

9.5.1968

JK

## FB-listorna

### Icke linjär förvrängning: inverkan på uppfattbarheten för tal

Håkan Sjögren, Rolf Ingelstam, Bertil Johansson

Vid överföring av akustiska signaler till en hörselskadad införs förvrängningar såsom bandbredds begränsning, resonanser, amplituddistorsion och transientdistorsion. Dessa är alla fysikaliskt bestämbara, medan deras inverkan på den hörselskadades taluppfattbarhet är mycket litet känd. Samma problem finns vid bedömning av en musikåtergivningsanläggnings kvalitet.

Vid institutionen för Teknisk Audiologi, Karolinska institutet, Stockholm, utredes för närvarande med stöd av statens tekniska forskningsråd icke lineära förvrängningens betydelse vid förstärkning av ljud, främst vad beträffar hörapparater och gruppförstärkare för undervisning av hörselskadade. I denna framställning presenteras forskningsprojektets uppläggning i stort tillika med några synpunkter på inspelning av material för talaudiometri.

Vid tillverkning av ordlistor för klinisk talaudiometri inspe-  
las orden på band (bandgeneration 1) och kopieras (bandgen. 2).  
Kopian kan så utan risk för att förstöra inspelningen på grund  
av bandslitage användas för tillverkning av band till klini-  
kerna (bandgen. 3).

De vid hörcentralerna i Sverige använda PB- och spondélistorna  
har reviderats och nyinspelats. Slutresultatet har blivit 12 PB-  
listor med 50 ord och 3 spondé-listor.

Vid en kritisk avlyssning av inspelningen upptäcktes en "trans-  
ponerad" effekt hos klusiler och frikativor indikerande en  
kvadratisk term i kedjans överföringsfunktion. Kontrollmät-  
ningar visade 80% första ordningens intermodulation vid höga  
frekvenser vid en nivå där andra ordningens var 3%. Bandflödet  
innehåller övervägande udda termer, varför den stora kvadratiske  
termen måste hänföras till förstärkarna. Efter ombyggnad av  
avspelningsförstärkaren blev första ordningens IM mindre än 1%  
då andra ordningens var 3%.

En av förutsättningarna för att listorna sinsemellan skall ge samma uppfattbarhet är att talnivån hålls konstant. Vid inspelningen av PB-listorna ordnades detta provisoriskt med hjälp av bärfrasen "Nu hör vi" före varje ord med nivåkompensation för bärfrasen mellan bandgenerationerna ett och två.

Uppfattbarheten undersöktes vid nivåerna 21, 25, 30, 35 och 40 dB SPL mätt med VU-meter och 30 st normalhörande fp. Mätningarna har med minsta-kvadratmetoden sammanställts i fig. 1a. Spridningen mellan listorna blev vid taltröskeln 6 dB, vilket är av samma storleksordning som för tidigare undersökningar. Spridningen har ansetts bero på försökspersonerna, även med praktiskt taget lika tonaudiogram. Efter justering av förstärkaren gjordes en nyinspelning, med högsta möjliga precision.

Uppfattbarheten mättes denna gång vid 24 och 34 dB SPL, resultaten visas i fig. 1b.

Spridningen vid taltröskel har minskat till 2 dB. Uppfattbarheten för lista 7-12 är bättre än för lista 1-6, vilket kan bero på att de båda grupperna finns på olika bandspolar på såväl bandgeneration 2 som 3. Bandfabrikanten anger spridningen i känslighet mellan två olika spolar av samma emulsion till  $\pm 1$  dB, vilket kan förklara denna spridning.

Den vid första inspelningen onormalt höga förvrängningen innebär, att en förändring av talarens frikativnivå för försökspersonen i huvudsak endast blir en förändring av distorsionsprodukternas nivå. Detta i kombination med talnivåmätningens brister kan vara en förklaring till den signifikant större spridningen i taltröskel hos första inspelningen.

Frikativorna blir vid tröskeln icke hörbara. Den beskrivna intermodulationen kan ge transponerade band i det hörbara området, varvid spridningen kan förklaras med ~~fxs~~ olika förmåga att utnyttja denna information.

