

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁵ : G10K 11/34	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 94/17514 (43) Date de publication internationale: 4 août 1994 (04.08.94)
--	-----------	--

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR94/00070

(22) Date de dépôt international: 21 janvier 1994 (21.01.94)

(30) Données relatives à la priorité:
93/00662 22 janvier 1993 (22.01.93) FR(71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): TECH-
NOMED INTERNATIONAL [FR/FR]; Parc d'Activités du
Chêne, Boulevard des Droits-de-l'Homme, F-69500 Bron
(FR). INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA
RECHERCHE MEDICALE [FR/FR]; 101, rue de Tolbiac,
F-75654 Paris Cédex 13 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): CHAPELON, Jean-
Yves [FR/FR]; 6, allée Marcel-Achard, F-69100 Villeur-
banne (FR). CATHIGNOL, Dominique [FR/FR]; 14, rue du
Fort, F-69740 Genas (FR). BLANC, Emmanuel [FR/FR];
47, allée Antonin-Dumas, F-69230 St-Genis-Laval (FR).(74) Mandataires: PORTAL, Gérard etc.; Cabinet Beau de
Loménie, 158, rue de l'Université, F-75340 Paris Cédex 07
(FR).(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH,
DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: THERAPY APPARATUS WITH VARIABLE FOCALIZATION WITHOUT SECONDARY FOCALIZATION

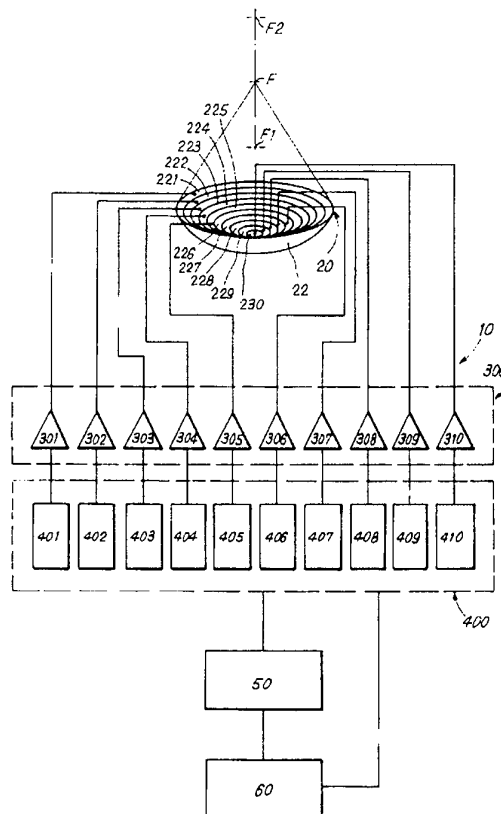
(54) Titre: APPAREIL DE THERAPIE A FOCALISATION VARIABLE SANS FOCALISATION SECONDAIRE

(57) Abstract

The invention relates to a dynamic focalization method as well as to a therapy apparatus (10) for implementation. The therapy apparatus (10) comprises a therapy device (20) including at least an ultrasonic therapeutic transducer element (221-230) and a signal generator (50) delivering an electronic signal to said ultrasonic transducer element (221-230), characterized in that the signal generator (50) delivers an electronic signal whose self-correlation function is of the DIRAC type. The invention provides for a dynamic electronic focalization without appearance of secondary focal areas.

(57) Abrégé

L'invention concerne un procédé de focalisation dynamique ainsi qu'un appareil de thérapie (10) en comportant application. L'appareil de thérapie (10) comprend un dispositif de thérapie proprement dit (20) comprenant au moins un élément transducteur ultrasonique de thérapie (221-230) et un générateur de signal (50) délivrant un signal électronique audit élément transducteur ultrasonique (221-230), caractérisé en ce que le générateur de signal (50) délivre un signal électronique dont la fonction d'autocorrélation est de type DIRAC. L'invention permet de réaliser une focalisation électronique dynamique sans apparition de zones focales secondaires.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brésil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	SN	Sénégal
CN	Chine	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LV	Lettonie	TG	Togo
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

Appareil de thérapie à focalisation variable sans focalisation secondaire.

La présente invention concerne essentiellement un appareil de thérapie à focalisation variable sans focalisation secondaire. De préférence, l'appareil de thérapie est un appareil de thérapie par ultrasons focalisés. L'invention concerne
5 aussi de manière générale l'utilisation d'un signal électronique à fonction d'auto-corrélation de type DIRAC pour la commande d'au moins un élément transducteur ultrasonique de thérapie ; et un procédé de focalisation dynamique électronique d'au moins un élément transducteur ultrasonique de thérapie éliminant ou minimisant la focalisation secondaire grâce à l'utilisation d'un générateur de signal
10 délivrant un signal électronique dont la fonction d'autocorrélation est de type Dirac.

On sait que la thérapie par ultrasons focalisés, à l'aide de transducteurs piézoélectriques activés par des signaux électroniques de type sinusoïdal, permet de créer des lésions tissulaires qui sont limitées au point focal du transducteur
15 ultrasonique ce qui est particulièrement nécessaire pour un traitement efficace dans le cadre des thérapies du cancer comme par exemple de la prostate, du sein, du cerveau, etc.

Généralement, ces cancers présentent un certain volume et de ce fait, pour traiter la totalité du volume d'une lésion, il est nécessaire de déplacer le point
20 focal du transducteur pour lui faire parcourir la totalité du volume à détruire.

Ce déplacement peut être obtenu par des moyens mécaniques, généralement des dispositifs de motorisation qui sont encombrants et coûteux. On peut aussi utiliser des moyens électroniques de déplacement du point focal qui offrent les avantages d'être moins encombrants, d'être moins coûteux, de supprimer
25 tout mouvement mécanique du transducteur sachant que ces mouvements perturbent le contact entre le transducteur et le patient et nuisent à la bonne transmission des ondes acoustiques et qu'ils risquent encore de provoquer un déplacement de la zone cible en cours de traitement. On peut aussi disposer et immobiliser les transducteurs à focalisation électronique au contact de la peau des
30 patients, puis tirer d'abord en profondeur en utilisant la focale électronique maximale et ensuite en surface en utilisant la focale minimale. On sait qu'un des risques de cette méthode de traitement consiste en des brûlures de la peau des patients qui sont diminuées lorsque l'ouverture est maximale. L'ouverture est le rapport entre le diamètre du faisceau et la distance focale, donc est minimale pour la focale
35 électronique la plus grande et maximale pour la plus petite focale électronique. On

conçoit que la méthode décrite ci-dessus minimise les risques de brûlure puisque les tirs en surface sont effectués à ouverture maximale.

Pour utiliser ces moyens électroniques de déplacement du point focal il est nécessaire d'avoir recours à des transducteurs à structure multi-éléments. Ces multi-éléments peuvent être de forme annulaire pour obtenir un déplacement du point focal dans la direction de l'axe de propagation acoustique.

On peut également utiliser un transducteur à structure multi-éléments de forme mosaïque pour obtenir un déplacement du point focal dans les trois directions de l'espace.

Le déplacement physique du point focal est alors obtenu en appliquant à chaque élément du transducteur des signaux électroniques de type sinusoïdal déphasés les uns par rapport aux autres.

