



(11)

EP 2 548 261 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.03.2020 Bulletin 2020/13

(51) Int Cl.:
H01Q 3/46 ^(2006.01) **H01Q 15/00** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11702668.2**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2011/052048

(22) Date de dépôt: **11.02.2011**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/113650 (22.09.2011 Gazette 2011/38)

(54) **ANTENNE RÉSEAU RÉFLECTEUR À COMPENSATION DE POLARISATION CROISÉE ET
PROCÉDÉ DE RÉALISATION D'UNE TELLE ANTENNE**

REFLEKTORGRUPPENANTENNE MIT KREUZPOLARISATIONSKOMPENSATION UND
VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER DERARTIGEN ANTENNE

REFLECTOR ARRAY ANTENNA WITH CROSSED POLARIZATION COMPENSATION AND
METHOD FOR PRODUCING SUCH AN ANTENNA

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **19.03.2010 FR 1001100**

(43) Date de publication de la demande:
23.01.2013 Bulletin 2013/04

(73) Titulaire: **THALES
92400 Courbevoie (FR)**

(72) Inventeurs:
• **BRESCIANI, Danièle
F-00167 Rome (IT)**
• **LEGAY, Hervé
F-31830 Plaisance Du Touch (FR)**
• **CAILLE, Gérard
F-31170 Tournefeuille (FR)**
• **LABIOLE, Eric
F-31270 Villeneuve Tolosane (FR)**

(74) Mandataire: **Brunelli, Géraud
Marks & Clerk France
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)**

(56) Documents cités:
US-A- 6 081 234

- **SZE K Y ET AL: "Microstrip patches for a reflectarray", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY, 1999. IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM 1 999 ORLANDO, FL, USA 11-16 JULY 1999, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US LNKD- DOI:10.1109/APS.1999.788273, vol. 3, 11 juillet 1999 (1999-07-11), pages 1666-1669, XP010348039, ISBN: 978-0-7803-5639-9**
- **ANG YU ET AL: "An X-band circularly polarized reflectarray using split square ring elements and the modified element rotation technique", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2008. AP-S 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 5 juillet 2008 (2008-07-05), pages 1-4, XP031342718, ISBN: 978-1-4244-2041-4**
- **MARNAT L ET AL: "Accurate synthesis of a dual linearly polarized reflectarray", ANTENNAS AND PROPAGATION, 2009. EUCAP 2009. 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23 mars 2009 (2009-03-23), pages 2523-2526, XP031470302, ISBN: 978-1-4244-4753-4**
- **CAPOZZOLI A ET AL: "Fast Phase-Only Synthesis of faceted reflectarrays", ANTENNAS AND PROPAGATION, 2009. EUCAP 2009. 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23 mars 2009 (2009-03-23), pages 1329-1333, XP031470033, ISBN: 978-1-4244-4753-4**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 548 261 B1

- ZICH R E ET AL: "Frequency response of a new genetically optimized microstrip reflectarray", IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 2003 DIGEST. APS. COLUMBUS, OH, JUNE 22 - 27, 2003; [IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM], NEW YORK, NY : IEEE, US, vol. 1, 22 juin 2003 (2003-06-22), pages 173-176, XP010649431, DOI: DOI:10.1109/APS.2003.1217428 ISBN: 978-0-7803-7846-9

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne réseau réflecteur à compensation de polarisation croisée et un procédé de réalisation d'une telle antenne. Elle s'applique notamment aux antennes montées sur un engin spatial tel qu'un satellite de télécommunication ou aux antennes des terminaux terrestres pour les systèmes de télécommunications ou de diffusion par satellite.

[0002] Les configurations d'antenne offset comportant un réflecteur à surface formée géométriquement (en anglais : offset shaped reflector antenna) et une source primaire décalée par rapport à l'axe normal au réflecteur, engendrent des rayonnements dans une polarisation croisée induite par la courbure géométrique du réflecteur et dont le niveau dépend directement du rapport focal du réflecteur, le rapport focal étant défini par le rapport entre la focale et le diamètre du réflecteur. Plus le rapport focal est grand, plus le niveau de polarisation croisée est faible. Cependant, lorsque l'antenne est implantée sur une face d'un satellite orientée vers la Terre, la structure de l'antenne doit être compacte et les rapports focaux sont faibles, ce qui induit un niveau de polarisation croisée élevé.

[0003] Dans le cas d'une antenne comportant un réflecteur illuminé par une source primaire centrée, le niveau de polarisation croisée est nul dans la direction normale à l'antenne mais il peut y avoir des lobes de polarisation croisée axisymétriques dus à la courbure des lignes de champs aux extrémités du réflecteur.

[0004] Par ailleurs, la source primaire utilisée peut, lorsqu'elle comporte des faibles performances, engendrer elle-même des composantes de champ comportant une polarisation croisée.

[0005] Pour répondre à des spécifications de faible niveau de polarisation croisée, les antennes montées sur les satellites et pointant en direction de la Terre ont souvent une structure à double réflecteur montés dans une configuration Grégorienne. L'utilisation de deux réflecteurs permet de définir la géométrie du réflecteur auxiliaire par rapport à la géométrie du réflecteur principal de façon que la polarisation croisée induite par la courbure du réflecteur auxiliaire annule la polarisation croisée induite par la courbure du réflecteur principal. Cependant la présence du réflecteur auxiliaire et de sa structure de support entraîne une augmentation de la masse, du volume et du coût de l'antenne par rapport à une antenne à un seul réflecteur.

[0006] Une autre solution pour diminuer le niveau de polarisation croisée est d'utiliser une antenne réseau réflecteur (en anglais : reflectarray antenna) en configuration offset. Dans ce type d'antenne, une source primaire illumine un réseau réflecteur sous une incidence oblique. Le réflecteur comporte un ensemble d'éléments rayonnants élémentaires assemblés en réseau à une ou deux dimensions et formant une surface réfléchissante qui peut être plane. En considérant le cas où les éléments rayonnants de l'antenne sont tous identiques et n'induisent pas individuellement de polarisation croisée, le ré-

seau réflecteur agit alors comme un miroir et le rayonnement réfléchi par le réseau réflecteur ne comporte pas de composante en polarisation croisée s'il est illuminé par une source primaire sans polarisation croisée placée dans son axe de symétrie. Cependant, les éléments rayonnants d'un réseau réflecteur comportent généralement des différences géométriques de façon à contrôler précisément le déphasage que chaque élément rayonnant produit sur une onde incidente. En outre, l'agencement des éléments rayonnants élémentaires les uns par rapport aux autres sur la surface du réflecteur est généralement synthétisé et optimisé de façon à obtenir un diagramme de rayonnement donné dans une direction de pointage choisie avec une loi de phase choisie. Par conséquent, il a été constaté que bien que le réflecteur soit plan et qu'il n'y ait donc pas de polarisation croisée induite par la courbure du réflecteur, du fait de l'illumination du réflecteur par une source en configuration offset, le réseau réflecteur se comporte en fonctionnement comme un réflecteur à surface formée géométriquement qui induit aussi un rayonnement en polarisation croisée dont le niveau est du même ordre de grandeur qu'un réflecteur à surface formée équivalent. Une antenne réseau réflecteur est divulguée dans US 6,081,234.

[0007] Le but de l'invention est de réaliser une antenne réseau réflecteur ayant un diagramme de phase donné et dans laquelle la polarisation croisée engendrée par une source primaire est annulée.

