

# Stig Carlsson och Karl-Erik Ståhl – högtalarkonstruktörer

Utfrågare: Tore Hevrenng

Förra hösten hade Ljudtekniska Sällskapet i Stockholm två synnerligen intressanta möten med högtalare som tema. Först med Stig Carlsson och hans OA 51:or. Stig berättade och demonstrerade med sedvanlig elegans och grundlighet. Några veckor senare kom Karl-Erik Ståhl, släpande på inte bara sina A 4-14: han kopplade också upp hela den A/B-utrustning som beskrevs i MoL nr 2, 1982. Av den anledningen kom kanske själva högtalarna något i bakgrunden. Det var mycket tydligt att A/B-utrustningen intresserade kolossalt. Karl-Erik får nog finna sig i att avvara apparaturen vid ytterligare tillfällen.

## Att sprida HiFi-kunnande

När LTS har möten av den här typen är det bara att beklaga att inte alla medlemmar över hela landet kan vara med. Stig och Karl-Erik representerar var för sig och på skilda sätt det bästa i Sverige inom HiFi. Ingen kan bättre än dom själva tala om och för sina idéer och uppfattningar. Såsom skedde på mötena i höstas.

## Informellt möte med Stig och Karl-Erik

Följande minnesanteckningar från en något senare träff med Stig och Karl-Erik kan endast fungera som ett långt ifrån heltäckande plåster på såret för alla som inte kunde delta vid medlemsmötena. En dag i januari, då snön föll över Stockholm och även Skåne, träffades Karl-Erik, Stig, Larsgöran och undertecknad för, som det heter, informella överläggningar. Nu i efterhand kan det utan vidare konstateras att även en bandspelare borde varit med. Det hade gått åt fyra hela C90-band, men det hade varit värt pengarna.

## Att läsa artikeln

I det följande kallas Stig helt enkelt S och Karl-Erik KE medan utfrågaren representeras av T.

Avsnitt som är inskjutna efter intervjuvären står för undertecknads räkning. Jag har funnit det nödvändigt att på några ställen komma med kompletteringar till samtalet.

## Vad en högtalarkonstruktör bör känna till

Skrivaren av dessa rader har alltid tyckt att högtalare har en alldeles speciell charm genom den mångfald av discipliner som är inblandade och som en framgångsrik högtalarkonstruktör egentligen bör behärska. Akustik, elektronik, mekanik, strömningsteknik, matematik, hållfasthetslära, kanske till och med snickeri. Det finns ingen isolerad "högtalarteknik" och man skulle kunna tänka sig att högtalarkonstruktörer hade mycket skiftande bakgrund. De flesta som sysslar med högtalare tycks dock ha elektroteknik som utbildningsmässig plattform. Så också Stig och Karl-Erik.

## Utbildning

**T:** Varför tror ni högtalarkonstruktörer oftast har sin grundutbildning inom elektrotekniken?

**S:** Jag tror att kunskaper i teleteknik är nödvändiga för en rätt förståelse av de fysikaliska sambanden. På min tid hade vi en obligatorisk kurs i elektroakustik vid KTH — detta var i slutet av 40-talet.

**KE:** Jag har läst motsvarande kurs med samma föreläsare. Kursen är inte speciellt inriktad på högtalare, men ger en god grund.

## Litteratur

**T:** Litteratur som ni har haft speciell nytta av?

**S:** Olson kom då, mot 40-talets slut. Sedan kom Beraneks "Acoustics". Olson var den tråkige encyklopedisten, Beranek pedagogen. Före Beranek var högtalarteori långt ifrån färdigutvecklad. Tag till exempel basreflexhögtalare, man hade endast enkla recept för dimensioneringen. Jag var kanske den förste som angav en formel för ljudtrycket vid ljudans avstämningens frekvens relativt ljudtrycket vid medelhöga frekvenser som funktion av ingående parametrar. Det var 1953. "Acoustics" kom 1954. Jag visade hur tonkurvan kunde styras med elements dämpning: Jag har använt både negativ utresistans hos effektförstärkaren och akustisk resistans i form av skikt som ger luftfriktion för att dämpa konrörelsen.

