

BBC Forschungsabteilung

BBC RD 1976/29

Das Design des Miniatur-Überwachungslautsprechers Typ LS3/5A

H.D. Harwood, B.Sc., M.E. Whatton, C.Eng., M.I.E.E. und RW. Mills

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

BBC RD 1976/29
UDC 621.395.623.8.001

Übersetzung Originaltext der BBC,
REICHMANN AudioSysteme 07/2023.

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

Das Design des Miniatur-Überwachungslautsprechers Typ LS3/5A

H.D. Harwood, B.Sc., M.E. Whatton, C.Eng., M.I.E.E. und RW.
Mills

Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt das Design eines Miniaturlautsprechers mit zwei Chassis und ausreichender Klangqualität und Lautstärke, um als Monitor unter Bedingungen zu dienen, unter denen größere bestehende Designs unbrauchbar wären.

Es werden Einzelheiten zur Konstruktion und Leistung des Lautsprechers angegeben, der sich nachweislich gleichermaßen für monophone, stereophone oder quadrophone Zwecke eignet.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

1. Einführung

Es besteht die Notwendigkeit eines Monitorlautsprechers, zur Überwachung der Qualität von Tonprogrammen, wo der Platz knapp bemessen ist und Kopfhörer nicht als zufriedenstellend gelten. Zu diesen Umständen gehört der Produktions-kontrollbereich einer mobilen Fernsehregie, wo der für die Gesamtproduktion des Programms verantwortliche Produzent die Ausgabe des Tonmischers überwachen muss, jedoch mit niedrigeren Pegeln als denen, die zum Mischen verwendet werden.

Daher ist ein kleiner Überwachungslautsprecher erforderlich, und da kein geeignetes kommerzielles Gerät verfügbar war, wurde er von der BBC-Forschungsabteilung selbst entwickelt. Das Design basiert auf einem experimentellen Lautsprecher, der im Rahmen der an anderer Stelle beschriebenen Vorarbeiten zur akustischen Skalierung entwickelt wurde, bei denen ein kleiner Lautsprecher benötigt wurde, um den Frequenzbereich von 400 Hz bis etwa 20 kHz abzudecken. Bei der Messung der Eigenschaften des Lautsprechers wurde festgestellt, dass trotz der kleinen Gehäusegröße die axiale Frequenzcharakteristik bis hinunter zu 100 Hz im Wesentlichen gleichmäßig war und dass bei Musikwiedergabe eine hervorragende Klangqualität erzielt wurde.

Anschließend wurde eine Reihe von Lautsprechern dieser Bauart, bekannt als Typ LS3/5, hergestellt und in mobilen Fernsehkontrollräumen verwendet, wo sie sehr zufriedenstellende Dienste leisteten. Als eine weitere Charge Lautsprecher benötigt wurde, stellte sich heraus, dass die Hersteller der Tief- und Hochtonchassis erhebliche Änderungen vorgenommen hatten und daher eine Neukonstruktion erforderlich war. Dies wurde in Zusammenarbeit mit der BBC-Designabteilung durchgeführt und dieser Bericht beschreibt diesen späteren Entwurf, bekannt als LS3/5A. Der Lautsprecher wird derzeit sowohl von der BBC Equipment Department als auch von drei kommerziellen Lizenznehmern produziert.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

2. Beschreibung

a) Abb. 1 (alle Abbildungen am Ende des Dokuments) zeigt das allgemeine Erscheinungsbild des Lautsprechers. Die Außenmaße betragen 31 x 19 x 16 cm und das Gewicht beträgt ca. 5,3 kg. Seine Impedanz beträgt nominell 15 Ohm und es wird ein Verstärker mit einer Ausgangsleistung von 50 Watt empfohlen. Der Spitzenausgangspegel liegt bei +98 dB bezogen auf 2×10^{-5} N/m², gemessen bei 1,5 m in einem Abstand Raum mit 0,4 Sek. Nachhallzeit. Bei dem Lautsprecher handelt es sich um einen Zwei-Wege-Lautsprecher mit einem 127 mm großen Tieftonchassis und einem Hochtöner mit einer 20 mm großen Kalottenmembran. Die Übergangsfrequenz beträgt etwa 3 kHz.

