radio & television En tidning från Specialtidningsförlaget 1979 nr 10 Årgång 51

Audio Tronics CM 3/CM 2-högtalare: Hur en specialljudkälla utvecklas Del 1

Fig 1. Artikelförf och CM 3, Mk I (ett baselement). Konstruktionen omarbetades och försågs i den färdiga versionen med två baselement. Se även fig 6.

○ CM-högtalarna representerar något ganska ovanligt i flera avseenden. De är patentsökta och har konstruerats av ing Bo Bengtsson, som 1968 startade Uppsalafirman Audio-Tronic.
○ Utlandslansering förestår inom kort, bl a i USA. Firman sysslar numera enbart med produktutveckling och marknadsföring.
○ I ett par avsnitt berättar Bo Bengtsson om utgångsläget för konstruktionen och vilka vägar som valdes för den slutliga CM 3 samt efterföljarna CM 2 och CM 1 samt det nya, direktdrivna elektrostatsystemet E.S.T.

av *Bo Bengtsson*

■■ Tidningen *Radio & Televisions* chefredaktör har gett mig förmånen att för RT:s läsare redogöra för filosofin bakom mitt företag **Audio-Tronics** högtalare *CM 3* samt uppföljarna *CM 2* resp *CM 1*. Jag har därför tagit tillfället i akt att i ett par avsnitt berätta om den för oss på Audio-Tronic så spännande vidareutvecklingen av projekt CM 3: nämligen CM3/E.S.T., där E.S.T. står för "*E*lectro*S*tatic *T*ransducer".

Den förmån som jag nyss påpekade att Ulf gett mig har jag varit angelägen om att inte missbruka. Om någon på sina ställen tycker att artikeln verkar vara någon form av reklam, vill jag med skärpa påpeka att detta absolut inte varit meningen. Men att undandra läsaren de viktigaste poängerna med CM-högtalarna skulle vara lika med att göra informationen ointressant. Det är ju trots allt produktutveckling det handlar om, och det som enligt min uppfattning är själva poängen med CM-högtalarna anser jag inte läsekretsen kan lämnas i ovisshet om.

En syntes av allt bra . . .

Upprinnelsen till "projekt CM 3" daterar sig till 1970, då Audio-Tronic var en tämligen exklusiv ljudbutik för verkligt "tung" hi fi i Uppsala. Som så många andra kom vi att irriteras över de ofta grava ofullkomligheter som kännetecknar s k hi fi-högtalare. Tanken att försöka kombinera de bästa egenskaperna hos de högtalare vilkas klangliga egenskaper uppfattades som goda av mig och min dåvarande kollega i ett eget högtalarsystem växte mer och mer. Det hela konkretiserade sig i början av 70-talet på det sättet, att jag sålde min andel i rörelsen men behöll företagslokalerna för att i dessa fullfölja målsättningen.

För att göra en lång historia kort: Det kom under årens lopp att utkristalliseras två högtalarsystem, från vilka vi kunde få en verkligt god ljudåtergivning, även om båda hade i vårt tycke bristfälliga egenskaper i vissa avseenden.

Högtalarna ifråga var **Quads** elektrostathögtalare (17) samt **IMF** *Monitor TLS 80* (6). Se *fig 7* och *8*.

På elektrostatens pluskonto registrerades en enastående upplösning, speciellt i mellanregistret. Ljudet hade en pregnans som tilltalade, samtidigt som elektrostathögtalaren hade en egenskap som vi inte hade hört någon annan högtalare besitta, nämligen *ljudbild*, denna svårdefinierade egenskap som gör ljudupplevelsen så magnifik och med en känsla av att de på programmaterialet medverkande finns *i rummet* mellan lyssnaren och högtalaren, väl definierat, och detta i tre dimensioner, alltså även i djupled.

Det var min då bestämda uppfattning att Quads elektrostatiska högtalare var en av de ytterligt få som verkligen kunde ge *stereofonisk* information och inte enbart det vi kom att kalla "två-kanal-mono", d v s vänster—höger-orientering.

Men inte heller denna högtalare var helt invändningsfri. På minussidan kunde noteras en relativt klen (men ren!) basåtergivning, samtidigt som effekttålighet och spridning lämnade en del att önska. Men som sagt, när det gällde ljudbild och mellanregisteråtergivning var elektrostathögtalarna nog oslagbara.

IMF Monitor: Det är ingen större överdrift att påstå att denna ljudledningshögtalare inledde en ny epok vad beträffar basåtergivning hos hi fi-högtalare. Vi fick de första exemplaren till affären omkring 1970 från **Septon Electronics** i Göteborg, som var den dåvarande importören.

Ljudet ur dessa högtalare var en upplevelse. Deras styrka låg i djup-basområdet. Återgivningen av de allra lägsta frekvenserna var mäktig, massiv och fri från allt vad lådljud hette.

Här hade vi nu två förstklassiga referenssystem, som på sätt och vis kompletterade varandra egenskapsmässigt, och med utgångspunkt i detta bestämde jag att försöka ta fram dessa båda högtalarsystems bästa egenskaper i ett alldeles eget system. Projekt CM 3 hade startat!

Om jag då hade vetat att denna föresats till dato skulle komma att kosta mig ca 18 000 arbetstimmar och 50 000 kr i investerat kapital, är det väl tvivelaktigt om jag hade gett mig in i leken . . .

forts på sid 19

Hemligheten bakom Quad ELS

Alltnog. Parallellt med studierna bedrev jag under åren 1970–76 ett intensivt arbete med att försöka komma underfund med hur en högtalare med dessa önskvärda kvalifikationer skulle vara utformad.