## Thiele och Small

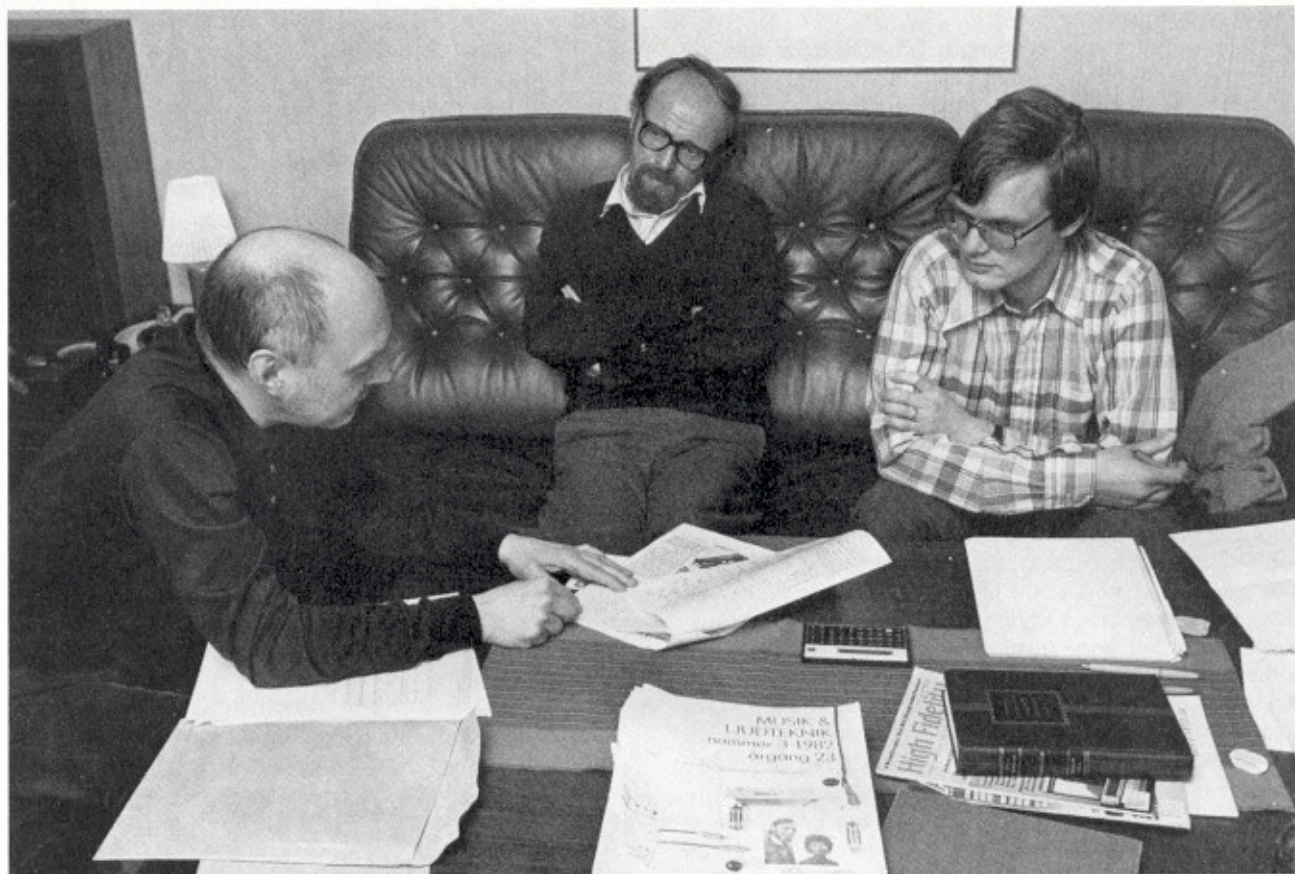
**T:** Senare litteratur, Thiele och Small? Numera är ju högtalare "Beräknade enligt Thiele", tidigare var det "Enligt Beranek".

**KE:** Thiele och ännu mera Small har ju systematiserat högtalarmatematiken och visat överensstämmelsen med filterteori. Jag använder inte deras formler men arbetar naturligtvis utifrån samma grunder. Analogischemat för ett högtalarelement är ju ganska enkelt, jag bygger på det efter behov. För till exempel mina 6:e ordningens system beräknar jag element- och ljudparametrar i en något utvidgad modell som även tar hänsyn till olika förluster. Jag arbetar direkt med analogischemat, programmerar på dator och kontrollerar att det blir som jag vill ha det.

