

MÄTNING AV AMPLITUD- OCH FASKURVOR FÖR HÖRAPPARATER MED
HJÄLP AV MINIDATOR

Åke Olofsson

INLEDNING

Mätningar på hörapparater har sedan 1950 utförts vid institutionen för telegrafi-telefoni, Tekniska högskolan, respektive teknisk audiologi, Karolinska institutet. Resultaten ligger till grund för bedömning för statsbidragsgodkännande. Mätmetoderna har utarbetats i nära Nordiskt samarbete och internationella normer har fastställts genom IEC, International Electrotechnical Commission. Mätningarna utförs analogt i ekofritt rum och resultaten ger bl a amplituden som funktion av frekvensen samt harmonisk distorsion och intermodulation. Med detta projekt har vi velat undersöka möjligheten att utnyttja en minidator för mätningar av amplitud- och faskurvor för hörapparater, men metodiken är naturligtvis ej begränsad till hörapparater utan tillämpbar på alla nätverk som är linjära.

De fördelar som uppnås genom att använda dator är framför allt att mätningen går snabbare men också att noggrannheten kan ökas. IEC normen beskriver två metoder för upptagning av frekvenskurvor. Jämförelsemetoden innebär att två punkter symmetriskt belägna i förhållande till centrumlinjen genom mäthögtalarens kon utväljes på lämpligt avstånd från högtalaren. I ena punkten placeras en kondensatormikrofon och i den andra mätobjektet. Kondensatormikrofonen skall kontrollera ljudtrycket och via en kompressor hålla detsamma konstant inom angivet frekvensområde. En förutsättning är att det existerar två fullt symmetriska punkter i ljudfältet, vilket är mycket svårt att uppnå annat än för ett begränsat frekvensområde.

Arbetet har utförts med stöd av Styrelsen för teknisk utveckling, anslag nr 74-4780.

Substitutionsmetoden innebär att ljudtrycket först uppmättes i mätpunkten och därefter mätes mätobjektet placerat i samma punkt med sin mikrofon orienterad enligt föreskrifter i normen. Denna metod ger större mätnoggrannhet än den föregående. Med dator kan mätningen enkelt utföras enligt substitutionsmetoden.

Ur mätningen erhålles även information om fasgången för mätobjektet dvs hur mycket systemet fasvrider olika infrekvenser. Med utgångspunkt från amplitud- och faskarakteristiken för systemet kan poler och nollställena för överföringsfunktionen beräknas; arbete på datorprogram för detta ändamål pågår.

De metoder för att mäta frekvensfunktioner med digitala hjälpmedel som hittills beskrivits i litteraturen (exempelvis [1] o. [2]) har företrädesvis utnyttjat en mätsignal bestående av en kortvarig puls. Pulstiden väljs så kort att signalens spektrum saknar nollställena i det intressanta mätområdet och genom att lågpasfiltrera och sampla systemets utsignal och därefter utföra DFT (diskret fouriertransformering) har man nått god överensstämmelse med analoga mätningar.

Förfaringssättet har emellertid den nackdelen att mätningen blir känslig för brus då spektraltätheten för mätsignalen är liten beroende på att pulsamplituden måste begränsas för att man ej skall riskera att överstyra systemet. Problemet kan kringgå genom att man medelvärdesbildar över ett stort antal mätcykler men detta innebär att mätningen blir mycket tidskrävande och inte lämpar sig för mätning av större serier.

Den nedan beskrivna metoden lider inte av ovan nämnda nackdel och kan med fördel utnyttjas för exempelvis produktionskontroll inom industrin eller andra liknande tillämpningar där man önskar snabba mätresultat.

Val av mätsignal

För att konstruera en för ändamålet mer lämpad mätsignal än de hittills utnyttjade måste man inse vad FFT-algoritmen som används för att utföra DFT förutsätter av indata och vad den ger som utresultat. Enligt [3] definieras transformparet $x(j)$ och $A(n)$

där $x(j)$ är en tidssekvens och $A(n)$ motsvarande frekvensfunktion av

$$A(n) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x(j) \exp(-i2\pi nj/N) \quad (1)$$

$$x(j) = \sum_{n=0}^{N-1} A(n) \exp(i2\pi nj/N) \quad (2)$$

Om man har en periodisk funktion $x(t)$ så kan denna utvecklas i en fourierserie enligt

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp(i2\pi nt/T) \quad (3)$$

där T är periodtiden. c_n kan beräknas ur

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \exp(-i2\pi nt/T) dt \quad (4)$$

Enligt (3) innehåller $x(t)$ endast frekvenser som är multiplar av $1/T$. Amplitud och fas vid dessa frekvenser ges av (4). Om $x(t)$ samplas med tidsintervallet T_0 så förloras ingen information om $c_n = 0$ då $|n| \geq \frac{1}{2T_0}$.