Den dåliga noggrannheten vid talnivåmätning med VU-meter belyses ytterligare av mätningar gjorda på de nya svenska spondélistorna. I detta fall har bärfras inte utnyttjats, varför relativmätning ej varit möjlig. Orden bör sinsemellan ha samma uppfattbarhet, den har uppnåtts genom successiva nivåkompenserings och taltröskelbestämningar på grupper om tio normalhörande. Slutresultat

tatet har blivit 72 spondéer, vars uppfattbarhet har kontrollerats vid 30, 50 och 70% nivån med en försöksgrupp om 30 normalhörande.

En antydning om olika nivåbestämningars korrelation till uppfattbarheten har erhållits genom mätning på dessa spondéer, fig. 2.

Ordens nivå har därefter mätts dels med VU-meter (ASA.C.16.5 1954), dels med hörstyrkemeter enligt Zwicker (HP 8051 A) och dels med toppmeter (ballistik sådan att alla pulser större än 0,5 ms ger inom  $\pm 1$  dB korrekt utslag). Hörstyrkegraderingen har skett c:a 15 dB ovanför normal taltröskel.

Såväl ordens antal som försöksgruppens storlek kunde ha varit större, därför får resultaten i fig. 2 endast ses som en antydning, att toppmätning ger bättre noggrannhet vid utstyrning vid talaudiometri än mätning med VU-meter.

Inledningsvis nämndes om osäkerheten vid tolkning av fysikaliska distorsionsmätningar på en ljudöverföringskedja. Tolkingen blir komplicerad, eftersom ingående variabler är av varandra beroende. Man kan således ej göra uppfattbarhetsförsök med endast en förvrängning som variabel och de andra lika med noll, och ej heller över olika hörapparater med försök att korrelera uppfattbarhetsvariationen till fysikaliska mätningar av förvrängningen.

De subjektiva försök som planeras omfattar uppfattbarhetsbestämningar och kvalitetsvalideringsförsök. Dessa skall göras med syntetisk distorsion, först kvadratisk och kubisk amplituddistorsion i kombination med bandbredds begränsningar, därefter transientdistorsion.

Lyssningsproven skall göras dels med normalhörande, dels med olika kategorier hörselskadade. För att få ett statistiskt godtagbart resultat fordras ett stort antal försökspersoner. Uppfattbarhetsmätningarna göres med olika språkmaterial. På grund av det stora material som skall bearbetas skall datamaskin utnyttjas. Eftersom man inte vet vilket ordmaterial, som ger säkraste resultatet, har datakapaciteten valts för att klara det mest krävande fallet, logatomer.

### Uppfattbarhetsbestämningar, fig. 3

Ordmaterialiet inspelas, förvrängs och presenteras för försöksperson över hörtelefoner. Svaret kan sedan antingen inläsas på en svarsbandspelare för bearbetning vid senare tillfälle eller direkt ges på ett tangentbord av typ skrivmaskin. Informationen från de nedtryckta tangenterna registreras på en s.k. databandspelare, som i detta fall är en konventionell tonbandspelare, medelst tonkod via en fältregistreringsutrustning. Denna har en datakapacitet av 7 decimala siffror plus märkkod och operationskod. Tonbandet konverteras sedan till hålremsa eller hålkort för databehandling. Med denna metod användes kvalificerad teknisk personal endast vid försöksuppkoppling, programskrivning och tolkning av resultaten.

### Kvalitetsvalidering

Försöksmaterialiet inspelas med olika förvrängningar på en fyrkanalbandspelare. Val av lyssningskanal bestäms av en hålkortsläsare och en signalväxel. Försökspersonens val registreras på databandspelaren. Resultaten bearbetas sedan på samma sätt som ovan.

Tangentbordet blir olika stort beroende på använt ordmaterial. I logatomfallet innehåller det c:a 400 mekaniska växlingar, varför någon form av datacheckning bedömts vara nödvändig. En typ av komplett checkning medelst dataavläsning med binär-decimal-avkodare tillsammans med en extra kontaktfunktion har valts. Försöket avstannar och registrering av data förhindras då datafel uppstår.

