



1 REFERATAS (Red. V1.2)

Apie akustinių sistemų galimybes atkurti šiuolaikinius muzikos įrašus

ČESLOVAS PAPLAUSKAS

„CP AUDIO PROJECTS“,
Kaunas, 2012 m.

Santrauka

Kokybiškas garso atkūrimas yra kompleksiškas uždavinys, o akustinės sistemos (AS) yra svarbiausia grandis. Referate atskleidžiama garsiakalbių parametrų visumos svarba, tarpusavio priklausomybės ir įtaka galutiniam rezultatui. Taip pat konkrečiais pavyzdžiais iliustruojamos šiuolaikinių analizės metodų galimybės detaliam ištyrimui akustinių sistemų darbą žemųjų dažnių srityje.

Pagrindinis dėmesys sutelktas į mažųjų akustinių sistemų galimybes atkurti šiuolaikinius muzikos įrašus. Tam tikslui pasirinkta populiariausia „lentyninių“ AS klasė, kurioje panaudoti 6,5" žemųjų dažnių (ŽD) elektrodinaminiai garsiakalbiai. Efektyviausiai žemuosius dažnius atkuria AS su fazės apgręžikliais – tokios čia ir nagrinėjamos.

Apžvalga neapima visų elektrodinaminio garsiakalbio veikimo aspektų ir konkrečių AS išsamių duomenų, todėl pateikiamos tik apibendrintos išvados.

Referatas skirtas kokybišku muzikos atkūrimu besidomintiems skaitytojams. Gilesnių teorinių paaiškinimų pasigedusiems rekomenduojama jų ieškoti kituose šaltiniuose – keli jų nurodyti pridedamame literatūros sąrašė.



Pradėkime nuo studijinių artimojo lauko monitorių, nes jie geriausiai atskleidžia mažųjų sistemų galimybes ir leidžia įvertinti mažųjų buitinių AS privalumus bei trūkumus.

Pirmas kandidatas būtų „Westlake audio“ LC6.75 dvijuostė sistema. Šie artimojo lauko monitoriai plačiai naudojami garso įrašų studijose. Analogišką konstrukciją turi šių monitorių buitinė realizacija, kurių pavadinimas irgi LC6.75. Skiriasi tik korpuso apdaila: studijinės AS nudažytos juodai, o buitinės – fanerotos. „Westlake audio“ LC6.75 dalyvavo 1996-ųjų geriausių TEC (Technical Excellence & Creativity Awards) gaminių atrankoje, „Studio Monitor Technology“ kategorijoje. Taigi, sistemos konstrukcijos išbaigtumas abejonių nekelia.



1 pav. Buitinės paskirties „Westlake audio“ akustinė sistema LC6.75. Klasikinė konstrukcija su fazės apgręžėju, atliktas ŽD ir AD draiverių padėties suderinimas

Gamintojas pateikia tokius techninius duomenis:

SPECIFICATIONS	
Lc6.75F 2-Way Loudspeaker System	
Woofer	1 x 6.5"
Midrange	
Tweeter	1 x 3/4"
Frequency Response (+/- 3dB)	60Hz-20kHz
Power IEC Short/Long	80W / 200W
Sensitivity @ 1m/2.83V	88dB
Crossover Frequency	4kHz
Impedance Nominal/Minimum	7/5
Inputs	Single, Dual Banana 5-Way Binding Posts
Dimensions: H x W x D (ins.)	16 x 8 x 10
Dimensions: H x W x D (cms.)	40.6 x 20.3 x 25.4
Weight: Lbs. / Kg.	22 lbs. / 10 kgs.

LC6.75 yra nedidelės, apie 14 l vidinio tūrio, tačiau palyginti sunkios AS. Pasižymi santykinai dideliu jautriu – perskaičiavus deklaruojama jautri 1 dB/W/m, faktinis jautris būtų apie 87 dB/W/m. Kuomet 6,5" dydžio žemadažniu draiveriu nesiekiami atkurti apatinės muzikos oktavos signalų, o AS konstrukcijoje sumontuotas fazės apgręžėjas, sistema gali atkurti žemuosius dažnius su mažais iškraipymais. Žemadažniui draiveriui skiriamos žemiausios 6 muzikos signalo oktavos, o nedideliui 0,75" aukštadažniui garsiakalbiui paliekamas viršutinių 2,5 oktavų atkūrimas – techniškai racionalus sprendimas!

Teoriškai sistema gali kurti iki 110 dB akustinį slėgį, tačiau toks galingumas sukels didelius iškraipymus. Kalbant apie kokybišką muzikos atkūrimą, maksimalus darbo režimas būtų maždaug 100 dB, arba apie 20W galia.

LC6.75 palyginkime su kitais studijiniais monitoriais.

„Genelec“ yra vienas studijinių monitorių rinkos lyderių, gaminančių skirtingo dydžio artimojo lauko monitorius. Kadangi 6,5“ dydžio žemadažnis panaudotas tik „Genelec“ 8040A studijiniuose monitoriuose, apžvelkime būtent šį.



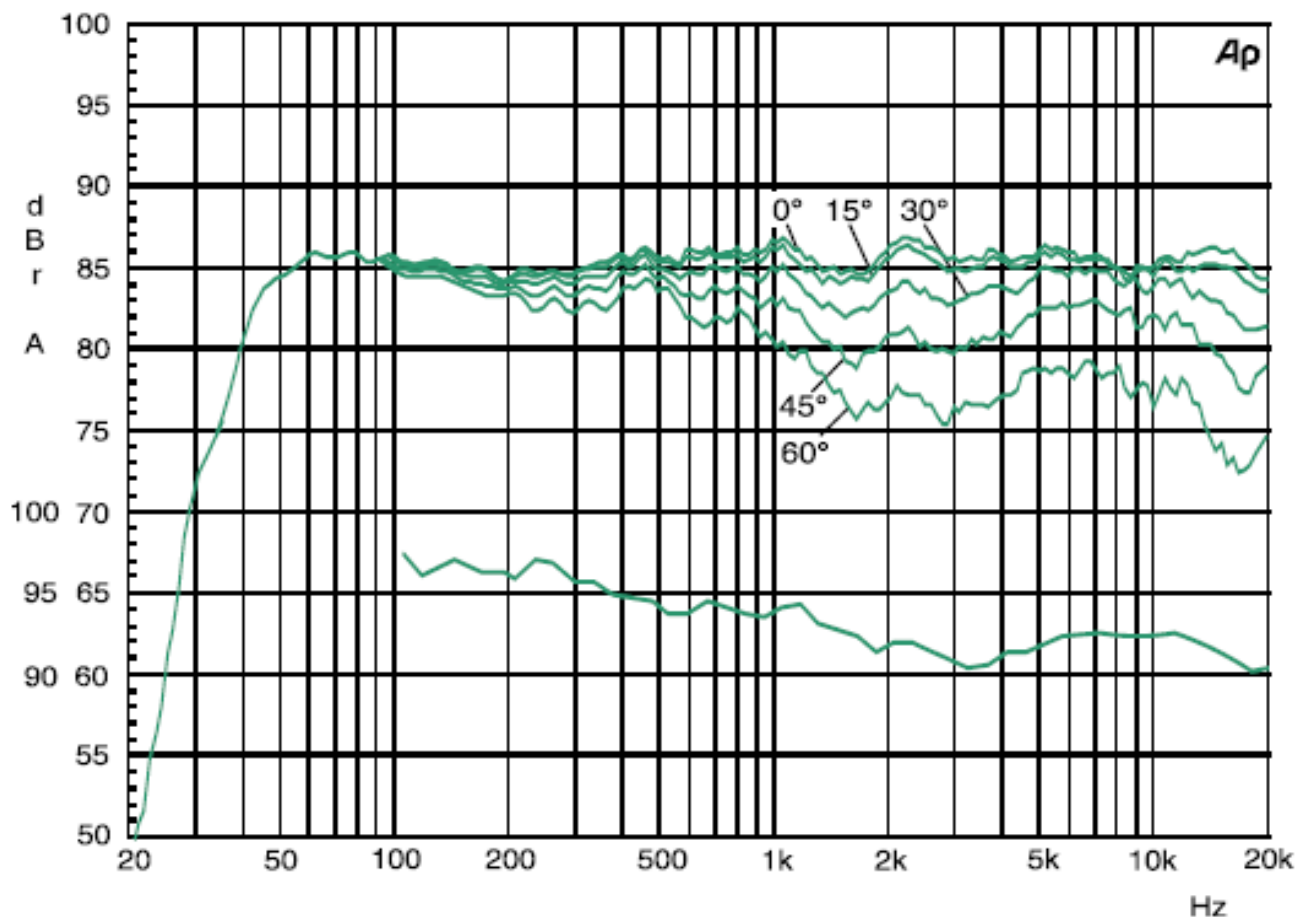
2 pav. „Genelec“ 8040A artimojo lauko monitorius su fazės apgręžėju.
Viduje sumontuoti atskiri 90 vatų galingumo stiprintuvai ir aktyvinis filtras (krosoveris).
Fazių suderinimas realizuotas AD draiveriui sukonstravus akustinę panelę.
Toks būdas padidina AD draiverio apkrovimą ir leidžia pažeminti AS skiriamąjį dažnį.
Taip pat maždaug 2 dB padidina AD srities atkūrimo efektyvumą.

„Genelec“ pateikia tokias 8040A technines charakteristikas:

Garsiakalbiai:	ŽD: 6.5", AD: 3/4" su metaliniu difuzoriumi
Skyrimo dažnis:	3 kHz
Dažninė charakteristika:	48 Hz – 20 kHz (± 2 dB)
Stiprintuvų galia/kanalui:	ŽD: 90 W , AD: 90 W
SPL:	105 dB SPL (maksimali trumpalaikė sinusinio signalo akustinė galia 100 – 3000 Hz dažnių juostoje, 1 m atstumu AS ašyje, kuomet AS dirba „pusės lauko“ režimu) 115 dB SPL @ 1m (abiejų AS maksimali trumpalaikė efektyvinė akustinė galia muzikiniam signalui)
Gabaritai (A x P x G):	350 x 237 x 223 mm
Svoris:	8.6 kg

Visi „Genelec“ artimojo lauko monitorių korpusai išlieti iš aliuminio lydinio, labai stangrūs ir nerezonuojantys. Korpuso konstrukcijoje įvertintos antrinių difrakcijų įtakos, atliktas draiverių tarpusavio padėties suderinimas. Kadangi ši AS aktyvinė, nuostolių krosoveryje nėra ir išnaudojamas visas sistemos efektyvumas.

Kaip ir „Westlake audio“, „Genelec“ garsiakalbių patys negamina, tačiau atrenka juos ir grupuoja pagal reikiamus parametrus. „Genelec“ 8040A monitorių konstrukcija labai vykusi, čia pilnai išnaudotos 6,5“ žemadažnio draiverio galimybės.



3. pav. „Genelec“ 8040A dažninė charakteristika ir sklaidos priklausomybė, kuomet kryptingumas išmatuojamas 1m atstume (viršutinių kreivių pluoštas). Apatinė kreivė parodo sistemos maksimalaus galingumo priklausomybę nuo dažnio.

„Genelec“ darbo juostas šiems monitoriams parinko taip, kad ŽD draiveris atkurtų 6 oktavas, o AD draiveriui skiriamas beveik 3 viršutinių oktavų atkūrimas. 8040A jautris yra apie 86 dB/W/m, o maksimalus ilgalaikis akustinis galingumas – 99 dB. „Genelec“ pateikia iškraipymų dydį, kuris 90 dB SPL@1m yra 2% 50–100 Hz juostoje. Aukštesnių darbo dažnių juostoje iškraipymai sumažėja iki 0,5%.

Galime padaryti pirmą išvadą: abiejų AS su vienodais ŽD ir AD draiveriais parametrai labai panašūs.

