La LENTILLE ACOUSTIQUE

Par GEORGE L. AUGSPURGER

Fonctionnement et performances de divers types d'appareils utilisés à des fins professionnelles et dans les systèmes de haut-parleurs hi-fi domestiques pour disperser et façonner l'énergie sonore des haut-parleurs à pavillon

Ces dernières années, on a accordé de plus en plus d'attention à la nécessité d'une large dispersion des hautes fréquences dans les haut-parleurs haute-fidélités. Cette préoccupation concernant le schéma de distribution d'un haut-parleur est une bonne chose, mais elle n'est pas nouvelle pour les concepteurs et les utilisateurs d'équipements professionnels.

Dans les systèmes de renforcement sonore élaborés et les installations sonores de théâtre, le problème est bien plus compliqué que la simple tentative d'éviter la diffusion des fréquences aiguës.

Un contrôle minutieux des caractéristiques directionnelles des haut-parleurs est tout aussi important ici que les propriétés optiques d'un projecteur pour le concepteur d'éclairage.

L'une des méthodes les plus sophistiquées, les moins bien comprises, mais certainement les plus intéressantes pour contrôler la directivité du son est l'utilisation d'une lentille acoustique



Que fait la lentille ?

Une lentille acoustique est généralement utilisée en conjonction avec un haut-parleur de type pavillon. Le pavillon, surtout dans la gamme des hautes fréquences, présente de nombreux atouts, mais deux inconvénients majeurs : tout d'abord, une bonne combinaison pavillon/haut-parleur a tendance à être plus chère qu'un haut-parleur à cône et deuxièmement, elle est extrêmement directionnelle. Le premier inconvénient est largement contrebalancé par l'efficacité, la plage dynamique et la fidélité des meilleures unités. Le second peut être surmonté de plusieurs façons : en donnant au pavillon une forme spéciale, en créant un ensemble en éventail de pavillons plus petits ou en ajoutant une lentille acoustique.

La lentille n'introduit aucune coloration tonale et peut être conçue pour donner presque n'importe quel motif directionnel souhaité.



1 Contexte historique

La possibilité de fabriquer une lentille acoustique, analogue en termes de fonction et de fonctionnement à une lentille optique, est venue à l'esprit de deux ingénieurs des Bell Telephone Laboratories qui travaillaient sur les effets de réfraction en conjonction avec la transmission par micro-ondes.

W. E. Kock et F. K. Harvey décidèrent de voir si certaines techniques applicables aux micro-ondes radio ne fonctionneraient pas aussi, comme le suggérait la théorie, avec les ondes sonores. Dans leurs expériences, ils développèrent diverses lentilles acoustiques convergentes et divergentes, ainsi que des prismes.

Les découvertes de Kock et Harvey furent rapportées dans le Journal of the ASA de septembre 1949 sous le titre "Refracting Sound Waves". Le compte rendu est très lisible et reste la base de la conception actuelle des lentilles acoustiques.

2 Comment fonctionnent les lentilles acoustiques ?

Il existe deux classes de base de lentilles acoustiques : le "réseau d'obstacles" et le "réfracteur à longueur de trajet". Tous deux fonctionnent exactement comme les lentilles optiques, en ralentissant effectivement une partie du front d'onde qui avance lorsqu'il passe à travers la lentille.

Lorsque la lumière traverse une lentille optique, l'effet est généralement expliqué selon les lignes illustrées dans la Fig. 1. Si nous imaginons une série de rayons lumineux parallèles (comme ceux du soleil), cela signifie que le front d'onde est une surface plane. Lorsque ce plan traverse, par exemple, un morceau de verre, il est ralenti momentanément.

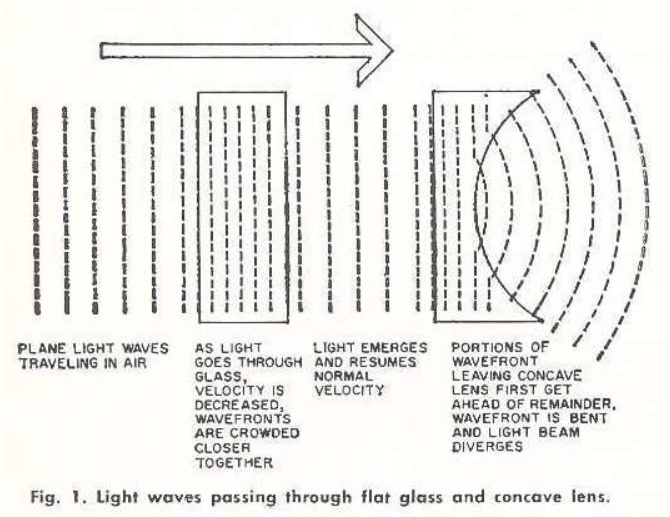


Fig. 1. Light waves passing through flat glass and concave lens.