Il est connu par l'homme de l'art que pour des amplitudes importantes de déplacement du point focal il peut apparaître une ambiguïté sur les valeurs de déphasage affectées aux signaux de commandes de chacun des éléments du transducteur. Cette ambiguïté de phase fait alors apparaître un point de focalisation secondaire dans le champ ultrasonore du transducteur. Ce point de focalisation secondaire entraîne une nécrose tissulaire dans une zone qui n'est pas ciblée et condamne ainsi l'utilisation de transducteurs à focalisation dynamique pour des raisons de sécurité thérapeutiques évidentes.

Pour répondre à ce problème, on a proposé diverses solutions qui permettent de contrôler le champ ultrasonore et d'obtenir un champ ultrasonore particulier préalablement établi et qui élimine les points de focalisation secondaires.

On peut citer à ce sujet en particulier la méthode de synthèse de faisceaux décrite par exemple par E.S. EBBINI dans l'article "Experimental evaluation of a prototype cylindrical section ultrasound hyperthermia phased-array applicator" (dans IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. vol. 38 n° 5 p 510 à 520, September 1991). Cette méthode consiste à déterminer les valeurs d'amplitude et de phase sur chaque élément du transducteur qui permettent de former une géométrie donnée du faisceau. Un exemple est donné sur les figures 6, 9, 10 et 11 de ce document, et EBBINI montre qu'avec cette méthode il est possible de synthétiser un champ ultrasonore à un ou plusieurs, en particulier 3, points de focalisation.

Cette méthode présente un inconvénient majeur. Chaque transducteur n'est pas alimenté par le signal d'amplitude maximale qu'il pourrait recevoir (voir

en particulier p 514). L'énergie acoustique générée n'est alors pas maximale, ce qui est totalement incompatible avec un traitement endocavitaire par ultrasons de forte puissance où le rapport puissance émise sur dimension du transducteur doit être maximal. Par contre, cette contrainte est acceptable pour un traitement du type
5 hyperthermie comme envisagé dans cet article où les puissances émises sont largement plus faibles (voir p 514).

Une autre méthode de synthèse de faisceaux pour limiter les points de focalisation secondaire est décrite par UMEMURA dans l'article "the Sector-Vortex Phased Array : Acoustic Field Synthesis for Hyperthermia"
10 également dans la revue IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. vol. 36, n° 2, p 249 à 257, mars 1989. Cette méthode s'applique à des transducteurs divisés en plusieurs secteurs et consiste à appliquer une distribution de phase particulière sur chaque secteur. Comme cette méthode consiste à subdiviser les anneaux en secteurs, on aboutit à un nombre élevé
15 d'éléments. Pour obtenir une forme de faisceau convenable, le nombre d'éléments doit être élevé, chaque circuit électronique de commande étant complexe, le coût d'un tel dispositif est donc très important, ce qui est difficilement compatible avec une exploitation industrielle et médicale surtout avec la nécessité de limiter les coûts de traitement thérapeutique.

20 La présente invention a donc pour but principal de résoudre le problème technique de la focalisation dynamique de transducteur de thérapie sur des distances de balayage du faisceau importantes, en éliminant la focalisation secondaire, en utilisant les transducteurs à leur puissance maximale, en conservant une tâche focale de forme ponctuelle, et à un coût permettant une large diffusion
25 industrielle et médicale.

La présente invention apporte pour la première fois une solution satisfaisante à ce problème technique ainsi défini et présente d'autres avantages techniques qui apparaîtront clairement à l'homme de l'art à partir de la description détaillée qui va suivre de l'invention.

30 Ainsi, selon un premier aspect, la présente invention fournit un procédé de focalisation dynamique électronique d'au moins un élément transducteur piézoélectrique ultrasonore de thérapie, éliminant ou minimisant la focalisation secondaire, comprenant l'activation de l'élément transducteur de thérapie par un signal électronique délivré par un générateur de signal, caractérisé en ce qu'on
35 utilise un générateur de signal délivrant un signal électronique dont la fonction

d'autocorrélation est de type DIRAC. La définition de la fonction d'autocorrélation est la suivante :

soit $X(t)$ un signal quelconque, il transporte une certaine énergie :

5

$$E_x = \int [X(t)]^2 dt$$

La fonction d'intercorrélation entre deux signaux $X(t)$ et $Y(t)$ est définie par :

10

$$\Gamma_{xy}(\tau) = \int X(t)Y(t - \tau)dt$$

Cette relation chiffre en fonction d'un décalage temporel τ la ressemblance entre le signal $X(t)$ et le signal $Y(t)$ retardé de cette valeur τ .

15

Si cette fonction est nulle ($\Gamma_{xy}=0$) on dit alors que les deux signaux ne sont pas corrélés.

De même, on définit la fonction autocorrélation dans le cas où $y(t)=x(t)$; on a alors :

20

$$\Gamma_{xx}(\tau) = \int X(t)X(t - \tau)dt$$

Cette fonction $\Gamma_{xx}(\tau)$ représente donc la ressemblance entre une fonction à l'instant t et cette même fonction à l'instant $t-\tau$. Plus cette ressemblance est faible plus cette fonction se rapproche de 0 tout en gardant son maximum pour $\tau=0$. En effet, quel que soit le type de signal $X(t)$, la fonction d'autocorrélation a sa valeur maximale pour $t=0$ puisque $\Gamma_{xx}(0)$ n'est autre que l'énergie E_x de ce signal.

25

Une catégorie de signaux particulièrement intéressante correspond à celle des signaux large bande. Un signal est dit à large bande lorsque sa fonction d'autocorrélation a une largeur θ très étroite qui tend théoriquement vers une impulsion de DIRAC $\delta(t)$. Nous appellerons un tel signal dans le cadre de la présente description et des revendications, un signal à fonction d'autocorrélation de type DIRAC.

30

Comme exemple connu de signaux à fonction d'autocorrélation de type DIRAC, on peut citer en particulier :

35

- les signaux aléatoires de type Gaussien ou Poissonien,
- les signaux à modulation de fréquence ou de phase.

On peut encore citer les signaux pseudo-aléatoires codés parmi lesquels :

- les signaux à séquence "M" ou encore dénommés séquences binaires à longueur maximale du type de ceux qui sont décrits au chapitre 6 par Jean-Yves Chapelon, p 225 à 236, en particulier à partir de la p 230 du livre "Progress in medical imaging", édité par le professeur Newhouse éditeur Springer Verlag, New York, année 1988.

- les codes de "GOLAY"

- les codes de "BARKER".

Les signaux pseudo-aléatoires codés peuvent être utilisés directement ou peuvent moduler en phase ou en fréquence un signal électronique dont la fréquence porteuse correspond à la fréquence nominale de fonctionnement du transducteur.

On préfère en particulier les signaux codés de type pseudo-aléatoire de séquence "M". Ces signaux sont décrits précisément dans "Progress in medical imaging". Il s'agit succinctement de séquences de signaux binaires construits par la répétition pseudo-aléatoire d'impulsions ou "pulses" d'une durée élémentaire. Chacune de ces séquences se répète avec une période de répétition "T" caractéristique de la séquence "M".

On peut donner une description plus précise d'un signal de séquence "M" en référence à la figure 8 annexée :

- durée d'impulsion ou "pulse" élémentaire " θ " : $0,1 \mu s < \theta < 100 \mu s$, idéalement de valeur 2 à 10 fois la période d'oscillation du transducteur,

- période de répétition "T" : $1 \mu s < T < 10 s$.