För att få kunskap om detta gällde det att bl a få svar på frågan varför Quad-elektrostaten lät så "öppen" och ljudbildtekniskt riktig.

Då det av praktiska och tillverkningstekniska skäl var uteslutet att elektrostatelement skulle komma till användning i CM 3, prövade jag mig fram genom att först testa en mängd filterlösningar av olika branthetsgrader i en 4-vägskonfiguration tillsammans med ett stort antal "dome"-system av olika fabrikat.

Att denna uppgift från början var dömd att misslyckas om alla krav på ljudkvalitet enligt målsättningen skulle uppfyllas, visste jag inte just då, men i ljuset av vad som framkommit i dagens läge om hur viktigt det är med *korrekta* fasvinklar vid delningsfrekvenserna, respektive vilken omsorg som måste läggas ned på löptidkompensering etc, är det knappast förvånande att försöken ej motsvarade förväntningarna. Det är alltså här viktigt att poängtera att en "rak" frekvensgång i sig inte är någon garanti för ett lyckat resultat.

Att dome-system dessutom är behäftade med olika problem, där bl a "ringningar" p g a otillfredsställande dämpning är ett av de allvarligaste, gör inte saken bättre.

Nåväl, försöken fortsatte med dome-diskanter; först i 3-vägskonfiguration (med samma resultat som 4-vägsförsöken); därefter i 2-vägsutförande.

Nu började någonting positivt att hända. Visserligen stötte jag vid 2-vägsförsöken på nya problem som "svackor" i mellanregistret nivåmässigt sett och dessutom i vissa fall ringningar eller s k konuppbrytningar i bashögtalarna, men nu började man äntligen kunna skönja något som påminde om ljudbild, modell bättre. Vad kunde detta bero på?

Det visade sig att örat uppenbarligen reagerar häftigare på de abrupta fasvridningar som uppstår vid övergång från ett element till ett annat i ett system med flera än två element (där varje element förutsätts arbeta i var sitt tonområde), och detta i synnerhet om branta filterlösningar tillgrips.

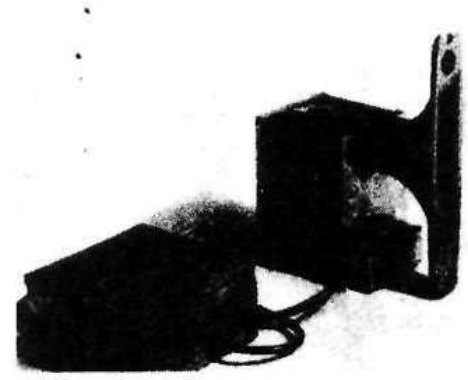
Det här var uppmuntrande, och resonemanget överensstämde väl med teorier från andra konstruktörer.

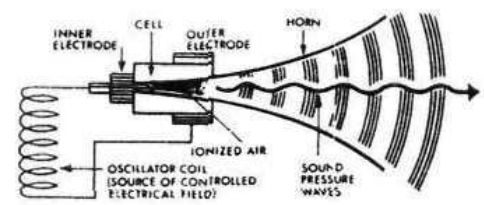
Vi har nu kommit fram till det ögonblick då jag genom min vän *Göran Mårds* försorg kom i besittning av ett papper från *AES* (11, 12) som hade **Bang & Olufsens** ingenjörer *S K Pramanik* och *E Baekgaard* som upphovsmän, och där man ingående beskrev hur man på B & O hade gått tillväga för att konstruera ett högtalarsystem som var så pass faslinjärt att det kunde reproducera en inmatad 4-kantvåg, visserligen med kraftiga ringningar (p g a att man

Fig 2. Närbild av bashögtalarna i CM 3.

använde dome-diskanter?), – men ändå.

B & O hade vid sina försök kartlagt de fasvridningar man får i passiva delningsfilter av första, andra och tredje ordningen. Deras slutsats var att den enda filterlösning som icke gav oönskade fasvridningar var första ordningens *Butterworth*-filter samt "Quasi 2nd crossover (6 dB/oct)", – *men*, sa man, denna lösning är i praktiken omöjlig att använda p g a ofullkomligheter hos (påstod man) även de bästa av dagens högtalarelement. B & O valde därför en s k "filler driver"-lösning (kompensationslänk), i vilken man matar in en signal som motverkar högre ordningars filterlösningars fasvridningsproblem vid delningsfrekvenserna, varvid man alltså på så sätt säger sig korrigera fasfelen att nettoresultatet blir ett högtalarsystem kapabelt att reproducera en kantvåg.





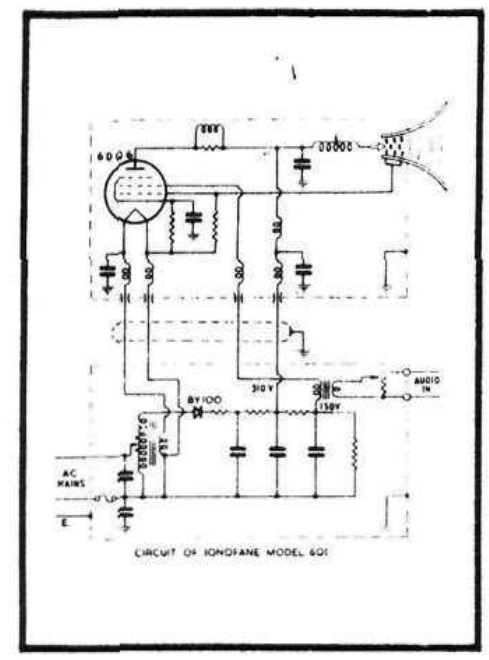


Fig 3. Från Fane Acoustics i England levererades till för en tid sedan ovanstående membranlösa diskanthorn, som arbetar helt elektriskt.

