

# Transistorer – Rör – Operationsförstärkare – Kondensatorer – Kablar – Motstånd ...

## Hur låter dom egentligen?

Inte alls (om dom mäter bra)! — Stora skillnader!  
Inbillning! — Är ni döva?  
Har ni kollat nivån? — Det låter ju illa!  
Har ni kollat frekvensgången? — Det låter inte så heller!  
I kontrollerade dubbelblindtest har ingen kunnat påvisa hörbara skillnader utan mättnässig förklaring! — I era obekanta och dåliga anläggningar ja, där ni dessutom stressar försökspersonen!



### **"Vetenskapliga tekniker"\***

Baxandall

Boston Audio Society

Lipshitz

SMWTMS

### **"Guldöron"\***

Moncrieff

The Absolute Sound

LTS (senare tid)

Mängder av småföretag

\* I brist på bättre namn och utan någon som helst nedvärdering så brukar jag beteckningen "guldöron" i denna artikel. Med "guldöron" menar jag personer som upplever och hävdar att det existerar skillnader mellan olika audiokomponenter, trots att det saknas en mättnässig förklaring. "Vetenskapliga tekniker" kallar jag den motsatta sidan, som hävdar att om exempelvis förstärkare mäter bra och har samma frekvensgång så låter de också lika.

Dagens audio-komponenter har ofta utmärkta data då de uppmäts med konventionella metoder. Ändå är vi många som tycker oss uppleva hörbara skillnader mellan dessa komponenter. Många personer och många publikationer upplever och ger uttryck för skillnader mellan nästan alla komponenter, t ex förstärkare och t o m kablar. För mig såsom tekniker och konstruktör är denna brist på samstämmighet mellan upplevd ljudkvalité och uppmätta data mycket frustrerande. Jag beslöt därför att försöka hitta den "mystiska distorsion" som förstör ljudet men ändå inte ger sig till känna vid mätningarna. Blinda lyssningstest har använts för att finna objekt med "mystisk distorsion" och objekten har också mätts med den okonventionella skillnadssignalmetoden (beskriven nedan). Redan försöken att finna de oljudande objekten t ex operationsförstärkare, "dåliga" kondensatorer och kablar gav dock mycket överraskande resultat. I lyssningsförsöken, där försökspersonen kunde växla mellan ett provobjekt och en förbikoppling ("Straight Wire"), deltog flera "guldöron" och professionella ljudtekniker. När väl den konventionella distorsionen (THD) hos provobjekten var låg och frekvensgången avvek mindre än 0,05 dB så blev resultaten helt entydiga: *Ingen kunde skilja något av de provade objekten från förbikopplingen!!!*

### "The Great Debate"

Ingen förnekar att det finns hörbara skillnader mellan olika ljudanläggningar. Olika högtalare — som generellt sett är den svagaste länken i återgivningskedjan — kan de flesta lyssnare skilja emellan. Högtalare måste dock långt ifrån idealt. Bara frekvensgången i ekofritt rum, mätt i några olika riktningar från högtalaren, uppvisar så stora avvikelser att det räcker för att förklara de flesta hörbara skillnaderna hos dem. Helt annorlunda är det dock med elektronikkomponenter. Även då dessa mäter bra, påstår sig många personer höra påtagliga skillnader. Det gäller inte bara hela förstärkare utan även enstaka komponenter såsom rör, transistorer och operationsförstärkare, ja t o m kondensatorer och kablar anses låta på något icke önskat sätt. Ett flertal tidskrifter världen över hävdar dessa åsikter och de ägnar sig åt att subjektivt utvärdera olika förstärkare och komponenter. Det är heller inte ovanligt med modifieringsbeskrivningar där t ex några kondensatorer byts för att förbättra en existerande produkt. LTS-medlemmen är säkert bekant med denna sida efter de senaste årens artiklar i Molt och Musikrevy. "Guldöronens" åsikter har dock inte fått stå oemotsagda. Baxandall i England, Boston Audio Society och SMWTMS (Southeastern Michigan Woofer and Tweeter Marching Society) i USA, Lipshitz & Vanderkooy i Canada m fl hävdar motsatta åsikter. De har genomfört omfattande blindtester under kontrollerade förhållanden och resultaten har alltid blivit desamma. När frekvensgången och nivån hos de provade objekten har utjämnats så försvinner också de hörbara skillnaderna.

Detta gäller givetvis bara om distorsionen inte är hög. T ex hävdar David Clark i SMWTMS (ref 3). "Vi har inte hittat två förstärkare eller förstärkare som låtit olika när frekvenskurvan har matchats". Något förenklat skulle den stora debatten kunna sammanfattas med att den vetenskapliga sidan hävdar att om hörbara skillnader verkligen existerar — och alltså inte bara är inbillning — så beror det på frekvensgångsskillnader. I bjärt kontrast därtill anser "guldöronen" att de hör fenomen som inte alls har med frekvensgång att göra och som beskrivs med uttryck som hårt, mjukt, öppet, fritt, maskerat, vasst, komprimerat, beslöjat, djupt, osv. De läsare som inte följt med i debatten rekommenderar jag att läsa några

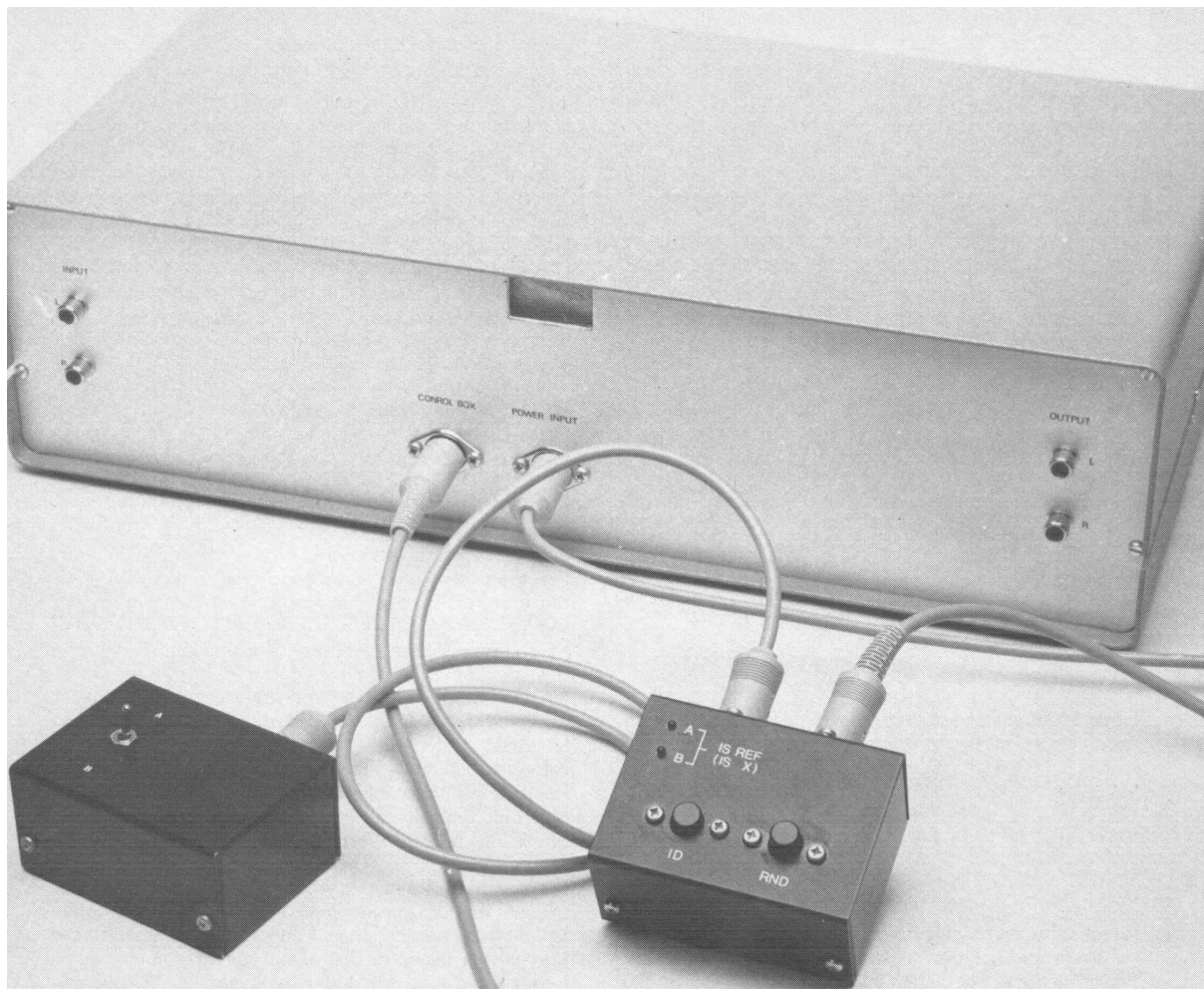
av de artiklar som tas upp i referenslistan.

