

- *Enastående genomarbetad*
- *Låter gudomligt*
- *Lagom stor*
- *Tillräckligt ljudtryckskapabel*
- *Nästan vacker*
- *Lättmöblerad*
- *Dina skivors bästa vän*
- *Kul att bygga*
- *Billig &*
- *...Bra!*

**LTS
F1 !**



Bygg LTS-högtalaren!

— tre versioner LTS-högtalare, F1, S1 och S2 —



Ljudtekniska Sällskapet har utarbetat en byggbeskrivningen på ett mycket kvalificerat tvåvägs högtalarsystem, exklusivt för LTS-medlemmarna. Tre varianter kan byggas. En av dem är dimensionerad som ett fullregistersystem med generöst frekvensomfång. Den kan användas utan basmodul om kraven på ljudtryck i det riktigt lågfrekventa området är rimligt. De två andra varianterna är båda sidosystem med en tonkurva rak ned till ca 80 Hz, det mindre med ljudtryckspotential om ca 114 dB (80 - 20 000 Hz) för ett par, det andra systemet klarar runt 120 dB maxljudtryck och har även 6 dB högre känslighet med sina dubbla baselement.

Alla tre varianterna har mycket låga förvrängningsnivåer och kan konkurrera även med kvalificerade elektrostat-högtalarsystem, speciellt i diskantregistret ($<0,1\%$) fast utan elektrostaternas många olämpor (besvärande riktverkan i diskantområdet, svårbemästrad bakutstrålning, problematiskt basområde m m). Systemen har dessutom mycket rak tonkurva, genomtänkta spridningsegenskaper och en sällsynt kombination av småsignalupplösning och förmåga att hantera FF-utbrott.

Systemen är alla gjorda för att kunna byggas helt utan hjälp av mätinstrument, elektroakustiska kunskaper eller specialmaskiner. Alla komponenter utom det specialgjorda baselementet finns tillgängliga på öppna marknaden.

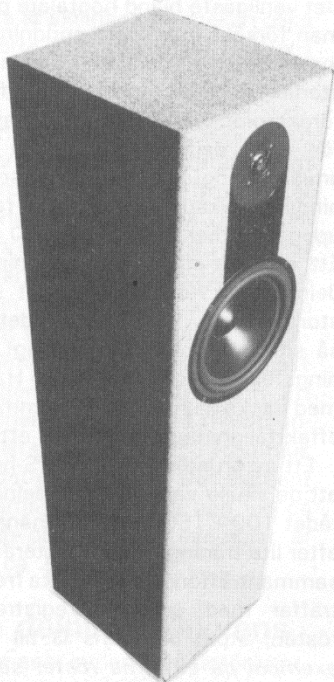
Utseenden

Vi börjar direkt med utseendena på de tre systemen (riktiga ritningar finns sist i artikeln). Fullregister-versionen först:

LTS-F1

Som synes är högtalaren dimensionerad för golvstående placering. Vi kallar högtalaren LTS-F1.

Den utgör basversionen av LTS-högtalaren. Yttermåttarna är 26 * 100 * 30 cm (b * h * d).

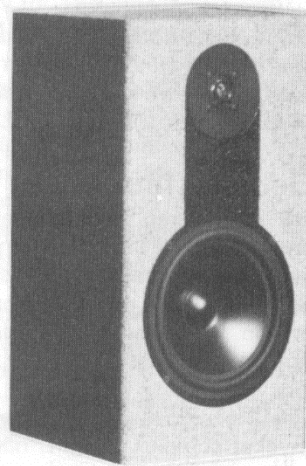


De andra LTS-högtalarna är varianter av F1 som dimensionerats för att arbeta tillsammans med basmodul, så kallade sidosystem. De har därför dimensionerats för en naturlig avrullning i basområdet och har ett mindre format är F1. Ingenting hindrar dock att även F1 används tillsammans med basmodul.

Nästa system är den lilla sidosystemhögtalaren:

LTS-S1

Som synes skall denna högtalare, som vi kallar LTS-S1, placeras på stativ (eller möjligen vägghylla) för att arbeta som avsett. Måtten är 26 * 48 * 22,7 cm.

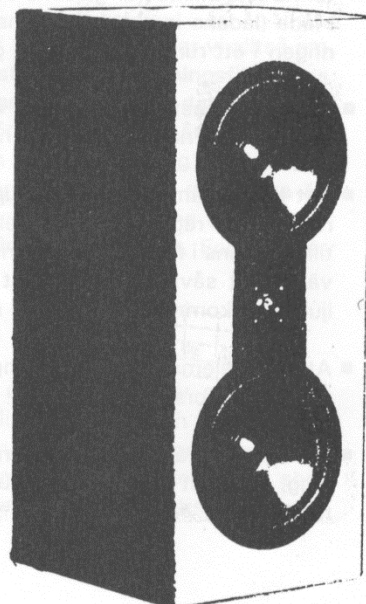


Sist så den tredje högtalaren, den stora sidosystemhögtalaren. Den heter LTS-S2, och ser ut som följer:

LTS-S2

Som synes är detta i stort sett en version av det lilla sidosystemet som försetts med dubbla basar för att öka det dynamiska området.

Måtten är 26 * 64 * 31,6 cm.



Givetvis skiljer sig även delningsfiltret från F1 och S1. Filtret i S2 ger diskantelementet en 6 dB högre nivå än i enkelbasvarianterna, och basarna är parallellkopplade, och utgör sålunda en last på 4 ohm, vilket filtret också måste anpassas för. Vi vill ju att tonkurvan hos S2 skall bli samma som för S1.

Lättdrivna högtalare

Känsligheten på fullregisterhögtalaren F1 och det lilla sidosystemet S1 är ca 87 dB @ 2,83 Volt - 1 meter, medan S2 har en känslighet om 93 dB @ 2,83 Volt - 1 meter. Systemen med ett baselement (F1 och S1) är alltså rimligt lättdrivna medan modell S2 är mycket lättdriven. I alla tre fallen tål högtalarna en inspanning på nära 30 Volt RMS under långa tider och 100 Volt i transienter (100 Watt / 625 Watt).

Småsignalkvalitet i första rummet

Trots att dessa system främst konstruerats för att erbjuda förnämliga småsignalegenskaper (upplösning, transparens, klangneutralitet och artikulation såväl som en ljudbild med transparens och precision i alla dimensioner) så kan alltså synnerliga goda ljudtryck, vid behov, åstadkommas av alla systemen tillsammans med en tillräckligt kraftig förstärkare, speciellt tillsammans med en potentiell basmodul och givetvis i särskilt hög grad S2-versionen.

Obs! Här i artikeln börjar en ganska teknisk del som den som bara är intresserad av att bygga systemen kan hoppa över. Byggbeskrivningen fortsätter ett antal sidor längre fram under rubriken "Själva bygget".

Delningsfiltret

Ett kvalificerat delningsfilter till en högtalare överensstämmer sällan med de enkla beskrivningar man kan se i många högtalarbroschyrer, där filter beskrivs av ett ordningstal och ett namn som anger dimensioneringsprincip (t ex ett tredje ordningens Butterworth, ett femte ordningens Chebytjev eller ett fjärde ordningens Linkwitz-Riley).

Istället har ett verkligt, kvalificerat delningsfilter en mycket komplex uppgift, nämligen:

- Att rätta ut tonkurvan för de använda högtalarelementen. Detta inkluderar givetvis effekterna av monteringen i låda (lådans inre och baffelns inverkan) och placeringen i ett rum (reflexer från golv och bakre vägg).
- Att i möjligaste mån minska de termiska kompressionseffekterna hos elementen.
- Att tillföra lämplig mängd grupplöptid och löptid till respektive register så att elementen kan arbeta tillsammans i fas vid och omkring delningen. Detta är väsentligt såväl i riktning mot lyssnare som för det ljud som kommer att studsa i sidoväggar och tak.
- Att driva elementen med en impedans som ger lägsta möjliga distorsion.
- Att skydda främst diskantelementet från överbelastning, speciellt vid frekvenser under dess verksamma register.

- Att ge en rimlig belastningsimpedans (i praktiken så hög och jämn som möjligt) för den använda effektförstärkaren.

- Att bestämma själva delningsfrekvensen.

Det finns även många andra hänsyn en delningsfilterdesigner måste taga. Här följer några rubriker som behandlar några av de saker som kontemplerats i de tre system som beskrivs i denna artikel:

Spridningsegenskaper

Hur mycket spridning skall det vara? En högtalare kan optimeras på ett flertal olika sätt när det gäller spridningsegenskaper. I biografsystem har man mycket stora kastlängder och följdaktligen större problem med reflexer från rummet och svårare att uppnå tillräckligt ljudtryck än man har i en vanlig HiFi-anläggning. I en biograf är det därför nödvändigt med såväl hög verkningsgrad som en tämligen begränsad spridning (hög riktverkan). Man använder därför ofta stora högkomprimerande horns-system, medveten om det sker på bekostnad av distorsionen (andratonsdistorsion).

