



⑫

## DEMANDE DE BREVET EUROPÉEN

⑬ Numéro de dépôt: 92121385.6

⑮ Int. Cl. 5: H01Q 13/20

⑭ Date de dépôt: 16.12.92

⑯ Priorité: 19.12.91 FR 9115803

F-92111 Clichy Cédex(FR)

⑰ Date de publication de la demande:  
 23.06.93 Bulletin 93/25

⑯ Inventeur: Levisse, André  
 303, rue du Fbg Saint Antoine  
 F-75011 Paris(FR)

⑯ Etats contractants désignés:  
 BE CH DE FR GB IT LI

⑯ Mandataire: Weinmiller, Jürgen et al  
 Lennéstrasse 9 Postfach 24  
 W-8133 Feldafing (DE)

⑰ Demandeur: ALCATEL CABLE  
 30, rue des Chasses

### ⑯ Ligne haute fréquence rayonnante.

⑯ La présente invention rayonnante comprend un conducteur tubulaire (23) disposé autour d'un axe longitudinal (X) et présentant plusieurs ouvertures identiques agencées en motifs (M1) répétés périodiquement avec une période P le long de la ligne, caractérisée en ce que, lorsque la bande de fréquences de fonctionnement est du type [fr, (N + 1)fr], fr étant une fréquence donnée et N un entier positif strictement supérieur à 1, chacun des motifs (M1) comprend N ouvertures numérotées de 0 à N-1 et satisfaisant les relations suivantes :

$$z_k = \frac{P \cdot p_k}{N+2}$$

$$a_k = \frac{\sin(\frac{(p' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p'\pi}{N+2})} \frac{\sin(\frac{(p'' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p''\pi}{N+2})} a_0$$

où :

k est un entier tel que  $1 \leq k \leq N-1$  et se rapporte à la k-ième ouverture de l'un des motifs (M1),

zk est la distance entre la k-ième ouverture et la première ouverture (F0) du motif (M1),

ak est la polarisabilité de la k-ième ouverture,

ao est la polarisabilité de la première ouverture,

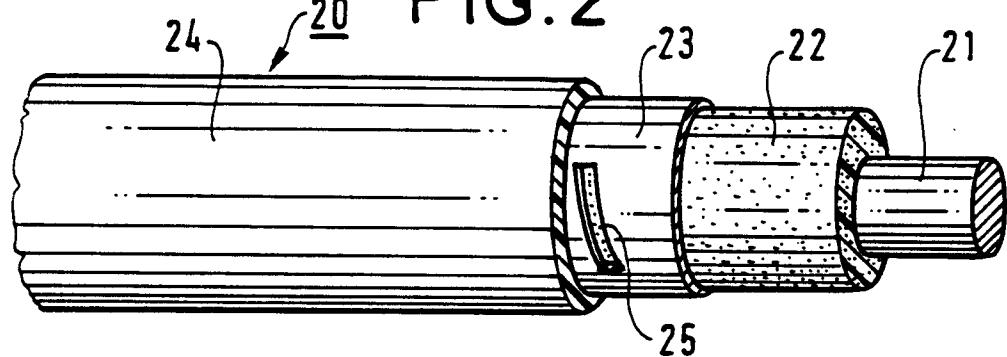
$$- p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) \text{ ou } p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) + 1$$

$$- p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) \text{ ou } p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) + 1$$

où E(x) désigne la partie entière de x,

pk est un entier tel que  $1 \leq p_k \leq N+1$ , les entiers pk étant deux à deux distincts, tels que  $p_k \leq p_k + 1$ , et différents de p' et de p''.

FIG. 2



La présente invention concerne une ligne haute fréquence rayonnante. On appelle ligne haute fréquence rayonnante une ligne constituée d'un câble ou d'un guide d'ondes capable de rayonner vers l'extérieur une partie de l'énergie électromagnétique qu'il transmet. On s'intéressera plus particulièrement ici aux câbles rayonnants.

5 Les câbles rayonnants sont destinés à être utilisés comme éléments de transmission de signaux haute fréquence entre un émetteur et un récepteur dans des conditions où ces signaux émis à partir d'une source ponctuelle sont rapidement atténués.

10 Ils sont généralement constitués d'un câble coaxial comprenant une âme conductrice entourée d'une enveloppe isolante intermédiaire par exemple en un matériau diélectrique, d'un conducteur extérieur muni d'ouvertures ou fentes régulièrement espacées pour le passage du rayonnement électromagnétique, et d'une gaine extérieure isolante de protection. Grâce aux ouvertures pratiquées dans le conducteur extérieur, une partie de la puissance circulant dans le câble et émise par une source émettrice est couplée vers l'extérieur. Le câble fonctionne alors comme une antenne et la puissance couplée vers l'extérieur est appelée puissance rayonnée.

15 Une des performances demandées à un câble rayonnant est d'assurer au moins une puissance rayonnée minimale à une distance donnée de son axe longitudinal, spécifiée par l'utilisateur.

20 Lorsque les fentes sont répétées périodiquement, selon une période adaptée, elles sont en phase, ce qui permet d'obtenir une bonne stabilité de la puissance rayonnée à grande distance du câble, et ce sur une bande de fréquences appelée bande du mode rayonné principal, limitée par deux fréquences appelées  $f_{début}$  et  $f_{fin}$ . Cette stabilité permet de satisfaire de manière sûre aux exigences de puissance minimale requises pour l'utilisation du câble. En effet, lorsque la stabilité n'est pas garantie, les variations importantes de la puissance rayonnée en fonction du point de réception le long du câble sont telles qu'il est difficile d'assurer une valeur de puissance minimale à une distance donnée du câble ; ces variations obligent par ailleurs à utiliser des récepteurs ayant une forte dynamique, et par conséquent coûteux.

25 Lorsque la fréquence de fonctionnement du câble est inférieure à  $f_{début}$ , un mode dit "couplé" est prépondérant et se propage dans la direction de l'axe longitudinal du câble, la puissance transmise par le câble décroissant alors exponentiellement en fonction de la distance à l'axe longitudinal. Dans ce cas, il n'est possible de garantir la valeur de puissance minimale requise à la distance spécifiée par l'utilisateur qu'en augmentant fortement la puissance émise par la source. De plus, les connecteurs ou pinces de 30 fixation présents sur le câble provoquent des diffractions du mode couplé qui, même si elles ont tendance à augmenter la puissance couplée moyenne, donnent à cette dernière un comportement aléatoire qui empêche de garantir avec certitude la puissance minimale requise à distance donnée.

35 Lorsque la fréquence de fonctionnement du câble est comprise entre  $f_{début}$  et  $f_{fin}$ , on observe la propagation d'un mode rayonné prépondérant dit "principal" ; la puissance transmise se propage radialement, décroît faiblement avec la distance au câble, et reste constante, à l'affaiblissement linéaire le long du câble près, quel que soit le point de réception le long du câble. C'est pourquoi l'on utilise généralement un câble rayonnant dans cette bande de fréquences pour satisfaire aux exigences requises.

40 Enfin, lorsque la fréquence de fonctionnement du câble est supérieure à  $f_{fin}$ , de nouveaux modes rayonnés de propagation, dits modes rayonnés "secondaires", apparaissent et interfèrent avec le mode rayonné principal. Dans ce cas, on observe des variations périodiques de la puissance rayonnée par le câble. Plus la fréquence s'élève, plus il apparaît de modes secondaires qui interfèrent entre eux. L'instabilité de la puissance rayonnée ne permet pas de garantir avec certitude la puissance minimale requise à distance donnée, ce qui oblige à augmenter la puissance d'émission de la source pour satisfaire aux exigences d'utilisation.

45 Pour accroître les possibilités d'utilisation d'un câble rayonnant, on comprend alors qu'il est nécessaire d'augmenter autant que possible la largeur de la bande du mode rayonné principal. En augmentant cette bande de fréquences "utiles", la quantité d'informations transmises peut être accrue, ce qui représente un avantage non négligeable actuellement.

50 Une augmentation de la largeur de la bande du mode rayonné principal n'est pas possible avec la répétition périodique d'une seule fente.

55 Dans le but d'augmenter la largeur de la bande du mode principal, le brevet GB-1 481 485 propose un câble rayonnant dans lequel les ouvertures sont arrangées selon des motifs répétés périodiquement le long du câble. Ce câble est représenté en élévation en figure 1, avec sa gaine extérieure de protection retirée pour permettre de voir la disposition des fentes du motif. Dans cette figure, le conducteur extérieur 2 du câble rayonnant 1 comporte des fentes arrangeées selon des motifs M. Chaque motif M présente deux fentes principales F et F' et quatre fentes auxiliaires Fa, Fb, F'a et F'b, soit une fente auxiliaire de part et d'autre de chaque fente principale. Grâce à la répétition du motif M, les modes secondaires apparaissent aux fréquences comprises entre 200 et 1000 MHz (au lieu de 200 et 400 MHz pour un câble à répétition

périodique de fentes simples) sont négligeables et quasiment nuls. Il est expliqué dans ce brevet que la répétition du motif M permet d'éliminer les trois premiers modes secondaires.