b) Gehäuse

Es wurde oben darauf hingewiesen, dass eines der Ziele des Entwurfs darin bestand, einen möglichst kleinen Lautsprecher zu produzieren, der eine angemessene axiale Frequenzcharakteristik aufweist. Das Gehäuse hat ein Innenvolumen von knapp 5 Litern geschlossenen Typs, da der Einsatz einer Bassreflexventilierung bei einem so kleinen Gehäuse nicht hilfreich wäre. Die Konstruktion besteht aus 12 mm dickem Birkenperrholz mit Buchenstreben. Obwohl bei dieser Konstruktion beim ursprünglichen Entwurf (LS3/5) keine Schwierigkeiten festgestellt wurden, stellte sich heraus, dass es beim LS3/5A erforderlich war, das Holz sorgfältiger zu spezifizieren, als ursprünglich es für notwendig gehalten wurde.

Die Verwendung von Hartholz jeglicher Art, beispielsweise Parana-Kiefer, für die Leisten erwies sich als inakzeptabel, da durch die Eigenresonanz des Basschassis eine deutlich hörbare Verfärbung erzeugt wurde und diese Leisten keinen ausreichenden mechanischen Widerstand hatten, um diese zu reduzieren. Um sicherzustellen, dass diese Resonanz keine weiteren Schwierigkeiten verursacht, sind die Seitenwände mit einer Schicht Dämpfungsmaterial und die Ober- und Unterseite mit zwei Schichten gedämpft. Zusätzlich ist am Chassis des Tieftöners eine Kunststoffkante angebracht, um es etwas von der Frontplatte zu entkoppeln.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Um die Luftresonanzen im Inneren des Gehäuses zu dämpfen, sind alle Innenflächen außer der Frontplatte mit Polyurethanschaum ausgekleidet; Diese hat eine Dicke von 25 mm an der Ober- und Unterseite des Gehäuses und 16 mm an den Seiten und an der Rückseite. Das Gehäuse ist luftdicht abgedichtet, da schon kleinste Öffnungen zu Fremdgeräuschen führen könnten, die durch den hohen Schalldruck im Inneren des Gehäuses entstehen könnten. Sogar die Schraubenlöcher werden luftdicht verschlossen.

(c) Treiber

Der Tieftöner ist ein Spezialtyp von KEF vom Typ B110 - ausgewählt nach BBC-Spezifikation. Die Nennimpedanz beträgt 8 Ohm und die Freiluftresonanzfrequenz beträgt 35 Hz. Deren Serienstreuung mit 95 %-Grenze liegt zwischen 33 und 40 Hz.

Als Hochtöner dient ein KEF-Hochtöner Typ T27 mit einer Nennimpedanz von 8 Ohm und einer Nennresonanzfrequenz von 1200 Hz. Deren Serienstreuung mit 95 %-Grenze liegt zwischen 1000 und 1450 Hz. Da die Membran dieses Chassis frei liegt und daher beschädigt werden könnte, wurde es durch eine perforierte Metallabdeckung geschützt. Dies hat einen geringen Einfluss auf den Frequenzgang des T27, was durchaus von Vorteil ist, da dadurch die Leistung bei hohen Frequenzen etwas angehoben wird.

Die Abstrahlfläche des T27 ist klein und der Strahler ist daher nahezu omnidirektional. Um zu verhindern, dass durch die akustische Diskontinuität an den Kanten des Gehäuses ein Interferenzmuster entsteht, ist der Hochtöner von einem dicken Filzstreifen umgeben, der auf der Vorderseite der Schallwand angebracht ist.