L'indice de réfraction, un terme omniprésent en optique, n'est rien de plus ni de moins qu'une indication de la vitesse relative avec laquelle la lumière se déplace à travers le milieu en question.

Ainsi, notre front d'onde lumineux ralentit lorsqu'il traverse le verre, puis reprend son agitation habituelle lorsqu'il revient sur l'autoroute. Si les deux surfaces du verre ne sont pas parallèles, mais courbées en forme de lentille familière, la partie du front d'onde qui a le moins de verre à traverser reprend sa vitesse normale en premier et le front d'onde est courbé lorsqu'il émerge.

Comme la direction de déplacement de l'énergie propagée par les ondes est à angle droit par rapport au front d'onde, la lumière sortant d'une lentille tend soit à diverger soit à converger, selon que la lentille est concave ou convexe. Ceux qui se souviennent du principe de Huygens se rappelleront probablement aussi des heures passées avec une règle et un compas à tracer

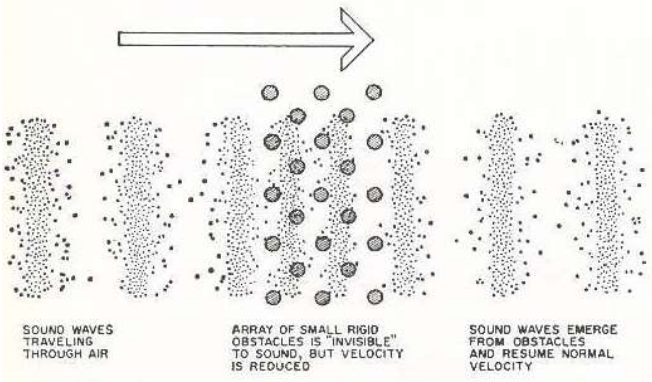


Fig. 2. Sound waves are shown passing through an obstacle array.

laborieusement cet effet. Pour que la lentille fonctionne avec des ondes sonores au lieu des ondes lumineuses, il suffit de trouver une substance qui soit transparente au son, mais qui réduise la vitesse des ondes sonores qui la traversent.

Le réseau d'obstacles Harvey et Kock ont découvert qu'un réseau de petits obstacles (petits par rapport à toute longueur d'onde considérée) a les mêmes propriétés qu'un milieu homogène transparent avec un indice de réfraction supérieur à un. En d'autres termes, le son traversera un tel réseau comme s'il n'était pas là, sauf qu'il ressort de l'autre côté un peu plus tard que s'il avait parcouru la même distance dans l'air.

La figure 2 montre ce qui se passe. Le front d'onde se diffracte autour des particules individuelles, mais ce faisant, sa vitesse est diminuée.

Les obstacles, a-t-on découvert, peuvent être irréguliers, sphériques, en forme de disque ou de bandes parallèles. Même une série de plaques perforées présente les mêmes propriétés de réfraction, et cette configuration est évidemment la plus facile à utiliser pour construire une lentille concave et divergente.

La figure 3 montre une coupe transversale d'une telle lentille à plaque perforée intégrée dans l'embouchure d'un pavillon exponentiel. Cette conception de base est utilisée, par exemple, par James B. Lansing Sound, Inc. à la fois dans les grands ensembles de théâtre et dans les unités plus petites pour la maison installations haute-fidélité.

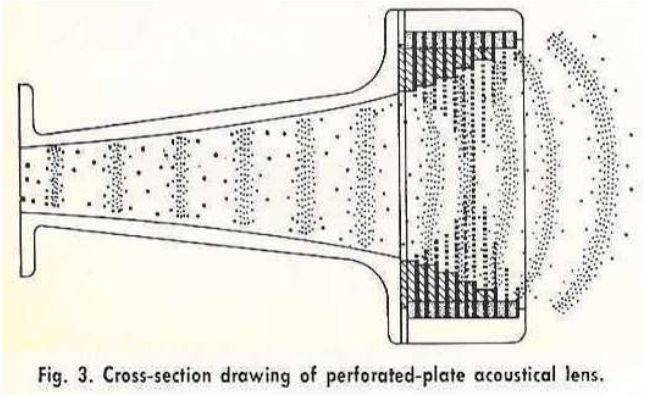


Fig. 3. Cross-section drawing of perforated-plate acoustical lens.

Les lentilles à plaques perforées sont généralement constituées de disques circulaires, et le modèle de distribution qui en résulte est symétrique. L'assemblage présenté en (B) sur la photo, par exemple, présente un modèle de distribution lisse s'étendant sur un angle solide d'environ 90 degrés. Réfracteurs à longueur de trajet

Cette configuration est plus facile à comprendre que le réseau d'obstacles, car on peut voir pourquoi une partie du front d'onde est retardée.