Il est par ailleurs souligné dans ce brevet qu'il est difficile en pratique de réaliser des motifs ayant plus de six fentes. En effet, un motif de taille supérieure comporterait selon ce brevet dix fentes avec deux fentes principales et deux fentes auxiliaires de part et d'autre de chaque fente principale. Etant donné que le pas entre chaque motif, c'est-à-dire la distance séparant une fente d'un motif donné de la fente correspondante du motif suivant ou précédent, est, toutes choses égales par ailleurs, inversement proportionnel à la valeur de  $f_{début}$  souhaitée, il faudrait donc soit diminuer la fréquence  $f_{début}$  afin d'augmenter le pas entre chaque motif, ce qui présente peu d'intérêt en général, soit placer dix fentes dans un intervalle de longueur identique à celui dans lequel on a placé six fentes. Dès lors, la distance entre les fentes d'un même motif et des motifs voisins est diminuée, ce qui présente l'inconvénient d'affaiblir la tenue mécanique du conducteur extérieur.

En outre, le fait de rapprocher les fentes et d'en augmenter le nombre entraîne l'apparition de modes couplés, ce qui se traduit par un accroissement des pertes par affaiblissement linéaire et par une instabilité de la puissance rayonnée (les modes couplés ont tendance à interférer avec le mode rayonné principal et contribuent à annuler ce dernier).

Ainsi, la structure proposée par le brevet GB-1 481 485 ne donne pas satisfaction car elle ne permet d'augmenter la bande du mode principal que de manière limitée.

Un but de la présente invention est donc de réaliser un câble rayonnant capable de fonctionner sur de larges bandes de fréquences, tout en garantissant les performances requises en termes de puissance minimale rayonnée à une distance donnée du câble.

Un autre but de la présente invention est de diminuer, à bande du mode principal identique, le nombre de fentes nécessaires par motif par rapport aux câbles rayonnants de l'art antérieur.

La présente invention propose à cet effet une ligne haute fréquence rayonnante destinée à rayonner l'énergie électromagnétique sur une bande de fréquences, et comprenant au moins un conducteur tubulaire disposé autour d'un axe dit longitudinal et présentant plusieurs ouvertures identiques agencées en motifs répétés périodiquement avec une période  $P$  le long de ladite ligne, caractérisée en ce que, lorsque ladite bande de fréquences est du type  $[f_r, (N+1)f_r]$ , où  $f_r$  est une fréquence donnée et  $N$  un entier positif strictement supérieur à 1, chacun desdits motifs comprend  $N$  ouvertures numérotées de 0 à  $N-1$  et satisfaisant les relations suivantes :

$$z_k = \frac{P \cdot p_k}{N+2}$$

$$a_k = \frac{\sin\left(\frac{(p'-p_k)\pi}{N+2}\right)}{\sin\left(\frac{p'\pi}{N+2}\right)} \frac{\sin\left(\frac{(p''-p_k)\pi}{N+2}\right)}{\sin\left(\frac{p''\pi}{N+2}\right)} a_0$$

40

où :

- l'indice  $k$  est un entier tel que  $1 \leq k \leq N-1$  et se rapporte à la  $k$ -ième ouverture de l'un desdits motifs,
- $z_k$  est la distance entre ladite  $k$ -ième ouverture et la première ouverture dudit motif, ladite distance étant calculée entre la projection du milieu d'un axe de symétrie de ladite première ouverture sur ledit axe longitudinal et celle du milieu d'un axe de symétrie correspondant de ladite  $k$ -ième ouverture sur ledit axe longitudinal,
- $a_k$  est la polarisabilité de ladite  $k$ -ième ouverture,
- $a_0$  est la polarisabilité de ladite première ouverture,
- 

50

$$p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) \text{ ou } p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) + 1$$

55 -

$$p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) \text{ ou } p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) + 1$$

5 où  $E(x)$  désigne la partie entière de  $x$ ,

- $p_k$  est un entier tel que  $1 \leq p_k \leq N+1$ , lesdits entiers  $p_k$  étant deux à deux distincts, tels que  $p_k < p_{k+1}$ , et différents de  $p'$  et de  $p''$ .

La ligne selon l'invention peut être utilisée sur une bande de fréquences de largeur souhaitée avec la répétition périodique d'un motif ayant un nombre optimal de fentes. Le domaine d'utilisation des lignes 10 classiques est ainsi augmenté dans une plus large mesure que dans l'art antérieur avec des performances en termes de puissance minimale requise garanties sur le domaine d'utilisation.

Les ouvertures peuvent être par exemple elliptiques ou rectangulaires.

Lorsque les ouvertures sont rectangulaires et de longueur grande devant leur largeur, la première ouverture d'un motif a une longueur faisant de préférence avec l'axe longitudinal un angle de valeur absolue 15 comprise entre 5 et 90° ; cette longueur est appelée  $L$ . On appelle angle fait par une ouverture avec l'axe longitudinal l'angle, compté à partir de l'axe longitudinal, fait par la projection, dans une direction orthogonale à l'axe longitudinal, de cette ouverture dans un plan contenant l'axe longitudinal et orthogonal à la direction de projection.

Selon un premier mode de réalisation,  $N$  est égal à 3 et les ouvertures sont disposées de la manière 20 suivante :

- la seconde ouverture est à une distance de  $P/5$  de la première ouverture, a la même longueur que la première ouverture et fait avec l'axe longitudinal le même angle que la première ouverture,
- la troisième ouverture est à une distance de  $3P/5$  de la première ouverture, a une longueur sensiblement égale à  $3L/4$  et fait avec l'axe longitudinal un angle opposé à celui de la première ouverture.

Selon un deuxième mode de réalisation,  $N$  est égal à 4 et les ouvertures sont disposées de la manière 25 suivante :

- la seconde ouverture est à une distance de  $P/6$  de la première ouverture, a la même longueur que la première ouverture et fait avec l'axe longitudinal le même angle que la première ouverture,
- la troisième ouverture est à une distance de  $P/2$  de la première ouverture, a la même longueur que la première ouverture et fait avec l'axe longitudinal un angle opposé à celui de la première ouverture,
- la quatrième ouverture est à une distance de  $2P/3$  de la première ouverture, a la même longueur que la première ouverture et fait avec l'axe longitudinal un angle opposé à celui de la première ouverture.

Selon un troisième mode de réalisation,  $N$  est égal à 5 et les ouvertures sont disposées de la manière 35 suivante :

- la seconde ouverture est à une distance de  $P/7$  de la première ouverture, a une longueur sensiblement égale à  $5L/6$  et fait avec l'axe longitudinal le même angle que la première ouverture,
- la troisième ouverture est à une distance de  $3P/7$  de la première ouverture, a une longueur sensiblement égale à  $7L/9$  et fait avec l'axe longitudinal un angle opposé à celui de la première ouverture,
- la quatrième ouverture est à une distance de  $4P/7$  de la première ouverture, a une longueur sensiblement égale à  $7L/9$  et fait avec l'axe longitudinal un angle opposé à celui de la première ouverture,
- la cinquième ouverture est à une distance de  $6P/7$  de la première ouverture, a une longueur égale à celle de la première ouverture et fait avec l'axe longitudinal le même angle que la première ouverture.

Selon une première application de l'invention, le conducteur tubulaire est cylindrique et contient un conducteur central entouré d'une enveloppe de protection en un matériau diélectrique en contact à la fois avec le conducteur central et avec le conducteur tubulaire, et une gaine extérieure de protection, de manière à donner à la ligne la structure d'un câble rayonnant.

50 Selon une deuxième application de l'invention, le conducteur tubulaire est vide, de manière à donner à la ligne la structure d'un guide d'ondes rayonnant.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description suivante d'un câble rayonnant selon l'invention, donnée à titre illustratif et nullement limitatif.

Dans les figures suivantes :

- la figure 1 représente en élévation le câble rayonnant décrit dans le brevet GB-1 481 485,
- la figure 2 représente, en perspective éclatée, un câble rayonnant selon l'invention,
- la figure 3 est une vue en élévation d'une première variante du câble rayonnant de la figure 2, avec sa gaine extérieure retirée pour mieux voir la disposition des fentes,

- la figure 4 est une vue en élévation d'une seconde variante du câble rayonnant de la figure 2, avec sa gaine extérieure retirée pour mieux voir la disposition des fentes,
  - la figure 5 est une vue en élévation d'une troisième variante du câble rayonnant de la figure 2, avec sa gaine extérieure retirée pour mieux voir la disposition des fentes,
- 5        - la figure 6 représente une courbe donnant le couplage d'un câble tel que celui de la figure 3,
- la figure 7 représente une courbe donnant le couplage d'un câble tel que celui de la figure 4,
  - la figure 8 représente une courbe donnant le couplage d'un câble à six fentes selon l'invention,
  - la figure 9 représente une courbe donnant le couplage d'un câble de l'art antérieur tel que celui de la figure 1,
- 10      - la figure 10 représente une courbe donnant le couplage d'un câble de l'art antérieur à répétition simple de fentes.

