

4.17. ĮVAIRIŲ BANDINIŲ TYRIMAS ULTRAGARSINĖS ECHOSKOPIJOS METODU

Darbo tikslas

Ultragarsinės echoskopijos metodu nustatyti ultragarso bangų pagrindines charakteristikas ir pasirinktų tirti objektų matmenis bei jų sudedamųjų dalių padėtis.

Darbo užduotys

- Nustatyti ultragarso greitį ir zondo vėlinimo trukmę trijuose cilindruose.
- Atliekant B-scan matavimus, nustatyti defektų bloke esančių defektų padėtis, jų dydžius.
- Nustatyti ultragarso bangų charakteristikas: periodą, dažnį, bangos ilgį.
- Nustatyti akies maketo atskirų dalių (lęšiuko, rainelės, tinklainės) storius.

Teorinės temos

- Ultragarsas, jo generavimas ir detektavimas, ultragarso bangų greitis, atspindys ir lūžis.
- Ultragarso echografija. A-scan (amplitudės moduliacijos skenavimas), B-scan (šviesumo (angl. *brightness*) skenavimas).
- Ultragarso sąveika su biologiniais audiniais, taikymai medicinoje.
- Akies sandara, biometrija, akių echoskopijos principai

Darbo priemonės ir prietaisai

Ultragarso echoskopas, 1 MHz ir 2 MHz ultragarso zondai, cilindrai, defektų blokas, akies maketas, gelis, distiliuotas vanduo, slankmatis, kompiuteris su programine įranga.

Darbo metodika

Trumpi ultragarso bangų impulsai sukuriami pjezoelektriniuose kristaluose juos žadinant trumpais elektriniais impulsais. Šie impulsai kietuosiuose kūnuose sklinda tiesiaėgiu būdu ir iš dalies atsispindi pasiekę terpių ribą dėl skirtingų terpių akustinių varžų.

Žinant atstumą s tarp ultragarso zondo ir terpių ribos, išmatavus impulso sklidimo laiką t , galima nustatyti ultragarso greitį c . Kai ultragarso banga sklinda statmenai terpių ribai ir kai registruojamas atsispindintis ultragarso signalas, greitis lygus:

$$c = \frac{2s}{t}. \quad (4.17.1)$$

Beveik visų ultragarso zondu aktyvieji paviršiai (keramika) yra padengti apsauginiu sluoksniu. Apsauginių sluoksnių storis gali skirtis. Laboratoriniame darbe naudojamo 1 MHz zondo (zondas su mėlynu antgaliu) apsauginis sluoksnis yra storesnis nei 2 MHz zondo (zondas su raudonu antgaliu). Laikas, per kurį ultragarso bangos nusklinda per apsauginį sluoksnį, yra neatsiejamai išmatuojamas kartu su garso sklidimo bandinyje trukme. Neatsižvelgus į šį laiką ultragarso greitis bus išmatuotas netiksliai. Ultragarso sklidimo trukmė (t) yra sudaryta iš garso sklidimo per apsauginį sluoksnį trukmės (t_{2sL}) ir sklidimo per bandinį trukmės (t_{2s1}) (4.17.1 pav.).

Nebūtina žinoti zondo apsauginio sluoksnio storį L , jeigu ultragarso greitis c yra matuojamas dviejuose skirtingų storių s_1 ir s_2 bandiniuose, kuriuose ultragarso sklaidimo trukmė yra atitinkamai lygi t_1 ir t_2 . Ultragarso sklaidimo trukmė pirmajame bandinyje yra lygi:

$$t_1 = \frac{2(L+s_1)}{c}. \quad (4.17.2)$$

Analogiškai galima užrašyti ultragarso sklaidimo trukmę ir antrajame bandinyje:

$$t_2 = \frac{2(L+s_2)}{c}. \quad (4.17.3)$$

Iš vienos formulės išsireiškus atstumą L , kuris lygus:

$$L = \frac{t_2 c}{2} - s_2, \quad (4.17.4)$$

galima jį įsistatyti į kitą ir gausime, kad ultragarso greitis yra:

$$c = \frac{2(s_1-s_2)}{t_1-t_2}. \quad (4.17.5)$$

Skirtingų ultragarso zondų apsauginio sluoksnio storiai, o kartu ir zondų vėlinimo trukmės t_{2L} , skiriasi. Visa sklaidimo trukmė per zondą ir bandinį yra tokia:

$$t = (t_{2s1} + t_{2L}). \quad (4.17.6)$$

Iš šios ir 4.17.3 formulių galima išsireikšti sklaidimo per apsauginį sluoksnį, t. y. vėlinimo, trukmę t_{2L} :

$$t_{2L} = (t - t_{2s1}) \Rightarrow t_{2L} = \left(t - \frac{2s}{c}\right). \quad (4.17.7)$$