[0008] Pour cela, l'invention concerne une antenne réseau réflecteur à compensation de polarisation croisée comportant un réseau réflecteur constitué d'une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires régulièrement répartis et formant une surface réfléchissante et une source primaire destinée à illuminer le réseau réflecteur, le réseau réflecteur ayant un diagramme de rayonnement selon deux polarisations principales orthogonales dans une direction de propagation choisie avec une loi de phase choisie, chaque élément rayonnant élémentaire étant réalisé en technologie planaire et comportant un motif gravé constitué d'au moins un patch métallique comportant, dans une configuration symétrique ayant une forme géométrique carrée, au moins quatre côtés opposés deux à deux par rapport à un centre du motif gravé et disposés parallèlement à deux directions X, Y du plan XY de l'élément rayonnant, caractérisée en ce qu'au moins un élément rayonnant du réseau réflecteur comporte un patch métallique ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins l'une des directions X et/ou Y du plan XY de l'élément rayonnant, les dissymétries angulaires consistant en une inclinaison angulaire d'au moins deux côtés opposés, du patch métallique des éléments rayonnants dans un même sens ou dans des sens opposés de façon à transformer la forme carrée respectivement en trapèze ou en parallélogramme.

[0009] Ainsi, pour chaque élément rayonnant du réseau réflecteur, la dissymétrie du motif gravé est calculée individuellement pour chaque élément rayonnant à partir d'un élément rayonnant symétrique de même motif et

consiste en une inclinaison angulaire d'au moins une direction du motif. La valeur angulaire de l'angle d'inclinaison est déterminée de manière que l'élément rayonnant engendre une onde réfléchie ayant une dépolarisation contrôlée qui s'oppose à une dépolarisation engendrée dans le plan normal à la direction de propagation par le réseau réflecteur illuminé par la source primaire. La dépolarisation contrôlée de l'élément rayonnant correspond à une matrice de réflexion individuelle ayant des coefficients de réflexion principaux d'amplitude similaire à ceux de l'élément rayonnant de même motif et de forme géométrique symétrique selon les deux directions X et Y, et des coefficients de réflexion croisés d'amplitude non nulle supérieure à celle dudit élément rayonnant de même motif symétrique.

[0010] Avantageusement, le motif gravé comprend au moins une fente rayonnante comprenant dans une configuration symétrique de l'élément rayonnant, au moins deux branches diamétralement opposées par rapport au centre du motif gravé et disposées parallèlement à au moins l'une des directions X et/ou Y de l'élément rayonnant, la dissymétrie du motif gravé de l'élément rayonnant consistent en outre en une inclinaison angulaire de chaque branche, par rapport aux directions X et/ou Y du plan de l'élément rayonnant.

[0011] Avantageusement, dans le cas d'un motif gravé comportant un patch métallique et au moins deux fentes gravées dans le patch métallique, les fentes formant au moins quatre branches principales orientées respectivement, deux à deux, parallèlement aux directions X et Y dans une configuration symétrique de l'élément rayonnant, les dissymétries angulaires consistent en outre en des rotations angulaires des quatre branches principales des fentes, autour du centre du motif gravé, dans le plan XY.

[0012] Avantageusement, le motif gravé de forme dissymétrique comporte un patch métallique et des fentes gravées dans le patch métallique, les fentes formant une croix centrale ayant quatre branches principales opposées deux à deux, les branches principales situées dans des directions opposées par rapport au centre du motif gravé, étant inclinées dans des sens opposés..

[0013] Selon un mode de réalisation, plusieurs éléments rayonnants adjacents du réseau réflecteur comportent un motif gravé ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins une direction X et/ou Y du plan XY de chacun desdits éléments rayonnants, les inclinaisons angulaires du côté ou de la branche de la forme géométrique du motif gravé de chacun desdits éléments rayonnants formant un angle de valeur continûment progressive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent sur la surface réfléchissante.

[0014] Dans un mode de réalisation, que le réseau réflecteur comporte plusieurs facettes planes orientées selon des plans différents, chaque facette plane comportant une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires, et en ce qu'au moins un élément rayonnant de chaque facette

plane du réseau réflecteur comporte un motif gravé ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins une direction X et/ou Y du plan XY de la facette à laquelle appartient l'élément rayonnant correspondant.

[0015] L'invention concerne également un procédé de réalisation d'une antenne réseau réflecteur à compensation de polarisation croisée consistant à réaliser un réseau réflecteur (11) constitué d'une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires (20) régulièrement répartis et formant une surface réfléchissante et à illuminer le réseau réflecteur (11) par une source primaire (13), caractérisé en ce qu'il consiste à élaborer un réseau réflecteur dans lequel chaque élément rayonnant élémentaire est réalisé en technologie planaire et comporte un motif gravé constitué d'au moins un patch métallique (15) comportant, **dans une configuration symétrique ayant une forme géométrique carrée**, au moins quatre côtés opposés deux à deux par rapport à un centre (50) du motif gravé et disposés parallèlement à deux directions X et Y du plan XY de l'élément rayonnant, au moins un élément rayonnant (20) du réseau réflecteur (11) comportant un patch métallique ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins l'une des directions X et/ou Y du plan XY de l'élément rayonnant, les dissymétries angulaires consistent en une inclinaison angulaire d'au moins deux côtés opposés (81, 82), (83, 84) du patch métallique des éléments rayonnants dans un même sens ou dans des sens opposés de façon à transformer la forme carrée respectivement en trapèze ou en parallélogramme

[0016] Selon un mode de mise en œuvre, le calcul de la dissymétrie à introduire dans l'élément rayonnant consiste:

- dans une première étape, à partir du diagramme de rayonnement du champ électromagnétique lointain désiré dans lequel la polarisation croisée est nulle, à déduire les composantes de polarisation principale et croisées du champ électrique rayonné E_r dans le plan normal à la direction de propagation des ondes réfléchies par le réseau réflecteur,
- dans une deuxième étape, à calculer, pour chaque élément rayonnant du réseau réflecteur, les composantes E_{rx} et E_{ry} du champ électrique rayonné correspondant dans le plan du réseau réflecteur,
- dans une troisième étape, à calculer les composantes E_{ix} et E_{iy} du champ électrique incident E_i induit par la source primaire sur chaque élément rayonnant du réseau réflecteur,
- dans une quatrième étape, à partir des composantes E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} et E_{iy} déterminées à la deuxième et à la troisième étape, à en déduire des valeurs des coefficients de réflexion principaux R_{xx} , R_{yy} et croisés R_{xy} , R_{yx} souhaités qui doivent être induits par l'élément rayonnant dissymétrique correspondant.