I en hem-anläggning kan man tillåta avsevärt större spridning eftersom man sitter så mycket närmare högtalarna och i regel har ett lyssningsrum med kort efterklangstid (*även om dålig lyssningsakustik tycks blir ett allt vanligare problem i hemmen, i takt med att parkettgolv och "moderna" hårda möbler brer ut sig.*)

Det är inte bara acceptabelt med en viss spridning, utan önskvärt, eftersom alltför låg andel rumsreflexer gör systemfelen hos stereolyssning alltför påtagliga. Speciellt om man vill kunna lyssna från positioner andra än precis mitt emellan högtalarna är det gynnsamt om det finns lite reflektioner från lyssningsrummet. De bör dock vara behärskade och ligga senare än 5 ms, gärna 20 ms efter direktljudet från högtalarna. 0 - 5 ms efter direktljudet slipper man helst helt reflexioner.

Hur uppnår man god/lagom spridning?

Det vanligaste bland högtalare på marknaden är nog att man försökt maximera spridningen med hjälp av minimala bafflar och många högtalarelement av minskande storlek för högre register. Både fyr- och femvägssystem förekommer. Emellertid får man på köpet ett problem för varje delning, i form av interferens mellan de använda högtalarelementen (som i regel förstör spridningsegenskaperna) och en fasvridning som i regel uppgår till mellan 180 och 360 grader för varje delning. Ett sätt att maximera spridning är annars att lägga delningsfrekvenserna så lågt som möjligt, så att så stora delar av frekvensområdet som möjligt alstras av så små membran som möjligt. Vid extremt låga delningsfrekvenser (under 1000 Hz), speciellt tillsammans med flacka delningsfilter, kommer dock distorsions- och effekttålighetsproblem som ett brev på posten.

Ett av grundkraven på LTS-högtalaren var dessutom att de skulle vara fria från delningar i det känsliga området 100 - 1500 Hz (där mänsklig hörsel, åtminstone efter lite träning, kan detektera fasvridning). Ett lustigt sammanträffande är att detta frekvensområde sammanträffar med grundtonsregistret för den mänskliga rösten, stora oktavs G till g³ (*även om det finns exempel på extrema röster som sträckt sig lägre än kontra a (1A) och högre än fyrstukna f (f⁴).*)

Hos LTS-högtalaren har inte bara spridningens kvantitet maximerats, utan framförallt har synnerligen stor vikt lagts vid spridningens kvalitet, det vill säga att jämn tonkurva finns även i andra riktningar än rakt fram, dessutom med hänsyn tagen till att vissa riktningar faktiskt är viktigare än andra. Få saker låter så illa som mycket spridning vid vissa frekvenser och lite vid andra.

Ambitionerna med de tre LTS-systemen har varit att spridningen skall vara särdeles frekvensoberoende, speciellt i den viktiga frontloben. Särskild hänsyn har även tagits till tonkurvan i riktning snett upp mot taket, eftersom detta ljud kommer att reflekteras tillbaka mot lyssnaren som en takreflex. Högtalarna passar således bäst för lyssning på avstånd understigande 5-6 meter. Högtalarnas bafflar styr spridningen i nästan hela frekvensområdet. Endast strax under delningen (ca 2 kHz) och mot övre hörgränsen (> 10 kHz) syns viss inverkan av elementens spridningsegenskaper.

Nackdelar med hög delningsfrekvens

Av effekttålighets- och fasorsaker skall vi alltså ha delningsfrekvensen över 1500 Hz. En alltför hög delningsfrekvens är å andra sidan inte önskvärd, av flera orsaker:

- En hög delningsfrekvens betyder att de båda elementen riskerar att komma för långt ifrån varandra räknat i våglängder (vilket ger snäv lyssningsvinkel höjdmässigt). I regel går övre gränsen för vad som är lämpligt med 8" bas + 1" diskant vid 3 500 Hz.
- En hög delningsfrekvens betyder att basens spridning kan komma att bli otillräcklig. Detta är särskilt viktigt när man delar med ett brant filter från ett 8" stort baselement till en diskant med exponerat membran (180° ljudspridning vid delningen).
- En hög delningsfrekvens innebär att vi använder baselementet i det register där membranet bryter upp allt mer (inte längre rör sig som en enhet utan "böljar" av ljudvågorna). Ofta är skillnaderna mellan olika baselementexemplar större ju högre upp i frekvens man kommer.

Uppbrytning behöver i princip inte vara något problem ljudmässigt. Många moderna baselement (dock långt ifrån alla) bryter upp kontrollerat och snyggt och låter bra långt över den frekvens de börjar bryta upp, men att skillnaderna mellan olika elementexemplar i regel blir större ju högre upp i frekvens vi går är ett problem om man bygger högtalare utan möjlighet att kunna mäta och matcha elementen mot varandra. En hög delningsfrekvens är alltså klart olämplig i ett självbyggprojekt där byggarna inte har tillgång till mätinstrument. Ett normalt 8" baselement börjar, beroende på membranmaterial, bryta upp någonstans mellan 200 Hz (mjuk bextrene) och 1500 Hz (metallmembran). Det element som valts för LTS-högtalarna börjar bryta upp vid ca 500 Hz. Skillnaden mellan olika elementexemplar är dock oerhört liten upp till ca 2 500 Hz.

2,2 kHz = lagom delningsfrekvens

En låg delningsfrekvens har som synes många fördelar. Det verkar rimligt att sträva efter en delningsfrekvens

på ungefär 2000 Hz. Av diverse orsaker väljer jag ca 2200 Hz, en frekvens vid vilken våglängden är 15,5 cm. Följande fakta finns då att beakta:

- Eftersom elementen skall monteras i plan (i samma baffel) behöver diskantfiltret vara brantare än basfiltret för att generera grupplöptiden som behövs för att elementen skall ha samma fashastighet i området runt delningsfrekvensen (diskanten sitter ju rent akustiskt närmare lyssnaren än basen).
- Även de exakta faslägena, d v s löptiden eller faslöptiden, för respektive element måste överensstämma vid delningsfrekvensen, annars får vi problem med loobing (ljud åt fel håll).
- Eftersom frekvensen är förhållandevis låg vill vi av distorsions- och effekttålighetsskäl ha en relativt brant delning för diskantelementet.
- Vi vill minimera reflexer i baselementets membran från diskantelementet.
- Vi vill att ljudet som studsar i taket skall ha så neutral klang som möjligt.
- Vi skall på 3,5 meters lyssningsavstånd från sittande position (80 cm över golv med örat) kunna ställa oss upp (örat 170 cm över golv för 180 cm lång person) d v s höja örat 90 cm (+15°) med rimlig tonkurva.
- Vi skall på 3,5 meters lyssningsavstånd kunna sitta på valfri plats 4 meter i bredd ($\pm 35^\circ$) med rimlig tonkurva. Tonkurvan bör även vara jämn (inte nödvändigtvis rak) för ljud som studsar i sidoväggarna. Om högtalarna står mellan 20 och 25 grader in-vinklade bör alltså högtalaren ha jämt fallande tonkurva i cirka 60 graders vinkel.

En sammanfattning av de sista två punkterna blir alltså: Vi önskar ett lyssningsfönster om +15° (uppåt) -5° (nedåt) vertikalt och $\pm 35^\circ$ horisontellt med tonkurvefel mindre än ± 3 dB. I runt 60 graders vinkel skall tonkurvan vara jämn, även om den får vara fallande.

Realiserandet av delningsfilter

Onekligen en diger lista med krav. Då skall vi se vad vi kan göra av dem.

Delningsfiltrets flanker först och nu talar vi alltså om hur delningen ser ut akustiskt, alltså delningsfilter plus högtalarelement tillsammans, vilket ju är det enda som har betydelse. Jag tog för många många år sedan fram en fiffig liten formel man kan använda sig av för att få fram hur mycket brantare diskantfiltret skall vara än basfiltret, för att addera en viss fördröjning d (avstånd) mellan elementen vid delningsfrekvensen. Formeln ser ut så här:

$$n_d = d * f_c / 44 + n_b$$

där n_d är diskantfiltrets ordningstal, d är skillnaden i akustiskt avståndet mellan diskant- och baselement sett från lyssnaren och n_b är basfiltrets ordningstal.

Utän att ännu avslöja vilka högtalarelement som utvalts för projektet kan avslöjas att akustiska centrum

skiljer sig 3,8 cm mellan dem då de monterats på samma baffel, och baselementets filter (tillsammans med vissa fasvridande egenskaper runt 2,2 kHz hos baselementet) ger drygt en andra ordningens delning (akustiskt). Diskantfiltret skall alltså ge en delning (akustiskt) med ordningstalet:

$$n_d = 0,038 * 2200 / 44 + 2 = 3,9$$

Eftersom mätning på bassystemet med filter visar en fasvridning som svarar till ett ordningstal på drygt 2 skall givetvis diskantfiltret ha ett ordningstal om drygt 3,9. Vi väljer givetvis en fjärde ordningens delning. Detta betyder att delningsfiltret rent elektriskt skall påminna mest om ett andra ordningens filter, eftersom ett diskantelement i sig själv är ett andra ordningens system.

Till yttermera visso är just jämna ordningstal, t ex en fjärde ordningens funktion, för HP-filter i en högtalare synnerligen lämpligt. Det betyder nämligen att fasläget vrider mot 0° ($=360^\circ$) eller 180° när frekvensen går mot noll. Diskanten kommer alltså att samarbeta med basen i korrekt fasläge även långt under delningsfrekvensen.

