimi vandenyje, esant 2.5 MHz dažniui, $Z_x=6.6$ mm, o Y kryptimi $Z_y=81.6$ mm.

Eksperimentiniai tyrimai

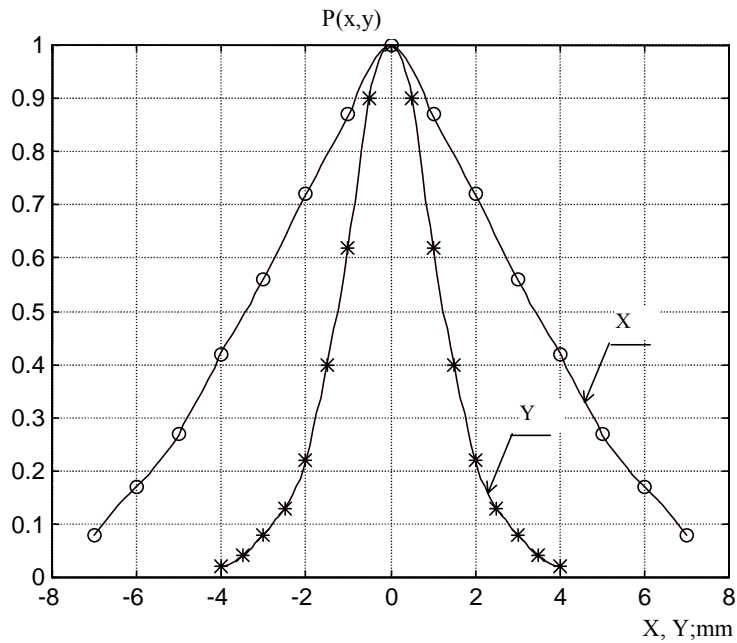
Ultragarso matavimo technikos laboratorijoje keliais anksčiau aprašytais būdais buvo pagaminti, išbandyti ir panaudoti tyrimuose SAFT pjezokeitikliai. 2 lentelėje pateikti pjezoelementų matmenys ir kai kurie kiti pjezokeitiklių parametrai. Ultragarso spindulio skersiniams matmenims palyginti skirtingos konstrukcijos pjezoelementų plotis ir ilgis parinkti vienodi. Vienas iš pjezokeitiklių KSA-00 pagamintas iš plokščios pjezokeraminės plokštelės, du kiti - iš panašios plokštelės, išgaubiant jos užpakalinį paviršių (KSA-10) ir įgaubiant priekinį paviršių (KSA-20). Abu pjezokeitikliai fokusuoja Y kryptimi. Visi pjezokeitikliai išspinduliuoja per polimerinį suderinimo sluoksnį, turintį plokščią paviršių,

2 lentelė.

Eil.Nr.	Pjezokeitiklių žymėjimas	Pjezoelementų matmenys mm	Talpa
1	KSA-00		945 pF
2	KSA-10		1870 pF
3	KSA-20		2135 pF



1 pav. SAFT pjezokeitiklio KSA-00 akustinio slėgio pasiskirstymas ultragarso spindulio skerspjūvyje



2 pav. SAFT pjezokeitiklio KSA-10 akustinio slėgio pasiskirstymas ultragarso spindulio skerspjūvyje

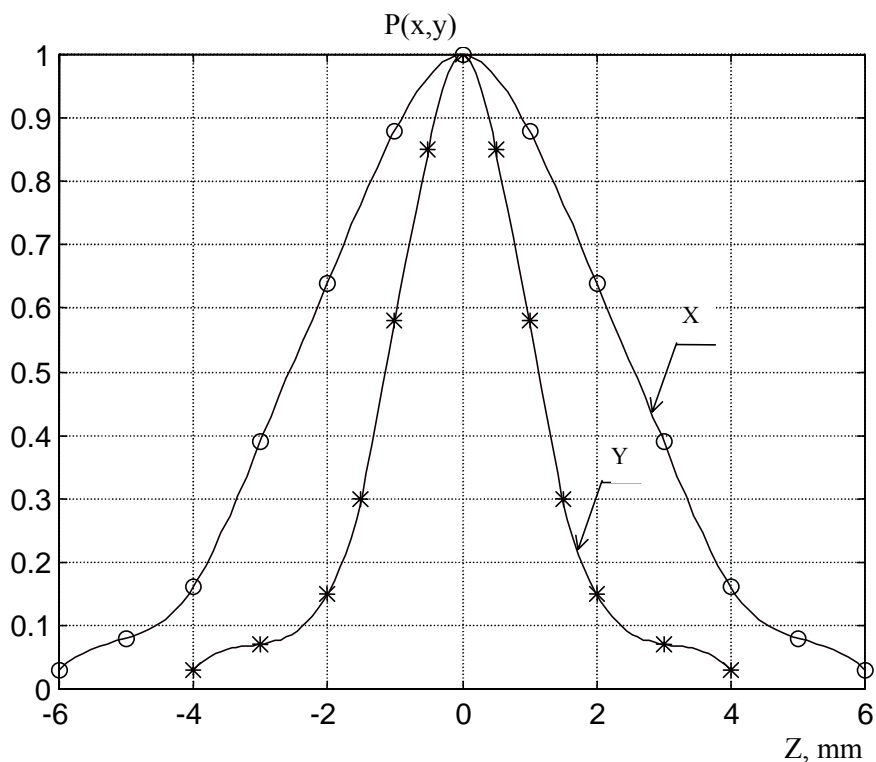
todėl jie tinka imersiniams ir kontaktiniams bandymams. Dėl skirtingų pjezoelementų storių centrinis pjezokeitiklių dažnis yra nevienodas.