[0017] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la descrip-

tion donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma d'un exemple d'une antenne réseau réflecteur, selon l'invention ;
- figure 2 : un schéma d'un exemple d'élément rayonnant élémentaire, selon l'invention ;
- figure 3 : un schéma d'un exemple d'arrangement des éléments rayonnants d'une antenne réseau réflecteur, selon l'invention ;
- figure 4a : un schéma illustrant le trajet d'une onde incidente oblique sur un réseau réflecteur, selon l'invention ;
- figure 4b : un schéma illustrant l'orientation des composantes de champ dans différents plans sur le trajet d'une onde incidente et d'une onde réfléchie, selon l'invention ;
- figures 5a et 5b : deux schémas illustrant la distribution du champ électrique dans le plan de l'ouverture rayonnante dans le cas où le rayonnement comporte une composante en polarisation croisée et respectivement, dans le cas où le rayonnement est parfaitement polarisé sans composante croisée, selon l'invention ;
- figure 6a : un exemple d'élément rayonnant symétrique comportant un patch métallique et des fentes gravées dans le patch métallique, la matrice de réflexion correspondante et la matrice de réflexion souhaitée, selon l'invention ;
- figures 6b à 6e : l'élément rayonnant de la figure 6a dans lequel différents types de rotations sont introduits et les diagrammes relatifs aux évolutions de l'amplitude et de la phase des coefficients croisés correspondants, selon l'invention ;
- figure 7 : un exemple d'un ensemble d'éléments rayonnants successifs symétriques comportant une phase continûment évolutive entre deux éléments rayonnants consécutifs, chaque élément rayonnant comportant un motif constitué d'un patch métallique de forme carrée et d'une ouverture rayonnante pratiquée dans le patch métallique, selon l'invention ;
- figures 8a, 8b, 9a, 9b : un élément rayonnant de la figure 7 dans lequel différents types de rotations sont introduits et les diagrammes relatifs aux évolutions de l'amplitude et de la phase des coefficients croisés correspondants, selon l'invention.

[0018] Une antenne réseau réflecteur 10 telle que représentée par exemple sur la figure 1, comporte un ensemble d'éléments rayonnants élémentaires 20 assemblés en réseau réflecteur 11 à une ou deux dimensions et formant une surface réfléchissante 14 permettant d'augmenter la directivité et le gain de l'antenne 10. Le réseau réflecteur 11 est illuminé par une source primaire 13. Les éléments rayonnants élémentaires 20, appelés aussi cellules élémentaires, du réseau réflecteur 11, comportent des motifs gravés de type patchs métalliques

et/ou fentes. Les motifs gravés ont des paramètres variables, tels que par exemple les dimensions géométriques des motifs gravés (longueur et largeur des « patchs » ou des fentes), qui sont réglés de façon à obtenir un diagramme de rayonnement choisi. Comme représenté par exemple sur la figure 2, les éléments rayonnants élémentaires 20 peuvent être constitués par des patchs métalliques chargés de fentes rayonnantes et séparés d'un plan de masse métallique d'une distance typique comprise entre $\lambda g/10$ et $\lambda g/4$, où λg est la longueur d'onde guidée dans le milieu espaceur. Ce milieu espaceur peut être un diélectrique, mais aussi un sandwich composite réalisé par un agencement symétrique d'un séparateur de type Nid d'abeille et de peaux diélectriques de fines épaisseurs.

[0019] Sur la figure 2, l'élément rayonnant élémentaire 20 est de forme carrée ayant des côtés de longueur m, comportant un patch métallique 15 imprimé sur une face supérieure d'un substrat diélectrique 16 muni d'un plan de masse métallique 17 sur sa face inférieure. Le patch métallique 15 a une forme de carré ayant des côtés de dimension p et comporte deux fentes 18 de longueur b et de largeur k pratiquées en son centre, les fentes étant disposées en forme de croix. Dans un repère à trois dimensions XYZ, le plan de la surface réfléchissante de l'élément rayonnant est le plan XY. La forme des éléments rayonnants élémentaires 20 n'est pas limitée à un carré, elle peut également être rectangulaire, triangulaire, circulaire, hexagonale, en forme de croix, ou toute autre forme géométrique. Les fentes peuvent également être réalisées en un nombre différent de deux et leur disposition peut être différente d'une croix. Au lieu de fentes centrales, l'élément rayonnant pourrait également comporter un motif constitué d'un patch central en forme de croix et d'une ou plusieurs fentes périphériques. Alternativement, l'élément rayonnant pourrait comporter un motif constitué de plusieurs patchs métalliques annulaires concentriques et de plusieurs fentes annulaires ou non.

[0020] Pour que l'antenne 10 soit performante, il faut que la cellule élémentaire puisse contrôler précisément le déphasage qu'elle produit sur une onde incidente, pour les différentes fréquences de la bande passante.

[0021] L'agencement (en anglais : lay-out) des éléments rayonnants élémentaires les uns par rapport aux autres pour constituer un réseau réflecteur est synthétisé de façon à obtenir un diagramme de rayonnement donné dans une direction de pointage choisie et avec une loi de phase prédéterminée. La figure 3 montre un exemple d'arrangement des éléments rayonnants d'une antenne réseau réflecteur, permettant d'obtenir un faisceau directif pointé dans une direction latérale par rapport à l'antenne. En raison de la planéité du réseau réflecteur et des différences de longueurs de trajet d'une onde émise par une source primaire 13 jusqu'à chaque élément rayonnant 7, 8 du réseau, l'illumination du réseau réflecteur par une onde incidente provenant de la source primaire 13 provoque une distribution de phase du champ

électromagnétique au-dessus de la surface réfléchissante 14. Les motifs gravés de chaque élément rayonnant 7, 8 ont donc des dimensions géométriques définies de façon que l'onde incidente soit réfléchi par le réseau 11 avec un décalage de phase qui compense la phase relative de l'onde incidente.

[0022] La forme géométrique du motif gravé de chaque élément rayonnant est habituellement choisie symétrique par rapport aux deux axes orthogonaux X et Y du plan de chaque élément rayonnant. Un élément rayonnant symétrique isolé ne dépolarise quasiment pas une onde incidente normale à son plan et la matrice de réflexion associée comporte donc des coefficients de réflexion croisés très faibles, généralement inférieurs à 30dB. Ces niveaux peuvent augmenter pour une incidence oblique, particulièrement supérieure à 40° par rapport à la normale. Les éléments rayonnants sont agencés sur la surface du réflecteur de façon à réaliser une loi de phase spécifique sur l'ensemble de la surface, dans une polarisation principale correspondant à la polarisation émise par la source primaire. Les phénomènes de dépolarisation sont des phénomènes considérés comme des parasites qui détériorent les performances de l'antenne mais ils ne sont généralement pas pris en compte lors de la réalisation de l'agencement du réseau réflecteur.

[0023] Lorsque le réseau réflecteur 11 est illuminé par une onde incidente oblique dans une polarisation linéaire, il engendre une onde réfléchi comportant deux composantes de champ selon deux directions X et Y orthogonales. Sur la figure 4a, la surface du réseau réflecteur 11 est partiellement schématisée par des lignes pointillées et quatre éléments rayonnants 20 sont représentés, chaque élément rayonnant 20 comportant un patch métallique de forme carrée. Une source primaire 13 placée en configuration offset, illumine le réseau réflecteur 11 selon une direction oblique faisant un angle θ par rapport à la direction normale n au réseau réflecteur 11. Le champ électromagnétique incident E_{inc} émis par la source primaire peut être polarisé linéairement, par exemple selon une direction verticale dans un repère orthonormé lié à la source. Du fait de son incidence oblique, le champ incident E_{inc} , polarisé linéairement dans le plan lié à la source, induit, dans un repère XY lié au plan de l'élément rayonnant, un champ incident E_i comportant deux composantes de champ E_{ix} et E_{iy} selon les deux directions X et Y du plan de l'élément rayonnant, les deux composantes E_{ix} et E_{iy} correspondant à la projection du champ incident oblique E_{inc} dans le plan du réseau réflecteur. Le réseau réflecteur rayonne alors, selon une direction de propagation principale, un champ électromagnétique réfléchi E_r comportant deux composantes de champ E_{rx} et E_{ry} . Le champ incident E_{inc} polarisé linéairement dans le repère lié à la source primaire 13 engendre donc dans un plan XY parallèle au plan du réseau réflecteur 11, une composante de champ en polarisation croisée.

