

GARSO BANGOS POSLINKIO PRINCIPU PAREMTO ULTRAGARSINIO MATUOKLIO ANALIZĖ

Vaidas Jozonis¹, Jonas Stankūnas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹vaidas.jozonis@vgtu.lt; ²jonas.stankunas@vgtu.lt

Santrauka. Daugelyje technologinių procesų tenka matuoti tekančių dujų srautų greitį bei debitą. Šiems tikslams vis plačiau taikomi ultragarsiniai metodai, ypač impulsiniai laikiniai. Didžiausias impulsinių laikinių matavimo metodų trūkumas tas, kad priimto signalo amplitudė gali kisti tik griežtai apibrėžtose ribose. Kitu atveju signalai gali būti praleidžiami arba fiksuojami klaidingu laiko momentu. Darbe nagrinėtas kitoks metodas – tai priimto signalo įtampos amplitudės vertės nustatymas; taip pat tirtos naujo projektuojamo prietaiso sistemos galimybės. Metodo veikimas pagrįstas tuo, kad ultragarso (kaip ir garso) bangos yra veikiamos oro srauto ir keičia savo kryptį priklausomai nuo oro srauto stiprumo.

Reikšminiai žodžiai: ultragarsinis matuoklis, garso bangos poslinkis, greičio matuoklis, srauto greičio matuoklis.

Įvadas

Straipsnyje nagrinėjamos garso bangos poslinkio principu paremto ultragarsinio oro greičio matuoklio savybės.

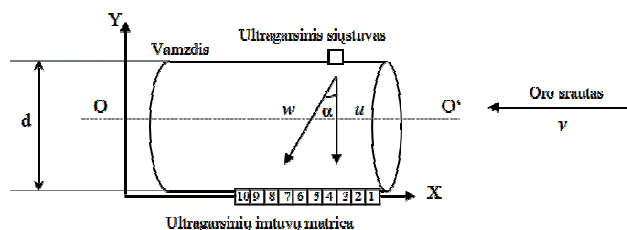
Daugelyje technologinių procesų tenka matuoti tekančių dujų srautų greitį bei debitą. Šiems tikslams vis plačiau pradedami taikyti ultragarsiniai metodai, ypač impulsiniai laikiniai. Kaip pažymi J. Butkus ir kt., didžiausias impulsinių laikinių matavimo metodų trūkumas tas, kad priimto signalo amplitudė gali kisti tik griežtai apibrėžtose ribose (Butkus *ir kt.* 1998). Kitu atveju signalai gali būti praleidžiami arba fiksuojami klaidingu laiko momentu. Darbe siūloma taikyti kitoki metodą, paremtą priimto signalo įtampos amplitudės vertės nustatymu ir atskleisti naujas projektuojamo prietaiso sistemos galimybes.

Nagrinėjamo metodo veikimas pagrįstas tuo, kad ultragarso (kaip ir garso) bangos yra veikiamos oro srauto, ir keičia savo kryptį priklausomai nuo oro srauto stiprumo.

Iš siūstovo į ultragarsinių imtuvų matricą siunčiamas u greičiu impulsinis signalas; čia patekęs į vamzdį oro srautas (judantis greičiu v) veikia signalą, pakreipdamas jį kampu α .

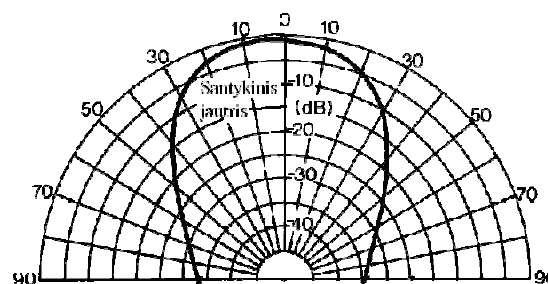
Signalas, patekęs į imtuvų matricą, kiekviename iš jų sukuria skirtingą įtampą. Įtampų dydžiai priklauso nuo ultragarsinio siūstovo kryptinės diagramos ir oro srauto greičio v (2 pav.).

Įtampų pasiskirstymas, kai oro srauto nėra, vaizdžiai parodytas 3 pav.