(d) Frequenzweiche

Das Schaltbild der Frequenzweiche ist in Abb. 2 dargestellt. Die Induktivität L1 und der Widerstand R1 dienen dazu, die allgemein ansteigende axiale Frequenzcharakteristik des Tieftöners auszugleichen. Die Gruppe C5, L2, R2 kompensiert einen Buckel in dieser Kennlinie und die Übergangsfrequenz zum Hochtöner liegt bei etwa 3 kHz. Für den Hochtöner dient die Induktivität L3 gleichzeitig als Nebeninduktivität für die Frequenzweiche und als Transformator, für die Anpassung unterschiedlicher relativer Empfindlichkeiten einzelner Bass- und Hochtonchassis.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

Der Kondensator C2 wird so eingestellt, dass die Übergangsfrequenz konstant bleibt. Diese praktische Schaltung wurde erstmals bei der Entwicklung des LS5/1-Lautsprechers verwendet und hat sich als sehr nützlich erwiesen. R3 dient als Dämpfungswiderstand, um Nachschwingungen zu verhindern, während R4 und C6 dazu dienen, den Frequenzgang am oberen Ende des Bandes anzupassen. Physisch ist die Platine direkt hinter dem Hochtöner montiert und wird durch ein dickes Filzpolster zwischen Platine und Chassis vor mechanischen Resonanzen geschützt.

(e) Impedanz

Der Abtrag der Impedanz über die Frequenz ist in Abb. 2 dargestellt. Der Nennwert beträgt 15 Ohm.

3. Leistung

Die Freifeld-Reaktions-/Frequenzeigenschaften für einen Konstantspannungseingang sind in Abb. 4 für verschiedene Winkelverschiebungen in der horizontalen Ebene dargestellt; der Messabstand betrug 1,5 m. Abb. 5 und 6 zeigen entsprechende Kurven für die vertikale Ebene, gemessen oberhalb bzw. unterhalb der Achse, im gleichen Abstand vom Lautsprecher. Abb. 7 zeigt die Ergebnisse der Schallmessungen am Gehäuse selbst.

Die axiale Reaktion des Tieftonchassis in einem Abstand von 25 mm und der von einer Seite und von der Rückseite des Gehäuses in einem ähnlichen Abstand abgestrahlte Schall wurden mit einem unkalibrierten Mikrofon mit Achtercharakteristik gemessen.

Das Kriterium der Hörbarkeit ist an anderer Stelle festgelegt, die Abstrahlung des Gehäuses liegt bei fast allen Frequenzen unterhalb dieses Kriteriums und ist nicht hörbar.

Abb. 8 zeigt die axialen Nichtlinearitätsverzerrungskurven für verschiedene Harmonische Oberwellen als Funktion der Frequenz, der mittlere Schallpegel betrug +88 dB bzgl. 2×10^{-5} N/m² auf der Achse bei 1,5 m, dem höchsten sicheren und stabilen Leistungsniveau für den Hochtöner.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Abb. 9 zeigt die axialen Nichtlinearitätsverzerrungskurven für verschiedene Intermodulationsprodukte als Funktion der Frequenz für den gleichen Schallpegel auf der Achse in 1,5 m Entfernung ab 1 kHz. Die beiden verwendeten Töne lagen bei gleichen Pegeln um 121 Hz auseinander. Sowohl bei harmonischen Oberwellen als auch bei Intermodulationstests wurde festgestellt, dass die Verzerrung gering ist.