## Ortoakustisk och Ace Bass

**T:** Stig, dina högtalare brukar ha prefixet OA, Ortoakustisk. Akustiskt Riktigt kan det väl översättas med. Hur kom benämningen till?

**S:** Ingen annan gjorde vad jag ansåg vara akustiskt riktiga högtalare så jag tyckte Ortoakustisk kunde vara en lämplig benämning på mina. Redan i slutet av 40-talet gjorde jag en konventionell Hifihögtalare med ett 15" Altec Lansing-element i en basreflexlåda. Senare fick jag från Svenska Högtalarfabriken ett diskantthorn som jag fäste i en taklampa. Hornet riktade jag mot det rumshörn där 15"-högtalaren stod. Då kom jag underfund med värdet av reflekterat diskantljud.



Ett illustert sällskap, samlat kring den stora — och eviga — frågan om hur man egentligen konstruerar högtalare. Från vänster ser vi Stig Carlsson, pionjär och vidareutvecklare, Tore Hevring, som skrivit åtskilligt om högtalare i MoL, samt Karl-Erik Ståhl, som representerar den nya generationen med välgrundade och framgångsrika konstruktioner.

### En kommentar

Stig utvecklar nu de idéer som har varit grundläggande för hans högtalarkonstruktioner. I bruksanvisningen till OA-51 står (i min översättning från originalets engelska): "En överföring som är oberoende av frekvensen, det vill säga att frekvenskurvan är rak från det ursprungliga ljudet fram till ljudet som det mottages av lyssnaren, är ett grundläggande villkor för varje försök att återskapa originalljudet. Carlssonhögtalarna är konstruerade för att ge i det närmaste rak frekvenskurva från påtryckt elektrisk spänning till det av lyssnaren mottagna ljudet i ett vanligt lyssningsrum".

### Högtalarens arbetsbetingelser

Om jag har förstått Stig rätt är "ett vanligt lyssningsrum" en väsentlig del av ovanstående meningar. En högtalare skall arbeta i ett rum med golv, väggar och tak. Antingen högtalarkonstruktören har skänkt detta den ringaste tanke eller ej kommer ljudet som lyssnaren uppfattar att bestå av en blandning av direktljud och reflekterat ljud. Det är sålunda fel att säga om en högtalare att den arbetar med direktljud, eller är direktstrålande som den vanliga termen lyder. Totalljudet i rummet innehåller alltid en del efterklangsljud som påverkar hörselintrycket. Högtalaren måste konstrueras så att efterklangsljudet får en rums-, tids- och frekvensfördelning som, med hänsyn tagen till örats olika spektralkänsligheter i olika infallsriktningar, tillsammans med det direkta ljudet ger en så frekvensoberoende totalöverföringsfunktion, från ljudet vid upptagningstillfället till ljudfältet på lyssnarplats, som möjligt.

### Fördelning av efterklangsljud

Det föregående ger ingen som helst antydning om hur efterklangsljudets fördelning skall se ut eller hur man

konstruerar en högtalare för att uppnå en given fördelning. Det är genom sina genomtänkta uppfattningar på dessa två punkter Stig Carlsson skiljer sig från flertalet övriga högtalarkonstruktörer.

### En linjär tonkurva — inte nödvändigt

Det bör kanske i sammanhanget påpekas att kravet på frekvensrak överföring inte är lika självklart när det gäller högtalare som för andra komponenter i återgivningskedjan. Anledningen är den att med två ljudkällor kan man aldrig exakt återskapa det ursprungliga tredimensionella ljudfältet. Man måste kompromissa. Och då kan i princip inträffa att en kompromiss som innebär en avvikelse från den rakast möjliga frekvensgången uppfattas som bättre. Som sagt, i princip. Men nu till Karl-Erik och Ejsbejen.

### ACE Bass-konstruktionen

**T:** ACE Bass-konstruktionen är väl Karl-Eriks väsentliga bidrag till högtalartekniken. Hur kom den till?

**KE:** Jag var redan tidigt medveten om hur elektriska komponenter såväl som mekaniska inverkar på frekvenssvaret. Så det var närliggande att försöka ersätta eller komplettera de mekaniska komponenterna med elektriska. Till att börja med försökte jag minska fjädringsstyvheten på elektrisk väg för att uppnå lägre resonansfrekvens, men fick stabilitetsproblem. I stället ökade jag den svängande massan och även styvhet och dämpning. Då fick jag dessutom en minskning av distorsionen eftersom mina elektriskt skapade parametrar var mer linjära än dom verkliga. Genom att införa negativ utresistans i basförstärkaren uppnår jag att de elektriska komponenterna i utimpedansen kretsmässigt direkt samverkar med de mekaniska, man tar bort effekten av talspolerresistansen. Det är inte så märkligt.