[0024] Pour un réseau réflecteur plan et dans la direction normale n au plan du réseau réflecteur, les compo-

santes de polarisation croisées induites au niveau des éléments rayonnants se compensent. Pour une loi de phase imposée pour réaliser un faisceau dans une direction donnée ou une couverture spécifique, comme illustré sur la figure 4b, la direction normale n au plan du réseau réflecteur est généralement différente du plan normal 44 à la direction de propagation 45. Les composantes de polarisation croisées sont alors sommées avec une pondération en phase et ne se compensent plus.

[0025] L'invention consiste donc à synthétiser un réseau réflecteur conformément à l'art antérieur, c'est-à-dire en ne se préoccupant que des diagrammes de rayonnement requis dans les deux polarisations principales orthogonales et donc en ne s'intéressant qu'aux coefficients de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} . Pour que le diagramme de rayonnement du réseau réflecteur soit performant, il est important que les coefficients de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} aient des amplitudes proches de 1. L'invention consiste ensuite à perturber faiblement la polarisation induite par au moins un élément rayonnant du réseau réflecteur de manière à compenser les composantes de polarisation croisée induites par le réseau réflecteur. La perturbation à introduire dans les éléments rayonnants est déterminée individuellement, pour chacun des éléments rayonnants du réseau réflecteur. La légère dépolarisation des ondes réfléchies par chaque élément rayonnant correspond à l'apparition, dans le plan du réseau réflecteur, d'un rayonnement en polarisation croisée, à faible amplitude, au niveau des éléments rayonnants individuels. La légère dépolarisation est telle qu'elle permet d'obtenir, dans le plan normal 44 à la direction de propagation 45 des ondes réfléchies par le réseau réflecteur 11, appelé plan d'ouverture du réseau réflecteur ou plan d'ouverture rayonnante, une distribution de champ électrique sans composante croisée. La dépolarisation introduite doit être faible et ne pas perturber le mode fondamental de rayonnement de l'élément rayonnant, ni sa phase. Par exemple, les coefficients de réflexion croisés introduits par chaque élément rayonnant élémentaire seront préférentiellement inférieurs à -15dB.

[0026] Pour estimer la quantité de dépolarisation nécessaire à réaliser sur chaque élément rayonnant individuel, l'invention consiste, dans une première étape, à définir le diagramme de rayonnement du champ électromagnétique lointain 46 désiré et à imposer comme condition de départ, que les composantes de polarisation croisée sont nulles pour ce champ lointain. A ce champ électromagnétique lointain 46 est associé une unique distribution d'un champ électromagnétique proche sur une ouverture rayonnante infinie définie par un plan normal 44 à la direction de propagation 45 des ondes réfléchies par le réseau réflecteur 11. Automatiquement, les composantes de polarisation croisées étant nulles en champ lointain, elles sont également nulles dans un plan normal à la direction de propagation des ondes réfléchies par le réseau réflecteur et sont donc nulles dans le plan d'ouverture 44 du réseau réflecteur 11. A partir du dia-

gramme de rayonnement du champ électromagnétique lointain 46 désiré, il est possible d'en déduire, au moyen d'une transformée de Fourier, les composantes de polarisation principale du champ proche rayonné correspondant, dans le plan d'ouverture 44 du réseau réflecteur,

[0027] Il est également possible de reconstruire le champ proche rayonné sur une surface limitée correspondant au réseau réflecteur. Pour qu'il y ait équivalence entre le champ proche reconstruit et le champ lointain désiré, il est nécessaire que le champ proche soit confiné à l'intérieur de la surface du réseau réflecteur.

[0028] Dans une deuxième étape, dans le cas général où le plan d'ouverture 44 est différent du plan du réseau réflecteur 11, l'invention consiste ensuite à calculer, par une technique de rétropropagation, pour chaque élément rayonnant du réseau réflecteur, les composantes du champ électrique rayonné correspondant dans le plan du réseau réflecteur. La technique de rétropropagation consiste en un changement de repère du plan d'ouverture 44 au plan du réseau réflecteur 11. Les composantes du champ électrique rayonné dans le plan du réseau réflecteur sont les composantes E_{rx} et E_{ry} réfléchies par l'élément rayonnant correspondant selon les directions respectives X et Y. La composante E_{ry} est faible mais non nulle si le plan du réseau réflecteur est différent du plan d'ouverture.

[0029] Dans une troisième étape, l'invention consiste, à calculer les composantes du champ électrique incident E_{ix} et E_{iy} induit par la source primaire 13 sur chaque élément rayonnant du réseau réflecteur. Pour une source primaire de type cornet rayonnant, le cornet est défini par un ensemble de coefficients modaux d'ondes sphériques avec lesquels il est possible de calculer le champ rayonné proche ou lointain comme décrit par exemple dans le livre de G. Franceschetti, « Campi Elettromagnetici », Bollati Boringhieri editore s.r.l., Torino 1988 (II edizione), incorporé par référence.

[0030] Dans une quatrième étape, à partir des composantes E_{rx} et E_{ry} déterminées à la deuxième étape et des composantes E_{ix} et E_{iy} déterminées à la troisième étape, l'invention consiste, pour chaque élément rayonnant, à en déduire les coefficients de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} et les coefficients de réflexion croisés R_{xy} et R_{yx} correspondants.

[0031] En effet, les composantes E_{rx} et E_{ry} du champ réfléchi E_r engendrées par le réseau réflecteur selon les directions respectives X et Y s'expriment en fonction des composantes E_{ix} et E_{iy} du champ incident E_i induit par la source par les équations suivantes :

$$E_{rx} = R_{xx} E_{ix} + R_{xy} E_{iy}$$

$$E_{ry} = R_{yx} E_{ix} + R_{yy} E_{iy}$$

[0032] Si l'onde incidente oblique E_{inc} est polarisée selon deux directions principales orthogonales X et Y, les composantes du champ réfléchi engendrées selon les directions X et Y sont reliées au champ incident par deux équations pour la polarisation selon la direction X et deux équations additionnelles pour la polarisation selon la direction Y.

[0033] La matrice de réflexion de chaque élément rayonnant du réseau réflecteur comporte donc des coefficients de réflexion R_{xx} dans la direction X, R_{yy} dans la direction Y et deux coefficients de réflexion croisés R_{xy} et R_{yx} correspondant à une polarisation croisée.

[0034] Pour que les coefficients de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} aient des amplitudes proches de 1, il est nécessaire que le champ rayonné lointain soit très fortement corrélé au champ rayonné proche reconstruit dans le plan virtuel de l'ouverture rayonnante. C'est la raison pour laquelle l'invention consiste d'abord à synthétiser un réseau réflecteur en ne se préoccupant que des diagrammes de rayonnement requis dans les deux polarisations principales orthogonales selon les directions X et Y et donc en ne s'intéressant qu'aux coefficients de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} , puis à perturber faiblement la polarisation d'au moins un élément rayonnant de manière à compenser la polarisation croisée induite par le réseau réflecteur dans la direction de propagation des ondes réfléchies.

[0035] En appliquant cette méthode permettant d'estimer la quantité de dépolarisation nécessaire à réaliser sur chaque élément rayonnant individuel, élément rayonnant par élément rayonnant, des valeurs de coefficients de réflexion principaux et croisés sont déduits pour chacun des éléments rayonnants correspondants.