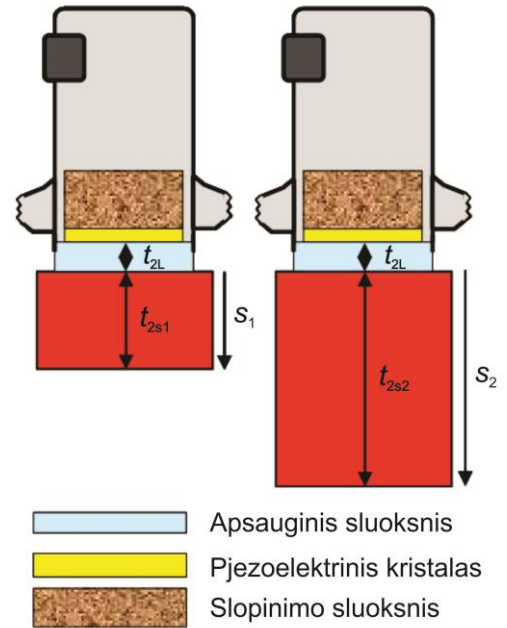
Jei ultragarso greitis c ir zondo vėlinimo trukmė t_{2L} yra žinomi, bandinio storis s apskaičiuojamas taikant šią formulę:

$$s = \frac{(t-t_{2L})c}{2}. \quad (4.17.8)$$

Apvalių defektų skersmenys d nesunkiai apskaičiuojami išmatavus atstumus iki jų nuo matavimo bloko kraštų (4.17.2 pav.):

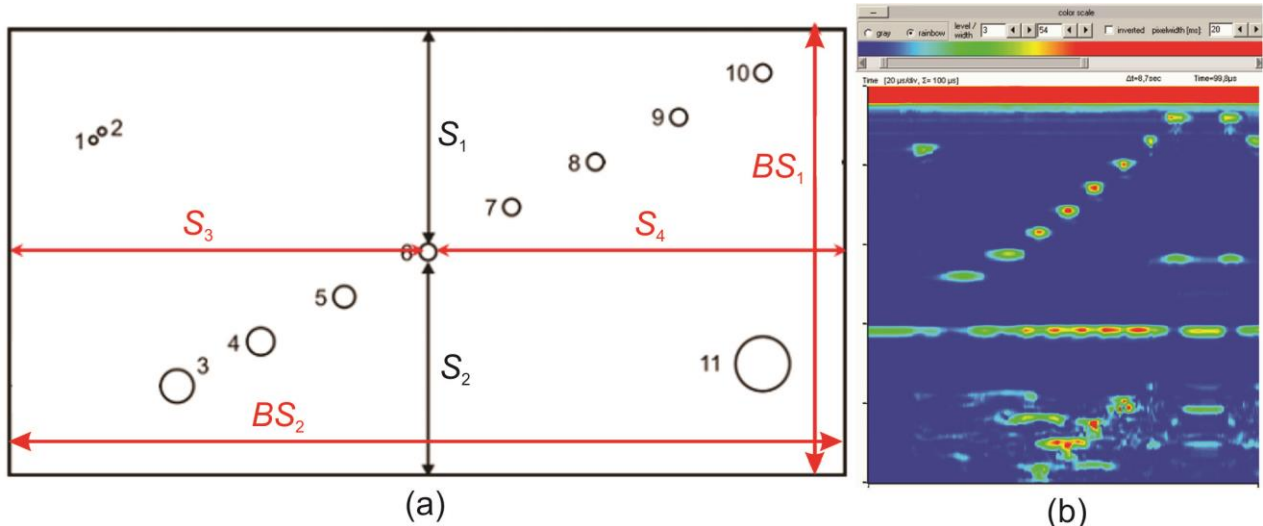
$$d = BS_1 - S_1 - S_2 = BS_2 - S_3 - S_4, \quad (4.17.9)$$

čia BS_1 ir BS_2 – matavimų bloko aukštis ir ilgis, S_1 , S_2 , S_3 ir S_4 – atstumai nuo kiekvienos bloko sienelės iki konkretaus defekto (4.17.2 pav., a). (4.17.9) formulė galioja tik kai defektas yra simetrinio rutulio formos.