Parametrų priklausomybę nuo ŽD garsiakalbio, o tuo pačiu ir AS dydžio iliustruoja „Westlake audio“ pateikiama palyginamoji lentelė (4 pav.). Nesunku padaryti tokias išvadas:

- didėjant ŽD garsiakalbių diametrai, žemųjų dažnių atkūrimo efektyvumas auga;
- didesnės AS pasižymi didesniu AS jautriu ir mažesniais iškraipymais [2].

Suprantama, didesnio jautrio AS yra didesnės, sunkesnės ir brangesnės. Tačiau tokia yra kokybiško muzikos atkūrimo kaina.

Lc Series

Model	System Type	Woofer	Midrange	Tweeter	Frequency Response +/- 3dB	Power IEC Long/Short	Sensitivity @1m/2.83V	Crossover Frequency	Impedance nom/min	Inputs	Dimensions H x W x D in. H x W x D cm.	Weight Lbs. Kg.
Lc4.75F	2-Way BR	1 x 4"		1 x 3/4"	60Hz-20kHz	60/180W	85dB	4.5kHz	7/4	BP	12 x 5.5 x 7.25 30.4 x 13.9 x 18.4	12 5.4
Lc5.75F	2-Way BR	1 x 5"		1 x 3/4"	60Hz-20kHz	80/200W	86dB	4.5kHz	7/4	BP	14 x 6.5 x 9 35.6 x 16.5 x 22.9	18 8.2
Lc6.75F	2-Way BR	1 x 6 1/2"		1 x 3/4"	60Hz-20kHz	80/200W	88dB	4kHz	7/5	BP	16 x 8 x 10 40.6 x 20.3 x 25.4	22 10
Lc8.1F	2-Way BR	1 x 8"		1 x 1"	55Hz-20kHz	85/225W	90.5dB	3.6kHz	7/5	BP	18 x 10 x 11.6 45.7 x 25.4 x 29.5	31 14
Lc8.1SW	Passive Subwoofer	2 x 10"			34Hz-20kHz	160/450W	90.5dB	68Hz	5/2.5	BA/BW	26.8 x 13.7 x 14.7 68.1 x 38.8 x 37.3	100 45.4
Lc3w10VF	3-Way BR	1 x 10"	1 x 5"	1 x 3/4"	42Hz-20kHz	100/300W	88dB	150/4.5kHz	5/3	BA/BW	24.25 x 12 x 14 61.5 x 30.5 x 35.6	71 32.2
Lc3w12VF	3-Way BR	1 x 12"	1 x 6 1/2"	1 x 1"	40Hz-20kHz	110/300W	91dB	160/4.5kHz	5/3	BA/BW	29.5 x 14.5 x 15.5 38.1 x 63.5 x 38.1	102 47.6
Lc265.1F	3-Way BR	2 x 6 1/2"	1 x 5"	1 x 1"	48Hz-20kHz	125/400W	91dB	180/4kHz	5/3	BA/BW	8 x 22 x 11 20.3 x 55.9 x 27.9	42 19

BBSM Series

Model	System Type	Woofer	Midrange	Tweeter	Frequency Response +/- 3dB	Power IEC Long/Short	Sensitivity @1m/2.83V	Crossover Frequency	Impedance nom/min	Inputs	Dimensions H x W x D in. H x W x D cm.	Weight Lbs. Kg.
BBSM-4F	2-Way BR	2 x 4"		1 x 3/4"	65Hz-20kHz	80/200W	89dB	1.5kHz	4/2	BA/BW	8 x 15 x 10 20.3 x 38.1 x 25.4	25 11.3
BBSM-5F	2-Way BR	2 x 5"		1 x 1"	55Hz-20kHz	80/200W	90dB	1.2kHz	4/2	BA/BW	10 x 18 x 11.75 25.4 x 45.7 x 29.8	42 19
BBSM-10F	3-Way BR	2 x 10"	1 x 6 1/2"	1 x 1 1/4"	45Hz-20kHz	115/360W	94dB	600/4kHz	4/2	BA/BW	16 x 30 x 20 40.6 x 76.2 x 50.8	150 68

4 pav. „Westlake audio“ LC serijos ir mažesniųjų (BBSM serijos) akustinių sistemų techniniai duomenys.

Trumpai apžvelkime buitines AS su analogiško dydžio ŽD draiveriais. „Talon“ Hawk (5 pav.) galėtų būti dvijuostės su 6,5“ žemadažniais pavyzdys.



5 pav. „Talon“ Hawk dvijuostė AS, kurioje panaudotas „Accuton“ 6,5“ „keraminis“ žemadažnis.

„Talon“ pateikia tokius Hawk parametrus:

Frequency Response	40Hz – 40kHz
Nominal Impedance	8 ohms
Minimum Impedance	6 ohms
Efficiency	88 db
Driver complement	7" ceramic midrange + 1" ceramic tweeter
Dimensions	18.5 x 13.75 x 11 inches (H,W,D)
Weight	20.4 kg (per speaker)

Vengiant nesusipratimų, gamintojo aprašymas pateikiamas originalia kalba.

The Talon Hawk is our reference grade monitor. Every detail of speaker design and manufacturing is meticulously examined. The finest drivers from Accuton used. From our proprietary acoustical suspension to solderless point to point wiring, nothing is left to chance. What is so amazing about the Hawk is its convincing bass out of such a small cabinet.

Ieškantiems išskirtinio dizaino, buitinių AS gamintojai gali pasiūlyti egzotiškiausios išvaizdos, įmantriausių formų AS konstrukcijas. Tik ne visada jos inžineriškai teisingai sukonstruotos.


METAL SOUND DESIGN
MOON II



6 pav. „Metal Sound Design“ akustinė sistema Moon II

Kadangi kiekvieno AS gamintojo standartai skiriasi, o faktinių matavimo rezultatų neturime, tikslaus garsiakalbių palyginimo atlikti negalėsime. Tenka pasinaudoti akustikos mokslu, kuris leidžia padaryti teisingas išvadas – būtent toks ir šio referato tikslas.

Žemųjų dažnių atkūrimas moksliai gerai ištirtas, turime tikslius analizuojamų draiverių matematinius modelius, todėl galime atlikti garsiakalbių darbo konkrečioje AS analizę. Netgi tuomet, kai gamintojas nepateikia nei maksimalaus galingumo, nei didžiausio SPL („Talon“ Hawk atvejis), galime suprasti, kodėl tai daroma ir kokias savybes turi konkreti sistema. Plačiau nagrinėti buitines AS su 6,5" draiveriais nėra prasmės, nes pagrindiniai projektavimo dėsningumai visoms sistemoms yra tie patys.

Norintiems daugiau sužinoti apie žemųjų dažnių garsiakalbius, rekomenduoju perskaityti šio referato 1 priedą. Referato 2-ame priede pateikiamas teorinio AS modeliavimo pavyzdys programų paketo „LinearX“ LEAP apimtyje, o garsiakalbio darbą žemiausių dažnių atkūrimo ruože atspindintys rezultatai pavaizduoti 15 ir 16 paveikslėliuose.

Išvados

1. Pagal fizikos dėsnius galioja AS dydžio, svorio ir jautrio priklausomybė, kurios įveikti jokiais priemonėmis neįmanoma. Kokybiška yra tokia AS, kurios konstrukcijoje suderinta tolygiausia dažninė charakteristika, didžiausias jautris ir mažiausi iškraipymai ^[2,3]. Akustinių sistemų žemųjų dažnių atkūrimo efektyvumas priklauso nuo AS dydžio, o kalbant apie AS su 6,5" dydžio garsiakalbiais, optimalus žemiausias atkūrimo dažnis yra apie 60 Hz. Žemiau šio dažnio ir esant didesniam galingumui, 6,5" membranos virpėjimo amplitudė neproporcingai didėja, ji tampa nepajėgi kurti proporcingo SPL akustines bangas.

Studijinių artimojo lauko monitorių techniniai duomenys patvirtina, kad sistemos su 6,5" dydžio ŽD draiveriais negali kokybiškai atkurti žemiausios muzikos oktavos.

2. Kuomet mažais garsiakalbiais stengiamasi atkurti žemiausiąją muzikos oktavą, konstruktoriai priversti didinti garsiakalbio ritės eigą ir naudoti galingesnes magnetines sistemas. Tokio sprendimo kaina yra AS parametru degradacija: blogesnė impulsinė charakteristika, padidėję iškraipymai dėl membranų pakabos nelineiškumo, Doplerio dažnių moduliaciniai iškraipymai, didesni termo iškraipymai dėl slėgių AS viduje ir išorėje skirtumo, iškraipymai dėl magnetinės indukcijos didesnių pulsacijų, padidėję membranos sukelti oro turbulencijos triukšmai, o taip pat kompresiniai iškraipymai dėl didesnės magneto įtakos membranos sukeliamam oro srautui.

3. Pigesnėse buitinėse AS naudojami ŽD garsiakalbiai turi mažesnes rites ir nedidelius magnetus. Tuomet gamintojai pasirenka „psicho-akustinį“ kompensavimo kelią, kuomet konstruojamos AS su „kupra“ dažninės charakteristikos ŽD srityje. Tokia AS nepilnai atkuria pačius žemiausius dažnius, tačiau truputį aukštesnius dažnius membranos eiga jau leidžia atkurti padidintu akustiniu lygiu. Toks akustikos ir klausos ypatumų panaudojimas AS konstrukcijoje veda prie rezultato, pavadinto – „vienos natos“ sistemomis. Psichoakustiškai tokios sistemos pasižymi geru ŽD atkūrimu, tačiau muzikos tembras būna iškreiptas. Problema padidėja ir dėl to, kad daugelis muzikos klausymosi kambarių nėra tinkamai įrengti. Kadangi visi kambariai turi rezonansus, o didžiausią įtaką daro būtent žemiausi (pirmieji) kambario rezonansai 30 – 100 Hz diapazone, tokia AS su netiesine dažnine yra ypatingai jautri patalpai. Bendras rezultatas būna sunkiai prognozuojamas ir neišsprendžiamas.

4. Inžineriškai teisingai sukonstruotos didelės akustinės sistemos visais kokybiško muzikos atkūrimo aspektais nugali mažesnes AS. Todėl renkantis AS, pirmenybę reikėtų teikti didesnėms akustinėms sistemoms.

Literatūra ir nuorodos

1. „Handbook for Sound Engineers“. The New Audio Cyclopedia, editor Glen Ballou. Howard W.Sams&Company, 1991.
2. Philip Newell, Keith Holland „Loudspeakers for music recording and reproduction“, ISBN: 978-0-240-52014-8
3. Joseph D'Appolito „Testing loudspeakers“, ISBN: 1-882580-17-6
4. Филип Ньюэлл – «Великий низкочастотный обман»: http://www.show-master.ru/categories/955filip_nyuell_mastering_urok_11_monitory_i_nizkochastotnye_kharakteristiki.html
5. „Westlake audio“ Hi-Fi serijos sistemos: http://www.westlakeaudio.com/Speakers/Hi_Fi_Series/lc_series2.html
6. „Genelec“ monitoriai 8040A: <http://www.genelec.com/products/2-way-monitors/8040a/>
7. „Accuton“ ŽD garsiakalbiai: <http://www.accuton.de/drivers/list.php?PHPSESSID=0dde51f7fa6d7514d95f4d0f03b74324&m1=2&m2=4&m3=0&matID=4&appID=3>
8. „Seas“ ŽD garsiakalbis W18E001: http://www.seas.no/index.php?option=com_content&view=article&id=358:e0018-08s-w18e001&catid=49&Itemid=359

ŽD garsiakalbių parametrai ir jų įvertinimas

Pradėkime nuo šiuo metu populiarių 6,5" „Accutone“ žemadažnių, kurie plačiai naudojami brangiose buitinėse AS.