La figure 1 a été décrite lors de la présentation de l'état de la technique.

Dans les figures 2 à 5, les éléments communs portent les mêmes numéros de référence.

On a représenté en figure 2, en perspective éclatée, un câble rayonnant 20 selon l'invention. Le câble

15      20 comporte, disposés coaxialement de l'intérieur vers l'extérieur :

- une âme conductrice 21 en cuivre ou en aluminium,
- une enveloppe 22 en un matériau diélectrique comme le polyéthylène par exemple,
- un conducteur extérieur 23 présentant des ouvertures ou fentes 25 (dont une seule est visible en figure 2) agencées en motifs répétés périodiquement tout le long du câble 20,
- une gaine externe de protection 24 en un matériau isolant.

20      On va exposer à présent la méthode avec laquelle on détermine la disposition et le nombre des fentes dans les motifs d'un câble selon l'invention.

En premier lieu, la fréquence inférieure de la bande du mode rayonné principal, appelée  $f_r$ , est en général imposée par les spécifications de l'utilisateur du câble. Elle fixe de manière connue le pas de répétition  $P$  des motifs (c'est-à-dire la distance entre une fente donnée d'un motif et la fente correspondante d'un motif immédiatement voisin) selon la formule suivante :

$$f_r = \frac{c}{(1+\sqrt{\epsilon})P}$$

30

où  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide et  $\epsilon$  la permittivité diélectrique de l'enveloppe 22 du câble.

Le but de l'invention est de déterminer le nombre  $N_f$  et la disposition des fentes dans un motif lorsque la bande du mode principal est du type  $[f_r, (N+1)f_r]$ , où  $N$  est un entier strictement supérieur à 1 (si  $N$  est égal à 1, le problème est classique et se résout au moyen d'un motif à une seule fente). Pour ce qui est des longueurs et inclinaisons des différentes fentes du motif, elles sont choisies en fonction de la longueur et de l'inclinaison de la première fente au moyen de modèles bien connus de l'homme de l'art et sur lesquels on reviendra un peu plus en détail dans la suite.

Par un calcul en champ proche, on détermine l'expression du champ rayonné par un câble dont le 40 conducteur présente une succession de motifs identiques comprenant chacun  $N_f$  fentes et répétés avec une périodicité de  $P$ . On montre alors qu'il suffit que  $N_f$  soit égal à  $N$ , c'est-à-dire qu'il y ait  $N$  fentes dans le motif, pour annuler les  $N-1$  modes secondaires apparaissant dans la bande  $[f_r, (N+1)f_r]$  (on rappelle qu'un mode secondaire devient prépondérant à chaque fréquence de la forme  $mf_r$ , où  $m$  est un entier strictement positif). On aboutit alors au système d'équations suivant :

45

$$A_1 e^{2j\Psi_1} + A_2 e^{2j\Psi_2} + \dots + A_{N-1} e^{2j\Psi_{N-1}} = -1$$

$$A_1 e^{3j\Psi_1} + A_2 e^{3j\Psi_2} + \dots + A_{N-1} e^{3j\Psi_{N-1}} = -1$$

50

•

$$A_1 e^{(N-1)j\Psi_1} + A_2 e^{(N-1)j\Psi_2} + \dots + A_{N-1} e^{(N-1)j\Psi_{N-1}} = -1$$

55      où, quel que soit  $k$  compris au sens large entre 1 et  $N-1$  :

$$a_k = \frac{a_k}{a_0},$$

5  $a_k$  étant la polarisabilité de la  $k$ -ième fente, et l'indice  $o$  représentant la première des fentes du motif, prise comme référence ; la polarisabilité d'une fente peut s'interpréter comme la capacité d'émission de cette fente considérée comme une source. On se reportera pour plus de précisions sur la polarisabilité aux pages 56 à 59 de l'ouvrage intitulé "Leaky feeders and subsurface radio communications" de P. Delogne paru dans la collection Peter Peregrinus Ltd,

10

$$\Psi_k = \frac{2\pi(z_k - z_o)}{p},$$

15

$z_k$  étant la distance entre la projection orthogonale sur l'axe longitudinal du câble du milieu de la  $k$ -ième fente (ou de tout autre point appartenant à un axe de symétrie de cette dernière) et la projection orthogonale sur l'axe longitudinal du câble du milieu de la fente de référence (ou de tout autre point appartenant à un axe de symétrie de cette dernière), dont l'abscisse  $z_o$  est prise égale à 0 (les abscisses sont calculées sur l'axe longitudinal X du câble 20).

20

Les solutions de ce système sont, quel que soit  $k$  compris au sens large entre 1 et  $N-1$  :

25

$$a_k = \frac{\sin(\frac{(p' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p'\pi}{N+2})} \frac{\sin(\frac{(p'' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p''\pi}{N+2})} a_0 \quad (1)$$

30

$$\Psi_k = \frac{2p_k\pi}{(N+2)}, \text{ soit } z_k = \frac{p \cdot p_k}{(N+2)} \quad (2)$$

où :

- $p_k$  est un entier positif compris au sens large entre 1 et  $N+1$ , les entiers  $p_k$  étant deux à deux distincts et tels que  $p_k < p_{k+1}$ ,
- 35 -  $p'$  et  $p''$  sont deux entiers compris entre 1 et  $N+1$  au sens large ; on expliquera plus loin comment les déterminer.

Une fois la longueur et l'inclinaison de la première

40 fente choisies de manière compatible avec le diamètre du câble et de sorte que l'angle (en valeur absolue) entre l'axe longitudinal du câble et la première fente soit compris au sens large entre 5 et 90°, on détermine, au moyen des relations précédentes, les longueur, position et inclinaison des autres fentes du motif. On précise tout d'abord que l'on entend dans toute la suite par inclinaison d'une fente l'angle, compté à partir de l'axe longitudinal, fait par la projection, dans une direction orthogonale à l'axe longitudinal, de cette ouverture dans un plan contenant l'axe longitudinal et orthogonal à la direction de projection.

45 On choisira de préférence l'inclinaison de la première fente dans la plage citée ci-dessus car il est bien connu que la contribution au rayonnement d'une fente parallèle à l'axe longitudinal du câble est égale à zéro. Dès lors, il est préférable de choisir une inclinaison relativement éloignée de 0°. D'autre part, il est également connu de l'homme de l'art que la contribution d'une fente au rayonnement émis augmente avec sa longueur. Ainsi, pour avoir un large choix de longueurs de fentes sans être limité par une impossibilité de réalisation technologique imposée par le diamètre extérieur du câble, par ailleurs fixé, il est préférable que l'inclinaison des fentes ne dépasse pas une valeur prédéterminée, fonction du diamètre extérieur du câble. Dans le cas présent, pour un câble de diamètre extérieur égal à 25 mm et des fentes de 150 mm de longueur, la limite supérieure de la plage d'inclinaison préférentielle est de 30°, l'inclinaison étant de préférence choisie entre 15 et 25°.

55 Un modèle classiquement utilisé permet de déduire de la valeur de la polarisabilité de la  $k$ -ième fente les inclinaison et longueur de cette dernière en fonction de celles de la première fente : selon ce modèle, le signe de la polarisabilité de la  $k$ -ième fente donne son inclinaison en fonction de celle de la première fente, et le rapport entre  $a_k$  et  $a_0$  permet de déterminer la longueur de la  $k$ -ième fente en fonction de la longueur de la première fente.

Ainsi, si  $a_k$  et  $a_0$  sont de même signe, on choisira la même inclinaison pour la fente de référence et pour la  $k$ -ième fente. Si  $a_k$  et  $a_0$  sont de signe opposé, la  $k$ -ième fente fera avec l'axe X un angle opposé à celui de la fente de référence.

D'autre part, si  $a_k$  est supérieur à  $a_0$ , la  $k$ -ième fente aura une longueur supérieure à celle de la fente de référence. De même, si  $a_k$  est inférieur à  $a_0$ , la  $k$ -ième fente aura une longueur inférieure à celle de la fente de référence.