### Anordning för syntetisk, kvadratisk och kubisk förvrängning

Ett förstärkarsystem för överföring av akustiska signaler består av ett antal enheter såsom t.ex. hörapparatens mikrofon, förstärkare och hörtelefon. Var och en av dessa enheter innehåller olineära termer i sin överföringsfunktion. För att undersöka vilka enheter som ur linearitetssynpunkt är sämst gjordes under våren 1967 en serie mätningar på ett urval hörapparater. Intermodulationen uppmättes dels för det kompletta systemet, dels för varje ingående komponent. Undersökningen visade att förstärkaren gav den högsta intermodulationen, vilket var någon fövånande. Man kunde nämligen ha väntat sig, att omvandlarna skulle vara

svagaste länken. Resultatet innebär att intresset först riktas mot förstärkarens förvrängning.

En förstärkares utspänning kan skrivas

$$U_2 = a_0 U_1 + a_1 U_1^2 + a_2 U_1^3 \dots$$

där  $U_2$  och  $U_1$  är ut- resp. inspänning, och  $a_0$  etc. är konstanter.  $a_0$  är den önskvärda lineära termen, resten förvrängning.

Vid fysikaliska mätningar mätes vanligen harmonisk distorsion, men även olika typer av intermodulationsmätningar förekommer. Båda dessa mätmetoder ger en ofullständig bild av förvrängningen, i verkligheten är den harmoniska distorsionen och intermodulationen en utveckling av de kvadratiska, kubiska etc. termerna i överföringsfunktionen.

Vanligen testas man harmonisk distorsion med en sinuston och intermodulationen med glidande sinustoner med konstant frekvensavstånd. I det verkliga fallet - tal eller musik - är signalen mycket mer komplicerad, och ger väsentligt fler kombinationstoner än mätsignalen. Dessutom är varken tal eller musik stationära förlopp, varför förutsättningen för harmonisk analys inte gäller. Stor försiktighet bör därför iakttas vid tolkningen av mätresultaten.

Utrustningens princip framgår av blockschemat, fig. 4, där inkopplade filter kan simulera bandbegränsningar t.ex. orsakade av mikrofon eller hörtelefon.

#### Syntes av den kvadratiska termen

Som kvadrerare har utnyttjats en operationsförstärkare motkopplad med ett nät förspända dioder, fig. 4. Operationsförstärkaren, Philbrick PSQ-P, arbetar endast i en kvadrant, men genom tillsats av en yttre fasvändare på ingången i två kvadranter.

#### Syntes av den kubiska termen

För att syntetisera den kubiska termen för två kvadranter behandlas den positiva och den negativa halvperioden i identiska utrustningar med en extra förstärkare i den negativa.

Kuberingen sker genom successiv logaritmering, multiplicering med 3 och antilogaritmering:

$$y = e^{3 \log x} = x^3$$

Som logaritmiska element användes transistorerna i Fairchilds monolitkrets A 726 som i ett T05-hölje innehåller två transistorer samt en "kamin", som håller kåpans innehåll vid konstant temperatur. Därigenom elimineras delvis temperaturberoendet, se schema fig.5.

% uppfattbarhet.