Man skulle kunna tro att resonemanget kan överföras på basens filter, men det kan man inte, av två orsaker. För det första har inte ett baselement ett väldefinierat ordningstal uppåt i frekvens, för det andra finns det vanligtvis en inte försumbar fas-(tids-)skillnad mellan de ingående elementen ovanför delningsfrekvensen, eftersom våglängderna krymper med frekvensen. Ett ordningstal skilt från 4 är därför nödvändigt för att nå en god kompensation för basens naturliga fasgång och avståndsskillnaden mellan elementen.

Överkurs:

Ordningstal anger komplexitetsnivå på ett system av valfri typ.

I filtersammanhang anger det hur många imaginära termer som beskriver filtret, d v s lite förenklat hur många reaktiva komponenter som ingår i filtret (kondensatorer och spolar).

Varje reaktiv komponent som används applicerar någon typ av tröghet på systemet (elektromagnetisk eller elektrisk laddningströghet i fallen spolar och kondensatorer). Genom tröghetsinverkan kan man för en reaktiv komponent maximalt få en frekvensproportionell påverkan. Ändras frekvensen en faktor två (en oktav) kan amplituden alltså maximalt ändras en faktor två (6 dB). Ett första ordningens filter ger alltså en flankbranthet om 6 dB / oktav. Ett femte ordningens filter ger således maximalt en flankbranthet om 30 dB / oktav.

Mer om detaljdimensioneringen av filtren för både bas och diskant senare i artikeln.

Realiserande av elementplaceringar

Då är det dags att ta hänsyn till kraven på horisontell och vertikal spridning samt reflexer i taket och i baselementets membran.

På grund av takreflexen är det önskvärt att avståndet mellan diskant och bas i 45 graders strålningsvinkel uppåt skall vara en våglängd (15,5 cm) längre än i normala lyssningsriktningen. På så vis arbetar elementen i fas med varandra även i denna vinkel — varvid takreflexen låter mera klangkorrekt! Detta betyder ett avstånd mellan elementen på:

$$15,5 * 1/\sin 45 = 22 \text{ cm}$$

Även på g a reflexrisken i basmembranet är det önskvärt med ett inte alltför litet avstånd mellan diskant och bas. Mätningar får så småningom avgöra om reflexerna är tillräckligt små.

Horisontell spridning är ingenting vi behöver bekymra oss om utan den kommer att bli utmärkt, det kan anas av mätningar på de använda elementen (senare i artikeln). Vertikalt emellertid kommer elementen givetvis att interferera med varandra. Vårt krav på lyssningsfönster var 5 grader nedåt och 15 grader uppåt. 15 grader uppåt betyder +90 cm i höjdlid på 3,5 meters lyssningsavstånd, medan 5 grader nedåt betyder -30 cm i höjdlid. Det verkar alltså rimligt att högtalaren skall ha sin helt fasriktiga strålningsriktning 5 grader uppåt, och sen skall den vara bra ± 10 grader därifrån. På g a den önskade huvudlooben 5 grader uppåt kommer dock vinkeln upp till 45 graders strålningsvinkel att vara 40 grader. Avståndet mellan elementen bör alltså justeras upp till:

$$15,5 * 1/\sin 40 = 24 \text{ cm}$$

Nåväl, hur mycket fasfel får vi då mellan elementen i 10 graders vinkel från huvudlooben? Jo:

$$360^\circ * 24 * \sin 10 / 15,5 = 96,8^\circ$$

96,8° fasskillnad mellan elementen ger en svacka på ca 3 dB, vilket alltså gäller för en 180 cm lång person som står upp på 3,5 meters lyssningsavstånd. Tonkurvan i delningsområdet kommer alltså att ligga inom $\pm 1,5$ dB inom det specade lyssningsfönstret! Det får betraktas som helt ok, speciellt med tanke på att dippen blir ännu mindre för en person som sitter lite högre än 80 cm eller är lite kortare än 180 cm, eller allra bäst; inte står upp alls!

I ± 5 graders vinkel (egentligen $+10^\circ/0^\circ$) kommer fasskillnaden att ligga på mindre än:

$$360^\circ * 24 * \sin 5 / 15,5 = 48,6^\circ$$

Tonkurvefelen blir $0,5 * \log(\cos(48,6/2)) = \pm 0,4$ dB. Det får verkligen duga!

Projektets Högtalarelement!

Och nu är det väl hög tid att presentera de element som utvalts för projektet.

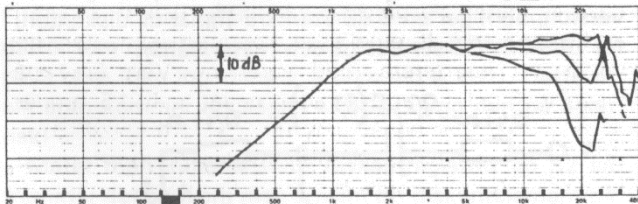
Valt diskantelement

För diskantregistret har vi utgått ifrån ett element som redan har fått ett utomordentligt gott rykte, det används bl a i NHTs prestige-modell 3.3 för ca 40 000:-. I LTS-högtalaren har vi dock en option att vidtaga en modifikation som ytterligare förbättrar elementets spridningsegenskaper och som även minskar som förvrängningen.

Elementet heter i originalskick SEAS H 534 och har en entums aluminiumdome som beter sig helt idealiskt upp till långt över 20 kHz. Membranet bryter upp först över 25 kHz och bidrar inte ens där med besvärande distorsion (speciellt inte efter modifieringen). Elementet är fullt användbart även i originalskick, och den som inte vill ge sig på elementet kan använda det i original-

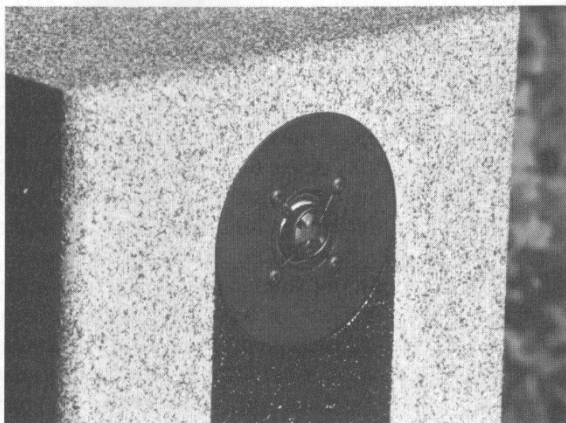
skick. Modifikationen påverkar inte delningsfiltrets dimensionering, som dock optimerats för elementet i modifierat utförande.

Så här ser tonkurva ut för ett original SEAS H 534 diskantelement monterat i lämplig låda (LTS-F1) i 0°, 30° och 60° vinkel:



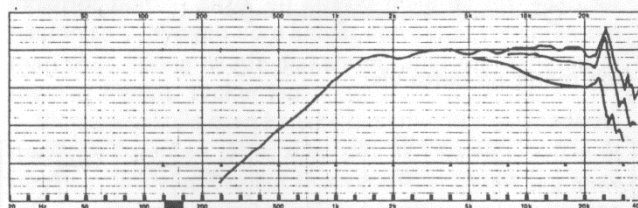
Som synes är tonkurvan synnerligen jämn. Man kan dock se en påtaglig försämring av spridningsegenskaperna över ca 14 kHz. Egentligen är spridningen inte dålig men den allra högsta och skiraste diskanten klingar lite onaturlig i branta lyssningsvinklar. En mjukare avskärning uppåt vore trevligare. Detta kan alltså uppnås genom en liten modifikation på elementet.

Spridningsbeteendet ändras och förvrängningen minskar av elementets modifikation; ett avlägsnande av den ca 5 mm stora lilla täckplatta som sitter omedelbart framför membranets mitt. Den knipsas man enkelt bort med en vanlig sidavbitartång för elektronik. Så här ser elementet ut efter modifikationen:



Tag inte bort plastringen som sitter utanför det lilla täcklocket, utan endast täcklocket skall tas bort, och var försiktig så att du inte kör in avbitarens spetsar i det känsliga aluminiummembranet, då är det bara att köpa nytt!

Efter modifikationen ser tonkurvan ut så här:



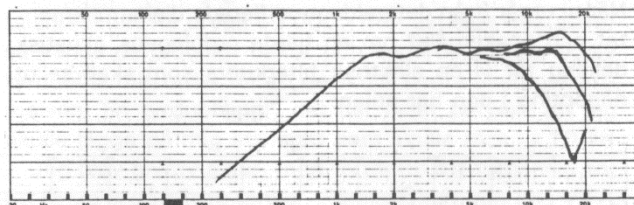
Som synes påverkas såväl ljudet i nollgradersriktningen som i 30 och 60 graders lyssningsvinkel. Eftersom delningsfiltret dimensionerats med hänsyn till ±30 graders öppningsvinkel påverkas inte filterdimensioneringen nämnvärt av modifikationen. Modifikationen minskar ju bara klangskillnaderna (tonkurveskillnaderna)

mellan olika lyssningsvinklar. Framförallt låter det allra högsta diskantregistret ännu friare och luftigare efter modifieringen.

Lyssningsmässigt har elementet dessutom helt befriats från den minimala tendens till pressad heshet som det har i sitt originalutförande (det är dock ett mycket bra element även i originalskick!). Notera för övrigt de helt överträffade (så när som på ett diskantelement á 2 500:- styck som jag själv tillverkar...) tonkurve- och spridningsegenskaperna som elementet får efter modifikationen! Få om ens några små 3/4"-domar kan konkurrera.