La position de la  $k$ -ième fente par rapport à la fente de référence est obtenue en choisissant un entier  $p_k$  selon les conditions indiquées précédemment. De nombreux choix sont possibles puisque l'ensemble des entiers  $p_k$  contient  $N+1$  éléments, alors qu'il n'y a que  $N-1$  positions à déterminer une fois celle de la première fente prise comme référence. Tous les choix possibles conviennent pour parvenir au but recherché. Toutefois, certains de ces choix permettent d'obtenir une puissance rayonnée maximale du mode principal. Pour les trouver, on cherche les combinaisons des entiers entiers  $p_k$  qui maximisent le module de la fonction :

15

$$\frac{1 + A_1 e^{j\psi_1} + A_2 e^{j\psi_2} + \dots + A_{N-1} e^{j\psi_{N-1}}}{1 + |A_1| + |A_2| + \dots + |A_{N-1}|}.$$

20 Au moyen d'un calcul numérique d'optimisation par exemple, on obtient donc le choix des entiers  $p_k$  donnant la puissance rayonnée maximale du mode principal pour un motif. En pratique, on en revient à éliminer de l'ensemble des entiers  $p_k$  les entiers  $p'$  et  $p''$  tels que :

25

$$p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) \text{ ou } p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) + 1$$

30

$$p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) \text{ ou } p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) + 1$$

où  $E(x)$  est la partie entière de  $x$ .

35 On va maintenant décrire, sous forme d'exemples et en relation avec les figures 3 à 5, différents câbles rayonnants réalisés selon l'invention.

Dans tous ces exemples, la fréquence  $f_r$  est prise égale à 200 MHz, et la permittivité du diélectrique est  $\epsilon = 1,3$ .  $P$  vaut donc environ 700 mm.

#### 40 Exemple 1

En figure 3, on voit un câble rayonnant 20 dont le conducteur extérieur présente un motif de fentes M1. On souhaite que le câble fonctionne sur l'intervalle [200 MHz, 800 MHz]. Ainsi,  $N$  est égal à 3 et le motif M1 comporte trois fentes notées respectivement F0, F1 et F2. La fente F0 est prise comme référence des abscisses.

45 D'après les équations (1) et (2) précédentes :

$$\begin{aligned} a_1 &= a_0, z_1 = \frac{p}{5} = 140 \text{ mm} \\ a_2 &= -0,618a_0, z_2 = \frac{3p}{5} = 420 \text{ mm}. \end{aligned}$$

50

On obtient le motif M1 représenté en figure 3, avec une fente F0 de 140 mm de longueur et inclinée d'un angle de 18° par rapport à l'axe X (les angles sont comptés positivement dans le sens trigonométrique indiqué par la flèche 100 à partir de l'axe X). La fente F1 a une longueur et une inclinaison identiques à celles de F0. La fente F2 a une longueur de 115 mm et est inclinée de -18° par rapport à l'axe X.

55

**Exemple 2**

En figure 4, on voit un câble rayonnant 20 dont le conducteur extérieur présente un motif de fentes M2. On souhaite que le câble fonctionne sur l'intervalle [200 MHz, 1000 MHz]. Ainsi, N est égal à 4 et le motif M2 comporte quatre fentes notées respectivement F'0, F'1, F'2 et F'3. La fente F'0 est prise comme référence des abscisses.

D'après les équations (1) et (2) précédentes :

$$a'_1 = a'_0, z'_1 = \frac{p}{6} = 116,7 \text{ mm}$$

$$a'_2 = -a'_0, z'_2 = \frac{p}{2} = 350 \text{ mm}$$

$$a'_3 = -a'_0, z'_3 = \frac{2p}{3} = 466,7 \text{ mm.}$$

On obtient le motif M2 représenté en figure 4, avec une fente F'0 de 100 mm de longueur et inclinée d'un angle de 18° par rapport à l'axe X. La fente F'1 a une longueur et une inclinaison identiques à celles de F'0. Les fentes F'2 et F'3 ont une longueur égale à celle de F'0 et sont inclinées de -18° par rapport à l'axe X.

Alors que le brevet GB-1 481 485 propose d'utiliser un motif de six fentes pour permettre le fonctionnement du câble rayonnant sur la bande de fréquences [200 MHz, 1000 MHz], les motifs d'un câble selon l'invention permettant le fonctionnement sur la même bande de fréquences ne comportent que quatre fentes. Ceci permet de réduire le couplage et les pertes par affaiblissement linéaire, et d'assurer une meilleure tenue mécanique du câble, tout en garantissant la puissance minimale requise. En outre, les quatre fentes du motif M2 peuvent être identiques, ce qui simplifie la réalisation du câble 20 correspondant.

**Exemple 3**

En figure 5, on voit un câble rayonnant 20 dont le conducteur extérieur présente un motif de fentes M3. On souhaite que le câble fonctionne sur l'intervalle [200 MHz, 1200 MHz]. Ainsi, N est égal à 5 et le motif M3 comporte cinq fentes notées respectivement F"0, F"1, F"2, F"3 et F"4. La fente F"0 est prise comme référence des abscisses.

D'après les équations (1) et (2) précédentes :

$$a''_1 = 0,692a''_0, z''_1 = \frac{p}{7} = 100 \text{ mm}$$

$$a''_2 = -0,555a''_0, z''_2 = \frac{3p}{7} = 300 \text{ mm}$$

$$a''_3 = -0,555a''_0, z''_3 = \frac{4p}{7} = 400 \text{ mm}$$

$$a''_4 = 0,692a''_0, z''_4 = \frac{6p}{7} = 600 \text{ mm.}$$

On obtient le motif M3 représenté en figure 5, avec une fente F"0 de 90 mm de longueur et inclinée d'un angle de 18° par rapport à l'axe X. La fente F"1 a une longueur de 77,6 mm et une inclinaison identique à celle de F"0. Les fentes F"2 et F"3 ont toutes deux une longueur de 70,8 mm et sont inclinées de -18° par rapport à l'axe X. La fente F"4 a une longueur identique à celle de F"1 et a la même inclinaison que F"0.

D'après les enseignements du brevet GB-1 481 485, il n'est possible d'obtenir que des bandes de fréquences du type  $[f_r, (2m+1)f_r]$ , où m est un entier strictement positif. Ainsi, pour réaliser un câble rayonnant fonctionnant sur la bande de fréquences [200 MHz, 1200 MHz], il faudrait prévoir un motif de fentes permettant le fonctionnement sur la bande [200 MHz, 1400 MHz], soit un motif à dix fentes. D'une part, le motif à dix fentes selon ce brevet présente les inconvénients mentionnés dans le préambule, et d'autre part, l'obligation de concevoir le câble pour un fonctionnement dans une bande de fréquences supérieure à la bande de fréquences utile entraîne un coût supplémentaire qui n'est pas souhaitable. Grâce à l'invention, seules cinq fentes par motif sont nécessaires, et la bande fréquences pour laquelle le câble est conçu est égale à la bande utile.

L'invention permet donc de réaliser des câbles rayonnants dont la bande du mode rayonné principal est supérieure à celle des câbles de l'art antérieur, grâce à la répétition périodique de motifs comportant un nombre optimal de fentes.

Les problèmes posés par les solutions de l'art antérieur sont donc résolus par l'invention.

On donne maintenant, en relation avec les figures 6 à 10, certains résultats obtenus au moyen des câbles selon l'invention, ainsi que ceux obtenus avec deux câbles de l'art antérieur.

On a représenté en figure 6 le couplage C en dB en fonction de la distance x entre l'extrémité du câble la plus proche de la source émettrice et le point de réception considéré le long du câble, où la mesure est

effectuée. On rappelle que le couplage en un point de réception donné est proportionnel au logarithme du rapport entre la puissance rayonnée par ce point de réception et la puissance émise par la source, qui est une constante. Ainsi, si le couplage est pratiquement uniforme, la puissance rayonnée l'est également.

La courbe 60 représentée en figure 6 correspond à une fréquence de fonctionnement de 700 MHz du câble selon l'exemple 1 précédent, illustré en figure 3. On remarque que le couplage est quasiment uniforme quel que soit le point de réception le long du câble.

La courbe 70 représentée en figure 7 correspond à une fréquence de fonctionnement de 900 MHz du câble selon l'exemple 2 précédent, illustré en figure 4. On remarque encore ici que le couplage est quasiment uniforme quel que soit le point de réception le long du câble. De plus, le câble à quatre fentes selon l'invention permet d'obtenir un tel résultat jusqu'à 900 MHz au moins, et en pratique jusqu'à 1000 MHz, alors que pour obtenir une telle limite supérieure de la bande du mode rayonné principal avec un couplage acceptable, des motifs de six fentes sont nécessaires selon l'art antérieur.

La courbe 80 représentée en figure 8 correspond à une fréquence de fonctionnement de 1100 MHz pour un câble à six fentes selon l'invention. On peut comparer cette courbe à la courbe 90 de la figure 9 correspondant au câble de la figure 1 à la même fréquence de fonctionnement (1100 MHz), c'est-à-dire à l'art antérieur décrit dans le brevet GB-1 481 485. On observe alors que le couplage d'un câble à six fentes selon l'invention est pratiquement uniforme alors que celui d'un câble tel que celui de la figure 1 présente des variations périodiques qui empêchent d'obtenir les performances requises en termes de puissance rayonnée minimale sur une bande de fréquences allant jusqu'à 1100 MHz au moins ; avec le même nombre de fentes, un câble selon l'invention permet d'obtenir un couplage pratiquement uniforme jusqu'à des fréquences de l'ordre de 1400 MHz.