[0036] Suivant la position de l'élément rayonnant 20 sur la surface réfléchissante, l'angle d'incidence de l'onde émise par rapport à cet élément rayonnant varie et les coefficients de réflexion croisés varient également. La dépolarisation est d'autant plus importante que l'angle θ de l'onde incidente par rapport à la direction normale n au réseau réflecteur augmente.

[0037] Ainsi, par exemple, dans le cas d'un réseau réflecteur 11 constitué de plusieurs facettes planes, comme représenté sur la figure 4b où le réflecteur comporte trois facettes planes 41, 42, 43 orientées selon trois plans différents, les composantes E_{rx} et E_{ry} du champ rayonné E_r doivent être déterminés pour chaque élément rayonnant, dans le plan XY de la facette à laquelle appartient cet élément rayonnant. Différents repères XY sont donc à considérer selon l'élément rayonnant considéré et la facette dans laquelle il se trouve. La méthode permettant d'estimer la quantité de dépolarisation nécessaire à réaliser sur chaque élément rayonnant individuel doit donc être appliquée facette par facette de façon à reconstruire, selon la méthode présentée ci-dessus, les composantes E_{rx} et E_{ry} du champ rayonné dans le plan XY correspondant à l'élément rayonnant considéré.

[0038] Un réseau réflecteur synthétisé, conformément à l'art antérieur, en ne s'intéressant qu'aux coefficients

de réflexion principaux R_{xx} et R_{yy} , comporte généralement, pour des raisons de simplicité de réalisation, des éléments rayonnants ayant un motif gravé symétrique selon leurs axes principaux dans les directions orthogonales X et Y du plan du réseau réflecteur. Dans le cas où les mêmes rayonnements sont requis pour les deux polarisations orthogonales, les éléments rayonnants ont de plus des dimensions identiques selon les directions X et Y.

[0039] Les dimensions précises des motifs gravés de chaque élément rayonnant sont donc déduites des coefficients principaux R_{xx} et R_{yy} . La polarisation croisée est dans l'art antérieur considérée comme subite, même si des artifices ont été proposés pour limiter les effets.

[0040] Lorsque les composantes E_x et E_y permettant d'éliminer la polarisation croisée ont été déterminées pour tous les éléments rayonnants du réseau réflecteur, l'invention consiste alors à introduire, dans les éléments rayonnants individuels 20 du réseau réflecteur 11, une dépolarisation contrôlée, différente d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant, permettant d'obtenir la totalité des coefficients de réflexion correspondant aux valeurs souhaitées. Cette dépolarisation introduite individuellement dans les éléments rayonnants est telle qu'elle compense alors la dépolarisation induite par une onde incidente oblique sur le réseau réflecteur final.

[0041] La figure 5a illustre la distribution du champ électrique dans le plan de l'ouverture rayonnante dans le cas où le réseau réflecteur a été synthétisé sans tenir compte des phénomènes parasites liés à la polarisation croisée et où le rayonnement comporte une composante en polarisation croisée, et la figure 5b illustre le cas où le réseau réflecteur a été synthétisé de façon à annuler la composante de polarisation croisée et où le rayonnement est parfaitement polarisé sans composante croisée.

[0042] Selon l'invention, la dépolarisation introduite dans au moins un élément rayonnant individuel du réseau réflecteur consiste à briser la symétrie du motif de cet élément rayonnant tout en conservant la même phase des coefficients de réflexions principaux induits par cet élément rayonnant, afin de ne pas perturber son rayonnement dans la polarisation principale. On agit ainsi sur l'amplitude et la phase des coefficients de réflexion croisés. Pour cela, des dissymétries angulaires sont introduites dans les motifs des éléments rayonnants qui engendrent de la polarisation croisée, certains éléments rayonnants n'engendrant pas de polarisation croisée, par exemple ceux situés dans l'axe de symétrie du réseau réflecteur, pouvant rester symétriques. Ces dissymétries angulaires consistent en des inclinaisons angulaires d'au moins une direction principale du motif ou des rotations angulaires des quatre directions principales X, X', Y, Y' des motifs, autour du centre 50 du motif, dans le plan XY. Les rotations angulaires sont réalisées avec des angles qui peuvent être différents ou identiques pour toutes les directions et dans des sens qui peuvent être identiques ou différents. Lorsque plusieurs éléments rayon-

nants adjacents du réseau réflecteur comportent un motif ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins une direction X et/ou Y du plan XY de ces éléments rayonnants, la dissymétrie du motif de chacun desdits éléments rayonnants est continûment progressive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent sur la surface réfléchissante.

[0043] Un premier exemple représenté sur les figures 6a à 6d concerne le cas d'un élément rayonnant 20 dont le motif géométrique comporte un patch métallique et des fentes gravées dans le patch. Sur la figure 6a, les fentes forment une croix centrale symétrique selon deux directions orthogonales XX' et YY', appelée croix de Jérusalem. La croix comporte quatre branches principales 62, 63, 64, 65, opposées deux à deux, orientées respectivement selon les directions X, X', Y, Y', chaque branche principale comportant une extrémité pourvue d'une extension perpendiculaire. La matrice de réflexion 60 de cet élément rayonnant symétrique est telle que les coefficients de réflexion principaux sont d'amplitudes égales et proches de la valeur maximum 1, correspondant à 0dB, et les coefficients de réflexion croisés ont des amplitudes très faibles, typiquement de l'ordre de -29dB. La matrice de réflexion souhaitée 61 comporte des coefficients de réflexion principaux très peu modifiés par rapport à ceux de l'élément symétrique et des coefficients de réflexion croisés légèrement dégradés, ayant une amplitude de l'ordre de -21 dB, cette amplitude dégradée étant cependant toujours située à un niveau correspondant à du bruit. Sur les figures 6b, 6c, 6d, chaque branche principale de la croix centrale a subi différents types de rotations angulaires par rapport au centre 50 de l'élément rayonnant. Les rotations angulaires consistent à modifier l'inclinaison de chacune des branches principales, indépendamment l'une de l'autre, d'un angle différent et dans un sens positif ou négatif.

[0044] Dans les deux configurations 20a, 20b de la figure 6b, les branches principales de la croix situées selon des directions diamétralement opposées XX', YY' ont été inclinées simultanément, d'un même angle, l'inclinaison étant dans un sens positif pour deux branches opposées et dans un sens négatif pour les deux autres branches. Les diagrammes d'amplitude et de phase des coefficients de réflexion croisés correspondants montrent que cette configuration a un fort impact sur l'amplitude des coefficients de réflexion croisés alors que leur phase, modulo 180°, n'évolue pas lorsque l'angle d'inclinaison des branches principales de la croix varie entre -10° et +10°.

[0045] Dans les deux configurations 20c, 20d de la figure 6c, les quatre branches principales de la croix sont inclinées indépendamment les unes des autres d'un même angle, les branches situées selon des directions diamétralement opposées étant inclinées dans des sens opposés mais deux branches successives étant inclinées dans un même sens. Les diagrammes d'amplitude et de phase des coefficients de réflexion croisés correspondants montrent que cette configuration a peu d'impact

sur l'amplitude des coefficients de réflexion croisés lorsque l'angle d'inclinaison des branches principales de la croix varie entre -4° et $+4^\circ$ alors que leur phase évolue beaucoup.