Andra Dome-tweetrar

Man bör väl även, för att göra elementet i originalskick rättvisa, nämna att de flesta entums softdome-tweetrar har spridningsegenskaper som faller brant över 10 kHz i lite vinkel. Redan vid 14 kHz kan skillnaden mellan 0 och 60 grader vara över 20 dB. Så här ser det ofta ut:



Direktljudstonkurva eller energikurva?

Den avvägning man bör göra här, innan delningsfiltret kan dimensioneras, är hur man vill balansera förhållandet mellan direktljud (ljud från högtalare och reflexer i högtalarens närhet) och dess energikurva. Energitonkurvan (ej visad) ser ut ungefär som högtalarens tonkurva i 45 graders vinkel, åtminstone över några hundra Hz.

Om vilken av kurvorna man skall lägga mest vikt vid tvista folk. De lärda, d v s d e i psykoakustik erfarna, är dock tämligen överens om att direktljudskurvan är betydligt viktigare för hur vi upplever klangen från den ljudbild som högtalarna levererar.

För LTS-högtalarna har alltså lagts större tonvikt på direktljudet än energikurvan. Hänsyn har dock tagits till tonkurvan inom hela lyssningsfönstret om ±30 grader. Dessutom har andra speciellt viktiga strålningsvinklar såsom takreflexljud och ljud som reflekteras i sidoväggarna specialstuderats, och tagits hänsyn till i konstruktionen.

Genom högtalarens brillianta spridningsegenskaper behöver parametrarna dock inte nämnvärt konkurrera med varandra. Såväl direktljud-, total- som energikurva är synnerligen jämna och ofärgade, även om den sistnämnda tillåts att vara något avrundad vid högre frekvenser. Inom ett 60° lyssningsfönster är tonkurvan inom ±2 dB upp till 18 000 Hz i alla horisontella riktningar. Inom 120°, alltså ±60°, hittar vi alla sidoväggreflexer. Tonkurvan är då fortfarande inom ±2 dB ända upp till 9 kHz, däröver faller tonkurvan knappt 6 dB/oktav. Detta medför att man får en gynnsammare rumsklang från lyssningsrum med fnisslig/skrikig klang. Den svagt sluttande energikurvan medför även att kraven på lyssningsrummets dämpning kan minskas något.

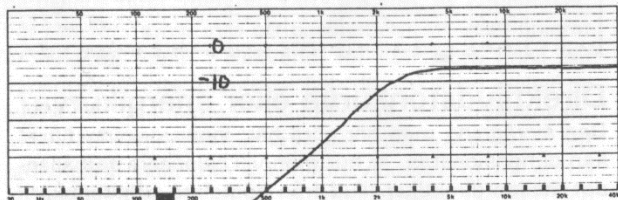
De flesta av marknadens högtalare har för övrigt en energikurva som är åtskilligt ojämna och mer återhållen i högsta diskantregistret. När det gäller direkt-

Ljudstonkurvan är LTS-högtalaren bland de allra rakaste av högtalare på marknaden, och området 40 - 19 000 Hz ligger inom ± 2 dB. De minimala avvikelser som finns är dessutom i huvudsak inte ett resultat av att det inte gick att göra ännu rakare, utan är avsiktliga små kompensationer för högtalarens spridningsegenskaper.

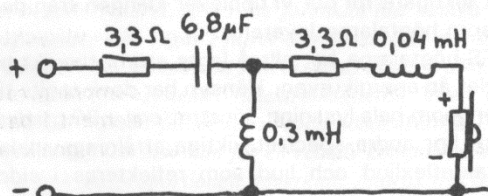
Utvikning: Tyvärr är sällan varken total- eller direktljuddkurvan imponerande, ens på högtalare för hundratusentals kronor, tvärtom faktiskt. De flesta High End-högtalarfabrikanter verkar ha större problem med direktljudet än med energikurvan. Och visst är det svårare att skapa ett korrekt direktljud än en bra energikurva, eftersom faseegenskaperna från delningsfiltret i så hög grad påverkar direktljudet. Eftersom High End-företagen ofta drivs av en glad entusiasttyp saknas inte sällan elektrokustiskt kunskap, men det skall inte den här artikeln handla om... (För förklaring av begreppen; frifält-, direktljud-, lyssningsplats-, totalljud- och energi-kurva, se artikeln 'De traditionella dimensioneringarna' MoLT nr 1 -94.)

Önskad elektrisk filterkurva

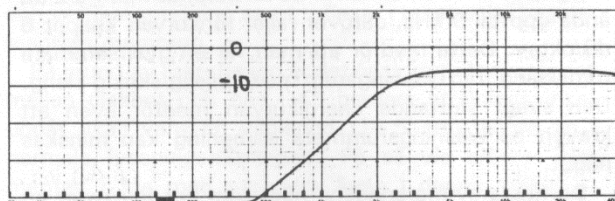
När vi utgår ifrån det valda modifierade diskantelementet och önskemålet om en fjärde ordningens akustisk delning får vi en elektrisk filterkurva som skall se ut någonting i den här stilen:



Att i detalj gå in på alla avväganden och uträkningar som behövs för att dimensionera seriöst delningsfilter skulle ta hela tidningen i anspråk, så det avstår jag ifrån. Men efter några dagars räknande har jag kommit fram till ett filter som ser ut på det här viset:



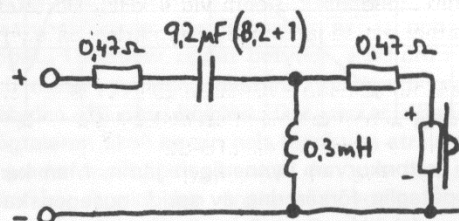
Det har kontrollräknats (och senare kontrollmätts) med avseende på matningsimpedans till diskantelementet för lägsta möjliga distorsion, låg termisk kompression (negativ bieffekt av talspoleuppvärmning hos diskantelementet) och många andra viktiga egenskaper. Givetvis ger det även mycket hög systemeffektåtlighet med sin effektivt branta avskärning nedåt i frekvens. Så här mäter det verkliga filtret tonkurvemässigt:



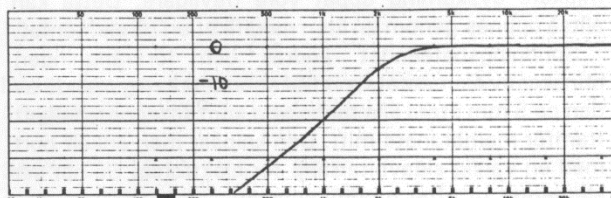
Som synes är det en i det närmaste perfekt avbild av önskemålen. På ett så naturligt rakt element som detta

behövs inget egentligt "uträtande" av elementets tonkurva, men man kan nämna att den lilla 0,04 mH spolen är absolut vital för att förhindra ett kraftigt lyft i den högsta diskanten. Tunkurvans jämnhet i intervallet 3,5 - 20 kHz ligger inom någon enstaka decibell, alltså $\pm 0,5$ dB!

Mycket mer behöver kanske inte sägas om detta delningsfilter, annat än att det ju finns i ytterligare en version, som ger en 6 dB starkare signal till diskanten, för LTS-S2. Då ser det ut och mäter såhär:

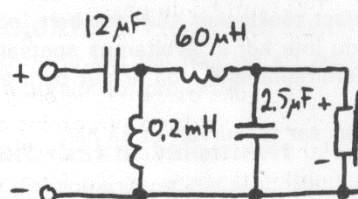


Diskantfilter till LTS-S2

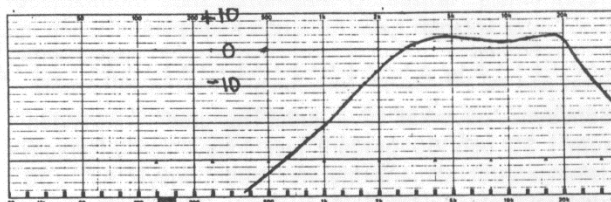


Tonkurva för diskantfiltret till LTS-S2

Högtrycksoption: Den som vill kan bygga en specialversion med hela tre parallellkopplade baselement per låda (kan kallas S3?). Den som ger sig på någonting sådant bör dock vara på det klara med att den totala belastningsimpedansen kommer att gå ned till ca 2,5 Ω . Ingen extremt låg impedans förvisso, men man bör ha en kompetent förstärkare om det skall låta riktigt bra. Känsligheten blir dryga 96 dB och ljudtryck på över 123 dB kan skapas. Fortfarande klarar man sig rimligt bra med bara en diskant. Känsligheten kan nämligen ökas ytterligare ca 2 dB, egentligen en dryg dB för lite, men den som vill bygga med tre basar har nog basbetonad personlighet, och sörjer nog inte att diskanten blir 1 dB för svag i nivå. Diskantfiltret ser ut på detta vis:



Och mäter på detta vis:



Vissa av läsarna tycker kanske att det är märkligt att det går att dimensionera delningsfilter som bredbandigt

förstärker insignalen — med ett passivt filter! Med det går alldeles utmärkt. Förklaringen till hur det kommer sig är dock tyvärr även den för lång för att få plats här.

Priset man får betala bör dock nämnas, nämligen en sänkning av impedansen in till filtret. Filtret suger alltså i sig den extra effekt som skall till diskantelementet från förstärkaren genom att dra extra ström, som sen förvandlas till extra spänning in till diskantelementet! Fiffigt som tusan. Mäter man på filtrets ingång tror man därför (om man inte vet bättre) att diskantelementet är på 3 ohm (min impedans 2,6 ohm vid 4 kHz). Detta är allt som kommer att sägas om S3. Bygg den på egen risk!