Om T_0 väljs så att $T_0 = T/N$ kan (4) skrivas

$$\begin{aligned} c_n &= \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{\frac{T}{T_0}-1} x(kT_0) \exp(-i2\pi nkT_0/T) = \\ &= \frac{1}{NT_0} \sum_{k=0}^{N-1} x(kT_0) \exp(-i2\pi nk/N) \end{aligned} \quad (5)$$

Som synes är (5) identisk med (1) så när som på konstanten $1/T_0$.

Detta innebär att om man har en bandbegränsad periodisk signal som samplas enligt ovan och analyserar en period av denna, så beräknar FFT-algoritmen frekvensfunktionen för frekvenserna

n/T exakt.

Då algoritmen endast beräknar frekvensfunktionen för diskreta frekvenser n/T inser man att om signalens energi koncentreras vid dessa frekvenser uppnår man betydligt bättre mätdynamik än om man utnyttjar en kort puls, som ju till största delen innehåller frekvenser som ej kan analyseras med FFT. Den förbättrade dynamiken medger att medelvärdesbildningen kan utföras på färre antal mätcykler och följaktligen att mättiden förkortas. Mätning med utnyttjande av en puls ställer dessutom det kravet att svaret från mätobjektet på en puls måste ha klingat ut innan nästa puls utsänds och detta förlänger ytterligare mättiden.

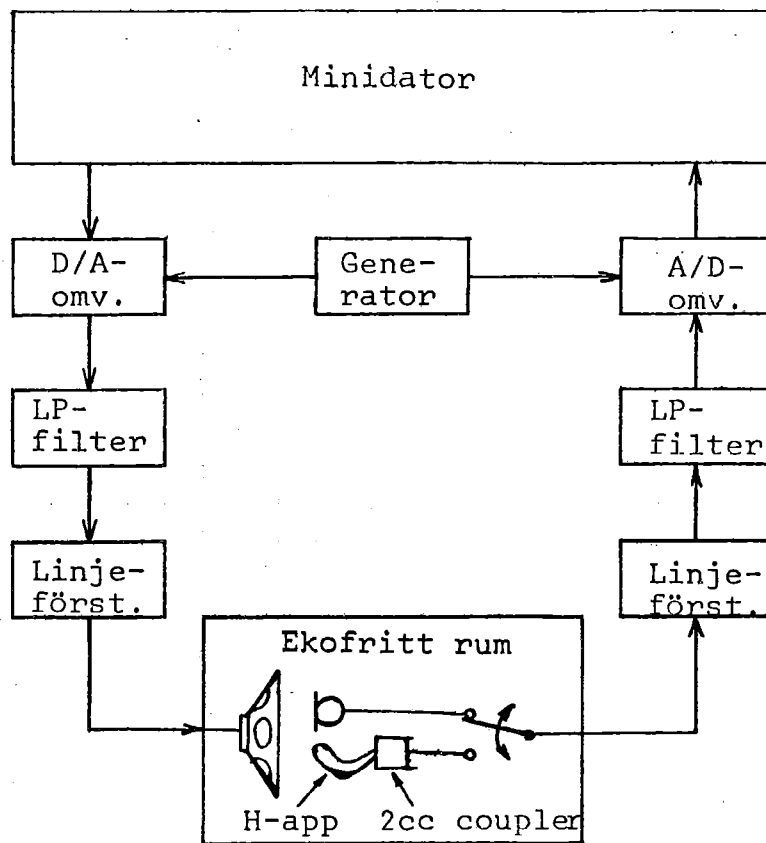
Den metod för att mäta frekvensfunktioner för linjära nätverk som utvecklats vid TA utnyttjar följaktligen, med motivering enligt ovan, en periodisk bandbegränsad mätsignal.

Genereringen av denna sker i datorn och tillgår så att den önskade spektrala sammansättningen bestäms varefter invers FFT (dvs från frekvens till tidssekvens) utförs.