Der maximale Schallpegel für Programminhalte, beispielsweise stark poppige Musik, hängt von der Dauer der Spitzen ab. Für einen reinen Ton von einer Sekunde bei 150 Hz ist eine maximale Eingangsspannung von 25 Volt zulässig, was einem Spitzenschallpegel von +97 dB bzgl. $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ bei 1,5 m. Bei einem Dauersignal mit einer Dauer von 30 Minuten entspricht der effektive Signalpegel, der zum Erreichen der Nenntemperatur der Schwingspule führt, einer Nenneingangsleistung von 30 Watt, d. h. einem Schallpegel von +90,5 dB bezogen auf $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ bei 1,5 m unter Berücksichtigung des erhöhten Widerstands der Schwingspule aufgrund der hohen Temperatur. Bei stark poppiger Musik entsprechen diese Grenzwerte einem maximalen Schallpegel von +98 dB bezogen auf $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$.

Die Stereo-Raumabbildung wurde durch Beurteilung der Breite eines zentralen Stereobildes gemessen. Die Tests wurden in einem Hörraum mit einer Nachhallzeit von 0,35 s und Sprache als Eingangssignal durchgeführt. Die durchschnittliche Stereobreite für ein Team von 5 Hörern, die Sprache mit voller Bandbreite hörten, betrug $6,6^\circ$ mit einem Standardfehler von $1,3^\circ$. Es wurden auch Tests mit Oktavbändern des Sprachsignals durchgeführt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammen mit der mittleren Position der Stereomitte aufgeführt, deren relative Verschiebung zu chromatische Aberration (vereinfacht: Unschärfe) führen würde[†].

* Für einen zentral platzierten Beobachter an der Spitze eines 60° -Dreiecks, wobei die Basis vom Lautsprecher gebildet wird.

† Wie im entsprechenden optischen Fall ein Zustand, bei dem ein nominell weißes Bild über seine Breite eine variierende spektrale Dichte aufweist.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

4. Diskussion

Die axiale Frequenzcharakteristik ist für einen so kleinen Lautsprecher umfangreich. Anhand der Kurvenform im Bass ist aber erkennbar, dass die Frequenzkurve unterhalb 100Hz abfällt.**. Die Tieftonwiedergabe könnte noch weiter verbessert werden, indem man entweder den Wirkungsgrad verringert oder sie alternativ nicht von einer Konstantspannungsquelle, sondern von einer Quelle mit einer Impedanz von etwa sieben Ohm speist und die Frequenzweiche für den Tieftöner neu gestaltet. Der Nachteil wäre in beiden Fällen ein erheblicher Effizienzverlust.

Die Schallverteilung ist hinsichtlich des Abstrahlwinkels recht breit und variiert gleichmäßig mit dem Winkel. Hörer außerhalb der Achse sollten daher immer noch eine gute Klangqualität erhalten. Das Gehäuse trägt nicht wesentlich zur Verfärbung bei und die Nichtlinearitätsverzerrung ist über den gesamten Frequenzbereich gering. Schließlich fällt die subjektive Beurteilung der Tonqualität sehr positiv aus, die Stereoabbildung erweist sich als hervorragend und die chromatische Aberration (Unschärfe) des Stereobildes ist laut den veröffentlichten Daten nicht feststellbar. Dies impliziert, dass der Lautsprecher gleichermaßen für die Quadrophonie geeignet sein dürfte und in diesem Bereich bereits für experimentelle Arbeiten eingesetzt wurde.

** Die Resonanzfrequenz des Tieftöners im eingebauten Zustand beträgt, wie aus Abb. 2 hervorgeht, etwa 75 Hz.

5. Schlussfolgerungen

In diesem Bericht wird ein kleiner 2-Wege-Lautsprecher beschrieben. Die Leistung sowohl bei monophoner als auch bei stereophoner Nutzung ist ausgezeichnet und der Schalldruckpegel ist für viele Zwecke ausreichend. Er wird für Anwendungen verwendet, die über die ursprünglich vorgesehenen hinausgehen, und er wurde für die externe Herstellung in Massenproduktion lizenziert.

