

Elektroakustische Grundlage für die Übertragung eines erweiterten Tonfrequenzbereiches = Principes électroacoustiques fondamentaux pour la transmission d'une bande de fréquences audibles élargie

Autor(en): **Furrer, W. / Lauber, A. / Werner, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **27 (1949)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876373>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

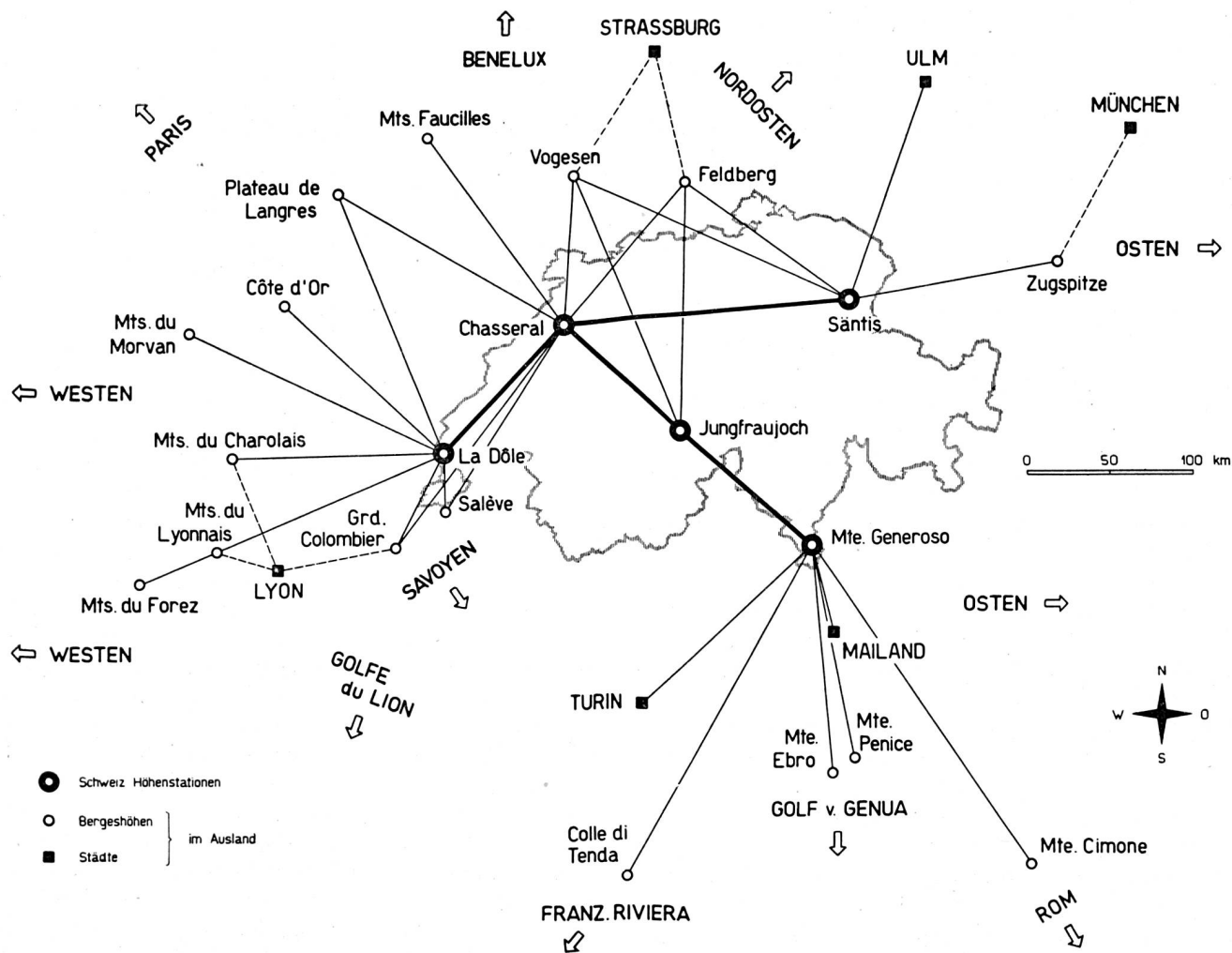


Fig. 2. Internationale Sichtbeziehungen schweizerischer Höhenstationen

ausser der Zusammenfassung unserer nationalen Kräfte, gleichzeitig auch am internationalen Bildaustausch teilzunehmen. Dafür sprechen hauptsächlich ökonomische Gründe, ferner die Aktualität der Darbietungen usw. Von diesen Ueberlegungen ausgehend ist unser Richtstrahlnetz im Zusammenhang mit den internationalen Aspekten konzipiert. Welche Fülle

von Möglichkeiten sich dabei eröffnet, darüber dürfte uns die Figur 2 einen Begriff geben.

So hoffen wir, dass unser künftiges Richtstrahlnetz auf nützliche Art und Weise in unseren Landstrichen den erwünschten Bildaustausch und -transit ermöglichen werde und so dereinst als Schrittmacher unseres Fernsehens dienen kann.

Elektroakustische Grundlagen für die Übertragung eines erweiterten Tonfrequenzbereiches

Von W. Furrer, A. Lauber und P. Werner, Bern

621.392.1

Die akustische Qualität einer Radioübertragung ist im Mittelwellenbereich durch die Selektivität der Empfänger begrenzt. Infolge des kleinen Frequenzabstandes benachbarter Sendestationen liegt die obere Frequenzgrenze schon bei 3 bis maximal 4 kHz, bei ältern Empfängern wird selbst dieser Wert nicht erreicht. Ferner ist die Radioverbindung infolge der

Principes électroacoustiques fondamentaux pour la transmission d'une bande de fréquences audibles élargie

Par W. Furrer, A. Lauber et P. Werner, Berne

621.392.1

Dans la gamme des ondes moyennes, la qualité acoustique d'une transmission radiophonique est limitée par la sélectivité du récepteur. Etant donné le faible écart qui existe entre les fréquences de deux émetteurs voisins, la limite supérieure de la fréquence acoustique utilisable varie entre 3 et 4 kc/s. Dans les récepteurs anciens, cette valeur n'est même pas

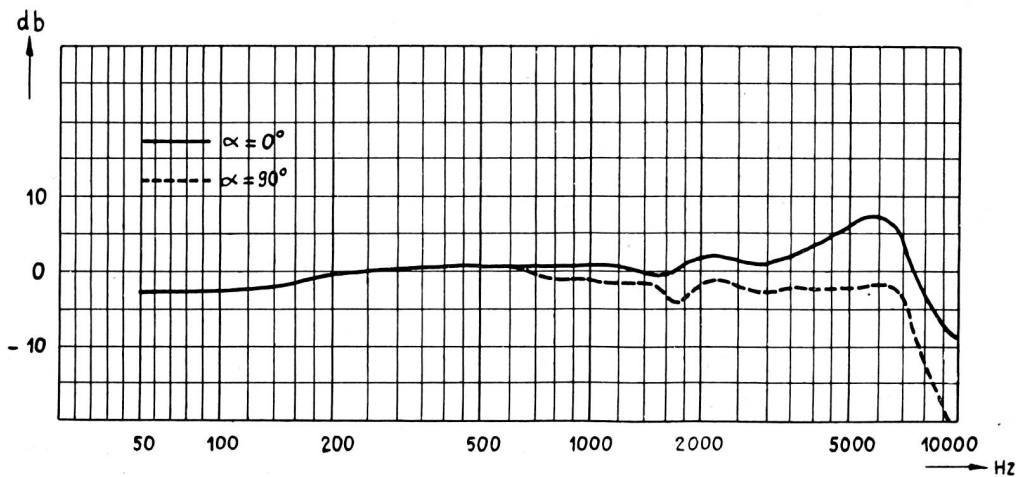


Fig. 1.
Frequenzgang eines häufig
verwendeten Tauchspulen-
mikrophones
Courbe de réponse d'un
microphone à bobine mo-
bile fréquemment utilisé

zur Anwendung kommenden Amplitudenmodulation stark störanfällig, was die Dynamik der Uebertragung auf 35 bis maximal 40 db begrenzt. Die Qualitätsbegrenzungen sind also ausschliesslich durch die hochfrequenten Eigenschaften des Radiokanals gegeben. Ein Mittel zur Ueberwindung dieser Schwierigkeiten ist die Uebertragung auf Leitungen, wie sie sowohl im Hochfrequenz- als auch im Niederfrequenz-Telephonrundspruch verwendet werden. Mit diesen Mitteln lässt sich die obere Frequenzgrenze auf 6...7 kHz erweitern, während der Störpegel gleichzeitig um 10...20 db sinkt.

Eine weitere, heute im Brennpunkt des Interesses stehende Möglichkeit ist die Verwendung frequenzmodulierter Ultrakurzwellen. Klein und Dufour¹⁾ haben nachgewiesen, dass die Ausbreitungseigenschaften der in Frage kommenden Wellenlängen auch im schweizerischen Mittelland sehr günstig sind. Ferner ist bekannt, dass in den USA eine beträchtliche Zahl solcher frequenzmodulierter Ultrakurzwellen-(FM-UKW-)Sender schon im Betrieb stehen.

Bei der FM-UKW-Uebertragung ergibt der Radiokanal keine Beschränkung der obern Frequenzgrenze mehr, so dass es grundsätzlich möglich wird, den ganzen Frequenzumfang des menschlichen Ohres zu übertragen; dadurch ergibt sich eine praktische obere Grenze von 15 kHz. Ferner ist die FM-UKW-Uebertragung in bezug auf Geräusch- und Störanfälligkeit wesentlich günstiger als die amplitudenmodulierte Mittelwellenübertragung, so dass sich auch die übertragene Dynamik im Prinzip wesentlich steigern lässt.