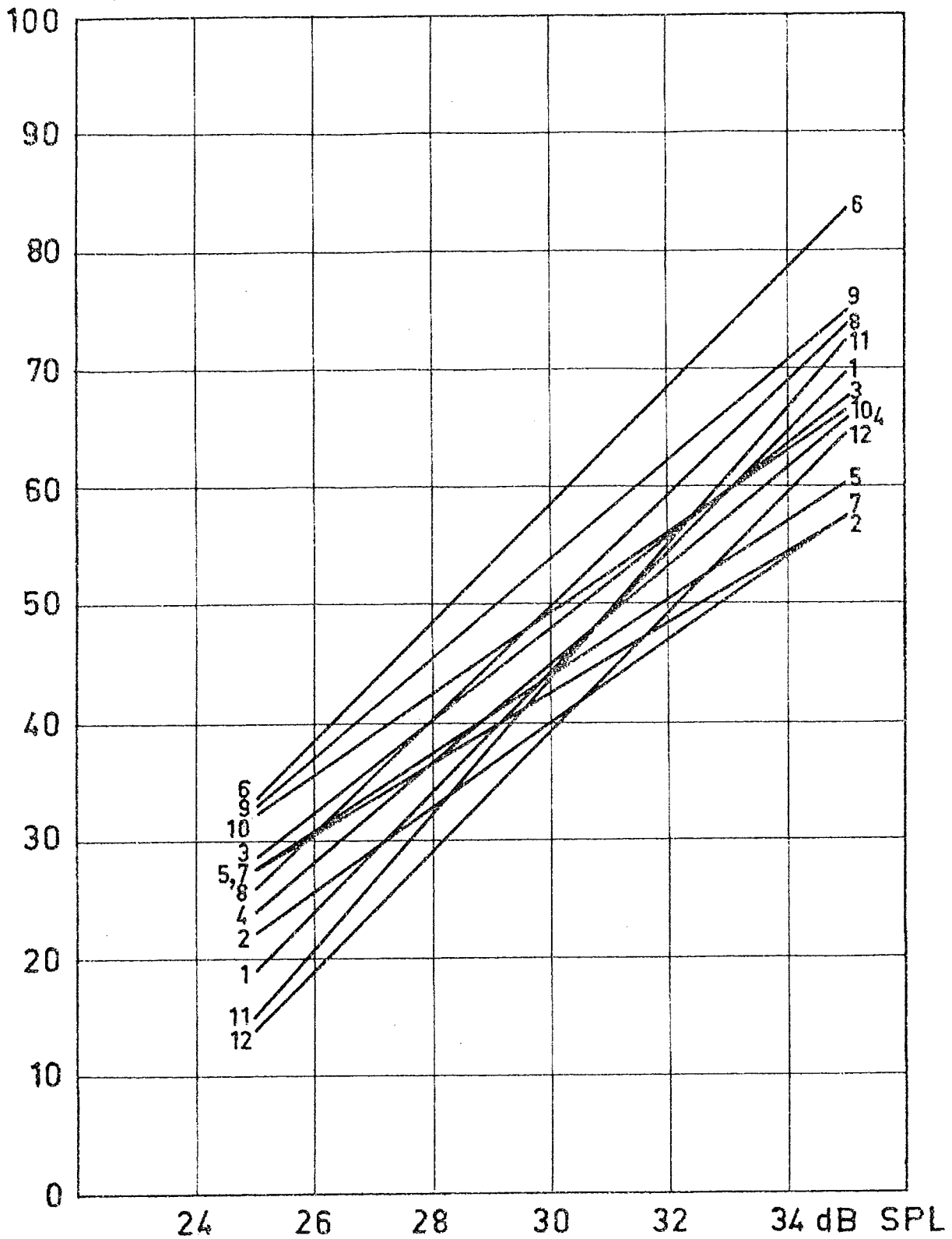


Fig. 1a. FB-listor; försök 1.

% uppfattbarhet.