### Om det hörs, så måste det gå att bevisa!

Mellan dessa två polariserade åsikter i debatten stod jag och många med mig. Som tekniker och konstruktör vore det givetvis tilltalande om det verkligen finns triviala mätbara orsaker till alla hörbara skillnader. Men kan det verkligen vara så enkelt, och kan alla "guldöron" ha så fel och inbilla sig så mycket? Nej, det verkade inte sannolikt och dessutom har jag själv vid några tillfällen tyckt mig höra skillnader som inte borde bero på frekvensgång. Kanske fanns det någon stressande faktor eller maskerande effekt i den "vetenskapliga" sidans tester, som gjorde att de utföll med nollresultat? Om det nu existerar hörbara skillnader som saknar förklaring i konventionella mätningar, så är detta förhållande ytterst otillfredställande för en konstruktör av audioutrustning. Jag beslöt därför att försöka hitta den "mystiska distorsion" som hörs men inte syns, dvs då ljudet förändras, men mätbar förklaring saknas. Första steget i detta projekt var givetvis att finna några enkla objekt där den "mystiska distorsionen" verkligen kunde höras och nästa steg var att förstå och beskriva distorsionsmekanismen och varför den inte ger utslag vid mätningar. För det andra steget byggdes bl a en skillnadssignalutrustning, beskriven nedan, som borde ge utfall för all sorts distorsion. Eftersom det finns otaliga "guldöron" som säger sig höra mycket påtagliga ljudförändringar hos t ex operationsförstärkare och kanske också hos kondensatorer och kablar, så borde steg ett inte bli särskilt svårt. I lyssningsförsök med lämplig blindtestutrustning och lämpliga provobjekt och under kontrollerade förhållanden, så skulle hörbara förändringar i ljudet bevisas.

### Krav vid lyssningstest

Det duger givetvis inte med ett subjektivt tyckande om olika provobjekt, om vi vill bevisa att objekten verkligen medför förändringar i ljudet. Risken för inbillning och påverkan måste elimineras, triviala mätbarheter (t ex frekvensgång) får inte förekomma och sannolikheter för att slumpen ger utfall måste vara liten. Lipshitz & Vanderkooy har i ref 4 gått igenom de krav som måste ställas vid lyssningstest. Kraven kan sammanfattas i följande punkter: — Det skall vara ett dubbelblindt jämförelsetest, dvs två eller flera objekt jämförs, exempelvis med en omkopplare, utan att vare sig försökspersonen eller försöksledaren vet vilket objekt som motsvarar ett visst omkopplarläge. — Nivå och frekvensgång måste vara lika för de olika objekten. Mindre än 0,1 dB avvikelse anses vara tillräckligt bra. — Statistisk signifikans måste erhållas, dvs flera försök krävs, så att risken för att försökspersonen bara gissat rätt blir liten. I var tionde försöksserie med vardera 4 försök så kommer man att erhålla samtliga rätt även om försökspersonen bara gissar. Sju rätt av sju försök är dock bara en chans på hundra att få genom ren gissning. Det kallas att uppnå 99 % konfidens. Det är emellertid tillåtet att välja fel alternativ ibland också. 16 rätt av 20 försök eller 63 rätt av 100 försök ger också 99 % konfidens. Det räcker dock inte med att uppfylla den "vetenskapliga" sidans krav om vi skall kunna höra skillnader mellan objekten. "Guldöronen" måste givetvis också få ställa sina krav. — Lyssningsförsöket skall ske med en stereooanläggning som försökspersonen känner och i en miljö som han är bekant med. Det bästa är givetvis om försöket kan utföras hemma hos försökspersonen i hans egen anläggning. — Testutrustningen måste vara transparent, dvs den får inte maskera eventuella skillnader. — Omkopplingen mellan de olika objekten skall ske av försökspersonen själv, när han så önskar. — Försökspersonen skall



få göra så många omkopplingar som han önskar innan han bestämmer sig. — Ingen tidsgräns får finnas. — Försökspersonen får heller inte stressas på annat sätt. Om vi jämför "guldörönens" krav med "vetenskapsmännens" så finner vi att de inte på någon punkt är oförenliga. En vanlig invändning är dock att jämförelsetest, exempelvis A/B-jämförelse, skulle göra det svårare att uppfatta skillnader. Jag vill därför påminna om att uttalanden om olika objekt ljud och oljud nästan alltid bygger på jämförelser. I bästa fall jämförs ljudet med verkligheten, men oftast sker jämförelsen mot ett annat objekt. I ett A/B-test kopplas objekten upp så att omkoppling lätt kan ske mellan dessa och det kan ju inte i sig minska hörbarheten av eventuella skillnader. Om "guldörat" anser att skillnader hörs bäst vid en längre tids lyssning på varje objekt och att det måste finnas en paus (för byte av objekt) innan jämförelse sker, så är det inget som hindrar att A/B-testen utförs precis så. I de här beskrivna försöken är det helt upp till försökspersonen att avgöra när och hur ofta omkoppling mellan objekten skall ske. Det är han själv som håller i omkopplaren. Jag har i samband med detta projekt själv dubbelblindtestat mig åtskilliga gånger. Det har då framkommit att jag vid korttidsslyssning med snabba omkopplingar kan höra skillnader som jag under långtidsslyssning inte alls kan uppfatta. Detta står i strid med vad en del "guldörön" anser.