### Att mäta på högtalare

**T:** Vad säger ni om mätningar på högtalare som de presenteras i Hifipressen?

**S:** Det finns inget samband mellan mätningar i ekofritt rum och högtalarens tonkurva i användarrummet. Man får till exempel inte med förstärkningen som sker i basområdet genom reflexen från närliggande vägg och golv. Den vanlige konsumenten kan inte ha någon nytta av standardmätningar. Mätning enligt tyska DIN-normen är ännu mer vilseledande än en 0-graders mätning, eftersom högtalaren skall monteras infälld i en vägg. Mät-förfarandet kan dölja ett konstruktionsfel som borde ha åtgärdats av konstruktören.

**KE:** Men om du nu hade en högtalare och skulle försöka bedöma den med hjälp av mätningar, vilka mätningar skulle du göra? Själv skulle jag mäta i ekofritt rum, i olika riktningar. Tonkurva och distorsion vid olika ljudtryck. Att ange distorsion utan att ens tala om vid vilket ljudtryck man har mätt är ganska meningslöst. Dessa mätningar, kombinerat med hur elementen är placerade och riktade i förhållande till väggar och golv och var delningsfrekvenserna ligger, ger mig ganska god uppfattning om hur högtalaren kommer att låta i lyssningsrummet.

**S:** Jag skulle inte först och främst mäta, jag skulle använda mina ögon. Av erfarenhet lär man sig efterhand hur en högtalare skall se ut. Skulle jag mäta blev det i första hand i användarrummet. Jag vill redovisa både direktljudet och totalljudet. Högtalaren och omgivningen skall uppfattas som ett konglomerat som måste mätas sammantaget. Men annars är det väl ingen som mäter mer än jag. Inomhus och utomhus. Jag mäter tonkurva, fas och distorsion. Oftast är det distorsionen som skiljer en högtalare från en annan.

**KE:** Där håller jag inte med dig. Jag tror skillnader i frekvensgången ger olika högtalare deras karaktär.

**S:** Jag vidhåller nog att distorsionen är den viktiga parametern. Men högtalare har egenskaper som minskar vissa distorsionsformer. Matar man in två toner med närliggande frekvenser på en högtalare finner man att skillnadstonen, den i andra sammanhang mest framträdande intermodulationsfrekvensen, är kraftigt dämpad. Det kan visas med mätningar.

**KE:** Det är ganska naturligt, skillnadstonen ligger ju lågt i frekvens. Konamplituden måste öka med frekvensens kvadrat nedåt för konstant ljudtryck. Så i det masstyrda området har vi helt enkelt ett mekaniskt filter mot skillnadstonen.

### Inspelningsrummet i lyssningsrummet

**T:** I MoLT har Larsgöran skrivit om, i samband med recensionen av OA-51, att man upplever inspelningsrummets akustik bättre med en högtalare som arbetar med en stor andel reflekterat diskantljud, som OA-51. Kan Stig utveckla detta?

**S:** Jag upplever att det är så. Vi är ju vana att lyssna till musik i ett rum med tak, väggar och golv, inte ett död-dämpat rum. Jag kan inte lämna någon fysikalisk förklaring, men det förefaller som om väggreflexerna fungerar som en katalysator för hjärnan att tolka informationen om inspelningsrummet.