Enfin, la courbe 100 représentée en figure 10 est donnée à titre d'information. Elle correspond à une fréquence de fonctionnement de 1100 MHz pour un câble à répétition de fentes simples. On constate que le couplage varie de façon périodique en fonction de la distance.

Bien évidemment, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

En particulier, le modèle utilisé pour le choix des longueurs et inclinaisons des différentes fentes d'un motif est donné à titre indicatif, et l'on pourra choisir tout autre modèle communément utilisé par l'homme de l'art dans ce domaine. Notamment, on peut utiliser des modèles dans lesquels les longueur et inclinaison varient d'une fente à l'autre, ou des modèles dans lesquels les inclinaisons varient d'une fente à l'autre.

D'autre part, l'invention s'applique également aux guides d'ondes rayonnants constitués d'un conducteur tubulaire de section quelconque éventuellement entouré d'une gaine extérieure de protection.

Les ouvertures pratiquées dans le conducteur extérieur peuvent être rectangulaires ou elliptiques. Elles sont de préférence de longueur différente de la largeur, ce qui leur confère une efficacité accrue.

Enfin, l'angle entre les fentes et l'axe longitudinal dans chaque motif peut être quelconque du moment que la contribution de chaque fente au rayonnement n'est pas nulle, et que la puissance rayonnée totale obtenue est compatible avec les spécifications données par l'utilisateur.

## Revendications

1. Ligne haute fréquence rayonnante destinée à rayonner l'énergie électromagnétique sur une bande de fréquences, et comprenant au moins un conducteur tubulaire (23) disposé autour d'un axe dit longitudinal (X) et présentant plusieurs ouvertures identiques agencées en motifs (M1) répétés périodiquement avec une période P le long de ladite ligne, caractérisée en ce que, lorsque ladite bande de fréquences est du type  $[f_r, (N+1)f_r]$ , où  $f_r$  est une fréquence donnée et N un entier positif strictement supérieur à 1, chacun desdits motifs (M1) comprend N ouvertures numérotées de 0 à N-1 et satisfaisant les relations suivantes :

$$z_k = \frac{P \cdot p_k}{N+2}$$

$$a_k = \frac{\sin(\frac{(p' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p'\pi}{N+2})} \frac{\sin(\frac{(p'' - p_k)\pi}{N+2})}{\sin(\frac{p''\pi}{N+2})} a_0$$

55

où :

- l'indice  $k$  est un entier tel que  $1 \leq k \leq N-1$  et se rapporte à la  $k$ -ième ouverture de l'un desdits motifs (M1),
- $z_k$  est la distance entre ladite  $k$ -ième ouverture et la première ouverture ( $F_0$ ) dudit motif (M1), ladite distance étant calculée entre la projection d'un point d'un axe de symétrie de ladite première ouverture ( $F_0$ ) sur ledit axe longitudinal (X) et celle d'un point d'un axe de symétrie correspondant de ladite  $k$ -ième ouverture sur ledit axe longitudinal (X),
- $a_k$  est la polarisabilité de ladite  $k$ -ième ouverture,
- $a_0$  es polarisabilité de ladite première ouverture,
- 

10

$$p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) \text{ ou } p' = E\left(\frac{N+2}{4}\right) + 1$$

15

-

$$p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) \text{ ou } p'' = E\left(\frac{3(N+2)}{4}\right) + 1$$

20

où  $E(x)$  désigne la partie entière de  $x$ ,

- $p_k$  est un entier tel que  $1 \leq p_k \leq N+1$ , lesdits entiers  $p_k$  étant deux à deux distincts, tels que  $p_k < p_{k+1}$ , et différents de  $p'$  et de  $p''$ .

25 2. Ligne selon la revendication 1 caractérisée en ce que lesdites ouvertures sont elliptiques ou rectangulaires.

3. Ligne selon la revendication 2 caractérisée en ce que lesdites ouvertures sont rectangulaires et de longueur grande devant leur largeur.

30

4. Ligne selon la revendication 3 caractérisée en ce que la première desdites ouvertures d'un motif a une longueur appelée  $L$ , et fait avec ledit axe longitudinal un angle compris en valeur absolue entre 5 et 90°, en appelant angle fait par une ouverture avec ledit axe longitudinal l'angle, compté à partir dudit axe longitudinal, fait par la projection, dans une direction orthogonale audit axe longitudinal, de ladite ouverture dans un plan contenant ledit axe longitudinal et orthogonal à ladite direction de projection.

35

5. Ligne selon la revendication 4 caractérisée en ce que  $N$  est égal à 3 et en ce que lesdites ouvertures sont disposées de la manière suivante :

- la seconde desdites ouvertures ( $F_1$ ) est à une distance de  $P/5$  de ladite première ouverture ( $F_0$ ), a la même longueur que ladite première ouverture ( $F_0$ ) et fait avec ledit axe longitudinal (X) le même angle que ladite première ouverture ( $F_0$ ),
- la troisième desdites ouvertures ( $F_2$ ) est à une distance de  $3P/5$  de ladite première ouverture, a une longueur sensiblement égale à  $3L/4$  et fait avec ledit axe longitudinal un angle opposé à celui de ladite première ouverture.

45

6. Ligne selon la revendication 4 caractérisée en ce que  $N$  est égal à 4 et en ce que lesdites ouvertures sont disposées de la manière suivante :

- la seconde desdites ouvertures ( $F'_1$ ) est à une distance de  $P/6$  de ladite première ouverture ( $F'_0$ ), a la même longueur que ladite première ouverture et fait avec ledit axe longitudinal le même angle que ladite première ouverture,
- la troisième desdites ouvertures ( $F'_2$ ) est à une distance de  $P/2$  de ladite première ouverture, a la même longueur que ladite première ouverture et fait avec ledit axe longitudinal un angle opposé à celui de ladite première ouverture,
- la quatrième desdites ouvertures ( $F'_3$ ) est à une distance de  $2P/3$  de ladite première ouverture, a la même longueur que ladite première ouverture et fait avec ledit axe longitudinal un angle opposé à celui de ladite première ouverture.

7. Ligne selon la revendication 4 caractérisée en ce que N est égal à 5 et en ce que lesdites ouvertures sont disposées de la manière suivante :

- la seconde desdites ouvertures (F"1) est à une distance de P/7 de ladite première ouverture (F"0), a une longueur sensiblement égale à 5L/6 et fait avec ledit axe longitudinal le même angle que ladite première ouverture,
- la troisième desdites ouvertures (F"2) est à une distance de 3P/7 de ladite première ouverture, a une longueur sensiblement égale à 7L/9 et fait avec ledit axe longitudinal un angle opposé à celui de ladite première ouverture,
- la quatrième desdites ouvertures (F"3) est à une distance de 4P/7 de ladite première ouverture, a une longueur sensiblement égale à 7L/9 et fait avec ledit axe longitudinal un angle opposé à celui de ladite première ouverture,
- la cinquième desdites ouvertures (F"4) est à une distance de 6P/7 de ladite première ouverture, a une longueur égale à celle de ladite première ouverture et fait avec ledit axe longitudinal le même angle que ladite première ouverture.

15 8. Ligne selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisée en ce que ledit conducteur tubulaire (23) est cylindrique et contient un conducteur central (21) entouré d'une enveloppe de protection en un matériau diélectrique (22) en contact à la fois avec ledit conducteur central (21) et avec ledit conducteur tubulaire (23), et une gaine extérieure de protection (24), de manière à donner à ladite ligne (20) la structure d'un câble rayonnant.

10 9. Ligne selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisée en ce que ledit conducteur tubulaire est vide, de manière à donner à ladite ligne la structure d'un guide d'ondes rayonnant.