#### Testutrustningen

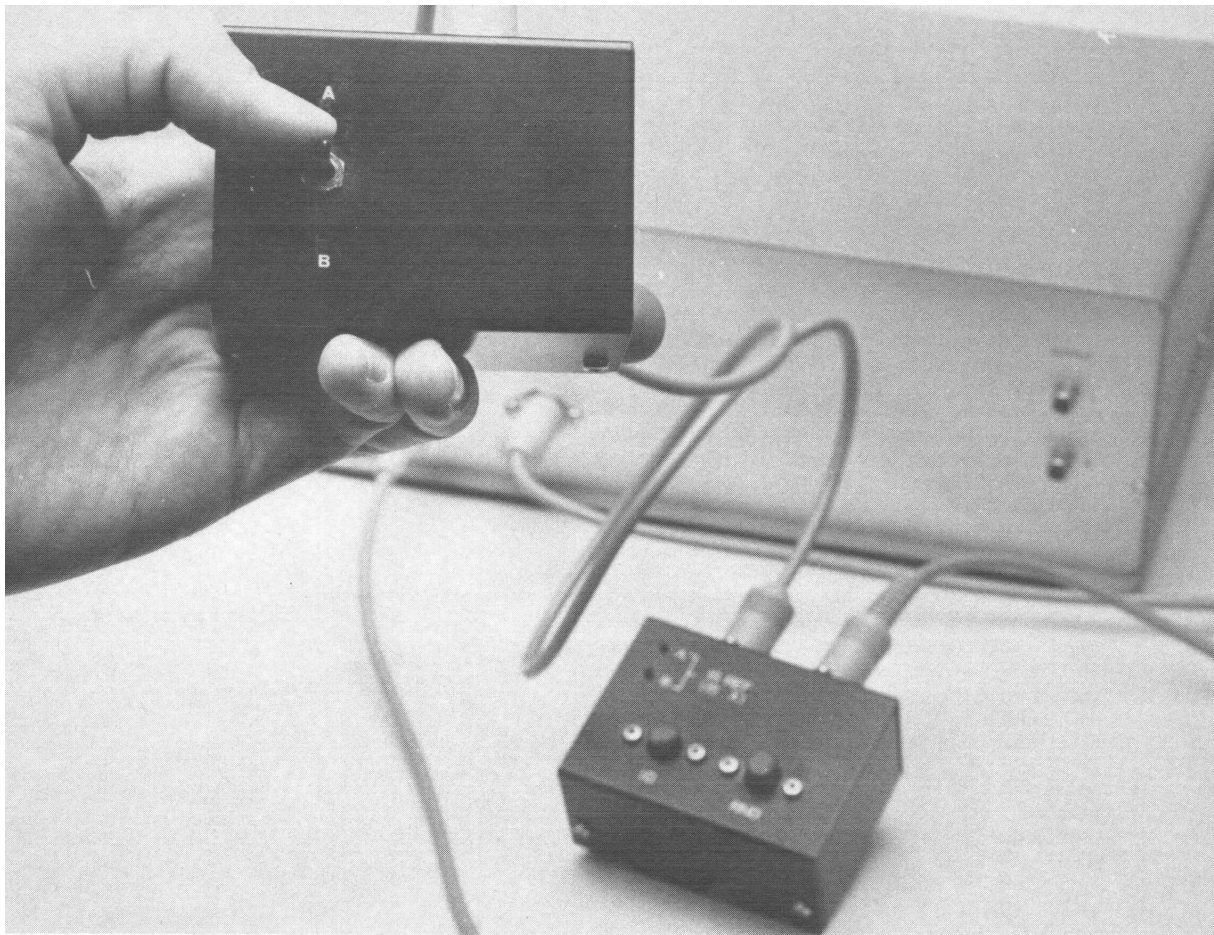
För att genomföra lyssningsförsöken med uppfyllande

av de ovan listade kraven byggde jag tillsammans med Audio Pro AB en speciell blindtestutrustning. Ett förenklat principalschema visas i figur 1. Utrustningen är lätt flyttbar och består av fem separata enheter. — En nätdel ger  $\pm 15$  och  $\pm 30$  V väl reglerad likspänning. Nätdelen försörjer inte bara testutrustningen utan kan även ge drivspänning till testobjekten. — I huvudlådan kopplas ett testobjekt (t ex en operationsförstärkare) och ett referensobjekt (t ex en förbikoppling) in. Växling mellan objekternas utgångar sker med reläer kontrollerade utifrån. Av särskilda skäl som redogörs för nedan så drivs båda objekten parallellt och både in- och utgången på huvudlådan är försedda med buffertar. Huvudlådan ansluts lämpligen mellan för- och effektförstärkaren eller i tape-monitor-slingan. — Försöksledaren för inte bara protokoll utan sköter även en liten box med slumpgenerator och identifieringskrets. Efter ett tryck på "RND"-knappen så har slumpen bestämt om A och B motsvaras av referens- respektive testobjektet eller tvärom. (Vid A/B/X-test bestäms istället om X är referens- eller testobjekt.) Efter att försökspersonen angett om A eller B låter bäst så ger ett tryck på "ID" knappen upplysning om huruvida det var A eller B som var referensobjekt. Varken försökspersonen eller försöksledaren vet således under själva försöket vilket objekt som är A respektive B. — Själva omkopplaren som styr reläerna i huvudlådan har försökspersonen i sin hand. Vid A/B-test växlar han bara mellan lägena A och B och väljer vilket som låter bäst. Testledaren noterar valet och om det var rätt eller fel och trycker därefter på "RND"-knappen för ett nytt









försurbara och kvar bör då återstå de olinjära felen, dvs den distorsion som vi söker. Påverkar då inte buffertarna ljudsignalen så att eventuell hörbar förvrängning hos testobjekten kanske maskeras? Den risken måste självklart minimeras! Jag har faktiskt lagt ned extra mycket tid på att göra buffertarna så transparenta som möjligt. De består av ett förförstärkarsteg med förstärkningen 1,00, med hög inimpedans och låg utimpedans. Den harmoniska distorsionen är omätbar med tillgängliga instrument (0,001%) vid 20 Hz till 20 KHz och nivåer upp till  $6,5 V_{rms}$ . Inte heller vid höghögtryck drivning eller hård last har jag lyckats provocera fram någon distorsion och vid mätning med musiksingal enligt skillnads-signalmetoden ger sig ingen som helst ljudpåverkan tillkänna. Dessutom är steget lågbrusigt och brumfritt. Tyvärr kan jag inte publicera något schema över kopplingen då upphovsmännen håller på att patentsöka den. Ett flertal "guldöron" har haft tillfälle att lyssna till själva testutrustningen, till exempel genom att den kopplades in och ur med förförstärkarens monitorfunktion. Testobjekten har då varit ersatta med förbikopplingar (korta teflonkablar). Vid dessa provlyssningar har ingen hittills tyckt att testutrustningen påverkade ljudet, så att den förväntade ljudförvrängningen hos testobjekten skulle kunna maskeras.