[0046] Les deux configurations 20f, 20g de la figure 6d, les quatre branches principales de la croix sont inclinées indépendamment les unes des autres d'un même angle, les branches situées selon des directions diamétralement opposées étant inclinées dans des sens opposés comme sur la figure 6c mais le sens d'inclinaison de deux branches opposées est inversé. Les diagrammes d'amplitude et de phase des coefficients de réflexion croisés correspondants montrent que cette configuration a beaucoup d'impact sur l'amplitude des coefficients de réflexion croisés lorsque l'angle d'inclinaison des branches principales de la croix varie entre -10° et $+10^\circ$ alors que leur phase n'évolue pas.

[0047] La figure 6e montre un exemple d'élément rayonnant 20i optimisé dont la matrice de réflexion est très proche de la matrice souhaitée 61 indiquée sur la figure 6a. Cet élément rayonnant 20i comporte deux branches formant un angle de $9,35^\circ$ respectivement dans un sens de rotation négatif et dans un sens de rotation positif par rapport aux directions Y et X, et deux branches formant un angle de $6,65^\circ$ respectivement dans un sens de rotation négatif et dans un sens de rotation positif par rapport aux directions X' et Y'.

[0048] Les différents exemples de rotation des figures 6a à 6e montrent donc qu'il est possible en réglant l'angle d'inclinaison des quatre branches d'une croix orientées selon des directions principales de l'élément rayonnant, de contrôler l'amplitude et la phase des coefficients de réflexion croisés et donc la dépolarisation de cet élément rayonnant.

[0049] La figure 7 concerne un ensemble d'éléments rayonnants symétriques successifs comportant une phase continûment évolutive entre deux éléments rayonnants consécutifs, chaque élément rayonnant 20 comportant un motif constitué d'un patch métallique de forme carrée et d'une ouverture rayonnante pratiquée dans le patch métallique. Les dimensions respectives du patch métallique par rapport à l'ouverture rayonnante sont continûment évolutives d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent ce qui permet de disposer d'un grand nombre de phases différentes entre 0° et 360° , modulo 360° à répartir sur un réseau réflecteur en fonction de la loi de phase rayonnée désirée. Les différentes phases successives sont obtenues sans rupture brusque des dimensions du patch par rapport à l'ouverture rayonnante grâce à l'apparition de l'ouverture rayonnante au centre du patch métallique et à l'augmentation progressive des dimensions de l'ouverture rayonnante jusqu'à la disparition dudit patch métallique puis à l'apparition au centre de l'ouverture rayonnante d'un nouveau patch métallique dont les dimensions augmentent progressivement jusqu'à la disparition de l'ouverture rayonnante.

[0050] En modifiant l'angle d'inclinaison de deux côtés

opposés du patch métallique de chacun de ces éléments rayonnants de façon à transformer la forme carrée en trapèze, il est possible de contrôler la phase des coefficients de réflexion croisés de ces éléments rayonnants sans modifier sensiblement les coefficients de réflexion principaux. Les figures 8a et 8b montrent les diagrammes d'évolution de la phase et de l'amplitude des coefficients de réflexion croisés pour un élément rayonnant soumis à une onde incidente oblique et comportant deux côtés inclinés 81, 82 ou 83, 84 selon des directions opposées de manière à former un trapèze, l'angle d'inclinaison des côtés variant entre -10° et $+10^\circ$ par rapport à la direction YY' pour la figure 8a ou par rapport à la direction XX' pour la figure 8b. Dans ces deux figures, l'amplitude des coefficients de réflexion croisés varie très faiblement alors que la phase évolue beaucoup.

[0051] Les figures 10a et 10b montrent d'autres diagrammes d'évolution de la phase et de l'amplitude des coefficients de réflexion croisés lorsque deux côtés opposés sont inclinés d'un même angle selon une même direction de façon à obtenir un parallélogramme.

[0052] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

30 Revendications

1. Antenne réseau réflecteur à compensation de polarisation croisée comportant un réseau réflecteur (11) constitué d'une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires (20) régulièrement répartis et formant une surface réfléchissante et une source primaire (13) destinée à illuminer le réseau réflecteur (11), le réseau réflecteur (11) ayant un diagramme de rayonnement selon deux polarisations principales orthogonales dans une direction de propagation choisie (45) avec une loi de phase choisie, chaque élément rayonnant élémentaire (20) étant réalisé en technologie planaire et comportant un motif gravé constitué d'au moins un patch métallique (15) comportant, dans une configuration symétrique ayant une forme géométrique carrée, au moins quatre côtés opposés deux à deux par rapport à un centre (50) du motif gravé et disposés parallèlement à deux directions X, Y du plan XY de l'élément rayonnant (20), **caractérisée en ce qu'**au moins un élément rayonnant (20) du réseau réflecteur (11) comporte un patch métallique ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins l'une des directions X et/ou Y du plan XY de l'élément rayonnant (20), les dissymétries angulaires consistant en une inclinaison angulaire d'au moins deux côtés opposés (81, 82), (83, 84) du patch métallique des éléments rayonnants dans un même sens ou dans des sens opposés de

façon à transformer la forme carrée respectivement en trapèze ou en parallélogramme.

2. Antenne selon la revendication 1, dans laquelle le motif gravé comprend au moins une fente rayonnante (18) comprenant dans une configuration symétrique de l'élément rayonnant, au moins deux branches diamétralement opposées par rapport au centre (50) du motif gravé et disposées parallèlement à au moins l'une des directions X et/ou Y de l'élément rayonnant (20), la dissymétrie du motif gravé de l'élément rayonnant (20) consistent en outre en une inclinaison angulaire de chaque branche, par rapport aux directions X et/ou Y du plan de l'élément rayonnant. 5
3. Antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce que**, dans le cas d'un motif gravé comportant un patch métallique et au moins deux fentes gravées dans le patch métallique, les fentes formant au moins quatre branches principales (62, 63, 64, 65) orientées respectivement, deux à deux, parallèlement aux directions X et Y dans une configuration symétrique de l'élément rayonnant, les dissymétries angulaires consistent en outre en des rotations angulaires des quatre branches principales des fentes, autour du centre (50) du motif gravé, dans le plan XY. 10 15 20 25
4. Antenne selon la revendication 1, dans laquelle le motif gravé de forme dissymétrique comporte un patch métallique (15) et des fentes gravées dans le patch métallique, les fentes formant une croix centrale ayant quatre branches principales (62, 63, 64, 65) opposées deux à deux, les branches principales (62, 64), (63, 65) situées dans des directions opposées par rapport au centre (50) du motif gravé, étant inclinées dans des sens opposés. 30 35
5. Antenne selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** plusieurs éléments rayonnants adjacents du réseau réflecteur (11) comportent un motif gravé ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins une direction X et/ou Y du plan XY de chacun desdits éléments rayonnants, les inclinaisons angulaires du côté ou de la branche de la forme géométrique du motif gravé de chacun desdits éléments rayonnants formant un angle de valeur continûment progressive d'un élément rayonnant à un autre élément rayonnant adjacent sur la surface réfléchissante. 40 45 50
6. Antenne selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le réseau réflecteur (11) comporte plusieurs facettes planes (41, 42, 43) orientées selon des plans différents, chaque facette plane comportant une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires, et **en ce qu'**au moins un élément rayonnant de chaque facette plane du réseau 55

réflecteur comporte un motif gravé ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins une direction X et/ou Y du plan XY de la facette à laquelle appartient l'élément rayonnant correspondant.