Les signaux codés de type pseudo-aléatoire, en particulier de type pseudo-aléatoire de séquence "M" actuellement préféré, sont réalisables aisément à partir de circuits électroniques bien connus de l'homme de l'art.

Grâce à ces signaux électroniques à fonction d'autocorrélation de type DIRAC, il est possible d'éliminer toute ambiguïté dans la définition des retards, ce qui aboutit à une focalisation en un point unique en éliminant ainsi, de manière fiable et sûre, les zones focales secondaires antérieurement existantes.

Selon un deuxième aspect, la présente invention fournit également un appareil de thérapie à focalisation dynamique électronique, comprenant un dispositif ultrasonore de thérapie comprenant au moins un élément transducteur ultrasonore de thérapie, un générateur de signal délivrant un signal électronique ainsi qu'un dispositif de commande d'un tel générateur de signal, caractérisé en ce

que le générateur de signal délivre un signal électronique dont la fonction d'auto-corrélation est de type DIRAC.

Les modes de réalisations préférés de ce signal ou de l'appareil résultent de la description précédente relative au procédé ainsi que des revendications.
5 tions.

Dans l'un ou l'autre des aspects précédents, selon un mode de réalisation avantageux, le générateur de signal délivre un signal binaire à fonction d'autocorrélation du type DIRAC du type "séquence M" en particulier dit "à longueur maximale".

10 D'autres caractéristiques apparaîtront également à l'homme de l'art à partir de la description suivante, ainsi que des revendications qui font également partie de la présente description.

L'invention va maintenant être décrite avec un mode de réalisation actuellement préféré donné simplement à titre d'illustration qui ne saurait donc en aucune façon limiter la portée de l'invention, en référence aux dessins annexés dans lesquels :
15

– la figure 1 représente un schéma de principe général d'un appareil de thérapie connu pour réaliser une thérapie des tissus d'un être vivant, comprenant un dispositif multitransducteur ayant des transducteurs piézoélectriques, ici selon un arrangement annulaire de la surface émettrice permettant une focalisation dynamique dans l'axe de propagation ;
20

– la figure 2 représente une courbe de pression ultrasonique exprimée en bars, ici normalisée à 1 en ordonnées, en fonction de la distance axiale définie par l'axe de propagation des ondes ultrasoniques, en abscisse, exprimée en millimètres de l'élément transducteur de la figure 1, de diamètre 100 mm et à focalisation naturelle au point focal F1 disposé à 100 mm, la courbe en traits grisés est celle qui est obtenue dans le milieu de couplage tel que l'eau, c'est-à-dire sans absorption acoustique ; et la courbe en traits forts est celle qui est obtenue dans un milieu dont les caractéristiques acoustiques sont similaires à celles des tissus d'un être vivant, qui présente une absorption acoustique de 0,1 Neper/cm avec un signal électronique sinusoïdal sans déphasage selon l'art antérieur ;
25
30

– la figure 3 est une courbe similaire à celle de la figure 2 obtenue avec le même élément transducteur de la figure 1, (à distance focale naturelle de 100 mm), avec un signal électronique classique de type sinusoïdal déphasé selon les anneaux de manière à obtenir une focalisation à la distance focale de 50 mm ;
35

– la figure 4 est une courbe similaire à celle des figures 2 et 3 obtenue avec un signal électronique sinusoïdal déphasé, selon l'art antérieur, de manière à obtenir une focalisation à la distance focale de 130 mm ;

– la figure 5 représente une courbe similaire à celle des figures 2 à 4, obtenue avec un signal électronique de type pseudo-aléatoire à séquence M, selon la présente invention, sans déphasage entre les transducteurs en obtenant ainsi la focalisation naturelle à 100 mm ;

– la figure 6 représente une courbe similaire à la figure 5 avec le même signal pseudo-aléatoire à séquence M selon la présente invention mais avec des retards entre anneaux permettant d'obtenir une focalisation électronique à 50 mm ;

– la figure 7 représente une courbe similaire aux figures 5 et 6 avec le même signal pseudo-aléatoire à séquence M selon la présente invention avec des retards entre anneaux permettant d'obtenir une focalisation à 130 mm, et

– la figure 8 représente un signal binaire codé de type pseudo-aléatoire selon l'invention de séquence M, dont la description plus précise a été précédemment donnée en page 5, avec en ordonnée l'amplitude normalisée à 1 et en abscisse le temps en microsecondes.

En référence à la figure 1, on a représenté schématiquement un appareil de thérapie connu représenté par le numéro de référence général 10 pour réaliser la thérapie de tissus d'un être vivant.

Cet appareil de thérapie 10 comprend un dispositif de thérapie proprement dit 20 ici sous forme de calotte sphérique 22 à focalisation naturelle, subdivisée en réseau annulaire tel que représenté, ou en mosaïque (non représenté) d'éléments transducteurs piézoélectriques tels que 221 à 230. Ce réseau annulaire 221 à 230 ou en mosaïque (non représenté) est bien connu à l'homme de l'art et aucune description complémentaire n'apparaît nécessaire. Un exemple de réalisation d'un tel dispositif de thérapie est par exemple sous forme de calotte sphérique 22 de diamètre 100 mm à focalisation naturelle à la distance focale de 100 mm, ayant une fréquence de fonctionnement à 1 Mhz environ, et une structure annulaire de dix anneaux ici de surface constante séparés chacun par un espace de 0,1 mm, représentée à la figure 1.

Chaque élément transducteur annulaire 221 à 230 est relié via un dispositif amplificateur 300 comprenant des amplificateurs individuels 301 à 310 et un dispositif de lignes à retard 400 comprenant des lignes individuelles à retard 401 à 410 à un générateur de signaux ici commun 50, lui-même commandé par une centrale de commande 60. La centrale de commande 60 commande également

les lignes à retard 401 à 410 en fournissant la valeur de retard nécessaire à chaque ligne pour obtenir une focalisation à la distance de focalisation recherchée.

Grâce à cette conception de l'appareil, il est possible de réaliser une focalisation dynamique électronique, par exemple entre les points focaux F1 et F2.

5 Le fonctionnement de cet appareil va maintenant être décrit en référence aux courbes des figures 2 à 7, respectivement selon l'art antérieur (figures 2 à 4) et selon l'invention (figures 5 à 8).

Tout d'abord, lorsque l'on fait générer par le générateur 50 un signal électronique classique de type sinusoïdal, à une fréquence d'environ 1 MHz, et
10 lorsqu'on ne commande aucun retard aux lignes à retard 401 à 410, on obtient une focalisation naturelle au point focal géométrique F1, ici à 100 mm, en obtenant ainsi la courbe de la figure 2.

Lorsque, grâce à la commande 60, on envoie le même signal par le générateur 50 mais en introduisant des retards entre les anneaux dans les lignes 401
15 à 410, on peut déplacer le point focal le long de l'axe.