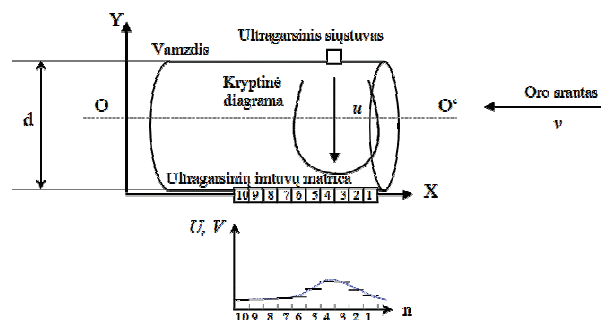
1 pav. Matuoklio maketas

Fig. 1. Meter model



2 pav. Ultragarsinio siūstovo kryptinė diagrama

Fig. 2. Ultrasonic sender directivity in overall sensitivity



3 pav. Vamzdžio maketas, kai oro srauto nėra

Fig. 3. Model, when no flow

Kai oro srautas yra didelis (200 m/s eilės), įtampas ant daviklių pasiskirsto taip (4 pav.).

Esant dideliems slėgiams ir dujų tekėjimo greičiams, srautas būna turbulentinis. Toks tekėjimas dar vadinamas inerciniu, nes judančios dujų masės inercijos jėgos sukelia dujų sukurius ir sudėtingą dujų judėjimo greičio pasiskirstymą elemento skerspjūvyje.

Tokio tekėjimo Reinoldso skaičius $Re > 2200$. Mus domins tikrai dujos, judančios mažesniu už garsą greičiu. Specialistai tai aprašo Macho skaičiumi (Oro... 2008):

$$M_a = \frac{u}{u_g}, \quad (1)$$

čia: u – dujų srauto kryptingo judėjimo greitis, u_g – garso greitis dujose.

Pasinaudoję Darcy-Weisbach pasiūlyta lygtimi, gauname (Rohsenow *et al.* 1985):

$$p_1 - p_2 = f_D \cdot \frac{l_v \rho u^2}{2d}, \quad (2)$$

čia: $p_1 - p_2$ – slėgių skirtumas nagrinėjamo vamzdžio elemento galuose, d – vamzdžio skersmuo), u – srauto kryptingo judėjimo greitis, ρ – dujų tankis, l_v – vamzdžio ilgis, f_D – Darcy trinties faktorius (bendru atveju tai nėra pastovus dydis, kas apsunkina skaičiavimus). Jis apskaičiuojamas pagal lygtį:

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -1.81g \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{1}{3,7} \frac{\varepsilon}{d_v} \right)^{1,11} \right], \quad (3)$$

čia: ε – vidutinis vamzdžio vidinės sienelės šiurkštumas (tipinis: 0,0015mm).

5 pav. pavaizduota trinties faktoriaus priklausomybė nuo Reinoldso skaičiaus. Punktyru pažymėtas rezultatas, gautas idealiai lygių vamzdžio sienelių atveju.

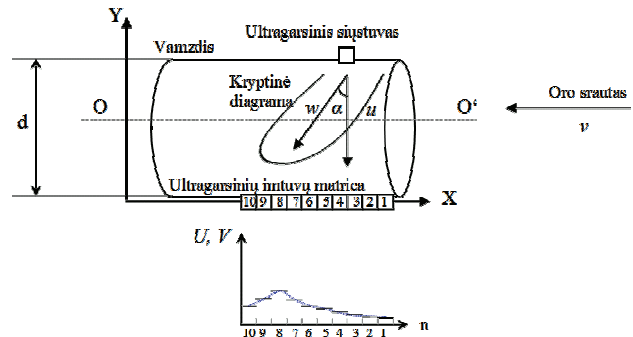
Pastovaus skerspjūvio cilindrinio vamzdžio, kurio ilgis didesnis už skersmenį, pralaidumą dujoms (našumą) galima apskaičiuoti pagal Darcy-Weisbach formulę (Rohsenow *et al.* 1985):

$$q_G = S_v \sqrt{\frac{R_0 T}{M}} \sqrt{\frac{d_v}{f_D l_v} (p_1^2 - p_2^2)}; \quad (p_1 > p_2). \quad (4)$$

Naudojant šią lygtį, skaičiavimus komplikuoja tai, kad kintant q_G , kinta Reinoldso skaičius, taigi ir f_D . Jei pradiniu momentu žinome q_G , žinomas yra ir f_D . Jis kinta, kintant pralaidumui dujoms.

