

## Akustoelektroninis mechaninių poveikių jutiklis

**A. Janeliauskas, K. Bilius**

*Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas,*

*Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300521, el. p. arturas.janeliauskas@ktu.lt*

### Įvadas

Šiuo metu Lietuvoje atliekami tyrimai siekiant sukurti mikroelektroninių paviršinių akustinių bangų (PAB) jutiklių teoriją, projektavimo metodiką, iširti charakteristikas, nustatyti taikymo sritis [1].

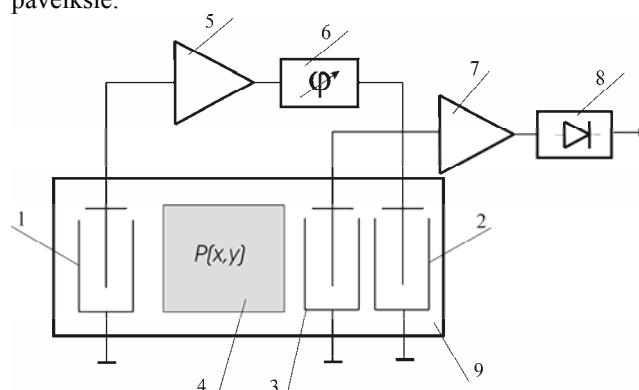
Viena iš PAB jutiklių taikymo sričių – mechaninių poveikių matavimas. Paviršinių bangų jutikliai pasižymi dideliu jautrumu matuojant apkrovimo masę. Taip yra dėl mechaninių paviršių deformacijų aukštojo dažnio ir akustinių virpesių energijos lokalizacijos paviršiniame garsolaidžio sluoksnyje. Dauguma akustoelektroninių jutiklių yra rezonansinio tipo ir veikia rezonansinio (rečiau antirezonansinio) dažnio parametrinės moduliacijos principu, t.y. fiksuojamasis faktorius moduluoja vieną ar kelis rezonatoriaus parametrus (ekvivalentinę talpą ar induktyvumą, aktyvuosius nuostolius ar statinę talpą), lemiančius rezonansinį dažnį [2]. Didžiausias efektas pasiekiamas apkraunant tą pjezoelektriko vietą, kurioje virpesių amplitudė yra maksimali. Atspindžio gardelės apkrovimas mase sukelia mažiausią efektą – nuo rezonansinės plokštumos nutolusios sritys apibūdinamos mažesne virpesių amplitude. Be to, jeigu jautriojo sluoksnio medžiaga pasižymi laidumu, tai sukelia dalinį arba visišką trumpąją jungimą. Jeigu nusodinamas dielektrikas, tai PAB struktūros charakteristika pakinta dėl parazitinių talpų tarp elektrodų arba atspindžio elementų. Efektas tuo didesnis, kuo didesnė nusodinamos medžiagos dielektrinė skvarba. Jeigu dielektrikas naudojamas kaip sorbentas, tai, veikiant tokiam PAB detektoriumi, išėjimo signalas formuojasi kaip dviejų konkuruojančių efektų – absorbuotos masės ir parazitinių talpų (dėl absorbavimo proceso) rezultatas. Aišku, kad dėl to matavimo rezultatai gaunami netikslūs. Taigi jautrųjį sluoksnį reikia formuoti PAB prietaiso zonose, laisvose nuo elektrodų ir atspindžio elementų. Tokios zonos PAB rezonatoriuose nėra didelės ir sudaro tik 20–30 % padėklo ilgio. PAB vėlinimo linijose jautrusis sluoksnis gali užimti iki 70 % padėklo ilgio, o keitikliai veikti harmonikose. Todėl jų pagrindu sukonstruoti jutikliai yra jautresni. Išėjimo signalas šiuo atveju yra tam tikro dažnio kintamoji srovė ar įtampa [2]. Šiems signalams apdoroti naudojamos diferencinės schemas su dviem autogeneratoriais ir skirtuminio signalo formuotuvu. Be pagrindinio elemento – akustoelektroninio jutiklio, struktūroje yra stiprintuvai, dažnio selekcijos elementai, užtikrinantys vienmodiškumą, suderinimo

elementai ir kt. Tokių jutiklių trūkumai – generatorių, maišiklių, detektorių schemų sudėtingumas, mažas parametru stabilumas ir paderinimo gamybos metu būtinybė. Akustoelektroninius jutiklius naudojant matavimo bei reguliavimo sistemose, patogiau yra operuoti srovės ar įtampos, o ne dažnio ar fazės signalais. Tokiu atveju jutiklio schemoje būtinas dažnio ir įtampos keitiklis, t.y. dažnio diskriminatorius. Klasikinių LC diskriminatorių trūkumas – didelis netiesiškumas, siekiantis 10–20 % ir nesuderinamumas su integrine technologija.