Mätutrustning

Den utrustning som utnyttjas vid mätning av hörapparater består av en minidator med digital-analog- och analog-digital-omvandlare samt filter och förstärkare enligt figur 1. I det ekofria rummet finns 2 st kondensatormikrofoner varav den ena utgör referensmikrofon vid mätningen. Till den andra kopplas hörapparatens hörtelefon via en tryckkammare enligt IEC Publ. 126. Placeringen av referensmikrofon och hörapparat bestäms av att man önskar så lika insignal till bägge som möjligt.

Mätningen tillgår så att den i datorn lagrade tidssekvensen läses ut via D/A-omvandlaren till mätobjektet samtidigt som svaret från denna via A/D-omvandlaren läses in till datorn. Då en sekvens lästs ut påbörjas genast utläsningen av nästa tills det önskade antalet mätcykler uppnåtts. Vid mättillfället mäts först den signal som upptas via referensmikrofonen och sedan den signal som passerat via hörapparaten. Datorn beräknar sedan fouriertransformerna av signalerna med FFT och kalky-



Figur 1. Mätuppställning

lerar den komplexa frekvensfunktionen för hörapparaten som kvoten mellan fouriertransformerna för utsignalen från hörapparaten respektive referensmikrofonen. Amplitudkurvan fås som beloppet av frekvensfunktionen och faskurvan som dess argument. Förfarandet som beskrivits ovan har utnyttjat jämförelsemetoden. Utsignalen från högtalaren i mätpunkten kan givetvis mycket lätt lagras i datorn för jämförelse med utsignalen från hörapparaten dvs mätning enligt substitutionsmetoden.

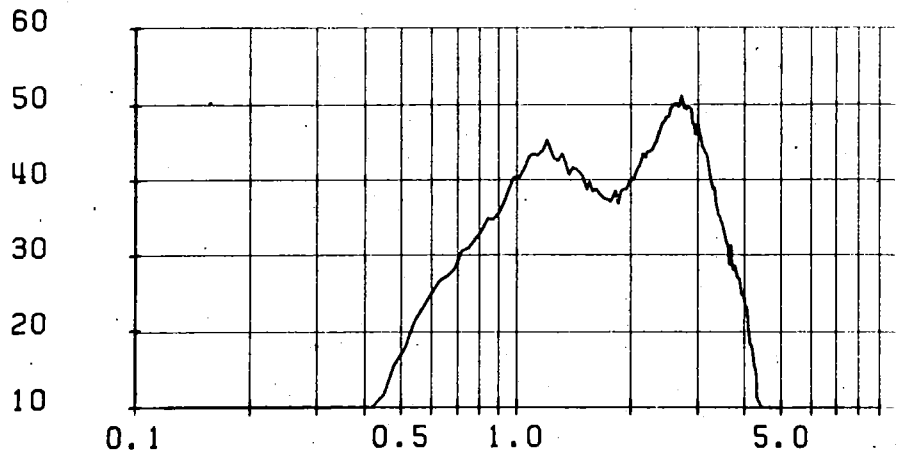
Resultat av mätningar på hörapparater

Frekvensfunktionen för de hörapparater som för närvarande ingår i hörselklinikernas sortiment har uppmätts vid innivåerna 40 dB SPL RMS och 60 dB SPL RMS. Amplitud- och faskurvor för några av dessa apparater redovisas på de följande sidorna. Jämförelse mellan mätningarna vid 40 dB SPL och motsvarande analoga mätningar ger mycket god överensstämmelse. Däremot visar mätningarna vid 60 dB SPL för de flesta av apparaterna markanta avvikelser i basregionen beroende på att framför allt kvadratiska olinjariteter orsakar intermodulation mellan mät-signalens deltoner (se figur 2 och figur 5).

Vid samtliga mätningar ställdes förstärkningskontrollen så att apparaten hade 40 dB förstärkning vid 1000 Hz mätt med sinus-ton. Intermodulationen kan även härröra från överstyrning av förstärkarsteg i hörapparaten; den vid mätningen använda signalen hade 22 dB skillnad mellan topp- och RMS-värde. Vid den fortsatta utvecklingen av metoden har nu uppnåtts en skillnad på enbart 7 dB, men ytterligare minskning eftersträvas i det fortsatta arbetet. Detta innebär ännu bättre mätdynamik då det ju är det tillåtna toppvärdet på signalen som begränsas av vad omvandlarna tillåter.