Šios serijos garsiakalbius „Accuton“ vadina „keraminiais“, nors iš tikrųjų membranos štampuojamos iš aliuminio juostos ir specialia technologija padengiamos kompozicinio oksido sluoksniais. Gamintojas teigia, kad ši technologija leidžia pagaminti ypatingai stangrias membranas, o garsiakalbis pasižymi mažesniais iškraipymais. „Keraminės“ membranos yra trapios, jas lengva pažeisti, todėl garsiakalbiai parduodami su apsauginiais tinkleliais. Atsparumui padidinti, membranų paviršius gamintojai kartais padengia audiniu.

Be „Accuton“ yra daugiau panašių garsiakalbių gamintojų, bet panagrinėkime būtent šio gamintojo žemadažnius.

„Accutone“ C173-6-191E

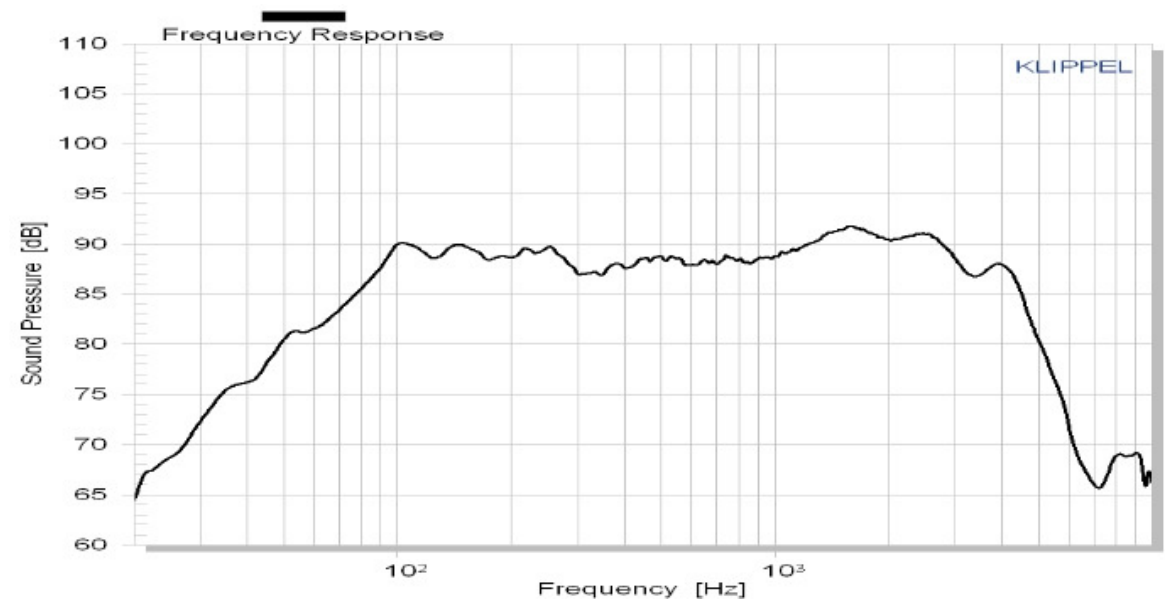


7 pav. „Accuton“ 6,5" garsiakalbiai su „keraminėmis“ membranomis

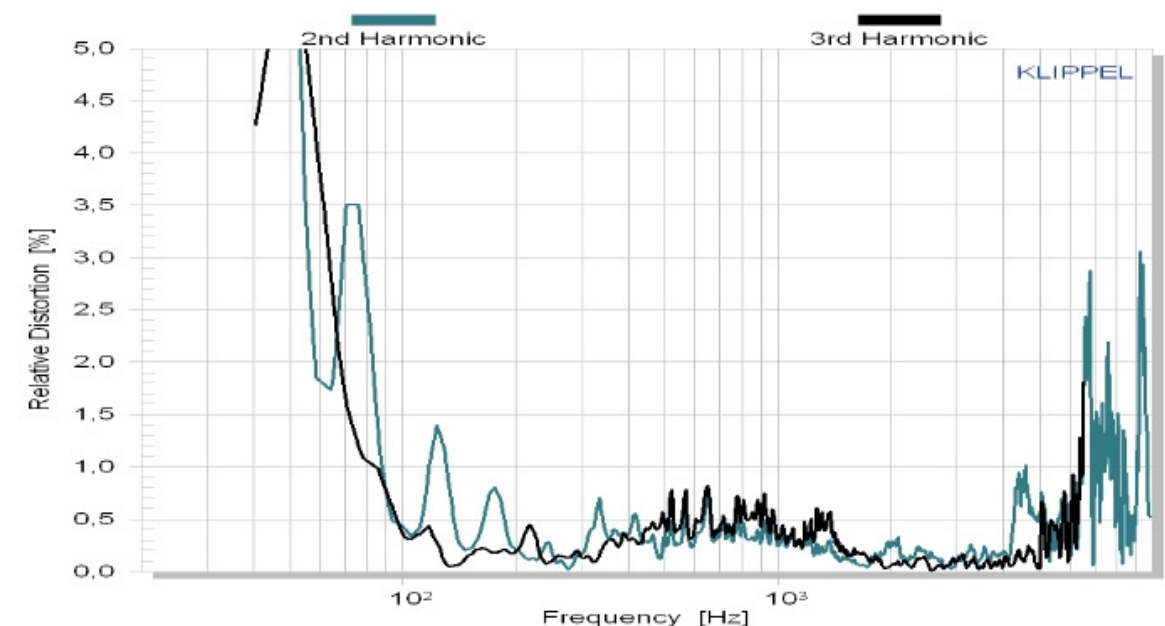
Gamintojas deklaruoja tokius parametrus:

Thiele/Small Parameters			
Sensitivity (2.83V / 1m)	Lp	88	dB
DC-resistance	Re	5.8	Ohm
Resonance frequency	Fs	32	Hz
Equivalent volume of air	Vas	33	L
Mechanical Q	Qms	4.9	
Electrical Q	Qes	0.29	
Total Q	Qts	0.27	
Effective piston area	Sd	130	cm ²
Moving mass	Mms	17.5	g
Suspension compliance	Cms	1.37	mm/N
Mechanical resistance	Rms	0.75	kg * s

Voice Coil Data			
Power handling	P	120	Watt
Linear excursion	Xmax	+/- 5	mm
Voice coil diameter		38	mm
Voice coil former material		Ti	
Voice coil material		Cu	
Voice coil inductance	Le	0.7	mH
Force factor	Bl	8.5	N/A
Motor type		Overhung	
Ferrofluid filling		no	



8 pav. Gamintojo pateikiama dažninė charakteristika. Joje neparodyti parazitiniai rezonansai aukštesniųjų dažnių srityje, kurie ŽD garsiakalbiams su kietomis membranomis yra neišvengiami (žiūr. iškraipymų duomenis 9 pav.). Paprasčiausias kovos su rezonansais būdas yra atkūrimo apribojimas filtrais. Štai kodėl studijinių monitorių gamintojai tebenaudoja garsiakalbius su popieriaus masės membranomis – tokie mažiau rezonuoja ir užtikrina geriausius AS bendruosius parametrus.



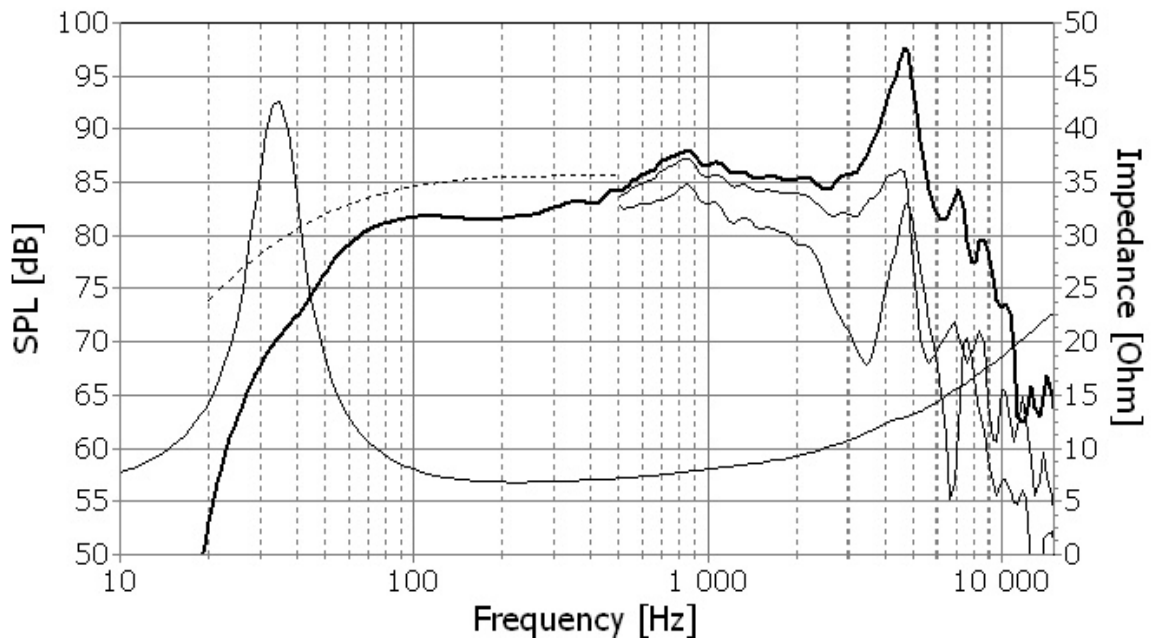
9 pav. Gamintojo pateikiama iškraipymų charakteristika, kurią „Accuton“ matuoja prie mažų (1 W) galingumų. Matome, kad iškraipymai pradeda didėti žemiau 100 Hz, o taip pat virš 4000 Hz. Todėl tokį garsiakalbį galima naudoti sistemose, kuriose aukščiausias skyrimo dažnis yra apie 3000 Hz – taip ir daro daugelis buitinių AS gamintojų. Žemiausiųjų dažnių iškraipymus galime sumažinti tik mažindami į AS paduodamą galingumą.

„Seas“ Excel W18E-001

„Seas“ Excel W18E-001 yra kitas brangesnių buitinių paskirties 6,5“ žemadažnių garsiakalbių pavyzdys. Panašiai kaip „Accuton“, šio garsiakalbio membrana sutvirtinta specialiu magnio sluoksniu. Taip pat naudojama natūralios gumos paslanki membranos pakaba, o iškraipymų sumažinimui panaudoti vario žiedai. Gamintojo nuomone, tokia membrana su itin paslankia pakaba bei didelė eiga leidžia kokybiškai atkurti visą muzikos spektrą.



10 pav. „Seas“ Excel W18E-001. Siekiant geresnio ŽD atkūrimo, nedidelio garsiakalbio membranos paslankumas turi būti labai didelis, tačiau tai mažina jautrį ir maksimalų AS galingumą.



11 pav. Gamintojo dažninė charakteristika, kurioje matome vyraujantį rezonansą 4500 Hz ruože ir didesnius netolygumus aukštųjų dažnių srityje. Tai stangrios ir mažesniu virpesių slopinimu pasižyminčios membranos požymis.