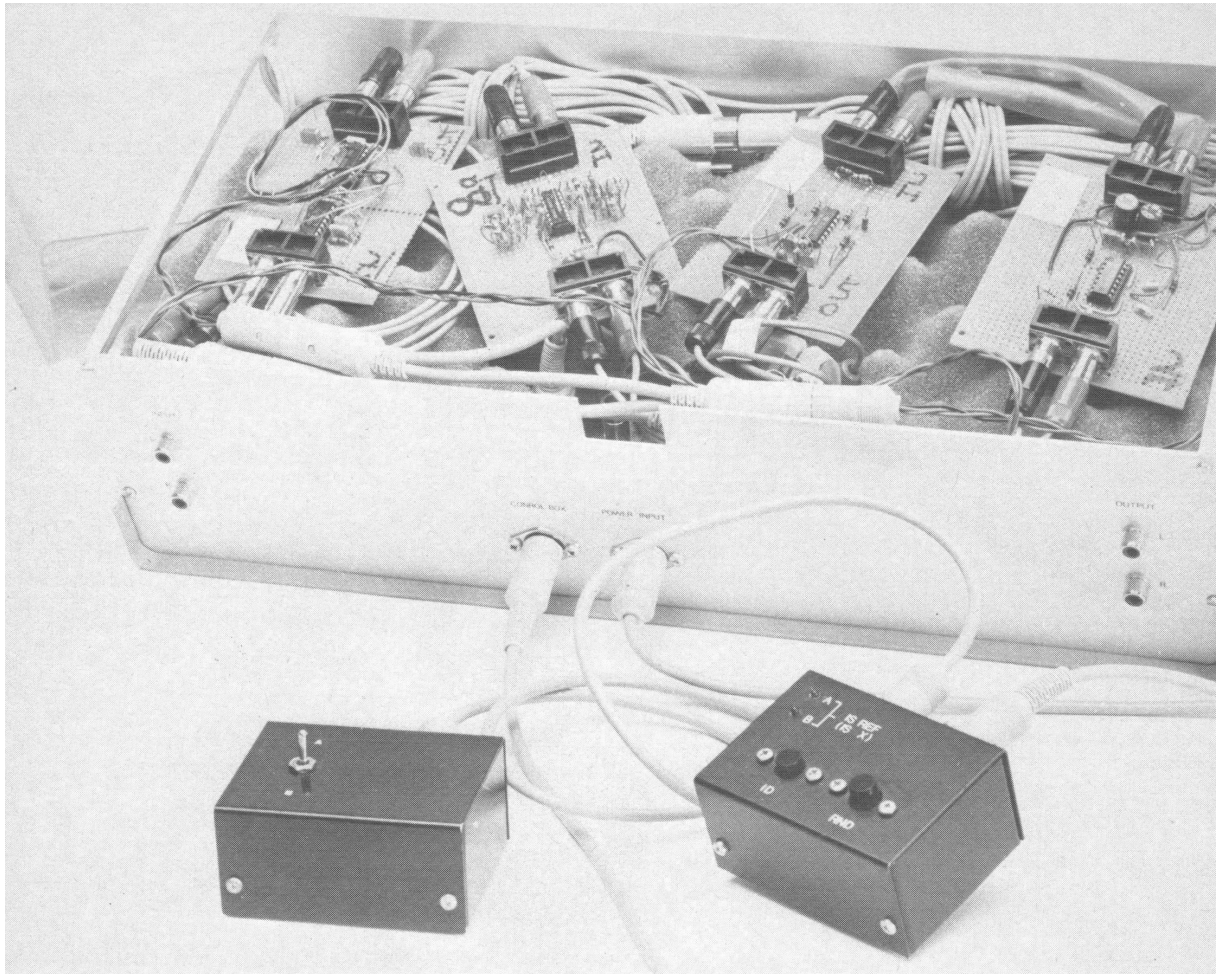
### Testobjekten

Testobjekten vid lyssningsförsöken har varit komponenter som förekommer i moderna audiosammanhang och som av många anses påverka ljudet. De valda objekten har i stort sett haft rak frekvensgång och inte förändrat nivån, så lyssningsjämförelsen har därför kunnat ske mot

en "Straight Wire" (en kort kabel, eventuellt kompletterad med en liten nivå- eller frekvensgångsjustering, passivt uppbyggd med bra "välljudande" komponenter). De i audiosammanhang populära operationsförstärkarna TL074 (bifet typ) och NE5534 (=TDA1034, bipolär typ) har provats i olika kopplingar och under olika driftförhållanden. Olika kondensatorer såsom polypropylen-, polykarbonat-, polyester-(mylar), aluminium-, elektrolyt-, tantal elektrolyt- och keramiska kondensatorer samt även några "dåliga" skärmade kablar har ingått i försöken. Dessutom har en distorsionsgenerator använts. Den alstrar sk "Common- Mode" distorsion som kan uppstå vid icke inverterade operationsförstärkarkopplingar. Operationsförstärkarkopplingarna har haft hög motkoppling (ca 100 dB), liten bandbredd innan motkopplingen (20–300 Hz) och resistanserna har utgjorts av kolfilm motstånd av ordinär kvalitet. (Jo, vissa personer anser t o m att motstånd låter — se ref 2.) Eftersom operationsförstärkarna internt är uppbyggda av en mängd transistorer, så kan även transistorer anses ha ingått i försöken.

### Försökspersonerna

Som försökspersoner vid lyssningstesten valde jag sådana personer som jag förväntade skulle ha bäst förmåga att uppfatta skillnader i ljudkvalité mellan olika objekt. Flera av Sveriges namnkunnigaste "guldöron" och även andra personer med anknytning till audiobranschen har deltagit. Även personer som inte varit helt övertygat "troende", t ex jag själv och vissa uppskattade inspelnings-tekniker, har provlyssnat. Sammanlagt har över 10 olika personer vid skilda tillfällen lyssnat på diverse objekt i



blindtestutrustningen. Försöken har genomförts som A/B-test med endast en lyssnare åt gången. Oftast, men inte alltid, har försöken skett i lyssnarens hem och med lyssnarens egen stereoanläggning. I flera fall har försökspersonen dessutom fått behålla testutrustningen i några dagar för att i lugn och ro själv kunna avgöra om det finns några hörbara skillnader.

#### Utfallet vid lyssningstesten

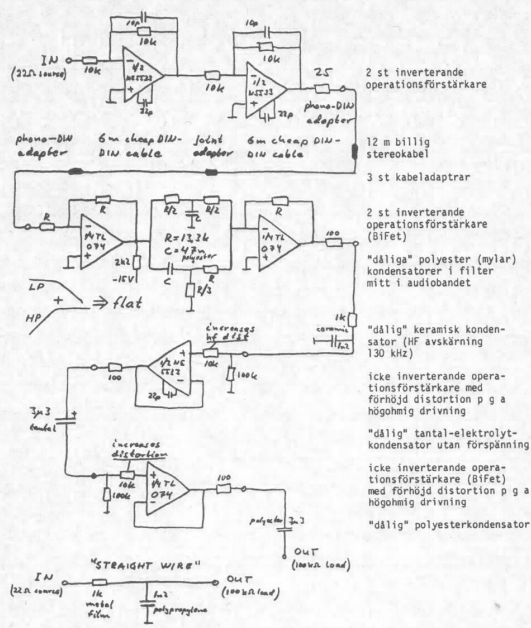
Med tanke på den senaste tidens nästan självklara subjektiva utvärderande av olika apparater och komponenter, så är resultaten mycket överraskande. I alla de fall då testutrustningen och objekten fungerat, då nivå- och frekvensgångsskillnaderna varit försumbara och då brus- och brumskillnader också varit försumbara så har utfallet varit helt entydligt. *Ingen har vid något tillfälle lyckats påvisa en hörbar ljudförändring hos något av testobjekten, ja inte ens hos någon kombination av testobjekten.* Alla personer har av tidsskäl givetvis inte hunnit lyssna till samtliga olika testobjekt. De flesta har dock lyssnat till kombinationen i figur 2. Den innehåller (per kanal!) sex operationförstärkare, 12 meter billig stereo-kabel, fem "dåliga" kondensatorer och en del annat smått och gott. Redan vid de första lyssningstillfällena, hos två av landets mest kända "guldöron", misslyckades vi med att påvisa en hörbar skillnad hos de olika provobjekten. Oberoende av varandra föreslog de då att jag skulle koppla in fler objekt efter varandra och gick det inte att höra någon skillnad då, så... Sagt och gjort, jag gick hem och lödde ihop en förgreningskabel så att matningsspänningen kunde fördelas till alla operationsförstärkarkopplingarna. Efter detta tillfälle har samtliga