Mäter man impedansen i diskantregistret på S2 så framstår det som om man använt ett diskantelement på 4 Ω. Detta passar utmärkt till LTS-S2, som ju är ett fyra-ohmssystem även i basregistret!

Diskantelement för "metallallergiker"

Rubriken tarvar kanske sin förklaring. Det har historiskt tillverkats många synnerligen tveksamma diskantelement med metalldomar. Det rykte de spred under 70- och 80-talen lever vidare än i dag och bidrar säkerligen till att många tycker att det låter illa om metalldomar redan innan de spelat på dem. Det är givetvis heller inte omöjligt att det kan finnas någon människa som av det ena eller andra skälet är känsliga för den amplitudtopp i ultraljudsområdet som alla metalldomar uppvisar, åtminstone då vinyl, eller annat media med energi över 22 kHz, spelas. Jag har dock inte träffat på någon än.

Det må vara hur det vill med den saken, i vilket fall som helst finns det en backup-plan för metallallergiker som vill bygga LTS-högtalaren! En diskant med textildome som är helkompatibel med H 534! Både då det gäller känslighet och impedanskurva. Enda skillnaden hittar vi över 10 kHz där textildomen uppvisar en liten höjning mot 13,5 kHz (+ 2dB) varefter den faller av sakta (-3 dB @ 20 kHz). Även spridningsegenskaperna över 13 kHz skiljer något. Metalldiskanten H 534 har aningen lite större spridning i det allra högsta registret, speciellt efter att den föreslagna modifikationen (bortknipsning av mitt-pluppen framför domen) vidtagits. Mjukdomediskanten, H457, är annars helt identisk med Metalldomen, H534. Den som använder H457 kan experimentera med att öka på värdet på 0,04 mH spolen en aning. Runt 0,06 mH borde passa utmärkt.

Man skall kanske nämna ytterligare en stor fördel med textildome-diskanten, nämligen att det är betydligt svårare att skada den! Den mjuka domen är beröringsbar utan att ta skada, och alltför våldsam intryckning av domen förhindras effektivt genom att det omedelbart innanför domen sitter en kraftig bulle av filt. Man får nästan ta tillhyggen som knivar och saxar i anspråk om man skall kunna skada diskanten. Just robustheten är mycket trevlig, tycker jag.

Slutligen skulle man kanske beskriva hur skillnaderna mellan elementen låter, men det är inte så lätt. De är nämligen alldeles otroligt lika varandra. Skulle jag ändå försöka mig på en beskrivning så väljer jag att ha den bästa, den modifierade H534, som referens. Textildomen låter då något lite mjukare, men också uddlösare och aningens lite mindre musikaliskt engagerande. Skillnaden är verkligen liten dock. Metalldiskanten i originalskick kan dock låta aningens lite "gåpåig". Vissa skulle säkert kalla det analytiskt, men jag tycker det är

dumt att använda "analytisk" som en negativ värdering. Verkligheten är för mig det mest analytiska ljudet, och närmast detta tycker jag att metalldiskanten i sitt modifierade utförande kommer.

Men som sagt även de två andra låter mycket bra. Bättre än det mesta i diskantväg. Kanske måste valet mellan en original H 534 och H 457 bli subjektivt styrt.

Valt baselement

Baselementet som används i samtliga modeller F1, S1 och S2 har en mycket märklig tillblivelsehistoria. Det började nämligen med att jag var ute efter ett element med mycket speciella egenskaper som skulle användas i ett av mitt eget företags allra finaste högtalarmodeller.

Allt tydde på att danska VIFA skulle vara det företag som bäst skulle kunna tillverka det element jag hade dimensionerat. VIFA visade sig emellertid vara lite knepiga att ha att göra med. De lovade till en början att de skulle göra elementet jag hade specificerat (muntligt avtal). Sen, när jag redan hade börja tillverka högtalarkabinett för dryga 80 000:- (förbeställda högtalare) så vände de plötsligt bakut och begärde att jag skulle fyrdubbla min order för att de skulle hedra överenskomsten! En fyrdubbling i det här fallet betyder att jag skulle lägga på mig ett lager som skulle räcka i 10 år!

Jag blev givetvis sur, men fortsatte att förhandla för att få VIFA på bättre tankar. Företagskulturen hos VIFA tycks emellertid vara sådan att avtalsbrott är vardagsmat och att hedra muntliga avtal är ingenting de ägnar sig åt. De var dessutom helt ointresserade av såväl mina utgifter för kabinett (som beställts på deras löfte) som av mina problem med att inte kunna erbjuda några högtalare till de kunder som förbeställt av mig.

Plan B: SEAS kontaktas

Emellertid tillställde jag, nästan på skoj, under tiden norska SEAS (trevliga) en förfrågan om de kunde göra ett element enligt mina specifikationer; delikat matching av membran/upphängning/mittdome, lång slaglängd, ultraavancerat motorsystem. Allt uttryckt i siffror givetvis. Därutöver diverse speciallösningar bl a T-format polstycke och DD (dynamisk dämpning, ett genialiskt patent särskilt värdefullt för element i bas-reflexlåda). DD möjliggör hittills osedda storsignalkvaliteter.

SEAS svarade redan efter någon vecka och erbjöd tillverkning av elementet i antal på en tiondel av vad VIFA krävde! Kort därefter anlände de första två prototypelementet. De hade en del avvikelser från min specifikation, men det visade sig att elementet, utan att vara användbart för min egen applikation, var så nära idealet man kan komma för min i bakhuvudet liggande gamla vision av en optimalt musikvänlig LTS-högtalare!

Bättre än vad VIFA någonsin skulle ha kunnat åstadkomma. Det är märkligt hur slumpens skördar slår. Hade inte SEAS råkat få ihop elementet så att det inte passade mig så hade någon LTS-högtalare sannolikt inte kommit till! Ibland känns det som om man har oförtjänt tur. Ja, d v s att LTS har det.

SEAS "P21-LTS", utformning

Elementet har döpts till "P21-LTS" och är på det hela taget något av det finaste som överhuvudtaget tillverkats i bas/mellanregisterväg till dags dato. Motorsystemet är mycket avancerat, effekter av membran-

uppbrytningen inskränker sig till en liten dipp vid ca 500 Hz samt därefter ingenting synbart förrän man kommer upp till över 2 kHz. Allt som går att ana över 2 kHz är effekterna av en svag membrankantsreflektion ca 1,25 ms fördröjd (och ca -13 dB i akustisk nivå) som ger upphov till ett minimalt rippel. Uppbrytningsbeteendet är sen gudomligt vackert och välkontrollerat och ger superb obruten "roll off" hela vägen upp till över 10 kHz! Alla typer av ringningar (toner som klingar vidare i elementet) lyser med sin totala frånvaro.

Helt otroligt vackert, och tämligen unikt enligt min erfarenhet. Möjligen är det ännu otroligare att de flesta andra 8" baselement på marknaden är så bedrägliga, på ett eller annat sätt...

Halvmjukt basmembran

Orsaken till att jag velat låta elementet övergå från kolvformig rörelse till böjvågsvandlare vid ca 500 Hz, dvs något lägre än vanligt för polypropylenmembran, är att man därmed slipper handskas med besvärliga uppbrytningar i det högre frekvensområdet där membranet är större än våglängden. Sådant ger ofta konstiga spridningsegenskaper. Genom att ett membranmaterial med låg ljudhastighet valts formas perfekta koncentriska ljudvågor i hela registret från djupaste basen upp till frekvenser långt över delningsfrekvensen. Dessutom är det lättare att kontrollera uppbrytningen med dämpning i lite mjukare membran.

Dessutom är just 500 Hz en alldeles utmärkt frekvens att ha en liten dipp vid, eftersom örat är speciellt okänsligt för tonkurveavvikelser just där. Dippen blir dessutom betydligt mindre i den färdiga konstruktionen, av två skäl; dels kompenserar delningsfiltret dippen med en halv dB, och dels har jag valt en baffelbredd som ger ett tillskott på ca 3 dB vid just 500 Hz! Resultatet tonkurva ligger därför inom ± 2 dB även i registret runt 500 Hz.

Även distorsionsmässigt är elementet mycket bra. Den distorsion som finns är svag och till karaktären "trevlig" med en dominerande andraton och sen kraftigt fallande högre "fula" övertoner.

Eftersom högtalaren inte primärt är avsedd som monitor för inspelningsstudior har jag inriktat mig på att undertrycka för örat "ful" distorsion. Hade monitoranvändning varit det primära så skulle man kunna tänka sig en utformning av magnetsystemet som ger ännu lägre distorsion mättningsmässigt, utan att högtalaren för den sakens skull hade låtit "trevligare". Tvärt om faktiskt om tekniskt tveksamt programmaterial spelas.

Den svaga men inte helt obefintliga andratonen hos P21-LTS maskerar nämligen illaljudande tredjetonsdistorsion från tveksamma inspelningar.

Basens småsignalparametrar

När man utformar ett högtalarelement är det givetvis viktigt att man vet exakt vilka småsignalparametrar man vill ha. Elementets småsignalparametrar tillsammans med högtalarlådans egenskaper är de egenskaper som bestämmer känslighet, undre gränshfrekvens och tonkurva hos det slutliga systemet. Förhållandet mellan dem styrs av strikta fysiska lagar.

