

# Neinvazinio ultragarsinio srauto matuoklio elektroakustinio kanalo banginio proceso analizė

A.Vladišauskas

Kauno technologijos universitetas

Neinvazinio ultragarsinio srauto matuoklio elektroakustinis kanalas gali turėti daug techninių sprendimų ir tai priklauso nuo matavimo metodo, vamzdžio sienelės medžiagos ir kampinio pjezokeitiklio charakteristikų. Todėl šis kanalas apibūdinamas kaip sudėtinga ultragarsinė bangolaidinė sistema, kurioje galimos ultragarsio bangų transformacijos, interferencijos, bangų slopinimas, ultragarsio spindulio difrakcija, daugkartiniai atspindžiai ir t.t. Be to, tokios bangolaidinės sistemos sudėtingumas taip pat priklauso nuo ultragarsio spindulio kritimo kampo. Èia galimi du atvejai: o kai kritimo kampas mažesnis už pirmąją kritiną kampą ir kai kritimo kampas yra tarp pirmojo ir antrojo kritinio kampo. Panagrinėsime pirmąją atveją, atsižvelgiant á tai, kad vamzdžio vidus yra pripildytas skysčiu, o vamzdžio sienelė metalinė. Èiuo atveju galimi keli matavimo būdai. Pirmas, kai ultragarsio signalas padinamas kampinio pjezokeitiklio P1 vienoje vamzdžio pusėje (pr. 1 pav.), o priimamas kampinio pjezokeitiklio P2 kitoje vamzdžio pusėje. Tai perėjimo būdas.

Antras, kai nuo vidinės vamzdžio sienelės atsispindėjęs ultragarsio signalas priimamas toje pačioje vamzdžio pusėje kampinio pjezokeitiklio P3. Tai vieno atspindžio būdas. Iš bendros srauto matuoklio schemas išplaukia, kad galima panaudoti ir kitus vamzdžio viduje atsispindėjusius ultragarsio signalus, paeiliui išdėstant pjezokeitiklius toje pačioje ir priešingoje vamzdžio pusėje. Kitas matavimo signalas būtų priimamas po

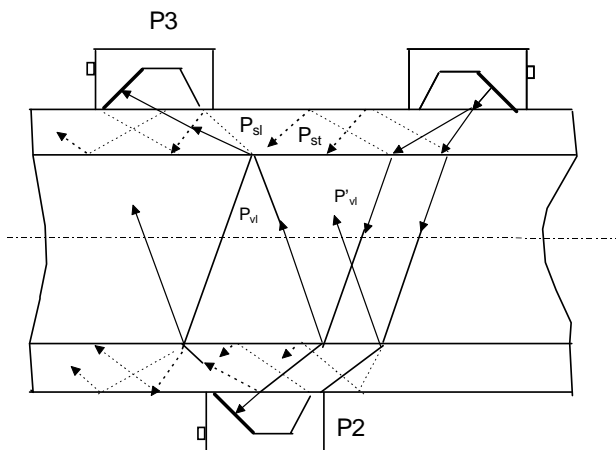
dvigubo vidinio atspindžio, dar kitas po trigubo ir t.t. Aišku, kad po kiekvieno atspindžio ultragarsio signalo amplitudė mažės dėl ultragarsio spindulio difrakcijos, ultragarsio bangų slopinimo matuojamame skystyje ir atspindžio nuo skysčio-metalo ribos koeficiento. Tačiau kuo daugiau yra atspindžių, tuo didesnis pasiekiamas tikslumas. Praktikoje ultragarsio signalo atspindžio būdai yra taikomi mažesniu nei 90 mm skersmens vamzdžiuose, kad labiau skirtųsi ultragarsio bangos sklaidimo prieš srautą ir srauto kryptimi trukmės.

Ultragarsio spinduliui pereinant iš kampinio pjezokeitiklio á metalinę vamzdžio sienelę mažesniu kampu negu pirmas kritinis kampas, vamzdžio sienelėje supadinamos dvi ultragarsio bangos: išilginė ir skersinė, kurios priešingoje vamzdžio pusėje išdalies atsispindi nuo metalo ir vandens paviršiaus (parodyta punktyru 1 pav.) ir išdalies pereina á vamzdžio viduje esantį skystą. Èiuo atveju skersinė banga iš vamzdžio sienelės transformuojasi á išilginę bangą skystyje.