försökspersoner fått lyssna till kombinationen enligt figur 2, men resultatet har blivit noll ändå. Det är värt att göra några kommentarer till kopplingen i figur 2. — De använda polyesterkondensatorerna har i ref 2 betygsatts till "Class 4" på en femgradig skala där 1 är bäst och 5 sämst. — Jag själv anser (tväremot Jung i ref 6) att en obelastad kopplingsfunktion är en lätt uppgift för en kondensator. Kondensatorns eventuella dåliga egenskaper borde inte provoceras fram, eftersom kondensatorn fungerar som en kortslutning för alla signalfrekvenser och det därför inte uppstår någon spänningsvariation över kondensatorn. För att försöka provocera fram olinjäriteter hos kondensatorer har de därför även använts i ett filter förutom som kopplingskondensatorer. Filtret utnyttjar de nämnda polyesterkondensatorerna och består av en lågpas- och en högpaslänk, med brytfrekvensen 1 KHz, vars utgångar summeras så att rak frekvensgång erhålles. — Tantalkondensatorn saknar polarisations-spänning. — 10 kohm-motståndet i ingången till de båda icke inverterande operationsförstärkarna framhäver den s k "Common Mode" -distorsionen vid höga frekvenser. Detta är mätbart. — Filtrets hårda belastning av bifet-operationsförstärkaren (ca 2 kohm vid höga frekvenser) ger mätbar distorsion. — Den keramiska kondensatorn ger också mätbar distorsion. Kopplingen är alltså långt ifrån ideal, men mätdata (se figur 2) är inte speciellt dåliga.

#### Något hörbart — trots allt

Vid några tillfällen har det — både avsiktligt och oavsiktligt — funnits små nivåskillnader på 0,3 — 0,4 dB mellan testobjektet och referensobjektet. Lyssnaren har då





**DATA FOR TESTOBJEKTET**

Frekvensgång och nivå avviker mindre än ± 0,05 dB från "straight wire" inom 20 Hz till 20 kHz.

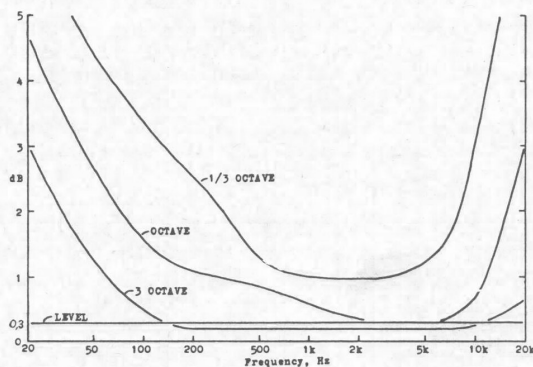
Kanalseparation (V=H): 65 dB vid 20 kHz, mer än 80 dB under 2 kHz.

Distortion (THD) vid 6,5Vrms	20 Hz	200 Hz	2 kHz	20 kHz
	0,002%	0,002%	0,009%	0,08%

Figur 2. Denna kombination av testobjekt har oftast varit inkopplad vid lyssningsförsöken. Då utrustningen och objekten fungerar och då bruskillnaden inte varit hörbar, har ingen hittills lyckats skilja denna "hävva" från "straight wire:n".

oftast ganska lätt kunnat uppfatta skillnaden och jag har fått utfall med hög konfidens. Den hörbara skillnaden har dock inte karaktäriserats som nivåskillnad (den var ju heller inte förväntad) av lyssnaren. Beskrivningar som "sämre ekon", "något insjunket ljud", "marginellt trötande", "ej helt tyst mellan attackerna", "brusvans" osv har förekommit. Även en liten brus- eller brumskillnad mellan objekten har också visat sig hörbar. Skillnaden kan vara så liten att den knappt är hörbar vid omkoppling utan ljudsignal (med lyft pickup). Inte heller i dessa fall har skillnaden beskrivits riktigt. Små frekvensgångskillnader kan också höras. Jag har själv med blindtestutrustningen kunnat höra en sänkning på 0,4 dB av frekvensområdet ovanför 3 kHz. Figur 3 visar vilka nivå- och frekvensgångsavvikelse som David Clark i SMWTMS funnit hörbara. I detta projekt har ibland ännu mindre skillnader kunnat detekteras. Denna uppseendeväckande förmåga hos den mänskliga hörseln att detektera mycket små linjära skillnader och låga störsignaler kan kanske i många fall vara orsaken till hörbara skillnader mellan olika förstärkare. Frekvensgångsavvikelse av storleksordningen 0,5 dB är mer regel än undantag vid exempelvis skivavspelning. Dessutom upplevs ofta en frekvensgångsskillnad som "ökat djup", "hårdhet i diskanten", "sämre upplösning", "odistinkt bas" osv. Vid subjektiv utvärdering av audiokomponenter uppmäts ytterst sällan den aktuella frekvensgången (med den verkliga drivkällan och lasten) och än mindre elimineras de linjära felen innan omdömena fällt. Triviala skillnader,

som dessutom kan mätas, tolkas därför inte sällan som ökända olinjära fenomen som vi inte upptäcker på labbänken. Om seriösa lyssningstest skall genomföras kan det därför inte nog betonas att de linjära avvikelserna måste hållas under noggrann kontroll och att brum- eller bruskillnader inte får vara hörbara. Vid ett tillfälle genomförde jag en lyssningstest hemma hos ett "guldöra" och konstruktör till en mycket bra förförstärkare. Han har vid blindtest mellan olika förförstärkare visat sig mycket säker på att identifiera sin egen konstruktion. I detta lyssningstest kunde han dock inte höra någon ljudförändring genom kopplingen i figur 2. Däremot kunde han urskilja distorsionsgeneratoren som drevs vid mycket kraftig signalnivå och dessutom förstärkte "Common-Mode"-distorsionen 30 dB. Om denna typ av distorsion vore ett problem hos operationsförstärkare så borde den höras nu om någonsin. Det visade sig emellertid att skillnaden kvarstod även om distorsionen i generatoren kopplades ifrån! (Jag själv kunde inte höra den ringaste skillnad i något fall.) Försökspersonen beskrev skillnaden som "något lägre nivå i diskanten" då distorsionsgeneratoren var inkopplad. Jag visste att eventuella nivå- och frekvensgångsfel var mindre än 0,1 dB. På prov kopplade jag därför in en "Stragihit Wire" med dämpning (se figur 2) som referensobjekt. Dämpningen var 0,1 dB över hela audiobandet och ytterligare 0,1 dB vid 20 kHz. Skillnaden fanns fortfarande kvar, men nu var det referenskanalen som hade lägre diskant! Den enda förklaringen vi kunde tänka oss, vore om diskanten dämpades 0,05 — 0,1 dB i distorsionsgeneratoren. Vi tog därför gemensamt testutrustningen med inkopplade objekt till labbänken. Tro det eller ej, men instrumenten visade att nivån dämpades av distorsionsgeneratoren — 0,08 dB i vänster kanal och 0,06 dB i höger kanal. "Guldörat" förstod lika väl som jag att detta var orsaken till den hörbara skillnaden. Efter den dagen såg jag till att alla linjära skillnader var mindre än 0,05 dB vid de fortsatta försöken. Tilläggs kan också, att vid de tidigare blindtesterna mellan olika förförstärkare — där försökspersonen visat stor säkerhet — så skedde nivåmatchningen ofta med stegade volymkontroller (större än 1 dB/steg), och avvikelser i frekvenskurvan hade inte utjämnats. En hörbar nivåskillnad på bara 0,08 dB är lägre än vad den "vetenskapliga" sidan hittills rapporterat. Troligen har just denna försöksperson ovanligt hög upplösande öron. Resultatet indikerar också att lyssningssituationen och testutrustningen medgav detektion



Figur 3. Högsta tillåtna avvikelse i frekvenskurvan vid ABX-test, enligt David Clark i SMWTMS (Southeastern Michigan Woofer and Tweeter Marching Society). Kurvorna gäller för musikmaterial och vid speciella signaler kanske bättre matchning krävs.

