

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②

**N° 80 24851**

⑤

**Ensemble de lentilles acoustiques à focale variable.**

⑤

Classification internationale. (Int. Cl. 3) **G 10 L 11/26; G 01 S 7/62, 15/89; G 03 X  
//G 01 N 29/00.**

②

Date de dépôt ..... 18 novembre 1980.

③③ ③② ③①

Priorité revendiquée : *Grande-Bretagne, 12 décembre 1977, n. 51687/77 et EUA, 30 novembre  
1978, n. 963,806.*

④

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande .....

B.O.P.I. — «Listes» n. 34 du 21-8-1981.

⑦

Déposant : **RCA CORPORATION, résidant aux EUA.**

⑦

Invention de : **Reuben, Saul Mezrich et Wilber Clarence Stewart.**

⑦

Titulaire : *Idem* ⑦

⑦

Mandataire : **Cabinet Beau de Loménie, 55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.**

Transformation de la demande de brevet européen n. 799000674 déposée le 5 décembre  
1978 (chap. III du décret n. 78-1011 du 10 octobre 1978).

La présente invention concerne un ensemble de lentilles acoustiques à focale variable et, plus particulièrement, un semblable ensemble de lentilles du type pouvant être utilisé dans un dispositif de formation d'images par échos d'impulsions ultrasonores permettant d'obtenir l'image d'une structure profonde.

Dans ce domaine, il est possible de faire référence au brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4.131.022. Celui-ci décrit un dispositif d'affichage de formation d'images par échos d'impulsions ultrasonores contenant une lentille acoustique de distance focale fixe  $f$  et d'ouverture réelle  $A$ . (L'expression "ouverture réelle", telle qu'elle est utilisée dans cette description, désigne la dimension linéaire maximale de la section droite de la lentille, mesurée dans les mêmes unités de longueur que la distance focale. L'"ouverture relative" de la lentille, définie par  $A/f$ , est sans dimension.) La lentille acoustique sert à focaliser un faisceau d'énergie ultrasonore d'une longueur d'onde prédéterminée  $\lambda$ . Ce faisceau est normalement au moins aussi étendu que l'ouverture réelle  $A$ , si bien que toute la section droite de la lentille acoustique reçoit de l'énergie ultrasonore.

Comme cela est décrit dans le brevet cité ci-dessus, le pouvoir séparateur est directement proportionnel à la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes d'énergie ultrasonore et est inversement proportionnel à la valeur de l'ouverture relative  $A/f$ . Ainsi, plus l'ouverture relative est grande, plus le pouvoir séparateur (c'est-à-dire la dimension minimale d'une tache pouvant être distinguée) qui peut être obtenu au moyen d'ondes d'énergie ultrasonore de longueur d'onde donnée est élevé. Toutefois, alors que la profondeur de champ d'une lentille acoustique est également proportionnelle à la longueur d'onde des ondes d'énergie ultrasonore, elle est inversement proportionnelle au carré de l'ouverture relative. Toutefois, en raison de la longueur d'onde relativement importante des ondes d'énergie ultrasonore se propageant dans un liquide (par exemple de l'ordre de 1 mm), une lentille acoustique ayant une ouverture relative relativement grande (par exemple de  $1/3$  à  $1/2$ ) présente un bon pouvoir séparateur pour une profondeur de champ notable. De plus, puisque le pouvoir séparateur

ne diminue que linéairement avec l'ouverture relative, tandis que la profondeur de champ augmente en fonction du carré de la diminution de l'ouverture relative, il est possible d'obtenir une augmentation relativement grande de la profondeur de champ  
5 pour une diminution relativement modérée du pouvoir séparateur.

On fera également référence au brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4.138.895. Celui-ci décrit un transducteur électro-acoustique comprenant une lame de matériau piézo-électrique ayant une électrode commune sur une face et, sur l'autre face, une  
10 électrode centrale entourée par une électrode annulaire. L'ouverture réelle des électrodes centrale et annulaire, prises ensemble, est assez grande pour produire un faisceau d'énergie ultrasonore dont la largeur est suffisante pour sensiblement frapper toute l'ouverture réelle d'une lentille acoustique d'ouverture relative  
15 relativement grande. Toutefois, l'électrode centrale considérée isolément produit un faisceau d'énergie ultrasonore dont la largeur n'est suffisante que pour frapper une partie centrale relativement petite de l'ouverture réelle de la lentille acoustique. Il est prévu un moyen de commutation permettant d'utiliser sélectivement  
20 l'électrode centrale seule ou d'utiliser à la fois les électrodes centrale et annulaire. L'ouverture relative effective relativement importante et, par conséquent, la profondeur de champ relativement petite que permettent d'obtenir les électrodes centrale et annulaire prises ensemble peuvent servir à produire un affichage  
25 par balayage de type C, à pouvoir séparateur relativement élevé, d'une image ultrasonore correspondant à une faible profondeur de la structure soumise aux ondes ultrasonores. L'ouverture relative effective relativement petite et, par conséquent, la profondeur de champ relativement grande que permet d'obtenir l'électrode  
30 centrale seule peuvent servir à produire un affichage par balayage de type B, à pouvoir séparateur relativement plus petit, d'une image ultrasonore correspondant à une plus grande profondeur de la structure soumise aux ondes ultrasonores.

L'invention propose une amélioration consistant à  
35 permettre de faire varier la distance focale dans un ensemble de lentilles acoustiques comprenant une première et une deuxième

lentille acoustique séparées permettant de focaliser des ondes d'énergie acoustique d'une longueur d'onde prédéterminée. Selon l'invention, la première lentille acoustique a une unique distance focale prédéterminée relativement courte, tandis que la deuxième  
5 lentille acoustique est électroniquement réglée de manière à présenter l'une quelconque choisie d'un nombre prédéterminé de distances focales distinctes présélectionnées différentes. Chacune de ces longueurs focales distinctes est sensiblement plus grande que la distance focale prédéterminée de la première lentille  
10 acoustique.

Un tel ensemble de lentilles acoustiques à distance focale variable, ou à focale variable, est particulièrement destiné à être utilisé dans un dispositif de formation d'images par échos d'impulsions ultrasonores permettant de donner des  
15 images d'une structure profonde frappée par une impulsion d'onde d'énergie ultrasonore d'une longueur d'onde prédéterminée. Dans ce cas, un moyen de commande de temps répondant à l'instant d'émission d'une impulsion d'énergie ultrasonore est couplé à la deuxième lentille afin de séquentiellement choisir chacune  
20 des distances focales distinctes différentes pendant le laps de temps dans lequel des échos ultrasonores sont reçus par des parties successives de la structure profonde soumise aux ondes ultrasonores. Ceci permet d'obtenir une profondeur de champ résultante effective pour l'ensemble de lentilles qui embrasse  
25 toute la profondeur de la structure profonde dont des images doivent être obtenues.

