

HÖGTALAREN SOM TRANSMISSIONSELEMENT

Stig Carlsson*

Efter ett föredrag den 26 februari 1959

I detta bidrag ges synpunkter på utformningen av högtalaren med hänsyn till önskemålet att få en rak frekvenskurva hos högtalartransmissionen och redovisas mätningar och mätmetoder.

Vanligen anses högtalarljud låta som om det kom ur ett hål i en vägg. Rimligaste orsaken till detta intryck är nog att högtalarljudet brukar komma just ur ett hål i en vägg. Det kan naturligtvis låta olika ur olika hål, men ett ensamt hål i en vägg kan inte bringas att avge ett plastiskt ljud, som motsvarar en i sin akustiska miljö fristående ljudkälla.

Riktningsegenskaper hos ljudkällor

Våra vanligaste ljudkällor är dels enkelkällor, dels dubbelkällor (dipol). En enkelkälla är vid de lägsta frekvenserna rundstrålande, medan dipolens riktningsskildring ser ut som en åtta. Exempel på enkelkälla är högtalare i slutna låda, exempel på dipol är högtalare i en bakåt öppen låda eller i en baffel. Vid högre frekvenser, då våglängden närmar sig samma storleksordning som dimensionerna hos den sändande ytan, börjar strålningsvinkeln avtaga. Vid de högsta frekvenserna fås vanligen mycket smala strålningslober.

Detta gäller för både musikinstrument och högtalare. Riktningsegenskaperna är alltså frekvensberoende och olika för olika typer och storlekar av ljudkällor. En violin är betydligt mera rundstrålande än en del mässingsblåsare, vilka liksom högtalare har riktad strålning vid höga frekvenser. Riktningsegenskaperna hos instrumenten influerar säkerligen på det intryck de gör och kompletterar klangfärgsegenskaperna.

Reflekterande ytors inverkan

Om en ljudkälla (enkelkälla) placeras framför en vägg på ett avstånd, som är mindre än $0,2$ à $0,25$ av den utgående våglängden, åstadkommer den reflekterande ytan en ökning av verkningsgraden. Varje närbelägen reflekterande yta ökar verkningsgraden vid de lägsta frekvenserna med ungefär $2,5$ dB. Innan verkningsgradsökningen inträder, erhålles emellertid en svacka i frekvenskurvan.

Halva verkningsgradsökningen har inträtt då våglängden är ungefär 6 gånger avståndet till den reflekterande ytan, medan svackan inträffar ungefär en oktav ovanför. Med en ljudkälla symmetriskt placerad i ett hörn (tre reflekterande ytor på lika avstånd från

*Inst. för Radioteknik
Kungl. Tekniska Högskolan

ljuddkällan) erhålles ungefär 8 dB baslyftning, en svacka på närmare 12 dB och således en nivåskillnad mellan maximum och minimum på ungefär 20 dB. Om de reflekterande ytorna reduceras till två, blir svackan betydligt mindre utpräglad; avståndet mellan minimum och maximum blir ungefär 8 dB, varav dock 6 dB sker inom loppet av en oktav. De angivna värdena avser inverkan på en enkeltkälla, men även en dipol influeras starkt av närbelägna reflekterande ytor.

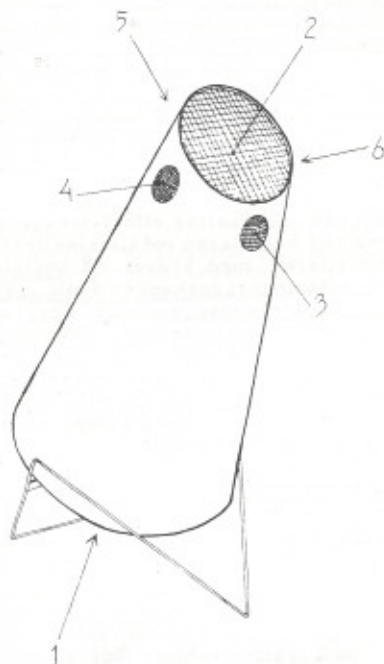
Det är alltså tydligt, att man med en högtalare som i fritt fält har gett rak frekvenskurva inte kan uppnå en rak frekvensgång hos högtalartransmissionen, om reflekterande ytor finns i omedelbar närhet, såsom vanligen är fallet, när högtalaren användes inomhus. (Den som är intresserad av en detaljerad undersökning hänvisas till en artikel av R. V. Waterhouse i JASA nr 1, jan. 1958).