20 25

30

35

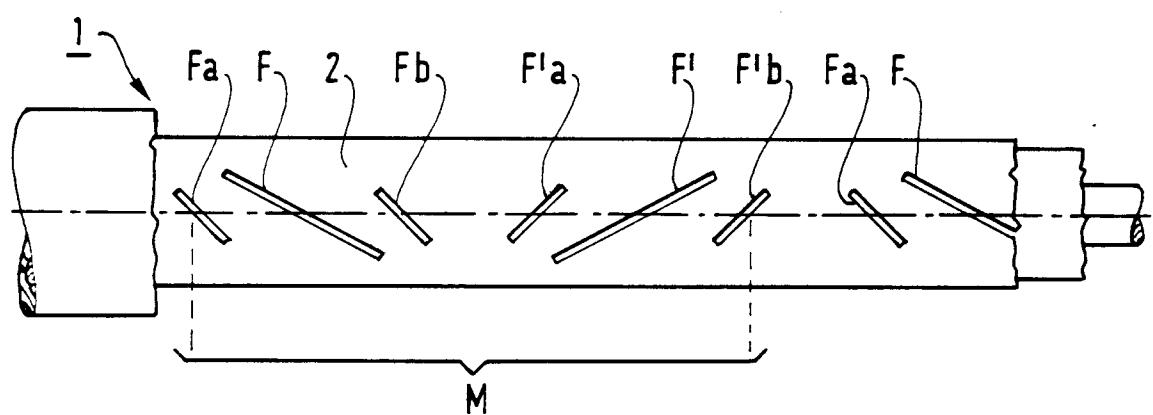
40

45

50

55

FIG.1



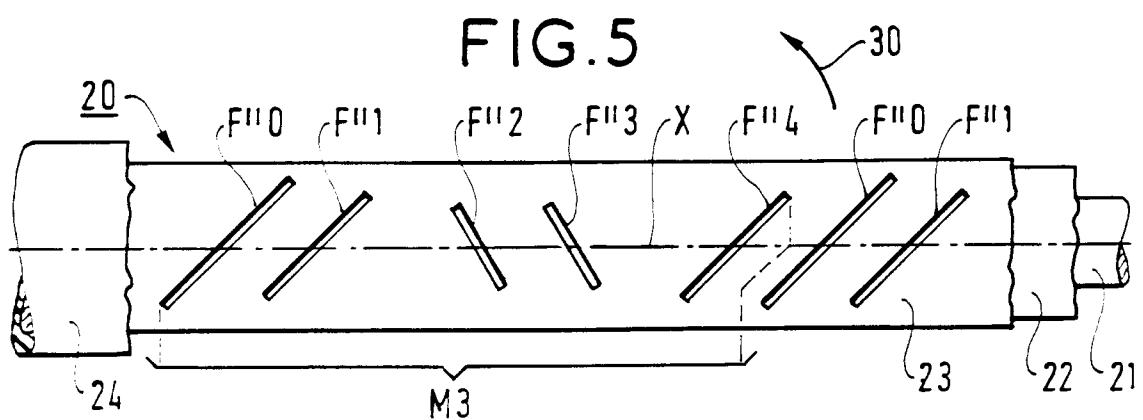
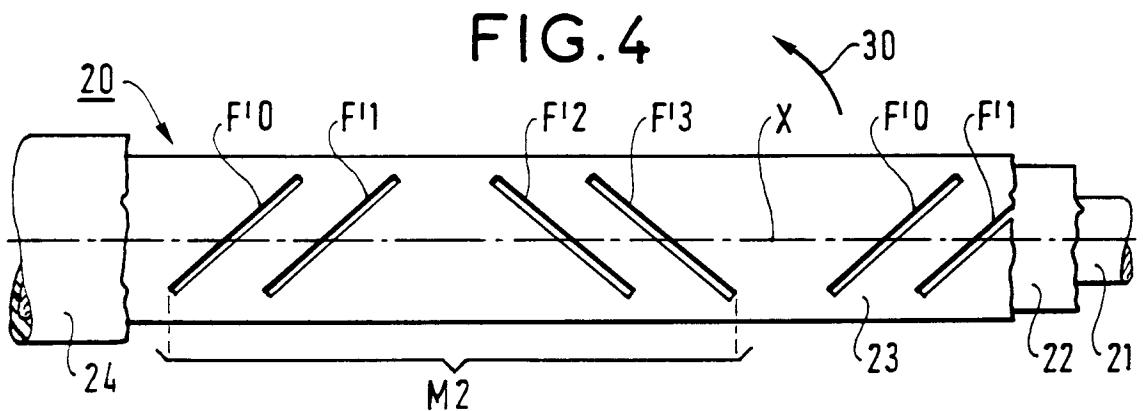
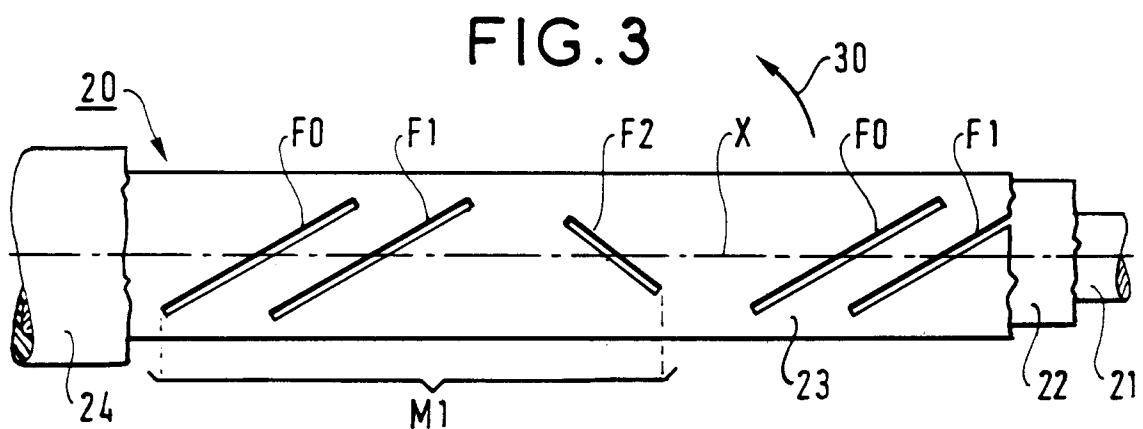
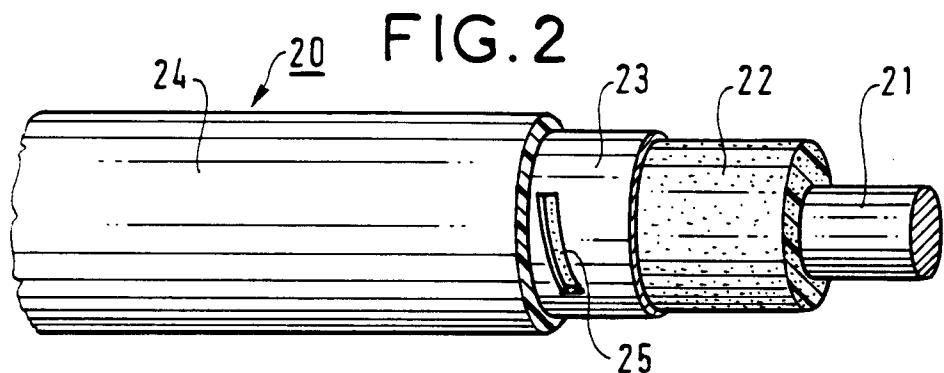