Die Frage, ob die subjektiv empfundene Qualitätsverbesserung mit der Erweiterung des Frequenzumfangs ohne weiteres parallel gehe, wird hier nicht näher untersucht; ebensowenig soll eine mögliche Qualitätsverbesserung durch die Anwendung der Stereophonie in den Kreis dieser Untersuchungen einbezogen werden.

Die vorliegende Arbeit verfolgt den Zweck, abzuklären, ob die übrigen Glieder der Uebertragungskette, nämlich das Mikrophon, die Verstärker, das

erreichte. En outre, du fait de l'emploi de la modulation d'amplitude, la communication radiophonique est sujette à de fortes perturbations qui ramènent la dynamique de la transmission à 35 ou 40 db au plus. Les limitations de la qualité sont donc dues exclusivement aux propriétés de la voie radioélectrique haute fréquence. Ces difficultés tombent si l'on recourt à la transmission par lignes, utilisée pour la télédiffusion à haute ou basse fréquence. On peut ainsi porter la limite supérieure de la fréquence à 6 ou 7 kc/s et abaisser le niveau de bruit de 10 à 20 db.

Une autre possibilité, qui éveille actuellement un grand intérêt, est l'emploi d'ondes ultra-courtes modulées en fréquence. Klein et Dufour¹⁾ ont démontré que la propagation de ces longueurs d'onde est très bonne sur le Plateau suisse. En outre, on sait qu'un grand nombre d'émetteurs des Etats-Unis utilisent ce système de transmission.

Dans la transmission par ondes ultra-courtes modulées en fréquence, la voie radioélectrique n'impose plus de limite supérieure aux fréquences acoustiques; il est possible, en principe, de transmettre toute la gamme des fréquences perçues par l'oreille humaine; pratiquement, la limite supérieure est portée à 15 kc/s. En outre, la transmission par ondes ultra-courtes modulées en fréquence est considérablement moins sensible aux bruits et aux perturbations que la transmission par ondes moyennes modulées en amplitude, ce qui augmente aussi, en principe, la dynamique de la transmission.

Nous n'examinerons pas ici si l'amélioration de la qualité, sensation subjective, marche sans autre de pair avec l'élargissement de la bande de fréquences; nous ne recherchons pas non plus s'il est possible d'améliorer la qualité de la transmission en recourant à la stéréophonie.

Dans le travail que nous présentons, nous examinons dans quelle mesure les autres parties de la chaîne de transmission, soit le microphone, les amplificateurs, la câble reliant le studio à l'émetteur et le

¹⁾ Techn. Mitt. PTT 1948, Nr. 1, S. 1...21, und Nr. 2, S. 61...83.

¹⁾ Bull. techn. PTT 1948, n° 1, pages 1 à 21, n° 2, pages 61 à 83.

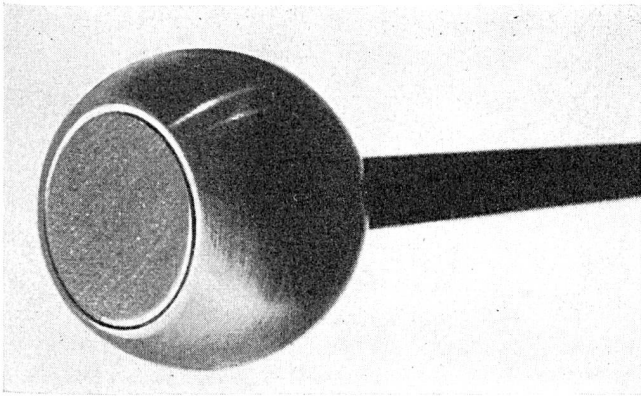


Fig. 2. Ansicht des kugelförmigen Messmikrophones ohne Hohlraum vor der Membran
Microphone de mesure de forme sphérique sans cavité devant la membrane

Verbindungskabel Studio—Sender und der Lautsprecher, qualitativ den Möglichkeiten der FM—UKW—Uebertragung genügen.

Die Frage des *Verbindungskabels Studio—Sender* soll hier nur kurz gestreift werden. Der nutzbare Frequenzumfang unserer heutigen Musikkabel ist auf 8 kHz beschränkt; er kann infolge der bei 10 kHz liegenden Grenzfrequenz der pupinisierten Kabel nicht ohne weiteres erweitert werden. Die neuen, nicht-pupinisierten Trägerkabel eröffnen indessen die Möglichkeit, durch die Ausnützung der für die Trägertelephonie nicht benützten Phantomstromkreise neue Musikleitungen zu gewinnen, die ohne Schwierigkeiten bis 15 kHz abgeglichen werden können; dabei ist lediglich noch die Frage des Uebersprechens vom untersten Trägerkanal her zu untersuchen. Ferner stehen weitere Lösungen durch die in absehbarer Zukunft vorgesehene Verlegung koaxialer Kabel in Aussicht. Es folgt daraus, dass die Verbindungskabel Studio—Sender für eine Verbesserung der Qualität keinerlei Hindernis darstellen.

Studiotechnik

Im Studio wird die Qualität der Uebertragung durch die Raumakustik, das Mikrophon und die

haut-parleur correspondent aux possibilités qu'offre la transmission par modulation de fréquence.

En ce qui touche le câble reliant le studio à l'émetteur, nous ne ferons qu'effleurer la question. La gamme de fréquences utilisable des câbles musicaux actuels est limitée à 8 kc/s; elle ne peut être augmentée facilement à cause de la fréquence de coupure de 10 kc/s des câbles pupinisés. Les nouveaux câbles pour courants porteurs non pupinisés donnent cependant la possibilité, par l'utilisation des circuits fantômes non utilisés pour la téléphonie à courants porteurs, de créer de nouveaux circuits musicaux pouvant être équilibrés sans difficulté jusqu'à 15 kc/s; seule la question de la diaphonie avec le canal inférieur des transmissions par courants porteurs doit être examinée. La pose de câbles coaxiaux, envisagée pour bientôt, permet de prévoir d'autres solutions encore. Dans la liaison par câble entre le studio et l'émetteur, rien ne s'oppose donc à l'amélioration de la qualité de la transmission.

Agencement technique des studios

Dans le studio, la qualité de la transmission est influencée par l'acoustique de la salle, le microphone et l'installation d'amplification. C'est dans l'*installation d'amplification* que la situation est la plus simple. Il n'y a ici aucune difficulté, on trouve déjà dans nos studios des amplificateurs ayant une bande de fréquences de 15 kc/s.

L'*effet acoustique de la salle* dépend en premier lieu du rapport qui existe entre le son frappant directement le microphone et le son réfléchi vers le microphone par les parois de la salle. Pour les basses et moyennes fréquences, les sources sonores entrant en considération ont un rayonnement en grande partie non dirigé, si bien que ce rapport n'est déterminé que par la distance entre le microphone et la source sonore et par l'acoustique de la salle. Pour les fréquences comprises entre 3 et 5 kc/s, les conditions sont modifiées en ceci que le rayonnement se fait de plus en plus par faisceaux et qu'il est ainsi plus facile de modifier le rapport entre le rayonnement direct et le rayonnement réfléchi du son. En outre, il convient de re-

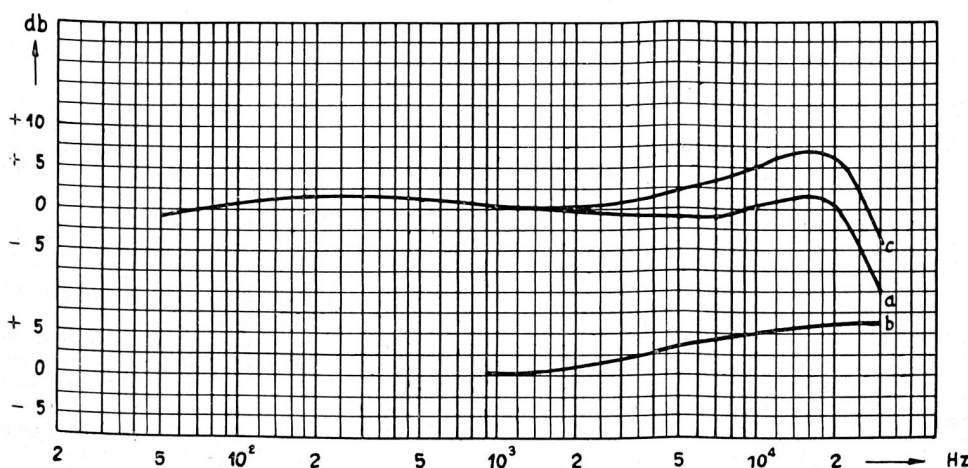


Fig. 3.
Eichkurven des kugelförmigen Messmikrophones:
a) elektrostatische Druckeichung
b) Schalldruckstauung einer Kugel
c) Feldeichung (a + b)
Courbes d'étalonnage du microphone de mesure sphérique:
a. étalonnage électrostatique de pression;
b. transformation de la pression acoustique pour une sphère;
c. étalonnage en champ libre (a + b)

Verstärkeranlage beeinflusst. Dabei sind die Verhältnisse am leichtesten bei der *Verstärkeranlage* zu überblicken. Schwierigkeiten sind hier gar keine vorhanden, denn es bestehen in unsern Studios heute schon Verstärker mit einem Frequenzumfang bis zu 15 kHz.