Šių trūkumų galima išvengti įtaisius vėlinimo linijoje papildomą PAB dvifazį keitiklį su specialia charakteristika, kuris atliktų dažnio diskriminatoriaus funkciją. Šiame straipsnyje pateikiama siūlomo jutiklio struktūrinė schema, taip pat charakteristikų ir parametru analizės metodika, esant pagrindiniam dažniui ir aukštesnėms harmonikoms.

### Mechaninių poveikių jutiklio struktūra

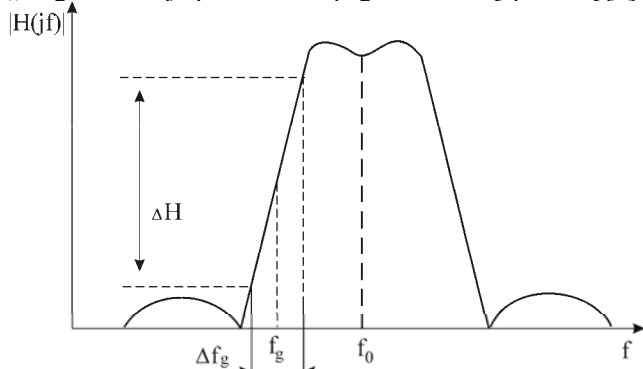
PAB jutiklių akustinių bangų greičio varijavimo efektas, veikiant fiksuojamam parametru, paprastai siekia 0,01...1 % [2]. Tokios pat eilės yra ir PAB keitiklių dažninių amplitudės charakteristikų (DACH) šlaitų plotis, o tai leidžia panaudoti juos vietoje dažnio diskriminatoriaus. Jutiklio struktūrinė schema pateikta 1 paveiksle.



**1 pav.** PAB jutiklio struktūrinė schema: 1,2–vėlinimo linijos įėjimo ir išėjimo keitikliai; 3–dažnio diskriminatorius; 4–fiksuojamam poveikiui jautri plėvelė; 5–stiprintuvas; 6–fazės reguliavimo elementas; 7–išėjimo signalo stiprintuvas; 8–amplitudės detektorius; 9–garsolaidis

Jutiklio keitikliai 1,2, stiprintuvas 5 ir fazės reguliavimo elementas 6 sudaro generatorių, kurio dažnis

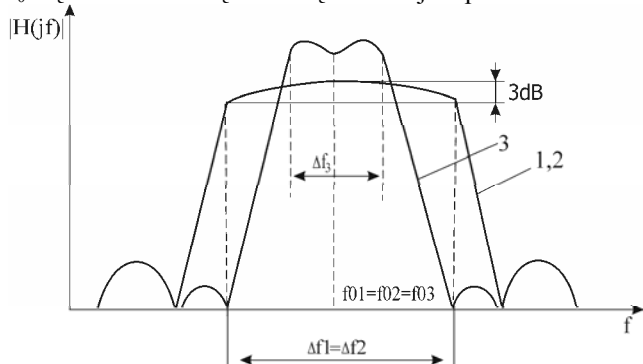
$f_g$  kinta priklausomai nuo PAB sklidimo po plėvele 4 greičio. Keitiklis 3 atlieka dažnio diskriminatoriaus funkcijas. Šio keitiklio DACH šlaito plotis turi būti ne mažesnis už generatoriaus dažnio kitimo diapazoną  $\Delta f_g$ . Akivaizdu, kad maksimaliam jutiklio jautrumui gauti reikalingas kuo didesnis keitiklio DACH šlaito aukštis  $\Delta H$  (2 pav.). Atkreiptinas dėmesys į tai, kad praktiškai yra panaudojamas ne visas šlaito aukštis, o tik kvazitiesinė jo dalis. Įvertinus šiuos veiksnius, keitiklis 3 sintezuojamas kaip apodizuotas, kurio elektrodų ilgio subalansavimas bei „lango“ funkcija pasirenkami pagal metodiką, pateiktą [3].