La description suivante, conçue à titre d'illustration de l'invention, vise à donner une meilleure compréhension de ses caractéristiques et avantages; elle s'appuie sur les dessins  
30 annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'un dispositif d'affichage de formation d'images par échos d'impulsions ultrasonores contenant un ensemble de lentilles acoustiques à focale variable constituant un mode de réalisation de l'invention;
- 35 - les figures 2a et 2b sont respectivement des vues en coupe et en plan d'un mode de réalisation de la partie trans-

ductrice à plusieurs électrodes de la lentille acoustique électronique de l'ensemble de lentilles de la figure 1;

- la figure 3 est un schéma de principe d'un mode de réalisation de la partie de couplage de la lentille acoustique électronique de la figure 1;

- les figures 3a et 3b représentent une partie de la figure 3 et servent à l'explication de son fonctionnement; et

- la figure 4 est un schéma utilisé pour expliquer le fonctionnement de l'invention et montrant un exemple des longueurs focales respectives d'une lentille acoustique à focale variable utilisant les principes de l'invention.

A titre d'illustration, un dispositif 50 de formation d'images ultrasonores par balayage de type B est présenté sur la figure 1. Toutefois, on comprendra que l'invention peut s'appliquer à un dispositif de formation d'images ultrasonores utilisant à la fois le balayage de type B et le balayage de type C. Il est également possible d'appliquer l'invention à un dispositif de formation d'images ultrasonores ne faisant appel qu'au balayage de type C, qui utilise l'ensemble de lentilles acoustiques à focale variable de l'invention pour obtenir une profondeur de champ résultante suffisante pour former des images de tous les points se trouvant à l'intérieur d'une structure profonde avec une bonne mise au point.

Sur la figure 1, l'ensemble 100 de lentilles acoustiques à focale variable, qui constitue l'objet de l'invention, est utilisé pour frapper la structure profonde à étudier 102 au moyen d'un faisceau de balayage focalisé d'ondes pulsées d'énergie ultrasonore d'une longueur d'onde prédéterminée se déplaçant dans un milieu 104 de propagation d'ondes ultrasonores. Comme le montre la figure 1, l'ensemble 100 comprend une lentille acoustique réelle 106 et une lentille acoustique électronique 108 disposées l'une derrière l'autre à une certaine distance de séparation. La lentille acoustique électronique 108 comprend un moyen 110 de commande de temps, un moyen de couplage 112 et un transducteur 114 à plusieurs électrodes.

De préférence, la lentille acoustique réelle, c'est-à-dire matérielle, qui est constituée d'un matériau plein (tel que polystyrène) d'indice acoustique de réfraction inférieur à celui du milieu environnant 104 de propagation d'ondes ultrasonores (tel que l'eau), est maintenue en position fixe. Dans ce cas, on effectue le balayage de la structure 102 à l'aide d'un faisceau d'énergie ultrasonore soit par déplacement du transducteur 114 seul, soit par l'intermédiaire d'un moyen de balayage auxiliaire, tel que des prismes de Risley (non représentés).

10 Toutefois, il est également envisagé selon l'invention de déplacer à la fois la lentille matérielle 106 et la lentille électronique 108 pour réaliser le balayage de la structure 102 au moyen d'un faisceau d'énergie ultrasonore.

Le moyen 110 de commande de temps comporte une horloge qui applique par intermittence une impulsion de commande à une source 116 d'impulsions d'un dispositif 50 de formation d'images ultrasonores par balayage de type B. La source d'impulsions 116 comporte un oscillateur de haute fréquence qui applique une impulsion de fréquence ultrasonore (par exemple 1,5 MHz) par l'intermédiaire du moyen de couplage 112 au transducteur 114 à plusieurs électrodes en réponse à chaque impulsion de commande venant du moyen 110 de commande de temps.

Les structures respectives du transducteur 114 à plusieurs électrodes et du moyen de couplage 112 (dont des modes de réalisation sont présentés sur les figures 2a, 2b et 3, 3a et 3b) seront discutées en détail ci-après. Pour le moment, il suffit de dire que, en réponse à l'application d'une impulsion de fréquence ultrasonore par la source d'impulsions 116, le transducteur 114 à plusieurs électrodes émet un faisceau d'ondes pulsées d'énergie ultrasonore possédant une focale choisie parmi un nombre prédéterminé de distances focales distinctes présélectionnées, chacune des distances focales distinctes étant sensiblement plus grande que la distance focale prédéterminée relativement courte de la lentille acoustique matérielle 106.

35 La structure profonde 102, en réponse à l'énergie ultrasonore reçue, émet un écho, dont une partie revient, via la

lentille acoustique matérielle 106, au transducteur 114 à plusieurs électrodes, ce qui donne naissance à des signaux électriques détectés. Le moyen de couplage 112, sous commande du moyen 110 de commande de temps, n'applique, via un circuit 5 électronique 118 de formation d'image, au dispositif d'affichage 120 à balayage de type B du dispositif de formation d'image, que ceux des signaux qui se produisent pendant un certain laps de temps après l'application d'énergie ultrasonore à la structure profonde 102.

10 Il est essentiel que toute la profondeur de la structure 102 se trouve dans les limites de la profondeur de champ de l'ensemble de lentilles 100 pour qu'il puisse être formée une image de toute la structure profonde 102 sur le dispositif 120 d'affichage par balayage de type B. Toutefois, la structure 102 15 a une profondeur qui est supérieure à la profondeur de champ de n'importe quelle longueur focale unique choisie de l'ensemble de lentilles 100. Afin de produire la profondeur de champ totale voulue de l'ensemble de lentilles 100, le moyen de couplage 112 sélectionne séquentiellement, sous commande du moyen 110 de 20 commande de temps, chacune des distances focales distinctes différentes de la lentille acoustique électronique 108, pendant chacune de plusieurs parties successives dudit intervalle de temps, ce qui produit une profondeur de champ résultante effective pour l'ensemble de lentilles acoustiques à focale variable 100 qui 25 embrasse toute la profondeur de la structure profonde 102. Pour permettre une meilleure compréhension de la manière dont ceci est réalisé, on va maintenant se reporter aux figures 2a, 2b, 3, 3a et 3b.

Comme le montrent les figures 2a et 2b, le transducteur 30 114 à plusieurs électrodes comprend une lame de matériau piézo-électrique 200 dont les faces sont recouvertes par plusieurs électrodes. Plus spécialement, une électrode commune 202 recouvre l'une des deux faces opposées de la lame 200, tandis que l'autre de ces deux faces est sensiblement recouverte par plusieurs élec- 35 trodes contiguës séparées spatialement réparties 204, 206, 208, 210, 212 et 214. Comme le montrent les figures 2a et 2b, l'électrode

204 est une électrode centrale à section droite circulaire de diamètre présélectionné et est entourée par des électrodes annulaires contiguës 206, 208, 210, 212 et 214. Les électrodes 204 à 214 couvrent sensiblement toute la section droite définie par le diamètre extérieur de l'électrode 214 située le plus à l'extérieur (c'est-à-dire que le diamètre interne de chaque électrode annulaire est sensiblement égal au diamètre externe de l'électrode qu'elle entoure). Comme cela est indiqué sur les figures 2a et 2b, les largeurs radiales (c'est-à-dire la différence entre les rayons intérieur et extérieur des électrodes annulaires 206 à 214) sont différentes les unes des autres et sont différentes du diamètre de l'électrode centrale 204. La raison de ces largeurs radiales différentes sera discutée ci-après.