Detta var i mitt tycke något av det intressantaste som hänt på länge inom akustikforskningen, och jag lyckades snabbt uppbringa ett par tidiga exemplar av dessa BO-högtalare för test och jämförelse med Quad-elektrostaterna.

Det visade sig vid ett lyssningstest att det fanns (visserligen avlägsna) men dock likheter mellan ljudbilderna hos BO-högtalarna och Quad-elektrostaterna. Intressant! Elektrostaterna har alla "element" i samma plan och använder 1:a ordningens filterlösning, medan BO utnyttjar tekniken med löptidkorrigerade högtalarelement samt högre ordningars filterlösning med faskompenserande "filler driver".

Nu började pusselbitarna ramla på plats.

Principer för konstruktionen

Principen för projekt CM 3 var klar: Det gällde att finna verkligt högvärdiga element, med vilkas hjälp det skulle gå att konstruera fram en ljudledningshögtalare i form av ett 2-vägssystem med ett icke fasvridande delningsfilter. Systemet skulle dessutom klara den hart när omöjliga uppgiften att reproducera en inmatad kantvåg snyggare än någon högtalare dittills klarat av.

Till hjälp vid laborationerna som ledde fram till denna slutsats hade jag en högtalarlåda av ljudledningstyp, där man med en typ av universalfäste snabbt kunde skifta mellan en mångfald bashögtalare av skiftande fabrikat. Alla baselement var i 8-tumsklassen.

Att det skulle vara just 8 tum i basen stod klart från början och det av flera skäl, av vilka några förtjänar att nämnas:

1) Utbudet av element med de mest skiftande egenskaper är mycket stort, vilket förenklar labbarbetet. (Olika *Bl*-faktor etc.)

2) Större element skulle göra ljudledningshöljet alltför omfångsrikt och svårplacerat.

3) I ett 2-vägssystem ställs det oerhörda krav på baselementets återgivningsegenskaper, allra helst i mellanregistret, och 8 tum torde härvidlag vara största möjliga format om elementet skall kunna arbeta tillfredsställande.

Nu kan man ju fråga sig varför jag inte tillvaratog BO:s koncept med kompensationslänken och branta filter, vilket ju rent automatiskt minskar de krav man måste ställa på själva elementen i frekvensgångshänseende.

Svaret blir: *1)* BO tog patent på sin lösning!

2) Det var min fasta övertygelse, att om problemet gick att lösa på det sätt (1:a ordningens filter) som alla ansåg "omöjligt", skulle resultatet kunna komma att överträffa alla tidigare högtalarkonstruktioner i de flesta avseenden.

Nu påbörjades en omfattande period med utvärdering av baselement, dels med mätningar, dels med långvariga lyssningstester på

forts på sid 20

musikmaterial samt olika typer av brus.

Avlyssning av inspelade applåder från olika skivor visade sig vara en effektiv metod att konstatera om baselementen hade tendenser till konuppbrytningar vid högre frekvenser.

Till min förvåning visade det sig, att baselement med talspolebobiner av ren cellulosa- eller aluminiumtyp ställde till med bekymmer vid delningsfrekvensen p g a resonansfenomen.

Samma sak gällde alla bashögtalarelement med konen tillverkad av cellulosabaserade material, och detta oavsett fabrikat och/eller tjockleken på själva konen. Det blev hela tiden variationer på samma tema, d v s resonansproblem.

I själva verket testades icke mindre än ett 40-tal olika element av skiftande fabrikat plus rena specialbyggen från europeiska fabriker. Resultatet var hela tiden lika nedslående, tills . . .

"Den enda möjliga bashögtalaren"

I England hade i början av 1960-talet vid **BBC**:s forskningsavdelning tillsatts en grupp tekniker under ledning av en dynamisk chefkonstruktör vid namn *Harwood*.

Teamets uppgift gick ut på att ta fram en ny typ av bashögtalare, som inte i någon nämnvärd omfattning skulle vara behäftad med de resonansproblem som vidlät "cellulosabaserade" kolleger.

Efter många "om" och "men" kom man fram till en lösning som visade sig hålla. Konen tillverkades av ett helt nytt plastmaterial, benämnt *Bextrene*, ett material som – skulle det komma att visa sig – var totalt överlägset alla dittills gängse konmaterial vad beträffar rigiditet och frihet från konuppbrytningar. Man gjorde även själva talspolebobinen i ett resonansfattigt material. Resultatet blev ett 8-tumselement som kom att tillverkas på licens av andra företag, och det är en vidareutveckling av detta element som sitter i CM 3-orna (5, 8, 9).

Elementet kännetecknas av en tung, hyperboliskt utformad plastkon som dopats med en specialsubstans, vilken ytterligare reducerar tendensen till konuppbrytningar i det övre registret, samtidigt som elementet har en mycket låg egenresonans med ett ganska högt *Q*-värde – allt detta egenskaper som är synnerligen önskvärda när elementet skall placeras i en ljudledning. Se *fig 2*.

När nu bashögtalarproblemet hade lösts, gällde det att optimera ljudledningsdimensionerna så, att belastningsvillkoren blev de gynnsammaste för just det här högtalarelementet (2, 3, 7).

Denna process tog ca fem månader samt krävde 10-talet prototyplådor med varierande utformning av tvärsnittsyta och dämpning, samt prov med olika material i höljet (10).