FIG. 6

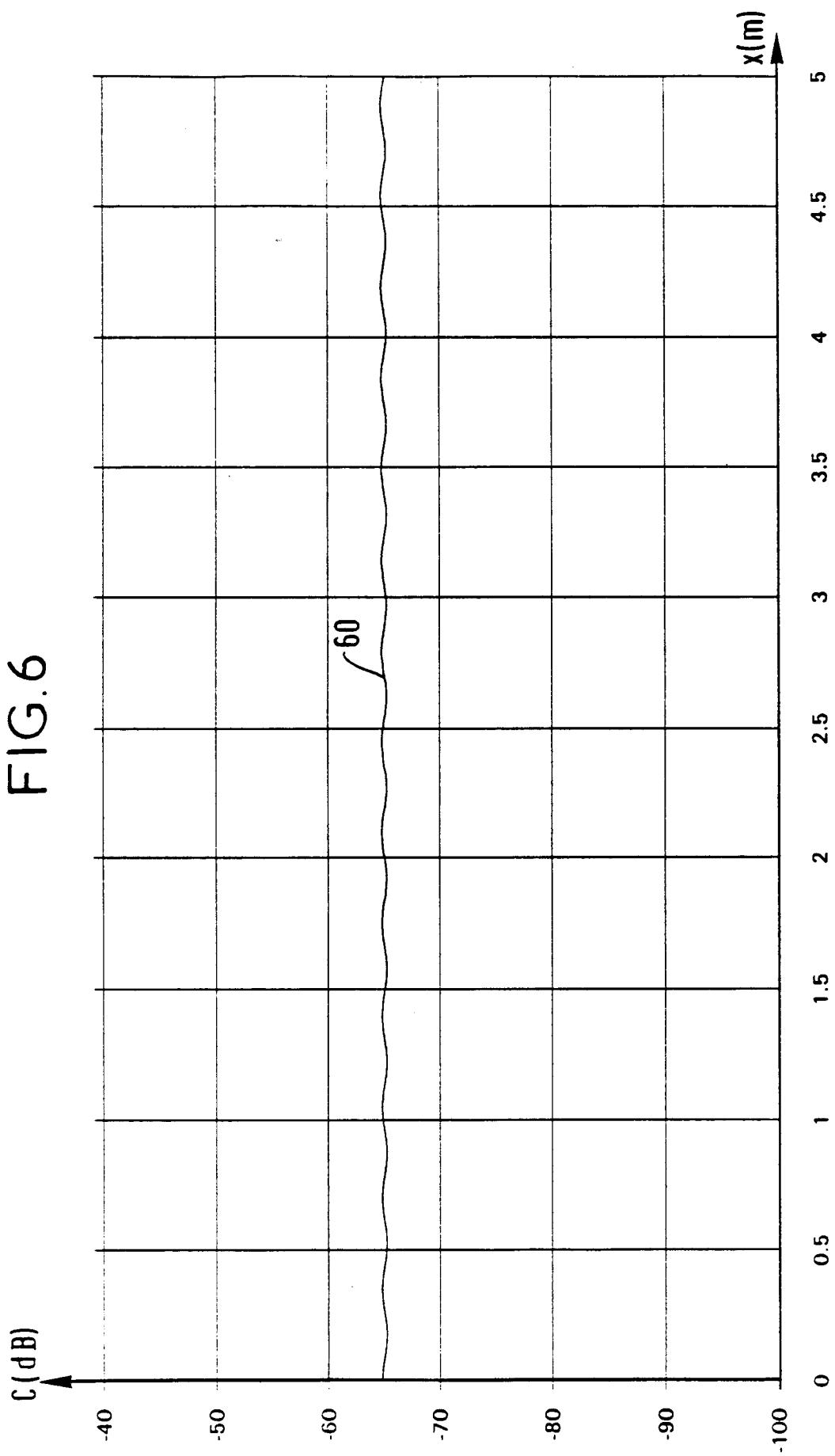


FIG.7

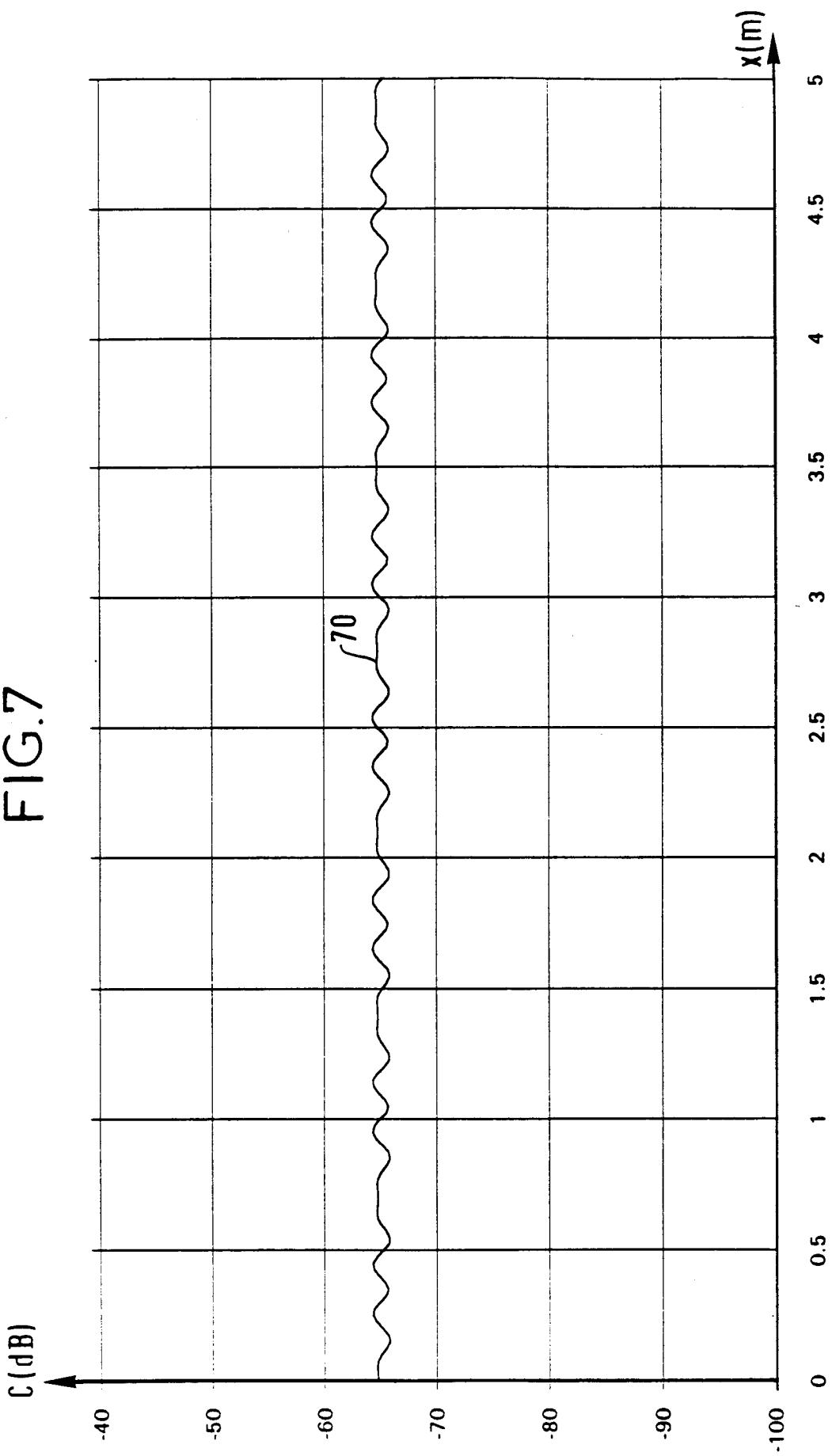


FIG.8

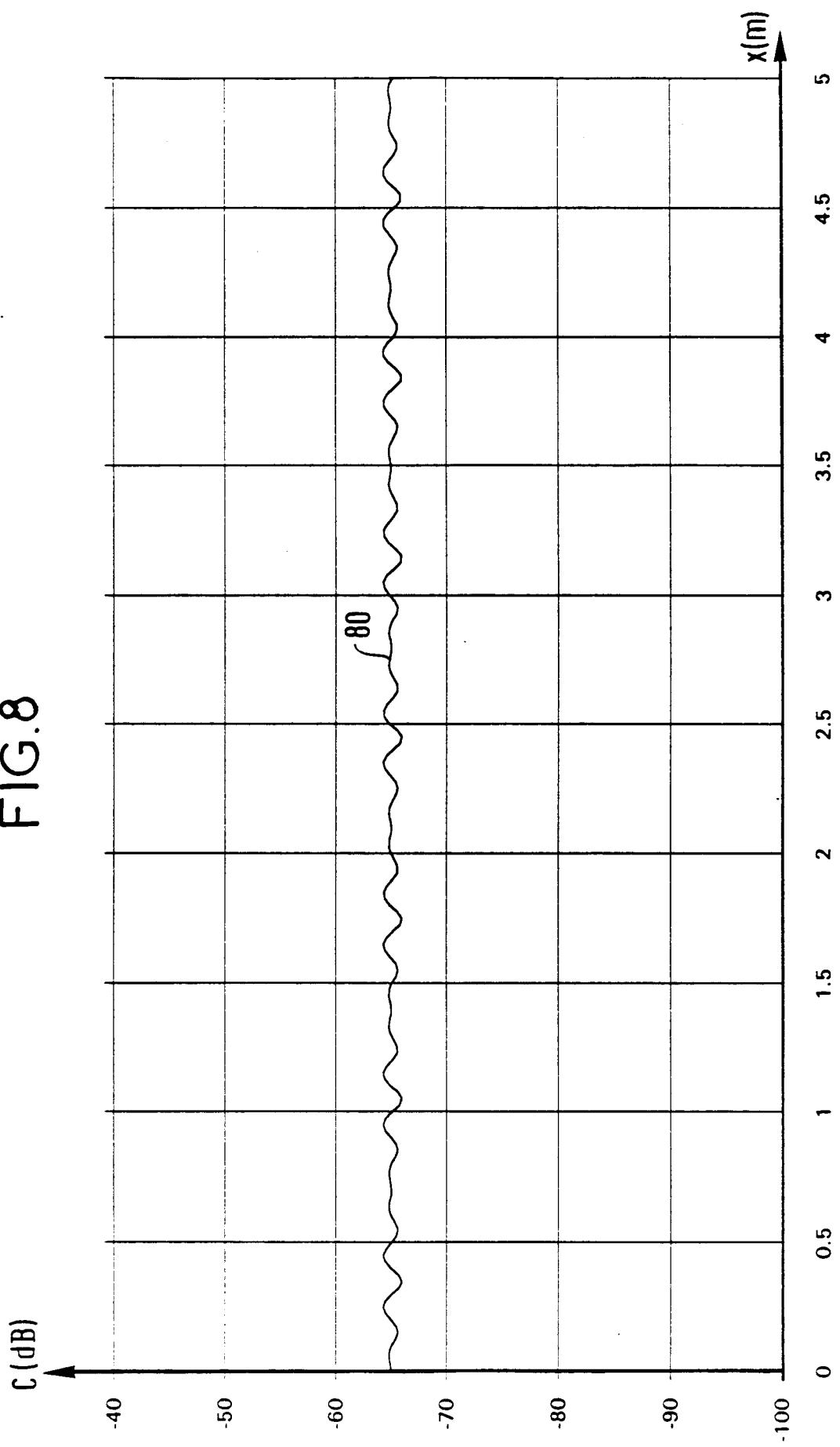


FIG. 9

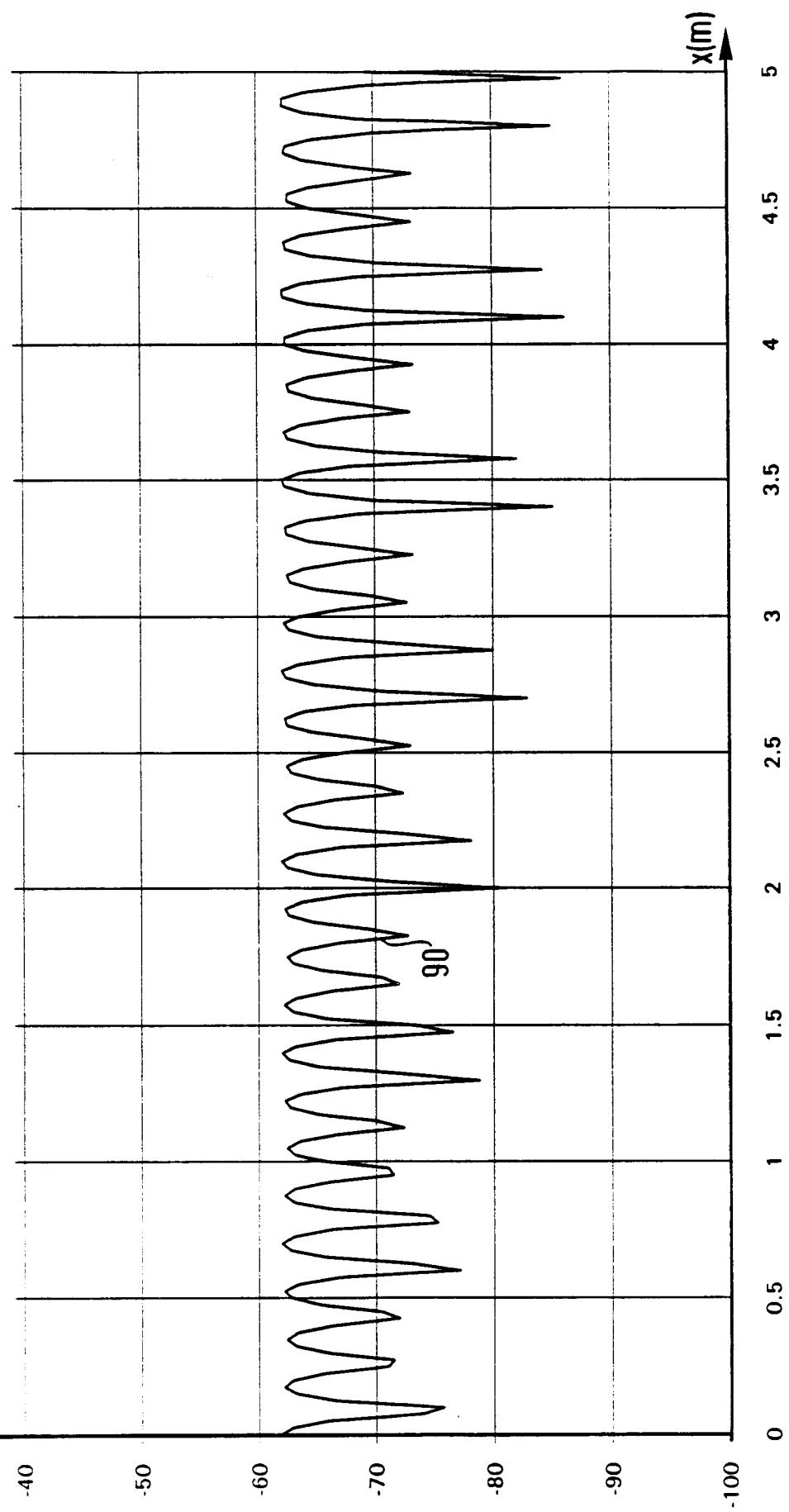
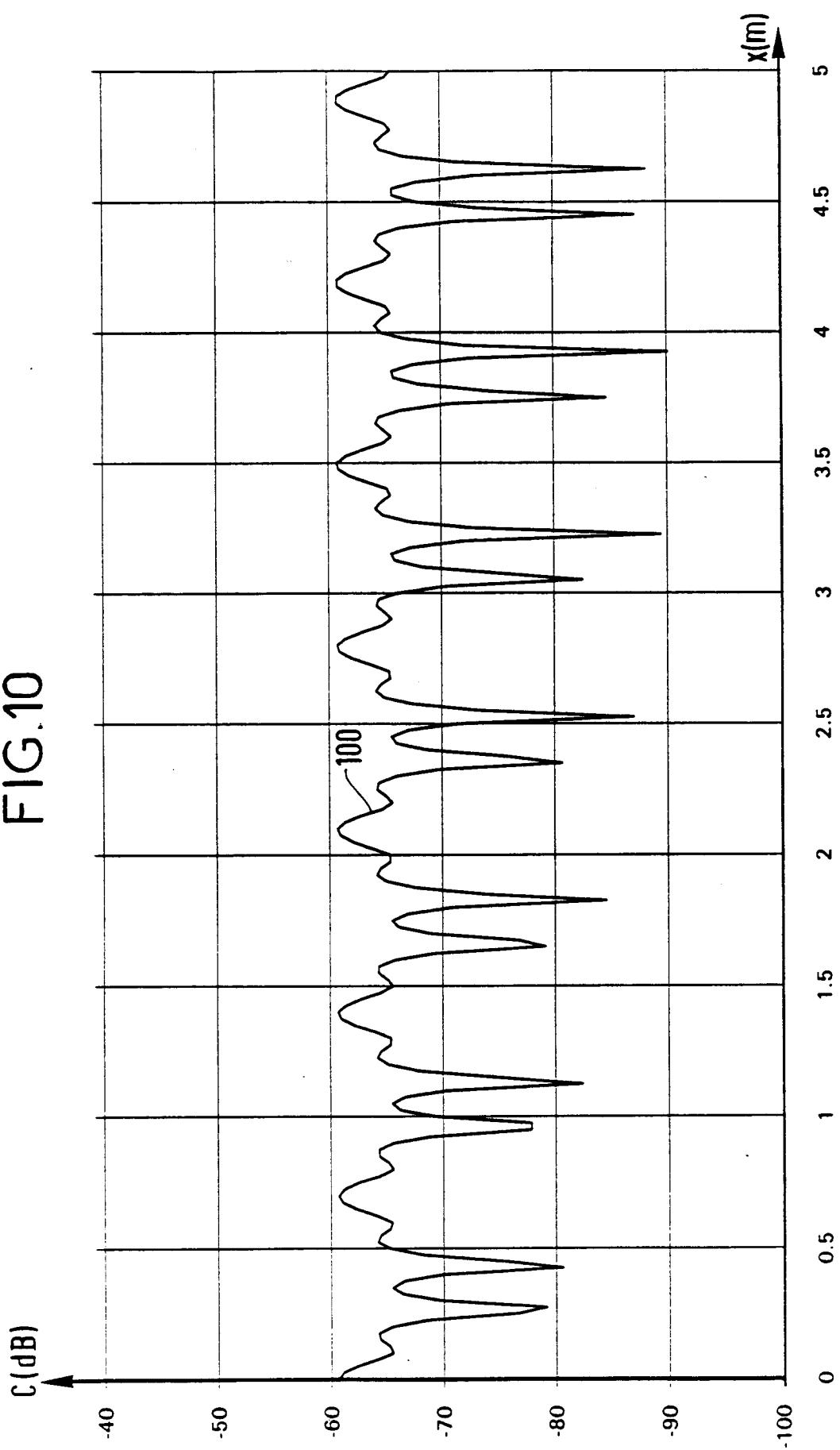


FIG.10





Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 92 12 1385

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
D, A	GB-A-1 481 485 (FURUKAWA ELECTRIC) * le document en entier * ---	1-9	H01Q13/20
A	US-A-3 795 915 (YOSHIDA) * le document en entier * -----	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			H01Q H01P
<p>Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications</p>			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	
LA HAYE	01 MARS 1993	ANGRABEIT F.F.K.	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			