Bei der *Raumakustik* der Studios kommt es in erster Linie auf das Verhältnis zwischen dem direkt das Mikrophon erreichenden Schall und dem von den Begrenzungsflächen des Raumes auf das Mikrophon reflektierten Schall an. Bei tiefen und mittleren Frequenzen weisen die meisten in Frage kommenden Schallquellen eine weitgehend ungerichtete Abstrahlung auf, so dass dieses Verhältnis nur durch den Mikrophonabstand und die Raumakustik bestimmt ist. Bei Frequenzen, die über etwa 3...5 kHz liegen, ändert sich dieses Bild insofern, als die Strahlung mehr und mehr gebündelt wird und es daher viel leichter ist, das erwähnte Verhältnis beliebig zu verändern. Ferner ist zu beachten, dass der eigentliche Raumeffekt, der für die Qualität der Uebertragung ausserordentlich wichtig ist, vor allem bei den tiefen und mittleren Frequenzen auftritt, in denen der Hauptteil der Energie konzentriert ist. Oberhalb von 4...5 kHz liegen nur noch Obertöne, Geräusche und Einschwingvorgänge, die verhältnismässig so energieschwach sind, dass der Raumeffekt unwichtig wird. Es geht daraus hervor, dass für die Erweiterung des Frequenzbereiches in bezug auf die Raumakustik keine Schwierigkeiten zu erwarten sind, sondern dass die in den Studios bestehenden Verhältnisse ohne weiteres genügen. Es ist jedoch zu betonen, dass sich Fehler in der Mikrophonaufstellung mit einem erweiterten Frequenzumfang viel stärker bemerkbar machen werden, als dies heute der Fall ist. Es ist aber unrichtig, wenn behauptet wird, dass die Erweiterung des Frequenzbandes nach oben auch eine Aenderung der Mikrophontechnik notwendig mache.

Mikrophone

Die heute im Studiobetrieb verwendeten Mikrophone übertragen Frequenzen oberhalb 8...10 kHz im allgemeinen nicht. Die Fig. 1 zeigt als typisches

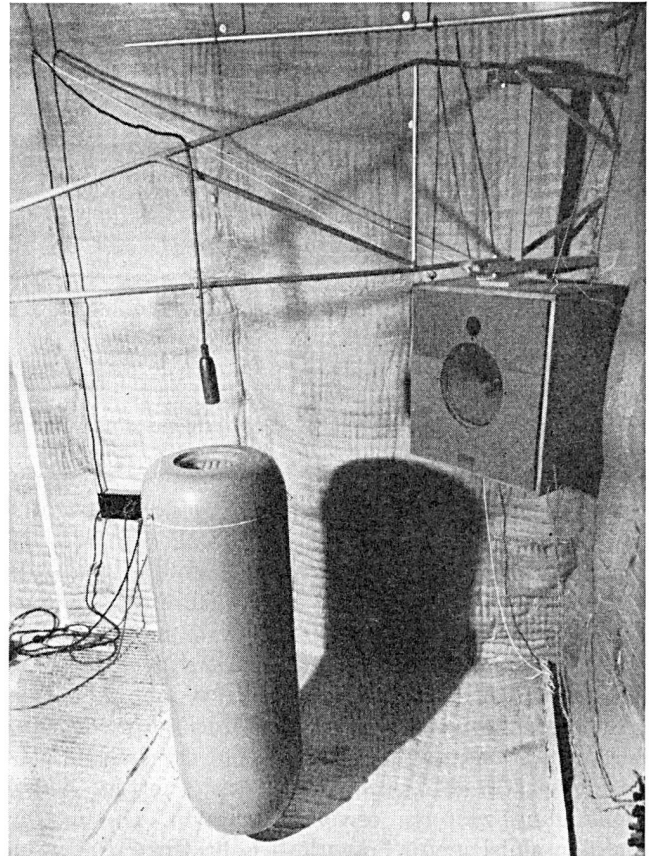


Fig. 4. Vergrössertes Holzmodell 10 : 1 des Kondensatormikrophones; darüber neues Kondensatormikrophon
Modèle en bois du microphone à condensateur (échelle 10:1); en dessus le nouveau microphone à condensateur

marquer que l'effet d'espace proprement dit, qui est d'une extrême importance pour la qualité de la transmission, se manifeste surtout aux basses et moyennes fréquences, où la plus grande partie de l'énergie est concentrée. Au-dessus de 4 à 5 kc/s, on ne trouve plus que des harmoniques, des bruits et des phénomènes transitoires dont l'énergie est relativement si faible que l'effet d'espace n'a plus aucune importance. On voit ainsi que l'élargissement de la bande de fré-

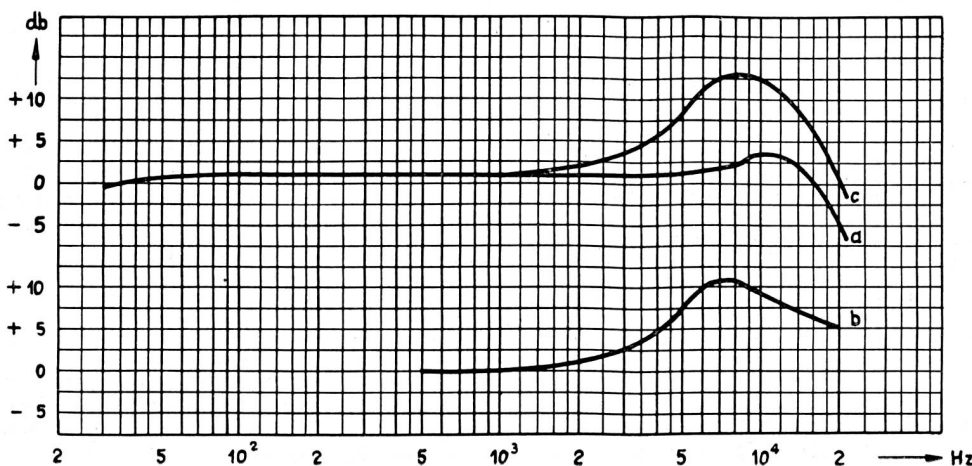


Fig. 5.

Eichkurven des Kondensatormikrophones:

- a) elektrostatistische Druckeichung;
- b) Einfluss der Hohlraum-Resonanz und der Schalldruckstauung, gemessen am vergrösserten Modell;
- c) Feldeichung (a+b)

Courbes d'étalonnage du microphone à condensateur:

- a. étalonnage électrostatistique de pression;
- b. influence de la résonance de la cavité et de la transformation de la pression acoustique, mesurée sur le modèle agrandi;
- c. étalonnage dans un champ acoustique libre (a + b)

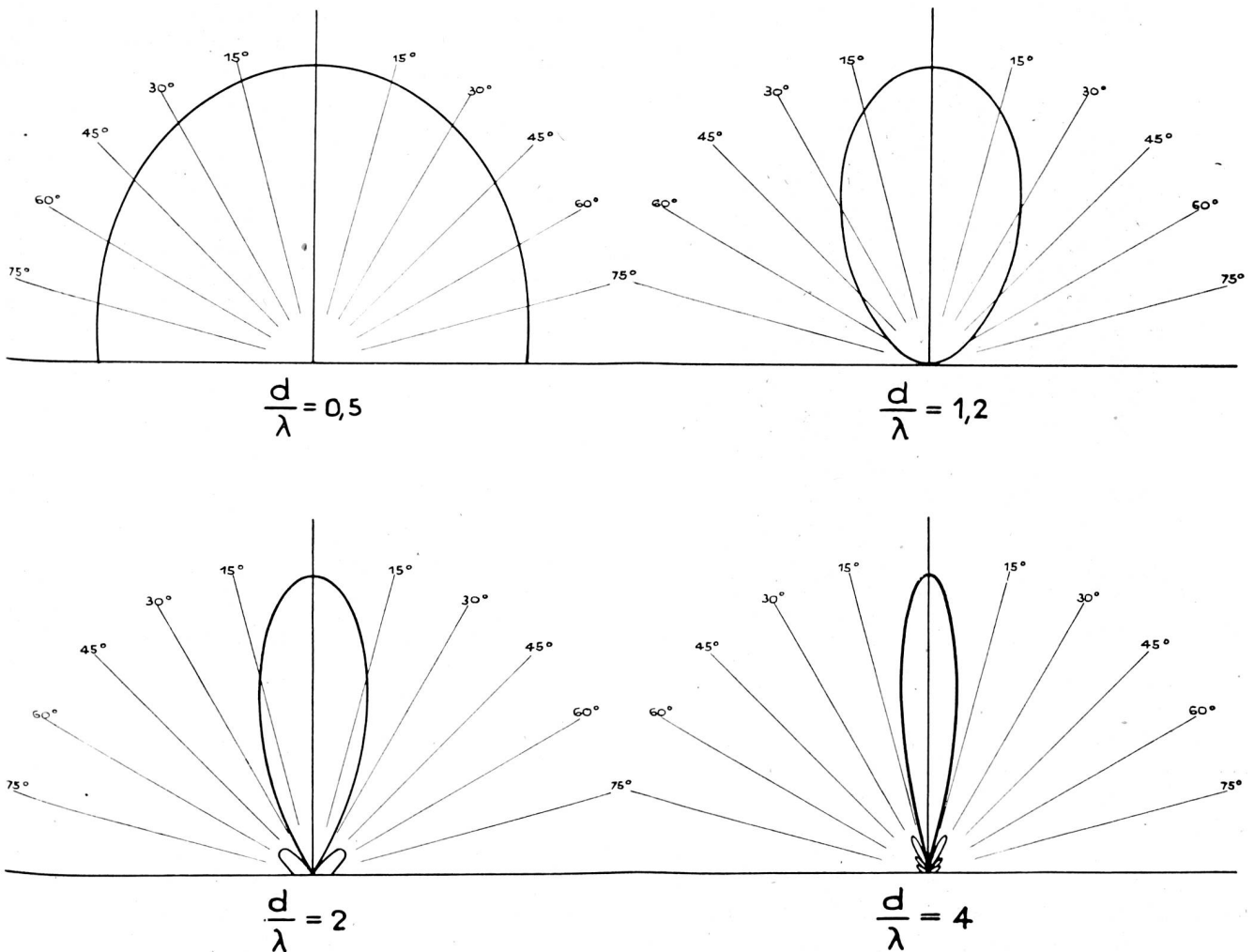


Fig. 6. Berechnete Polardiagramme einer kreisförmigen Kolbenmembran
Diagrammes polaires calculés d'une membrane circulaire agissant comme un piston

Beispiel die Frequenzkurve eines in unsern Studios häufig verwendeten dynamischen Mikrophons. Die Kurve lässt erkennen, dass bei Frequenzen oberhalb 2...3 kHz infolge der Schallfeldstörung und der Resonanz des Hohlraumes vor der Membran eine «unechte» Richtwirkung auftritt.