Dans ce cas, le retard est obtenu en faisant parcourir à une partie du front d'onde une plus grande distance pour aller d'un côté à l'autre de la lentille. Le détour forcé produit les mêmes résultats que si le son avait traversé directement à une vitesse réduite.

Les deux types courants de réfracteurs à trajet optique sont présentés sous forme de diagramme dans la Fig. 4. Le son qui se déplace à travers la configuration serpentine serpente d'avant en arrière jusqu'à ce qu'il émerge, tandis que le son qui traverse la configuration à plaque inclinée se déplace en ligne droite, sauf que la ligne n'est pas sa direction de déplacement d'origine.

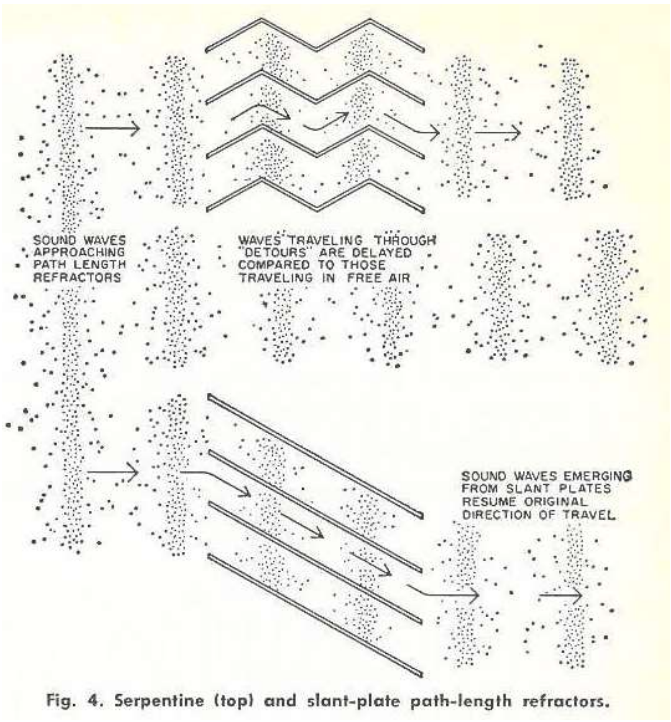


Fig. 4. Serpentine (top) and slant-plate path-length refractors.

Dans ce dernier cas, le bon sens nous dit que le front d'onde émergent se dirigera dans une direction différente de celle à laquelle il est entré. Mais le bon sens se trompe. Une fois le détour franchi, le son continue exactement dans la même direction qu'avant ! La séparation entre les plaques, rappelez-vous, est faible par rapport à une longueur d'onde et le front d'onde composite ne s'incline pas. Si vous êtes toujours méfiant, sortez la règle et le compas et essayez la construction de Huygens.

En termes de vue en coupe transversale, un front d'onde qui traverse une lentille serpentine ou à plaque inclinée émerge en se déplaçant dans sa direction d'origine, n'ayant été ralenti que momentanément. Où se produit l'effet de lentille ?

La réponse est évidente si nous regardons une vue de dessus, comme dans la Fig.5. La conception illustrée est aussi bien applicable aux lentilles à plaque inclinée qu'aux lentilles serpentines, et il est facile de voir que sous cet angle au moins, le dispositif a la caractéristique d'une lentille divergente.