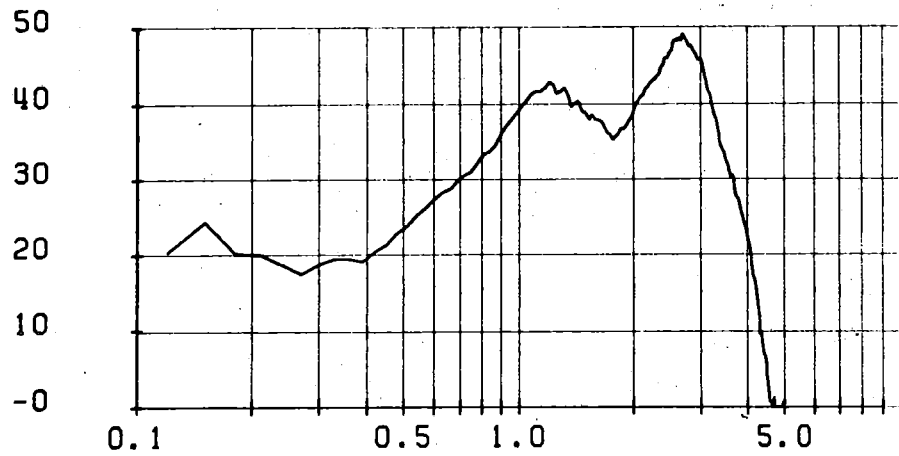
Undersökning av hur olinjariteter i faskarakteristiken påverkar den subjektivt upplevda ljudkvaliteten är under planering. Det huvudsakliga syftet med att mäta samtliga hörapparater var därför att kartlägga förekomsten av olinjariteter i faskången hos de nu godkända hörapparaterna. Som framgår vid jämförelse mellan figur 4 och figur 5 är skillnaden mellan olika apparater påfallande.