Für die Uebertragung von Frequenzen bis 15 kHz ergibt sich die Notwendigkeit, ein Mikrophon mit möglichst kleinen Abmessungen zu bauen, um die Einflüsse der Schallfeldstörung, der Hohlraumresonanz und die daraus resultierende Richtwirkung bei den hohen Frequenzen auf ein Minimum zu beschränken. Diesen Ueberlegungen trägt ein neues, kleines Kondensatormikrophon von *J. Bohli* (Solothurn) Rechnung. Der Grund für die Wahl des Kondensatormikrophons liegt vor allem darin, dass frühere Untersuchungen²⁾ gezeigt haben, dass dieses Mikrophon den günstigsten Phasengang und damit ein optimales Verhalten gegenüber nicht-stationären Schallvorgängen zeigt.

²⁾ R. Stadlin, Techn. Mitt. PTT 1947, Nr. 4, S. 133...143, und Nr. 5, S. 187...194.

quences ne se heurte à aucune difficulté en ce qui touche l'acoustique de la salle, et que les studios actuels suffisent tout à fait. Il faut cependant remarquer qu'avec une bande de fréquences élargie une mauvaise position du microphone influencerait bien davantage la transmission que ce n'est le cas maintenant. Il n'est pas exact toutefois de prétendre que l'élargissement vers le haut de la bande de fréquences nécessite une modification de la technique des microphones.

Microphones

Les microphones en usage dans les studios ne transmettent pas en général les fréquences supérieures à 8—10 kc/s. Un exemple typique est donné par la figure 1, qui représente la courbe de réponse d'un microphone dynamique fréquemment utilisé dans nos studios. La courbe montre que pour les fréquences supérieures à 2...3 kc/s la perturbation du champ sonore et la résonance de la cavité qui se trouve devant la membrane provoquent un effet directif «artificiel».

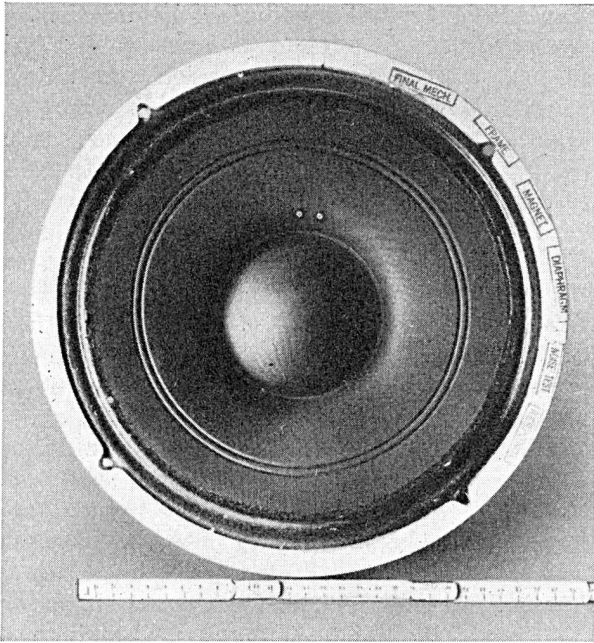


Fig. 7. Ansicht eines Lautsprechersystems mit besonderer Membranform
Haut-parleur avec membrane de forme spéciale

Ferner war es notwendig, die Mikrofonmesstechnik so auszubauen, dass das Frequenzgebiet zwischen 10...15 kHz beherrscht werden kann. Das dabei verwendete Verfahren ist folgendes: Es wurde zunächst ein Kondensatormikrofon gebaut, das vor der Membran überhaupt keinen Hohlraum aufwies, so dass keine Hohlraumresonanzen auftreten können. Das Kondensatormikrofon war, mit Ausnahme der Membranfläche, kugelförmig, so dass die durch das Mikrofon bewirkte Störung des Schallfeldes leicht berechnet werden konnte³⁾ (Fig. 2). Die Feldeichung wurde hierauf durch eine elektrostatische Druckeichung und die rechnerische Berücksichtigung der Schallfeldstörung (Druckstauung) gewonnen (Fig. 3).

Als zweites Verfahren wurde ferner ein Holzmodell des neuen Kondensatormikrophons, im vergrößerten Maßstabe von 10 : 1, hergestellt (Fig. 4). Der am Modell an Stelle der Membran auftretende Schalldruck wurde mit einem Mikrofon gewöhnlicher Größe gemessen, und zwar in einem Frequenzbereich von 100 Hz bis 2 kHz. Dadurch konnte der beim wirklichen Mikrofon im Frequenzbereich von 1...20 kHz an der Membran auftretende Schalldruck ermittelt und auch der Einfluss von Hohlraumresonanz und Schallfeldverzerrung erfasst werden (Fig. 5). Die Resultate der beiden Methoden stimmten auf ± 1 db überein.

Lautsprecher

Schon bei der gewöhnlichen Radiübertragung ist es eine bekannte Tatsache, dass der Lautsprecher das weitaus schwächste Glied der ganzen Kette ist.

Es sei vorausgeschickt, dass die sehr wichtige Frage der Einschwingvorgänge von Lautsprechern,

Pour la transmission de fréquences allant jusqu'à 15 kc/s, il est nécessaire de construire un microphone de dimensions aussi petites que possible, afin de ramener au minimum les influences de la perturbation du champ sonore, de la résonance de la cavité et de l'effet directif qui en résulte aux hautes fréquences. Un nouveau petit microphone à condensateur construit par J. Bohli à Soleure satisfait à ces exigences. Le microphone à condensateur a été choisi avant tout parce qu'il présente, ainsi que l'ont prouvé

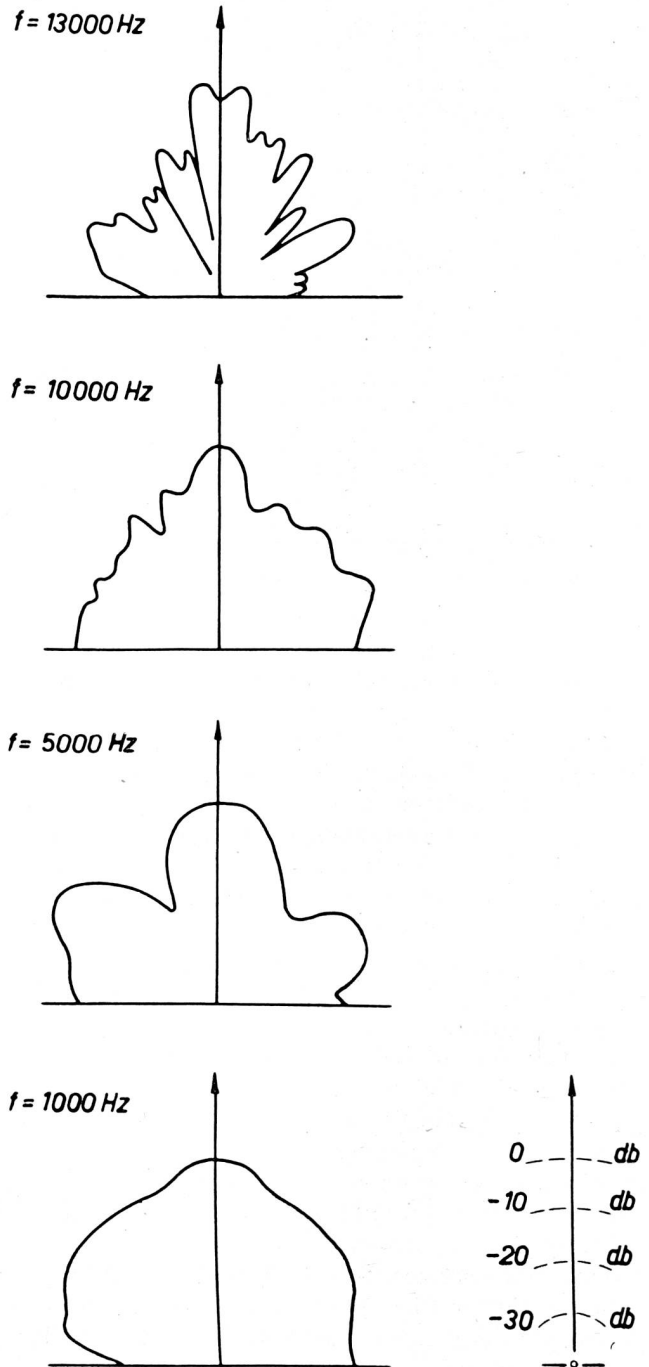


Fig. 8. Polardiagramme des Lautsprechers der Fig. 7
Diagrammes polaires du haut-parleur de la figure 7