4.17.1 pav. Ultragarso zondų ir bandinių schema

B-scan vaizdas perteikia nagrinėjamo bandinio skerspjūvio vaizdą (žr. 4.17.2 pav., b). Atvaizduojama plokštuma, išilgai kurios yra slenkamas ultragarso zondas. Vertikaliojoje ašyje yra atidėtas bandinio gylis, horizontaliojoje – skenavimo laikas. Jeigu zondas paviršiumi yra slenkamas tolygiai viena kryptimi, tai skenavimo laiko ašis bus tapati zondo poslinkio ašiai. Spalvinė vertė (spalvų spektras nuo mėlynosios iki raudonosios spalvos) paveiksle atitinka atspindžio amplitudę. Tikrąsias vertes, atitinkančias konkrečią spalvą, galima keisti, tačiau bendru atveju mėlyna spalva



4.17.2 pav. a) Defektų bloko schema. 1–11 – defektų eilės numeriai, S_1 , S_2 , S_3 , S_4 – atstumai nuo bloko sienelių iki defekto ir BS_1 – bloko aukštis, b) modelio pjūvio B-scan vaizdas

atitinka mažiausią atspindžio amplitudę, raudona – didžiausią. Erdvinę vaizdo skyrą lemia zondo padėtis ir jo judėjimo greitis. Paprasčiausias būdas sukurti pjūvio B-scan vaizdą – lėtai slinkti zondą išilgai bandinio paviršiaus. Tačiau šiuo atveju tiksli skersinė skiriamoji geba yra įmanoma tik preciziškai judinant zondą, pavyzdžiui, linijiniu skeneriu. Kita vertus, dėl mažo skenavimo greičio geros kokybės vaizdus galima išgauti ir nenaudojant papildomų sistemų.

Gauto vaizdo kokybę nulemia šie parametrai:

- Tikslus vaizdo taško perdavimas.
- Išilginė skyra, kurią nulemia ultragarso bangos ilgis.
- Skersinė skyra, kuri priklauso nuo ultragarso dažnio, ultragarso pluošto erdvinių savybių, fokusavimo sąlygų.
- Spalvinė (dinaminė) skyra, kuri nusako signalo diskretizacijos lygį (kiek bitų paskiriama signalo stiprumui užfiksuoti).
- Nuskaitymo greitis.
- Aberacijos, akustiniai šešėliai, daugkartiniai atspindžiai.

Akių echoskopiniai tyrimai

Viena ultragarsinės diagnostikos medicinoje taikymo sričių yra akies drumstumo ir orbitinio matymo problemų tyrimai. Akių diagnostikoje įprastai naudojamas 5–20 MHz dažnio ultragarsas. Ultragarso į akis gali būti nukreipiamas tiesiogiai į anestezuotą akį (pateptą geliu), per užmerktus akių vokus arba naudojant druskos voneles.

Oftalmologijoje ultragarso dažniausiai naudojamas biometriniais matavimams nustatant įvairius atstumus akyje. Norint pacientams, sergantiems katarakta, implantuoti dirbtinį akies lęšiuką, reikia žinoti tikslų atstumą tarp ragenos ir tinklainės. Echoskopija taikoma tada, kai rageną ar lęšiuką yra pernelyg drumsti, kad būtų galima juos ištirti optiniais metodais.

Matuojama ultragarso sklaidymo trukmė A-scan veika negali būti tiesiogiai keičiama į atstumą (pagrindiniame programos lange paspaudžiant mygtuką „Depth“ (liet. *Gylis*)), nes ultragarso greitis

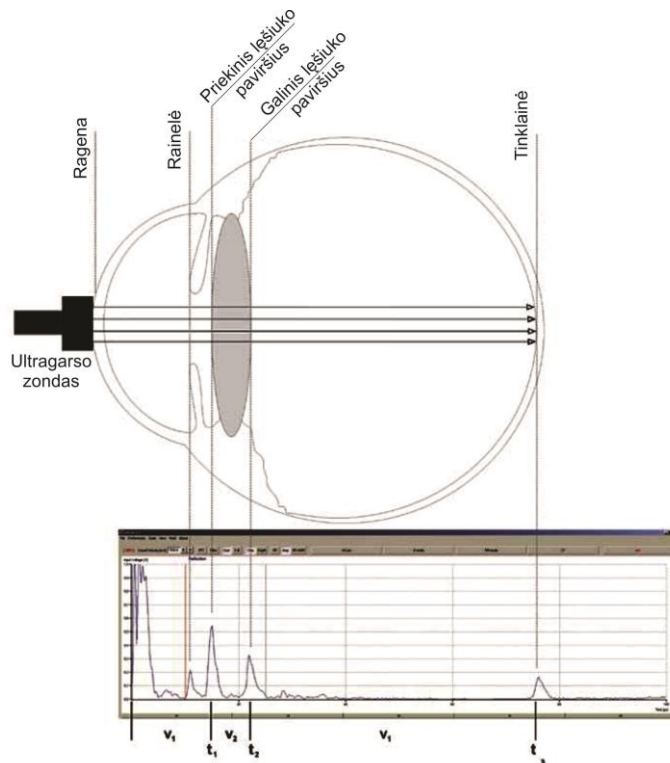
ragenoje, lęšiuke ir stiklakūnyje skiriasi. Todėl, matuojant ultragarso sklidimo trukmes atskirose akies modelio dalyse, būtina naudoti skirtingus ultragarso greičius atskiroms maketo dalims. Išmatavus ultragarso sklidimo trukmes galima suskaičiuoti kiekvienos atskiros akies maketo dalies storius:

$$s = v \frac{\Delta t}{2}. \quad (4.17.10)$$

Medicinos diagnostikoje dažnai naudojamos greičio vidutinės vertės. Akies makete (4.17.3 pav.) vidutinis greitis yra lygus:

$$v = \frac{v_1(t_1 + (t_3 - t_2)) + v_2(t_2 - t_1)}{t_3}, \quad (4.17.11)$$

čia t_1 – garso sklidimo trukmė iki lęšiuko pradinio paviršiaus, t_2 – iki lęšiuko galinio paviršiaus, t_3 – iki tinklainės, v_1 – garso greitis stiklakūnyje (šiam modelyje – 1410 m/s), v_2 – garso greitis lęšiuke (šiam modelyje – 2500 m/s).



4.17.3 pav. Akies maketo schema

Darbo eiga

Dėmesio! Naudodamiesi ultragarso echoskopu, atkreipkite ypatingą dėmesį į darbo saugą.

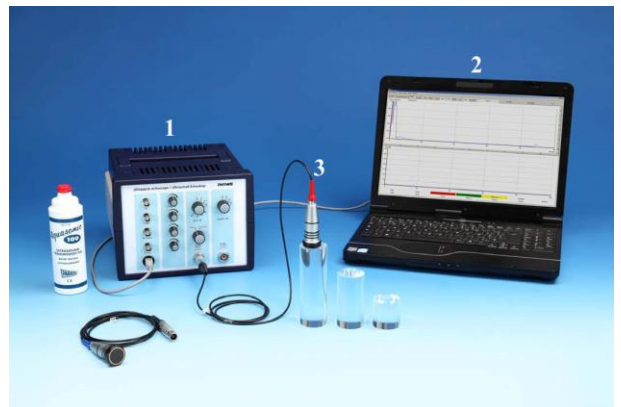
Tai nėra medicininė įranga, nenaudokite jos žmogaus kūnui tirti.

Pastaba. Ultragarso zondus, cilindrus ir defektų bloką nuvalykite vos baigę juos naudoti. Sudžiūvusius gelio likučius yra sunku pašalinti. Jei būtina, naudokite minkštą šepetėlį. Valymui niekada nenaudokite alkoholio arba skysčių su tirpikliais. Gilūs paviršiaus įbrėžimai turi įtakos akustiniam kontaktui ir gali sukelti matavimo paklaidas.

Nenaudokite per daug vandens akustiniam kontaktui, nes vandens gali patekti po bandiniu ir pakeisti atspindžio signalą (ultragarsas pereitų tiesiogiai per bandinį į stalą gerokai mažiau atsispindėdamas).

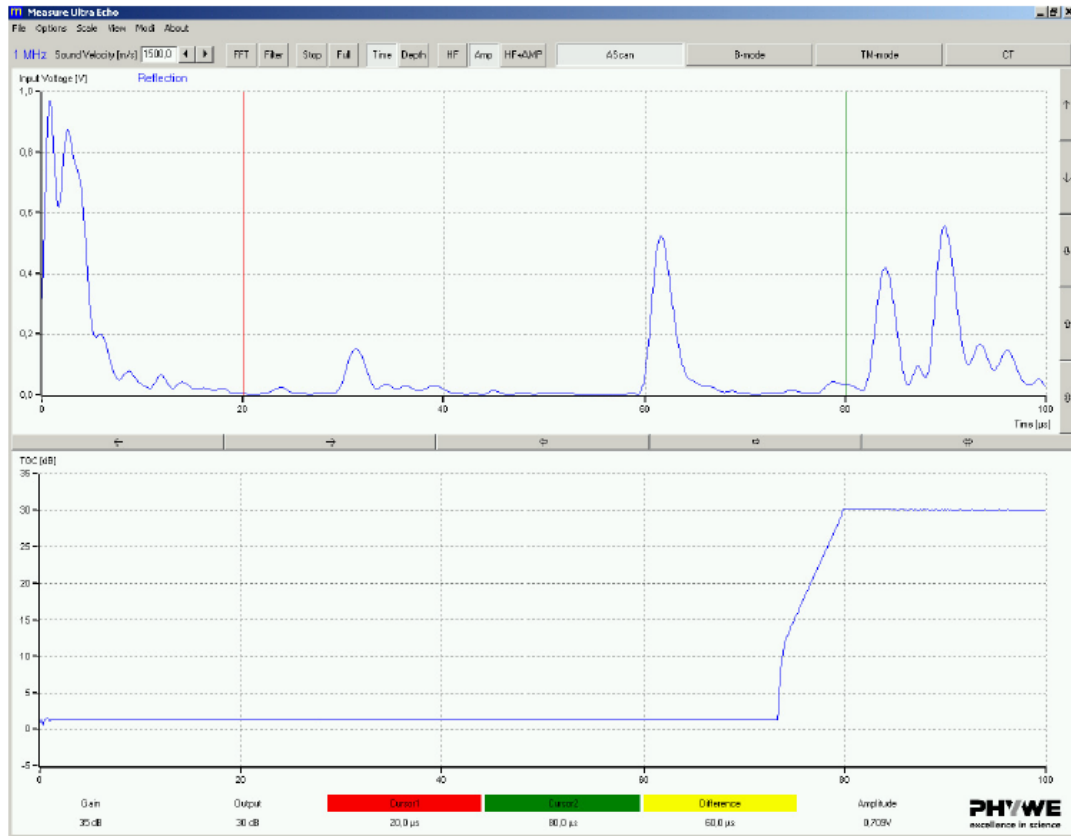
1. Ultragarso greičio nustatymas skaidriuose kietuosiuose kūnuose