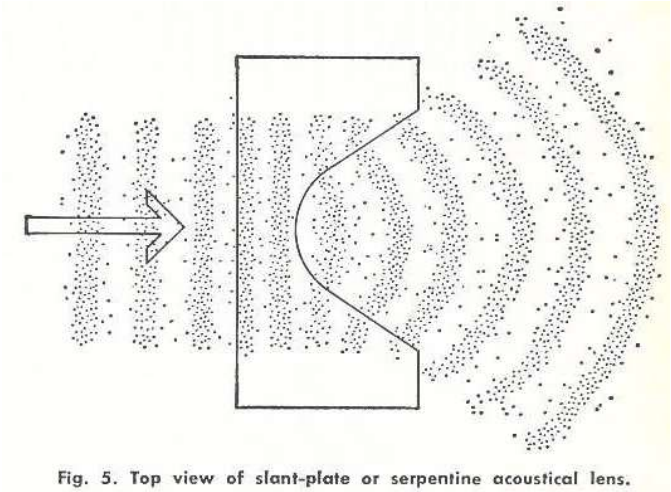


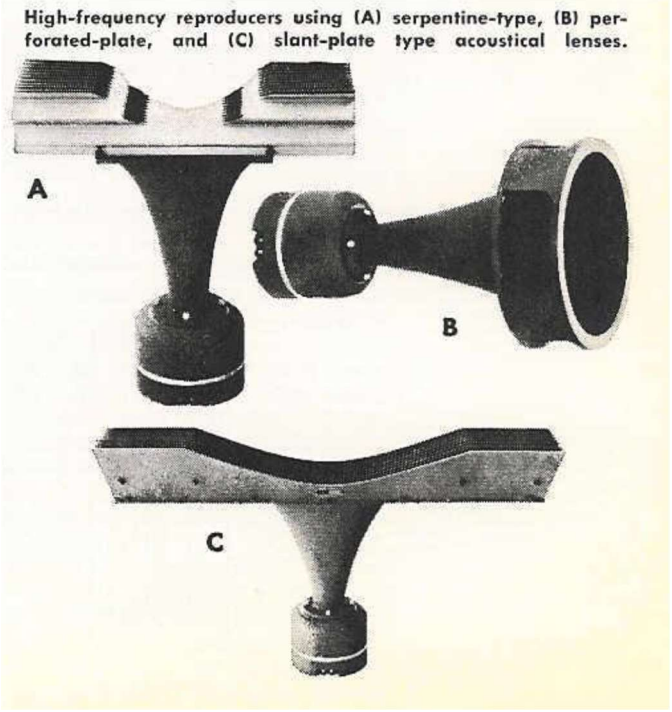
Fig. 5. Top view of slant-plate or serpentine acoustical lens.

Un tel réfracteur à trajet optique peut être comparé à une lentille optique astigmate : il disperse les ondes sonores dans le plan

horizontal tout en les gardant concentrées verticalement. Un tel modèle de distribution est particulièrement utile dans les auditoriums et les théâtres où l'énergie sonore doit être concentrée sur le public et maintenue à l'écart des surfaces réfléchissantes pour éviter une réverbération et un écho excessifs.

Les parties (A) et (C) de la photo montrent deux assemblages de lentilles de haut-parleur et de cornet JBL. Le plus grand appareil intègre une lentille à plaque inclinée, tandis que le plus petit possède une lentille serpentine.

Comme la lentille à plaque perforée, les réfracteurs à trajet optique peuvent être conçus pour donner presque n'importe quelle dispersion souhaitée, mais la possibilité de contrôler indépendamment la distribution horizontale et verticale les rend encore plus polyvalents pour une utilisation professionnelle.



3 Considérations de conception

Comme les lentilles optiques, les lentilles acoustiques ne fonctionnent efficacement que sur une bande de fréquences définie. La taille de l'embouchure du pavillon peut être corrélée aux caractéristiques d'une lentille particulière pour maintenir une distribution uniforme jusqu'à la fréquence de coupure de la combinaison haut-parleur-papillon.

À l'extrémité supérieure du spectre, le modèle de distribution lisse offert par la lentille commence à montrer des irrégularités lorsque l'espacement entre les obstacles ou les plaques approche d'une demi-longueur d'onde.



Cela signifie qu'une lentille conçue pour une utilisation jusqu'à 10 kc. ne doit pas avoir les plaques séparées de plus d'un demi-pouce environ. Des combinaisons pavillon-lentille ont été développées qui maintiennent des caractéristiques de dispersion uniformes de 400 à plus de 15 000 cps. Il s'agit d'une bande passante efficace d'environ cinq octaves, ce qui n'est évidemment pas une mince affaire.

On pourrait penser qu'une partie substantielle de l'énergie sonore passant à travers une lentille, en particulier un réseau d'obstacles, serait absorbée. Tant que la lentille est conçue correctement et que ses éléments sont rigides, ce n'est pas le cas. Dans une lentille bien conçue, moins de 1% de l'énergie passant à travers le dispositif est perdue.

Bien sûr, dans tout type de dispositif de dispersion, il y a un changement apparent dans l'intensité des hautes fréquences puisque toute l'énergie qui était auparavant concentrée dans un faisceau étroit est maintenant étalée sur un angle beaucoup plus grand.



Si l'on veut pousser l'analogie optique assez loin, des longueurs focales et des nombres f pairs peuvent être attribués aux lentilles acoustiques. L'unité représentée dans la partie (B) de la photo, par exemple, est à peu près équivalente à une lentille optique de 150 mm f/0,5. Il faudra probablement un certain temps avant qu'une unité comparable soit disponible pour les passionnés d'appareils photo.

Traduction: EloMCBo

Reprinted From Electronics World, December, 1962
Copyright ft 1062 by Ziff-Davis Publishing Company. All rights reserved.
REPRINTED FROM Electronics World
THE MAGAZINE FOR THE ELECTRONICS PROFESSIONAL