Lämplig högtalarutformning

Hur skall man konstruera en högtalare för att undvika ojämn frekvensgång på grund av närbelägna reflekterande ytors inverkan? Man kan dela upp tonfrekvensregistret på två olika högtalargrupper och placera dem olika. Den för låga frekvenser placeras då nära de reflekterande ytorna och den för medelhöga och höga frekvenser placeras på betydligt större avstånd från de reflekterande ytorna. Verkningsgradssvackan för basdelen läggs på det sättet så långt upp som möjligt och ovanför basdelens arbetsområde, medan verkningsgradssvackan för mellanregisterdelen läggs under mellanregisterdelens arbetsområde. Den av de reflekterande ytorna ökade verkningsgraden hos basdelens högtalare bör kompenseras antingen genom att bashögtalaren i sig utföres med lägre verkningsgrad än mellanregisterhögtalaren eller genom att bashögtalaren matas med svagare signal än mellanregisterhögtalaren.

En utföringsform av högtalare konstruerad på detta sätt och företrädesvis avsedd för hörnplacering skisseras i fig. 1. Basdelens högtalarsystem (frekvensområde 25-250 p/s) sitter i botten delen, som placeras närmast hörnet. Mellanregistersystemet sitter

FIG. 1



i toppdelen längst bort från väggar och golv. Fyra små diskantsystem sitter runt toppdelen. Dessa, tillsammans med diskantstrålningen från mellanregistersystemet, bildar en för de högre frekvenserna praktiskt taget rundstrålade ljudkälla.

Önskemål beträffande högtalarens frekvenskurva och riktningsegenskaper

Om vi utgår från att vi önskar en rak frekvenskurva hos högtalartransmissionen, hur skall vi då definiera detta krav?

Med en ljudsändare placerad i ett normalt rum utgör direktstrålning från högtalaren och reflektioner från de intilliggande ytorna blott en del av den av högtalaren överförd information, resten erhålles i form av reflekterat ljud från övriga ytor i rummet. Under den tid, som örats information byggs upp, hinner nämligen i ett rum av ungefär bostadsrummets storlek reflektioner från de flesta ytor komma med. Vårt krav beträffande högtalar-

transmissionens frekvenskurva bör då snarast definieras så, att högtalaren medräknat inverkan av närbelägna reflektanter ytor skall ha så rak akustisk effekt-frekvenskurva som möjligt, d.v.s. den totala akustiska utstrålningen från högtalaren skall inom arbetsområdet vara möjligast frekvensoberoende för viss tillförd inspanning till högtalarens drivförstärkare.

Kravet på rakakustisk effekt-frekvenskurva hos högtalaren måste emellertid kompletteras med kravet att högtalarens riktningsegenskaper skall vara möjligast frekvensoberoende. Först då kan högtalartransmissionens frekvenskurva bli tillnärmelsevis lika över större delen av lyssningsrummet. Detta uppnås enklast genom att göra högtalaren praktiskt taget rundstrålende även vid höga frekvenser.

Diffuserat ljudfält vid högre frekvenser

För att möjliggöra rak frekvenskurva hos högtalartransmissionen skulle rak akustisk effekt-frekvenskurva och frekvensoberoende riktningsegenskaper utgöra tillräckliga krav på högtalaren - om högtalaren avlyssnas av en liten "enörad" mätmikrofon! Om i stället högtalaren skall avlyssnas av den mänskliga hörselapparaten, tillkommer emellertid dessutom kravet att högtalaren skall utföras så, att ljudfältet vid frekvenser över 2000 p/s blir diffuserat.