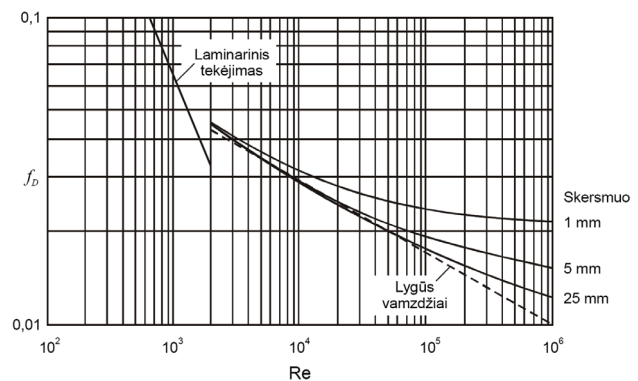
Matuoklio struktūrinė schema parodyta 6 pav. Mikrovaldiklyje sukurtas signalas perduodamas į ultragarsinį siųstuvą, šis daviklis siunčia signalą per oro terpę į ultragarsinių imtuvų matricas, kurie priimtą

signalą perduoda į stiprinimo pakopą OS, toliau signalas patenka į analoginį-skaitmeninį keitiklį, ir galiausiai – vėl į mikrovaldiklį (Brown *et al.* 2002). Mikrovaldiklyje pagal parašytą programos algoritmą nustatomas realiausias srauto greitis.



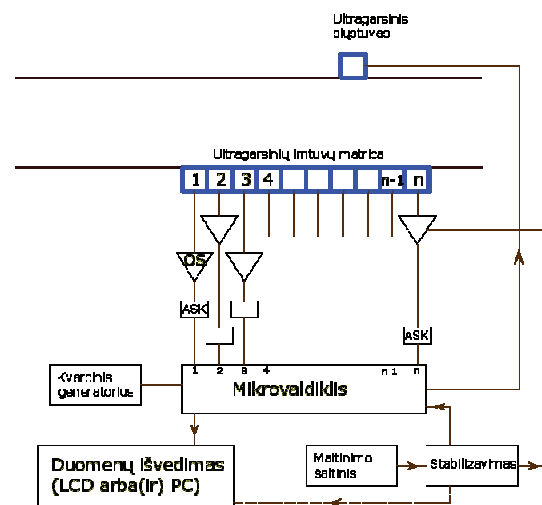
4 pav. Vamzdžio maketas, kai oro srautas didelis (netoli garso greičio vertės)

Fig. 4. Model, when flow is about near sound speed



5 pav. Trinties faktoriaus priklausomybė nuo Reinoldso skaičiaus cilindriniam skirtingo skersmens vamzdžiams. Vamzdžių vidinio paviršiaus šiurkštumas visais atvejais 0,0015 mm (Lafferty 1998)

Fig. 5. Friction subject to Reynolds number



6 pav. Srauto matuoklio elektrinė-struktūrinė schema

Fig. 6. Flow meter electrical diagram

Matuoklio matavimo ribas galima apskaičiuoti tarami, kad matuoklio vamzdžio diametras yra 10 cm arba kitu atveju - 20 cm (tokį atstumą rekomenduoja ultragarsinių daviklių gamintojai). Mažesnis atstumas tarp ultragarsinių siųstuvo ir imtuvo negali būti, kadangi ultragarso bangos ilgis yra (reikšmės paimtos bendru atveju):

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} = \frac{340 \text{ m/s}}{40000 \text{ Hz}} = 0,0085 \text{ m}, \quad (5)$$

čia: v – ultragarso greitis ore, ν – ultragarsinio siųstuvo, siunčiamo signalo dažnis.