Si on utilise les retards suivants exprimés en μs , le point focal sera déplacé respectivement à 50 mm ou à 130 mm :

<u>Anneau n°</u>	<u>Point focal à 50 mm.</u>	<u>Point focal à 130 mm.</u>
	<u>retard en μs</u>	<u>retard en μs</u>
1	0	0
2	1,2	- 0,3
3	2,4	- 0,6
4	3,5	- 0,9
5	4,6	- 1,2
6	5,7	- 1,5
7	6,7	- 1,8
8	7,8	- 2
9	8,8	- 2,3
10	9,8	- 2,7

20 Lorsqu'on utilise les valeurs de retard pour obtenir une focalisation électronique au point focal situé à 50 mm, on obtient les courbes correspondantes représentées à la figure 3. On observe dans ce cas sur les courbes de la figure 3 l'apparition d'une zone focale secondaire entre 120 et 130 mm qui perturbe la zone focale recherchée à 50 mm. On remarquera ici que la zone focale secondaire à

120–130 mm est fortement atténuée en raison de l'atténuation forte des tissus de l'être vivant et a de ce fait une faible incidence sur le traitement. Si on ne prend pas en compte l'atténuation des tissus, la zone focale secondaire a une amplitude plus forte que la zone focale principale à 50 mm, ce qui démontre le risque de
5 l'existence d'une zone focale secondaire en pratique généralement incompatible avec un traitement thérapeutique en toute sécurité.

Par contre, lorsque l'on utilise les valeurs de retard permettant de réaliser une focalisation électronique à une distance de l'ordre de 130 mm, on obtient les courbes représentées à la figure 4. A la figure 4, on observe une zone
10 focale secondaire vers 50 mm qui devient une zone focale principale par rapport à la zone focale recherchée à 130 mm qui devient pratiquement inexistante, avec l'effet d'absorption acoustique (courbe en traits forts). Il en résulte une impossibilité de réalisation d'un traitement thérapeutique à cette distance focale.

On observe ainsi qu'à l'aide de signaux électroniques de type classique
15 sinusoïdaux, il est impossible d'avoir une grande variation de distance focale, la focalisation dynamique étant ainsi grandement limitée, ce qui limite d'autant l'attrait de la focalisation dynamique électronique. D'autre part, comme on l'observe à partir de la figure 4, dans certains cas il est impossible d'effectuer un traitement tel qu'il était prévu à une distance focale de 130 mm.

20 En référence aux figures 5 à 7 réalisées à l'aide du procédé et de l'appareil selon l'invention, on voit l'intérêt majeur de l'utilisation de l'invention en mettant en oeuvre des signaux électroniques à fonction d'autocorrélation de type DIRAC, comme par exemple les signaux électroniques pseudo-aléatoires à séquence M représentés à la figure 8.

25 En effet, on observe à la figure 5 comparativement à la figure 2 que le signal à fonction d'autocorrélation de type DIRAC donne les mêmes résultats bénéfiques qu'un signal de type sinusoïdal lors d'une focalisation naturelle au point focal géométrique F1, par exemple ici à 100 mm. Ainsi, l'utilisation de signaux à fonction d'autocorrélation de type DIRAC est similaire à celle de signaux
30 sinusoïdaux, ce qui confirme leur possibilité d'utilisation dans une application thérapeutique.

Lorsque l'on recherche à déplacer le point focal par l'introduction de retards comme indiqué précédemment, pour obtenir des distances focales très différentes du point focal géométrique naturel, on observe par exemple en
35 comparant la figure 6 à la figure 3 pour une focalisation électronique à la distance focale de 50 mm avec les mêmes valeurs de retard qu'indiquées au tableau

précédent, que l'on maintient une zone focale unique contrairement à ce qui a été obtenu avec des signaux électroniques sinusoïdaux classiques.

Le même phénomène est observé en comparant la courbe de la figure 7 obtenue avec le signal électronique pseudo-aléatoire à séquence M selon
5 l'invention par rapport à la courbe de la figure 4 obtenue avec un signal électronique sinusoïdal classique. Avec l'invention, une zone focale unique est obtenue contrairement à ce qui est obtenu avec les signaux électroniques sinusoïdaux classiques.

L'invention permet donc d'obtenir un traitement thérapeutique des
10 tissus d'un être vivant d'une manière extrêmement fiable et sûre, efficace dans une grande variété de distances focales, ce qui était pratiquement impossible avec les signaux électroniques sinusoïdaux antérieurs en raison de l'existence de zones focales secondaires apparaissant en dehors du point focal géométrique.

Naturellement, l'invention comprend tous les moyens constituants des
15 équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs diverses combinaisons. En outre, les dessins font partie intégrante de l'invention et donc de la présente description. L'invention couvre en outre toute caractéristique qui apparaît être nouvelle vis-à-vis d'un état de la technique quelconque et qui résulte de la description, incluant les revendications et les figures, prise dans son ensemble.

REVENDICATIONS

1. Procédé de focalisation dynamique électronique d'au moins un élément transducteur piézoélectrique ultrasonore de thérapie, éliminant ou minimisant la focalisation secondaire, comprenant l'activation de l'élément transducteur ultrasonore par un signal électronique délivré par un générateur de signal, caractérisé en ce qu'on utilise un générateur de signal délivrant un signal électronique dont la fonction d'autocorrélation est de type DIRAC.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique à fonction d'autocorrélation de type DIRAC qui est utilisé pour moduler en phase ou en fréquence un signal électronique dont la fréquence porteuse correspond à la fréquence nominale de fonctionnement de l'élément transducteur.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique de type binaire à fonction d'autocorrélation de type DIRAC.
4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique aléatoire de type Gaussien ou Poissonien.
5. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique à modulation de fréquence ou de phase.
6. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique pseudo-aléatoire codé de Golay.
7. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique pseudo-aléatoire codé de Barker.
8. Procédé selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique codé de type pseudo-aléatoire de séquence M ; de préférence ayant une durée d'impulsion élémentaire θ comprise entre $0,1 \mu\text{s}$ et $100 \mu\text{s}$, idéalement de valeur 2 à 10 fois la période d'oscillation du transducteur, une période de répétition T comprise entre $1 \mu\text{s}$ et 10 s.
9. Appareil de thérapie comprenant un dispositif de thérapie proprement dit comprenant au moins un élément transducteur ultrasonore de thérapie et un générateur de signal délivrant un signal électronique audit élément transducteur

ultrasonore, caractérisé en ce que le générateur de signal délivre un signal électronique dont la fonction d'autocorrélation est de type DIRAC.

10. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que le générateur de signal (50) délivre un signal aléatoire de type Gaussien ou Poissonien ou un
5 signal à modulation de fréquence ou de phase.