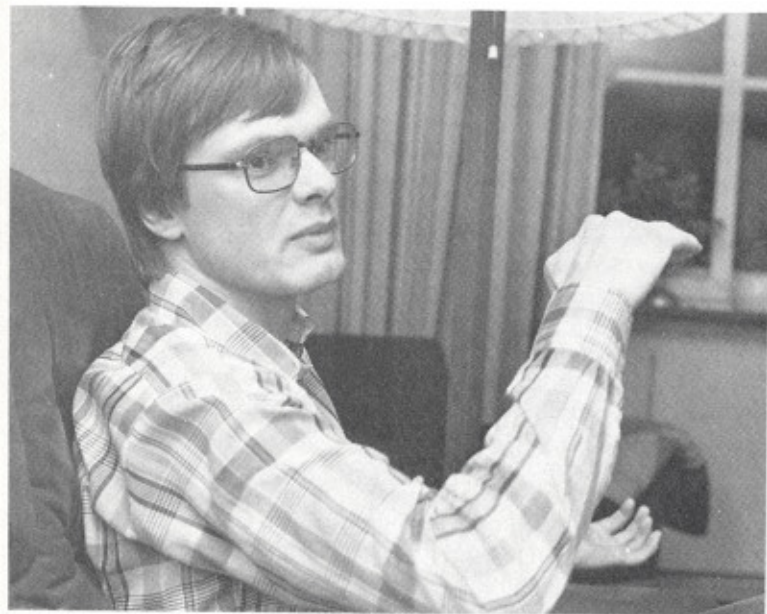
**KE:** Men informationen om inspelningsrummet måste ju ligga i programmaterialet. Jag skulle snarare föreställa mig att väggarna stör. Själv skulle jag egentligen helst vilja begränsa högtalarens strålningsvinkel så att de tidigaste reflexerna i mellanregister och diskant kunde begränsas effektivt. Samtidigt bör strålningsvinkeln vara lika för alla frekvenser för att både direktljudet och efterklangsljudet skall få rätt tonbalans. Ett svårt problem! Men jag ser inget som motsäger att till och med en violin skulle kunna återges verklighetstroget i ett död-dämpat rum.

**S:** Jag vill nog ha med väggreflexerna. Men det är i diskanten det är nödvändigt. I basen skall kvoten direktljud — reflekterat ljud vara så stor som möjligt. Därför måste baselementet placeras nära angränsande ytor så att det reflekterade ljudet kommer tidigt och i fas med direktljudet. Då uppfattas det som del av direktljudet. Även i mellanregistret skall kvoten direktljud — reflekterat ljud vara hög. Där skiljer sig mina senare konstruktioner från OA-5 och OA-6. Kom ihåg att dessa var gjorda först och främst för monolyssning. I tillägg till vad jag sagt om fördelningen mellan direkt- och reflekterat ljud är det av yttersta vikt att tonkurvan i lyssningsrummet är den samma för direktljudet som för totalljudet. Annars färgas ljudet. Detta är det inte alla som förstår.

**KE:** En högtalare kan ju låta annorlunda av många olika orsaker. Jag gjorde faktiskt för några år sedan en del försök för att utröna vad högtalare med mycket reflekterat ljud ger för lyssningsintryck.

Karl-Erik beskriver nu hur han kombinerade A4-14 med ett par S 2-7 liggande på toppen som "skvättburkar". En balanseringsenhet såg till att man kunde välja inom vilket frekvensområde och hur starkt det skulle "skvätta". A4-14-ljudet minskades motsvarande. Med en omkopplare kunde man växla mellan okorrigerade A4-14 och systemet med tillsatshögtalarna. Anordningen provades i hemmiljö hos ett antal OA-2212-ägare. Samtliga föredrog A4-14 utan skvättillsatsen som gjorde återgivningen diffus och medförde förlust av exakthet och skärpa.

En fråga om format — Karl-Erik visar . . .



## Engelsmännen och deras högtalare

Både Stig och Karl-Erik har utsatts för skrivelser i engelsk Hifipress som närmast kan tydas som oförstånd från skrivarnas sida. Hemska ord som "perverse" och "obscure" har man kunnat läsa.

**T:** Är det bara avundsjuka?

**S:** Man skall komma ihåg att i England har högtalarutveckling i det närmaste varit synonymt med forskningen vid BBC. BBC-resultaten har så att säga varit facit. Mina konstruktioner har inte mycket gemensamt med BBC-filosofin och har sålunda aldrig kunnat accepteras av engelsmännen.

**KE:** Engelska högtalare är i allmänhet gjorda för frifältsplacering, strålning i fyra pi. I många fall tycker jag engelska högtalare låter alldeles utmärkt när dom får arbeta under betingelser som dom är avsedda för. Själv föredrar jag faktiskt friplacering av en högtalare, men man skall ju leva med apparaten också. Det är enklare att göra en högtalare för en idealisk fyra pi-omgivning och få den att låta bra än att göra en väggplacerad högtalare för en idealisk vägg. Även den idealiska väggen är svårbemästrad.