**2 pav.** Diskriminatoriaus keitiklio DACH:  $f_0$ –keitiklio akustinis sinchroninis dažnis;  $\Delta f_g$ –generatoriaus dažnio kitimo diapazonas;  $f_g$ –generatoriaus pagrindinis dažnis

PAB įtaisai, palyginti su tūrinių akustinių bangų įtaisais, yra jautresni destabilizuojančių aplinkos veiksnių įtakai, tarp jų temperatūrai ir senėjimui. Yra žinoma [2], kad temperatūrinis PAB greičio koeficientas net termostabiliems pjezoelektrikams (ypač kvarcui) siekia  $5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . Šis dydis dažnai yra panašios eilės kaip ir PAB greičio pokytis po jautriąja plėvele 4. Įtaisius diskriminatorių ant to paties garsolaidžio kaip ir jutiklis, galima gerokai sumažinti destabilizuojančių aplinkos veiksnių įtaką matavimo rezultatams.

Siūloma jutiklio struktūra leidžia visiškai kompensuoti temperatūros poveikį išėjimo signalo amplitudei. Tai pasiekama visus tris jutiklio keitiklius 1,2,3 projektuojant vienam akustiniui sinchroniniui dažniui  $f_0$ . Jų charakteristikų sanklotą iliustruoja 3 pav.



**3 pav.** Generatoriaus keitiklių 1,2 ir diskriminatoriaus keitiklio 3 DACH tarpusavio sanklota

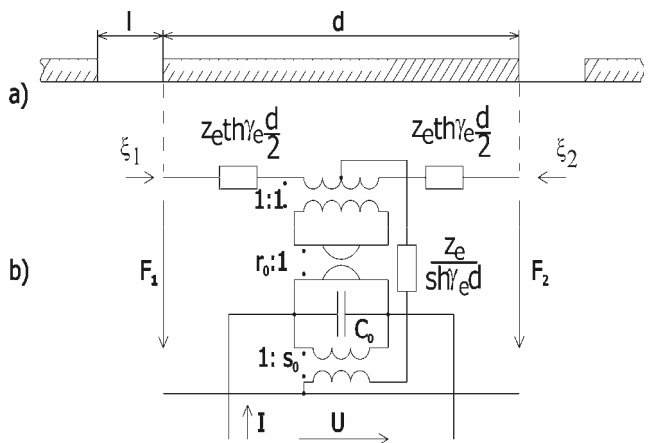
Generatoriaus keitikliai 1 ir 2 turi būti plačiąjuosčiai, t. y. turi būti tenkinama sąlyga  $\Delta f_{1,2} > (\Delta f_3 + \Delta f_g)$ . Jutiklio struktūroje (1 pav.) numatytu fazės reguliavimo elementu 6 užtikrinimas toks generatoriaus dažnis  $f_g$ , kuris sutampa su keitiklio 3 (diskriminatoriaus) DACH šlaito centru. Jutiklio

stabilumas ir minimalūs triukšmai gaunami esant minimaliam stiprintuvo 5 stiprinimo koeficientui. Todėl tikslinga generatoriaus keitiklių 1 ir 2 konstrukcijas parinkti taip, kad būtų užtikrintas PAB sklidimo vienkryptiškumas visame generatoriaus dažnio  $f_g$  kitimo intervale.

Jautrumui padidinti naudotinos aukštesnio dažnio bangos, todėl keitikliai turi būti projektuojami darbiu aukštesnėse pagrindinio dažnio harmonikose. Tokie keitikliai yra pranašesni, nes jiems būdingi mažesni nuostoliai bei paprastesnė gamybos technologija.

Jutikliuose naudojant naujos konstrukcijos keitiklius ir stiprius pjezoelektrikus, reikia įvertinti aplinkos nevienalytiškumo ir krūvio pasiskirstymo elektroduose netolygumo įtaką bangos sklidimui. Tokio pobūdžio uždavinius analitiškai galima išspręsti tik labai paprastais, konkrečiais atvejais, aprašius visas ribines lauko komponentų sąlygas. Matematiškai tai itin sunkus uždavinys [2]. Todėl jutiklių analizei naudotini patobulinti daugiapoliai modeliai, kurie įvertina daugumą antrinių efektų ir realų elektrinio krūvio pasiskirstymą elektroduose.