1. Slankmačiu išmatuojami trijų cilindų aukščiai (s_1 , s_2 ir s_3).
2. Sujungiamas eksperimento stendas (4.17.4 pav.). Prie echoskopo (4.17.4. pav., 1) į „Probe (Reflexion“ (liet. Zondas (atspindys)) jungtį (4.17.10 pav., 5) prijungiamas zondas (pasirinktinai 1 MHz arba 2 MHz), rankenėlė pasukama į „Reflexion“ padėtį (4.17.10 pav., 4) ir USB kabeliu echoskopas prijungiamas prie kompiuterio 2 (4.17.4. pav.).
3. Įjungiamas echoskopas, kompiuterio darbalaukyje atidaroma programa „measure Ultra Echo“ (4.17.5 pav.).
4. Zondas (4.17.4 pav., 3) aktyviojo paviršiumi uždedamas ant tiriamo cilindro plokščiojo paviršiaus. Kontakto vietą patepus vandeniu, įsitikinama, kad jo nepateko po cilindru, priešingu atveju atsirastų papildomų atspindžių.
5. Surandamas ultragarso atspindžio nuo priešingos cilindro sienelės signalas. „measure Ultra Echo“ programiniame lange (4.17.5 pav.) atspindėti ultragarso impulsai rodomi kaip smailės.
6. Siųstuvo stiprintuvas („Gain“, liet. *Stiprinimas*) (4.17.10 pav., 6) ir imtuvas („Output“, liet. *Išėjimas*) (4.17.10 pav., 3) nustatomi taip, kad smailės būtų aiškiai matomos, varpo formos, nesusidariusios iš daugybės smailių. Smailės formą galima optimizuoti keičiant imtuvo signalo stiprinimo rankenėlės D (4.17.10 pav.).
7. Išmatuojama garso sklaidimo tarp pradinio siunčiamo ir atspindžio signalų trukmė. Sklidimo trukmė gali būti nustatoma tiesiogiai programos lange, naudojant programinės įrangos žymeklius (raudona ir žalia linijos); jų poziciją galima keisti slenkant pačius žymeklius pele arba naudojantis rodyklių klavišais: ←, →, – pradžios žymekliui ↑, ↓ – pabaigos žymekliui). Žymeklių pozicija ir skirtumas tarp jų verčių nurodomi programos pagrindinio lango apačioje po spalvotomis žymėmis (raudona žymė – pradžios žymeklis, žalia – pabaigos žymeklis, geltona – žymeklių verčių skirtumas).
8. Matavimai kartojami pasirinkus kitus cilindrus.
9. Apskaičiuojamas ultragarso greitis (4.17.5 formulė) ir zondo vėlinimo trukmė (4.17.7 formulė).
10. Norint išmatuoti cilindro aukštį, dirbant su programa „measure Ultra Echo“ įvedami šie parametrai: pagrindiniame lange „Sound velocity (m/s)“ (liet. *Garso greitis*) įrašomas suskaičiuotas ultragarso greitis; meniu „Options“ (liet. *Nustatymai*) ⇒ „Parameter“ (liet. *Parametras*) įvedama apskaičiuota zondų vėlinimo trukmė (angl. *time shift*) naudojamam zondui (1 MHz arba 2 MHz).