³⁾ St. Ballantine. J. Acoust. Soc. Am. 3 (1932), 319.

die noch weitgehend ungeklärt ist, hier nicht berührt wird. Zunächst ist es selbstverständlich, dass der Lautsprecher bis 15 kHz einen möglichst ausgeglichenen Frequenzgang aufweisen muss; ferner ist es notwendig, dass die Abstrahlung über einen möglichst grossen Winkelbereich konstant sei. Es ist nun aber grundsätzlich so, dass ein Strahler nur dann ungerichtet abstrahlt, wenn seine linearen Abmessungen klein sind gegenüber der abgestrahlten Wellenlänge. Für die dem normalen dynamischen Konuslautsprecher gut entsprechende kreisförmige Kolbenmembran mit einem Durchmesser d berechnet sich

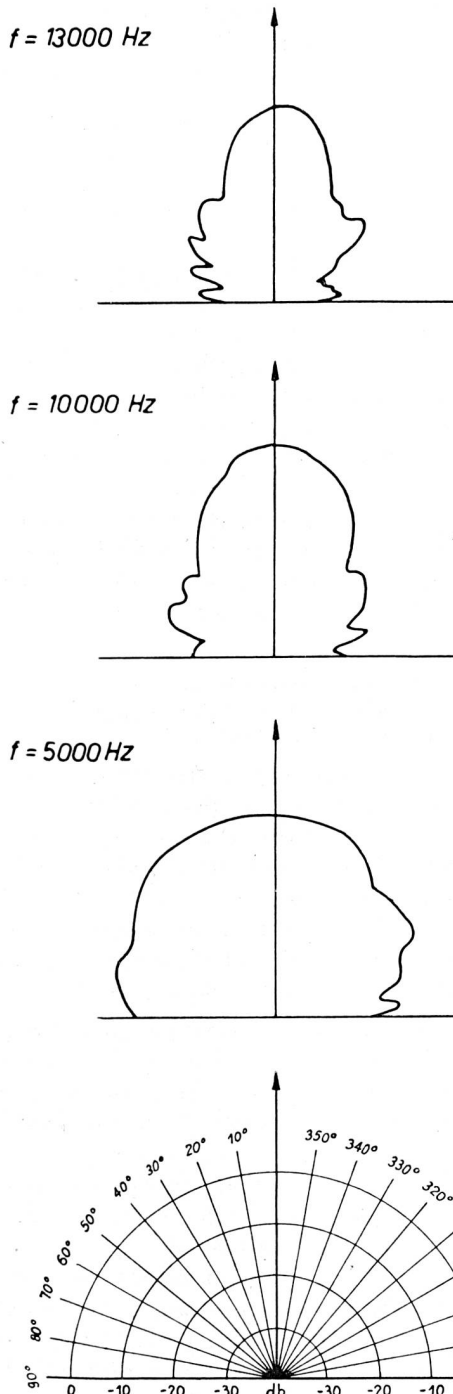


Fig. 10. Polardiagramme des Lautsprechers der Fig. 9
Diagrammes polaires du haut-parleur de la figure 9

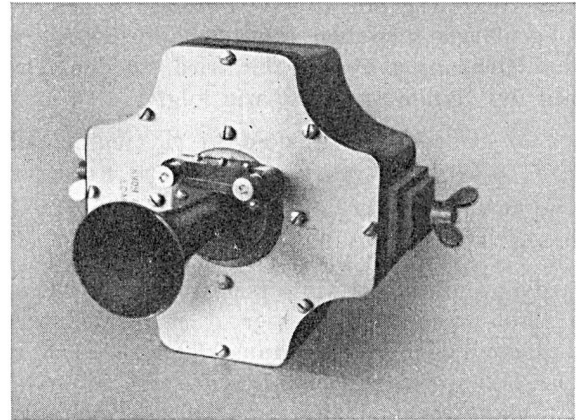


Fig. 9. Ansicht eines Hochtון-Trichterlautsprechers
Haut-parleur à pavillon pour sons aigu

des recherches antérieures²⁾, la caractéristique de phase la plus favorable et un comportement optimum à l'égard des phénomènes acoustiques non stationnaires.

On a dû en outre perfectionner la technique de mesure des microphones pour atteindre la plage des fréquences comprises entre 10 et 15 kc/s. On procéda de la manière suivante: On construisit d'abord un microphone à condensateur sans cavité devant la membrane pour éviter la résonance d'une telle cavité. A l'exception de la surface de la membrane, ce microphone était sphérique; la perturbation du champ sonore qu'il produisait pouvait ainsi être facilement calculée³⁾ (fig. 2). L'étalonnage dans un champ acoustique libre fut obtenu par un calibrage électrostatique de pression, corrigé en fonction des valeurs calculées de la déformation du champ sonore (v. fig. 3).

On recourut à un deuxième procédé en faisant construire, agrandi à l'échelle 10 : 1, un modèle en bois du nouveau microphone à condensateur (fig. 4). La pression acoustique se manifestant sur le modèle à l'endroit où aurait dû se trouver la membrane fut mesurée à l'aide d'un microphone de dimension ordinaire, pour une gamme de fréquences allant de 100 c/s à 2 kc/s. On put ainsi déterminer la pression acoustique s'exerçant sur la membrane du microphone véritable aux fréquences comprises entre 1 et 20 kc/s, et déterminer ainsi l'influence de la résonance de la cavité et de la distorsion du champ sonore (fig. 5). Les résultats obtenus au moyen des deux méthodes concordent entre eux à ± 1 db près.

Haut-parleurs

C'est un fait connu que même dans les transmissions radiophoniques ordinaires, le haut-parleur est de beaucoup l'organe le moins bon. Nous ne traiterons pas ici la question très importante des phénomènes

²⁾ R. Stadlin. Bull. techn. PTT 1947, n° 4, pages 133 à 143, et n° 5, pages 187 à 194.

³⁾ St. Ballantine. J. Acoust. Soc. Am. 3 (1932), 319.

die Richtwirkung für eine Wellenlänge λ , das heisst das Verhältnis zwischen dem Schalldruck p_φ , der in der Richtung φ abgestrahlt wird, zu dem Druck p_0 auf der Symmetrieachse wie folgt⁴):

$$\frac{p_\varphi}{p_0} = 2 \frac{J_1\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi\right)}$$

Die Fig. 6 zeigt einige berechnete Beispiele von Polardiagrammen, die die verschiedenen Verhältnisse von Lautsprecherdurchmesser d zu Wellenlänge λ veranschaulichen. Es ist daraus klar ersichtlich, dass wir bei hohen Frequenzen mit sehr stark gebündelter Abstrahlung rechnen müssen. Dies lässt sich grundsätzlich nur dadurch ändern, dass wir Strahler verwenden, deren Abmessungen klein sind im Verhältnis zur abgestrahlten Wellenlänge. Für die Abstrahlung von tiefen Frequenzen ist jedoch umgekehrt

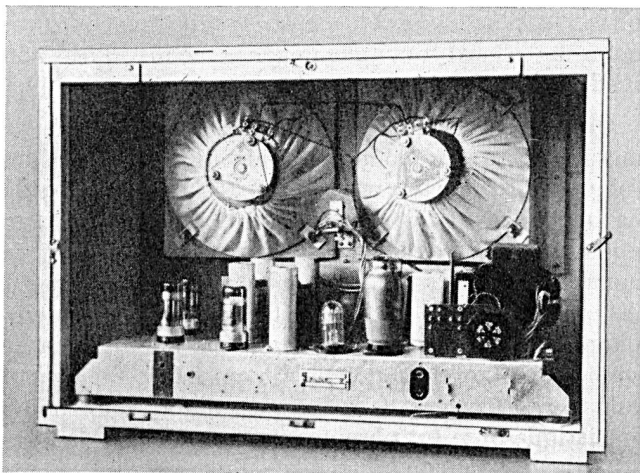


Fig. 11. Radioempfänger mit zwei schiefwinklig angeordneten Lautsprechern
Récepteur radiophonique muni de deux haut-parleurs disposés selon un angle obtus

eine möglichst grosse strahlende Oberfläche notwendig, da der abgestrahlte Schalldruck durch den Schallfluss Q gegeben ist:

$$Q = v \cdot S$$

v = Schnelle der strahlenden Oberfläche

S = Grösse der strahlenden Oberfläche

$v = a \cdot \omega$; a Amplitude der strahlenden Oberfläche.

Die Abstrahlung der tiefen Frequenzen ist daher durch die maximal mögliche Amplitude a_{\max} der Lautsprechermembran begrenzt, woraus sich ohne weiteres die Notwendigkeit ergibt, die strahlende Oberfläche S gross zu machen. Diese Ueberlegungen führen zum Bau von Kombinationslautsprechern, wobei durch zwei oder mehrere Strahler verschiedener Grösse das ganze Frequenzgebiet in einzelne Teilgebiete unterteilt wird.