Tuo tikslu jutiklio elementus atvaizduosime daugiapolemėmis ekvivalentinėmis schemomis: keitiklio elektrodus – schema, kurioje įvertinamas netolygus elektrinio krūvio tankio pasiskirstymas elektroduose (4 pav.), o laisvas pjezoelektriko paviršiaus dalis – ilgų linijų atkarpų ekvivalentinėmis schemomis [2].



**4 pav.** Dvifazio elektroakustinio keitiklio topologija (a) ir ekvivalentinė schema (b)

Ryšys tarp keitiklio elektrodo įėjimo kintamųjų–pjezoelektriką veikiančios jėgos  $F_1$ , dalelių poslinkio greičio  $\xi_1$ , elektrinio signalo įtampos  $U_1$ , srovės  $I_1$  ir atitinkamų išėjimo kintamųjų  $F_2$ ,  $\xi_2$ ,  $U_2$ ,  $I_2$ –išreiškiamas priklausomybe

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ \xi_1 \\ U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = [A^e] \cdot \begin{bmatrix} F_2 \\ \xi_2 \\ U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}; \quad (1)$$

čia  $[A^e]$  – elektrodo perdavimo matrica:

$$[A^e] = \begin{bmatrix} a_{11}^e & a_{12}^e & a_{13}^e & 0 \\ a_{21}^e & a_{22}^e & a_{23}^e & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_{41}^e & a_{42}^e & a_{43}^e & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Elektrodo perdavimo matricos  $[A^e]$  elementai išreiškiami taip:

$$\begin{cases} a_{11}^e = ch\gamma_e d, \\ a_{12}^e = Z_e sh\gamma_e d, \\ a_{13}^e = s_0(ch\gamma_e d - 1) - r_0 sh\gamma_e d, \\ a_{21}^e = \frac{1}{Z_e} sh\gamma_e d, \\ a_{22}^e = ch\gamma_e d, \\ a_{23}^e = \frac{1}{Z_e} [s_0 sh\gamma_e d - r_0(ch\gamma_e d - 1)], \\ a_{41}^e = \frac{1}{Z_e} [s_0 sh\gamma_e d - r_0(ch\gamma_e d - 1)], \\ a_{42}^e = s_0(ch\gamma_e d - 1) + r_0 sh\gamma_e d, \\ a_{43}^e = \frac{1}{Z_e} (s_0^2 - r_0^2) sh\gamma_e d + j\omega C_0; \end{cases} \quad (3)$$

čia  $\gamma_e$  – PAB sklidimo po elektrodų pastovioji;  $d$  – elektrodo plotis;  $Z_e$  – garsolaidžio po elektrodų pilnutinė varža;  $s_0$ ,  $r_0$  – giratoriaus ir transformatoriaus perdavimo koeficientai;  $C_0$  – elektrodo talpa jį supančių keitiklio elektrodų atžvilgiu.

Transformatoriaus ir giratoriaus perdavimo koeficientai:

$$\begin{cases} r_0 = \frac{r}{2sh\gamma_e \frac{d}{2}}, \\ s_0 = \frac{js}{2sh\gamma_e \frac{d}{2}}; \end{cases} \quad (4)$$

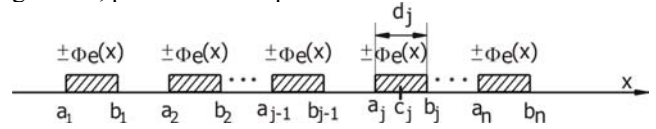
čia

$$\begin{cases} s = \frac{\beta_e d}{|\alpha_0|} \sqrt{\frac{k_m^2 C_0 Z_e V_e}{d}} \sum_{n=0}^2 (-1)^n \alpha_{2n} J_{2n} \left( \beta_e \frac{d}{2} \right), \\ r = \frac{\beta_e d}{|\alpha_0|} \sqrt{\frac{k_m^2 C_0 Z_e V_e}{d}} \sum_{n=0}^2 (-1)^n \alpha_{2n+1} J_{2n+1} \left( \beta_e \frac{d}{2} \right); \end{cases} \quad (5)$$

$k_m$  – elektromechaninio ryšio koeficientas;  $V_e$  – PAB greitis po elektrodų;  $\alpha_n$  – elektrodo krūvių aproksimuojančio Čebyševio daugianario koeficientai;  $J_n$  –  $n$ -osios eilės Beselio funkcija;  $\beta_e \frac{d}{2}$  – funkcijos argumentas;  $j = \sqrt{-1}$ .

