

Stačiakampio bimorfino pjezoelektrinio keitiklio efektyvumo didinimas

A. Petrauskas, P. Razutis

Prof. K.Baršausko ultragarso mokslo centras

Studentų g.50, LT-3031, Kaunas

Įvadas

Ore atliekamuose matavimuose plačiai naudojami lankstymosi virpesių pjezoelektriniai keitikliai [1-4]. Tokių keitiklių siauras vienkryptis spinduliavimas gaunamas įvairiais būdais, pavyzdžiui, keičiant keitiklių virpesių fazes arba panaudojant akustines varžas suderinančius ruporus [2,3]. Nors lankstymosi virpesių kietų kūnų keitiklių akustinė varža yra panašaus dydžio, kaip oro akustinė varža, jų išspinduliuojamų akustinių signalų slėgis yra nepakankamas aidolokacinių matuoklių veikimo ore nuotoliui padidinti.

Siekiant sukurti aidolokacinius akustinius matuoklius, veikiančius ore didesniais kaip 30 metrų atstumais, vis dar aktualu padidinti suminę akustinių bangų amplitudę prie lanksčiai virpančio keitiklio paviršiaus. Tai galima pasiekti tam tikru būdu tarpusavyje formuojant atskirų elektroakustiškai aktyvių elementų virpesius arba akustiškai izoliuojant keitiklių vietas, virpančias priešinga faze. Kad būtų galima tai padaryti, reikalinga pakankamai tiksliai žinoti keitiklio aktyvajame paviršiuje sukuriamų virpesių mazginių linijų išsidėstymą.

Teorinė analizė

Panagrinėsime stačiakampio bimorfino pjezokeraminio keitiklio aktyvino elemento [1,3], dažnai taikomo aidolokaciniuose matavimuose, sukuriamų tampriųjų virpesių mazginių linijų išsidėstymą.

Taikydami standžiai įtvirtinto pjezokeitiklio ribines kraštų sąlygas lankstymosi virpesių klasikinės lygties sprendimo koeficientams C ir D rasti [4] ir įrašę šių koeficientų reikšmes į normuoto keitiklio ilgio \bar{x} lankstymosi virpesių funkciją $\xi(\bar{x})$ bei į jos antrąją ir trečiąją išvestines, įvertindami ribines kraštų sąlygas, kai $\bar{x}=1$, ir išsprendę gautą dviejų lygčių sistemą koeficientų A ir B atžvilgiu, gauname apibendrintą pjezokeitiklio virpesių išraišką x ašies kryptimi (skersine keitiklio kryptimi):

$$\xi(\bar{x}) = \frac{2k_2}{D(\alpha) - k_1^2 S_1(\alpha)} \left\{ U(\alpha) \left[1 + S(\alpha) \right] - V^2(\alpha) - jk_1 \left[T(\alpha) + \frac{A(\alpha)}{2} \right] \right\} \times$$

$$\times \left[S(\alpha\bar{x}) + jk_1 V(\alpha\bar{x}) \right] + \frac{k_2}{D(\alpha) - k_1^2 S_1(\alpha)} \times$$

$$\times \left\{ 2T(\alpha) + A(\alpha) - k_1 [B(\alpha) + V(\alpha)] - jk_1 D(\alpha) \right\} T(\alpha\bar{x}) - U(\alpha\bar{x}),$$

kur

$$k_2 = \frac{e_{31} U h_1 \sqrt{b}}{\omega \sqrt{G_{ef} (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2)}},$$

e_{31} - pjezoelektrinė konstanta [5], U - prie keitiklio prijungta elektrinė įtampa, ρ_1, ρ_2 - atitinkamai pjezoelektrinės ir metalinės plokštelių tankis, h_1, h_2 - atitinkamai pjezoelektrinės ir metalinės plokštelių storis, b - bimorfino elemento plotis, G_{ef} - efektyvusis bimorfino elemento lankstymosi tamprumas [5], $\omega = 2\pi f$ - ciklinis virpesių

dažnis, $k_1 = \frac{\omega Z}{G_{ef} k^3}$, Z - keitiklio kraštų apkrovimo

impedansas, $k = 4 \sqrt{\frac{m \omega^2}{G_{ef}}}$, m - bimorfino elemento vieneto

ilgio masė, $\alpha = kl$, $\bar{x} = x/l$, l - keitiklio ilgis x ašies kryptimi,