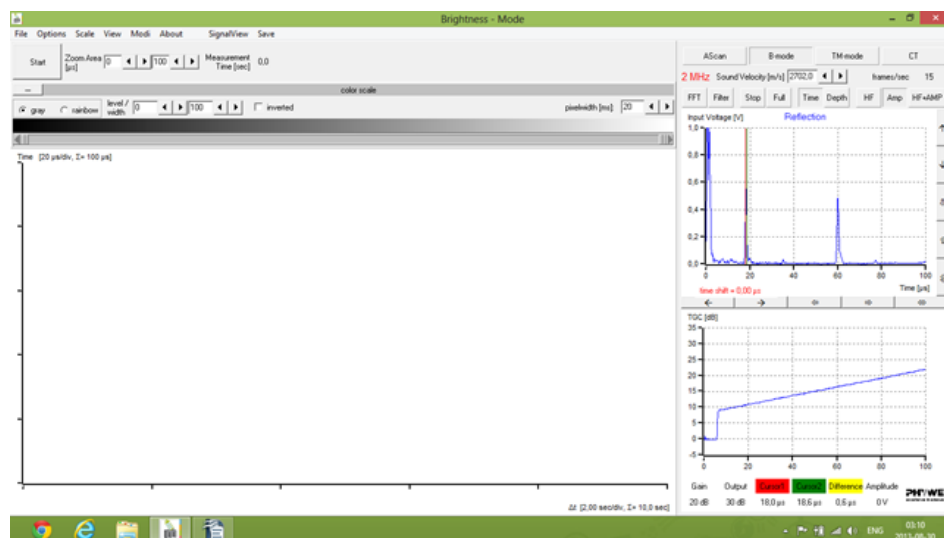
4.17.4. pav. Eksperimento stendas ultragarso greičiui nustatyti

11. Programiniame lange „measure Ultra Echo“ (4.17.5 pav.), perjungus mygtuką iš „Time“ (liet. *Laikas*) į „Depth“ (liet. *Gylis*), tiesiogiai išmatuojami trijų cilindrų storiai, naudojant programinės įrangos žymeklius (raudona ir žalia linijos). Šiuo atveju programos pagrindiniame lange esančio grafiko abscisių ašyje bus atidėtos ne laiko, o gylio vertės.
12. Palyginami dviem skirtingais būdais (slankmačiu ir ultragarsu) išmatuotų cilindrų storiai.



4.17.5 pav. Programos „measure Ultra Echo“ pagrindinis langas

8. Apskaičiuojamas ultragarso greitis (4.17.1 formulė). Šiuo atveju ultragarso sklaidimo nuotolis yra $2BS_2$.
9. Zondas pastatomas ant defektų bloko ilgesniojo šono ir pakartojami darbo eigos 5–8 punktai. Skaiciuojant ultragarso greitį, sklaidimo nuotolis lygus $2BS_1$.
10. Apskaičiuojamas vidutinis ultragarso greitis ir ši vertė įrašoma programos „measure Ultra Echo“ pagrindiniame lange („Sound velocity (m/s)“). Perjungiamas mygtukas iš „Time“ į „Depth“ – šiuo būdu laiko matavimo ašis pakeičiama į gylį ašį.
11. Išmatuojami atstumai S_1, S_2, S_3, S_4 kiekvienam defektui (4.17.2 pav., a). Atspindinčio signalo stiprumas priklauso nuo atstumo iki defektų. Signalo stiprumą galima reguliuoti keičiant stiprintuvo parametrus rankenėlėmis „Threshold“ (liet. *Slenkstis*), „Wide“ (liet. *Plotis*), „Slope“ (liet. *Pokrypis*) ir „Start“ (liet. *Pradėti*). Apskaičiuojami defektų storiai (4.17.8 formulė).
12. Programos „measure Ultra Echo“ lango parinkčių juostoje pasirenkama HF veika, kuria išskleidžiamas signalas laike, kad gerai matytųsi ultragarso virpesiai. Atsidariusio lango apačioje yra rodyklės, kuriomis galima išskleisti laike gaunamą signalą.
13. Išmatuojamas ultragarso periodas (sklidimo trukmė gali būti nustatoma tiesiogiai programos „measure Ultra Echo“ lange naudojant programinės įrangos žymeklius), apskaičiuojamas dažnis ir bangos ilgis.
14. Programos „measure Ultra Echo“ parinkčių juostoje paspaudžiamas „Amp“ mygtukas ir užregistruojami atspindžiai nuo dvigubo defekto – dviejų greta esančių skylių (1 ir 2 skylės 4.17.2 pav., a), ir išmatuojamas atstumas tarp abiejų atspindžių.
15. Apskaičiuojamas naudojamo ultragarso bangos ilgis ($\lambda = \frac{c}{\nu}$, čia c – ultragarso greitis, ν – ultragarso dažnis (1 MHz arba 2 MHz)) ir įvertinama ultragarso zondo skyra (gebėjimas atskirti atskiras skyles dvigubame defekte).
16. Paruošiama programa „measure Ultra Echo“ dvimačio šviesumo vaizdui (B-scan) registruoti (4.17.8 pav.) – parinkčių juostoje paspaudus mygtuką „B-Mode“.
17. Blokas paguldomas ilgąja kraštine ir uždedamas zondas, kad būtų geresnis akustinis kontaktas, naudojant vandenį. Vandeniui padengiamas visas bloko paviršius.
18. Programoje paspaudžiamas „Start“ mygtukas ir zondas tolygiai slenkamas išilgai bloko paviršiaus. Pasiekus kitą bloko galą, programa sustabdoma („Stop“ mygtukas). Atspindžio signalo ryškumą galima optimizuoti keičiant echoskope siūstuvo ir imtuvo stiprinimo vertes bei stiprinimo laikinės funkcijos vertes (žr. priedą „Echoskopo priekinis skydelis“).
19. Išmatuojamas atstumas tarp skylių ir viršutinio krašto naudojantis programos žymekliais.