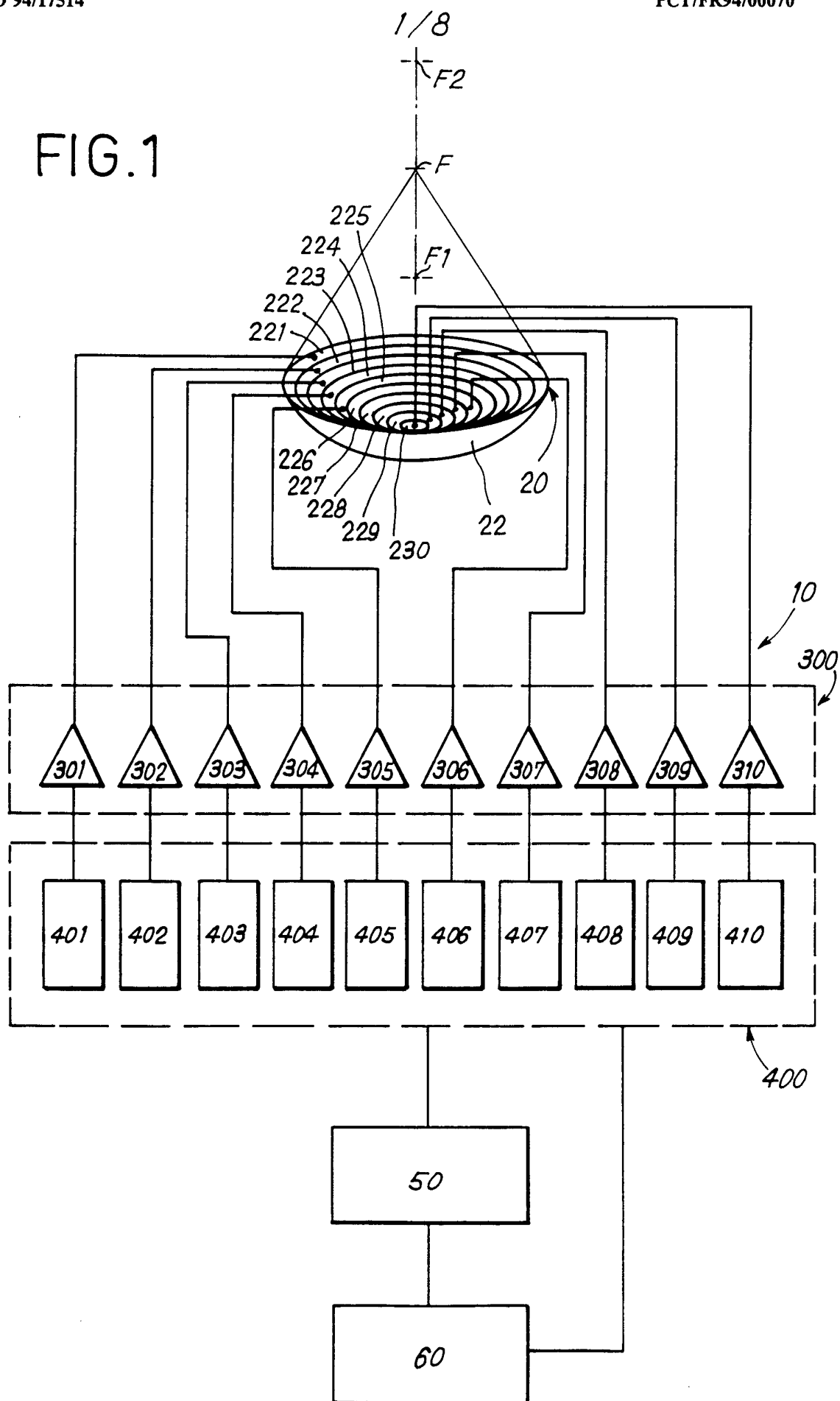
11. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce que le générateur de signal (50) délivre un signal pseudo-aléatoire codé à séquence M, de préférence présentant une durée d'impulsion élémentaire θ comprise entre $0,1 \mu\text{s}$ et $100 \mu\text{s}$, idéalement de valeur 2 à 10 fois la période d'oscillation du transducteur, et une
10 période de répétition T comprise entre $1 \mu\text{s}$ et 10 s.

12. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que le générateur de signal (50) délivre un signal pseudo-aléatoire codé de Golay, ou un signal pseudo-aléatoire codé de Barker.

13. Appareil selon l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que le
15 dispositif de thérapie (20) se présente sous forme d'une calotte sphérique (22) subdivisée en un réseau annulaire ou en mosaïque d'éléments transducteurs piézoélectriques tels que 221 à 230, chaque élément transducteur (221 à 230) étant relié avantageusement via des amplificateurs individuels tels que 301 à 310, et des lignes à retard 401 à 410, au générateur de signal (50) qui est de préférence lui-même commandé par une centrale de commande (60) qui peut également
20 commander les lignes à retard 401 à 410 en fournissant la valeur de retard nécessaire à chaque ligne pour obtenir une focalisation à distance de focalisation recherchée.

14. Appareil selon l'une des revendications 9 à 13, caractérisé en ce qu'il
25 s'agit d'un appareil de thérapie par ultrasons focalisés pour le traitement de lésions tissulaires au point focal F pour la thérapie du cancer, par exemple de la prostate, du sein, du cerveau.

FIG.1



2/8

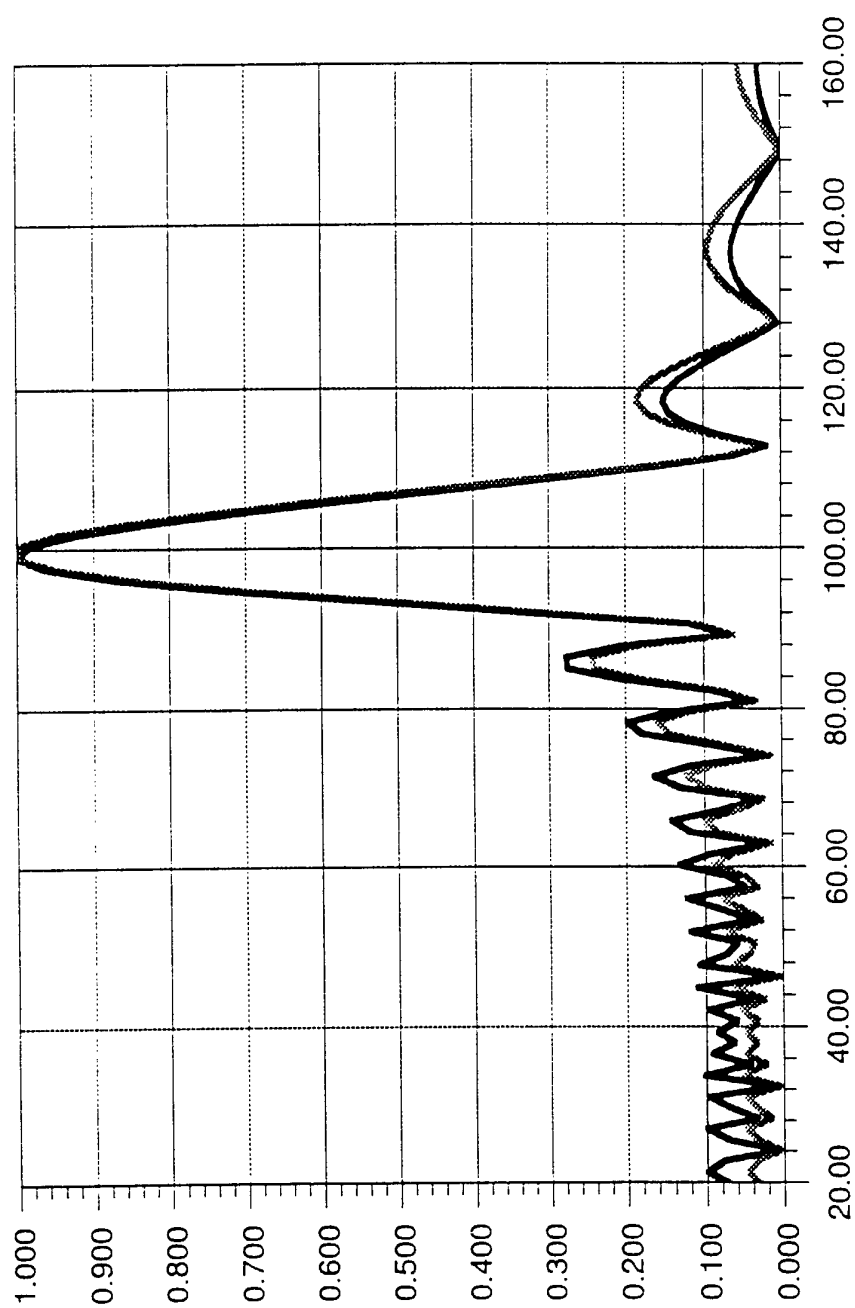


FIG.2 (ART ANTERIEUR)