Gamintojas nurodo tokius W18E-001 parametrus:

Nominal Impedance	8 Ohms	Voice Coil Resistance	6.1 Ohms
Recommended Frequency Range	40 - 2500 Hz	Voice Coil Inductance	0.65 mH
Short Term Power Handling *	250 W	Force Factor	6.6 N/A
Long Term Power Handling *	100 W	Free Air Resonance	34 Hz
Characteristic Sensitivity (2,83V, 1m)	86 dB	Moving Mass	15.5 g
Voice Coil Diameter	39 mm	Air Load Mass In IEC Baffle	0.82 g
Voice Coil Height	16 mm	Suspension Compliance	1.4 mm/N
Air Gap Height	6 mm	Suspension Mechanical Resistance	1.20 Ns/m
Linear Coil Travel (p-p)	10 mm	Effective Piston Area	126 cm ²
Maximum Coil Travel (p-p)	19 mm	VAS	30 Litres
Magnetic Gap Flux Density	0.88 T	QMS	2.91
Magnet Weight	0.42 kg	QES	0.49
Total Weight	1.75 kg	QTS	0.42

Vertinant gamintojų deklaruojamus parametrus reiktų pasakyti, kad buitinių garsiakalbių ir AS gamintojai dažniausiai nenurodo parametrų matavimo sąlygų arba jos būna nepakankamai apibrėžtos. Situaciją galime pateisinti gamybos technologiniais nukrypimais, bet konstruojantiems AS pravartu žinoti, jog daugelis gamintojų pateikia pagerintus draiverių parametrus. Patikrinti parametrus ir sužinoti gamintojų nepateikiamus duomenis leidžia specializuotos AS projektavimo programos (apie jas skaitykite antrame priede). Rezultatai bus dar tikslesni, jeigu programose esančius garsiakalbių modelius pakoreguosime išmatuotais konkretaus draiverio Thiele-Small parametrais.

6,5" dydžio ŽD garsiakalbius bus lengviau įvertinti, jeigu palyginsime juos su didesniųjų parametrais.

„TAD“ žemųjų dažnių garsiakalbio TL-1102 konstrukcijoje atsispindi daugiau akustikos reikalavimų, todėl yra tinkamas pavyzdys ir palyginimams, ir išvadoms padaryti. Praktinį šių garsiakalbių panaudojimą galime pamatyti AS „TAD“ Exclusive 2251 ir 2252 vidutinio lauko studijiniuose monitoriuose (<http://audio-database.com/PIONEER-EXCLUSIVE/speaker/model2251-e.html>).



12 pav. Profesionalios paskirties 11" žemųjų dažnių draiveris „TAD“ TL-1102. Pagrindinės konstrukcijos ypatybės: popieriaus masės kompozicinė membrana su stangrumą didinančiais žiedais, 65 mm diametro ritė, suvyniota stačiakampiu laidu, Alnico magnetinė sistema su ritės aušinimo sistema, didelės eigos „akordeono“ tipo stangri pakaba, lietas garsiakalbio korpusas.

Visų „TAD“ žemujų dažnių garsiakalbių, tame skaičiuje ir TL-1102, technines charakteristikas matome lentelėje:

■ Low Frequency Loudspeaker仕様一覧				
	TL-1601a	TL-1601b	TL-1801	TL-1102
General				
Nominal Impedance	8 Ohm	8 Ohm	8 Ohm	8 Ohm
Lowest Resonance Frequency (Fo)	28 Hz	28 Hz	26 Hz	31 Hz
Frequency Range	28-2000 Hz	28-2000 Hz	26-2600 Hz	31-3000 Hz
Rated Input Power	150 Watt	200 Watt	200 Watt	125 Watt
Maximum Input Power	300 Watt	500 Watt	800 Watt	500 Watt
Sound Pressure Level	97 dB/W (1m)	97.5 dB/W (1m)	96.5 dB/W (1m)	94 dB/W (1m)
Total Magnetic Flux	260.000 Mx	277.000 Mx	282.200 Mx	148.000 Mx
Magnetic Flux Density	11.800 G	12.400 G	11.200 G	12.800 G
Highest Recommended Crossover	1.200 Hz	1.200 Hz	800 Hz	1.800 Hz
Recommended Enclosure	113 - 307 liter	113 - 304 liter	170 - 500 liter	170 - 500 liter
Effective Piston Diameter	335.0 mm	335.0 mm	394.0 mm	216.0 mm
Baffle Opening	352.0 mm	352.0 mm	426.0 mm	237.0 mm
Mounting Dimensions	370.0 mm	370.0 mm	441.0 mm	255.0 mm
Weight	11 kg	13 kg	12.6 kg	6.3 kg
Dimensions (diameter x depth)	400 x 167 mm	400 x 167 mm	464 x 176 mm	276 x 140 mm
Theile-Small Parameters				
sd - Piston Area	0.0881 Sq M	0.0881 Sq M	0.122 Sq M	0.0366 Sq M
Revc - DV Voice Coil Resistance	7 Ohm	7 Ohm	7 Ohm	7 Ohm
Levc - Voice Coil Inductance 1kHz (mH)	1.6	1.7	2	1.1
BL - Flux Density (TM)	19.5	20.5	21	13.5
Vas - Equivalent Acoustic Volume (Liter)	307 liter	304 liter	500 liter	121 liter
Cms - Mechanical Suspension Compliance (x 10 ⁻⁴ m/N)	2785	2761	2372	6332
Mms - Mechanical Mass of Cone and Free Air Load	116 g	117 g	158 g	41 g
Mmd	85 g	86 g	114 g	34 g
Fs - Free Air Resonance Frequency	28 Hz	28 Hz	26 Hz	31 Hz
Qms - Mechanical Q Factor	6.8	6.8	7.94	4.35
Qes - Electrical Q Factor	0.36	0.32	0.39	0.32
Qts - Total Q factor	0.34	0.31	0.37	0.3
Xmax - Max Linear Peak Excursion (O-P)	8.0 mm	8.0 mm	7.5 mm	6.2 mm
Pmax - RMS Thermal power Limit	300 Watt	500 Watt	800 Watt	500 Watt
no - Relative Efficiency	1.82%	2.00%	2.20%	1.10%
Vd (cm ²)	705	705	914	227
Max. Excursion Before Damage (P-P)	36.0 mm	36.0 mm	40.0 mm	32.0 mm

Pabandykime įvertinti mažųjų draiverių iškraipymų žemiausiuose dažniuose prigimtį ir atsakykite į klausimą – kodėl „Accuton“ išmatuoja iškraipymų padidėjimą žemiau 100 Hz (žiūr. 9 pav.) ir kokia jų prigimtis?

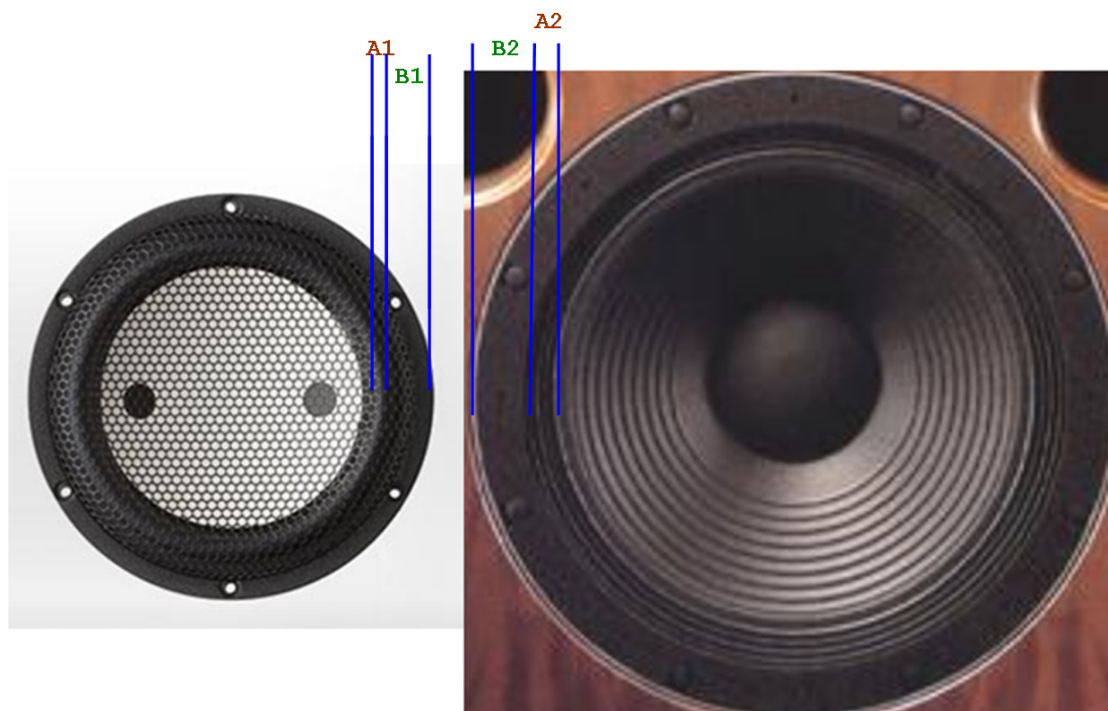
13 pav. matome 6,5“ ir 11“ garsiakalbius, pavaizduotus viename mastelyje. Matome, kad mažesniųjų garsiakalbių membranos pakabos plotis **A1** yra mažesnis už didesniojo garsiakalbio pakabos plotį **A2**: TL-1102 pakabos plotis maždaug 17 mm, o C173-6-191E – apie 10 mm.

Galime šį dalyką palyginti su spyruoklės ilgiu: ilgesnioji spyruoklė turi didesnę tolygaus darbo diapazoną, lyginant su trumpesne. Todėl 16 pav. iškraipymų grafike atsispindi žemiausių dažnių atkūrimo iškraipymai dėl membranos padidėjusios eigos (žiūr. referato 2 priedą). Paprasčiau sakant, TL-1102 pakaba leidžia membranai judėti tolygiau ir didesnėmis amplitudėmis. Būtent pakabos patobulinimas veda prie nestandartinių dydžių 11“ arba 16“ draiverių atsiradimo – kokybiškesnei pakabai reikia daugiau vietos. Vertinant akustiškai, tokie garsiakalbiai atitinka standartinius 10“ ar 15“ dydžius.

Svarbiausi mažesniųjų garsiakalbių apribojimai pakabos konstrukcijos požiūriu būtų šie:

- ritės eiga negali būti žymiai padidinta, nes tai didintų membranos bendrąją masę ir mažintų garsiakalbio jautrį;

- membranų pakabos plotį padidinti būtų sunku, nes tokia pakaba blogiau kontroliuotų didelio paslankumo membraną (didėtų Cms). Arba reikėtų didinti magnetinio plyšio plotį, kas mažintų magnetinę indukciją. Šis kelias vėl vestų prie garsiakalbio jautrio sumažėjimo...



13 pav. 6.5" ir 11" žemųjų dažnių garsiakalbių membranų pakabos labai skirtingos.

Detaliau atsakykime į klausimą – kodėl didesniuose garsiakalbiuose galima padidinti pakabos plotį, o tuo pačiu pagerinti darbo linijiskumą?

Atsakymas paaiškės, kuomet įvertinsime dar vieno pakabos parametro Cms, vadinamo „garsiakalbio pakabos paslankumu“, svarbą.

Kaip matėme pradžioje, studijinių monitorių su 6,5" draiveriais dažninė charakteristika neapima žemiausios muzikos oktavos. Tolygus dažnių atkūrimas prasideda maždaug nuo 50 ar 60 Hz. Inžineriškai toks pasirinkimas yra racionalus. Referato antrajame priede 16 pav. atvaizduotos kreivės parodo, jog 50 W galingumas ir žemesni už 80 Hz dažniai priverčia 6,5" draiverių membranas judėti maksimaliai leistina 5 mm amplitude. Akustikos fizika sako, kad aukštesnių dažnių atkūrimas nebeverčia garsiakalbio membranos vibruoti didelėmis amplitudėmis, todėl gali būti padidintas AS maksimalus SPL. Kuomet AS neskirta atkurti žemiausios muzikos oktavos – žymiai lengviau sukonstruoti patį garsiakalbį, AS turės didesnę jautrį, mažesnius iškreipimus ir tolygesnę dažninę charakteristiką. Reikia pasakyti, jog šios problemos atsirado tuomet, kai buitinių AS gamintojai sumanė mažesniais garsiakalbiais atkurti žemiausią muzikos spektro dalį. Fizika parodo vienintelį kelią į tokį tikslą – jei norime išlaikyti jautrį, turime didinti pakabos paslankumą. Kitaip sakant, tik ant plonos ir paslankios spyruoklės kabanti masė turės žemą rezonansą. Štai kodėl 6,5" ŽD draiverių su pažemintu rezonansu paslankumo parametras Cms žymiai didesnis: „Accuton“ – 1,37 mm/N, „Seas“ – 1,4 mm/N, o didesniojo „TAD“ – tik 0,64 mm/N.