Comme le montrent la figure 2a et la figure 3, l'électrode commune 202 est reliée au potentiel de la terre, et chacune des électrodes 204 à 214 est séparément connectée au moyen de couplage 112. Le moyen de couplage 112, comme le montre la figure 3, comprend un circuit d'isolation 300, faisant fonction de commutateur émission-réception. Le circuit 300 permet que des impulsions de fréquence ultrasonore venant de la source d'impulsions 116 soient appliquées à chacune des électrodes 204 à 214 du transducteur 114, mais empêche que les signaux reçus par les électrodes 204 à 214 ne soient renvoyés à la source d'impulsions 116. A titre d'exemple, le circuit d'isolation 300 peut être constitué d'un commutateur à seuil (du type décrit dans le brevet cité n° 4.138.895) formé de diodes semi-conductrices polarisées en sens opposés. Un tel commutateur à seuil permet que les impulsions de fréquence ultrasonore venant de la source d'impulsions 116, lesquelles impulsions ont des valeurs absolues d'amplitude supérieure à la tension de seuil d'un semi-conducteur (par exemple 0,7 V), soient chacune appliquées en parallèle à toutes les électrodes 204 à 214. Toutefois, puisque l'amplitude du signal reçu est toujours très inférieure à la tension de seuil, les signaux reçus sont isolés vis-à-vis de la source d'impulsions 116.

Si, comme cela a été supposé dans l'exemple donné ci-dessus, les impulsions de fréquence ultrasonore sont appliquées

en parallèle à toutes les électrodes 204 à 214 du transducteur 114, la fonction de celui-ci est d'émettre un front d'onde plan d'énergie ultrasonore dans le milieu de propagation 104, c'est-à-dire que la distance focale de la lentille électronique 108 est  
5 dans ce cas infinie.

Le moyen de couplage 112 comporte également un moyen de commutation et des circuits de déphasage qui couplent une combinaison choisie quelconque d'électrodes 204 à 214, via un additionneur 302, à une borne commune 304 (se trouvant à la sortie  
10 de l'additionneur 302) connectée au circuit électronique 118 de formation d'image. Pour ne pas compliquer la description du fonctionnement du moyen de commutation, celui représenté sur la figure 3 est fonctionnellement indiqué comme comprenant un commutateur à trois directions 306 qui couple l'électrode 204 à une  
15 première entrée de l'additionneur 302, un commutateur à deux directions 308 qui couple l'électrode 206 à une deuxième entrée de l'additionneur 302, un commutateur à deux directions 310 qui couple l'électrode 208 à une troisième entrée de l'additionneur 302, un commutateur à une direction 312 qui couple l'électrode  
20 212 à une cinquième entrée de l'additionneur 202, et un commutateur à une direction 314 qui couple l'électrode 214 à une sixième entrée de l'additionneur 302. (Comme le montre la figure 3, l'électrode 210 est connectée directement à une quatrième entrée de l'additionneur 302.) Fonctionnellement, ce moyen de commutation  
25 comporte également un circuit 316 de commande de commutation qui actionne sélectivement les commutateurs 306, 308, 310, 312 et 314 en fonction de signaux de commande temporelle qui lui sont appliqués par le circuit 110 de commande de temps. On comprendra que, en pratique, le moyen de commutation comprend normalement plusieurs  
30 portes électroniques normalement fermées qui sont sélectivement ouvertes selon l'une quelconque de diverses combinaisons prédéterminées en fonction de signaux appliqués par le circuit 110 de commande de temps. Toutefois, le fonctionnement de ces portes électroniques est équivalent à celui des commutateurs 306, 308,  
35 310, 312 et 314 décrits de façon détaillée ci-après.

Le moyen de couplage 112 comporte également plusieurs circuits de déphasage. Plus spécialement, lorsque le commutateur à deux directions 310 se trouve dans sa position supérieure, tout signal apparaissant sur l'électrode 208 est appliqué à la troisième entrée de l'additionneur 302 sans aucun déphasage. Mais, lorsque le commutateur 310 se trouve dans sa position inférieure, tout signal apparaissant sur l'électrode 208 est appliqué à la troisième entrée de l'additionneur 302 avec un retard de phase d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore, ce retard étant procuré par le circuit 318 de déphasage I. De la même manière, tout signal apparaissant sur l'électrode 206 est appliqué à la deuxième entrée de l'additionneur 302 sans déphasage lorsque le commutateur à deux directions 308 se trouve dans sa position supérieure, ou bien avec un déphasage d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore, ce déphasage étant procuré par le circuit 320 de déphasage II, lorsque le commutateur se trouve dans sa position inférieure. De plus, tout signal apparaissant sur l'électrode 204 est appliqué à la première entrée de l'additionneur 302 sans déphasage lorsque le commutateur à trois directions 306 se trouve dans sa position supérieure, ou bien avec un déphasage d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore, ce déphasage étant procuré par un circuit 322 de déphasage III, lorsque le commutateur 306 est dans sa position moyenne, ou bien avec un déphasage d'un demi-cycle de la fréquence ultrasonore, ce déphasage étant procuré par le circuit 324 de déphasage IV, lorsque le commutateur 306 est dans sa position inférieure.

L'invention fait appel à certaines relations optiques connues, qui vont maintenant être exposées. D'abord, la distance focale résultante  $\underline{f}$  d'un ensemble de lentilles constitué d'une première lentille de focale  $f_1$  disposée en série avec une deuxième lentille de focale  $f_2$  est donnée par la relation suivante :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (1)$$

En second lieu, une lentille matérielle de formation d'image déphase le front d'onde incident d'une quantité qui varie de façon continue en proportion inverse de la distance séparant chaque point d'incidence du front d'onde de l'axe de la lentille.

5 Une lentille électronique, du type de celle représentée sur les figures 2a, 2b, 3, 3a et 3b, utilise un certain nombre fini d'électrodes distinctes associées à un nombre fini discret de circuits de déphasage électrique pour simuler la fonction d'une lentille matérielle. Une telle lentille nécessiterait un nombre  
10 infini d'électrodes placées infiniment proches les unes des autres (ce qui est impossible) pour qu'une lentille matérielle soit reproduite exactement. Toutefois, comme cela est connu (d'après la condition de Rayleigh), une lentille dans laquelle le déphasage varie de manière discontinue en fonction inverse de la distance à  
15 l'axe produit néanmoins une image, sans dégradation notable, dans la mesure où le déphasage produit pour chaque point d'incidence du front d'onde ne s'écarte pas de celui qui serait procuré par le déphasage à variation continue d'une lentille matérielle de plus d'un quart de longueur d'onde de l'onde incidente (c'est-à-dire un quart de cycle de la fréquence ultrasonore). Une lentille  
20 électronique du type de celle représentée sur les figures 1, 2a, 2b, 3, 3a et 3b est conçue pour respecter cette condition de Rayleigh.