GAIN
DB

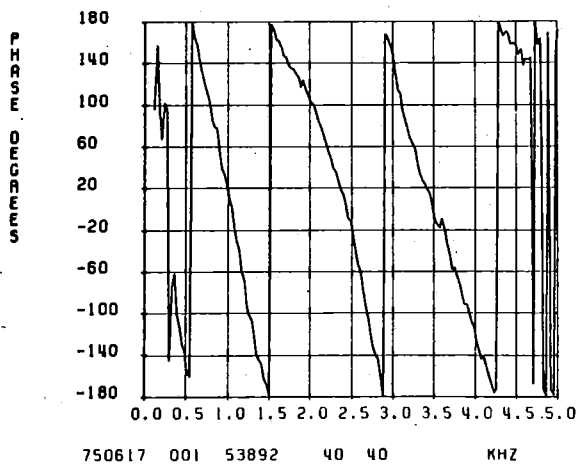


750617 001 53892 40 40 KHZ

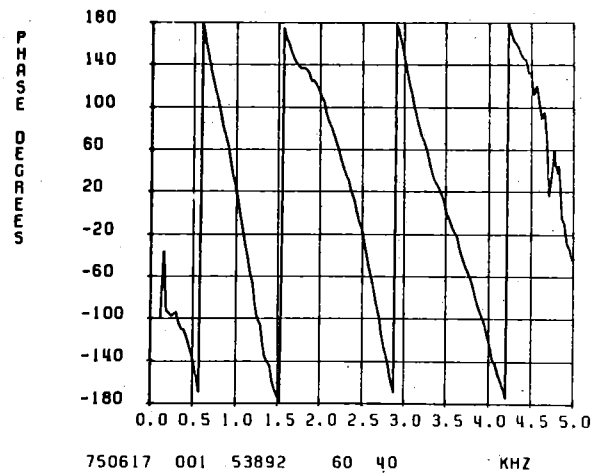
GAIN
DB



750617 001 53892 60 40 KHZ

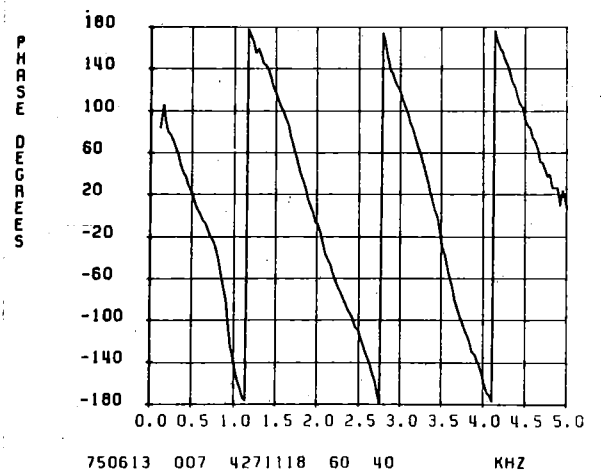
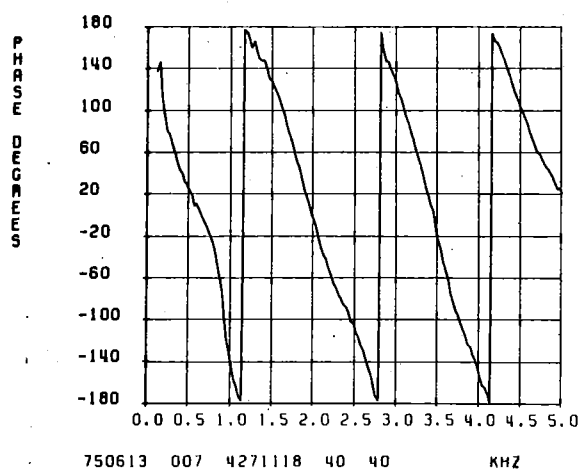
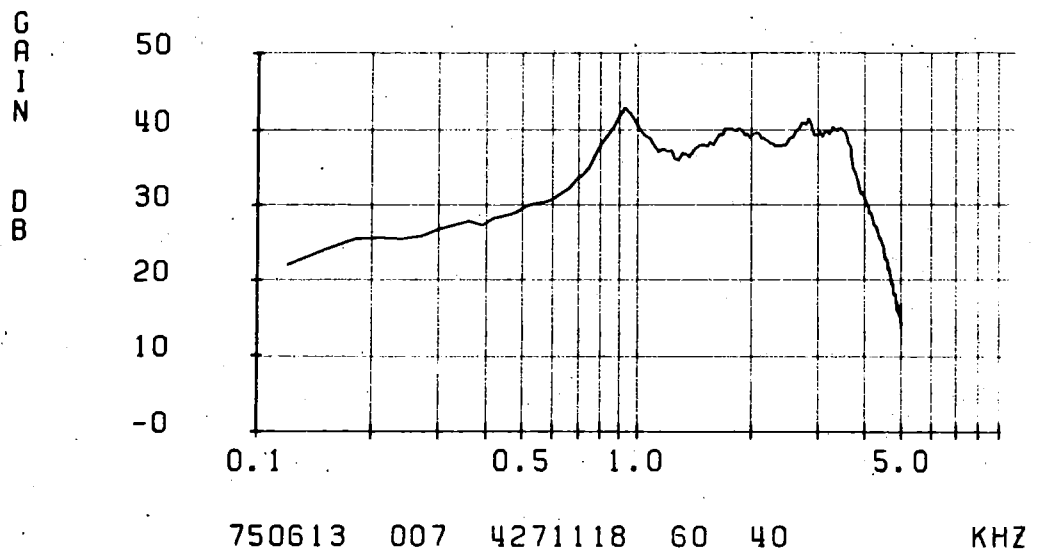
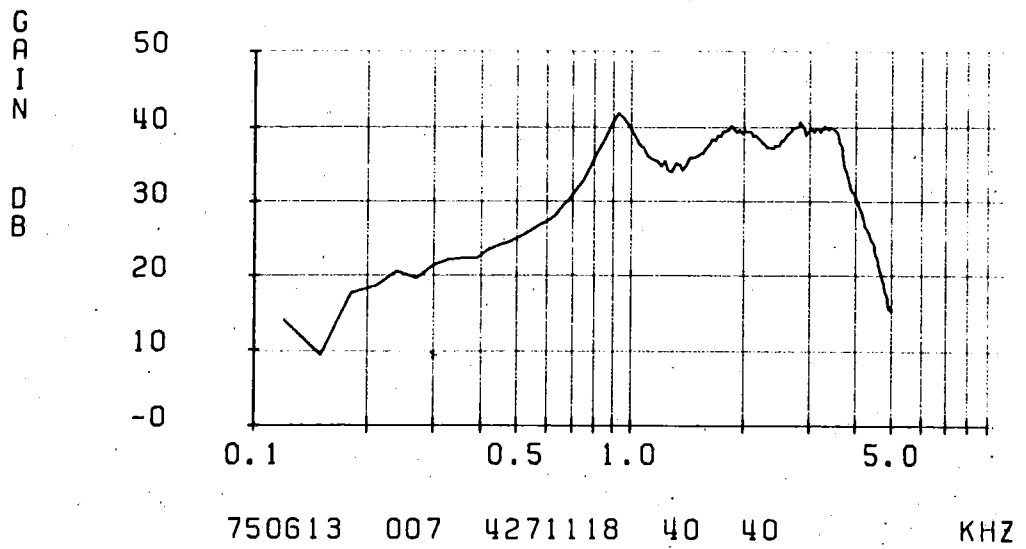