Ein weiterer Effekt, der zu Schwierigkeiten führen kann, ist das *Nahfeld*. Wenn nämlich die Abmessun-

transitoires dans le haut-parleur, qui est encore très obscure. Il va de soi que jusqu'à la fréquence de 15 kc/s le haut-parleur doit avoir une courbe de réponse aussi équilibrée que possible; de plus, il est nécessaire que le rayonnement soit constant dans un angle aussi ouvert que possible. En principe, une source sonore n'émet de rayonnement non dirigé que si ses dimensions linéaires sont petites par rapport à la longueur d'onde rayonnée. Pour une membrane circulaire d'un diamètre d agissant comme un piston (correspondant à la membrane conique du haut-parleur électrodynamique normal), l'effet directif à la longueur d'onde λ , c'est-à-dire le rapport de la pression acoustique P_φ rayonnée dans la direction φ à la pression p_0 sur l'axe de symétrie, se calcule comme suit:⁴)

$$\frac{p_\varphi}{p_0} = 2 \frac{J_1\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi\right)}$$

La figure 6 montre quelques exemples de calcul de diagrammes polaires pour différents rapports du diamètre d du haut-parleur à la longueur d'onde λ . Il en ressort qu'aux hautes fréquences il faut s'attendre que le rayonnement ait lieu en grande partie par faisceaux. Il n'est possible de remédier à ce phénomène qu'en utilisant des sources sonores dont les dimensions sont petites par rapport à la longueur d'onde rayonnée. Inversement, pour rayonner de basses fréquences, il faut que la surface rayonnante soit la plus grande possible, la pression acoustique rayonnée étant fonction du flux acoustique Q .

$$Q = v \cdot S$$

v = vitesse de vibration de la surface rayonnante

S = dimension de la surface rayonnante

$v = a \cdot \omega$; a est l'amplitude de la surface rayonnante.

Le rayonnement des basses fréquences est ainsi limité par l'amplitude maximum possible a_{\max} de la membrane du haut-parleur; il est donc nécessaire de rendre la surface rayonnante S aussi grande que possible. On a ainsi été amené à construire des haut-parleurs combinés, dans lesquels plusieurs sources sonores de grandeurs différentes rayonnent chacune une partie de la gamme de fréquences.

Un autre effet qui peut provoquer des difficultés est l'*effet de champ rapproché*. Lorsque les dimensions de la surface rayonnante sont grandes par rapport à la longueur d'onde rayonnée, les composantes du son provenant de chaque source sonore élémentaire atteignent avec des phases différentes les points rapprochés de la source sonore: les composantes peuvent ainsi s'additionner ou bien se soustraire; il en résulte un champ extrêmement compliqué accusant de grandes et subites variations de la pression acoustique, qui devient inutilisable pour l'audition comme pour la mesure. Les limites de ce champ rapproché

⁴) H. Stenzel. Leitfaden zur Berechnung von Schallvorgängen. Berlin, 1939.

⁴) H. Stenzel. Leitfaden zur Berechnung von Schallvorgängen. Berlin, 1939.

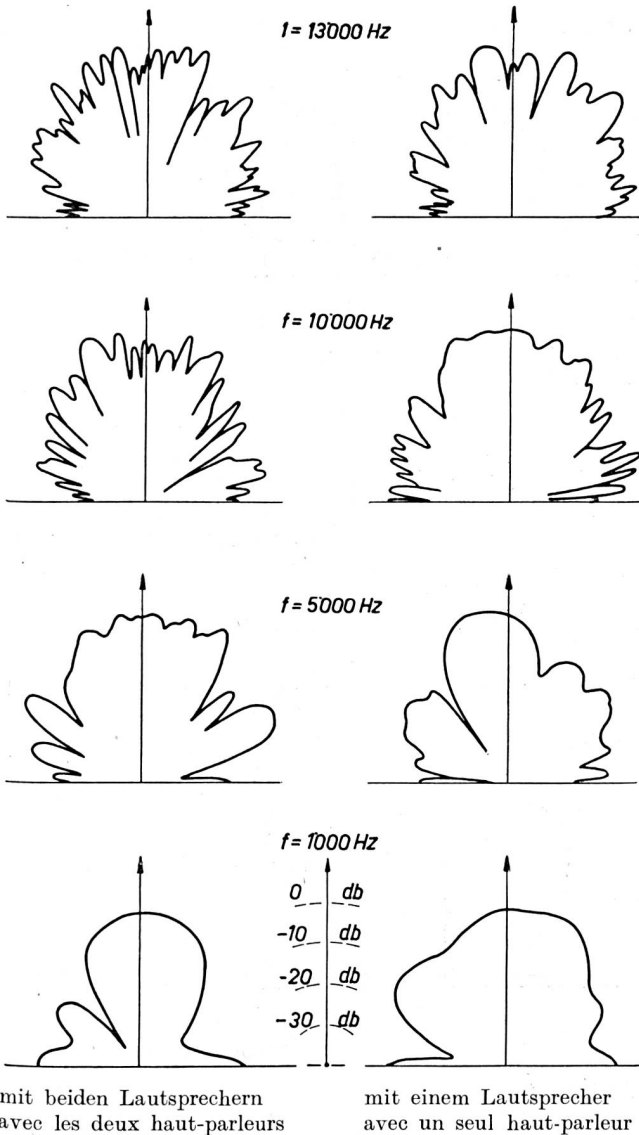


Fig. 12. Polardiagramme des Empfängers der Fig. 11
Diagrammes polaires du récepteur de la figure 11

gen der gesamten strahlenden Oberfläche im Verhältnis zur abgestrahlten Wellenlänge gross sind, so treffen die von den einzelnen Elementarstrahlern herrührenden Anteile an den in der Nähe des Strahlers liegenden Punkten mit verschiedenen Phasen ein; die Einzelanteile können sich also sowohl addieren als auch subtrahieren, wobei ein sehr kompliziertes Feld mit grossen Schalldrucksprüngen entsteht, das praktisch, das heisst sowohl für das Hören als auch für das Messen, unbrauchbar ist. Die Grenze dieses Nahfeldes ist bei den hohen Frequenzen durch den folgenden Ausdruck gegeben:

$$\frac{\pi R_0^2}{\lambda \cdot r} < 1 \text{ } ^5)$$

R_0 = Radius des Strahlers
 r = Grenzabstand für das Nahfeld

Das Nahfeld ist also ein weiterer Grund, den Strahler möglichst klein zu halten.

⁵⁾ H. Stenzel. loc. cit.

sont, pour les hautes fréquences, données par l'expression suivante:

$$\frac{\pi R_0^2}{\lambda \cdot r} < 1 \text{ } ^5)$$

dans laquelle R représente le rayon de la source sonore et r la limite du champ rapproché.

L'effet de champ rapproché est une raison de plus de se servir d'une source sonore de dimensions aussi réduites que possible.

La figure 7 montre un haut-parleur moderne comprenant une seule membrane et une bobine mobile. On a essayé d'améliorer le rayonnement des sons aigus en donnant une forme particulière à la membrane (courbure dans le milieu). Les diagrammes polaires mesurés montrent cependant qu'on n'y est arrivé qu'imparfaitement (fig. 8).

Les essais effectués à l'aide d'un haut-parleur à pavillon pour sons aigus (fig. 9) montrent que pour ces sons il faut réellement recourir à un autre système de haut-parleur, qui soit avant tout de petites dimen-

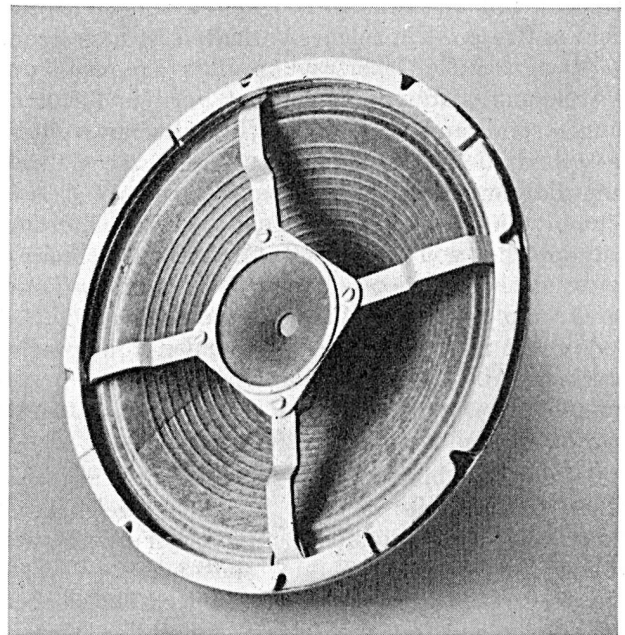


Fig. 13. Ansicht eines coaxialen Kombinationslautsprechers
Haut-parleur combiné coaxial

sions. Le diagramme polaire (fig. 10) du haut-parleur à pavillon est bien meilleur que celui de la fig. 8. Il est vrai qu'il s'agit ici d'un haut-parleur de construction spéciale, qui ne rayonne que les sons aigus et ne reproduit pas du tout les sons bas.

On a essayé à maintes reprises d'améliorer le diagramme polaire dans les récepteurs radiophoniques en disposant deux haut-parleurs obliquement l'un par rapport à l'autre. La figure 11 montre une disposition de ce genre. Les diagrammes polaires (fig. 12) sont ici particulièrement défavorables pour les hautes

⁵⁾ H. Stenzel. loc. cit.

Die Fig. 7 zeigt einen modernen Lautsprecher mit einer einzigen Membran und Schwingspule. Durch eine besondere Formgebung der Membran (kugelige Wölbung in der Mitte) hat man hier versucht, die Abstrahlung der hohen Töne zu verbessern. Die gemessenen Polardiagramme zeigen aber deutlich, dass dies nur unvollkommen gelingt (Fig. 8).