On peut montrer qu'une lentille électronique comprenant  
25 un transducteur à  $n$  électrodes concentriques électriquement séparées sur l'une de ses faces a une distance focale  $f_2$  et satisfait à la condition de Rayleigh pour un front d'onde incident d'énergie ultrasonore de longueur d'onde  $\lambda$  si les rayons extérieurs respectifs  $r_1$  à  $r_n$  des  $n$  électrodes respectives obéissent aux équations  
30 suivantes :

$$r_1 = \left[ \frac{f_2 \lambda}{2} \right]^{1/2} \quad (2-1)$$

$$\begin{array}{rcl}
 r_2 = \left[ \frac{2f_2\lambda}{2} \right] & 1/2 & (2-2) \\
 \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot \\
 r_n = \left[ \frac{nf_2\lambda}{2} \right] & 1/2 & (2-n)
 \end{array}$$

Puisque le but de l'invention est de produire sélectivement l'une quelconque de plusieurs distances focales différentes, il faut, pour chaque longueur focale différente, un jeu différent d'électrodes de rayons  $r_1$  à  $r_n$ . De plus, il est nécessaire que l'ouverture relative de la lentille ait une valeur sensiblement constante (c'est-à-dire soit sensiblement indépendante de la focale choisie). Pour satisfaire ces conditions, il faut que le transducteur de la lentille électronique possède un nombre suffisant d'électrodes concentriques contiguës sur l'une de ses faces, chaque électrode ayant une largeur radiale appropriée, afin de pouvoir donner chacun des différents jeux de rayons pour chacune des focales différentes par connexion sélective d'au moins certaines électrodes en un ou plusieurs groupes, chaque groupe étant formé d'une ou plusieurs électrodes connectées en parallèle. Ceci fait que la largeur radiale de certaines des électrodes est relativement petite. La taille réelle des largeurs radiales des électrodes dépend des dimensions respectives des distances focales différentes voulues.

En particulier, les équations (2-1) à (2-n) montrent que les dimensions respectives des rayons  $r_1$  à  $r_n$  varient en fonction directe de la dimension de la distance focale  $f_2$ . Ainsi, lorsque le nombre des distances focales qui peuvent être choisies par la lentille électronique est important, les dimensions minimales de la largeur radiale des électrodes concentriques de la lentille électronique qui est nécessaire pour produire ces distances focales s'accroît. C'est pour cette raison que l'invention, selon l'équation (1), combine une lentille acoustique électronique à focale relativement longue variable avec une lentille acoustique matérielle à focale relativement courte

fixe pour produire un ensemble de lentilles acoustiques à focale relativement courte variable. De plus, la valeur  $n$  et, par conséquent, le nombre total d'électrodes nécessaires, en est diminuée, puisque l'ouverture relative de la lentille acoustique électronique à focale relativement longue variable devient seule petite par rapport à l'ouverture relative voulue de l'ensemble de lentilles acoustiques à focale relativement courte variable.

A titre d'illustration, et dans le but d'expliquer le fonctionnement de l'invention, on suppose que les ondes d'énergie ultrasonore ont une longueur d'onde  $\lambda$  valant 1 mm. On suppose également que l'ensemble 100 de lentilles acoustiques à focale variable est conçu de manière à avoir une distance focale à choisir entre 150 mm, 200 mm et 250 mm, pour une ouverture relative sensiblement constante de  $1/3$ . On suppose également que la lentille acoustique matérielle 106 a une longueur focale fixe de 250 mm et une ouverture réelle qui est au moins aussi grande que l'ouverture réelle maximale de la lentille acoustique électronique 108, si bien que l'ouverture réelle présentée par la lentille acoustique électronique 108 détermine l'ouverture réelle de l'ensemble 100 de lentilles acoustiques à focale variable. Avec ces hypothèses, on peut utiliser l'équation (1) pour déterminer les différentes distances focales relativement longues nécessaires pour la lentille acoustique électronique 108. Plus spécialement, avec une lentille matérielle 106 de distance focale 250 mm, il faut que les distances focales respectives de la lentille électronique 108 soient égales à 375 mm, à 1000 mm, ou à l'infini pour produire des distances focales respectives de 150 mm, 200 mm, ou 250 mm pour l'ensemble de lentilles 100. De plus, puisque l'ouverture réelle de l'ensemble de lentilles 100 est déterminée par l'ouverture réelle de la lentille électronique 108, cette dernière doit avoir des ouvertures réelles respectives de 50 mm, 66,7 mm ou 83,3 mm pour les longueurs focales respectives de 150 mm, 200 mm ou 250 mm de l'ensemble de lentilles 100, afin que l'ensemble de lentilles 10 ait toujours une ouverture relative sensiblement égale à  $1/3$ .

Les largeurs radiales et les rayons extérieurs respectifs des électrodes 204 à 214 qui permettent de choisir, d'après le réglage des commutateurs 306 à 314, l'une quelconque des trois distances focales supposées de la lentille électronique 108 (ainsi que leurs ouvertures réelles correspondantes) sont donnés dans le tableau I ci-dessous.

TABLEAU I

	Electrode	Largeur radiale (mm)	Rayon extérieur (mm)
10	204	13,69	13,69
	206	5,67	19,36
	208	3,00	22,36
	210	1,36	23,72
	212	7,90	31,62
15	214	10,05	41,67

Plus spécialement, le circuit 316 de commande de commutation place les commutateurs 306 à 314 dans l'une quelconque choisie de trois combinaisons données de réglages de commutation, chaque combinaison différente correspondant à l'une des trois distances focales (et à l'ouverture réelle correspondante) de la lentille électronique 108. La figure 3 présente une première combinaison donnée de réglages des commutateurs 306 à 314, qui est la combinaison permettant d'obtenir une distance focale de 375 mm pour la lentille électronique 108. Dans cette première combinaison, les commutateurs à une direction 314 et 312 sont ouverts, si bien que les signaux venant des électrodes 214 et 212 ne sont pas appliqués à l'additionneur 302. Le commutateur à deux directions 310 est dans sa position supérieure, si bien que les signaux présents à l'électrode 208 sont appliqués directement à l'additionneur 302. Le commutateur à deux positions 308 est dans sa position inférieure, si bien que les signaux présents sur l'électrode 206 sont appliqués à l'additionneur 302 par l'intermédiaire du circuit 320 de déphasage II avec un déphasage d'un

quart de cycle de la fréquence ultrasonique. Le commutateur à trois directions 306 est dans sa position inférieure, si bien que les signaux présents sur l'électrode 204 sont appliqués via le circuit 324 de déphasage IV à l'additionneur 302 avec un déphasage d'un demi-cycle de la fréquence ultrasonore.