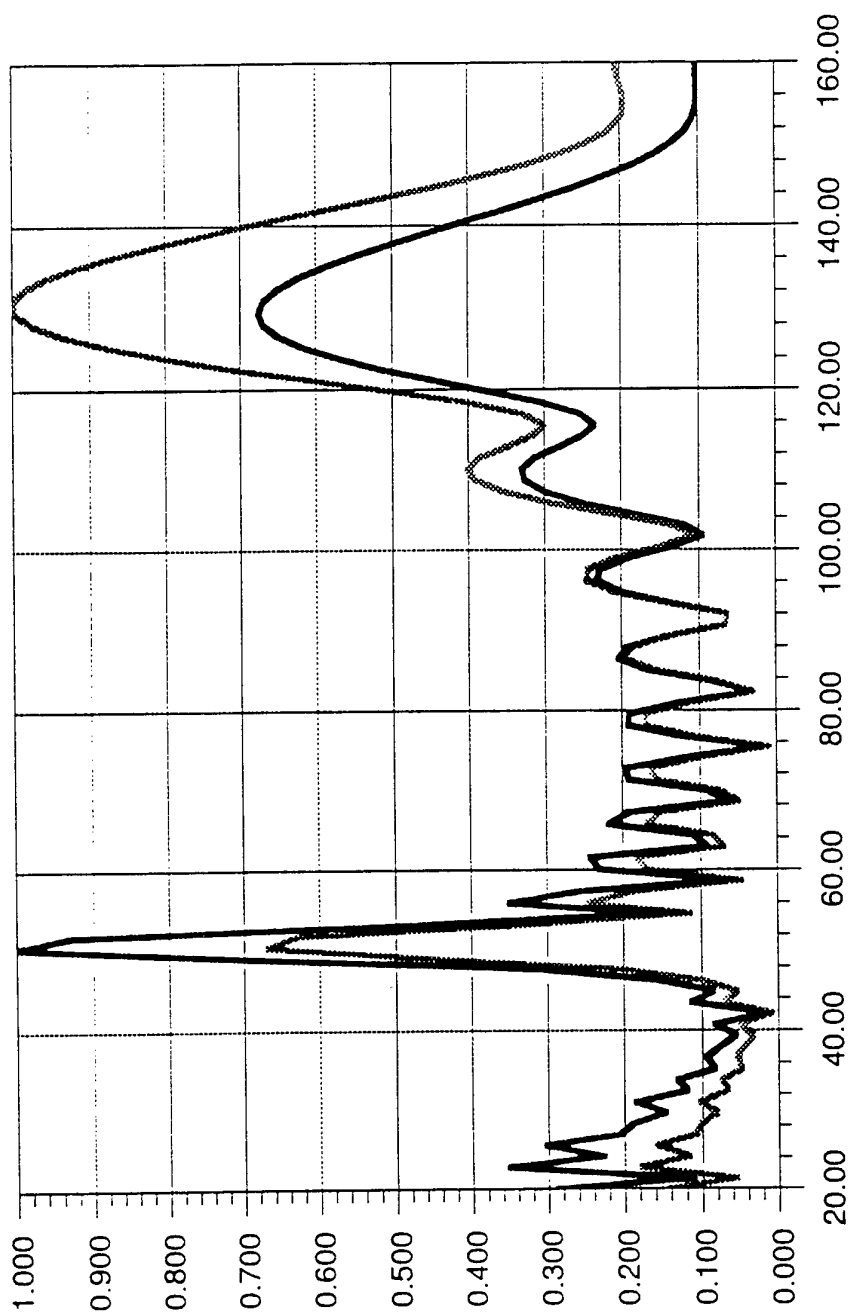
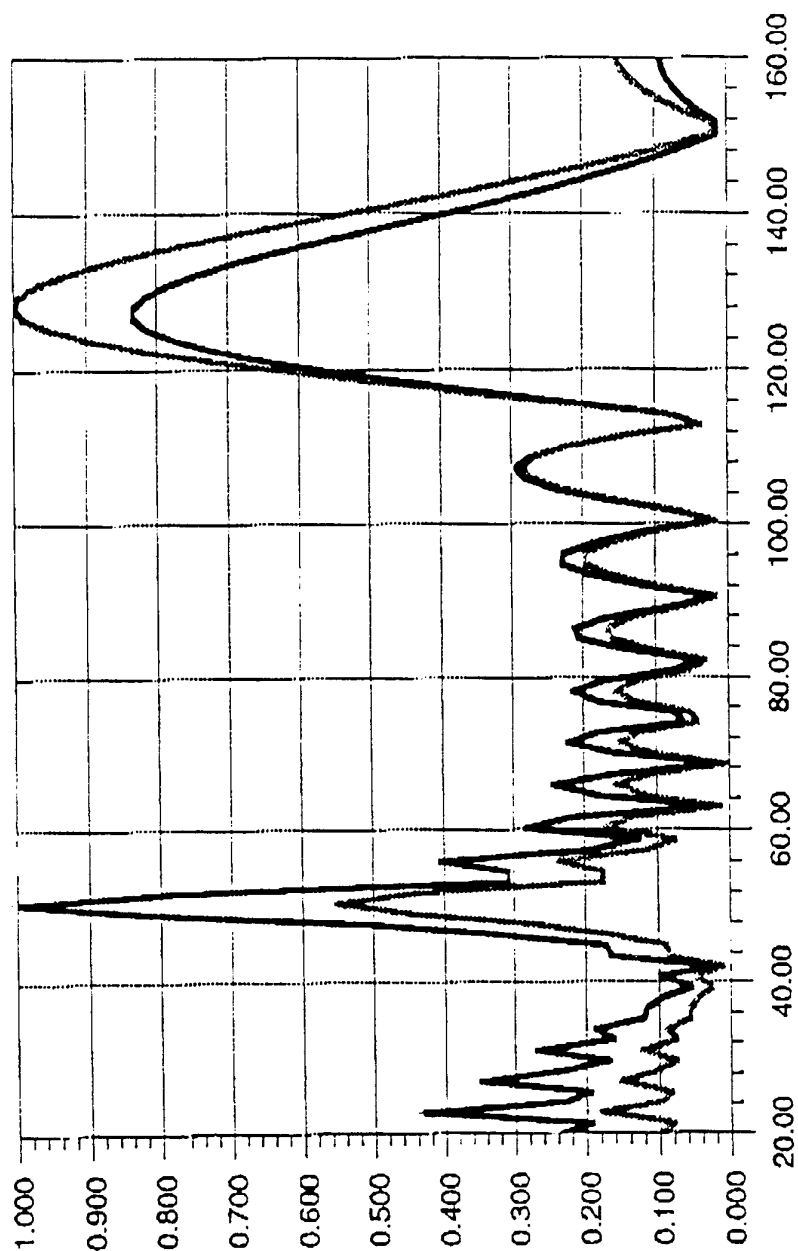