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

Abbildungen:

Abbildung 1

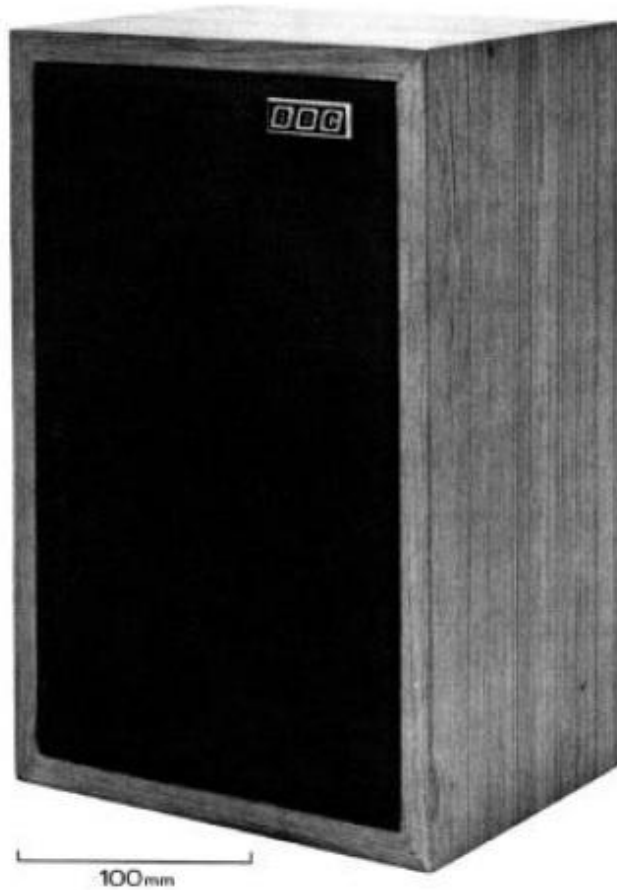
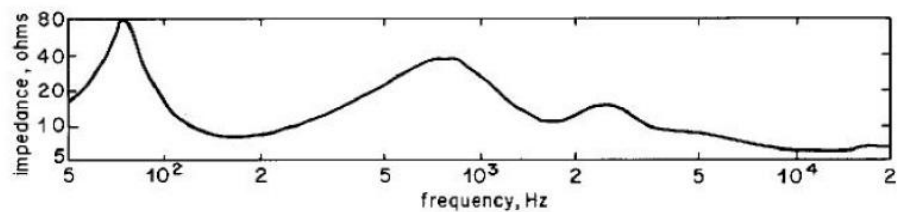


Abbildung 2



Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Abbildung 3

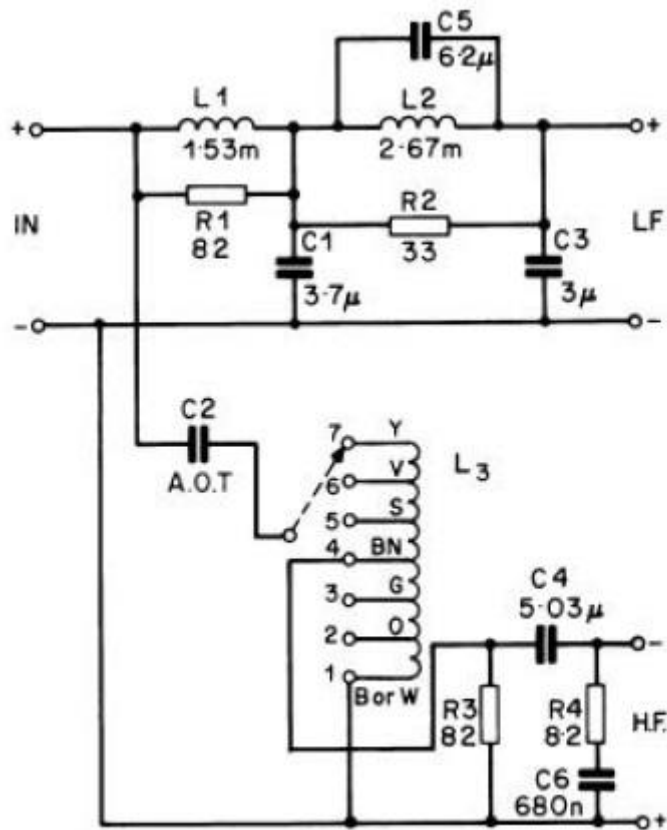
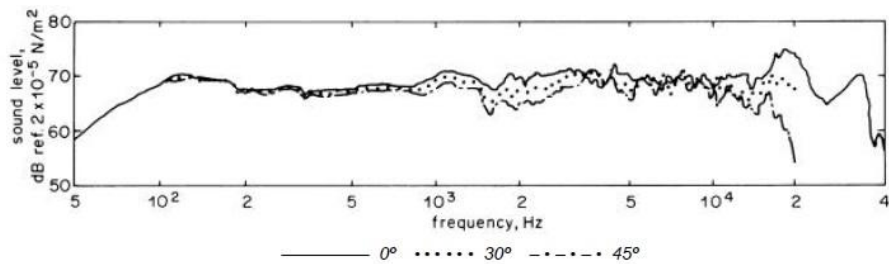