Vid försöken beskrivna i denna artikel har betydligt mindre skillnader i nivå ibland kunnat uppfattas.

av mycket små skillnader, något som förhoppningsvis även gällit vid flera lyssningsförsök i detta projekt.

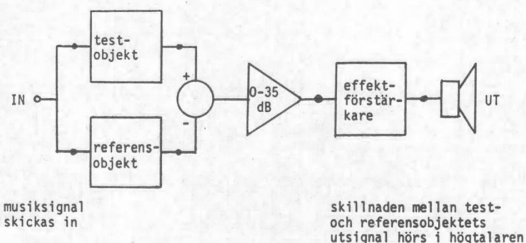
### Hörbara — men inte mätbara — olinjäriteter

Om vi för ett ögonblick glömmer det negativa resultatet av lyssningsförsöken och istället antar att det är vanligt förekommande med hörbara olinjäriteter (någon form av distorsion) hos elektronik, så måste vi fråga oss: Varför ger inte denna olinjäritet utslag vid distorsionsmätningar? En hypotes som förts fram, är att musiksignalen är mer komplex än våra mätsignaler och därför framkallar en hög distorsion av något slag. En annan hypotes är att örat skulle kunna uppfatta mycket lägre distorsion än man tidigare trott. Hur låg distorsion tror man då är uppfattbar? Lipshitz & Vanderkooy (ref 4) och Clark (ref 3) har gjort vissa prov med distorsionsburkar av olika slag och funnit att vid sinussignaler kan ned emot 0,1% distorsion uppfattas. Vid musiksignaler krävs det däremot cirka 1 % distorsion för att kunna uppfattas. Jag själv har dock lyckats detektera lägre distorsionsnivåer. Vid ett tillfälle hade jag tillgång till en förstärkare med ett ovanligt dåligt linjesteg. Det mätte cirka 0,13 % harmonisk distorsion (THD) vid 1 V utsignal och strax över 1 % vid 5 V utsignal. Distorsionen var oberoende av frekvensen och bestod huvudsakligen av andratan, men även tredjatan (1/4) förekom. Med dubbelblindtestutrustningen kunde jag vid musiklyssning med 99 % konfidens (7 rätt av 7 försök) fastställa vilket som var linjesteget och vilket som var "Straight Wire". Det var inte lätt. Det tog mig nästan 2 timmar att genomföra de sju försöken. Skillnaden hördes vid höga nivåer och var just märkbar. Utan möjlighet till direkt jämförelse skulle jag inte ha kunnat fastställa någon skillnad. Jag tror inte ens att jag skulle våga påstå att det verkligen fanns en hörbar skillnad om inte testet hade genomförts dubbelblindt. Jada, nivå och frekvensgång var matchade inom 0,05 dB. Det kontrollerade jag både och efter testet. Polariteten hade vänts en extra gång eftersom linjesteget var inverterande. Någon brum- eller bruskillnad var heller inte hörbar eftersom steget drevs vid hög signalnivå. Signalens toppvärde var cirka 2 V (vilket gav 0,2 % THD vid mätning) vid musikens starkare partier. Men även om olinjäriteter som mäter 0,2 eller 0,1% THD är hörbara, så är det ingen nivå som är svår att mäta. Vissa personer tror att distorsionsprodukter ända ned till den aktuella störnivån (skivans brus + elektronikens brum och brus + rummets störningar) skulle kunna vara hörbara. Andra tror att man kan höra distorsion ända ned till hörseltröskeln, trots att störnivån ligger betydligt högre. Tankar om att distorsionsprodukter under hörseltröskeln också

skulle kunna vara hörbara (en antimaskeringseffekt) har också förts fram. Ingen av dessa teorier om hörbarhet av mycket låga distorsionsnivåer har dock någonsin styrkts. Den första hypotesen då? Skulle inte musiksignalen kunna vara så mycket mer komplex än våra mätsignaler, så att hög distorsion uppstår? Jo, kanske! Låt oss därför använda musiksignalen som mätsignal.

### Skillnadssignalmetoden — en bättre mätmetod

Som jag tidigare påpekade, så bygger de flesta subjektiva omdömen om olika ljudapparater på någon form av jämförelse. I bästa fall kan man växla mellan de olika apparaternas utgångssignaler och lyssna efter eventuella hörbara skillnader. Om man hör skillnader, så finns dessa alltså mellan apparaternas utgångssignaler. Det ligger då nära till hands att använda samma uppkoppling och bilda skillnaden elektriskt istället för med hörseln. Dessbättre är detta inte alls svårt att göra, se figur 4. Musiksignalen skickas alltså till ett testobjekt och till ett referensobjekt. Men istället för att lyssna till objekternas ut signaler så bildar vi skillnaden mellan dessa. Skillnaden kan sedan exempelvis studeras på ett oscilloskop eller ännu intressantare, förstärkas och skickas vidare till en effektförstärkare och högtalare. Vi kan då lyssna till skillnaden mellan test- och referensobjektet. Vi lyssnar alltså inte längre efter skillnaden utan hör bara skillnaden, utan den del av signalen som är lika hos båda objekten. Liknande uppkopplingar har tidigare gjorts av QUAD och andra. Om enda olikheten mellan objekten är att testobjektet exempelvis har 1 dB högre diskant så skall alltså alla lågfrekventa signaler släckas ut, medan cirka 1/10 av diskantsignalen ska bli kvar. Kopplar vi ifrån testobjektet hörs musiksignalen i högtalaren, eftersom bara referensobjektets signal når skillnadsbildaren. Då vi åter kopplar in testobjektet försvinner all bas, medan diskantnivån sjunker 20 dB (1/10 motsvarar -20 dB). Vi hör nu bara skillnaden mellan objekten. Uppstår någon sorts distorsion i testobjektet (men inte i referensobjektet) så fås denna distorsion — skild från nyttsignalen — ut genom högtalaren. Samma sak gäller också om testobjektet alstrar brum eller brus. Även överhörning från den andra kanalen i ett stereobjekt kommer att detekteras, förutsatt att den andra kanalen också får signal. Misstänker man att någon förvrängning uppträder vid exempelvis speciell belastning av testobjektet, så kan objektet lastas på just det sättet innan signalen kopplas till skillnadsbildaren. Med skillnadssignalmetoden kommer alltså alla olikheter mellan objekternas ut signaler att detekteras. Det kan vara linjära fel (nivå, frekvensgång, fas), olinjära fel (alla kända och okända former av distorsion), brum, brus och andra störningar. Den hörbara förvrängningen må sedan kallas "djup", "burkighet", "vasshet" eller vad som helst. Existerar en skillnad så kommer den ut här — enbart skillnaden och utan att vara maskerad av nyttsignalen. Insignalen skall givetvis vara den musiksignal som man tror sig kunna höra skillnad på. Det finns naturligtvis en gräns för utrustningens upplösning. Skillnadsbildningen sker inte helt idealt och alstrar dessutom en del brus. Dessbättre ligger felen och störningarna lågt, cirka 100 dB under 1 V i mellanregistret. Det innebär att de ligger i närheten av eller under hörseltröskeln, då utrustningen kopplas till en effektförstärkare och högtalare med normal känslighet. Komponenter som har en utnivå som är avsedd för effektförstärkare (eller mer) kan alltså provas med extremt hög upplösning. Då test- och referensobjektet utgörs av två identiska kablar, blir det alltså knäpp tyst i högtalaren, även om musiksignalen på ingången är flera volt. Ökar man sedan skillnadssignalens förstärkning 35 dB så hörs ett brus från utrustningen. Vid mycket höga