Det visade sig, att det gick att få fram ett bassystem som i *djup* väl kunde mäta sig med den stora IMF-högtalaren, men till skillnad från den sistnämndas i IMF-utförandet något långsamma och för mjuka och odistinkta lågbasåtergivning blev basen från CM 3-prototypen betydligt fastare och renare.

I likhet med den i ljudledningssammanhang välkände dr *Baileys* undersökningar om ståendevågbildningar och andra resonansproblem i samband med ljudledningshögtalare kom jag under arbetets gång fram till att återgivningen blev ännu friare från övre bas- och mellanregisterkolorering om pipan fick en osymmetrisk utformning där ingen innervägg var parallell med någon annan.

Diskantsystemet

Som framgått i början av den här redogörelsen hade jag inga planer på att använda elektrostatsystem i diskantdelen på CM 3. Utbudet på marknaden är synnerligen begränsat och problemen med högspänning etc är svårlösta från *S*-märkningssynpunkt.

Då erfarenheterna från ett 30-tal olika "dome"-diskantsystem heller inte var särskilt inspirerande, började jag alltså se mig om efter alternativa lösningar.

Intresset kom därvid temporärt att fokuseras på ett diskanthorn från **Fane Acoustics** i England, se *fig 3*.

Detta horn konstruerades ursprungligen av en herre vid namn *Siegfried Klein*, vilken tog världspatent på idén, varefter Fane kopplades in. Under det senare utvecklingsarbetet gjordes ett flertal förbättringar, varefter hornet 1965 premiärvisades på den brittiska motsvarigheten till vår hi fi-mässa, d v s *Audio Fair*.

Det är ingen överdrift att påstå, att det här hornet gjorde stor sensation vid premiärvisningen/lyssningen, ty det arbetar helt och hållet utan rörligt membran!

Principen bygger på alstrandet av en mycket het (storleksordningen 500 grader Celsius) joniserad luft i ett rör av kvarts, vilket utgör halsen i ett exponentialhorn. Joniseringen åstadkoms med en högfrekvensoscillator som arbetar på 27 MHz och som är kopplad till en elektrod i kvartsröret.

Uppgiven frekvensgång: 3 kHz–30 kHz inom 2 dB med -3 dB-fallet vid 50 kHz. Impedans 15 ohm, huvudsakligen resistiv.

Eftersom hornet saknar rörliga delar är transientåtergivningen enorm. Systemet är fritt från färgning och det kan inte köras sönder. Om oscillatorröret övermoduleras, får man endast harmonisk distorsion som resultat.

Det visade sig emellertid vid mina förfrågningar till Fane att man tagit detta horn ur produktionen, dels p g a att tillverkningskostnaden blev för hög, och dels p g a att man fick problem med rätt kraftig ozondoft i rummet under spelning med dessa system!

Tester av det enda exemplar jag kom över bekräftade till fullo hornets enastående egenskaper. Jag har behållit det som referenssystem, och hornet kom att visa sig värdefullt under de därpå följande försöken med andra typer av diskantåtergivare.

Flera typer av konventionella horn provades, men samtliga befanns behäftade med grova "distorsionsbefrämjande" egenskaper som trattkolorering etc.

Om hur ett bandhorn blev lösningen berättas i nästa avsnitt. ■

radio & television En tidning från Specialtidningsförlaget 1979 nr 11 Årgång 51

Audio-Tronics CM 3/ CM 2-högtalare: Hur en specialljudkälla utvecklats Del 2

I förra numret introducerade vi Bo Bengtsson och Uppsalaföretaget Audio-Tronics, platsen för konstruktionen av en intressant högtalare. Det här avsnittet tar upp egenskaperna hos bandhornselementet, som kom att spela en viktig roll i arbetet. Men huvudparten ägnas åt en diskussion om systemval och de för- resp nackdelar som följer med de olika principerna. Ljudledningslösningen – icke obekant för RT-läsarna – befanns överlägsen.

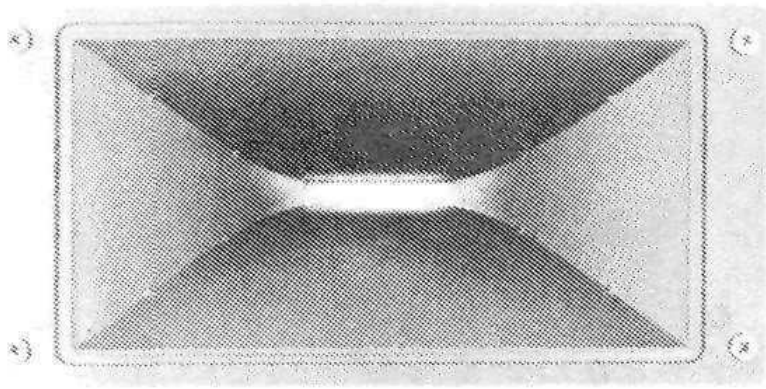


Fig 4. Närbild av det i texten omtalade bandhornet som användes i CM3.

Av Bo Bengtsson

■■ Det legendariska *Ribbon*-hornet! Detta ultrasnabba sk bandhorn kom att bli den perfekta lösningen för CM3. Hornet konstruerades av dr *Stanley Kelly* (England *igen!*), och detta horn är fortfarande så överlägset, att många högtalarfabrikanter (av element) använder det som referenssystem när de konstruerar egna vanliga diskantelement. Se *fig 4*.

Arbetsprincipen är lika enkel som genial: I ett starkt magnetfält har man spänt in ett ytterligt tunt band av ren aluminium, ca 6 my tjockt, med en längd av 60 mm och en bredd på 9 mm. Detta band är både "talspole" och membran på samma gång! Distorsionen är oerhört låg, ja i praktiken visade det sig att band-hornet *låter* precis lika bra som det membranlösa Fane-hornet!