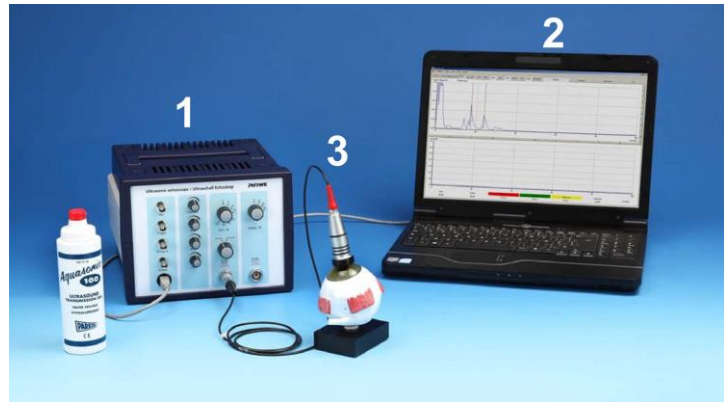


4.17.8 pav. Programos „measure Ultra Echo“ pagrindinis langas

3. Akies maketo tyrimas

Pastaba. Akies maketo rageną pagaminta iš jautrios ultragarsui medžiagos. Spaudžiant zondą maketo paviršių, jis gali būti lengvai deformuojamas. Nedidelis slėgis gali pagerinti zondo ir maketo akustinį kontaktą, kartu išlenkdamas rageną, tačiau per didelis spaudimas gali sukelti medžiagos plyšimus ir sugadinti akies maketą. Nelieskite maketo aštriais daiktais. Valykite rageną su šlapiu minkštu skudurėliu. Nenaudokite jokių valiklių ar karšto vandens, jis gali pažeisti maketą.

1. Sujungiamas eksperimento stendas (4.17.9 pav.). Prie echoskopo 1 (4.17.9 pav.) prijungiamas zondas raudonu antgaliu (2 MHz) į „Probe (Reflexion)“ jungtį 5 (4.17.10 pav.), rankenėlė pasukama į „Reflexion“ padėtį 4 (4.17.10 pav.) ir USB kabeliu echoskopas prijungiamas prie kompiuterio 2 (4.17.9 pav.).