FIG.3 (ART ANTERIEUR)

FIG. 4 (*ART ANTERIEUR*)

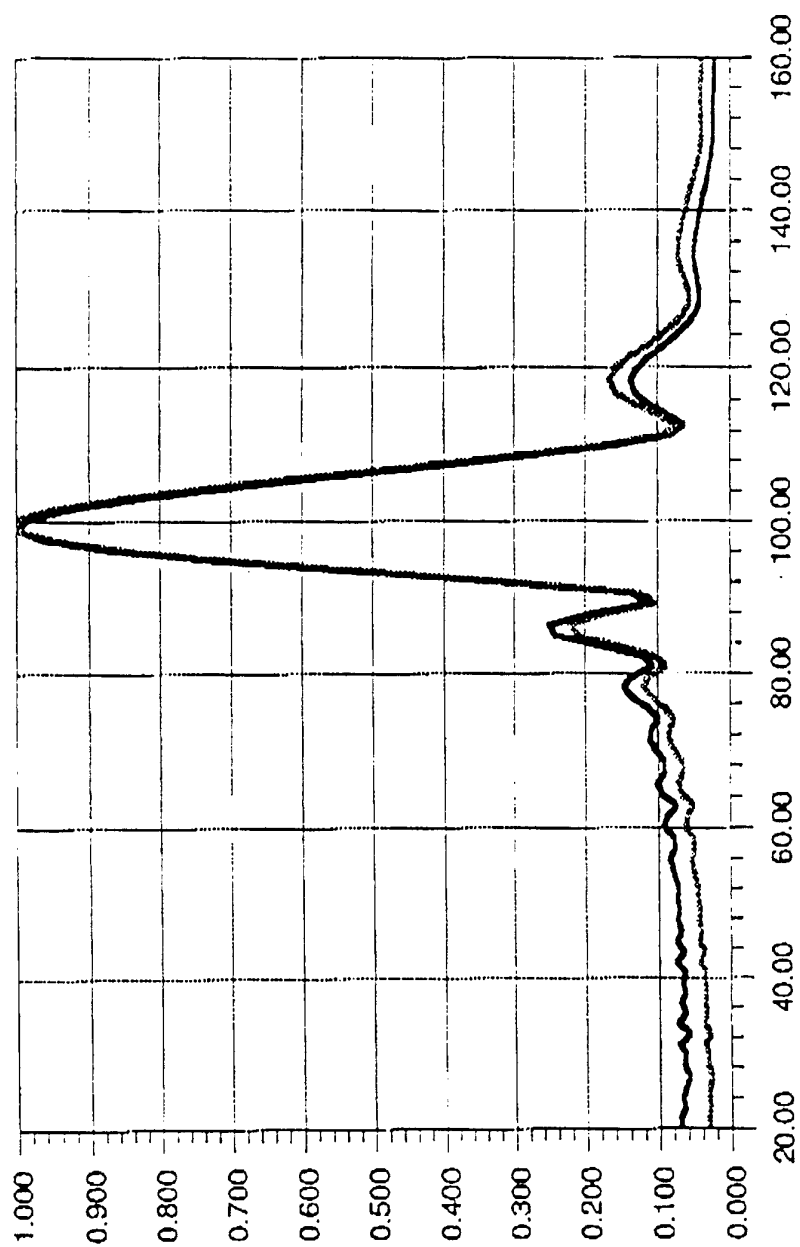


FIG.5 (INVENTION)

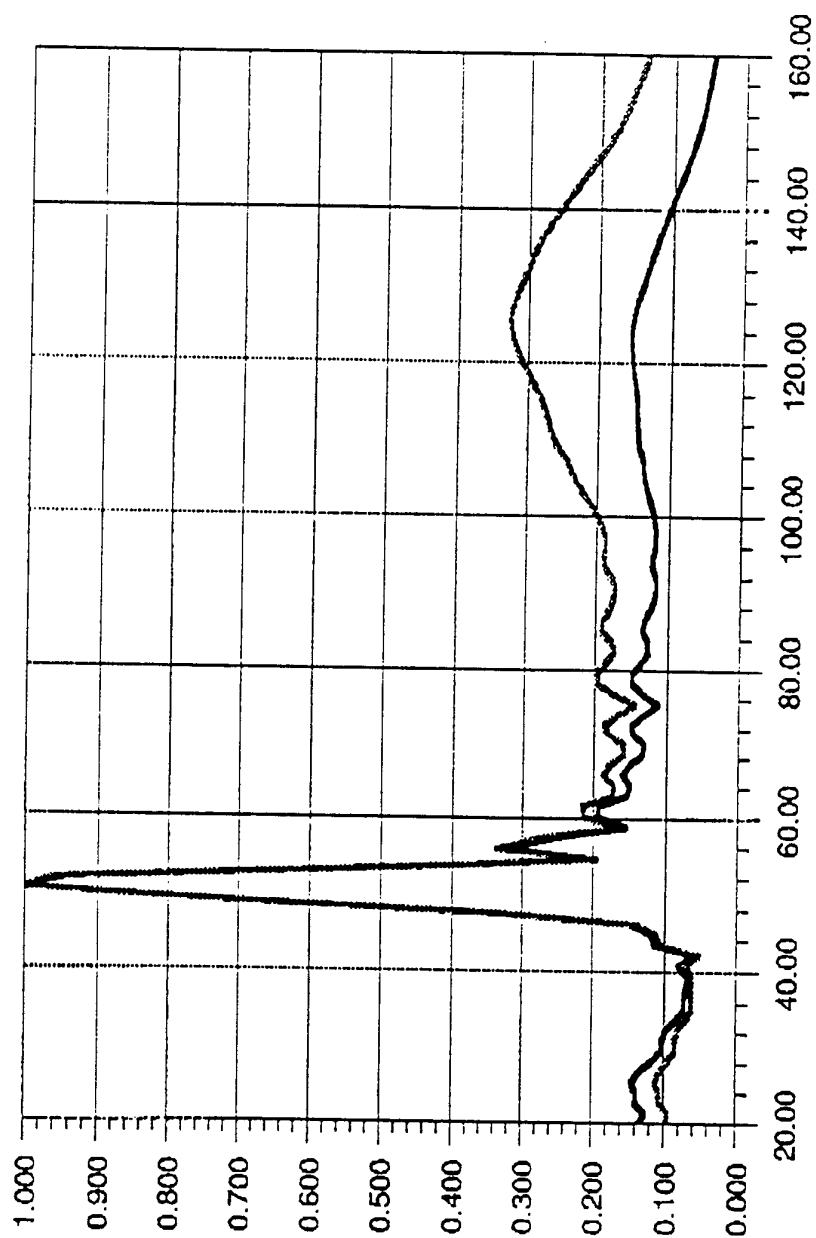


FIG. 6 (INVENTION)