## Elektrostatiska högtalare

**T:** QUAD-elektrostaterna då, även ni måste väl tycka att bättre finns inte?

**KE:** QUAD:arna är dipoler och följaktligen mycket känsliga för placeringen. Men rätt placerade i ett lämpligt rum tycker jag dom kan låta mycket bra.

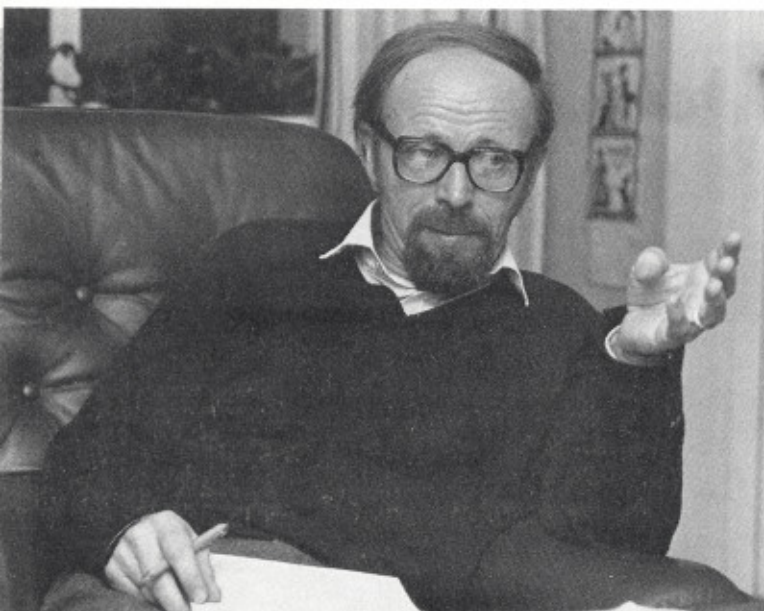
**S:** Elektrostaterna har en fördel, man kan hålla kvoten mellan direktljud och reflekterat ljud hög i mellanregistret. I övrigt tror jag inte på stora strålningsytor hos högtalare, riktverkan blir för utpräglad. Nya QUAD:en, ESL 63, fungerar heller inte så som Walker hävdar. Den skall ju producera sfäriska ljudvågor trots att ytan är plan. Elektrodena är koncentriska med fördröjningslänkar som skall kompensera det geometriska felet. I själva verket får man redan över några få kHz interferens mellan strålningen från olika delar av membranet. Det har mätts.

**KE:** Jag tror inte det beror på något fel i principen.

## Ljudledning och horn

**T:** En digression, ljudledning och horn, vad säger ni om sådana?

**S och KE:** Dom är för stora, helt enkelt.



...och Tore Hevrenng låter frågan gå vidare ...

## Kondensatorer och kablar igen

Läsare av MoLT är knappast helt omedvetna om den heta debatt som är på gång, inte bara i lilla Sverige, men över hela audiovärlden om komponenternas hörbarhet, komponentkvalitets inverkan på ljudkvaliteten. Karl-Erik har utfört ett berömvärdt arbete med sina väl genomtänkta A/B-lådor och får sägas tillhöra ingenjörsfalangen i debatten. Vad beträffar Stig förstod man redan vid Karl-Eriks LTS-möte att han inte är lika övertygad som Karl-Erik om dielektrikumets ohörbarhet.

Om några år, när vi bättre förstår "finstrukturen" i audiokedjan kanske Karl-Eriks burkar framstår som testet som stoppade utvecklingen i Sverige. Men alla är inte lika lättskrämde som somliga.

**S:** Jag vill gärna berätta vad jag upplevde då jag bytte kondensatorer i mina Pass A-40.

## Nelson Pass A-40-förstärkaren — en beskrivning

Pass A-40 är en kretsmässigt mycket enkel effektförstärkare konstruerad av amerikanen Nelson Pass och presenterad i The Audio Amateur nr 4, 1978. Klass A-drift med 100 W tomgångsförlust per kanal. Förstärkaren fick snabbt ett mycket bra renommé bland audiofiler. Stig har fyra kanaler bryggkopplade för tvåkanals stereoanvändning. Han har systematiskt bytt ut "dåliga" kondensatorer mot bättre där det är möjligt, eller shuntat stora elektrolyter med filmkondensatorer. Efter varje modifiering har han lyssnat och gjort anteckningar. En naiv fråga är denna: Om nu kondensatorerna spelar så stor roll, varför inte sätta in bra från början. Men det är inte alltid lika praktiskt, hör bara här.