Apibūdinkime membranos paslankumą, panaudodami spyruoklės pavyzdį.

Mažesnio paslankumo (stangresnė) spyruoklė didesnę jėgą veikia prikabinant kūną ir greičiau sugrąžina jį į pradinę padėtį. Ir garsiakalbių membraną į pradinę padėtį greičiau gali sugrąžinti stangresnė pakaba. Todėl didesniųjų garsiakalbių su mažesne Cms parametro reikšme pereinamasis procesas yra trumpesnis, lyginant su mažų gabaritų ŽD garsiakalbiais. Galima pateikti praktišką pavyzdį, kuomet didesnieji ŽD garsiakalbiai su stangriomis „akordeono“ tipo pakabomis tiksliau atkuria kontraboso ar būgnų įrašus. Susiejant muzikos atkūrimą su fizikos sąvokomis, galima pasakyti, jog ŽD garsiakalbio pereinamieji procesai turi būti trumpesni už bet kurių muzikos instrumentų pereinamuosius procesus. Tik tuomet AS neprailgina muzikos instrumentų skambėjimo ir įrašai skambą natūraliai.

Membrana yra svarbiausias bet kurio garsiakalbio elementas. Membrana turi išlikti stangri visame AS darbo dažnių diapazone ir gerai slopinti pačioje membranoje susikuriančias vibracijas. Nuo membranos masės priklauso jautris. Siekiami didesnio jautrio, „Accuton“ ir „Seas“ pagamino labai lengvas ir stangrias ŽD draiverių membranas. Deja, tokios membranos blogiau slopina vidinius rezonansus ir pasižymi didesniais iškreipymais AD srityje.

14 pav. matome storą, iš kelių popieriaus sluoksnių pagamintą, su papildomu paviršiaus laminavimu ir stangrumo žiedais žemadažnio garsiakalbio membranos dalį. Kaip tik tokie 16“ ŽD draiveriai dažniausiai naudojami didžiuosiuose studijiniuose muzikos įrašų kontrolės monitoriuose.



14 pav. „TAD“ 16“ ŽD draiverio membranos išpjova.

Šių garsiakalbių ritės diametras 100 mm, o popieriaus masės membranos storis svyruoja nuo 1,5 iki 2 mm. Tokia membrana su rite sveria 85 gr., tačiau galinga magnetinė sistema ir speciali ritės konstrukcija leidžia pasiekti 97,5 dB/W/m jautrį. Suprantama, jog palengvinus membraną, garsiakalbio jautris padidėtų, tačiau tai didintų iškreipimus. Lyginant su mažomis ir plonomis membranomis, didesnės membranos paprastai konstruojamos įvertinus daugiau kokybės reikalavimų. Didesni garsiakalbio gabaritai suteikia tam palankesnes sąlygas.

Turime progą įvertinti pastaruoju metu populiarią buitinių AS konstrukciją, kuomet ŽD atkuria ne vienas, bet 2 ar daugiau draiverių. Kodėl pasirinktas toks kelias, prie ko tai veda?

Iškreipimų dydis ŽD srityje labai priklauso nuo maksimaliai leidžiamos membranos eigos X_{max} , o mažieji garsiakalbiai tą X_{max} greičiau pasiekia. Natūralu, kad AS konstruktoriams kyla noras konstrukciją išspręsti, panaudojant kelis ŽD draiverius – juk yra ir pigių garsiakalbių. Tarkime, kiekvienoje AS sumontuojami du, keturi ar dar daugiau ŽD garsiakalbių. Štai iš kur atsirado buitinių sistemų realizacija, vadinama „bokštu“ (tower). AS-bokštų akustinė ašis būna palankiame aukštyje, todėl jiems nereikalingi stoveliai. Deja, akustine prasme, tokia konstrukcija nėra optimali.

Tarkime, kad du 6,5“ garsiakalbiai ekvivalentiškai vienam 8“ garsiakalbiui, kuriam reikia atitinkamai didesnio korpuso tūrio. Pabandykime tokį sprendimą išanalizuoti detaliau ir pradėkime nuo populiarausio sprendimo – du ŽD garsiakalbiai viename korpuse.

Kadangi rinkoje vyrauja 8 omų garsiakalbiai, du ŽD draiveriai AS varžą sumažina iki 4 omų. Sumažėjus varžai, AS filtro konstrukcija tampa sudėtingesnė.

Dar svarbiau tai, kad ir lempiniams, ir tranzistoriniams stiprintuvams toks apkrovimas nepageidautinas. Vien ši aplinkybė verčia gerai pagalvoti, ar verta pirkti AS-bokštelių su dviem ŽD draiveriais, turinčią 4 omų nominalią varžą. Neatsakysiu į klausimą, kodėl du ŽD draiveriai nesujungiami nuosekliai ir nekonstruojamos AS, turinčios 16 omų varžą. Tikriausiai tai tik laiko klausimas, nes akustine prasme, toks variantas būtų racionalesnis.

Keturių ŽD draiverių vienoje AS panaudojimas vėl leidžia turėti optimalią 8 omų varžą ir dar didesnę leistiną AS galingumą. Analizuodami šį variantą, nekreipkime dėmesį į korpuso tūrio arba kainos padidėjimą. Tarkime, visi 4 garsiakalbiai sumontuoti pagal akustikos dėsnius racionaliausiu būdu: visi vienoje kompaktiškoje grupėje, o ne siaurame korpuse vienas virš kito. Tokia 6,5" garsiakalbių grupė atitinka vieną 12" ŽD draiverį. Kokie privalumai, lyginant su vienu 12" draiveriu? Kokį AS variantą – su vienu dideliu, ar su keturiais mažesniais geriau pasirinkti?

Keturių 6,5" draiverių efektyvus membranos plotas yra apie 520 cm². Maždaug tokį plotą turi vienas 12" žemadažnis „Fostex“ W300AII, su kuriuo ir palyginkime. W300AII parametrus rasite čia: http://www.europe-audio.com/document.asp?document_id=2228&link=datasheets%5Cfostex%5Cw300a2.pdf.

AS su keturiais „Accuton“ 6,5" draiveriais ekvivalentinis jautris nuo 87,7 padidės iki 93,7 dB/W/m ir susilygins su vienu „Fostex“ W300AII. Maksimali 6,5" membranų eiga liks nepasikeitusi (5 mm) ir bus mažesnė už W300AII (6,5 mm). Mažųjų draiverių membranų pakabos iškraipymai išliks nepakitę ir jie bus didesni už geresnę pakabą turintį „Fostex“. Kadangi „dičkis“ turi 25 Hz rezonanso dažnį, pačius žemiausius dažnius kokybiškiau atkurs taip pat W300AII. Ir kiti iškraipymai, apie kuriuos parašyta aukščiau, bus mažesni, lyginant su ekvivalentiniu draiveriu, sudarytu iš keturių mažesniųjų (žiūr. 2 priedą).

Esame girdėję, jog AS su keliais mažesniais draiveriais gali kokybiškiau atkurti aukštuosius dažnius, tokios AS skyrimo dažnis gali būti aukštesnis. Deja, šis teiginys taip pat nepagrįstas, nes yra priešingai: akustikos mokslas sako, jog AS su keturiais 6,5" draiveriais skyrimo dažnis turi būti pažemintas nuo 3000 Hz iki 800 Hz. Netgi AS su dviem 6,5" draiveriais aukščiausią skyrimo dažnį turime pažeminti iki 1000 Hz. Priešingu atveju, garso atkūrimo sistema neatitiks sinfaziško signalo atkūrimo kriterijų. Todėl didesnysis „Fostex“ su 26 cm efektyviu membranos diameteru ir čia laimi, nes gali dirbti iki aukštesnio 1300 Hz dažnio.

Išvada aiški: kuomet naudojami keturi 6,5" garsiakalbiai, toks pasirinkimas veda prie trijuostės akustinės sistemos konstravimo.

Galbūt yra kitų privalumų, kai keli ŽD draiveriai naudojami vienoje AS?

Galima paminėti privalumą, kurio panaudojimo buitinėse sistemose dar neteko matyti: pusę naudojamų žemadažnių reikėtų sumontuoti juos apsukus magnetais į AS išorę. Tai sumažintų iškraipymus dėl skirtingų membranos darbo aplinkų, esančių AS viduje ir išorėje. Plačiau šį dalyką aptarsime kitame priede, bet trumpai galiu pasakyti, jog membranai judant į korpuso vidų, apkrova yra skirtinga, lyginant su apkrova, kuomet membrana juda į išorę. Dėl to atsiranda iškraipymai, kuriuos kompensuotų priešingomis pusėmis sumontuoti ŽD draiveriai. Deja, šis privalumas nėra esminis.

Galbūt skaitytojų kilo klausimas – kodėl taip žymiai padidėja efektyvus garsiakalbio diameteras, kuomet naudojami keturi 6,5" draiveriai?

Vėl pažvelkime į 13 pav, kuriame pažymėta akustiškai nenaudingos garsiakalbio korpuso dalys **B1** ir **B2**. Montuojant kelis garsiakalbius, šios garsiakalbio dalys sumuojasi, papildomai prisideda konstruktyvinis tarpas, todėl ir gauname labai padidėjusį ekvivalentinį diameterą. Būtent nuo efektyvaus spinduliuotuvo diametro priklauso AS skyrimo dažnis.

Taip pat turime vertinti kitus vieno didesniojo garsiakalbio konstrukcijos privalumus: vienas magnetas proporcingai mažiau uždengia membranos antrąją pusę, didesniame garsiakalbiui galime panaudoti didesnę magnetą, kurio plyšyje telpa didesnio diametro ritė, didesnes rites galima suvynioti stačiakampiu laidu... Paminėtas pavyzdys tai patvirtina – „Fostex“ W300AII turi 80 mm diametro ritę, didesnę eiga ir tobulesnę pakabą. Visa tai veda prie mažesnių iškraipymų ir didesnio efektyvumo.

Čia neaptarėme populiarių siaurų ir aukštų buitinių AS-bokštų korpusų ypatybių, tačiau tokie korpusai niekad neturi akustiškai optimalių kraštinių proporcijų. Todėl AS-bokštų korpusuose yra didesni vidiniai atspindžiai, sąlygojantys didesnius dažninės charakteristikos netolygumus.

Žemiau lentelėje pateikti su akustine galia susiję parametrai ir garsiakalbių magnetinių sistemų išvystomos jėgos į membraną santykiniai dydžiai.

Akustinę efektyvumą būtina vertinti kartu su membranos dydžiu, todėl didesniųjų garsiakalbių efektyvumas yra didesnis už mažesniųjų. Kaip tik tai ir atspindi jautris, kur kiekvienas 3dB padidėjimas reiškia dvigubą garsiakalbio ir visos AS efektyvumą.

Garsiakalbių magnetinių sistemų efektyvumo palyginimas su C173-6-191E

	Accutone C173-6-191E	Accutone C173-6-096E	SEAS Excel W18E-001	TAD TL-1102	TAD TL-1601
Garsiakalbio diametras, cm	17.3	17.3	17.6	27.6	40.0
Membranos diametras, cm	12.96	12.86	12.66	21.58	33.49
Ritės diametras, mm	38	56	39	66	100
Jautris, dB/W/m	86.6	91	84.9	92.4	97
Maksimalus galingumas, W	120	120	100	500	500
Magnetinio lauko jėga, T·m	8.5	11.5	6.6	13.5	20.5
Membraną veikianti jėga 1A srovei	8.5	11.5	6.6	13.5	20.5
Lyginamoji ritės jėga į membraną	1	1.15	0.776	1.59	2.41

Pabaigai pabandyti atsakyti į kelis susijusius klausimus.