Kaip matyti iš rezultatų, į 10 cm telpa:

$$n = \frac{0,1 \text{ m}}{0,0085 \text{ m}} = 11,8$$

bangos periodų signalas. Tai jau ir taip mažas bangų skaičius, o jeigu dar mažinsime vamzdžio diametrą, tai mažinsime ir atstumą tarp daviklių; šiuo tuo atveju mažės bangų, patekusių į tą atstumą, skaičius.

Didesnio diametro atstumas gali būti, tik tuomet į tokį didelį atstumą prisirinks daugiau triukšmų ir signalas turės būti labai daug kartų stiprinamas; savo ruožtu bus stiprinami ir triukšmai, kurie iškraipys gautus įtampos rezultatus ultragarsiniuose davikliuose. Ultragarsinių daviklių rekomenduojamas darbinis atstumas yra 20 cm.

Tarkime, kad atstumas tarp ultragarsinių imtuvų centrų yra 1 cm, o ultragarsinių imtuvų yra 10. Tuomet visas atstumas yra 10 cm.

Iš 7 pav. matyti, kad:

$$L = 1 \times 10 \text{ (daviklių)} = 0,01 \times 10 = 0,1 \text{ m}. \quad (6)$$

Kai $D = 0,1 \text{ m}$, o ir $L = 0,1 \text{ m}$, tai kampas $\alpha = 45^\circ$, tokiu atveju gaunasi $v_{\max} = u = 340 \text{ m/s}$, tai ir yra maksimalus matuojamas greitis (8 pav.). Minimalų greitį rasime, kai atstumas $L = l = 0,01 \text{ m}$; tuomet kampas lygus:

$$\alpha = \arctg \frac{L}{D} = \arctg \frac{0,01}{0,1} = 0,1 \text{ rad} = 5,7^\circ. \quad (7)$$

Greitis $v_{\min} = \text{tg } \alpha \times u = 0,1 \times 340 \text{ m/s} = 34 \text{ m/s}$. Tai ir yra minimalus užfiksuojamas greitis esant 10 cm diametriui.

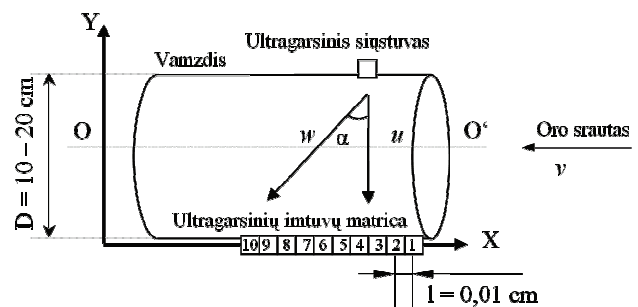
Analogiškai, kai $D = 20 \text{ cm}$, maksimalus nustatomas greitis yra $v_{\max} = 170 \text{ m/s}$, minimalus $v_{\min} = 17 \text{ m/s}$.

Skaičiavimai yra orientaciniai; visai kitokie skaičiavimai būtų, jei ultragarsinių daviklių matricą sudarytų ne 10 daviklių, o, tarkim, 200. Darbe nėra įvertinti pjezokeraminių daviklių virpėjimai priimant signalą, kurie virpina šalia esančius daviklius ir juose atsiranda papildomi įtampos nuokrypiai.

Šis kuriamas metodas priklauso dinaminių matuoklių grupei, kadangi srauto greitis priklauso nuo pratekėju-

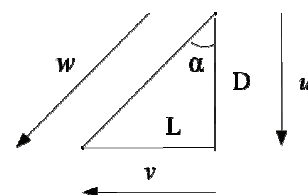
sio srauto kiekio (debito). Jis matuoja didelių greičių diapazonuose, tai yra alternatyva Pito metodui.