Toliau remdamiesi akustinio banginio proceso teorija [1-2], panagrinėsime èiuos procesus srauto matuoklio elektroakustiniame kanale. Pjezoelemento sukuriamas slėgis prizmėje

$$P_{p0}(x, z, \eta_p) = e^{i\omega/c_{pe}(x \sin \alpha_e + z \cos \alpha_e)} e^{-\eta_p \omega |pl|/c_l}, \quad (1)$$

èia:  $K(j\omega)$  - pjezoelemento perdavimo koeficientas [3],  $\omega$  - kampinis dažnis,  $c_{pl}$  - išilginio bangų greitis prizmėje,  $\alpha_e$  - kampas tarp ultragarsio spindulio ir vamzdžio paviršiaus normalės,  $x, z$  - koordinatės,  $\eta_p$  - slopinimo prizmėje koeficientas,  $l_p$  - ultragarsio spindulio kelias prizmėje.



1 pav. Neinvazinio srauto matuoklio bendra schema

Diame modelyje pjezoelementas supadina prizmėje tik iðilginės ultragarso bangas. Ðios bangos iðdalies atspindi nuo prizmės it metalo ribos ir iðdalies praeina á vamzdþio sienelæ. Kai kampas  $\alpha_1 < \alpha_{kr1}$ , tai yra maþesnis up pirmajá kritiná kampá, prizmėje atsispindi dviejø tipø bangos. Iðilginės bangos sukuriama slëgis

$$P_{pl}(x, z, \alpha_p, \eta_p) = P_{p0}(x, y, \eta_p) R_l^p(\alpha_e) e^{-i\pi/c_{pl}(z \cos \alpha_p - x \sin \alpha_p)} \times e^{-\eta_p \omega l_{pl}/c_{pl}}; \quad (2)$$

ëia:  $R_l^p(\alpha_e)$  - atspindþio nuo prizmės ir vamzdþio sienelės ribos koeficientas,  $l_{pl}$  - iðilginės bangos kelias prizmėje po atspindþio.

Analogiðkai skersinės bangos prizmėje sukuriama slëgis

$$P_{pt}(x, z, \alpha_p, \eta_{pt}) = P_{p0}(x, y, \eta_p) R_t^p(\alpha_e) \times e^{-i\pi/C_{pt}(z \cos \alpha_p - x \sin \alpha_p)} \times e^{-\eta_{pt} \omega l_{st}/c_{st}}; \quad (3)$$

ëia:  $C_{pt}$  - skersiniø bangø greitis prizmėje;  $R_t^p$  - skersiniø bangø atspindþio nuo prizmės ir vamzdþio sienelės ribos koeficientas;  $\eta_{pt}$  - skersiniø bangø slopinimo prizmėje koeficientas,  $\alpha_e$  - skersiniø bangø atspindþio kampas.

Abiejø tipø atsispindėjusios bangos sukelia kampinio pjezokeitiklio reverberacinius triukðmus, todël svarbu, kad ðios bangø svyravimo amplitudės greitai maþetø. To dþpniausiai yra siekiama dviem bûdais. Pirmá, darant prizmės pavirðius rifliuotus, kas uþtikrina ultragarso bangø sklaidá. Antra, didinant slopinimo koeficientá prizmės medþiagoje, ypaè toje dalyje, kur nėra

tiesioginio ultragarso spindulio á vamzdþio sienelæ. Reikia paþymėti, kad skersiniø bangø slopinimo koeficientas gerokai didesnis negu iðilginio bangø. Be to, ávertinus tai, kad skersinės bangos ilgis beveik dvigubai maþesnis negu iðilginės, aiðku, kad pagrindinis reverberaciniø triukðmø ðaltinis kampiniame pjezokeitiklyje yra iðilginės bangos.