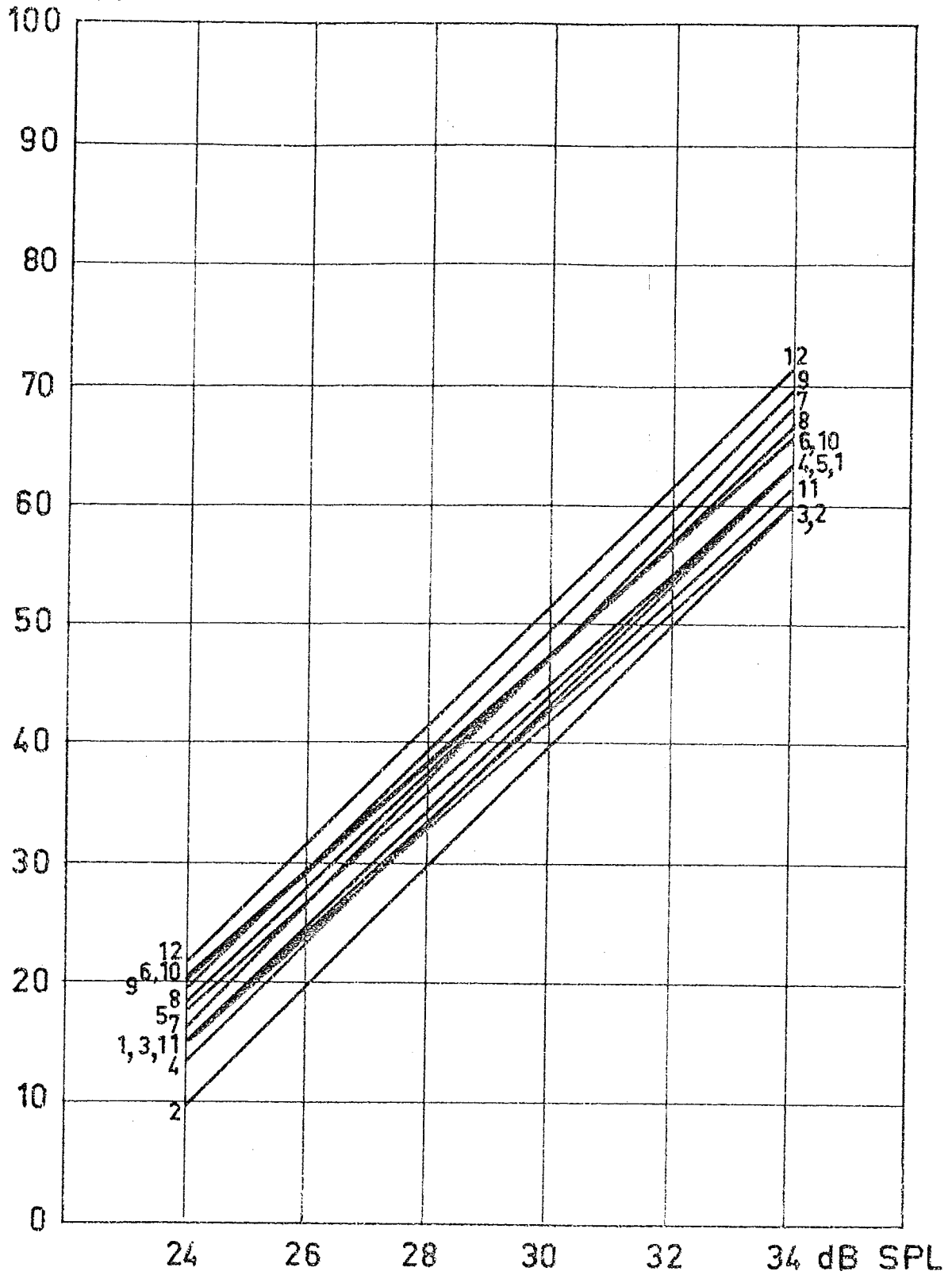


Fig.1b. FB-listor; försök 2.