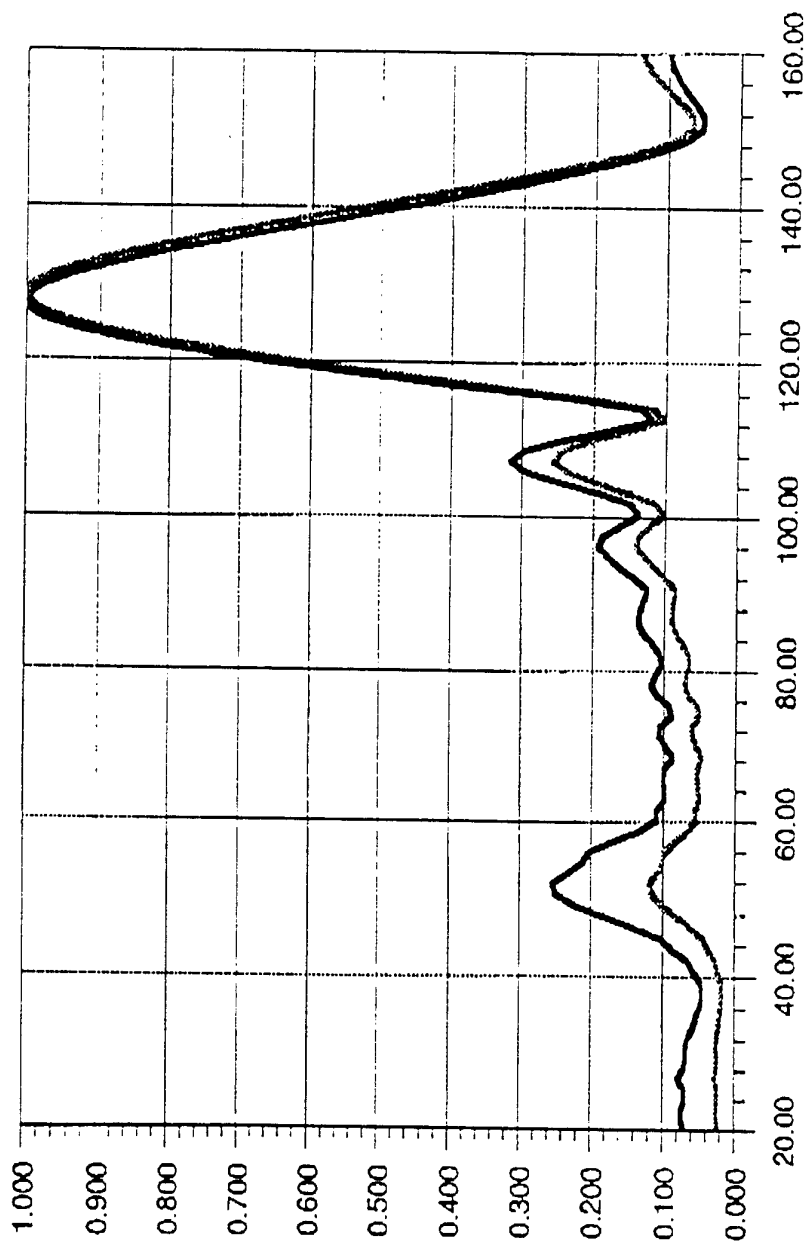
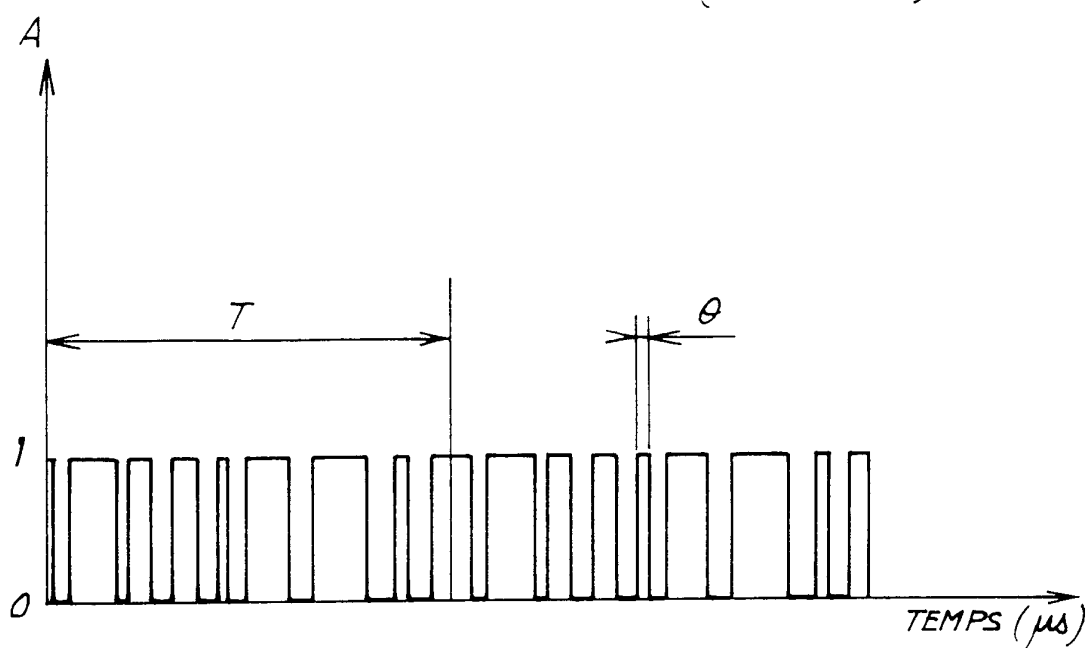


FIG.7 (INVENTION)

FIG. 8 (INVENTION)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/FR 94/00070

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 G10K11/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 5 G10K B06B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.38, no.5, September 1991, NEW YORK, USA pages 510 - 520, XP230197 EBBINI ET AL 'Experimental evaluation of a prototype cylindrical section ultrasound hyperthermia phased-array applicator' cited in the application ---	
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.36, no.2, March 1989, NEW YORK, USA pages 249 - 257 UMEMURA ET AL 'The sector-vortex phased array : acoustic field synthesis for hyperthermia' cited in the application --- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 April 1994

Date of mailing of the international search report

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Anderson, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 94/00070

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.39, no.3, May 1992, NEW YORK, USA pages 341 - 351, XP289695 O'DONNELL 'Coded excitation system for improving the penetration of real-time phased-array imaging systems' see page 343, column 2, line 10 - page 344, column 1, line 7; figure 2 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Den . Internationale No

PCT/FR 94/00070

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 5 G10K11/34

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 5 G10K B06B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.38, no.5, Septembre 1991, NEW YORK, USA pages 510 - 520, XP230197 EBBINI ET AL 'Experimental evaluation of a prototype cylindrical section ultrasound hyperthermia phased-array applicator' cité dans la demande ---	
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.36, no.2, Mars 1989, NEW YORK, USA pages 249 - 257 UMEMURA ET AL 'The sector-vortex phased array : acoustic field synthesis for hyperthermia' cité dans la demande ---	

-/--



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- 'A' document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- 'E' document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- 'L' document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- 'O' document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- 'P' document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- 'T' document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- 'X' document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- 'Y' document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- '&' document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 Avril 1994

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18.05.94

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Anderson, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der. : Internationale No
PCT/FR 94/00070

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, vol.39, no.3, Mai 1992, NEW YORK, USA pages 341 - 351, XP289695 O'DONNELL 'Coded excitation system for improving the penetration of real-time phased-array imaging systems' voir page 343, colonne 2, ligne 10 - page 344, colonne 1, ligne 7; figure 2 -----	1