Aproksimuojančių daugianarių koeficientai apskaičiuojami išsprendus elektrostatikos uždavinį elektrodų gardelei. Apibendrinta šio uždavinio sprendimo

metodika pateikta [2]. Nagrinėjami atveju naudojami ekvidistanciniai aukštesniųjų harmonikų keitikliai, todėl ši uždavinį pakanka išspręsti apribotai periodinei elektrodų gardelei, pavaizduotai 5 pav.



5 pav. Apribota periodinė elektrodų gardele

Tuo tikslu elektrodų koordinatės normuojamos:

$$\begin{cases} \bar{x} = 2 \frac{x_i - c_j}{d_j}, \\ \bar{x}' = 2 \frac{x_j - c_j}{d_j}; \end{cases} \quad (6)$$

čia  $c_j$ ,  $d_j$  –  $j$ -ojo elektrodo centro koordinatė ir plotis;  $x_i$ ,  $x_j$  – laisvai pasirinkti taškai.

Koeficientai apskaičiuojami išsprendus tiesinę lygčių sistemą:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \int y(x_{ij}, x_{i+1j}, x') \sum_{l=0}^5 \alpha_l^{(j)} T_l(x') dx' = \Delta \Phi_{ei}, \\ \sum_{j=1}^N \int_{l=0}^5 \frac{\alpha_l^{(j)} T_l(x')}{\sqrt{1-(x')^2}} dx' = 0; \end{cases} \quad (7)$$

čia

$$y(x_{ij}, x_{i+1j}, x') = \left[ 1 - (x')^2 \right]^{\frac{1}{2}} \ln \frac{x_{ij} - x'}{x_{i+1j} - x'}; \quad (8)$$

$\Delta \Phi_{ei}$  – potencialų skirtumas tarp  $i$ -ojo ir  $(i+1)$ -ojo elektrodo;  $i=1, 2 \dots 6^*N-1$  – eilutės numeris,  $j$  – stulpelio numeris,  $N$  – elektrodų skaičius.

$\Delta \Phi_{ei} = 0$ , jei taškai yra tame pačiame electrode, ir lygus potencialų skirtumui  $\Phi_i - \Phi_{i+1}$ , jei taškai yra skirtinguose elektroduose.

Visų laisvųjų pjezoelektriko paviršiaus dalių perdavimo matricos yra identiškos. Tarp tarp elektrodų  $l$  perdavimo matrica:

$$[A^l] = \begin{bmatrix} a_{11}^l & a_{12}^l \\ a_{21}^l & a_{22}^l \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} a_{11}^l = ch\gamma_l l; \\ a_{12}^l = Z_l sh\gamma_l l; \\ a_{21}^l = \frac{1}{Z_l} sh\gamma_l l; \\ a_{22}^l = ch\gamma_l l; \end{cases} \quad (10)$$

čia  $\gamma_l$ ,  $Z_l$  – laisvojo pjezoelektriko paviršiaus sklidimo pastovioji ir pilnutinė varžos.

Sklidimo pastoviosios  $\gamma_e$ ,  $\gamma_l$  išreiškiamos taip:

$$\gamma = \alpha + j\beta; \quad (11)$$

čia  $\alpha$  – PAB slopinimo pastovioji;  $\beta = \frac{2\pi f}{V}$  – banginis skaičius.

Bendruoju atveju PAB slopinimo pastovioji  $\alpha$  susideda iš kelių dedamųjų:

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_M + \alpha_{TB} + \alpha_D + \alpha_R; \quad (12)$$

čia  $\alpha_K$  – klampumo,  $\alpha_M$  – masės apkrovos,  $\alpha_{TB}$  – tūrinių bangų generacijos;  $\alpha_D$  – difrakcijos,  $\alpha_R$  – elektrodo ominių nuostolių dedamosios.

Keitiklio elektrodų ir nemetalizuoto laisvojo pjezoelektriko paviršiaus perdavimo matricų slopinimo pastoviosiose  $\alpha_e$ ,  $\alpha_l$  tikslinga įvertinti  $\alpha_K$ ,  $\alpha_M$  dedamąsias, kurių vertės pateiktos [4]. Likusių dedamųjų  $\alpha_{TB}$ ,  $\alpha_D$ ,  $\alpha_R$  analitines išraiškas rasti sunku. [4] pateiktos jų supaprastintos priklausomybės, gautos visai keitiklio bei atspindžio gardelės struktūrai.