Le tableau II ci-dessous présente les conditions supposées pour cette première combinaison de commutation. Les rayons extérieurs respectifs de 13,69, 19,36 et 23,72 mm (présentés dans le tableau II) correspondent aux valeurs respectives de  $r_1$ ,  $r_2$  et  $r_3$  des équations (2-1) à (2-n), lorsque l'on remplace les grandeurs  $f_2$  et  $\lambda$  respectivement par 375 mm et 1 mm. De plus, l'ouverture réelle de la lentille électronique 108 dans sa première combinaison de commutation est 47,44 mm (c'est-à-dire le double du rayon le plus extérieur de 23,72 mm). Cette valeur est sensiblement égale à l'ouverture réelle servant de critère, qui est de 50 mm.

TABLEAU II

Première combinaison de commutation

1.	Ensemble de lentilles 100	-	Distance focale	150 mm	
20	(critères de conception)	-	Ouverture réelle	50 mm	
		-	Ouverture relative	1/3	
2.	Lentille matérielle 106	-	Distance focale	250 mm	
		-	Ouverture réelle au moins	83,3 mm	
3.	Lentille électronique 108	-	Distance focale	375 mm	
25	(critères de conception)	-	Ouverture réelle	50 mm	
4.	Electrodes effectives		Largeur radiale	Rayon extérieur	Déphasage
	204		13,69 mm	13,69 mm	1/2 cycle
	206		5,67 mm	19,36 mm	1/4 cycle
30	208-210		4,36 mm	23,72	0

La figure 3a montre une deuxième combinaison donnée de réglages des commutateurs 306 à 314, cette combinaison opérant le choix d'une distance focale de 1000 mm pour la lentille électronique 108. Dans cette deuxième combinaison, le commutateur

à une seule direction 314 est ouvert, si bien que les signaux présents sur l'électrode 214 ne sont pas appliqués à l'additionneur 302. Le commutateur à une direction 312 est fermé, si bien que les signaux présents sur l'électrode 212 sont

5 directement appliqués à l'additionneur 302. Le commutateur à deux directions 310 est dans sa position inférieure, si bien que les signaux présents sur l'électrode 208 sont appliqués à l'additionneur 302 via le circuit 318 de déphasage I avec un déphasage d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore. Le

10 commutateur à deux directions 308 est dans sa position inférieure, si bien que les signaux présents sur l'électrode 206 sont appliqués à l'additionneur 306 via le circuit 320 de déphasage II avec un déphasage d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore. Le commutateur à trois directions 306 est dans sa position médiane,

15 si bien que les signaux présents sur l'électrode 204 sont appliqués via le circuit 322 de déphasage III à l'additionneur 302 avec un déphasage d'un quart de cycle de la fréquence ultrasonore.

Le tableau III ci-dessous présente les conditions

20 supposées pour cette deuxième combinaison de commutation. Les rayons extérieurs respectifs de 22,36 et 31,62 mm (présentés dans le tableau III) correspondent aux valeurs respectives  $r_1$  et  $r_2$  des équations (2-1) à (2-n), lorsqu'on remplace les grandeurs  $f_2$  et  $\lambda$  respectivement par 1000 mm et 1 mm. De plus,

25 l'ouverture réelle de la lentille électronique 108 dans cette deuxième combinaison de commutation est de 63,24 mm (c'est-à-dire le double du rayon le plus extérieur de 31,62 mm). Cette valeur est sensiblement égale à l'ouverture réelle de 66,7 mm constituant le critère de conception.

30

TABLEAU III

Deuxième combinaison de commutation

1. Ensemble de lentilles 100	- Distance focale	200 mm
(critères de conception)	- Ouverture réelle	66,7 mm
	- Ouverture relative	1/3

2.	Lentille matérielle 106	- Distance focale	250 mm
		- Ouverture réelle	au moins 83,3 mm
3.	Lentille électronique 108	- Distance focale	1000 mm
	(critères de conception)	- Ouverture réelle	66,7 mm
5	4. Electrodes effectives	Largeur radiale	Rayon extérieur
			Déphasage
	204+206+208	22,36 mm	22,36 mm
	210+212	9,26 mm	31,62
			1/4 cycle
			0

La figure 3b présente la troisième combinaison de réglages des commutateurs 306 à 314, cette combinaison opérant la sélection d'une longueur focale infinie pour la lentille électronique 108. Dans cette troisième combinaison, les commutateurs à une seule direction 314 et 312 sont fermés, si bien que les signaux présents sur les électrodes 214 et 212 sont directement appliqués à l'additionneur 302. Les commutateurs à deux directions 310 et 308 sont dans leurs positions supérieures, si bien que les signaux présents sur les électrodes 208 et 206 sont directement appliqués à l'additionneur 302. Le commutateur à trois directions 306 est dans sa position supérieure, si bien que les signaux présents sur l'électrode 204 sont directement appliqués à l'additionneur 302.

Le tableau IV ci-dessous présente les conditions supposées pour cette troisième combinaison de commutation. Du fait que, dans cette troisième combinaison de commutation, toutes les électrodes 204 à 214 sont directement couplées à l'additionneur 302, un front d'onde plan de signaux reçus est détecté par la lentille électronique 108 (c'est-à-dire que la lentille électronique 108 possède, dans cette troisième combinaison, une longueur focale  $f_2$  infinie). Ainsi, dans la troisième combinaison, toutes les électrodes 204 à 214 sont effectivement connectées en parallèle et fonctionnent électriquement comme si elles formaient une seule électrode à section droite circulaire d'un rayon de 41,67 mm (égal au rayon extérieur de l'électrode 214 située le plus à l'extérieur). Le rayon extérieur de 41,67 mm de l'électrode 214 est celui choisi pour donner à la lentille électronique 108 une

ouverture réelle de 83,34 mm (c'est-à-dire le double du rayon de 41,67 mm), ce qui constitue la valeur nécessaire pour que l'ensemble de lentilles 100 ait l'ouverture relative voulue de 1/3.

TABLEAU IV

5 Troisième combinaison de commutation				
	1. Ensemble de lentilles 100	-	Distance focale	250 mm
	(critères de conception)	-	Ouverture réelle	83,3 mm
		-	Ouverture relative	1/3
	2. Lentille matérielle 106	-	Distance focale	250 mm
10		-	Ouverture réelle	au moins 83,3 mm
	3. Lentille électronique 108	-	Distance focale	infinie
		-	Ouverture réelle	83,3 mm
	4. Electrodes effectives	Largeur radiale	Rayon extérieur	Déphasage
15	204+206	41,67 mm	41,67 mm	0 cycle
	+208+210			
	+212			

Ainsi que le montre la figure 4, la surface avant 400 de la structure profonde 102, dont il doit être formé des images, est située à 125 mm du plan principal effectif 402 de l'ensemble 20 100 de lentilles acoustiques, tandis que la surface arrière 404 de la structure profonde 102 se trouve à 275 mm du plan principal 402. Ainsi, la profondeur totale de la structure profonde 102 est de 150 mm.