Om man i ett ekofritt rum lyssnar till en glidande ton från en högtalare, som med mätmikrofon befunnits ha rak frekvenskurva, så uppfattar lyssnaren ovanför 2000 p/s snabba ljudstyrkevariationer upp och ned. Samma ljudstyrkevariationer kan lyssnaren iakttaga även vid konstant ton, om han vrider på huvudet. Ljudstyrkevariationerna sammanhänger bl.a. med ljudets diffraktion omkring huvudet och uppträder när huvudets dimensioner är av storleksordningen en eller flera våglängder. De skulle upphävas om ljudet vid frekvenser över 2000 p/s vore totalt diffuserat, d.v.s. kom från alla riktningar samtidigt, men minskas väsentligt redan om ljudet når lyssnaren från ett flertal olika riktningar.

En sådan diffusering uppnås hos högtalaren enligt fig. 1 genom att den

även vid höga frekvenser är praktiskt taget rundstrålende och sänder på visst avstånd från de närbelägna väggarna, så att direktljud och i dessa väggar och i taket reflekterat ljud når lyssnaren från flera olika riktningar. Lyssnaren utsätts då inte för någon "blandning" av en ensam diskantstråle.

Det bör emellertid observeras, att ett diffuserat ljudfält från högtalaren gör att högtalarens frekvenskurva mätt med en mätmikrofon ej alls har ett jämnt förlopp utan varierar snabbt upp och ner med frekvensen till följd av interferens mellan de olika strål-väggarna.

Mätningar och mätmetoder

Högtalare brukar mätas under frifältsförhållanden, vanligen i s.k. ekofria rum. Fig. 2 visar frekvenskurvor för ett högtalarsystem av hög kvalitet, Philips 9710 M (ytterdiameter: 215 mm), mätt omonterat (d.v.s. utan hölje), vilket förorsakar en fallande frekvenskurva under 1400 p/s. Frekvenskurvorna är uppmätta på 1 m avstånd från högtalarsystemet och rakt fram överst och 25° (mellersta kurvan) respektive 45° (nederst) från högtalarsystemets symmetriaxel. Kurvorna har uppmätts med Neumanns mätmikrofon MM3 i ekofria rummet vid laboratoriet för elektroakustik vid KTH. Högtalarsystemet ifråga användes som mellanregistersystem i högtalaren enligt fig. 1.

Det är högtalarens frekvenskurva rakt fram i ekofritt rum som brukar publiceras såsom högtalarens frekvenskurva, i undantagsfall kompletterad med en frekvenskurva exempelvis 30° från högtalarens symmetriaxel, och det är kurvan rakt fram som högtalarfabrikanter brukar sträva efter att göra så rak som möjligt. En på så sätt uppmätt frekvenskurva ger viss information om högtalaren, det skall inte förnekas, men den är helt missvisande beträffande högtalarens transmissionsegenskaper vid användning i ett normalt lyssningsrum. Utgående från att högtalarens effekt-frekvenskurva skulle ge en riktigare bild av högtalarens transmissionsegenskaper, finner man, att en integrering av den totala utstrålningen från exempelvis högtalarsystemet enligt fig. 2 skulle ge en akustisk effekt-frekvenskurva, som är mer el-

ler mindre kontinuerligt fallande ovanför ungefär 1500 p/s med en genomsnittlig lutning av troligen 6 dB/oktav.

Ny mätmetod för högtalare

Vid KTH:s laboratorium för elektroakustik har inrett ett speciellt mät- rum för högtalare, avsedda för hörn- placering. I detta rum är två hörnbil- dande väggar jämte golvet reflek- terande, medan taket och de båda mot- stående väggarna har klätts med drygt en meter mineralull. Högtalaren pla- ceras på avsett sätt i det reflekterande hörnet. På 300 cm (i några fall något mindre, dock ej mindre än 230 cm) avstånd från hörnet finns 36 mätmikro- fonpositioner, varje position repre-