Abbildung 4



Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
 THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
 Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Abbildung 5

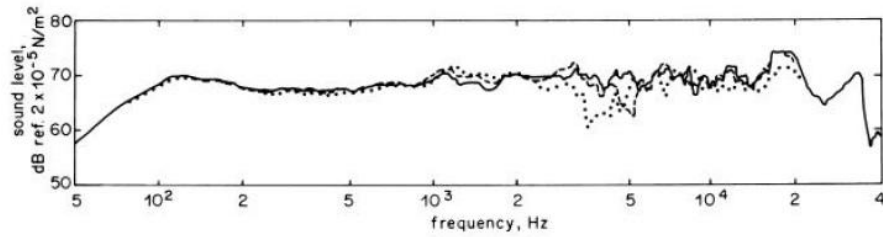


Abbildung 6

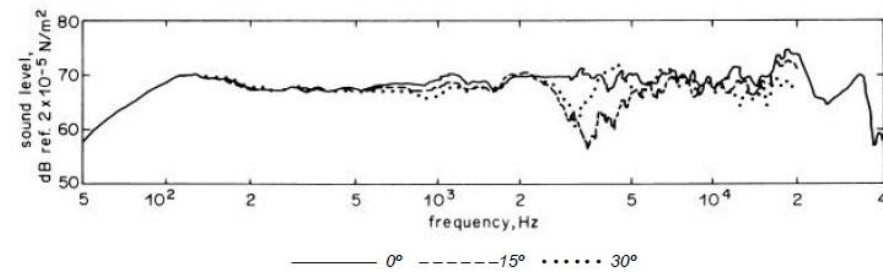
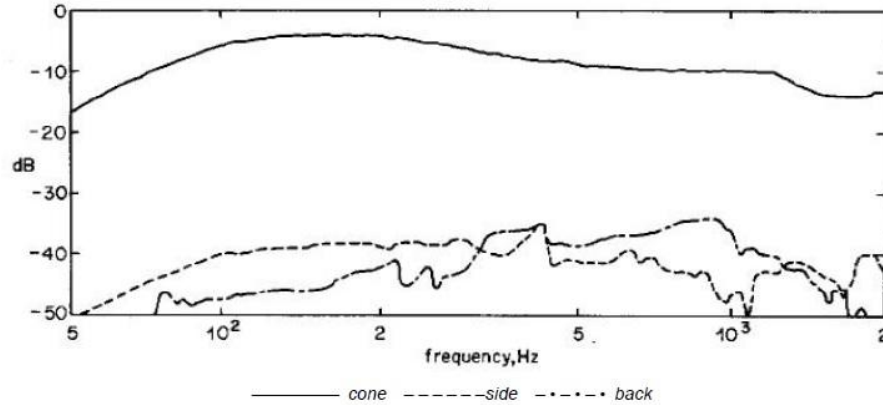