750617 001 53892 40 40 KHZ

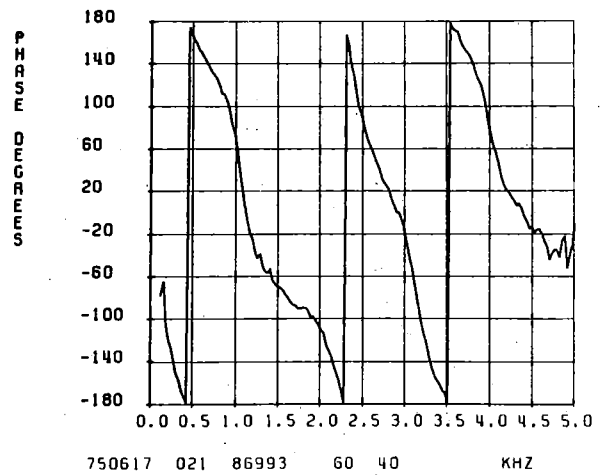
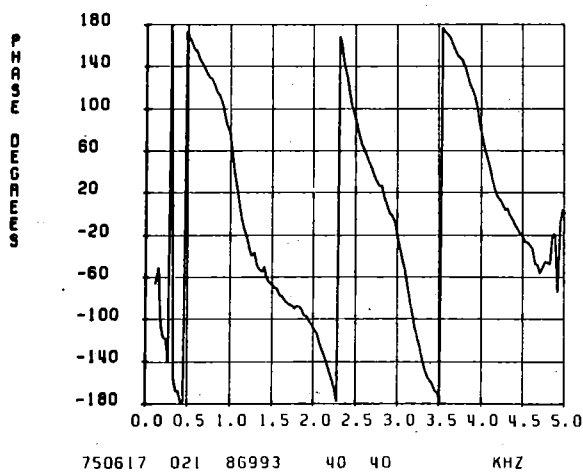
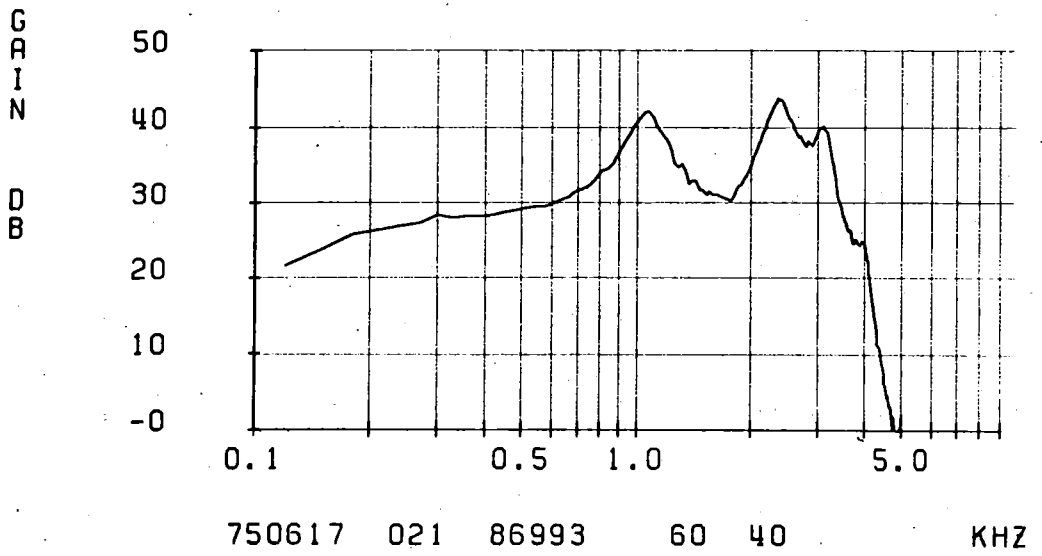
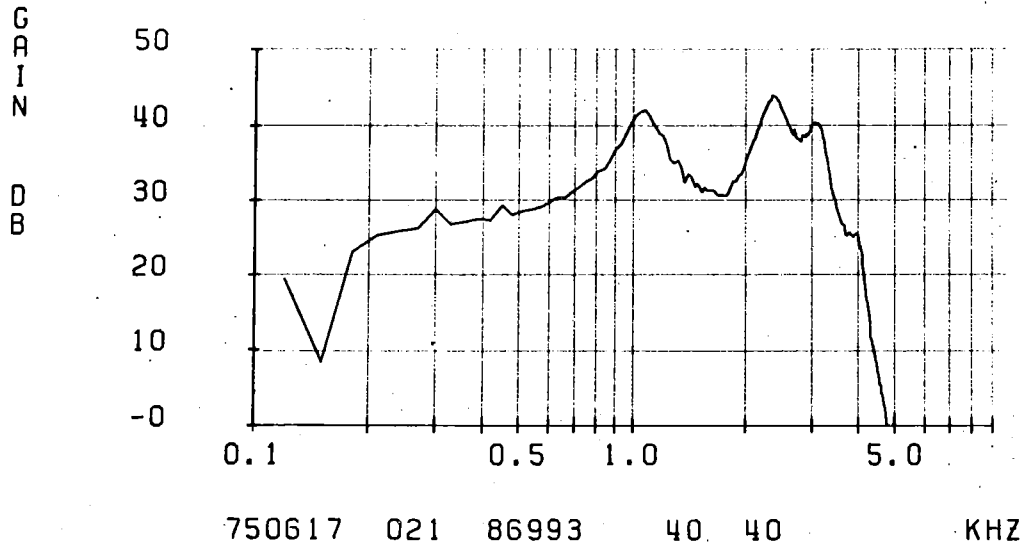