senterande rymdvinkeln $\pi/72$. För varje mikrofonposition uppmättes ljud- trycket manuellt vid 83 mätfrekvenser, tämligen jämnt fördelade mellan 25 och 20000 p/s. För varje mätfrekvens uträknas medelvärdet av ljudtrycket vid de 36 mikrofonpositionerna. På så sätt har "integrations"-frekvenskurvan enligt fig. 3 erhållits för KTH:s proto- typ av högtalaren enligt fig. 1. Frek- venskurvan är som synes rak inom ± 3 dB mellan 25 och 12000 p/s. Frek- venskurvorna för utspänningen från högtalarens drivförstärkare var då enligt fig. 4. (Jämnheten hos enbart toppdelens frekvenskurva har även kontrollerats separat genom liknande integrationsmätningar i helt ekofritt rum.)

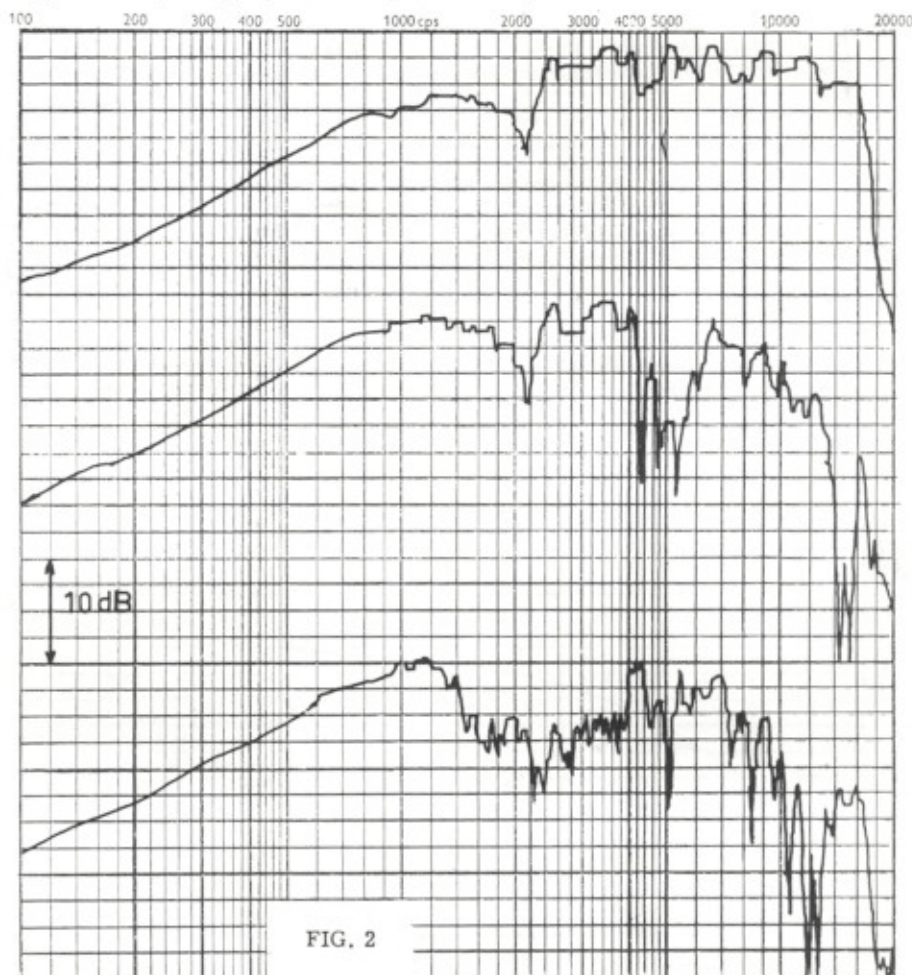


FIG. 2

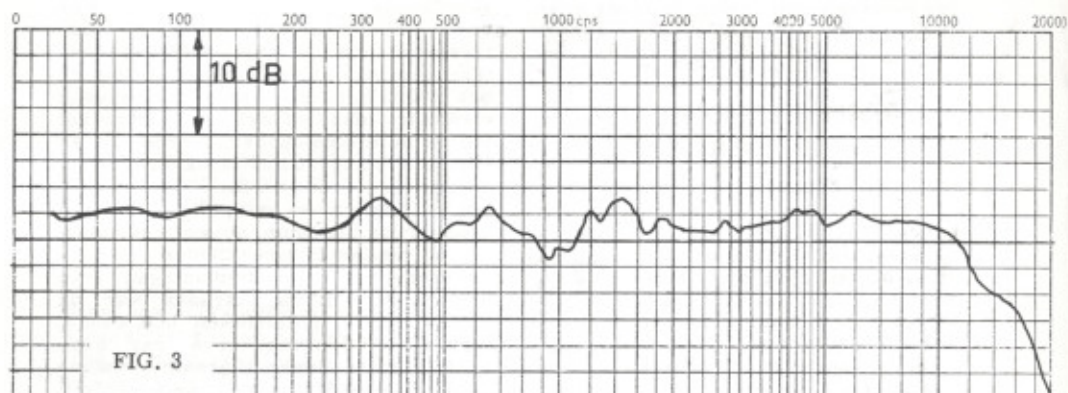


FIG. 3

Denna integrerande hörmätmetod torde vid för hörnplacering användbara högtalare, som ej har utpräglad riktningssverkan, tämligen väl representera högtalarens andel av högtalartransmissionens frekvenskurva i ett normalt lyssningsrum. Mätmetoden