Koks didžiausias ŽD garsiakalbis gali būti naudojamas dvijuostėse sistemose?

Atsakymas visai nesudėtingas ir konkretus: dvijuostė sistema su vienu 15" ŽD draiveriu gali turėti tolygią dažninę charakteristiką, labai mažus iškraipymus ir atkurti visą šiuolaikinių muzikos įrašų dinaminį diapazoną. Tokia sistema su specializuotais ŽD ir AD plačiajuosčiais garsiakalbiais turės optimalų skyrimo dažnį, esantį 1000 Hz srityje. Tuomet abu garsiakalbiai atkurs lygias muzikos spektro dalis, kurių kiekviena apims 5 muzikines oktavas.

Koks gali būti tokios sistemos aukščiausias skyrimo dažnis?

15" draiverio efektyvus membranos diametras yra apie 30 cm, todėl dvijuostė AS gali turėti iki 1200 Hz skyrimo dažnį.

Kokiais kriterijais parenkamas AS skyrimo dažnis?

Skyrimo dažnis parenkamas atsižvelgiant į naudojamus garsiakalbius ir yra inžinerinis dalykas. Su klausos ar muzikos ypatumais AS skyrimo dažnis nesiejamas.

Ar galima pagerinti netobulos dvijuostės AS atkūrimą ŽD arba AD srityse?

Žinome, kad aukštųjų ar žemųjų dažnių atkūrimo trūkumus kartais bandoma kompensuoti papildomais AD garsiakalbiais ir subvuferiais, tačiau tokie „pagerinimai“ paprastai veda prie kitų AS degradacijų. Kokybiškas AS privalu projektuoti įvertinant visas pasekmes, jos turi būti sukonstruotos kaip vieninga visuma. Jeigu dvijuostė sistema neatitinka techninės užduoties, reikia konstruoti trijuostę, padalinant muzikos spektrą į proporcingas dalis.

Kokie aukštųjų dažnių draiveriai gali atkurti aukštesniasias 5 muzikines oktavas?

Kadangi sistemos su dideliais žemadažniais jautris didelis (siekia 98 dB/W/m), aukštiesiems dažniams atkurti geriausiai tinka kompresiniai draiveriai su ruporais arba didelio jautrio juostiniai garsiakalbiai.

Kokios galimos kitos dvijuosčių sistemų konstravimo alternatyvos?

Vieną 15" draiverį galima pakeisti dviem 12" garsiakalbiais. Tuomet racionalu taikyti vadinamą D'Appolito ŽD-AD-ŽD garsiakalbių išdėstymą, kuris taip pat tenkina sinfaziškumo reikalavimus. Tiesa, tokia sistema turės siauresnę sklaidą vertikalioje plokštumoje ir platesnę – horizontalioje.

Nedidelėms patalpoms taip pat tinkamos dvijuostės sistemos su vienu 12" arba dviem 10" draiveriais. Tokios sistemos gali kokybiškai atkurti bet kuriuos muzikos įrašus, joms paprasčiau parinkti aukštųjų dažnių garsiakalbius. Suprantama, mažesnių sistemų jautris bus mažesnis, o iškraipymai – didesni.

Kuomet dvijuostėse naudojami 18" arba du po 15" ŽD draiveriai, sistema nebegali užtikrinti reikiamos garso sklaidos. Tuomet būtina pažeminti skyrimo

dažnį, o tai labai apsunkina AD draiverio parinkimą. Iš tikrųjų, pasirenkant 18" draiverius, reikėtų konstruoti trijuostes sistemas.

Ar reikalingos didelio jautrio, gremėzdiškos ir brangios sistemos, kai kalbame apie buitines sistemas?

Deja, tik tokios sistemos gali kokybiškiausiai atkurti šiuolaikinius muzikos įrašus. Tai rodo akustikos teorija ir patvirtina praktika. Didelėmis sistemomis paprastai atliekama pagrindinė garso kontrolė įrašų studijose.

Kuomet atkūrimo kokybė nėra svarbi, muzikos mylėtojai renkasi pigesnes ir mažesnes AS.

Ar didelės sistemos nedidelėje patalpoje muziką atkurs prasčiau, negu mažesnės?

Didelės sistemos gali paryškinti patalpų trūkumus, bet muziką jos atkurs kokybiškiau už mažesnes AS.

Kokie aktyvinių sistemų privalumai ir trūkumai, lyginant su pasyvinėmis?

Aktyvinių sistemų pagrindinis privalumas tas, jog filtrai dirba mažų srovių režime. Inžineriniu požiūriu tokie filtrai tobulesni. Kokybė pagerėja ir dėl to, kad aktyvinėse sistemose naudojami atskiri galios stiprintuvai, stiprintuvai gali būti optimizuoti pagal darbo klasę ir galią. Aktyvinės sistemos lengviau adaptuoti klausymosi aplinkoje, todėl tokios sistemos techniškai pačios geriausios.

Vienintelis trūkumas – aktyvinės sistemos sudėtingesnės ir brangesnės.

Kokiais pavyzdžiais galima patvirtinti tokius teiginius?

Aukščiausios kokybės reikalavimai keliama įrašų studijų tolumo lauko (didiesiems) kontrolės monitoriams, todėl pirmiausia rekomenduoju pasižvalgyti į juos. Pateikiu kelias nuorodas:

- visi „Kinoshita“ monitoriai yra dvijuosčiai – nuo RM-11BC iki didžiausių RM-7VC: <http://www.reyaudio.com/index.html>;
- „TAD“ tolumo lauko monitoriai „Exclusive“ Model 2401 ir Model 2402: <http://www.thevintageknob.org/AJW/TAD88/TAD88.html>;
- „Meyer sound“ X10 monitoriai: <http://www.meyersound.com/products/studioseries/x-10/>;
- „JMF audio“ HPM-400, HPM-500 ir HPM-1000: http://www.jmf-audio.com/speakerhome_en.htm;
- „Westlake audio“ Tower-12: http://www.westlakeaudio.com/Speakers/Hi_Fi_Series/tower-12.html;

Dviuostės AS su 15" draiveriais yra senas išradimas. Prieš daugiau kaip 50 metų pradėta gaminti „Altec lansing“ A7 kelių modifikacijų serija turėjo didžiulį pasisekimą. Buitinių ŽD su 15" draiveriais nėra labai daug, o iš labiausiai pasisekusių galima paminėti „Altec lansing“ Model-19. Šios AS taip pat buvo naudojamos nedidelėse studijose. Model-19 konstrukcija pripažinta viena geriausių buitinių dvijuosčių AS ^[1]. Taip pat galima paminėti studijinės paskirties koaksialinius 15" dvijuosčius garsiakalbius, kuriuos gamino „Altec lansing“, „UREI“ ir „TANNOY“.

Išvados

1. Moderniomis technologijomis sukonstruoti buitinės paskirties nedidelų gabaritų žemadažniai garsiakalbiai, lyginant su klasikinės konstrukcijos ŽD draiveriais, turi naudingų savybių, tačiau akustine prasme jie neprilygsta didesniesiems.

2. Studijiniuose artimojo lauko monitoriuose ir klasikinių konstrukcijų buitinėse sistemose naudojami ŽD draiveriai išlaiko pozicijas ir yra optimalūs kainos/kokybės požiūriu.

ŽD garsiakalbių darbo matematinis modeliavimas

Šiame priede parodomi matematinio garsiakalbių modeliavimo privalumai. Taip pat tie ŽD garsiakalbių darbo ypatumai, į kuriuos turėtų atsižvelgti AS konstruktoriai.

„LinearX“ programų paketas LEAP leidžia patikslinti gamintojų pateikiamus garsiakalbių parametrus ir išsamiau ištirti garsiakalbių darbą pasirinktame korpuse. Šioje apžvalgoje parodyti tik kai kurie LEAP panaudojimai, leidžiantys suprasti matematinių metodų svarbą, o rezultatus reikia vertinti tik kaip iliustracijas, bet ne konkrečius projektus.



„Keraminės“ serijos „Accuton“ 6,5" draiverį gerai apibūdina LEAP duomenų bazėje esantis žemųjų dažnių garsiakalbis C95-T6.

Gamintojas nurodo tokius pagrindinius šio garsiakalbio duomenis:

Znom	6 ohm	Sd	133 cm²
Re	5.9 ohm	BL	8.32 N/A
Le@1kHz	0.73 mH	Vas	34.2 ltrs
fs	32 Hz	Xmax	5.0 mm peak
Qms	4.0	VC Ø	38 mm
Qes	0.30	Sensitivity 1W/1m	89.1 dB
Qts	0.279	Nom. Power	130 W
Mms	13.8 g	Net weight	2450 g
Cms	1.36 mm/N		

LEAP pateikia panašius kaip ir gamintojo draiverio duomenis, tačiau jautris skiriasi (LEAP suskaičiuoja mažesnę jautrį – 87,75 dB/W/m). Jautriui skaičiuoti LEAP naudoja tokias formules:

$$\eta(\omega) = \frac{Wa_-(\omega)}{We} \quad (\text{approx efficiency definition})$$

$$We = \frac{Eg^2}{Revc} \quad (\text{blocked electrical input power})$$

$$Wa_-(\omega) = Rar_-(\omega) \cdot |Uas_-(\omega)|^2 \quad (\text{approx acoustic power})$$

$$\eta(\omega) = \frac{\rho \cdot \omega^2}{Revc \cdot 2\pi c} \cdot \left(\frac{BL}{Sd} \right)^2 \cdot \left(\frac{\frac{\omega}{Mas}}{\left| \frac{1}{Mas \cdot Cas} - \omega^2 + \frac{j\omega \cdot (Ravc + Ras)}{Mas} \right|} \right)^2$$

$$\eta(\omega) = \frac{\rho}{2\pi c \cdot Revc} \cdot \left(\frac{BL \cdot Sd}{Mms} \right)^2 \cdot \left(\frac{Mas \cdot Cas \cdot \omega^2}{\left| 1 - Mas \cdot Cas \cdot \omega^2 + j\omega \cdot (Ravc + Ras) \cdot Cas \right|} \right)^2$$

$$\eta(\omega) = \eta_o \cdot H(\omega)^2$$

$$\eta_o = \frac{\rho}{2\pi c \cdot Revc} \cdot \left(\frac{BL \cdot Sd}{Mms} \right)^2 \quad (\text{half space reference efficiency})$$

$$dBspl_o = 10 \cdot \log\left(\frac{\eta_o}{\gamma_{\pi} \cdot Wa}\right) \quad (\text{half space reference sensitivity@1W / 1Meter})$$

Bet kuriai analizės programai reikalingas tiriamo garsiakalbio matematinis modelis. LEAP dažniausiai pasirenkamas TSL (Transducer Speaker Library) garsiakalbių modelis, kuris panašus į STD (Standard), tik yra tikslėnis. Programa LEAP leidžia naudoti dar kitą modelį – LTD (Leap Transducer Data), tačiau dabar tie dalykai nėra svarbūs. Svarbiausia, palyginimus turime atlikti kažkuria viena metodika. Suprantama, dėl jautrio išmatavimo arba skaičiavimo metodikų skirtumo jautris gali kažkiek skirtis.

Sugrįžkime prie garsiakalbių parametrų modeliavimo.

Svarbu tai, jog LEAP programa leidžia sužinoti kitus svarbius garsiakalbių parametrus, kurių gamintojas gali ir nepateikti. Apžvalgoje tyrinėjamų garsiakalbių parametrus matome lentelėse.