Dass man bei den hohen Tönen wirklich zu einem andern, vor allem kleinern Lautsprechersystem übergehen muss, sieht man aus den Untersuchungen an einem Hochton-Trichterlautsprecher (Fig. 9). Sein Polardiagramm (Fig. 10) ist bedeutend besser als das der Figur 8. Allerdings handelt es sich um einen ausgesprochenen Speziallautsprecher, der nur hohe Töne abstrahlen kann und tiefe Töne überhaupt nicht wiedergibt.

Der naheliegende Gedanke, durch die schiefwinklige Anordnung von zwei Lautsprechern das Polardiagramm verbessern zu wollen, ist bei Radioempfängern wiederholt versucht worden. Fig. 11 zeigt eine solche Ausführung. Die Polardiagramme (Fig. 12) sind hier bei den hohen Frequenzen aber ganz besonders schlecht, indem Unregelmässigkeiten von 25 db und mehr auftreten. Ein solches Verhalten ist ungeeignet, da das akustische Uebertragungsmass (Frequenz- und Phasengang) dadurch beeinflusst wird und Verzerrungen und andere Effekte (Einschwingvorgänge) entstehen, die hörbar sind. Diese ungünstigen Strahlungsdiagramme haben in diesem Falle zwei Gründe: Einmal wurden hier zwei genau gleiche, normale Lautsprecher von etwa 25 cm Membrandurchmesser verwendet, von denen jeder einzelne bei hohen Tönen bereits ein schlechtes Polardiagramm hat (Fig. 12). Sodann ist man gezwungen, die beiden Lautsprecher in einem Abstand von mehreren Wellenlängen voneinander zu montieren, was zu den schon vorher erwähnten Schwierigkeiten führt.

Bei der Kombination von Lautsprechern verschiedener Grösse tritt in den Frequenzbereichen, in denen sich die einzelnen Lautsprecher überlappen, immer die Schwierigkeit auf, einwandfreie Verhältnisse zu erreichen. Wenn die einzelnen Strahler nebeneinander angeordnet werden und somit ihr Abstand bei den höhern Frequenzen mehrere Wellenlängen beträgt, so ist dies grundsätzlich unmöglich. Eine

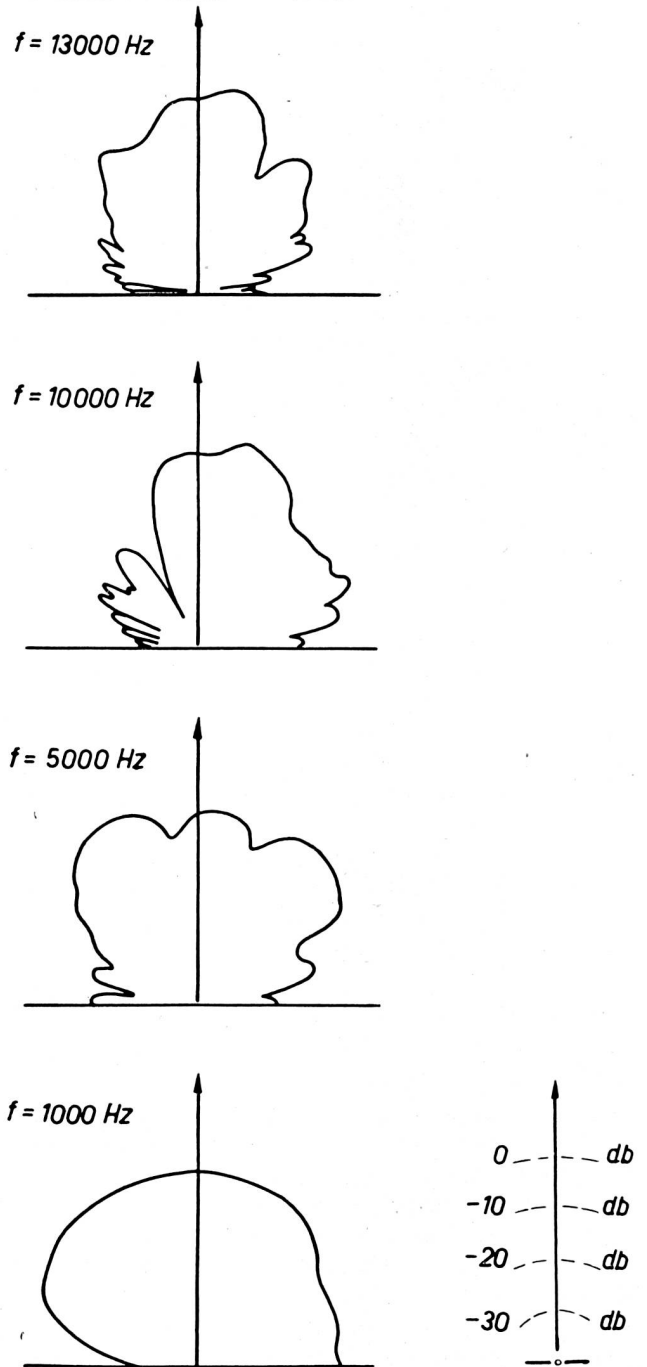


Fig. 14. Polardiagramme des Lautsprechers der Fig. 13
Diagrammes polaires du haut-parleur de la figure 13

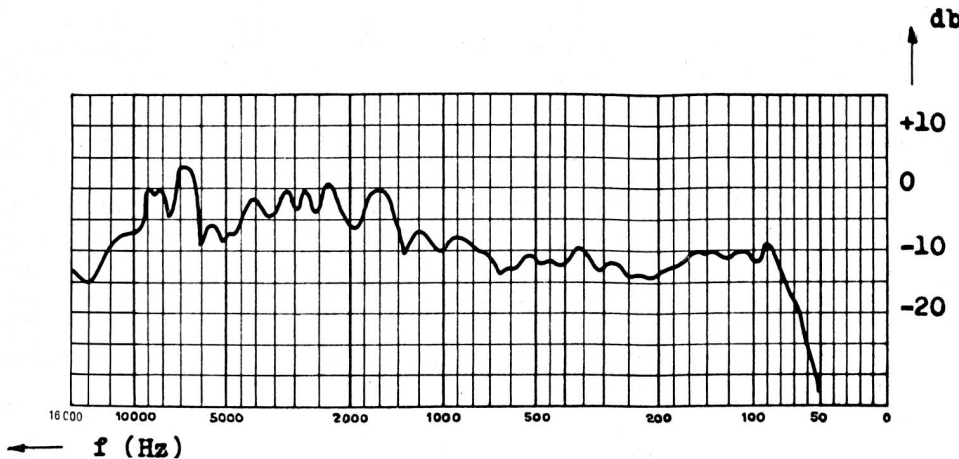


Fig. 15.
Frequenzgang des Lautsprechers der Fig. 13
Courbe de réponse du haut-parleur de la figure 13

einwandfreie Lösung lässt sich nur durch die *koaxiale Anordnung* der einzelnen Systeme erreichen.

Einen einfachen und übersichtlichen koaxialen Kombinationslautsprecher zeigt die Fig. 13. Ein kleines permanentdynamisches Lautsprechersystem ist in der Mitte vor dem grossen Lautsprecher montiert. Die Schwingspulen beider Lautsprecher sind in Serie geschaltet. Das Polardiagramm, Fig. 14, ist besonders bei sehr hohen Tönen ausserordentlich ausgeglichen. Die Fig. 15 zeigt ausserdem den Frequenzgang dieses Lautsprechers. Dabei muss ferner bemerkt werden, dass die Erweiterung des Frequenz-

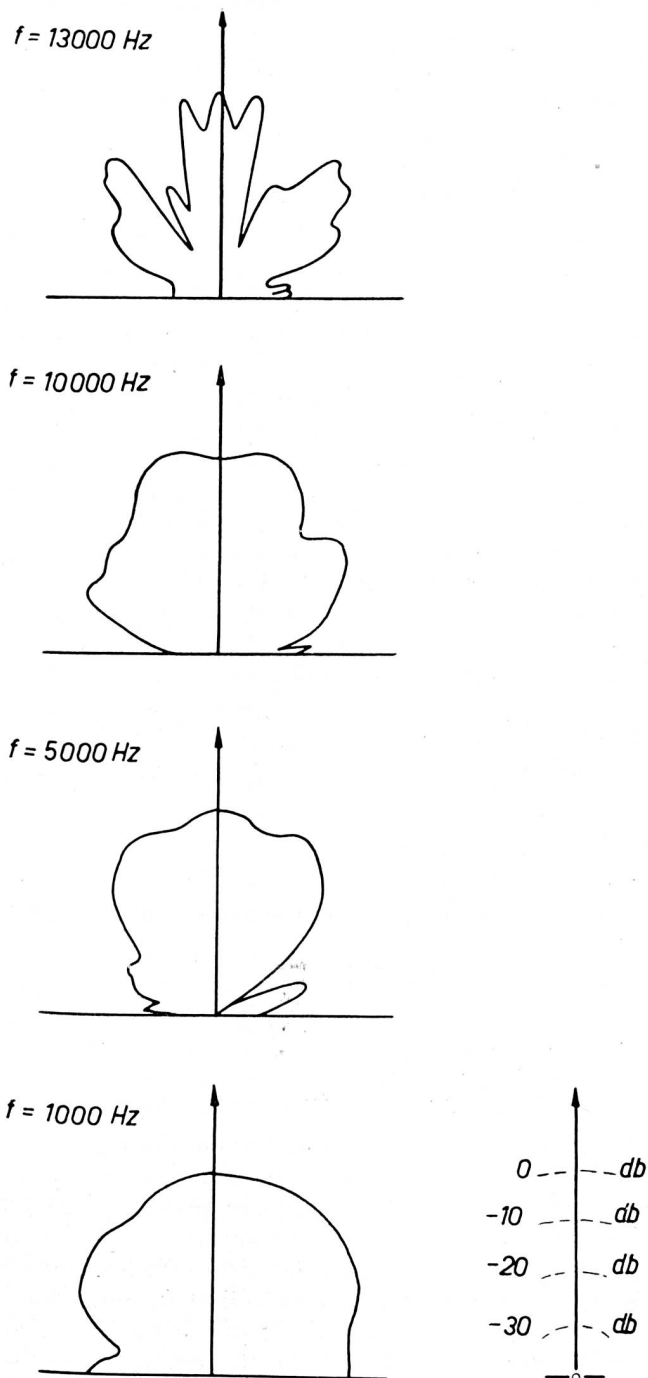


Fig. 17. Polardiagramme des Lautsprechers der Fig. 16
Diagrammes polaires du haut-parleur de la figure 16