Man kan här även välja att skapa avsiktliga klangliga färgningar hos systemet, man kan välja kompromisser mellan djupbas och verkningsgrad, man kan göra anpassningar till olika typer av rum m m. För LTS-högtalaren har hänsyn till följande tagits:

1. Högtalaren är gjord för en relativt fri placering i lyssningsrummet då det får förmodas att LTS-aren är musikintresserad och prioriterar ljudkvaliteten (t ex att minimera rumsreflexer inom de första 5 ms) framför att högtalarna inte skall synas. Högtalarna är alltså utformade för en placering på avstånd från väggar.

2. LTS-högtalarna (alla tre) har utformats så att de skall kunna spela även i inte helt optimala lyssningsrum och i stora rum. Någon resonanspuckel i basen har de inte, men de har givits lite, lite extra värme i klangen. Efter en inventering av hur människor, och i synnerhet LTSare bor, har jag nämligen funnit att hårda parkettgolv, endast delvis täckta av mattor, mjuka väggar, tunna fönster och ofta öppningar mellan lyssningsrummet och andra rum i bostaden är vanliga förhållanden. Dessa är långt ifrån idealiska förutsättningar för god musikåtergivning, men uppenbart någonting som få vill göra något åt. Dessa egenskaper hos ett rum resulterar i en blodfattig återgivning. Den som vill kunna spela i sådan miljö måste ha en högtalare med lite fylligare basområde än en högtalare som är utformad för ett idealiskt lyssningsrum.

3. LTS-högtalarna skall vara möbleringsbara. Det har bedömts lagom att högtalarens höjd (F1) skall vara 1 meter (eftersom det behövs för att lyssningshöjden skall bli lagom). Bredden skall vara 26 cm (eftersom det baffelstöd som en sådan baffel ger passar baselementet bäst tonkurvemässigt) och slutligen djupet 30 cm (eftersom det ger en trevlig geometri). Sammantaget får vi då en innervolym på 55,3 liter utan stag och ca 52 liter med stag och högtalarelement borträknade. Efter som det stämmer exakt med den volym vi vill ha för LTS-F1 (tänka sig!) används hela lådans volym.

4. LTS-högtalaren (F1) har utvecklats som en sann fullregisterhögtalare. Tonkurvan i ett verkligt rum skall täcka in hela området ned till under 30 Hz med korrekt amplitud och låg distorsion.

5. LTS-högtalarna har dimensionerats akustiskt för att kunna arbeta med uppvärmda talspolar, motsvarande spelning i minst 10 minuter med en medeffekt av över 10 Watt (kortvariga transienter hinner knappt alla värma talspolen, trots nivåer på åtskilliga hundra watt). Detta är en mycket viktig punkt som nästan alltid förbises vid högtalarkonstruktion. (Även delningsfiltrets konstruktion tar hänsyn till såväl talspoleuppvärmning som att temperaturen varierar under spelning.)

Dessa fem punkter har varit underlag för val av småsignalparametrar för elementet P21-LTS. Småsignalparametrarna, som främst ges från kraven på F1-modellen, ger för sidosystemversionerna en lådvolum om 18 liter för varianten LTS-S1 och det dubbla — 36 liter — för dubbelbasvarianten LTS-S2.

De båda sidosystemen får en undre gränshfrekvens om ca 55 Hz (-3 dB). Avrullningen nedåt sker mjukt och vackert. Den relativt låga undre gränshfrekvensen gör faktiskt att man kan använda S1 och S2 modellerna alldeles utmärkt utan basmodul också. Den avgrunds-djupa basen uteblir naturligtvis, men artikulationen är alldeles utmärkt även i djupbasregistret. Och faktum är att högtalarna går väl så djupt som flertalet s k fullregisterhögtalare på marknaden!

Kul att veta

I den engelska vokabulären finns det finurliga onomatopoetiska ord för olika högtalarelementtyper.

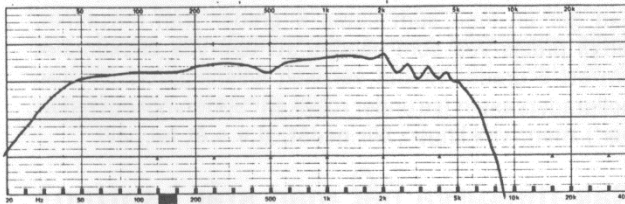
- Diskantelement heter Tweeters.
- Mellanregisterelement kallas Squakers.
- Element avsedda för bas- och mellanregisterområdet kallas Boomers (eller den tråkigare beteckningen mid-woofers).
- Baselement kallas för Woofers.
- Djupbaselement (eller kompletta djupbashögtalare) avsedda endast för det allra lägsta frekvensområdet kallas Sub Woofers (sub = under).
- Bredbandselement finns det inget bra namn för. Vissa ifrågasätter å andra sidan om det ens finns något bra användningsområde för dem i HiFi-sammanhang...

I LTS-högtalarna används alltså en Boomer och en Tweeter.

Nåväl, detta var alltså upptakten till tillkomsten av det valda mycket speciella bas/mellan-elementet. Elementet är för övrigt byggprojektets enda specialdetalj, som alltså inte finns på den öppna marknaden utan måste beställas via LTS om man vill bygga LTS-högtalare.

Tonkurvor för baselementen

Här följer tonkurvor för elementet (monterat i ett LTS-F1 kabinett):

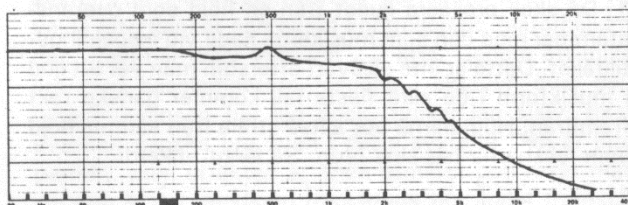


SEAS P21-LTS

Som synes har vi en exemplariskt god tonkurva. Vissa "handritade" tonkurvor som vissa mindre nogräknade tillverkare använder för att få sina element att framstå i en bättre dager, kan förvisso se ännu vackrare ut, men detta är alltså verkliga tonkurvor. Som synes av tonkurvan är det så att delningsfiltret måste göra en minimal kompensering för elementets tonkurva över ca 200 Hz, samt utföra den önskade avskärningen vid delningen (2,2 kHz). Vågigheten över 2 kHz måste man givetvis också ta hänsyn till, inte minst av fasmässiga orsaker.

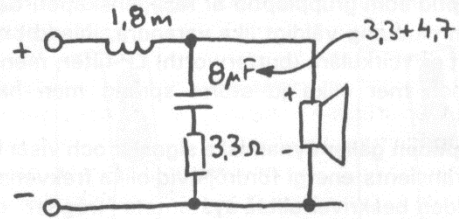
Önskad filterkurva för basen

När vi utgår ifrån det valda specialbaselementets faskurva (inte visad) och önskemålet om en drygt andra ordningens akustisk delning (fasmässigt) får vi en elektrisk filterkurva som skall se ut någonting i den här stilen:

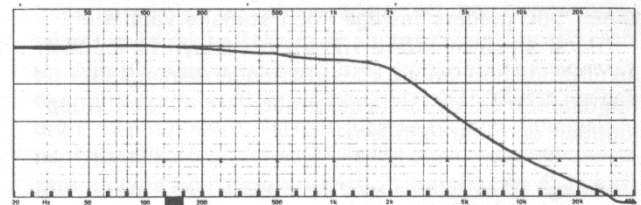


Till att börja med kan vi konstatera att vågigheten över 2 kHz är harmlös och ställer heller inga hinder för att slutprodukten skall kunna få en tonkurva inom goda ± 2 dB. I själva verket kommer endast den allra första vågen vid drygt 2 kHz att ge en tonkurveavvikelse på $\pm 1,8$ dB. De senare är så kraftigt dämpade av filtret att avvikelsen i tonkurvan blir mindre än $\pm 0,8$ dB! Korrigeringen för vågigheten struntar vi därför i. Vi vill ju inte i onödan komplicera filtret. Liksom för diskantfiltret gäller att det skulle ta hela tidningen i anspråk att i detalj gå in på alla avväganden och uträkningar som gjorts för att dimensionera detta delningsfilter, så det avstår jag ifrån.

Efter några timmars räknande (det är i regel mycket lättare att utforma LP-filtret för "Boomers" än HP-filtret för "Tweeters") har jag kommit fram till ett delningsfilter för basen som ser ut på det här viset:

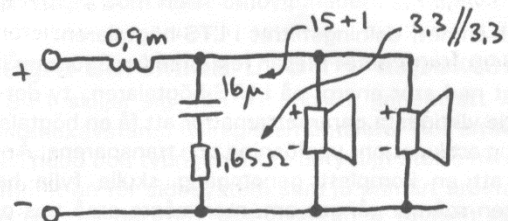


Det har kontrollräknats (och senare kontrollmätts) med avseende på matningsimpedans till baselementet för lägsta möjliga distorsion, låg termisk kompression (känslighet för talspoleuppvärmning) och många andra viktiga egenskaper. Så här mäter det verkliga filtret tonkurvemässigt:



Som synes är det en i det närmaste perfekt avbild av våra önskemål.