Inget annat diskantsystem som testats har kommit ens i närheten av detta.

Bandhornet blev lösningen

Bandhornet har en extremt linjär frekvensgång, men det kanske viktigaste av allt är att förstärkare och delningsfilter "ser" hornet som en praktiskt taget helt resistiv last.

Detta horn, tillsammans med Bextrene-bashögtalarna, möjliggjorde framtagandet av den "omöjliga" högtalaren, dvs en faslinjär 2-väghögtalare med mycket goda återgivningsegenskaper.

Vi är nu framme vid den första reella varianten av det som skulle komma att bli CM3. En liten sk nollserie av denna CM2-prototyp (CM2 eftersom den bara hade *ett* bashögtalarelement), – byggdes och såldes praktiskt taget innan limmet hade torkat.

CM2 blir CM3

Emellertid var jag inte nöjd med resultatet ännu, eftersom CM2:s prototyp, även om den *lät* bra, inte nöjaktigt kunde reproducera en inmatad kantvåg.

Arbetet fortskred, och resultatet konkretiserades i form av CM3, dvs en mättekniskt omarbetad och med *två* baselement försedd ljudledningshögtalare. – Varför det kom att bli dubbla baselement tar jag upp längre fram i texten.

Efter omkonstruktion av filterlösningar och efter löptidkorrigering av diskanthornet kom så den dag då oscilloskopskärmen visade den troligtvis bästa kantvåg som producerats dittills av någon högtalare*, och detta steglöst vid godtycklig frekvens inom området 300 Hz – 2 500 Hz, se *fig 5* och *6*.

Faslinjär så det hörs!

Hur låter nu CM3? Ja, lyssningsupplevelser och ljudintryck är alltid svåra att verbalisera, men långvariga jämförande tester mellan CM3, IMF Monitor TLS 80 samt Quads elektrostat har visat, att CM3:s basåtergivning är fastare och renare än IMF Monitor samt att CM3:s mellan- och diskantregister är fullt i klass med Quad-elektrostaternas.

Dessutom är CM3:s ljudbild mer utpräglad och bättre definierad än Quads, vilket sammanhänger med CM3:s förmåga att reproducera kantvåg, något som Quads elektrostater inte nöjaktigt klarar av, beroende på att drivtransformatorn i elektrostaterna fasvrider inmatad signal i vissa frekvensområden.

Målsättningen med CM3 får anses nöjaktigt uppfylld, såväl i teori som praktik, i det att här skapats en i möjligaste mån kompromisslös produkt som fått betyget "med utmärkt beröm godkänd", från såväl kritiska "guldöron" som från fackpressen och ljudbutikerna. (15, 16.) ■

*E.S.T.-systemet undantaget!

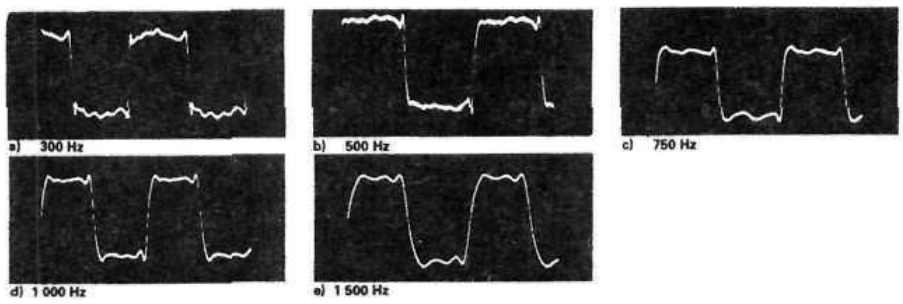


Fig 5. Under konstruktionsarbetet på CM3 lades stor möda ner på att högtalaren skulle ha goda kantvågsåtergivningsegenskaper. Här ses resultatet vid fem godtyckligt valda frekvenser. Mikrofonavstånd 1 m. Ljudtryck 96 dB axiellt.

Fig 6. Elementgeometri och bestyckning hos den slutliga versionen av CM3 framgår av denna bild.

forts på sid 73

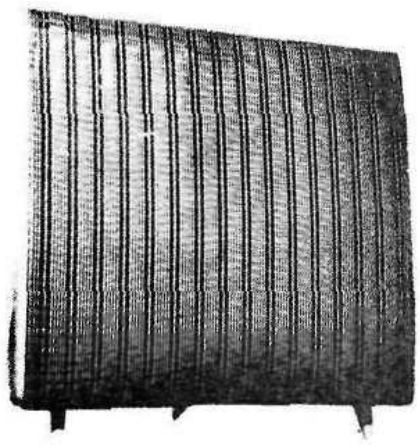


Fig 7. En klassisk referenshögtalare Quad ELS, vilken tjänstgjorde som referenshögtalare under utvecklingsarbetet med CM3.