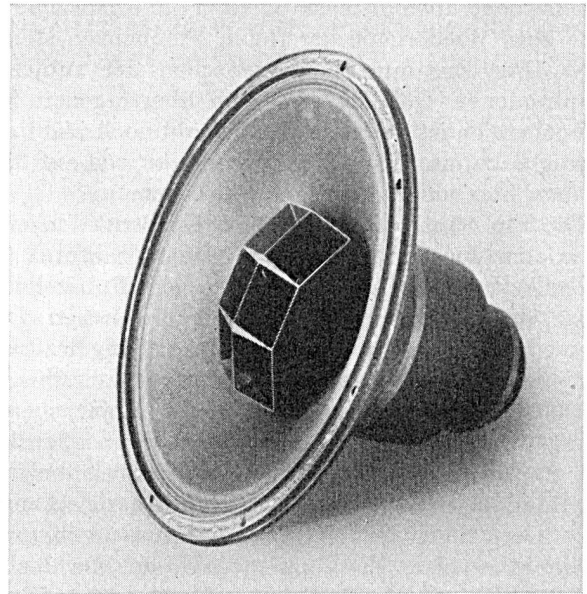


Fig. 16. Ansicht eines koaxialen Kombinationslautsprechers mit Multizellularhorn
Haut-parleur combiné coaxial avec cornet multicellulaire

frequenzen; ils montrent en effet des irrégularités atteignant 25 db ou plus, ce qui est inadmissible car la transmission acoustique (courbe de réponse et de phase) en est influencée et il se produit des distorsions et d'autres effets (phénomènes transitoires) perceptibles. Dans un tel cas, les diagrammes de rayonnement sont défavorables pour deux raisons: tout d'abord, l'on utilise deux haut-parleurs normaux semblables dont la membrane a 25 cm de diamètre environ, dont chacun a déjà un diagramme polaire défavorable pour les sons aigus (fig. 12). En outre, ces deux haut-parleurs sont nécessairement montés à une distance de l'un à l'autre qui équivaut à plusieurs fois la longueur d'onde.

Si l'on combine des haut-parleurs de différentes dimensions, il est difficile d'obtenir une reproduction parfaite aux fréquences où le rayonnement de deux haut-parleurs se recouvre. C'est même impossible lorsque les différentes sources sonores sont placées à côté l'une de l'autre et qu'ainsi, aux très hautes fréquences, la distance entre elles est égale à plusieurs fois la longueur d'onde. La solution parfaite de ce problème n'est donnée que par la disposition coaxiale des différents haut-parleurs.

La figure 13 montre un haut-parleur combiné coaxial à la fois simple et clairement disposé. Un petit haut-parleur électrodynamique à aimant permanent est monté au milieu d'un haut-parleur plus grand. Les bobines mobiles des deux appareils sont connectées en série. Le diagramme polaire (fig. 14) est très régulier, particulièrement pour les sons très aigus. La figure 15 montre la courbe de réponse d'un tel haut-parleur. Il y a lieu de remarquer en outre qu'à la suite de l'élargissement de la bande de fréquences vers le haut, les exigences relatives à la

bandes nach oben gleichzeitig auch die Ansprüche für eine gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen steigen lässt. Der Zusammenhang zwischen der subjektiv empfundenen Qualität und dem übertragenen Frequenzbereich ist jedoch komplex und noch nicht eindeutig bekannt. Wie eingangs bemerkt, soll auf diese Fragen hier nicht eingegangen werden.

Die Fig. 16 zeigt eine weitere Konstruktion eines koaxialen Lautsprechers. Vor dem Hochtön-Lautsprecher befindet sich ausserdem ein Multizellularhorn, das zur bessern Verteilung der hohen Töne dient. Dass es sich hier um eine gute Lösung des Lautsprecherproblems handelt, geht aus dem bis zu 10 000 Hz noch guten Polardiagramm hervor (Fig. 17). Bei 13 000 Hz macht sich dann allerdings ein starker Richteffekt bemerkbar, wobei auch der Einfluss der Schallverteilerzellen deutlich zu erkennen ist. Der koaxiale Kombinationslautsprecher ermöglicht es also, Empfänger zu bauen, die das bis auf 15 kHz erweiterte Frequenzband auch wirklich wiedergeben.

Zusammenfassung

Der Rundspruch mit frequenzmodulierten Ultraschallwellen bietet die Möglichkeit, ein beliebig breites Tonfrequenzband zu übertragen, so dass der ganze Frequenzumfang des menschlichen Ohres, der bis etwa 15 kHz reicht, ausgenutzt werden kann. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die dazu notwendigen Mikrophone, Verstärker und Leitungen vorhanden sind und dass auch die Raumakustik der Studios den höhern Anforderungen genügt. Die schwierigsten Probleme stellt der Lautsprecher im Empfänger, die im koaxialen Kombinationslautsprecher eine brauchbare Lösung gefunden haben. Es ist unerlässlich, die FM-UKW-Empfänger mit Speziallautsprechern auszurüsten, selbst wenn daraus eine beträchtliche Verteuerung der Geräte resultieren sollte, da sonst auch der ganze übrige Aufwand nutzlos wird.

Die Messung von Erdwiderständen

Von Hermann Engel, Bern

621.317.331:621.316.99

Zusammenfassung. Neben der bekannten Methode mit Erdsonden werden einige neue Messmöglichkeiten beschrieben, bei denen die Messung mit Netzwechselstrom besondere Vorteile bietet.

Ein grosser Teil der Teilnehmerschaltungen hat in irgend einer Weise Beziehung zur Erde, sei es als Schutzterde (Blitzschutz bei oberirdischer Leitung) oder als Betriebserde bei Telephonrundspruch, Gebührenmeldern, Gesellschaftsanschlüssen, Kleinautomaten usw. Die Installationsvorschriften der PTT-Verwaltung tragen dieser Tatsache Rechnung durch die Bestimmung, dass der Erdübergangswiderstand 20 bzw. 50 Ohm nicht übersteigen dürfe. Diese Bestimmung ist bei der Erstellung einer Anlage zu

reproduction des sons bas sont augmentées. Le rapport entre la qualité, sensation subjective, et la gamme de fréquences transmise est cependant complexe et encore peu connu. Comme nous l'avons dit au début, nous ne traiterons pas ces questions ici.

La figure 16 montre une autre réalisation d'un haut-parleur coaxial. Devant le haut-parleur pour sons aigus est placé un cornet multicellulaire servant à mieux les répartir. Le problème du haut-parleur est très bien résolu de cette manière, puisque le diagramme polaire est encore favorable jusqu'à la fréquence de 10 000 c/s (fig. 17). Toutefois, à la fréquence de 13 000 c/s il se manifeste un fort effet directif, dans lequel on reconnaît clairement l'influence des cellules répartissant les sons. Le haut-parleur combiné coaxial permet ainsi la construction de récepteurs reproduisant réellement la bande de fréquences élargie à 15 kc/s.

Résumé

La radiodiffusion par ondes ultra-courtes permet de transmettre une bande de fréquences audibles aussi large qu'on le désire, et d'utiliser toute la faculté de perception de l'oreille humaine, qui va jusqu'à la fréquence de 15 kc/s environ. Les essais effectués montrent qu'on dispose déjà des microphones, amplificateurs et circuits nécessaires et que l'acoustique des studios satisfait aux exigences les plus élevées de cette technique. Le problème le plus difficile à résoudre est celui des haut-parleurs; cependant le haut-parleur combiné coaxial donne déjà des résultats satisfaisants. Il est indispensable que les récepteurs d'ondes ultra-courtes à haute fidélité soient équipés de haut-parleurs spéciaux, même si leur prix en est augmenté de manière appréciable, car autrement toute la dépense faite pour ces récepteurs l'est en pure perte.

La mesure des résistances de terre

Par Hermann Engel, Berne

621.317.331:621.316.99

Résumé. L'auteur décrit ici, outre la méthode bien connue de la mesure à l'aide de piquets de terre, de nouvelles méthodes, parmi lesquelles celle qui utilise le courant alternatif du secteur présente des avantages particuliers.

Une grande partie des installations d'abonnés sont d'une manière quelconque en relation avec la terre, soit que celle-ci fonctionne comme terre de protection (parafoudre sur les lignes aériennes), soit qu'elle soit prise comme terre de service (télédiffusion, indicateurs de taxe, raccordements collectifs, petits automates, etc.). Les prescriptions de montage de l'administration des P.T.T. tiennent compte de ce fait en disposant que la résistance de passage à la terre ne doit pas dépasser 20, respectivement 50 ohms.