## Stigs ombyggnad av Pass A-40

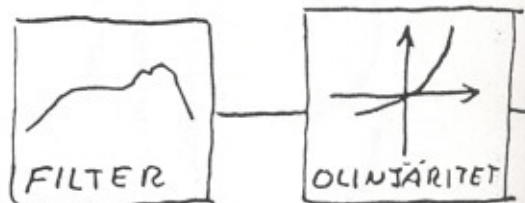
**S:** Då jag kom fram till C3, en 220  $\mu\text{F}$  tantal, ringde jag RIFA och frågade efter stora polypropylenkondensatorer. Det fanns 60  $\mu\text{F}$ , stora som soppburkar. Till 100 kr per styck. Jag gav mig iväg och köpte 8 stycken. Så nu sitter 120  $\mu\text{F}$  i varje kanal.

**KE:** Aha, mindre kapacitans, högre gränshäns, du hör naturligtvis ändringen i frekvensgång . .

Det uppnåddes dock snabbt enighet om att varken 200 eller 120  $\mu\text{F}$  tillsammans med aktuella ca 0,5 kohm skulle kunna hörbart påverka frekvensgången, så Stig fortsatte.

**S:** Jag kom fram till C4, en glimmerkondensator i en intern motkopplings slinga. Den har effekt över 200 kHz. Hittills hade varje byte inneburit en förbättring. Men efter bytet av C4 upplevde jag att lystern försvann och attacken försämrades. Återstod att byta anslutningskabeln mellan förförstärkaren och effektförstärkaren till bandkabel. Av perforerad typ. Lystern kom tillbaka. Jag kan endast dra slutsatsen att glimmerkondensatorn la till övertoner som försvann då den byttes till filmtyp. Den ursprungliga anslutningskabeln hade förvanskad, smutsat ned signalen från förförstärkaren. Med bandkabeln överfördes all information från förförstärkaren och signalen återställdes.

**KE:** Jag har också gjort ungefär som Stig, bytt kondensatorer och kablar och hört förbättringar. Men efter att



Ytteröra

Inneröra

jag gjorde systematiska försök och inte lyckades finna skillnader som jag tidigare trodde jag hörde måste jag dra slutsatsen att jag inbillade mig saker. Då jag höll på med A/B-lödan hörde jag faktiskt statistiskt signifikant skillnad mellan en förstärkare, rörtyp, högt prisad av audiofiler, och min egen förstärkare. Audiofilförstärkaren lät sämre. Men det gick att mäta, den mätte sämre. Och lät förskräckligt i skillnadssignaluppkopplingen. Så det fanns rationella förklaringar.

### Hört eller inbillat?

**T:** Stig, tror du verkligen på detta som du berättar, är du säker på att du hörde vad du säger när du gjorde om Pass-förstärkaren?

**S:** Det är klart jag tror det. Men det hade varit mycket enklare att diskutera om även ni hade hört det. Man kan inte gärna ha en uppfattning om fel man inte har hört, eller hur? Jag upplevde även en annan sak. Absolut fas, polaritetsfel, som Lipshitz och Vanderkooy skriver om. Innan jag gjorde kondensatorbytet trodde jag att jag hörde polaritetsändringar, jag har en polaritetsvärdare i anläggningen. Men efteråt har jag svårt att höra skillnad vid polaritetsändring. Det kan vara så att vad Vanderkooy och Lipshitz hör är sina dåliga kondensatorer.

**KE:** Walt Jung som ju är en duktig ingenjör och som ligger bakom mycket av snacket om dåliga kondensatorer, varför kan inte han konstruera ett test som bevisar det här. Jag anser att bevisbördan nu ligger på dem som påstår sig höra kondensatorer och kablar. Alla kontrollerade tester har givit nollresultat. Som det nu är tyder det mesta på att guldöronens övertygelse är inbillning.