Kai kritimo kampas iðilginės bangos prizmėje maþesnis up pirmajá kritiná kampá, vamzdþio sienelėje taip pat supadinamos dvi ultragarso bangos. Iðilginės ultragarso bangos vamzdþio sienelėje sukuriama slëgis

$$P_{sl}(x, y, \beta_e, \eta_{sl}) = P_{p0}(x, y, \eta_p) D_l^{ps}(\beta_l) e^{i\pi/c_{sl}(x \sin \beta_l + z \cos \beta_l)} \times e^{-\eta_{sl} \omega l_{sl}/c_{sl}}; \quad (4)$$

ëia:  $D_l^{ps}(\beta_l)$  - iðilginės bangos perėjimo per prizmės ir vamzdþio sienelės ribá koeficientas,  $c_{sl}$  - iðilginės bangos ultragarso greitis vamzdþio sienelėje,  $l_{sl}$  - ultragarso iðilginės bangos sklidimo atstumas vamzdþio sienelėje,  $\beta_l$  - ultragarso iðilginės bangos perėjimo á vamzdþio sienelæ kampas.

Skersinės bangos vamzdþio sienelėje sukuriama slëgis

$$P_{st}(x, y, \beta_t, \eta_{st}) = P_{p0}(x, y, \eta_p) D_t^{ps}(\beta_t) e^{i\pi/c_{st}(x \sin \beta_t + z \cos \beta_t)} \times e^{-\eta_{st} \omega l_{st}/c_{st}} \quad (5)$$

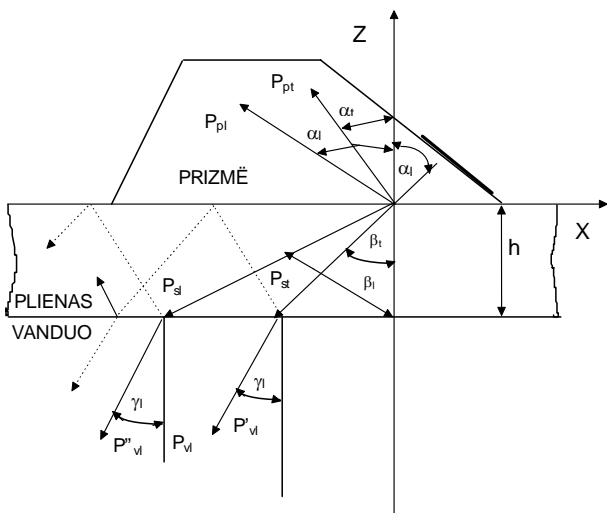
ëia:  $D_t^{ps}(\beta_t)$  - skersinės bangos perėjimo per prizmės ir vamzdþio sienelės ribá koeficientas,  $c_{st}$  - skersinės bangos ultragarso greitis sienelėje,  $\eta_{st}$  - skersinės bangos slopinimo vamzdþio sienelėje koeficientas,  $l_{st}$  - skersinės bangos sklidimo atstumas vamzdþio sienelėje,  $\beta_t$  - skersinės bangos perėjimo á vamzdþio sienelæ kampas.

(4) ir (5) formulëse antros eksponentės laipsnio rodiklis yra supaprastintas:

$$e^{-\eta_{sl} \omega l_{sl}/c_{sl}} = e^{i\pi \eta_{sl}/c_{sl}(x \sin \beta_e + z \cos \beta_e)}, \quad (6)$$

$$e^{-\eta_{st} \omega l_{st}/c_{st}} = e^{i\pi \eta_{st}/c_{st}(x \sin \beta_t + z \cos \beta_t)}. \quad (7)$$

Taigi vamzdþio sienelėje supadinamos dviejø tipø ultragarso bangos, kurios vamzdþio viduje sklinda skirtingais greiðiais, turi skirtingus slopinimo koeficientus ir atspindþio kampus. Greiðiau nuslopsta skersinė banga, nes yra daugiau slopinama ir turi maþesnes atspindþio koeficiento reikðmes. Iðilginė banga gali sklisti toli, priklausomai nuo ultragarso signalo dþpnio, vidiniø atspindþiø skaiðiaus, vamzdþio sienelės akustinio apkrovimo ir t.t. Á tai bûtina atsipvelgti, nes srauto matavimuose taikant atspindþio metodus, vamzdþio sienelėje sklindanti banga pirmoji pasiekia kampiná pjezokeitiklá, esantá toje paëioje



2 pav.. Banginiai procesai pjezokeitiklio prizmėje, vamzdþio sienelėje ir skystyje



DOI: 10.5755/j01.u.28.2.7864