Ultragarsinės sistemos naudojamos vis plačiau ir tai netiesiogiai patvirtina šio metodo privalumus. Kuo daugiau yra sričių, kuriose naudojamas ultragarso, tuo svarbiau turėti sistemą, kuri galėtų generuoti ultragarso signalus ir surinkti ultragarsinę informaciją. Nuolat signalus ir surinkti ultragarsinę informaciją. Nuolat didėjanti elektroninių komponentų, kurie gali būti valdomi skaitmeniniu būdu, įvairovė davė stiprų impulsą plėtoti ultragarsines sistemas ir tobulinti parametrus, tuo pat metu mažinant jų matmenis ir svorį (Svilainis *ir kt.* 1998). Aktyvaus zondavimo ultragarsinės sistemos, palyginti su įprastomis duomenų surinkimo sistemomis, jei jos suprojektuotos protingai, turi geresnius parametrus kaip tik dėl duomenų surinkimo algoritmo ypatumų. Laiko ašies virpėjimas gali būti sumažintas, palyginti, nesudėtingais metodais, strobuojamas duomenų surinkimas gali būti atliktas neįprastu, tačiau efektyviu būdu. Skaitmeninis stiprinimo valdymas kartu su laiko atžvilgiu valdomu stiprinimo keitimu bei stiprinimo kalibravimu leidžia suspausti duomenų dinaminį diapazoną, praktiškai neprarandant tikslumo. Panaudojus tikslų ir stabilų generatoriaus impulso trukmės valdymą, ultragarsinio keitiklio savybės gali būti valdomos. Šie privalumai leidžia tvirtinti, kad ultragarsinės sistemos įgauna geresnius parametrus, jei joms žadinti ir duomenims surinkti naudojamos specialiai sukurtos, o ne įprastinės sistemos.



7 pav. Matuoklio maketas su orientaciniais atstumas

Fig. 7. Meter with approximately measure



8 pav. Greičio ir atstumo trikampių vektoriai

Fig. 8. Speed and distance vectorial

Išvados

1. Siekiant panaudoti visas ultragarsinės srautų greičio matavimo sistemos galimybes, būtina visame matuojamų greičių diapazone ištirti srautų greičio profilius ir juos įvertinti ultragarsiniu metodu matuojant dujų srautų greitį.

2. Apytiksliai apskaičiuotas matuoklio matavimo diapazonas yra labai platus, jis puikiai tinka aviacijoje, matuojant orlaivių greičius. Matome, kad didinant matuoklio vamzdžio skerspjūvį, mažinamas ir minimalus nustatymo greitis.

3. Mažinant srauto ir garso absoliučių verčių matavimo paklaidas, būtina sukurti metodikas, kurios leistų kiek galima tiksliau nustatyti matavimo kanalo geometrinis parametrus ir parazitinių signalų įtaką akustinėse ir elektrinėse grandinėse.

Literatūra

- Butkus, J.; Jakevičius, L.; Tumšys, O. 1998. Srauto greičio matavimas panaudojant impulsinius signalus, *Ultragarsas* 2(30): 25–29.
- Domantas, V.; Kažys, R. J. 1975. *Piezoelectric Transducers for Measuring Devices*. Vilnius: Mintis. 255 p.
- Lafferty, J. M. L. 1998. *Foundations of Vacuum Science and Technology*. John Willey and Sons, INC. ISBN 0-471-17593-5.
- Lynnvorth, T. C. 1979. Ultrasonic flowmeters, *Physical Acoustics*. N. Y. Academic Press, 407–519.
- Oro greičių aprašas [interaktyvus]. [žiūrėta 2009 02 10]. Prieiga per internetą: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Airspeed>>.
- Rohsenow, W. M.; Hartnett, J. P.; Ganić, E. N. 1985. *Handbook of Heat Transfer Fundamentals*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company.
- Svilainis, L.; Puodžiūnas, V. 1998. *Ultrasonic System: the Hardware Concept*. Kaunas. ISSN 1392-2114.

ANALYSIS OF ULTRASONIC METERS BASED ON DISPLACEMENT OF SOUND WAVES

V. Jozonis, J. Stankūnas

Abstract

Most modern technological processes measure the rate and flow of gas. For this purpose, ultrasound, especially pulsed time, has begun to be applied widely. The disadvantage of most pulsed temporal methods for measuring is that signal amplitude can vary only in strictly defined limits. Otherwise, the signals may be sent or received at the wrong moment. My aim was to review the different approaches used to measure the voltage amplitude value of a signal and to describe the capabilities of a projected instrument system.

Keywords: speed meters, flow meters, ultrasonic meters, doppler, air speed meters, sound waves displacement-based.