är lika entydig och reproducerbar som normala frifältsmätningar, men den är naturligtvis inte lika enkel att utföra förrän var och en av de 36 mätmikrofonpositionerna försetts med var sin mätmikrofon. Den beskrivna högtalaren enligt fig.1 är ej enbart avsedd för hörnplacering. Den kan även placeras exempelvis vid en vägg eller fristående på ett golv;

dess slutförstärkare är försedd med en treläges nivåställare för baskanalerna för att ge rätt nivå till bashögtalaren vid de tre typplaceringarna. Tack vare den jämna frekvenskurvan för den totala akustiska utstrålningen, goda rundstrålningsegenskaper och en sådan utnyttjning av väggreflexer, att diskantstrålningen ger ett diffuserat ljudfält, har återgivningen från denna högtalare en hög grad av naturtrohet och en plasticitet, som många tekniker tror endast kan åstadkommas medelst ett stereofoniskt återgivningssystem. Till det goda resultatet bidrar naturligtvis även en låg intermodulation hos högtalaren.

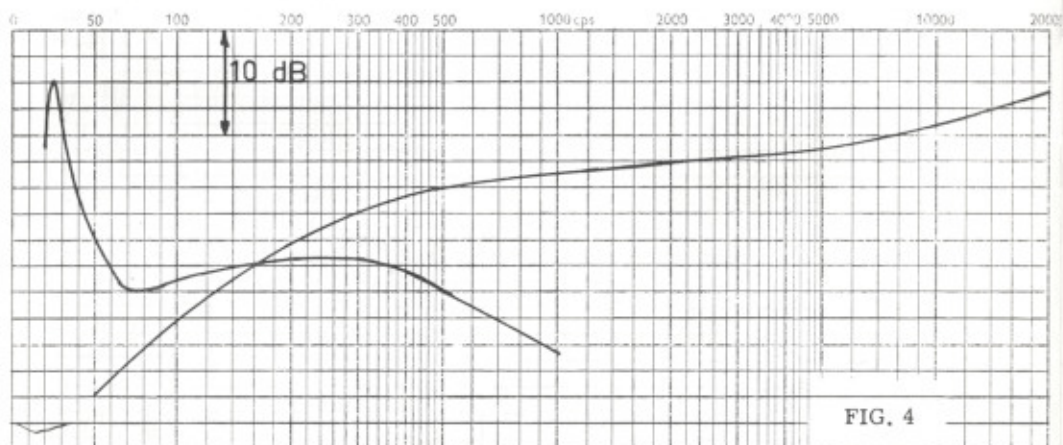


FIG. 4