25 A la suite de l'émission de chacune des impulsions d'énergie ultrasonore, le circuit 110 de commande de temps actionne le moyen de commutation de façon à maintenir l'additionneur 302 non connecté au transducteur 114, jusqu'à un premier instant donné pour lequel des échos en provenance de la surface 30 antérieure 400 sont reçus par le transducteur 114. A ce premier instant, le circuit 110 de commande de temps active le moyen de commutation de manière à le placer dans la première combinaison de commutation donnée, si bien que l'ensemble 100 de lentilles

acoustiques présente une longueur focale de 150 mm. Cette première combinaison est maintenue jusqu'à un deuxième instant donné pour lequel des échos en provenance de 175 mm du plan principal 402 sont reçus par le transducteur 114. A ce deuxième instant donné, le circuit 110 de commande de temps active le moyen de commutation de manière à le placer dans la deuxième combinaison de commutation donnée, si bien que l'ensemble 100 de lentilles acoustiques présente alors une longueur focale de 200 mm. Cette deuxième combinaison est maintenue jusqu'à un troisième instant donné, pour lequel des échos en provenance de 225 mm du plan principal 402 sont reçus par le transducteur 114. A ce troisième instant donné, le circuit 110 de commande de temps active le moyen de commutation de manière à le placer dans la troisième combinaison de commutation, si bien que l'ensemble de lentilles 100 présente une longueur focale de 250 mm. Le circuit 110 de commande de temps maintient le moyen de commutation dans la troisième combinaison jusqu'à ce que des échos en provenance de 275 mm du plan principal 402 soient reçus par le transducteur 114.

Il est nécessaire que tous les échos reçus par le transducteur 114, qui proviennent de points situés à l'intérieur de la structure profonde 102, restent dans les limites de la profondeur de champ de l'ensemble 100 de lentilles acoustiques à focale variable, pour qu'ils puissent être mis en image au foyer dans le dispositif d'affichage 120 à balayage de type B. On peut voir sur la figure 4 que cette condition est satisfaite tant que la profondeur de champ de l'ensemble 100 de lentilles acoustiques pour chaque distance focale choisie est d'au moins 25 mm. Comme cela est connu, la profondeur de champ d'une lentille acoustique est égale au rapport de quatre fois la longueur d'onde des ondes d'énergie ultrasonore au carré de l'ouverture relative. La valeur supposée pour la longueur d'onde est de 1 mm et l'ouverture relative est supposée égale à 1/3. Ces valeurs supposées produisent une profondeur de champ dépassant 25 mm.

Dans le mode de réalisation préféré du moyen de couplage 112 que présente la figure 3, la lentille électronique 108

a une longueur focale infinie pendant l'émission des impulsions d'énergie ultrasonore. Ceci est souhaitable pour simplifier la structure du circuit d'isolation 300. Toutefois, on admettra que le circuit d'isolation 300 puisse comporter des circuits déphasés appropriés donnant à la lentille électronique 108 une longueur d'onde voulue non infinie (d'après les équations (2-1) à (2-n)).

Bien entendu, l'homme de l'art sera en mesure d'imaginer, à partir du dispositif, dont, à titre simplement illustratif et nullement limitatif, il vient d'être donné description, diverses variantes et modifications ne sortant pas du cadre de l'invention.

## R E V E N D I C A T I O N S

1. Ensemble de lentilles acoustiques à focale variable comprenant une première et une deuxième lentille acoustique disposées l'une derrière l'autre à une certaine distance afin de focaliser des ondes d'énergie acoustique d'une longueur d'onde prédéterminée, caractérisé en ce que :
- 5 la première lentille acoustique (106) a une focale prédéterminée relativement courte unique; et
- la deuxième lentille acoustique (108) comporte un
- 10 moyen (110, 112) destiné à commander électroniquement la focale de la deuxième lentille acoustique de façon qu'elle présente l'une quelconque choisie d'un nombre prédéterminé de focales distinctes présélectionnées différentes, chacune desdites focales distinctes étant sensiblement plus grande que ladite focale prédéterminée.
- 15 2. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que :
- ledit ensemble de lentilles a une certaine ouverture relative (1/3); et
- les valeurs respectives des focales distinctes (150,
- 20 200, 250 mm) sont choisies à l'avance de façon que, pour ladite longueur d'onde prédéterminée (1 mm), les profondeurs de champ respectives (25 mm) dudit ensemble de lentilles aux différentes focales distinctes soient en relation de contiguïté ou de chevauchement.
- 25 3. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que :
- la première lentille acoustique est constituée d'une matière présentant un indice de réfraction vis-à-vis desdites ondes d'énergie acoustique qu'elle propage qui est différent de celui
- 30 du milieu environnant;
- ladite deuxième lentille acoustique comprend un transducteur électro-acoustique (114) comportant une lame piézo-électrique (200) possédant sur une de ses faces plusieurs électrodes distinctes spatialement réparties (204 à 212); et

ledit moyen commandant électroniquement la focale comprend un moyen (112) d'application de signaux qui comporte des moyens de déphasage (318 à 324) et un moyen de commutation (306, 308, 310, 312, 314, 316) connectant sélectivement des combinaisons quelconques parmi certaines combinaisons desdites électrodes à une borne commune (304) de façon à ainsi choisir une focale correspondante dudit nombre prédéterminé de focales distinctes présélectionnées différentes.

4. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 3, caractérisé en ce que :
- la première lentille a une ouverture réelle donnée; lesdites électrodes comprennent une électrode centrale (204) possédant une section droite circulaire d'un diamètre choisi à l'avance, cette électrode centrale étant entourée par un certain nombre d'électrodes annulaires contiguës (208 à 214), le diamètre extérieur de celle des électrodes qui est le plus à l'extérieur définissant pour la deuxième lentille une ouverture réelle maximale qui n'est pas supérieure à ladite ouverture réelle donnée, chacune des électrodes annulaires ayant un diamètre intérieur choisi à l'avance et un diamètre extérieur choisi à l'avance;
- ledit moyen de commutation, dans le cas de la sélection de la plus grande desdites focales distinctes présélectionnées, couple toutes les électrodes à la borne commune et donne donc une certaine ouverture numérique audit ensemble de lentilles;
- ledit moyen de commutation, dans le cas de la sélection d'une focale distincte présélectionnée n'étant pas la plus longue, couple une certaine combinaison donnée d'électrodes qui est formée d'une certaine électrode annulaire (210) n'étant pas celle le plus à l'extérieur et d'une électrode (204, 206, 208) entourée par cette certaine électrode annulaire n'étant pas le plus à l'extérieur, à ladite borne commune; et
- les diamètres des électrodes sont choisis à l'avance de façon que lesdites combinaisons donnent sensiblement à l'ensemble de lentilles ladite certaine ouverture numérique.
5. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 4, caractérisé en ce que :

ladite combinaison d'électrodes comprend un groupe interne (204) d'une ou plusieurs électrodes contiguës et un groupe externe (212, 214) d'une ou plusieurs électrodes contiguës;

5 en réponse à la sélection de ladite focale distincte présélectionnée n'étant pas la plus longue, ledit moyen de commutation comporte un moyen (306) qui connecte respectivement en parallèle lesdites électrodes dudit groupe interne à la borne commune et connecte en parallèle lesdites électrodes du groupe externe (312, 314) à la borne commune; et

10 lesdits moyens de déphasage comportent des moyens (322, 324) qui déphasent des signaux se trouvant à la fréquence desdites ondes d'énergie acoustique qui sont appliqués entre lesdites électrodes du groupe interne et la borne commune d'un nombre sensiblement entier de quarts de longueur d'onde par rapport aux signaux se trouvant à la fréquence desdites ondes d'énergie acoustique qui sont appliqués entre lesdites électrodes du groupe externe et la borne commune.

6. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 5, caractérisé en ce que :

20 les électrodes des groupes interne et externe sont en relation de contiguïté; et

lesdits moyens de déphasage comportent des moyens (322) qui déphasent lesdits signaux appliqués entre des électrodes du groupe interne et la borne commune de sensiblement un quart de longueur d'onde par rapport aux signaux appliqués entre les électrodes du groupe externe et la borne commune.

7. Ensemble de lentilles acoustiques selon la revendication 5, caractérisé en ce que :

30 ladite combinaison donnée d'électrodes comprend en outre un groupe intermédiaire (206, 208) d'une ou plusieurs électrodes contiguës situées entre les électrodes du groupe interne et les électrodes du groupe externe en relation de contiguïté avec elles;

en réponse à la sélection de ladite focale distincte présélectionnée n'étant pas la plus longue, le moyen de commutation comprend des moyens (310, 308) qui connectent en parallèle lesdites électrodes du groupe intermédiaire à la borne commune; et

les moyens de déphasage comportent des moyens (318, 320 et 322) qui déphasent respectivement des signaux se trouvant à la fréquence desdites ondes d'énergie acoustique qui sont appliqués respectivement (1) entre les électrodes dudit groupe intermédiaire (206, 208) et la borne commune et (2) entre les électrodes du groupe interne (204) et la borne commune, sensiblement de (1) un quart de longueur d'onde et sensiblement de (2) un quart de longueur d'onde par rapport à des signaux se trouvant à la fréquence des ondes d'énergie acoustique qui sont appliqués entre lesdites électrodes du groupe extérieur et la borne commune.

8. Dispositif de formation d'image par échos d'impulsions ultrasonores (figure 1) destiné à former des images d'une structure profonde (102, figures 1 et 4) recevant une impulsion d'énergie ultrasonore de longueur d'onde prédéterminée, caractérisé par :

15 un ensemble de lentilles acoustiques à focale variable, du type présenté dans la revendication 2, disposé à une certaine distance de ladite structure profonde de façon à recevoir des échos ultrasonores de ladite structure profonde pendant un certain intervalle de temps après la réception de ladite impulsion d'énergie ultrasonore par la structure profonde;

les valeurs respectives desdites focales distinctes de ladite deuxième lentille acoustique étant choisies de façon que, pour ladite longueur d'onde prédéterminée, les profondeurs de champ respectives dudit ensemble de lentilles aux focales distinctes différentes respectives comportent des parties distinctes contiguës de la profondeur totale de ladite structure profonde dont il faut former des images; et

un moyen (110) de commande de temps couplé à ladite deuxième lentille et répondant à l'instant d'émission de ladite impulsion d'énergie ultrasonore en choisissant séquentiellement chacune desdites focales distinctes différentes pendant des parties successives dudit certain intervalle de temps de façon à donner audit ensemble de lentilles une profondeur de champ résultante effective qui comporte toute la profondeur de la structure profonde dont il faut former des images.

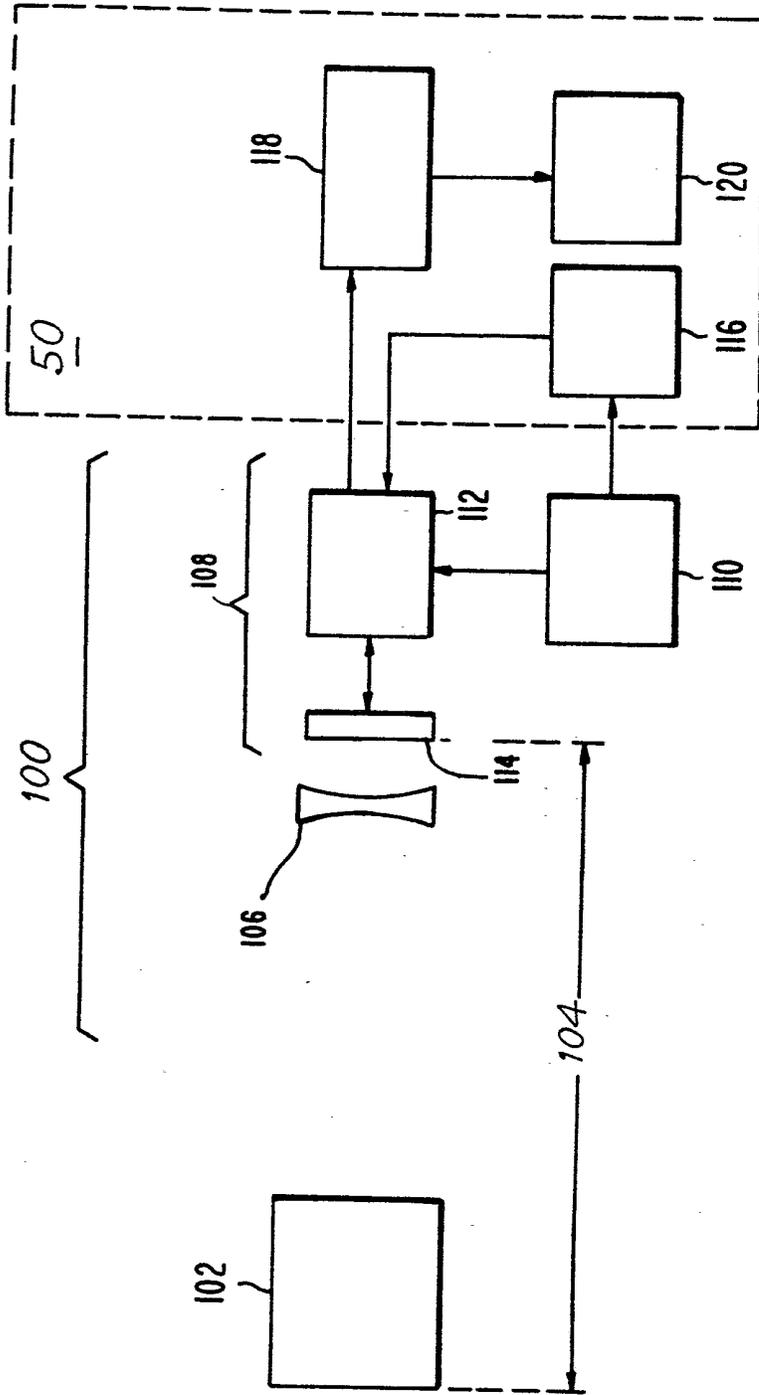
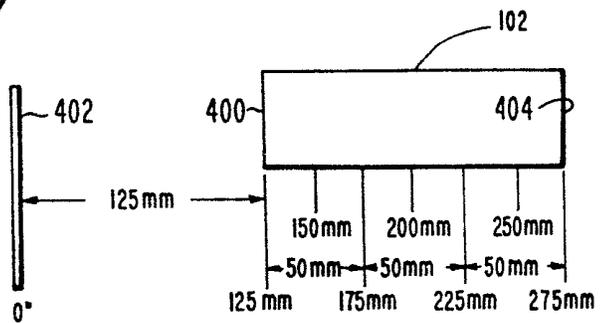
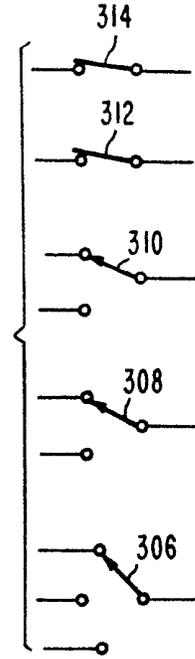
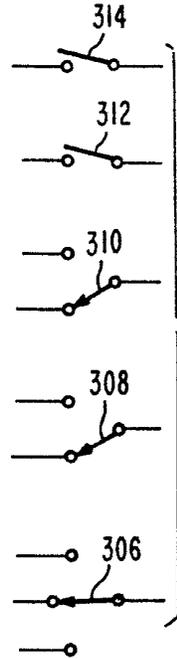
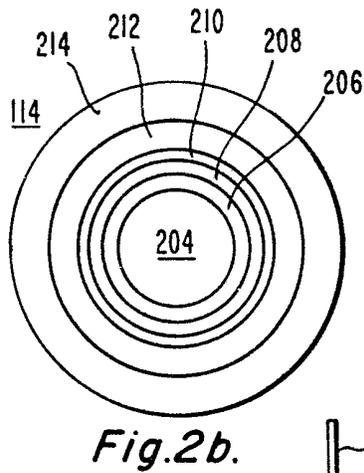
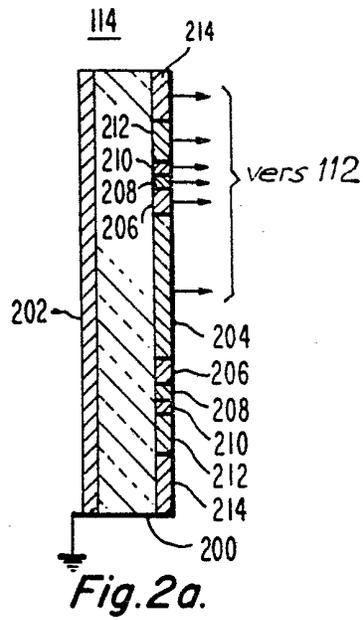