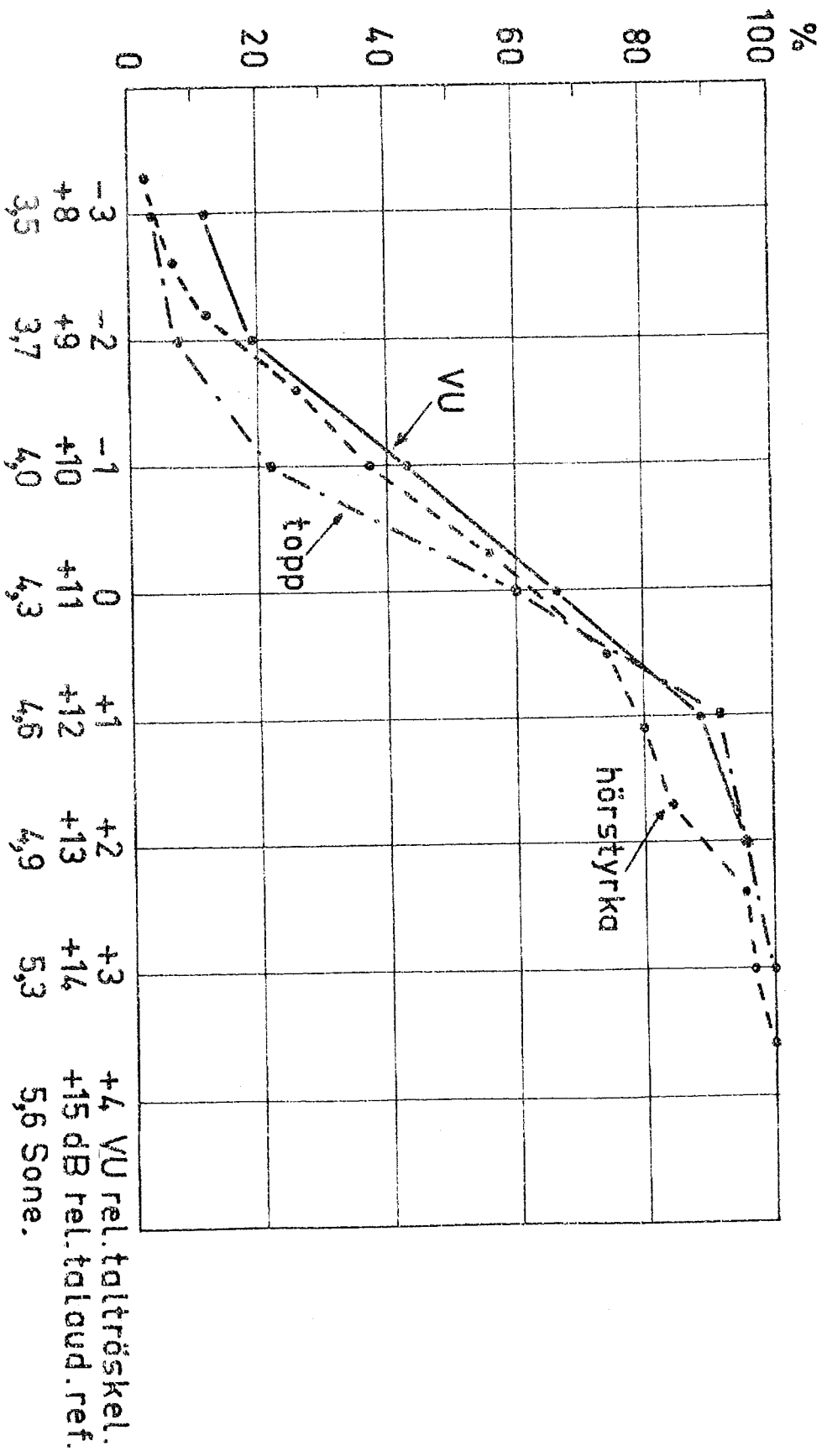


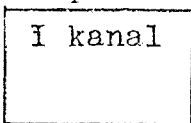
Fig.2. Nivå för spandéer med lika uppfattbarhet; fördelningsfunktion.



PERSONAL-  
INSATSER.

OPERATÖR

Bandspelare



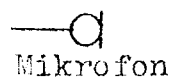
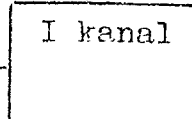
Amplifoncell



Hörtelefon

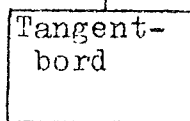
VÄRDERARE

Bandspelare

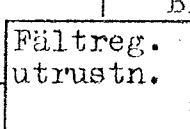


Mikrofon

(alt. Tangentbord)

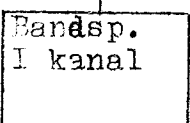


Märkkod  
Op.kod



Binärt 4 bit/dec.siffra  
Datakapacitet:  
7 decimala siffror

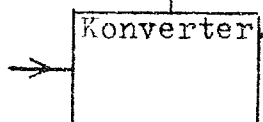
Tonkod



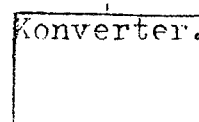
Tonband

PROGRAMMERARE

Program



(alt.)