### Skribenterna i The Audio Amateur

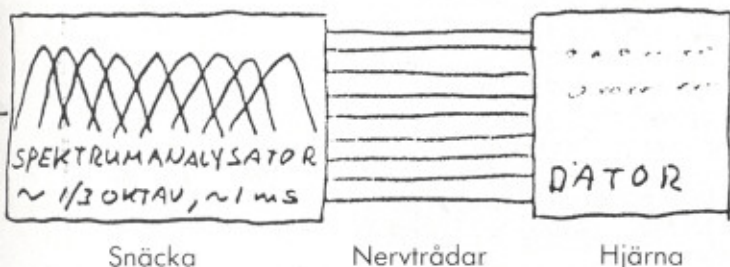
Walter Jung som Karl-Erik nämner var tidigare medredaktör och flitig skribent i The Audio Amateur. Han har skrivit flera böcker om integrerade kretsar och kan utan reservation anses vara en skicklig tekniker. I två artiklar i tidningen Audio har han försökt förklara varför vissa kondensatorer skall kunna låta bättre än andra. Orsaken kan ligga i det dielektrikum som används, luft är bäst, vätska sämst, som i polariserade elektrolyter. Se även Peter Körners artikel i MoL nr 2 från 82 om samma ämne.

### Luft — ett bra dielektrikum

**S:** Jag tror att felet har med använt dielektrikum att göra, men vet för litet för att kunna vara säker. Det verkar dock inte orimligt, ta det här med bandkablar, ledarna ligger åtskilda med luft som huvudsakligt dielektrikum. Luftkondensatorer är med all säkerhet bäst, har minst distorsion.

### Att lösa problem

Vi löste naturligtvis inte problemet den här kvällen. Vad vi behöver är ett enkelt test som visar klangskillnader mellan komponenter av olika slag. Jag har mycket svårt för att tro att så många samstämda uppfattningar alla kan vara felaktiga — alltså guldöronens — samtidigt som jag inte ser några fel i Karl-Eriks systematik.



Snäcka

Nervtrådar

Hjärna

### Om hörsel och faskänslighet

I det följande an knyter Karl-Erik till en artikel av Manfred Schroeder i Proceedings of the IEEE, Vol. 63, No. 9, September 1975. Artikeln, med titeln "Models of Hearing" har blivit något av en standardtext för audiointresserade.

**KE:** Jag skulle gärna vilja prata lite om hur vi hör och om den nygamla teorin att örat är faskänsligt eller vägformsdetekterande. Gör följande experiment: Generera två rena toner samtidigt över en högtalare, säg 200 Hz plus 399 Hz. På frekvensanalysatorn ser man två spikar, 200 och 399 Hz, det finns bara dessa två frekvenser. Men lyssnar man på tonerna hörs en tydlig svävning, en amplitudmodulering med frekvensen 1 Hz. Vad är det vi hör? Örat genererar distorsionsfrekvenser till 200 Hz-tonen, 400 Hz är första övertonen. Denna blandas med 399 Hz-tonen och man hör svävningensfrekvensen som är lika med skillnaden mellan 400 och 399 Hz. Detta måste innebära att örat är olinjärt. Genom att variera de relativa amplituderna kan man få ett mått på örats olinjäritet, det rör sig om 30 %!

I försöket som Schroeder beskriver summeras 200 Hz och 400 Hz med 400 Hz-tonen fasvriden mellan 0° och 180° i förhållande till 200 Hz-signalen. För varje fasändring bestämmer man hur mycket 400 Hz-tonens amplitud måste ökas för att tonen skall kunna skiljas från grundtonen. Vid 180° fasskillnad, alltså ren invertering av den högre tonen, är kurvformen väsentligt skild från summasignalens utseende vid 0° fasvridning. När 400 Hz-signalen är inverterad krävs hela 12 dB höjning för att den skall kunna urskiljas. Detta tas till intäkt för att örat är vägformskänsligt. Men man får precis samma resultat om man antar att örat distorderar och att det är övertonen till 200 Hz-signalen som adderar sig till 400-Hertzen. Detta bara för att visa att det går att förklara även sådant som ser ut som faskänslighet med välkänd teori om örats amplitud- eller energikänslighet.

Vilket försök om faskänslighet eller vägformsdetektion motsäger följande modell av hörseln? Även de försök som nämnts av Schroeder, Lipshitz, Madsen med flera kan förklaras med den.

### Till sist...

Karl-Eriks handritade modell av det faskänsliga örat får fungera som slutvinjett.



... till Stig Carlsson, som ger sitt svar.