Pjezoelektriko pilnutinė varža  $Z_e$ ,  $Z_l$ , įeinanti į (2) ir (9) matricų išraiškas,

$$Z = \frac{\rho}{V}; \quad (13)$$

čia  $\rho$  – medžiagos tankis.

PAB greitis  $V$  priklauso nuo pjezoelektriko paviršiaus būklės ir tenzorių verčių, o kartu nuo pjezoelektriko trumpojo jungimo, masės apkrovos, medžiagos tankio, reaktyviosios energijos sankaupos. Dėl keitiklio elektrodų topografinių netolygumų prie elektrodo bei plėvelės kraštų susidaro reaktyviosios energijos sankaupos, kurių įtaka bangų sklidimui ekvivalentinėje schemoje atvaizduojama reaktyviuoju laidumu:

$$Y_B = j \frac{C}{Z} \left( \frac{h}{\lambda_0} \right)^2; \quad (14)$$

čia  $h$  – elektrodo storis;  $C$  – koeficientas, priklausantis nuo pjezoelektriko savybių;  $\lambda_0$  – akustinis sinchroninis PAB ilgis.

Kaip matome iš pateiktų (2) – (14) išraiškų, matuojamasis poveikis gali keisti daug dydžių:  $Z, \alpha, \beta, \gamma, C_0, \phi, d, l, \lambda, s_0, r_0, L, V, f, Y_B$ . Kartu kinta PAB jutiklio atskirų sudėtinių dalių perdavimo matricos. Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad dydžių priklausomybė nuo poveikio  $p(x, y)$  tipo nėra kaip reikiant išanalizuota. Literatūroje žinomi tik atskiri, daliniai sprendinių atvejai. Šią sritį reikia papildomai teoriškai ir eksperimentiškai tyrinėti. Tačiau priklausomai nuo poveikio tipo ir jutiklio schemas svarbu žinoti tik tuos dydžius, kurie lemia signalo fazės, dažnio ar amplitudės pokytį, ir supaprastinti uždavinį. Tai galima padaryti, aprašius visą PAB jutiklio struktūrą perdavimo matricomis.

Sudarant keitiklių, laisvojo pjezoelektriko paviršiaus sričių ir kitų įtaiso sudėtinių dalių bei viso įtaiso perdavimo matricas, reikia įvertinti pjezoelektriko paviršiaus būklę, priklausančią nuo poveikio  $p(x, y)$ . Kadangi diskriminatoriaus keitiklis subalansuotas keičiant elektrodų ilgį, tai sudarant suminę įtaiso perdavimo matricą, būtina visą jutiklio struktūrą dalyti į juostas ir jų

perdavimo matricas skaičiuoti atskirai [2]. Analizei supaprastinti laikysimės šių sąlygų. Jei laisvojo (nemetalizuoto) pjezoelektriko sričių pločiai yra gerokai didesni už PAB ilgį  $\lambda$ , elektrodo plotį  $d$ , tarpą tarp elektrodų  $l$ , tai šias paviršiaus sritis suskaidysime į juostas pagal  $x$  ir  $y$  ašis. Juostų pločius pažymėsime  $\Delta x_j$  (čia  $j=1, 2, \dots, a$ ) bei  $\Delta y_i$  (čia  $i=1, 2, \dots, b$ ) (6 pav.). Juostų skaičių  $a$  tikslinga parinkti taip, kad  $\Delta x$  būtų lygūs elektrodų pločiui  $d$  bei tarpui tarp elektrodų  $l$ . Juostų pločiai  $\Delta y$  priklauso nuo diskriminatoriaus elektrodų skaičiaus ir parenkami taip, kad juostų riba eitų ties elektrodų viršūnėmis (6 pav.). Tarsime, kad ploto elemente  $\Delta x_j \Delta y_i$  poveikis  $p(x, y) = p_{ji} = \text{const}$ .

Pasinaudoję šiomis prielaidomis, sudarysime PAB jutiklio sudėtinių dalių  $i$ -osios juostos perdavimo matricas.

Keitiklio  $j$ -ojo elektrodo jungtinė perdavimo matrica, įvertinus (14), lygi

$$\left[ A^{eB} \right]_{ji} = \left[ A^B \right]_{ji} \left[ A^e \right]_{ji} \left[ A^B \right]_{ji}; \quad (15)$$

čia  $\left[ A^B \right]$  – reaktyviojo laidumo  $Y_B$  perdavimo matrica;  $j$  – elektrodo eilės numeris.