7. Procédé de réalisation d'une antenne réseau réflecteur à compensation de polarisation croisée consistant à réaliser un réseau réflecteur (11) constitué d'une pluralité d'éléments rayonnants élémentaires (20) régulièrement répartis et formant une surface réfléchissante et à illuminer le réseau réflecteur (11) par une source primaire (13), **caractérisé en ce qu'il** consiste à élaborer un réseau réflecteur dans lequel chaque élément rayonnant élémentaire est réalisé en technologie planaire et comporte un motif gravé constitué d'au moins un patch métallique (15) comportant, dans une configuration symétrique ayant une forme géométrique carrée, au moins quatre côtés opposés deux à deux par rapport à un centre (50) du motif gravé et disposés parallèlement à deux directions X et Y du plan XY de l'élément rayonnant, au moins un élément rayonnant (20) du réseau réflecteur (11) comportant un patch métallique ayant une forme géométrique dissymétrique par rapport à au moins l'une des directions X et/ou Y du plan XY de l'élément rayonnant, les dissymétries angulaires consistent en une inclinaison angulaire d'au moins deux côtés opposés (81, 82), (83, 84) du patch métallique des éléments rayonnants dans un même sens ou dans des sens opposés de façon à transformer la forme carrée respectivement en trapèze ou en parallélogramme.
8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le calcul de la dissymétrie à introduire dans l'élément rayonnant consiste:
 - dans une première étape, à partir du diagramme de rayonnement du champ électromagnétique lointain désiré dans lequel la polarisation croisée est nulle, à déduire les composantes de polarisation principale et croisées du champ électrique rayonné E_r dans le plan normal (44) à la direction de propagation (45) des ondes réfléchies par le réseau réflecteur (11),
 - dans une deuxième étape, à calculer, pour chaque élément rayonnant (20) du réseau réflecteur (11), les composantes E_{rx} et E_{ry} du champ électrique rayonné correspondant dans le plan du réseau réflecteur (11),
 - dans une troisième étape, à calculer les composantes E_{ix} et E_{iy} du champ électrique incident E_i induit par la source primaire sur chaque élément rayonnant (20) du réseau réflecteur (11),
 - dans une quatrième étape, à partir des composantes E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} et E_{iy} déterminées à la deuxième et à la troisième étape, à en déduire

des valeurs des coefficients de réflexion principaux R_{xx} , R_{yy} et croisés R_{xy} , R_{yx} souhaités qui doivent être induits par l'élément rayonnant (20) dissymétrique correspondant.

Patentansprüche

1. Reflektorgruppenantenne mit Kreuzpolarisationskompensation, umfassend eine Reflektorgruppe (11), die aus mehreren elementaren Strahlungselementen (20) gebildet ist, die gleichmäßig verteilt sind und eine reflektierende Fläche und eine primäre Quelle (13) bilden, bestimmt zum Beleuchten der Reflektorgruppe (11), wobei die Reflektorgruppe (11) ein Strahlungsdiagramm gemäß zwei orthogonalen Hauptpolarisationen in einer gewählten Ausbreitungsrichtung (45) mit einem gewählten Phasengesetz hat, wobei jedes elementare Strahlungselement (20) in Planartechnologie realisiert ist und ein geätztes Muster aufweist, das aus wenigstens einem Metall-Patch (15) gebildet ist, das in einer symmetrischen Konfiguration mit einer quadratischen geometrischen Form wenigstens vier paarweise gegenüberliegende Seiten in Bezug auf einen Mittelpunkt (50) des geätzten Musters hat und parallel in zwei Richtungen X, Y der XY-Ebene des Strahlungselements (20) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Strahlungselement (20) der Reflektorgruppe (11) ein Metall-Patch mit einer geometrischen Form umfasst, die in Bezug auf wenigstens eine der Richtungen X und/oder Y der XY-Ebene des Strahlungselements (20) asymmetrisch ist, wobei die Winkelasymmetrien aus einer Winkelneigung von wenigstens zwei gegenüberliegenden Seiten (81, 82), (83, 84) des Metall-Patch der Strahlungselemente in einer selben Richtung oder in entgegengesetzten Richtungen bestehen, um die quadratische Form jeweils in ein Trapez oder ein Parallelogramm umzuwandeln.
2. Antenne nach Anspruch 1, bei der das geätzte Muster wenigstens einen Strahlungsschlitz (18) umfasst, der in einer symmetrischen Konfiguration des Strahlungselements wenigstens zwei Zweige umfasst, die einander in Bezug auf den Mittelpunkt (50) des geätzten Musters diametral gegenüberliegen und parallel zu wenigstens einer der Richtungen X und/oder Y des Strahlungselements (20) angeordnet sind, wobei die Asymmetrie des geätzten Musters des Strahlungselements (20) ferner in einer Winkelneigung jedes Zweigs in Bezug auf die Richtungen X und/oder Y der Ebene des Strahlungselements besteht.
3. Antenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Falle eines geätzten Musters, das ein Metall-Patch und wenigstens zwei in das Metall-Patch geätzte Schlitzte umfasst, wobei die Schlitzte
- wenigstens vier Hauptzweige (62, 63, 64, 65) umfassen, die jeweils paarweise parallel zu den Richtungen X und Y in einer symmetrischen Konfiguration des Strahlungselements orientiert sind, wobei die Winkelasymmetrien ferner aus Winkelrotationen der vier Hauptzweige der Schlitzte um den Mittelpunkt (50) des geätzten Musters in der XY-Ebene bestehen.
4. Antenne nach Anspruch 1, bei der das geätzte Muster mit asymmetrischer Form ein Metall-Patch (15) und geätzte Schlitzte in dem Metall-Patch umfasst, wobei die Schlitzte ein zentrales Kreuz mit vier einander paarweise gegenüberliegenden Hauptzweigen (62, 63, 64, 65) bilden, wobei die Hauptzweige (62, 64), (63, 65) in Richtungen liegen, die einander in Bezug auf den Mittelpunkt (50) des geätzten Musters gegenüberliegen und in entgegengesetzten Richtungen geneigt sind.
5. Antenne nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere benachbarte Strahlungselemente der Reflektorgruppe (11) ein geätztes Muster mit einer asymmetrischen geometrischen Form in Bezug auf wenigstens eine X- und/oder Y-Richtung der XY-Ebene jedes der Strahlungselemente umfassen, wobei die Winkelneigungen der Seite oder des Zweigs der geometrischen Form des geätzten Musters jedes der Strahlungselemente einen Winkel mit kontinuierlich progressivem Wert von einem Strahlungselement zu einem anderen Strahlungselement neben der reflektierenden Fläche bilden.
6. Antenne nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reflektorgruppe (11) mehrere in unterschiedlichen Ebenen orientierte planare Facetten (41, 42, 43) umfasst, wobei jede planare Facette mehrere elementare Strahlungselemente umfasst, und dadurch, dass wenigstens ein Strahlungselement jeder planaren Facette der Reflektorgruppe ein geätztes Muster mit einer asymmetrischen geometrischen Form in Bezug auf wenigstens eine X- und/oder Y-Richtung der XY-Ebene der Facette umfasst, zu der das entsprechende Strahlungselement gehört.
7. Verfahren zum Realisieren einer Reflektorgruppenantenne mit Kreuzpolarisationskompensation, bestehend aus dem Realisieren einer Reflektorgruppe (11), die aus mehreren elementaren Strahlungselementen (20) gebildet ist, die gleichmäßig verteilt sind und eine reflektierende Fläche bilden, und zum Beleuchten der Reflektorgruppe (11) mit einer primären Quelle (13), **dadurch gekennzeichnet, dass** es Folgendes beinhaltet: Ausarbeiten einer Reflektorgruppe, in der jedes elementare Strahlungselement in Planartechnologie realisiert ist und ein geätztes