Figur 4. Principen för skillnadssignalmetoden. Med denna metod kan totala utsignalskillnaden mellan två objekt, t ex en förstärkare och en "straight wire", detekteras. Musik används lämpligen som insignal och i högtalaren hörs bara den skillnad som förstärkaren lägger till, jämfört med "straight wire:n".



innivåer kan svag distorsion (som alltså alstras i skillnadsbildaren) också höras. Möjligheterna är alltså goda att detektera mycket små fel.

### Vad kommer då ut?

Ett flertal linjesteget i olika förförstärkare och samtliga testobjekt i detta projekt har provats med skillnadssignalmetoden. Ett par kompletta förförstärkare, med anti-RIAA-nät tillkopplat på grammofoningsgången, har också provats. Nivåskillnader jämnades ut så att förstärkningen blev ett. Musiksingalens styrka på ingången ställdes in så den motsvarade en ganska hög lyssningsnivå, cirka 90 dB. Då bara referensobjektet (en kort kabel) är inkopplat, strömmar alltså musiken med 90 dB nivå ut ur högtalaren. Vad strömmar då ut när testobjektet kopplas in? Det blir ganska tyst! Lite signal hörs dock och drar vi på förstärkningen för att karaktärisera den skillnadssignal som finns, så finner vi oftast: linjära avvikelser, ingenting, ingenting och sedan någonting, oftast brus. Testobjekten har ofta små avvikelser i frekvensgångens amplitud och fas, dvs linjära avvikelser som gör att utsläckningen inte blir fullständig. För att erhålla 70 dB utsläckning krävs en skillnad gentemot referensobjektet på mindre än 0,03 dB och 1 bågminut (1/60°)! Nu är små linjära fel inte speciellt intressanta. Vi vet visserligen att cirka 0,1 dB kan höras, men det är en helt harmlös skillnad som ingen lär störas av. Det är andra fel vi söker. Eftersom de linjära felet oftast beror på att testobjektet har begränsad bandbredd (DC — 1 MHz är begränsande i detta sammanhang!), så kan dessa linjära fel sorteras bort om referensobjektet ges samma bandbredd. Den korta kabeln skall alltså bytas mot något distorsionsfritt med justerbar bandbredd. En sådan bandbredds begränsad "Straight Wire" har byggts och möjliggör mycket hög utsläckning av de linjära avvikelserna. Den är helt passivt uppbyggt och har många "kranar". Injusteringen är något omständig och man får iterativt söka sig fram till bästa inställningen. En reallids spektrumsanalysator och brussignal är i praktiken nödvändig för att hitta den optimala inställningen. Hur låter skillnaden nu då, när musiksingal matas in och testobjekten körs emot den optimalt inställda bandbredds begränsade "Straight Wire:n"? Inte alls, i de flesta fall! Det blir i många fall så tyst att det enda som hörs är den distorderade signal som kommer direkt mekaniskt från pickupsen. (Om du tror dig kunna höra extremt låg distorsion, så börja alltså med att flytta ut skivspelaren.) Om vi ökar skillnadssingalens förstärkning 35 dB, så ger vissa testobjekt, t ex operationsförstärkaren 5534 kopplad som icke inventerade buffert, fortfarande ingen skillnadssingal. Det är bara utrustningens begränsning som kan skönjas. Andra objekt ger något ut, lite brus och en signal med förvrängd frekvensgång (dvs den linjära skillnaden). Inget av testobjekten som användes vid lyssningsförsöken presterar något oljud som tyder på olinjäritet (dvs distorsion) vid de signalnivåer som var aktuella i försöken. Det är därför föga förvånande att ingen heller lyckades höra någon skillnad i dubbelblindtesten. Det fanns helt enkelt ingen skillnad att höra. Hypotesen om att musiksingalen, till skillnad från våra mätsignaler, skulle provocera fram hög distorsion är felaktig, åtminstone för dessa testobjekt. Det dåliga linjesteget som jag kunde särskilja i dubbelblindtesten då? Jo, till skillnad mot övriga objekt alstras det en hörbar restsingal som inte beror på linjära fel. Singalen är inte stark, men den finns där, speciellt då musiken är kraftig, och den låter som en skorrande parodi av musiken. Detta kan knappast vara den mjuka välljudande rördistorsionen. Existerar den?

### Vad har jag då bevisat?

Strikt sett har dubbelblindtestförsöken inte bevisat någonting. I försöksserien har vi istället *misslyckats med att påvisa hörbara skillnader* hos testobjekten vid de rådande testsituationerna. Resultaten har emellertid varit helt entydiga och överensstämmer med andras kontrollerade försök (ref 1, 3 och 4). Med skillnadssignalmetoden har dessutom objektens totala distorsion vid behandling av musiksingaler kunnat kontrolleras. Det gör att jag kan dra följande slutsats, som med *stor sannolikhet är riktig*. Komponenter, såsom operationsförstärkare (åtminstone de här provade två typerna), kondensatorer, motstånd, transistorer och kablar ger ingen hörbar förvrängning av ljudet, förutsatt att komponenterna används på rätt sätt och mäter bra med konventionella metoder. Försöksserien har däremot *bevisat* att mycket små linjära fel (dvs nivå- och frekvensgångsavvikelser) är uppfattbara och även att låga (i sig själv knappt hörbara) störsingaler i form av brum eller brus kan påverka lyssningsintrycket. (De flesta av oss har nog upplevt hur mycket bättre musiken låter när det är tyst i rummet.) Låter då alla kommersiella förstärkare lika om man jämnar ut frekvensgången? Nej, jag kunde ju skilja ut det dåliga linjesteget i förförstärkaren. Linjesteget mätte dock så dåligt vid en konventionell THD mätning att resultatet knappast var överraskande. (Det rör sig om en mycket dyr audiofil-förförstärkare som är uppskattad i vissa kretsar. Linjesteget är uppbyggt med rör och motkoppling saknas.) Den "vetenskapliga" sidan har dragit slutsatsen att alla förstärkare som inte mäter hög distorsion också låter lika (dvs perfekt) om de linjära felet utjämnas. Jag har själv provat alltför få förstärkare (hittills bara några förförstärkare) för att kunna styrka det. Men deras slutsats förefaller mig idag mer trolig än innan detta projekt. Det bör dock observeras att hos förförstärkare och slutsteg så är chansen större att frekvensgångsfel och distorsion skall uppstå än hos enskilda komponenter. Speciellt gäller det vid pickupsens anslutning till förförstärkaren och högtalarens anslutning till slutsteget, dvs sk interface- (gränssnitt) problem kan misstänkas. Jag är själv inte främmande för att det skulle kunna finnas mekanismer hos vissa förstärkare som ger någon form av hörbar distorsion, men som inte ger sig tillkänna vid konventionella mätningar (t ex frekvensgång, THD, IM, TIM osv). Denna distorsion måste då antagligen vara ganska hög för att kunna höras under musikåtergivning och med skillnadssignalmetoden skall även den distorsionen kunna detekteras. Det återstår dock att finna någon sådan förstärkare. Jag har inte lyckats än, men vem vet? Finns det då några förstärkare som inte förvränger ljudet? Ja, jag är helt övertygad om att det finns ett flertal för- och effektförstärkare som är tillräckligt bra då de används inom sina specificationer och det finns heller ingen anledning till att de skall kosta fantasiummor.