Mycket mer behöver kanske inte sägas om detta delningsfilter, annat än att det givetvis finns i en version, som ger samma filterfunktionen belastat av två parallellkopplade baselement (för LTS-S2). Då ser det ut så här (mäter likadant som filtren för F1 och S1):



Basfilter till LTS-S2

Som synes är basfiltret identiskt med det i LTS F1 och S1, sånär som på att motståndet och spolen är halverad, medan kondensatorn dubblerats. Kort sagt har filtret bara anpassats till att två parallellkopplade element har halva impedansen från ett ensamt element.

Integration mellan registren

En av de viktigaste sakerna som finns att tänka på när man gör ett delningsfilter är att se till så att filterhalvorna samarbetar med varandra. Som ni läst om tidigare har redan filtrens grupploptider ihopfogats så att halvorna skall kunna arbeta tillsammans. Grupploptid (tid för energin att passera filtret) är emellertid inte samma sak som löptid (en specifik frekvens' förskjutning i tiden med avseende på fasläget).

Ingen litteratur och inga mätinstrument(!) har någonsin, så vitt jag känner till, hållit isär begreppen löptid och grupploptid hos samarbetande filterhalvor. Man kan läsa om fas (ur vilken man kan räkna fram både löptid och grupploptid) men alla mätinstrument tycks mäta och presentera grupploptid! Just löptiden är dock avgörande betydelse för såväl strålningsegenskaper som för direktljudgets tonkurva.

Såväl löptid som grupploptid är fasegenskaper, de är i vissa sammanhang väldigt lika varandra, ibland t o m identiska, t ex i cirkulära (butterworth) LP-filter, men de blir mer och mer olika ju större språng men har i fassgången.

Grupploptiden gäller dynamiska signaler och visar hur länge en transients energi fördröjs vid olika frekvenser. Grupploptiden beskriver alltså systemets "tröghet" och antar alltid positiva värden. Energin kan ju inte komma ut ur ett system innan den förts in.

Löptiden, som gäller statiska signaler, kan däremot till skillnad från grupploptiden vara negativ (tidsavancerande filter, t ex de flesta HP-filter). Eftersom den gäller statiska signaler kan man dock som disajner själv helt fritt ansätta korrektionsintervall om periodtiden ($1/f$) i valfria antal. Det finns ju ingen skillnad mellan 0 och 360 graders fasläge i den statiska världen.

Det är alltså av större vikt att ta hänsyn till löptiden än till grupploptiden vid konstruktion av delningsfilter till högtalare, men, de flesta datormätssystem mäter grupploptiden och inte löptiden.

***Utvikning:** En av farorna med att använda vissa avancerade mätinstrument är att det är lätt att tro att just det man kan mäta är det som bäst beskriver problemen. Man letar lättast (men inte nödvändigtvis bäst) i ljuset under gatlyktan, men det är inte säkert att något intressant finns att hitta just där. De flesta datoriserade mätsystem har väldigt väl fokuserade strålkastare, men utlysningen är usel. Nästan alla lyser på några få parametrar, inte nödvändigtvis väl valda, t ex grupploptiden. Bästa mätinstrument för den som vill se så mycket som möjligt, förstå och lära sig, är nog en tongenerator och ett oscilloskop!*

Åter till ämnet, delningsfiltret i LTS-högtalaren:

Just fas-samarbetet mellan registren är någonting jag har lagt ned stor energi på i LTS-högtalaren, ty det är en av de viktigaste parametrarna för att få en högtalare med hög artikulation, upplösning och transparens. Ånyo gäller att en komplett genomgång skulle fylla hela tidningen många gånger om, men några små tips och en förenklad beskrivning av tillvägagångssättet kan jag ge. Ungefär så här kan en analys se ut:

Fas-/tidsanalys för LTS-högtalaren

Vi börjar med att räkna lite. Basen (med filter) utgör en funktion motsvarande ordningstalet 2,1. Fasen vrider således mot -189 grader ($90^\circ * 2,1$), och kan (tills vidare) förmodas ligga på hälften, $-94,5$ grader vid

delningen. Till detta kommer en förskjutning i rummet om 3,8 cm vilket ger 0,112 ms eller $-88,5^\circ$ ytterligare. Summa -183° .

Diskantfiltret utgör akustiskt ett fjärde ordningens filter. Fasen vrider alltså mot $+360^\circ$, och kan förmodas ligga på $+180^\circ$ vid delningen. Skillnaden mellan diskant och bas är alltså: $180^\circ - (-183^\circ) = 363^\circ$. Hela varv kan vi ta bort (360°) vilket gör att vi landar på en fasskillnad på 3° vid delningsfrekvensen mellan elementen, med ett varv (360°) borttaget från basen.

Vi kan säga att diskanten ligger på $+180^\circ$ medan basen ligger på $-183 + 360 = +177^\circ$. Diskanten tycks alltså i denna enkla analys ligga oerhört lite fasmässigt före (3° eller $3,8 \mu\text{s}$ eller 1,29 mm), vilket skulle leda till att högtalaren strålar nästan precis rakt framåt, men verkligheten är denna:

Filtren som har använts är inte av varken Butterworth-, Bessel-, Tjebytjev- eller Linkvitz Riley-typ, så antagandet om att fasvridningen vid delningen är filtrets halva fasvridning är felaktigt. Diskantfiltret har dimensionerats för att ha sin -6 dB punkt (akustiskt) i en punkt där det fasvridit mindre än halva sin nominella maxvridning. Diskanten har vid -6 dB (2200 Hz) vridit 8 grader mindre än halva sin slutgiltiga fasvridning vid lägre frekvenser. Basen å andra sidan har som funktion av sin branta flank just i delningsområdet vridit 54 grader mer än vad vi gissade i inledningen.

Den verkliga fasskillnaden mellan elementen vid delningsfrekvensen är alltså $54 - 8 + 3 = 49^\circ$, motsvarande en löptid om $62 \mu\text{s}$ eller 2,1 cm. Denna fasskillnad ger en loob som riktas 5 grader från mittaxeln, alltså precis vad som behövs att uppfylla önskemålet om ett 5 grader vinklat vertikalt lyssningsfönster från nollgradersaxeln (se under rubriken 'Spridningsegenskaper') men; vinklingen blir nedåt, dvs åt fel håll!

Rak tonkurva när man står i soffan?

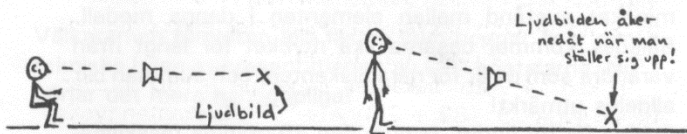
Jag antydde ju lite tidigare i artikeln att man önskar kunna "höja örat 90 cm ($+15^\circ$) med rimlig tonkurva", men nu skall jag berätta att det vill man kanske inte alls! Fast skall man vara noga är det definitionen på "rimlig tonkurva" som inte nödvändigtvis är samma sak som "rak tonkurva" i alla sammanhang. Glöm därför den långa beskrivningen av hur rak tonkurva högtalaren skall kunna ge då man ställer sig upp i soffan.

"To learn, you must first unlearn!" (Yoda, från 'rymdimperiet slår tillbaka', andra delen av Star Wars-trilogin)

Det är nämligen på det viset att människans ytteröra hjälper oss att ute i verkligheten kunna höra höjden hos olika ljudkällor. Stereosystemet som det normalt är konfigurerat däremot, kodar inte höjd på inspelnigar. En konventionell mikrofon (oavsett om det är en kula, njure, åtta eller någonting annat) kan överhuvudtaget inte bevara höjdinformationen från verkligheten, även om det finns högtalarkonstruktörer som tror det. Detta är fakta. Högtalarna har sålunda två delikata uppgifter när det gäller vertikal ljudprojektion:

1. De skall projicera ljudet från en höjd som överensstämmer med den som musikerna hade vid inspelnings-tillfället. Detta är inte så svårt eftersom man vet att ljud i musikform i de allra flesta fall kommer ganska rakt framifrån. Högtalarna bör alltså stråla från samma höjd som lyssnarna har sina öron. Så långt enkelt!

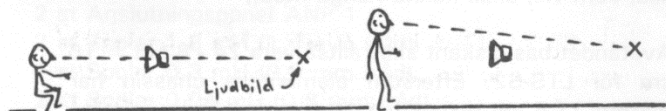
2. Om lyssnaren ändrar sin öronhöjd vid lyssningen (till exempel genom att ställa sig i soffan) så kommer vi normalt (genom ytterörats och axlarnas form och hur de påverkar tonkurvan som kommer trumhinnan till kännedom) att höra att ljudet inte längre kommer framifrån, utan nedifrån. Detta fenomen får gärna högtalaren undertrycka så bra som möjligt:



De flesta konventionella högtalare projicerar så här

Eftersom ljudbilden i regel upplevs befinna sig rejält bakom högtalarna (i varje fall hos huvuddelen goda inspelningar, avlyssnade med goda högtalare) så kan man uppleva att ljudet verkligen åker "ned i källaren" om man ställer sig upp framför högtalaren. Fenomenet är särskilt noterbart (störande) om man lyssnar på högtalare med koaxialt arrangerade högtalarelement (diskanten i centrum av basen). Myten om den punktformiga ljudkällan som idealet är... just en myt. Stereosystemet (och alla andra flerkanaliga system med kanalerna horisontellt distribuerade) är realiteter som bör tas hänsyn till. Der gör man inte med coaxiella elementkonfigurationer!