Tuomet viso keitiklio  $K1$   $i$  – osios juostos perdavimo matrica

$$\left[ A^K \right]_i = \left( \prod_{j=1}^{N-1} \left[ A^{eB} \right]_{ji} \left[ A^l \right]_{ji} \right) \left[ A^{eB} \right]_{Ni}; \quad (16)$$

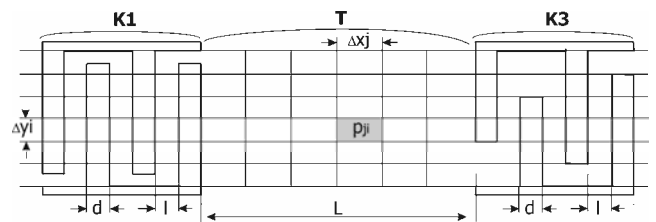
čia  $\left[ A^l \right]_{ji}$  –  $j$  – ojo tarpo tarp elektrodų  $i$  – osios juostos perdavimo matrica;  $N$  – elektrodų skaičius.

Keitiklių  $K2, K3$   $i$  – osios juostos perdavimo matricos apskaičiuojamos taip pat.

Bet kurios laisvojo pjezoelektriko paviršiaus dalies ilgio  $L$  (6 pav.)  $i$  – osios juostos perdavimo matrica

$$\left[ A^L \right]_i = \prod_{j=1}^a \left[ A^L \right]_{ji}; \quad (17)$$

čia  $a$  – vertikalių juostų skaičius.



6 pav. PAB jutiklio elementų (keitiklių  $K_1, K_3$  ir laisvojo pjezoelektriko srities  $T$ ) topologijos atvaizdavimas juostomis

(16) ir (17) išraiškose pateiktos jutiklio elementų perdavimo matricos. Naudojantis gautomis matricomis tolesnė analizė atliekama pagal apibendrintą metodiką, pateiktą [5]. Pagal šią metodiką randamos suminės jutiklio perdavimo matricos ir apskaičiuojamos jutiklio charakteristikos bei parametrai.

## Išvados

1. Akustoelektroninius jutiklius naudojant matavimo bei reguliavimo sistemose, patogiau yra operuoti srovės ar įtampos, o ne dažnio ar fazės signalais. Tokiu atveju jutiklio struktūroje būtinas papildomas PAB keitiklis, atliekantis dažnio diskriminatoriaus funkcijas.

2. Mechaninių poveikių jutiklio jautrumui padidinti naudotinos aukštesnio dažnio bangos ir aukštesniųjų harmonikų PAB keitikliai. Šiems keitikliams būdingi mažesni nuostoliai bei paprastesnė gamybos technologija.

3. Pasinaudojus PAB įtaisų elementų daugiapolėmis ekvivalentinėmis schemomis ir jų perdavimo matricomis, sudarytas mechaninių poveikių jutiklio modelis, įvertinantis netolygų krūvio pasiskirstymą keitiklių elektroduose. Modelis leidžia matematiškai aprašyti ir analizuoti jutiklio charakteristikas bei parametrus veikiant mechaniniam matuojamajam poveikiui, taip pat esant sudėtingam poveikio pjezoelektriko paviršiui pobūdžiui ir tinka tiek esant pagrindiniam dažniui, tiek harmonikoms. Modelis gali būti naudojamas PAB jutikliams su papildomais keitikliais tirti.

## Literatūra

1. **Eidukas D.** Elektronika šiandien ir rytoj // Elektronika – 2001: 5-osios tarptautinės konferencijos mokslo darbų leidinys, [2001 m. gegužės 22–24 d.] / Kauno technologijos

universitetas, Lietuvos mokslų akademija. – ISSN 1392–9631. – Kaunas: Technologija, 2001. – P. 11–14.