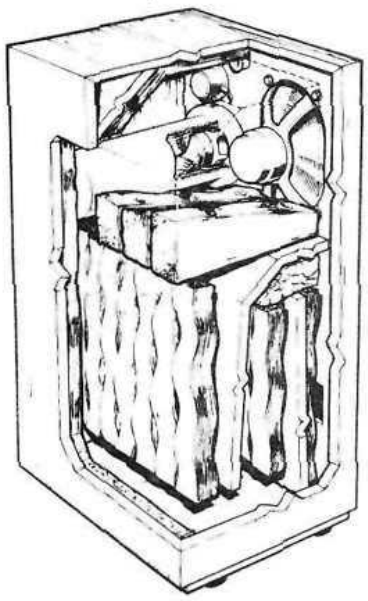


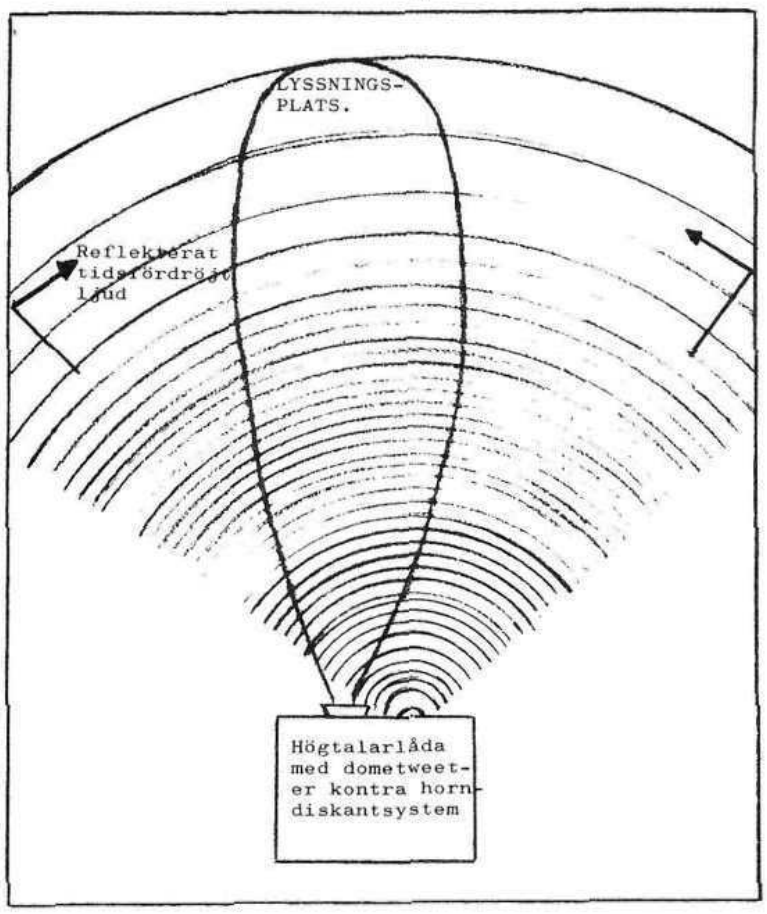
Fig 8. Referens nr 2 var IMF:s ljudledningshögtalare TLS80, som här visas i genomskärning. Märk särskilt pipans koniska utformning. Det var den här högtalaren som fokuserade vårt intresse på ljudledningsprincipen med dess goda basåtergivningsegenskaper.

Varför ljudledning? En systemdiskussion om för- och nackdelar

Vilka faktorer som blev vägledande ifråga om högtalarens systemlösning – basreflexlåda, slutet hölje eller horn eller ljudledning – analyseras här liksom bl a filtrets egenskaper.

■■ Då det ljudtryck (speciellt aktuellt i basområdet), som en högtalare kan alstra är proportionellt mot den luftmängd som högtalaren pumpar fram och tillbaka, var det i förf:s fall av största intresse att tillvarata den energi som strålar från bashögtalarelementens baksida, i synnerhet som denna energi, rätt tillvaratagen och utnyttjad, i fallet med ljudledningshögtalare fungerar som dels amplitudbegränsare (genom att öka strålningsdämpningen, vilket alltså reducerar konens utslag för en given inmatad effekt i basområdet, vilket i sin tur minskar risken för Doppler-distorsion etc), dels kan utsträcka frekvensområdet nedåt högst väsentligt, jämfört med en vanlig sluten låda.

Fig 9. Skillnaden i ljuddistribution mellan en dome-tweeter och ett horn påverkar i högsta grad ljudbildupplevelsen. Se övrigt i texten.



► Det var och är min bestämda uppfattning att just ljudledningsprincipen är den mest lyckade därvidlag. (1).

► Ett *exponentialhorn* med samma nedre gränsfrekvens som CM3, skulle få sådana dimensioner att inte ens ett rejält vardagsrum skulle räcka till.

► I en *basreflexlåda* med samma nedre gränsfrekvens skulle strålningsresistansen avta för brant, med risk för "bottning" eller "pumpning" vid avspelning av exempelvis buktiga eller oplana skivor, såvida inte ett brant högpassfilter ligger inkopplat. För att få hyfsad verkningsgrad ur en basreflexlåda måste man vara sparsam med dämpmaterial, vilket i det här fallet skulle medföra risk för färgning av ljudet i mellanregistret genom inre reflexer i lådan, eftersom CM3 är ett 2-vägsystem.

► En *sluten* låda med samma nedre gränsfrekvens skulle få alltför låg strålningsdämpning, vilket i klartext innebär risk för ett för högt *Q*-värde vid resonansfrekvensen (i synnerhet med de här aktuella elementen av lågresonant, högkompliant typ), samt att det i samband med detta inträffar risk för "bottning" av konerna vid höga volymer. Vidare kan man få problem med Doppler-distorsion.

Den som till äventyrs vill fördjupa sig i ämnet olika typer av högtalarhöljen som akustisk belastning av elektrodynamiska högtalarelement, kan ta del av vad förf skrivit i ämnet under rubriken "Ljud eller oljud, – det handlar om högtalare"; tidningen *Stereo Hi-Fi*, (numera *Hi-Fi & Musik*), *1974 nr 10, 11* och *12* samt *1975 nr 1, 2, 3, 4, 5* och *11*.