### Vad är det som hörs? — en reflektion

Vi är nog många som frågar oss hur det överhuvudtaget skulle kunna vara möjligt att höra små distorsionstillskott i avspelningselektroniken. Ljudsingalens väg innan den når våra öron är ju lång. Först omvandlas de mekaniska vibrationerna i luften till en elektrisk signal i mikrofonen. Sedan passerar den elektronik och lagras som magnetisk information på ett band. Informationen återskapas till elektrisk signal, passerar mängder av elektronik och graveras mekaniskt på en lackplatta. Lackplattans information överförs kemiskt och mekaniskt via metallmatriker så småningom till den vinylplatta vi kan köpa. Vinylplattan avkänns med pickupsen som återskapar en elektrisk signal av spårens vindlingar. Den elektriska signa-

len förstärks av vår avspelningselektronik och återges slutligen av våra långt ifrån ideala högtalare. Det vore synnerligen ologiskt om en liten olinjär förvrängning i avspelningselektroniken skulle kunna höras i denna långa kedja. Den lilla förvrängningen borde helt maskeras av de mycket större förvrängningar som måste ske i resten av kedjan. Men om skillnad ändå hörs då? Ja, då måste vi ställa frågan vad det är som hörs. Om vi antar att det inte är olinjär förvrängning utan linjär förvrängning, dvs nivå- och frekvensgångsskillnader, som hörs, så stämmer logiken utmärkt! Skillnad i frekvensgång kan man alltid höra, även om signalen tidigare är förvrängd. Man behöver inte ens känna igen signalen, utan den kan exempelvis vara helt artificiell. Vem hör inte skillnad på brus då man vrider lite på tonkontrollen? Det är givetvis provocerande för de som anser sig höra små olinjäriteter hos förstärkare att framkasta tanken att de hörbara skillnaderna bara skulle vara frekvensgångsfel. Men kan någon komma med en annan rimlig förklaring?

#### Ett tack

Slutligen vill jag tacka de "guldöron" och andra som ställt upp och gjort detta projekt möjligt. De har ställt upp på fritiden, utan ersättning, ofta på kvällstid och ofta i deras hem. Trots att de flesta, liksom jag, blivit mycket förvånade över utfallet så har jag hört mycket få bortförklaringar. De flesta försökspersonerna har istället dragit slutsatsen att de provade objekten nog inte alls påverkar ljudet.

**Karl-Erik Ståhl**  
**Foto: Billy Sjösten**

#### Referenser

1. D. Shanefield  
"The Great Ego Crunchers: Equalized, Double-Blind Tests" High Fidelity, Mars 1980 (USA)
2. J. Peter Moncrieff  
IAR Hotline nr 1, 13 och 14 (adress INTERNATIONAL AUDIO REVIEW, 2449 Dwight Way, Berkeley CA 94704, USA)
3. David Clark  
"High Resolution Subjective Testing Using a Double Blind Comparator" Audio Engineering Society preprint nr 1771 Maj 1981
4. S.P. Lipshitz och J. Vanderkooy  
"The Great Debate: Subjective Evaluation" Journal of the Audio Engineering Society, nr 7/8, 1981
5. L. Hedström, S-E Lindgren, P. Körner m fl  
Diverse artiklar i Musik & Ljudteknik, nr 2, 1981
6. W. G. Jung, R Marsch  
"Picking Capacitors" Audio Magazine, Februari och Mars 1980

## Subjektivt objektivt?

Jag tror att AB-test är ett dåligt sätt att få fram subtila ljudskillnader. Jag tror vårt minne är rätt så dåligt från den ena bråkdelen av en sekund till den andra. AB-test har aldrig när jag deltagit visat några reproducerbara skillnader som inte framkommer med andra metoder. Metodens känslighet är alltså låg. Sensitivitet är ordet som används vid laboratorieanalyser.

#### AB-testet ger dålig finlyssning

AB-testet visar inte specifika reaktioner för olika klangförändringar, utan vid snabb omkoppling uppfattar lyssnaren en skillnad som han/hon inte kan sätta ett kvalitetsbetyg på, bara notera. Testet ger genom snabba omkopplingar (vilket de flesta lyssnare som får en omkopplare i handen frestas göra) frånvaro av stabil referens — en känsla av osäkerhet och frustration, som dåligt medger finlyssning. I andra mätningssammanhang brukar man av olika test kräva god specificitet, dvs att metoden för en viss typ av förändring ger ett och samma svar. Specificiteten för AB-testet är usel.

#### Alternativ till AB-testet

Statistiska metoder med konfidensintervall, som används av de amerikanska författarna som brukar citeras i dessa sammanhang, är mycket omstridda i test med mänskliga försökspersoner. Antaganden om fördelningskurvor och gissningsbenägenhet ingår i metoden och kan inte bevisas vara sanna eller falska, men väl misstros. Vanliga resultat är att två perceptioner (sinnesupplevelser) inte kan skiljas från varann vid statistisk analys av resultaten, även om skillnader mellan två alternativ framkommer vid annan statistisk metodik/försöksuppläggning. Faktoranalys och användning av icke-parametriska funktioner är intressanta metoder som behöver prövas. Hittills har jag aldrig vågat basera något publicerat omdöme på AB-testens resultat. Har jag fel? Kom an!

#### Min egen reaktion

Som flera andra upplever jag en känsla av besvikelse att ha bidragit till att ge "negativa" resultat. Sådana undersökningar brukar anses höra hemma i den obskyra The Journal of Irreproducible Results (jovisst, en sådan finns). Jag tror att Kalle Ståhls omsorgsfullt gjorda omkopplingslåda kan komma till nytta, jag tror att hörselapparaten är bättre än sitt rykte, och jag hoppas på att nya försök ska ge resultat som gör oss alla nöjdare. Självt är jag så dålig lyssnare att jag måste vara pigg, ostressad, väl inlyssnad på aktuell referensanläggning för att kunna tycka något vid provlyssningar — och ett absolut villkor är att jag tycker min anläggning låter bra för tillfället. När detta lyckliga tillstånd någon gång uppnåtts skall jag återkomma till Kalle, som vi alla är stor tack skyldiga för hans fina arbete hittills med de här försöken och för hans utsökt fina hårdvara. Väl mött!

**Lars Bäcklund**

## Läst, hört och ohört samt kommenterat.

Gång på gång tvingas man konstatera att det här med ljud är svårt. Nu senast vid LTS årsmöte i Kungliga Huvudstaden. Lokal: Musikaliska Akademien, skabbig och gräslig och en skam för Byggnadsstyrelsen, men med en akustik som få andra lokaler. På podiet: en uppsättning som borde vara bland det yppersta som går att uppdriva i ljudåtergivningsapparaturväg. Ortofons MC 200 pick-up i en Linn Basik arm sittande på en skivspelare av