2. **Janeliauskas A., Neverauskas A., Rupkus S.** Paviršinių akustinių bangų įtaisai : Monografija / Kauno technologijos universitetas. – Kaunas : Technologija, 1996. – 134 p.
3. **Janeliauskas A., Neverauskas A., Rupkus S.** Synthesis of higher harmonics surface acoustic wave transducers // The 6th Biennial Conference on Electronics and Microsystems Technology : proceedings : BEC'98, October 7-9, 1998, Tallinn, Estonia / Institute of Electronics and Electronics Competence Centre Of Tallinn Technical University. – Tallinn: Institute of Electronics, 1998. ISBN 9985–59–081–3. – P. 293–296.
4. **Valinevičius A.** Modeling and Computerized Investigation of Surface Acoustic Wave Resonator Sensors // BEC'96, The 5th Biennial Baltic Electronics Conference, October 7-11, 1996. – Tallinn, Estonia: proceedings / Tallinn Technical University. – Tallinn, 1996. – P. 455–456.
5. **Rupkus S.** Models of SAW sensors // BEC 2002 : proceedings of the 8th Biennial "Baltic Electronics Conference", October 6-9, 2002, Tallin, Estonia / Tallin Technical University. – Tallin, 2002. ISBN 9985-59-292-1. – P. 150-151.

Pateikta spaudai 2004 02 05

### **A. Janeliauskas, K. Bilius. Akustoelektroninis mechaninių poveikių jutiklis // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 6(55). – P. 75-79.**

Pateikiama ir analizuojama akustoelektroninio mechaninių poveikių jutiklio, kurio jautrusis elementas yra paviršinių akustinių bangų (PAB) vėlinimo linija, struktūrinė ir principinė schema. Daugumoje jutiklių išorinis poveikis sukelia išėjimo signalo dažnio pokytį. Akustoelektroninius jutiklius naudojant matavimo ir reguliavimo sistemose, patogiau yra operuoti srovės ar įtampos, o ne dažnio signalais. Tokiu atveju jutiklio schemoje būtinas dažnio ir įtampos keitiklis, t. y. dažnio diskriminatorius. Šią funkciją atlieka PAB vėlinimo linijoje įtaisytas papildomas PAB keitiklis su specialia charakteristika. Jutiklio jautrumui matuojamajam poveikiui padidinti naudotini aukštesniųjų harmonikų PAB keitikliai. Žinomi metodai netinka šių keitiklių analizei, nes neįvertina realaus elektrinio krūvio pasiskirstymo keitiklių elektroduose pobūdžio. Sukurtas mechaninių poveikių jutiklio modelis, įvertinantis netolygų krūvio pasiskirstymą keitiklių elektroduose ir aprašantis struktūrą perdavimo matricomis. Modelis gali būti naudojamas PAB jutikliams su papildomais keitikliais tirti. Il. 6, bibl. 5 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

### **A. Janeliauskas, K. Bilius. Acoustoelectronic Mechanical Influence Sensor // Electronics and Electrical Engineering. - Kaunas: Technologija, 2004. - No. 6(55). - P. 75-79.**

In this work are offered and analysed structural and principal circuits of mechanical influence sensor, sensible element of which is surface acoustic wave (SAW) delay line. In the known SAW sensors, as well as in SAW delay lines ones, external influence is determined through SAW device frequency changes. According the output parameter to offered sensor may be not only traditional-frequency, but also amplitude. In this case is achieved add-on SAW transducer with special characteristics of the whole sensor. Add-on SAW transducer workings as frequency discriminator. Analysis of SAW sensor are characterized by a great number of calculations. The most succesful results may be achieved using a model that evaluates non uniform distribution of electric charge on electrodes. In this work is created a model of mechanical influence sensor based on transfer matrixes. A model was applied for modeling and investigation of SAW sensors with add-on transducer. Ill. 6, bibl. 5. (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

### **A. Яняляускас, К. Билиус. Акустоэлектронный чувствительный элемент механических воздействий // Электроника и электротехника. - Каунас: Технология, 2004. - №. 6(55). – С. 75-79.**

Представлена и анализируется структурная и принципиальная схема акустоэлектронного чувствительного элемента механических воздействий. Схема реализована на основе линии задержки на поверхностных акустических волнах (ПАВ) со встроенным дополнительным ПАВ преобразователем в качестве частотного дискриминатора. Это позволяет оперировать на выходе амплитудным сигналом. С целью увеличения чувствительности предложено использовать ПАВ преобразователи, работающие на высших гармониках основной частоты. Известные методы анализа непригодны для расчета таких преобразователей, так как неучитывают реального распределения плотности заряда на электродах. Разработана модель на основе матриц передачи и пригодная для анализа чувствительных элементов на ПАВ с дополнительным преобразователем. Ил. 6, библи. 5 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).