Hur fungerar ljudledningen?

Den här lådtypen, vars funktionssätt påminner om orgelpipans, kan dölja sig bakom olika namn och beteckningar som "Acoustic Line", "Transmission Line" eller "Labyrinthögtalare" etc, men bakom dessa namn och specialversioner hittar man förr eller senare grundprincipen för tekniken, som är följande:

I sin enklaste utformning består dessa högtalarlådor/högtalarsystem av ett högtalarelement, vars baksida "ser" in i ett rör eller en pipa, vars längd bl a bestäms av den önskade nedre gränsfrekvensen för högtalarsystemet.

Om pipan har längden lika med en kvarts våglängd för exempelvis den frekvens som är lika med bashögtalarelementets egenresonansfrekvens, kan man tillgodogöra sig pipans "antiresonanta" egenskaper, d v s man får en stark dämpning av membranrörelserna just där det är som mest önskvärt.

Detta gäller vid och omkring systemresonansfrekvensen, vilket i sin tur beror på att högtalarelementet "ser" en hög impedans i högtalaränden av pipan, (tryckmaximum), medan luften "ser" en låg impedans i den andra änden, (hastighetsmaximum).

Arbetssättet

Vi tänker oss, att högtalarelementet i pipans slutna ände svänger kontinuerligt vid en frekvens, som är lika med systemresonansfrekvensen, vid vilken pipans längd är lika med en kvarts våglängd för den frekvensen.

Om vi tankemässigt "låser" konens rörelser i det ögonblick då konen har nått sitt bottenläge på väg IN i pipan, händer följande:

Luften omedelbart bakom högtalarelementet komprimeras och drivs således iväg mot den öppna röränden, dit den når en kvarts våglängd senare.

Högtalarmembranet har under tiden återgått till nolläget. Den komprimerade luften har därvid drivits ut i fria luften, där den skickar tillbaka ett undertryck mot högtalarmembranet. Att returluften har undertryck kan enklast förklaras på så sätt, att tryckvågen reflekteras vid öppningen och återvänder fasförskjuten 180 grader. När detta undertryck når högtalarmembranet en kvarts våglängd senare, finner den högtalarmembranet när det befinner sig i sitt maxläge UTÅT, varvid undertrycket strävar efter att dra in högtalarmembranet och reducerar således membranets amplitud.

Det här svängningsförloppet, som är kontinuerligt, resulterar i en lägre konamplitud för en given inmatad effekt. Den huvudsakliga basstrålningen ombesörjes av den öppna pipändan. Den amplitudreducerande effekten hos transmissionsledningen är av väsentlig betydelse, eftersom den resulterar i ökad effekttålighet, (gränsen sätts av talspolens smältning), alternativt lägre distorsion för en given inmatad effekt. (4).

Problemet med den raka, avstämda och odämpade pipan är att den strålar effektivt endast vid de våglängder som utgör udda multiplar av en kvarts våglängd.

Ett annat problem är att man inte önskar någon strålningsassistans från pipan i de högre re-

forts på sid 74

gistren och detta p g a fasskillnader, (löptidskillnader) mellan den utstrålade effekten från pipöppningen och elementet, vilket resulterar i toppar resp "dippar" i frekvensgången.

Den gängse lösningen på det här problemet är att antingen ge pipan en svagt konisk utformning, (avsmalnande mot den öppna änden), vilket tyvärr försämrar kopplingen till den omgivande luften inuti pipan (p g a att pipans tvärsnittsyta omedelbart bakom högtalarelementet då måste göras större än elementets), vilket gör att elementet inte "svarar" lika snabbt som det borde = sämre transientåtergivning, – och/eller fyller man lådans inre med en väl avvägd mängd dämpmaterial.

I CM3 har problemet lösts på ett effektivare sätt, och principen är patentsökt: CM3 har två bashögtalarelement sittande i linje under varandra, vilket innebär att elementen "ser" olika ljudledningslängder, varvid eventuella "peakar" och "dippar" dels reduceras kraftigt i nivå och dels sprids ut över ett större frekvensområde, varvid de är avsevärt mycket svårare att uppfatta för örat.

Bortsett från att denna princip med dubbla bashögtalare i linje gör systemet mer effekttåligt, åtgår det dessutom betydligt mindre mängd dämpmaterial, vilket innebär bättre verkningsgrad och avsevärt förbättrade transientegenskaper, tack vare den effektivare kopplingen till luften i pipan.

Delningsfiltret

I CM3 används ett modifierat första ordningens *Butterworth*-filter, vilket tillsammans med faskorrigeringslänkar i basdelen och löptidkorrigering av diskantsystemet resulterar i att CM3 nära nog korrekt reproducerar en inmatad kantvåg och detta steglöst vid godtycklig frekvens inom frekvensintervallet 300 Hz–2 500 Hz. Fasvridningen är bevisligen ytterligt låg, samtidigt som delningsfiltrets egendistorsion är helt försumbar. Filterdrosslarnas värden är *icke* de högsta tänkbara, d v s *Q*-värdet.

För höga *Q*-värden har i ljuset av vad som på sistone framkommit visat sig kunna inverka menligt på ljudkvaliteten, speciellt i de fall då förstärkare med extremt hög dämpfaktor används. *Q*-värdet har i stället valts med utgångspunkt i bästa möjliga kantvågsvar och lyssningsintryck, vilket i det här fallet är samma sak. (13, 14).

Vad kännetecknar den överlägsna ljudbilden?