Ekspirimentiniai tyrimai atlikti imersinėje vonelėje matuojant akustinį slėgį 10-170 mm atstumu X ir Y kryptimis. Slėgiui matuoti panaudotas plačiąjuostis zondas, turintis 1 mm skersmens pjezoelementą. 1-3 paveiksluose pateiktas akustinio slėgio pasiskirstymas X ir Y kryptimis 150 mm atstumu nuo pjezokeitiklių paviršiaus. Gauti rezultatai leido palyginti eksperimentiškai gautus ultragarso spindulio skersinius matmenis su apskaičiuotais kryptingumo diagramos parametrais, įvertinant pjezokeitiklių dažnius. Rezultatai X kryptimi pateikti 3 lentelėje (-20 dB lygyje).

Dėl fokusavimo ultragarso spindulio parametrai Y kryptimi įvertinami pagal eksperimentinius rezultatus. Fokuso dėmės srityje (90-120) mm atstumu nuo pjezokeitiklio paviršiaus spindulys yra 3-4 mm pločio ir toliau plėtėja (150 mm atstumu nuo pjezokeitiklio paviršiaus pavaizduotas 1-3 pav.).

Išvados

SAFT pjezokeitiklių, kurių skersiniai matmenys statmenomis kryptimis skiriasi ne mažiau kaip 5 kartus, kryptingumo diagramos gali būti apskaičiuotos kiekvienai kryptčiai arba išmatuotos miniatiūriniais zondais imersinėje



3 pav. SAFT pjzokeitiklio KSA-20 akustinio slėgio pasiskirstymas ultragarso spindulio skespjūvyje

3 lentelė.

Eil. Nr.	Įvertinimo metodai X kryptimi	Pjzokeitikliai		
		KSA-00 2.5 MHz	KSA-10 3.5 MHz	KSA-20 5.0 MHz
1	Kryptingumo diagramos skaičiavimas	20,9 mm	16,8	11,65
2	Ekspirimentinis ultragarso spindulio matavimas	18.2 mm	13.6 mm	9.4 mm

aplinkoje, o prireikus perskaičiuotos kietai aplinkai (pvz., metalams).

Išnagrinėti akustinio lauko formavimo būdai gali būti panaudoti kuriant sudėtingesnės konstrukcijos pjzokeitikius, pvz., kelių elementų ar daugiaelementes SAFT gardeles.

Literatūra:

1. **Burch S.F.** Comparison of SAFT and two dimensional deconvolution method// Ultrasonics. 1987. Vol.25. No.4. P.259-266.
2. **Ozaki Y., Sumitani H., Tomoda T., Tanaka M.** Synthetic aperture real-time ultrasonic scroll-imaging system// Inter NDT conference. London. 1989. P.2489-2497.

3. **Ylitalo Juha.** A fast ultrasonic synthetic aperture imaging method: application to NDT// Ultrasonics.1996. Vol.34. No.4. P.331-333.

A.Vladišauskas

Synthetic aperture focusing technique (SAFT) piezotransducers

Summary

The synthetic aperture focusing technique has recently become popular in the fields of non-destructive testing and medicine. The lateral resolution of this method depends on the angular aperture of the insonifying beam. The directivity patterns of the piezotransducers with large difference between length and width of the piezoelements and matching layers are presented.

DOI: 10.5755/j01.u.31.1.7906