Man kan alltså på goda grunder hävda att det vore bättre om inspelningarnas egenskaper får bestämma höjd, bredd och djupintryck, medan högtalarna alltid behåller sin ljudbilsprojektion oförändrad, även då vi som lyssnare reser oss upp:



Så här bör en högtalare för stereolyssning projicera!

Vad krävs då? Jo, att högtalarens tonkurvan i riktning lite snett uppåt motverkar ytterörats tonkurva i riktning lite snett nedåt! Det är ju sistnämnda som gör att vi kan höra att ett ljud kommer nedifrån.

Hörande vid nedifrån infallande ljud

När man ställer sig upp så ökar hörselns känslighet i registret runt 3 kHz (eventuellt kommer en specialartikel om detta, i en senare MoL, om någon efterlyser en sådan artikel). Om högtalaren kan utformas så att den ger en svacka i registret runt 3 kHz när man ställer sig upp så är saken biff, ljudbilden kan frigöra sig från högtalaren.

En sådan svacka kan utformas oerhört exakt (om man äger kunskapen om hur det skall se ut) i ett system med delningsfrekvens på just 3 kHz och väl valda filterflanker och exakt kontrollerade fasförhållanden, men här delar vi ju vid 2,2 kHz. Genom att mixa lite med baselementets fasgång i oktaven över delningsfrekvensen har jag dock, tycker jag själv, fixat svackan ganska bra även i detta system! Den är inte perfekt, men effekten är ändå utmärkt och reser man sig upp är det verkligen frapperade hur ljudet framstår

som fritt från högtalarna och bara tillhörig ljudbilden några meter bakom högtalarna. Som sagt, det går att göra det ännu bättre i mera avancerade (och dyrare) konstruktioner, men med konventionella högtalare som jämförelseobjekt är detta ändå ett avsevärt steg i rätt riktning från det klassiska "lådiga" högtalarljudet.

Den som tvivlar eller inte tror

För den som inte tror på det som stod i föregående stycke finns två lösningar att välja mellan. Antingen kan man bygga sina högtalare med upp-å-nervänd elementkonfiguration (alltså basen upp och diskanten nedanför). Gör man det (vilket jag alltså avråder ifrån) så uppfyller högtalaren alla de spridningsegenskaper som skissades i artikelns början.

Alternativt kan man istället luta hela högtalaren ca 6 grader bakåt. Precis samma effekt kan man naturligtvis få genom att bygga högtalaren med en sex grader lutande baffel:

Så här:



Eller så här:



Effekten då baffeln lutas blir densamma som då man byter plats på elementen med den skillnaden att basen arbetar på en lämpligare höjd över golvet och diskanten naturligtvis fortfarande strålar från samma höjd som en normal LTS-F1.

Hursom helst, jag rekommenderar att man bygger högtalaren med rak baffel och diskanten överst, ty effekten av "öronkompensationen" när högtalaren avlyssnas över mittaxeln är, åtminstone i mina och många andras öron, odelat positiv. Vill man justera "öronkompensationen" för olika öron (vi är ju alla lite olika) kan man prova att luta hela högtalaren mellan 2° framåt och 4° bakåt. Öronkompensationen minskar med lutning bakåt.

En sak till om detta innan vi går vidare; om du bygger en LTS-F1 med ombytt plats på elementen, så se till att basens centrum sitter 16 cm från lådans överkant, ty då blir tonkurvan så rät som möjligt.

Bygger man ett par LTS S1-sidosystem så kan man roa sig med att experimentera och prova alla tänkbara varianter utan att bygga om någonting. Lådan går ju utmärkt att både vinkla bakåt och att vända uppåner, utan några som helst ombyggnader!

Några särskilda LTS-F1 aspekter

LTS-F1 skiljer sig från S1 och S2 genom att vara en basreflexavstämd fullregisterhögtalare. Hos en sådan är man nödd och tvungen att ta betydligt större hänsyn till rummet än för sidosystem som ju primärt arbetar över det register där rummets inverkan är mycket stor.

LTS-F1 har utvecklats för att arbeta i ett verkligt rum. Hänsyn har tagits till lyssningsrummets golv och den kavitets effekt som ger en höjning i audioområdet allra lägsta register (nedåt 20-30 Hz). Resultatet är en låda med en mekanisk volym om 52 liter och en akustisk volym (1/2 fylld med glasull) på 59 liter. Avstämningens frekvensen har valts till 28 Hz.

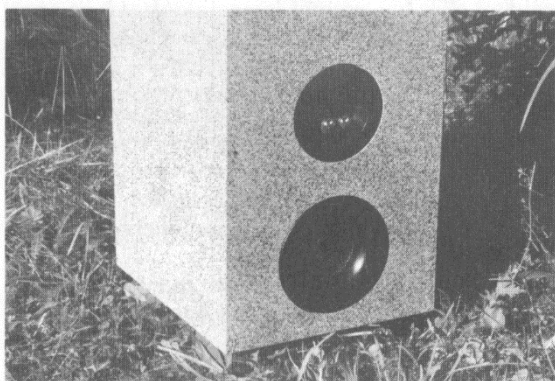
Basreflexportens placering

Att hitta en akustiskt idealisk placering för en framsidesplacerad basreflexport är ett extremt tidskrävande jobb. Svårigheten ligger i att hitta den idealiska placeringen med hänsyn till kombinationseffekter mellan portrörets resonanser, lådans inre resonanser och effekter av dämpmaterialet. Man kan förvisso räkna på sådana här saker, men någon garanti att man träffar exakt rätt finns inte.

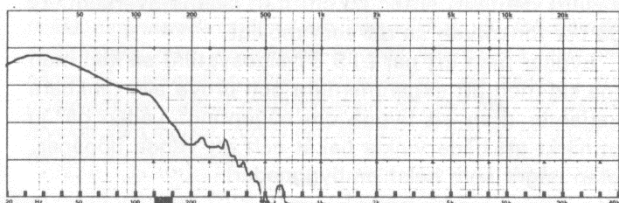
Det finns dock en genväg; baksidesplacering. Även en vanvettigt dålig invärtes placering av porten ger då begränsade negativa konsekvenser ljudmässigt.

I detta bygge har jag haft ambitionen att hitta den mest idealiska portplaceringen jag kan räkna mig fram till, och sedan har jag, för säkerhets skull, dessutom lagt portmyningen på lådans baksida, så att eventuella artefakter (utanför matematikens förutsägelseprecision) inte når lyssnarens förtjusande öra. En ypperligt välgjord och finurlig post har även hittats, lillebror till den port som användes i basmodulbygget.

Så här ser den bakåtvända porten (och anslutningspanelen) på lådans baksida ut:



Mätning på utsignalen från basreflexporten har visat att portplaceringen blivit mycket nära det ideala! Orgelpipsresonanser av elekartad typ lyser helt med sin frånvaro. Detta bygge har verkligen varit tur-förföljt:



Har någon någonsin sett en vackrare tonkurva från en basreflexport måne? Jo, jag har ju gjort det förstås. Observera den totala friheten från portresonanser. Den som vill se hur normala portresonanser brukar se ut, se förra MoLt, mät-testen av Carlsson OA 50.

Den som önskar kan alltså troligen sätta porten på framsidan istället. Om höjden från botten ökas ca 2 cm vid framsidesplacerad port bör portsignalen likna den baksidesuppmätta tämligen bra. Mitt råd är dock att behålla portplaceringen på lådans baksida om inte placering i fronten är nödvändig av möbleringstekniska skäl. Dämpmaterialet får en naturligare placering med porten på baksidan. Man skall inte heller underskatta barns tendenser att fylla högtalare med byggklotsar, samt kattungars tendenser att krypa in i basreflexportar. Baksidesplacering har många fördelar...

Några särskilda LTS-S2 aspekter

När det gäller elementplacering finns det några saker man måste beakta hos LTS-S2 eftersom den har dubbla baselement.

Man har ju i detta system att ta hänsyn till samarbetet bas-diskant och dessutom samarbetet mellan basarna. Detta gör man genom ett noggrant avvägt minskat avstånd mellan elementen i denna modell. Således kommer basarna lika mycket för långt ifrån varandra som de är för nära diskanten, och summan blir alldeles utmärkt!

Man får för övrigt, genom den 49-gradiga fasskillnaden mellan elementen, en alldeles förträffligt jämn spridning vertikalt hos detta d'Appolito-konfigurerade system.

Ihopflyttningen (x) av elementen som funktion av avståndet bas-diskant (d) följer funktionen:

$$d + x = 2 * (d - x)$$

vilket ger:

$$24 + x = 48 - 2x$$

d v s:

$$3x = 24$$

alltså:

$$x = \underline{8 \text{ cm.}}$$

(ursäkt den omständiga matematiken, men jag vill att alla, som vill, skall kunna hänga med.)

Avståndet bas-diskant skall alltså vara $24 - 8 \text{ cm} = 16 \text{ cm}$ för LTS-S2. Eftersom elementens chassin har måtten 21,5 cm respektive 10,4 cm så blir avståndet centrum-till-centrum 15,95 cm när de monteras kant mot kant. En halv millimeter tillgodo på idealvärdet! LTS-högtalarnas konstruktionsarbete är verkligen förföljt av idel tur.

Detta om teorierna, avvägningarna och uträkningarna bakom LTS-högtalarna. Nu till själva bygget!

"...Han var morfar till barnen jag passade, och han var död redan då."

Marie Burman (Pikko Bu.)