$$A(\alpha) = ch\alpha \cdot \sin \alpha + sh\alpha \cdot \cos \alpha,$$

$$S_1(\alpha) = 2sh\alpha \cdot \sin \alpha,$$

$$D(\alpha) = ch\alpha \cdot \cos \alpha - 1,$$

$$S(\alpha\bar{x}) = \frac{1}{2} [ch(\alpha\bar{x}) + \cos(\alpha\bar{x})],$$

$$T(\alpha\bar{x}) = \frac{1}{2} [sh(\alpha\bar{x}) + \sin(\alpha\bar{x})],$$

$$V(\alpha\bar{x}) = \frac{1}{2} [ch(\alpha\bar{x}) - \cos(\alpha\bar{x})],$$

$$V(\alpha\bar{x}) = \frac{1}{2} [sh(\alpha\bar{x}) - \sin(\alpha\bar{x})]_x - \text{Krylovo funkcijos},$$

$$B(\alpha) = cg\alpha \cdot \sin \alpha - sh\alpha \cdot \cos \alpha - \text{Pragerio funkcija}.$$

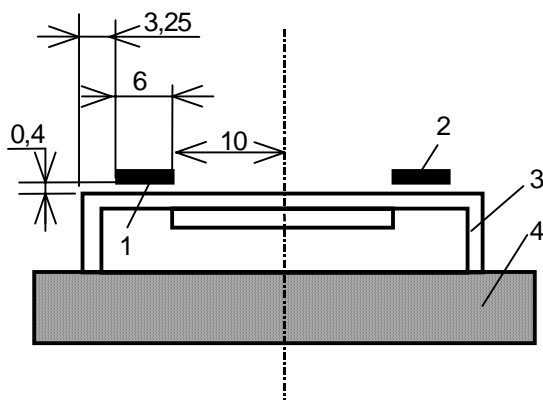
Mūsų nagrinėjamam stačiakampiui keitikliui [3] $Z=\infty$. Tuomet keitiklio skersine kryptimi x išsidėsto keturi virpesių mazgai, o santykinis atstumas tarp jų yra: 0,36; 0,28; 0,36 ir tai su ne didesniu kaip 0,04 skirtumu atitinka praktikoje realizuojamus keitiklius.

Eksperimentiniai rezultatai

Panagrinėsime pjezokeraminio keitiklio, sudaryto iš stačiakampės 1,0 mm storio 80,0x38,5x10,0 mm išorinių matmenų duraliuminio stiklinės, prie kurios vidinės pusės centre priklijuota pjezokeraminė 60,0x20,0x1,0 mm plokštelė, efektyvumo didinimo būdus. Keitiklio efektyvumą įvertinsime pagal elektrinės įtampos perdavimo koeficientą siuntimo ir priėmimo aidolokacinio darbo režimu, kai akustines bangas atspindintis plokščias paviršius yra 2 metrų atstumu nuo keitiklio paviršiaus.

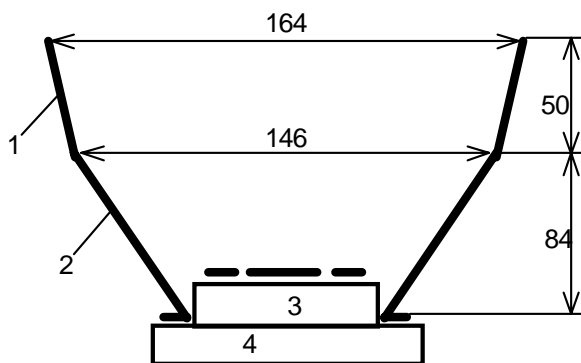
Siekiant padidinti tokio keitiklio efektyvumą, darbe [6] pasiūlyta parinkti pjezokeraminės plokštelės elektrodo pločio $2l$ santykį su lankstymosi bangos ilgiu λ intervale $0,25 \leq 2l/\lambda \leq 0,5$. Šiuo atveju elektrinės įtampos perdavimo koeficientas padidinamas elektrode panaikinant indukuotą priešingos fazės krūvį.

Neneigdami šių rezultatų, siūlome tokia keitiklyje papildomai eliminuoti žalingą keitiklio priešingos fazės virpesių poveikį vienfaziam išspinduliuojamam signalui. Šiam tikslui pasiekti 0,4 mm atstumu nuo aktyviojo keitiklio paviršiaus išdėstėme dvi 6,0 mm pločio tamprias plokšteles, nutolusias 20,0 mm atstumu viena nuo kitos per visą keitiklio ilgį, kaip parodyta keitiklio skerspjūvyje 1 pav.