Fig. 1.



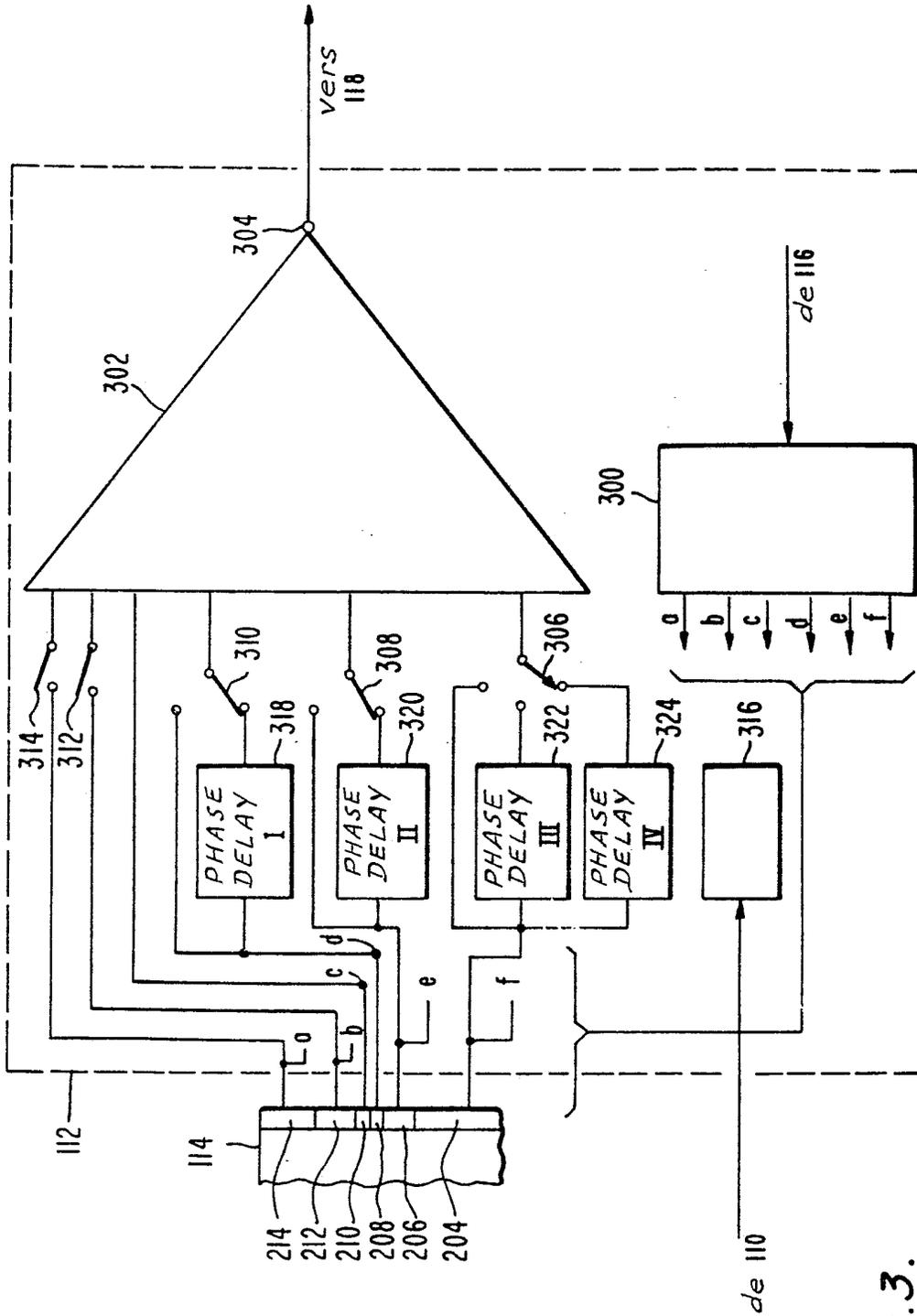


Fig. 3.