Datacentral  
Uppsala

Hållremsa

Hålkort

Data  
maskin

Program

Data-  
maskin

FÖRSÖKSLEDARE

Utskrivet material

Fig. 3. Psyko-akustisk mätplats; blockschema.

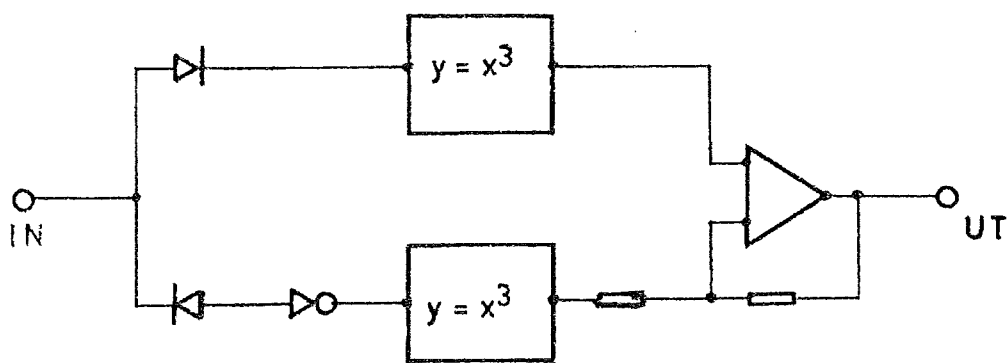
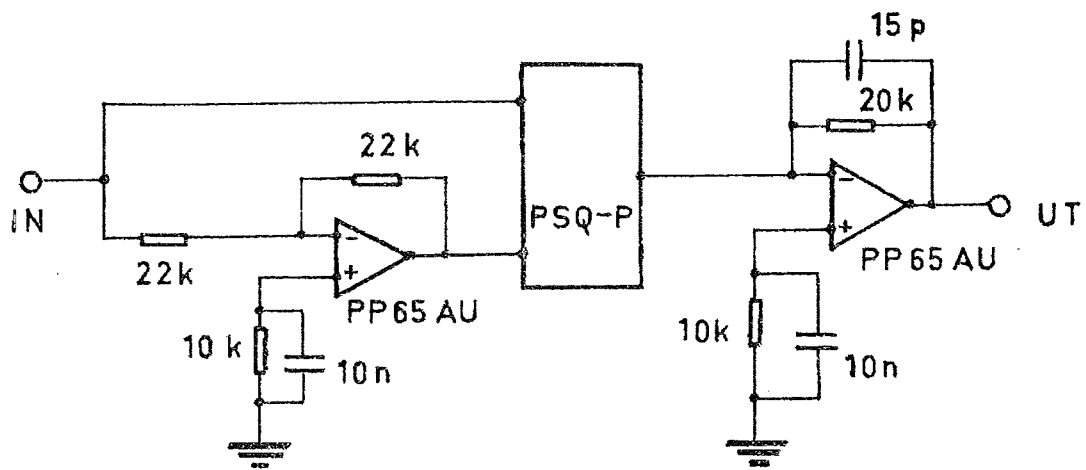
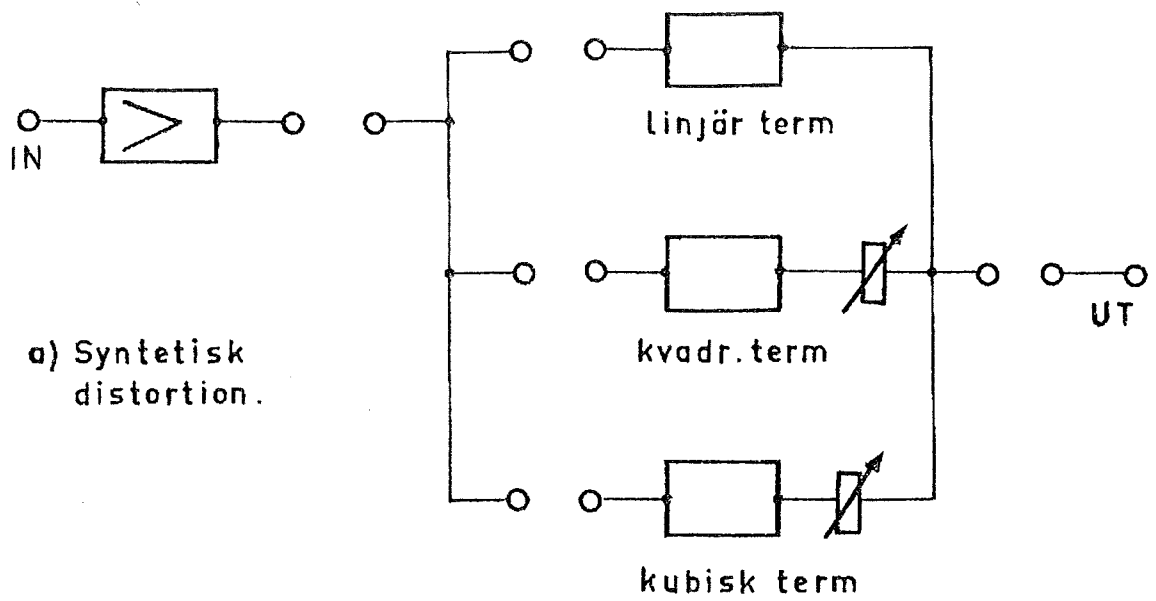