1 pav. Stačiakampio bimorfio pjezokeraminio keitiklio skerspjūvio schema: 1,2–tampriosios plokštelės; 3–keitiklio aktyvusis paviršius; 4–tvirtinimo pagrindas

Tokios papildomos plokštelės keitiklio konstrukcijoje panaikina keitiklio priešingos fazės virpesių įtaką formuojamam vienfaziam akustiniam signalui, be to, gerokai padidina akustinį slėgį prie tamprių plokštelių kraštų. Paduodant į tokį keitiklį 1 ms trukmės, 16 kHz dažnio, 150 V įtampos radioimpulsą, priimto aido signalo amplitudė padidėja nuo 145 iki 900 mV.



2 pav. Akustinės antenos konstrukcijos schema: 1–papildomas reflektorius; 2–pagrindinis reflektorius; 3–bimorfio pjezokeraminis keitiklis; 4–keitiklio tvirtinimo pagrindas

Papildomai prie tokio keitiklio paviršiaus įtaisius trečią 17 mm pločio tamprią plokštelę, vienodai nutolusią nuo dviejų plokštelių 1, 2 (1 pav.), akustinį signalą spinduliuoja ir priima du 1,5 mm pločio plyšiai, o priimto aido signalo amplitudė padidėja iki 1,1 V.

Papildomai išdėstyti akustinių bangų reflektoriai 1 (2 pav.) šoninės sklaidos kryptingumo charakteristikos lapelių lygį sumažina 3 kartus (iki 5% nuo pagrindinio lapelio lygio), o aido signalo amplitudę padidina iki 1,23 V. Pagrindinio akustinės antenos kryptingumo charakteristikos lapelio plotis 0,5 amplitudės lygyje yra $7,2^\circ$.

Taigi keitiklio efektyvumas padidėja apie 8,5 karto, o šoninė nenaudinga sklaida sumažėja apie 3 kartus.

Išvados

Eliminuojant lankstymosi virpesių keitiklio priešingos fazės virpesius, reikia žinoti virpesių mazginių linijų išsidėstymą aktyviajame keitiklio paviršiuje. Tamprių plokštelių išdėstymas šalia aktyviojo keitiklio paviršiaus gali būti panaudotas ir ašįškai simetriškiems keitikliams bei keitikliams, turintiems daugiau virpesių mazginių linijų.

Panaudojant tokios konstrukcijos keitiklius, gerokai išplečiamas aidolokacinių atstumo matuoklių veikimo oro aplinkoje ribos.

Literatūra

1. Домаркас В., Петраускас А. Биморфные пьезоэлектрические преобразователи для измерений в газовых средах // Ультразвук. Научные труды вузов Лит.ССР. 1978. 10. С.55-64.
2. Домаркас В. и др. Исследование характеристик направленности пьезопреобразователей изгибных колебаний // Ультразвук. Научные труды вузов Лит.ССР. 1983. 15. С.48-51.
3. Kažys R., Kundrotas K., Dzimidavičius V., Mažeika L. The scanning acoustic sonar for robotics// Ultragarasas. Scientific works of the higher schools of Lithuania. 1991. 23. P.73-80.
4. Петраускас А. Исследование и разработка измерительных пьезоэлектрических преобразователей изгибных колебаний для ультразвуковых приборов: Дисс... канд. техн.наук. Каунас: КПИ, 1976. 152 с.
5. Ультразвуковые преобразователи./ Под ред. Е. Кичуци. Пер. с англ. под ред. И. Голяминой. М.: Изд. "Мир". 1972. 424 с.
6. Раманаускас Й. Эффективность биморфного пьезоэлектрического преобразователя изгибных колебаний // Ультразвук. Научные труды вузов Лит.ССР. 1985. 17. С.115-118.

A. Petrauskas, P. Razutis

Improvement of the efficiency of a bimorph rectangular piezoelectric transducer

Summary

The construction of a bimorph rectangular piezoelectric transducer is described. The vibrations of opposite phase are used profitly. For radiation of acoustic waves not complete surface of the transducer is used. This allows for maximum transformation of electric energy into acoustic one and vice versa.