„Accuton“ C95-T6 duomenys, kuriuos suskaičiuoja LEAP programa:

Transducer Parameters

Name: Model: Shape: Fmd: KA: KA:

Note: Domain: Profile: Qmd: Qlp:

Znom: Xgap: Krm: Kxm: Krs: Kcs: Mms: Kg: Qms:

Revc: Xcoil: Frm: Fxm: Xrs: Xcs: Cms: M/N: Qes:

Sd: Xmax: Drm: Dxm: Drs: Dcs: Vas: M³: Qts:

Mmd: Xfrg: Erm: Exm: Ers: Ecs: Rms: N·S/M: Levic: H:

Pmax: Watt: Vrm: Vxm: Grs: Gcs: Fo: Hz: SPLo: dB

Rtvc: C°/W: T-M: Tm: Δ°/C: Trs: Δ°/C: Tcs: Δ°/C: BL: T·M: No: %

Vs: V: Ta: °C:

Buttons:

Buttons:

“Seas” Excel W18E-001 parametrai tokie:

Transducer Parameters

Name: Model: Shape: Fmd: KA: KA:

Note: Domain: Profile: Qmd: Qlp:

Znom: Xgap: Krm: Kxm: Krs: Kcs: Mms: Kg: Qms:

Revc: Xcoil: Frm: Fxm: Xrs: Xcs: Cms: M/N: Qes:

Sd: Xmax: Drm: Dxm: Drs: Dcs: Vas: M³: Qts:

Mmd: Xfrg: Erm: Exm: Ers: Ecs: Rms: N·S/M: Levic: H:

Pmax: Watt: Vrm: Vxm: Grs: Gcs: Fo: Hz: SPLo: dB

Rtvc: C°/W: T-M: Tm: Δ°/C: Trs: Δ°/C: Tcs: Δ°/C: BL: T·M: No: %

Vs: V: Ta: °C:

Buttons:

Buttons:

O štai tokie yra didesniojo draiverio „TAD“ TL-1102 parametrai:

Transducer Parameters

Name: Model: Shape: Fmd: KA: KA:

Note: Domain: Profile: Qmd: Qlp:

Znom: Xgap: Krm: Kxm: Krs: Kcs: Mms: Kg: Qms:

Revc: Xcoil: Frm: Fxm: Xrs: Xcs: Cms: M/N: Qes:

Sd: Xmax: Drm: Dxm: Drs: Dcs: Vas: M³: Qts:

Mmd: Xfrg: Erm: Exm: Ers: Ecs: Rms: N·S/M: Levic: H:

Pmax: Watt: Vrm: Vxm: Grs: Gcs: Fo: Hz: SPLo: dB

Rtvc: C°/W: T-M: Tm: Δ°/C: Trs: Δ°/C: Tcs: Δ°/C: BL: T·M: No: %

Vs: V: Ta: °C:

Buttons:

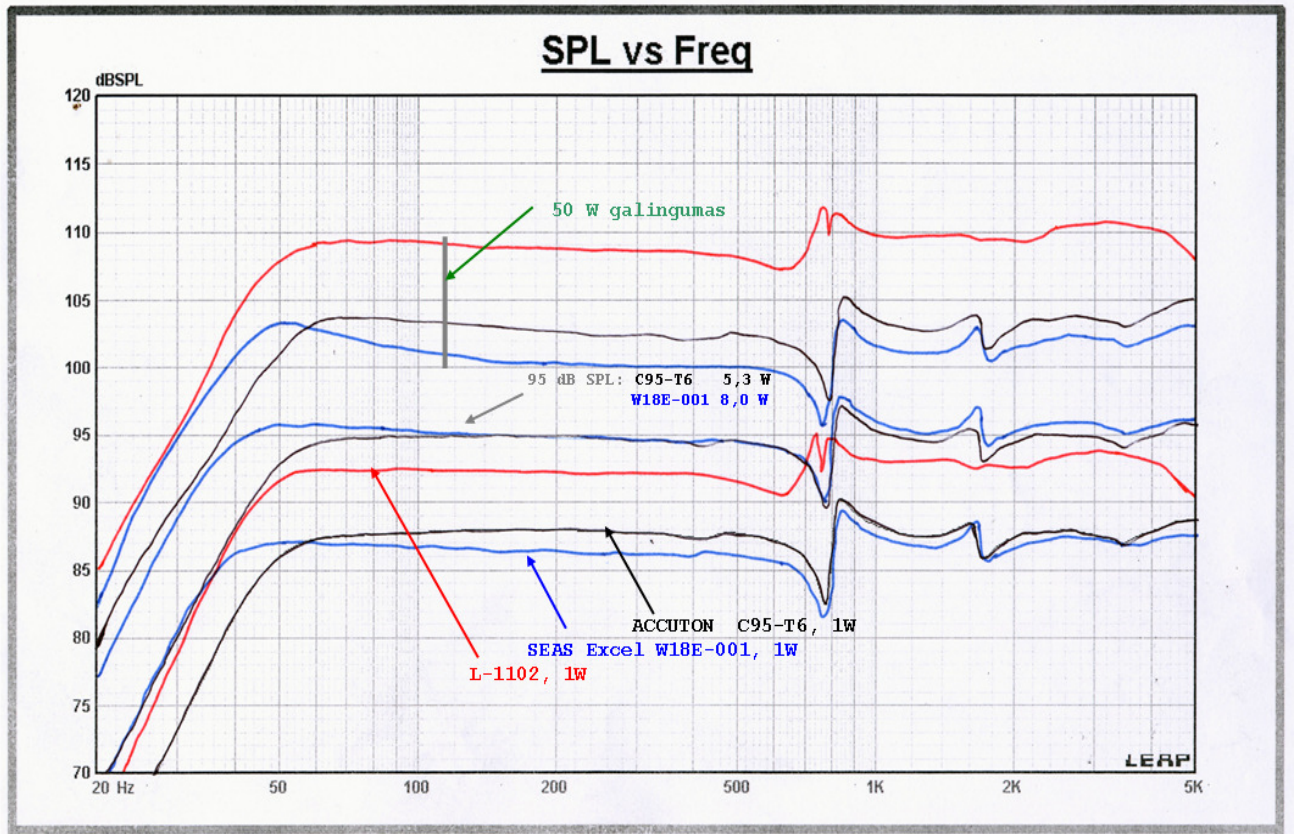
Buttons:

Pasirinkę garsiakalbio modelį, AS dydį ir konstrukcinius korpuso parametrus, programa suskaičiuoja dažninę bei kitas charakteristikas. Labiausiai mus domina garsiakalbio jautrio priklausomybė nuo galingumo ir membranos eigos priklausomybė nuo dažnio bei paduodamo galingumo.

Visų garsiakalbių SPL kreivės sukeltos į vieną diagramą ir pavaizduotos 15 pav.

Garsiakalbių jautrio priklausomybė nuo galingumo:

- ACCUTON C95-T6, 6,5"
- SEAS Excel W18E-001, 6,5"
- L-1102, 11"



15 pav. Garsiakalbių SPL priklausomybė nuo dažnio ir galingumo. Labiausiai mus domina dažnių zona nuo žemiausiųjų iki 500 Hz, todėl į netolygumus virš šio dažnio dėmesio nekreipkime.

Pradėkime nuo AS su 6,5" ŽD draiveriais (diagramoje – juoda ir mėlyna spalvomis pavaizduotos kreivės)

Į analizuojamus garsiakalbius padavę 1W galingumą, gauname jautrio kreives ir sužinome apie jų priklausomybę nuo dažnio (trys apatinės kreivės). Lyginant su „Accuton“ (juodoji kreivė), „Seas“ garsiakalbis mažiau jautrus (apatinė mėlynoji kreivė), tačiau AS su šiuo garsiakalbiu geriau atkuria žemiausius dažnius. Programa leidžia sužinoti kokį reikia paduoti galingumą, kad AS su šiais garsiakalbiais akustinis atidavimas (SPL), tarkime būtų 95 dB: „Accuton“ garsiakalbiui reikalingas 5,3 W, o „Seas“ – 8 W galingumas. Esant tokiems galingumams, SPL kreivių forma beveik nepakeičia.

Dar padidinkime galingumą ir stebėkime, kaip pakinta AS darbas, esant 50 W galingumui. Nesunku pastebėti, kad šiuo atveju kreivės ne tik pakyla aukšty, bet ir deformuojasi. Ypatingai pasikeičia pačių žemiausiųjų dažnių atkūrimas, kai lyginant su aukštesniaisiais dažniais, amplitudė santykinai padidėja. Taip yra dėl garsiakalbių kompresavimo, kuomet prie didesnių galingumų proporcingas galingumo padidėjimas nebepriverčia membraną judėti proporcingai didesne amplitude. Tikriausiai visi pastebėjome, jog padidinus nedidelį AS su fazės apgręžėjais garsą, „atsiranda“ daugiau žemųjų dažnių. Tai nutinka todėl, kad fazės apgręžėjo atidavimas padidėja proporcingai, o dėl garsiakalbio varžos padidėjimo (ritės įkaitimo) garsiakalbis nebeatkuria proporcingo signalo padidėjimo. Šis mažųjų AS nelineiškumas pasireiškia tuo, kad girdime palyginti didelį tembro pasikeitimą, kai klausoma tyliai arba pagarsinus. Turime progą pastebėti, jog naudojant uždaro tipo AS, tokios sistemos dar greičiau perkraunamos ir jas turime klausyti dar tyliau. LEAP parodo, jog AS su 6,5" draiveriais ir atkuriančios visą dažnių juostą išlaiko tik maždaug 10 W galia.

Suprantama, visos AS kompresuoja garsą ir tai labai blogina muzikos atkūrimą. Skirtumas tas, kad didžiųjų AS kompresavimas pasireiškia prie labai

didelių SPL, kada mūsų klausia taip pat tampa labai netiesinė ir įvyksta dalinis iškraipymų maskavimas. Deja, visos mažosios AS turi didelį kompresavimą, todėl muziką galime klausyti tik nedidelia galia.

Dabar paanalizuokime didesniąją garsiakalbį TL-1102.

Gauname tokius rezultatus (raudonos spalvos kreivės):

- jautris 92,4 dB/W/m;
- 95 dB SPL pasiekiamas į AS padavus 2 W galingumą;
- 50 W galingumas kompresavimo neiššaukia, o SPL prie tokio galingumo yra 107 dB. Membranos eiga išlieka nedidelė – 3 mm (50 Hz). Tiesa, esant 28 Hz dažniui, jau pasiekama maksimali 6,2 mm membranos eiga;
- kai paduodamas maksimalus 500 W galingumas, SPL padidėja iki 114 dB. Prie tokio galingumo atsiranda maždaug 4 dB kompresavimas, tačiau net prie tokio galingumo garsiakalbis be didesnių iškraipymų atkurs virš 80 Hz esančius dažnius.