750617 001 53892 60 40 KHZ

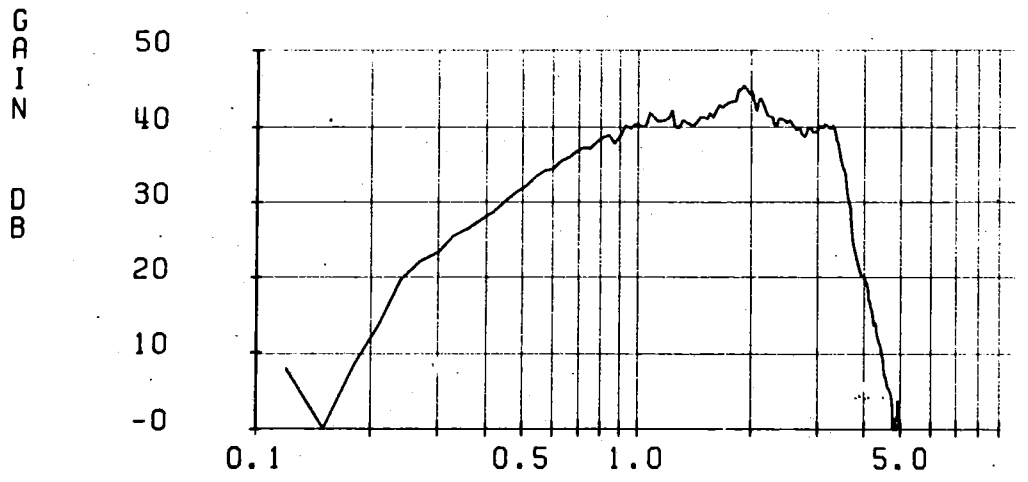
Figur 2. Apparat nr 1, innivå 40 dB SPL resp 60 dB SPL.



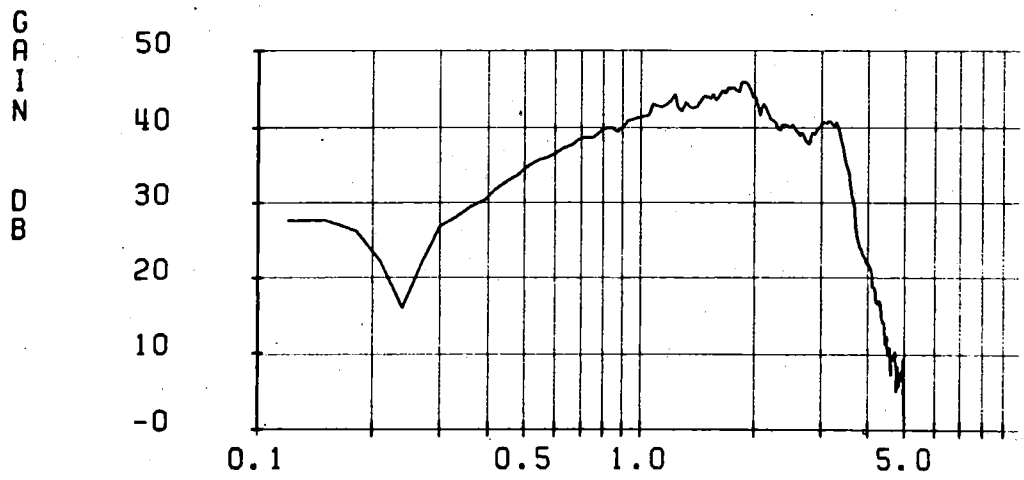
Figur 3. Apparat nr 7, innivå 40 dB SPL resp 60 dB SPL.