Fig. 4. Syntetisk distortion.

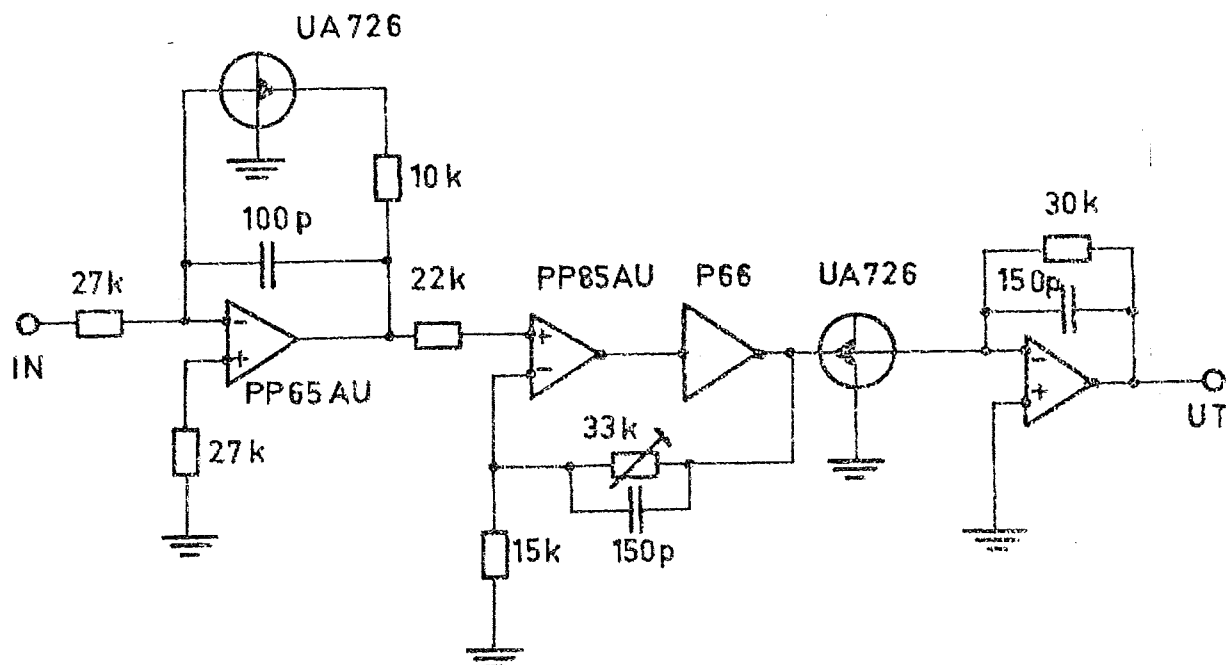


Fig.5. Syntes av kubisk term,  $x > 0$