Šis palyginimas leidžia daryti išvadą, jog 6,5" dydžio garsiakalbiai:

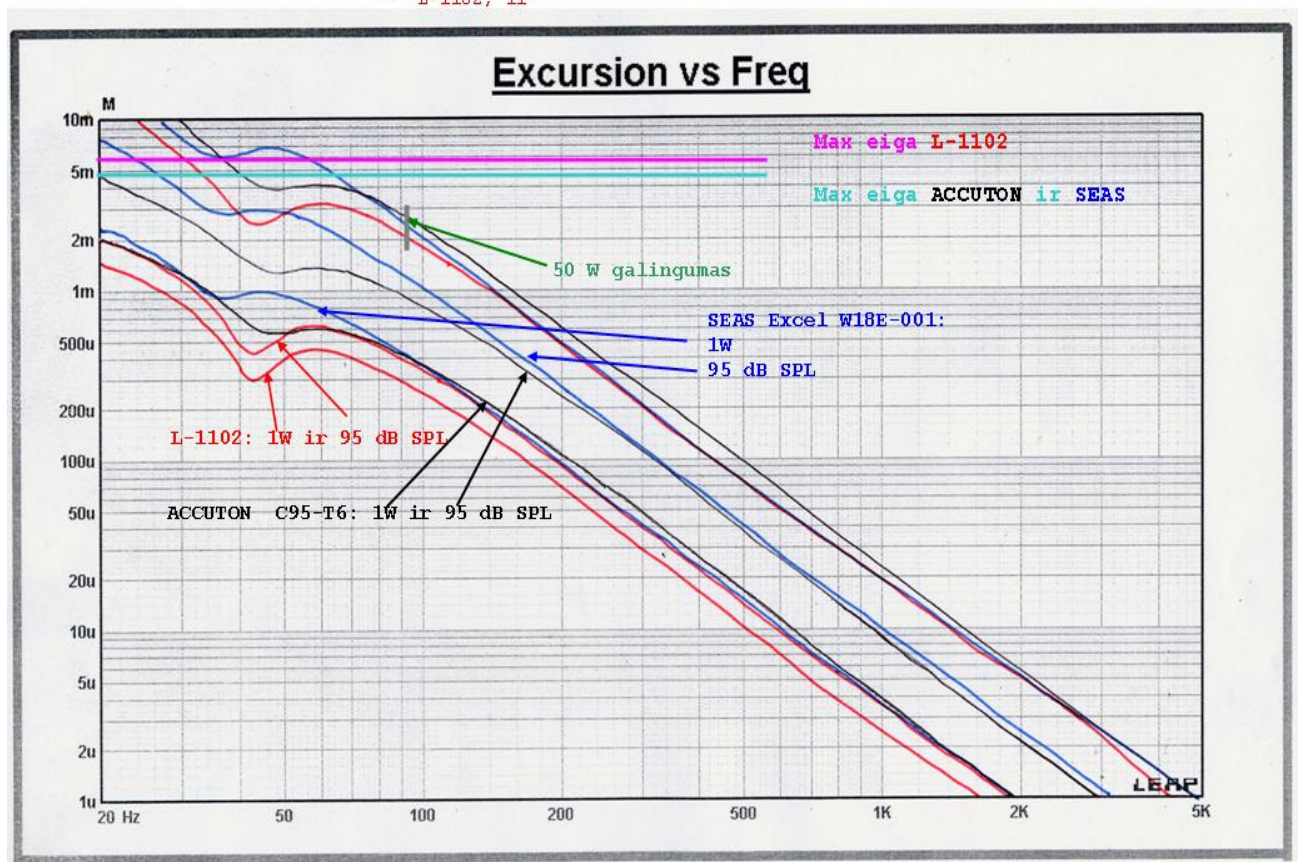
- atkuria palyginti nedidelius akustinius slėgius, todėl tinka tylesniam muzikos klausymui;
- kuomet atkuriamą žemiausioji muzikos oktava, netiesiniai iškraipymai labai padidėja;
- pasižymi dideliu signalo kompresavimu. Tai pasireiškia tuo, kad prie palyginti nedidelio 100 dB SPL (30 W galingumo), ritė įkaista taip, kad jos varžos padidėjimas sumažina muzikos dinaminį diapazoną.

Panagrinėkime kaip garsiakalbio membraną eiga priklauso nuo paduodamo galingumo.

16 pav. viršuje nubrėžtos dvi tiesės, parodančios maksimalios eigos leistinas reikšmes. Peržengus tokią eigos ribą, atsiranda dideli netiesiniai iškraipymai.

Garsiakalbių difuzorių eigos priklausomybė nuo galingumo:

- ACCUTON C95-T6, 6,5"
- SEAS Excel W18E-001, 6,5"
- L-1102, 11"



16 pav. Skirtingų garsiakalbių difuzorių eigos priklausomybė nuo dažnio ir galingumo.

Matome, jog prie 1W galingumo ir 50 Hz dažnio, „Accuton“ draiverio membranos eiga yra 0,7 mm. Padidinus galingumą iki 95 dB SPL (5,3 W), membranos eiga 50 Hz dažniu padidėjo iki 1,4 mm. Padavus dar didesnę – 50 W galingumą – eiga yra 3,8 mm (50 Hz), o eigos maksimali riba pasiekama prie 38 Hz.

Teoriškai, toks galingumas turėtų duoti 105 dB SPL, tačiau LEAP parodo mažesnę, 102,5 dB SPL. 2,5 dB (1,8 karto) sumažėjimas yra dėl kompresavimo. Faktiškai, tolesnis signalo didinimas iki maksimalaus leistino 130 W galingumo nebeleis pasiekti 105 dB SPL. Taip yra dėl garsiakalbio „motoro“ konstrukcijos ypatumų: maža ritė, didelis ritės varžos padidėjimas nuo temperatūros (Rtvc reikšmė palyginti didelė – 1,923 C/W), membranų pakabos eigos apribojimais ir kitos problemos, apie kurias jau kalbėjome.

Paanalizuokime kokius parametrus turės AS, kurioje bus panaudotas „Seas“ garsiakalbis.

Su šiuo garsiakalbiu AS, kurioje fazės apgręžėjas suderintas 36 Hz, o tūris 40 l, turės maždaug 86 dB/W/m jautrį. SPL lygi padidinus iki 95 dB, membranos eiga bus 2,6 mm (50 Hz), o prie 26 Hz membrana pasieks maksimalią 5 mm eigą. Padidinus galingumą iki 50 W, maksimali eiga pasiekama jau prie 60 Hz dažnio.

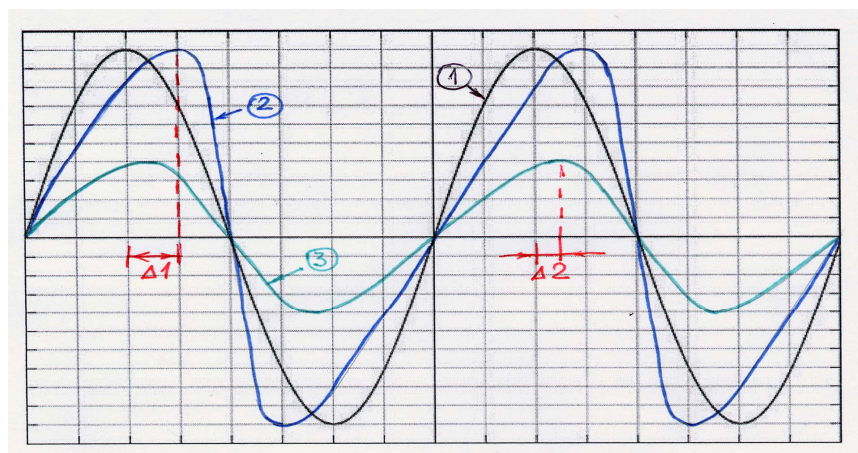
Lyginant abu 6,5“ garsiakalbius, „Accuton“ C95-T6 turi tam tikrų privalumų: jis gali būti naudojamas mažesniame korpuse, o konstrukcija geriau atlaiko perkrovimus. Savo ruožtu, „Seas“ Excel W18E-001 gali geriau atkurti pačius žemiausius dažnius. Žinoma, tik nedideliu garsumu. Iš tikrųjų, abiejų garsiakalbių galimybės atkurti žemuosius dažnius panašios.

Abu apžvalgai parinkti 6,5“ draiveriai turi palyginti didelę, 5 mm maksimalią membranos eigą, nes draiveriai su mažesne eiga paprasčiausiai negalėtų atkurti žemiausios muzikinės oktavos. Analizės programa leidžia sužinoti, jog AS su fazės apgręžėjais ir 6,5“ draiveriais, atkurianti nuo 30 Hz, turi maksimalų 15 W galingumą. Tuomet AS su „Accuton“ garsiakalbiu turės maksimalų 99 dB SPL ir palyginti mažą kompresavimą, o su „Seas“ – 97 dB ir 1,5 dB kompresavimą.

Didesnysis „TAD“ TL-1102 gali atkurti visą muzikos spektrą nuo žemiausiųjų dažnių ir užtikrinti maždaug 10 kartų didesnę akustinę galingumą. Akustinėje sistemoje su didesniu draiveriu visų rūšių iškraipymai bus mažesni. Analizė parodo, jog TL-1102 membranos judėjimo greitis esant vienodam SPL (99 dB) ir tam pačiam dažniui (60 Hz) yra 2,2 kartus mažesnis (0,12 m/s), lyginant su bet kuriuo 6,5“ draiverio membranos greičiu (0,27 m/s). Labai svarbu tai, kad lėčiau judanti membrana sukuria mažesnes oro turbulencijas, mažiau kaitina viduje AS esantį orą ir mažiau deformuoja AS korpuso sienelės ^[2].

Paskutinis teiginys skaitytojams gali būti nesuprantamas, todėl paaiškinsiu detaliau.

Be elektromechaninių iškraipymų visos AS taip pat turi ir kitokius iškraipymus. Membranos perimetras sukelia oro turbulencijas, kurios prie didelės eigos yra girdimos. Iškraipymai taip pat atsiranda dėl skirtingo oro (dujų) slėgio AS viduje ir išorėje, dėl piltuvėlio formos membranų aerodinamikos skirtumų, dėl skirtingo membranos darbo, kai garsiakalbio fasado konstrukcija skiriasi nuo galinės konstrukcijos... Čia paminėjau ne visus iškraipymus, bet esmės tai nekeičia. Garsiakalbiai yra nesimetrinės mechaninės sistemos, dirbančios nesimetrinio apkrovimo režimuose. Trumpiau kalbant, į AS padavus sinusinį signalą, garsiakalbis sinusoidę perkreipia taip, kad ji tampa panaši į „pjūklo dantis“. Tokių asimetrinių iškraipymų rezultatas pavaizduotas 17 pav.



17 pav. Dėl asimetrinių membranų apkrovimų sinusinis signalas yra iškraipomas.

Juoda spalva pavaizduotas įėjimo signalas, mėlyna – didelė amplitudė ir greitai judančios membranos signalas (mažųjų draiverių atvejis), žalia – mažesne amplitudė ir 2,2 kartus lėčiau judančios didelės membranos iškraipymai.

Kai nedideli garsiakalbiai konstruojami su labai dideliais magnetais, užstojančiais laisvą membranos judėjimą, šie iškraipymai dar padidėja. Kadangi didesnės membranos juda lėčiau, didesnių garsiakalbių šios rūšies iškraipymai yra mažesni. Manau, jog visiems aišku, jog didesnio ir jautresnio garsiakalbio membrana juda mažesnėmis amplitudėmis, bet sukuria tokį pat SPL, kaip mažos membranos, judančios didesne amplitude. Esant tam pačiam dažniui, didesnė judėjimo amplitudė reiškia didesnę greitį. Deja, šiuo atveju greitis didina iškraipymus ir blogina muzikos atkūrimą.

Išvados

1. To paties tipo AS žemųjų dažnių garsiakalbio eiga priklauso nuo membranos (spinduliuotuvo) dydžio ir nuo atkuriamo dažnio. Tai reiškia, jog visų mažesnių garsiakalbių membranos eiga prie tam tikro dažnio bus didesnė už didesnių membranų eiga. Jei membranos eiga apribojama, dažninėje charakteristikoje bus atitinkamas netolygumas. Tai yra vienas svarbiausių elektroakustikos dėsnių.

2. Fazės apgręžėjai yra rezonatoriai, pastiprinantys tam tikrų dažnių garso bangas. Kadangi fazės apgręžėjų ir ŽD draiverių eiga rezonanso dažnyje sumuojasi, tai sumažina membranų eiga, iškraipymus ir pagerina ŽD atkūrimą. Lyginant su uždarojo tipo AS, tinkamai sukonstravus AS su fazės apgręžėjais, žemiausių dažnių atkūrimas yra efektyvesnis. Deja, tokiu būdu AS efektyvumo negalima padidinti visoje ŽD garsiakalbių darbo juostoje.

3. Didesnės AS yra jautresnės, todėl prie to paties SPL garsiakalbių membranos juda mažesne amplitude ir lėčiau. Didesnių sistemų iškraipymai dėl to yra mažesni.