Ljudet från *hornet* når lyssnarens öra *direkt*, nästan helt utan rumsreflexioner, nära nog oavsett rummets egenakustik. *Ljudnivån* är alltid korrekt och lyssnaren får perfekt transientinformation, eftersom nära nog hela signalnivån når lyssnarens öra som *direktinformation*. Detta ger en *ljudbild* med exceptionell närvarokänsla, eftersom all akustisk information kommer från programkällan utan några omvägar via tidförskjutna rumsreflexioner. Se *fig 9*.

Även om *ljudnivån* från dome-tweetern är korrekt vid samma lyssnarposition betyder ju detta, som framgår av vidstående skiss, att man bara får en bråkdel av informationen i form av direktljud, medan övervägande delen anländer tidfördröjd och fasförskjuten. Resultat: Mycket dålig ljudbild, eller ingen alls, d v s rena tvåkanalmonon!

Summering av det sagda:

Jämförd med konkurrenterna kan CM3 uppvisa följande fördelar:

1. Ultrasnabbt diskanthorn med belastningstekniskt resistiva egenskaper gynnar förstärkare som är känsliga för induktiva och kapacitiva laster. Det tunna membranet, som samtidigt är talspole, ger bandhornet en rörlig massa som är mindre än 6 mg.

2. Hyperboliskt utformade basmembran i akustiskt "död" *Bextrene*-plast undertrycker effektivt ringningar och konuppbrytningar.

3. Dubbla baselement liggande i linje under varandra (patentsökt!) ger snabbare stigtid, jämnare frekvensgång, högre effekttålighet och lägre distorsion (under *SP*:s mätgräns!) samt eliminerar risken för Doppler-distorsion genom låga membranamplituder även vid mycket höga inmatade effekter.

4. 2-vägtekniken utan fasgångproblematiska mellanregisterelement resulterar i en mellanregisteråtergivning i bästa elektrostatklass men utan elektrostatens nackdelar (begränsad effekttålighet, behov av spänningsmatning, etc).

5. Faslinjära delningsfilter med helt försumbar distorsion eliminerar helt och hållet behovet av elektroniska delningsfilter.

6. Trots, (eller snarare tack vare), att CM3 är ett tvåvägssystem är högtalaren så faslinjär att den nära nog korrekt kan reproducera kantvågor inom frekvensintervallet 300 Hz till 2 500 Hz, vilket är fullt i klass med, eller rent av överträffar de bästa pick upers förmåga.

CM3 ger, korrekt placerade, nära nog hörtelefonkänsla i närvarohänseende. Exempel: Om lyssningspositionen utgör spetsen på en liksidig triangel, där triangelns sida understiger fyra meter, kan man exempelvis störas av ev skivknaster och knäppar i skivytan, som kommande icke från en punkt mellan högtalaren och lyssnaren, eller någonstans bakom högtalarna, utan låter som om de emanerar från en punkt inne i själva huvudet – mitt emellan öronen! En dylik ljudupplevelse förutsätter faslinjär vågtransmission, och denna egenskap finns hos CM3-orna.

7. Inga parallella ytor eller väggar i ljudledningen, vilket effektivt förhindrar ståendevåg-bildning.

8. Till skillnad från andra typer av höljen får ett baselement i en ljudledning en lägre systemresonansfrekvens än högtalarelementet har i fri luft (luften i pipan ger ett massatillskott), vilket ger eminenta lågbasegenskaper. *Forts. följer.* ■

Tekniska data enligt tillverkaren:

Arbetsprincip	2 st bas/mellanregisterelement i linje i en patentsökt ljudledning, plus 1 st bandhornelement i diskantområdet.
Delningsfrekvens	3 500 Hz
Frekvensomfång	22 Hz – 20 kHz ±3 dB
Verkningsgrad	0,3 %
Känslighet för 96 dB/1 m	1,2 W
Impedans	8 ohm
Effekttålighet	CM3 kan drivas med varje högklassig förstärkare på 30–250 watt *FTC*. Under 600 Hz tål högtalarna en *kontinuerlig* sinuseffekt om 50 W samt momentana toppeffekter på upp till 500 W.
Högtalarlåda	Tillverkad i högförtätad 22 mm spånskiva med korslagda inre ljudledningsväggar som ger god stadga mot vibrationer. Se även punkt nr 10 i litteraturreferenserna!
Överbelastningsskydd	Högtalarna är utrustade med helautomatiska överbelastningsskydd för diskantsystemen.
Mått h×b×d	1 040×405×385 mm.
Vikt	40 kg (43 kg i kartong).
Anslutning	Klämlist/*DIN*-kontakt
Finish (standard)	Valnöt, svartbetsad ek, antik-ek (brun).
Front	Mörkbrun eller svart skumfront. (Det sistnämnda på svartbetsad ek enbart.)
Garanti	Enligt *RR 74*.

(Om högtalarna drivs av en receiver eller tuner/förstärkare med urkopplingsbar brusspärr ("muting"), rekommenderas att mutingomkopplaren är aktiverad före tillslag av apparaten *samt* att volymkontrollen är neddragen. Alla högtalare är känsliga för och kan skadas av det "vita brus" som finns mellan stationerna på fm-bandet, speciellt om volymen är högt uppskruvad. Skador uppkomna på detta sätt täckes ej av garanti.)

LoudandProud
HIFIGOTEBORG.se
AUDIO
TRONIC
WANT TO RELAX TO BEAUTIFUL MUSIC
WELCOME
WE HAVE GOOD HIFI AT YOUR SERVICE
PLEASE WAIT HERE & A MEMBER OF OUR TEAM WILL BE WITH YOU SHORTLY.
Or press finger HERE