4.17.9 pav. Eksperimento akies maketui tirti stendas

2. Įjungiamas echoskopas, kompiuterio darbalaukyje atidaroma programa „measure Ultra Echo“ (4.17.5 pav.), darbo lange pasirenkama amplitudžių matavimo veika („A-scan“) ir laiko matavimo veika („Time“). Pasirenkamos vidutinės stiprinimo („Gain“ (4.17.10 pav., 6)) ir išėjimo galios („Output“ (4.17.10 pav., 3)) vertės.
3. Akies modelis patepamas geliu ir ant ragenos vidurio uždedamas zondas.
4. Lėtai, nespaudžiant slenkant zondą per rageną, stebimas A-scan vaizdas. Zondo padėtis keičiama tol, kol pamatomi du stiprūs atspindžiai nuo lęšiuko priekinio ir galinio paviršiaus ir silpnas atspindys nuo tinklainės (4.17.3 pav.). Siųstuvo ir imtuvo stiprintuvų rankenėlės pasukamos taip, kad nuo lęšiuko paviršių ir akies tinklainės atsispindintys ultragarso signalai būtų aiškiai išskiriami. Atitinkamų smailių amplitudės gali būti optimizuojamos koreguojant D bloko parametrus (žr. priedą). Dažnai silpnas atspindys nuo ragenos pasirodo šalia lęšiuko priekinio paviršiaus atspindžio signalo. Abi atspindžių nuo lęšiuko paviršių smailės ir tinklainės atspindžio smailė turi būti aiškiai matomos, be jokių papildomų struktūrų. Tik šiomis sąlygomis garso kritimo kampas yra statmenas lęšiukui. Jei ultragarso bangos sklidimo kryptis nėra statmena lęšiuko paviršiui, smailių amplitudės gali padidėti ir atsirasti nedidelių papildomų smailių. Šie ultragarsiniai artefaktai yra vengtini ir jų negalima interpretuoti kaip atskirų terpių ribų.
5. Gautas atvaizdas sustabdomas programos „measure Ultra Echo“ parinkčių juostoje esančiu „Stop“ mygtuku.
6. Išmatuojamos atspindžių signalų laikinės pozicijos skirtingose akies maketo dalyse – lęšiuko priekinėje (t_1) ir užpakalinėje dalyje (t_2) bei tinklainėje (t_3) (žr. 4.17.3 pav.). Sklidimo trukmė gali būti nustatomi tiesiogiai, naudojant programinės įrangos žymeklius (raudoną ir žalią linijas).
7. Apskaičiuojami lęšiuko ir stiklakūnio storiai (4.17.8 formulė), kai ultragarso greitis stiklakūnyje – 1410 m/s, o lęšiuke – 2500 m/s.
8. Apskaičiuojamas vidutinis ultragarso greitis (4.17.1 formulė).
9. Programos „measure Ultra Echo“ parinkčių juostos „Sound Velocity (m/s)“ langelyje įrašomas vidutinis ultragarso greitis bandinyje. Perjungus mygtuką iš „Time“ į „Depth“, lęšiuko storis ir atstumas iki tinklainės išmatuojami tiesiogiai, naudojant programinės įrangos žymeklius (raudoną ir žalią linijas). Šiuo atveju programos pagrindiniame lange esančio grafiko abscisių ašyje bus atidėtos ne laiko, o gylio vertės.

10. Palyginami dviem skirtingais būdais išmatuotų stiklakūnio ir lęšiuko dydžiai.

Literatūra

1. J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius. Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams, 1 dalis, vadovėlis, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2003, 212 p. ISBN 9986-19-595-9. El. vadovėlis: ISBN 978-9955-33-538-2.
2. Thomas D. Rossing (ed.), Springer handbook of acoustics, New York N.Y.: Springer, 2007, 1182 p.
3. B. H. Brown, P. V. Lawford, R. H. Smallwood, D. R. Hose, D. C. Barber, Medical physics, Taylor & Francis, 1999, 736 p.
4. G. B. Benedek, F. M. H. Villars, Physics with Illustrative Examples from Medicine and Biology: Mechanics, 2nd edition, Springer-Verlag, 2000.
5. A. C. Guyton, J. E. Hall, Textbook of medical physiology, Philadelphia Pa.: Saunders/Elsevier, 2011.

Echoscopo priekinis skydelis

A blokas – elektros maitinimas

1 – indikacinis šviesos diodas (įjungta / išjungta)

B blokas – siųstuvas

2 – jungtis zondui, matuojant pralaidumo veika

3 – siųstuvo signalo stiprinimas

C blokas – imtuvas

4 – matavimo veikos keitimo rankenėlė (atspindžio / pralaidumo veika)

5 – jungtis zondui, matuojant atspindžio veika; jungtis imtuvo zondui, matuojant pralaidumo veika

6 – imtuvo signalo stiprinimo rankenėlė

D blokas – priimamo signalo stiprinimo laikinės funkcijos valdymas

7 – stiprinimo laikinės funkcijos pradžios taško keitimo rankenėlė

8 – stiprinimo laikinės funkcijos pokrypio kampo keitimo rankenėlė

9 – stiprinimo laikinės funkcijos trukmės keitimo rankenėlė

10 – stiprinimo slenkstinė vertės keitimo rankenėlė

E blokas – oscilografo jungtys

11 – stiprinimo laikinės funkcijos signalo jungtis

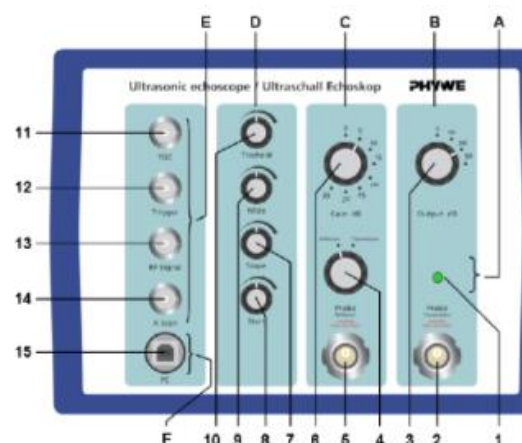
12 – trigerio jungtis

13 – aukšto dažnio signalo jungtis

14 – žemo dažnio signalo jungtis

F blokas – kompiuterio jungtis

15 – USB jungtis



4.17.10 pav. Echoscopo priekinio skydelio vaizdas su rankenėlėmis