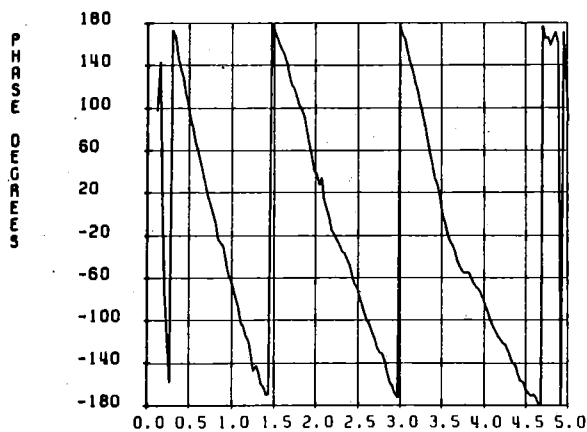
Figur 4. Apparat nr 21, innivå 40 dB SPL resp 60 dB SPL.



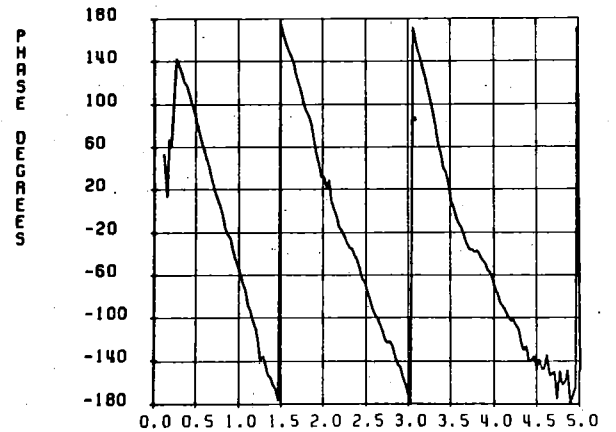
750613 033 654692 40 40 H KHZ



750613 033 654692 60 40 H KHZ



750613 033 654692 40 40 H KHZ



750613 033 654692 60 40 H KHZ

Figur 5. Apparat nr 33, innivå 40 dB SPL resp 60 dB SPL.

Sammanfattning

Den vid TA utvecklade metoden att mäta frekvensfunktionen för ett linjärt nätverk med utnyttjande av dator och periodisk mätsignal har vid mätningar på hörapparatsortimentet visat sig fungera mycket bra och ger god överensstämmelse med analoga mätningar vid låga nivåer. Vid högre nivåer orsakar olinjariteter att datormätningen ger mer energi i basområdet p g a intermodulation mellan deltonerna i mätsignalen.

Avvikelsen från linjär fäsgång hos de uppmätta apparaterna varierade kraftigt. Kraftiga olinjariteter hos faskurvan bör ge sämre upplevd ljudkvalitet; en undersökning av detta är under planering.

Listor över de program som utvecklats för mätning av linjära nätverk med periodisk signal samt plot-rutiner och administrativa rutiner finns tillgängliga vid institutionen.

Den utvecklade mätmetoden synes lämpa sig väl för rutinmätningar som t ex produktkontroll vid tillverkning och torde därför vara av intresse för industriell tillämpning.

Det förtjänar att påpekas att man vid mätningen av frekvensfunktionen samtidigt kan skaffa sig en uppfattning om den olinjära distortionen, genom att i mätsignalen utesluta vissa frekvenser och sedan analysera i vilken grad utsignalen innehåller dessa.

REFERENSER

- [1] V. Mellert et al. "Determination of the transfer function of the external ear by an impulse response measurement". J.Acoust. Soc.Am. Vol.56, No.6, December 1974
- [2] J. Blauert et al., "Impulsverfahren zur Messung von aussen-ohrübertragungsfunktionen". Acustica, Vol.31, Juli 1974
- [3] I.W. Cooley et al. "The fast fourier transform and its applications". IBM rapport RC 1749, Febr. 9,1967.