Abbildung 7



Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Abbildung 8

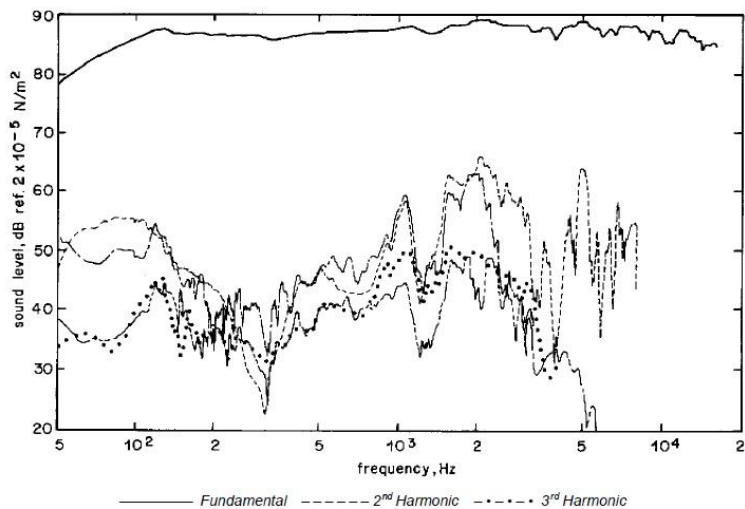
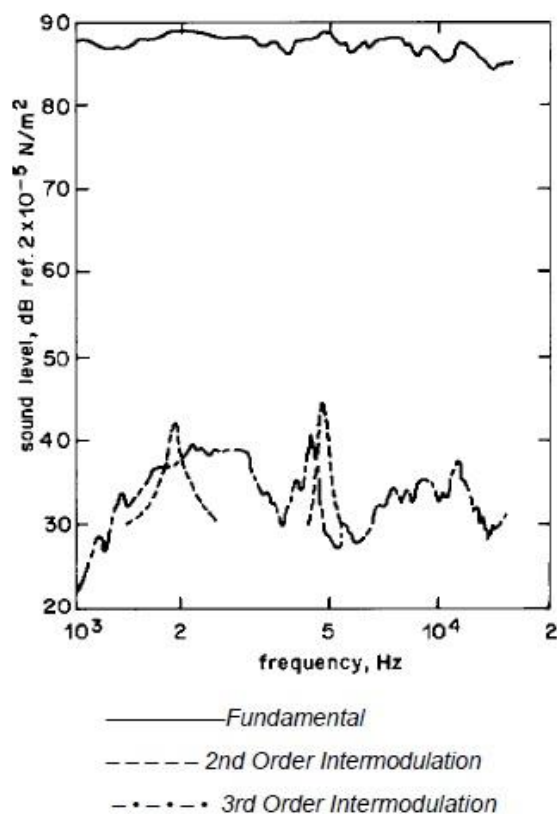


Abbildung 9



Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

MUSICAL FIDELITY

Tabelle 1

Octave band centre frequency, Hz	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Central image width, degrees	8.2	8.0	6.8	6.2	5.6	6.4	5.0
Standard error, degrees	0.8	0	0.8	0.7	0.4	0.7	0.6
Image centre displacement, degrees	-0.2	-0.8	-0.5	0	+0.4	0	+0.3
Standard error, degrees	0.5	0.3	0.4	0	0.5	0.2	0.5

Forschungsabteilung, Ingenieurabteilung
THE BRITISH BROADCASTING CORPORATION
Oktober 1976

REICHMANN AudioSysteme

KONZENTRATION AUF DAS WESENTLICHE.

07728-1064 INFO@REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE

WWW.REICHMANN-AUDIOSYSTEME.DE