Muster umfasst, gebildet aus wenigstens einem Metall-Patch (15), das in einer symmetrischen Konfiguration mit einer quadratischen geometrischen Form wenigstens vier paarweise einander gegenüberliegende Seiten in Bezug auf einen Mittelpunkt (50) des geätzten Musters hat, die parallel zu den beiden X- und Y-Richtungen der XY-Ebene des Strahlungselements angeordnet sind, wobei wenigstens ein Strahlungselement (20) der Reflektorgruppe (11) ein Metall-Patch mit einer asymmetrischen geometrischen Form in Bezug auf wenigstens eine der X- und/oder Y-Richtungen der XY-Ebene des Strahlungselements umfasst, wobei die Winkelasymmetrien aus einer Winkelneigung von wenigstens zwei gegenüberliegenden Seiten (81, 82), (83, 84) des Metall-Patch der Strahlungselemente in einer selben Richtung oder in entgegengesetzten Richtungen bestehen, um die quadratische Form jeweils in ein Trapez oder ein Parallelogramm umzuwandeln.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung der in das Strahlungselement einzuführenden Asymmetrie Folgendes beinhaltet:

- in einem ersten Schritt, auf der Basis des Strahlungsdiagramms des gewünschten elektromagnetischen Fernfeldes, in dem die Kreuzpolarisation null ist, Ableiten der Haupt- und Kreuzpolarisationskomponenten des gestrahlten elektrischen Feldes E_r in der Ebene (44) normal zur Ausbreitungsrichtung (45) der von der Reflektorgruppe (11) reflektierten Wellen,
- in einem zweiten Schritt Berechnen, für jedes Strahlungselement (20) der Reflektorgruppe (11), der Komponenten E_{rx} und E_{ry} des entsprechenden gestrahlten elektrischen Feldes in der Ebene der Reflektorgruppe (11),
- in einem dritten Schritt Berechnen der Komponenten E_{ix} und E_{iy} des durch die primäre Quelle eingeführten einfallenden elektrischen Feldes E_i auf jedem Strahlungselement (20) der Reflektorgruppe (11),
- in einem vierten Schritt, auf der Basis der im zweiten und dritten Schritt bestimmten Komponenten E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} und E_{iy} , Ableiten der Werte der gewünschten Haupt- (R_{xx} , R_{yy}) und Kreuz- (R_{xy} , R_{yx}) Reflexionskoeffizienten, die von dem entsprechenden asymmetrischen Strahlungselement (20) eingeführt werden müssen.

Claims

1. Reflector array antenna with cross-polarization compensation comprising a reflector array (11) consisting of a plurality of elementary radiating elements (20) regularly distributed and forming a reflecting sur-

face and a primary source (13) intended to illuminate the reflector array (11), the reflector array (11) having a radiation diagram according to two orthogonal principal polarizations in a chosen direction of propagation (45) with a chosen phase law, each elementary radiating element (20) being produced in planar technology and having an etched pattern consisting of at least one metallic patch (15) comprising, in a symmetrical configuration having a square geometric shape, at least four opposite sides, pairwise, with respect to a center (50) of the etched pattern and disposed parallel to two directions X, Y of the plane XY of the radiating element (20), **characterized in that** at least one radiating element (20) of the reflector array (11) comprises a metallic patch having an dissymmetrical geometric shape with respect to at least one of the directions X and/or Y of the plane XY of the radiating element (20), the angular asymmetries consisting of an angular inclination of at least two opposite sides (81, 82), (83, 84) of the metallic patch of the radiating elements in the same direction or in opposite directions in order to transform the square shape respectively into trapezium or parallelogram.

2. An antenna according to claim 1, wherein the etched pattern comprises at least one radiating slot (18) comprising, in a symmetrical configuration of the radiating element, at least two diametrically opposite branches with respect to the center (50) of the etched pattern and disposed parallel to at least one of the directions X and/or Y of the radiating element (20), the dissymmetries of the etched pattern of the radiating element (20) further consist of an angular inclination of each branch, with respect to the directions X and/or Y of the plane of the radiating element.
3. Antenna according to claim 1, **characterized in that**, in the case of an etched pattern comprising a metallic patch and at least two slots etched in the metallic patch, the slots forming at least four principal branches (62, 63, 64, 65) respectively oriented, in pairs, parallel to the directions X and Y in a symmetrical configuration of the radiating element, the angular dissymmetry further consists of angular rotations of the four principal branches of the slots, around the center (50) of the etched pattern, in the plane XY.
4. An antenna according to claim 1, in which the etched pattern of dissymmetrical shape has a metallic patch (15) and slots etched in the metallic patch, the slots forming a central cross having four principal opposite branches (62, 63, 64, 65), pairwise, the principal branches (62, 64), (63, 65) located in opposite directions with respect to the center (50) of the etched pattern, being inclined in opposite directions.
5. Antenna according to one of the preceding claims,

characterized in that several adjacent radiating elements of the reflector array (11) have an etched pattern having a dissymmetrical geometric shape with respect to at least one direction X and/or Y of the plane XY of each of said radiating elements, the angular inclinations of the side or of the branch of the geometric shape of the etched pattern of each of said radiating element forming an angle of continuously progressive value from one radiating element to another radiating element adjacent to the reflecting surface.

6. Antenna according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reflector array (11) has several planar facets (41, 42, 43) oriented according to different planes, each planar facet comprising a plurality of elementary radiating elements, and **in that** at least one radiating element of each planar facet of the reflector array comprises an etched pattern having a dissymmetrical geometric shape with respect to at least one direction X and/or Y of the plane XY of the facet to which the corresponding radiating element belongs.
7. Method for producing a reflector array antenna with cross-polarization compensation consisting in producing a reflector array (11) consisting of a plurality of elementary radiating elements (20) regularly distributed and forming a reflecting surface and illuminating the reflector array (11) by a primary source (13), **characterized in that** it consists in developing a reflector array in which each elementary radiating element is produced in planar technology and comprises an etched pattern consisting of at least a metallic patch (15) comprising, in a symmetrical configuration having a square geometric shape, at least four opposite sides, pairwise, with respect to a center (50) of the etched pattern and disposed parallel to two directions X and Y of the plane XY of the radiating element, at least one radiating element (20) of the reflector array (11) comprising a metallic patch having a dissymmetrical geometric shape with respect to at least one of the directions X and/or Y of the plane XY of the radiating element, the angular dissymmetries consist of an angular inclination of at least two opposite sides (81, 82), (83, 84) of the metallic patch of radiating elements in a same direction or in opposite directions to transform the square shape respectively in trapeze or in parallelogram.
8. Method according to claim 7, **characterized in that** the calculation of the dissymmetry to be introduced into the radiating element consists:

in a first step, from the diagram of radiation of the desired far electromagnetic field in which the cross-polarization is zero, to deduce the principal and cross polarization components of the

radiated electric field E_r in the plane (44) normal to the direction of propagation (45) of the waves reflected by the reflector array (11),
 in a second step, to calculate, for each radiating element (20) of the reflector array (11), the components E_{rx} and E_{ry} of the corresponding radiated electric field in the plane of the reflector array (11),
 in a third step, to calculate the components E_{ix} and E_{iy} of the incident electric field E_i induced by the primary source on each radiating element (20) of the network reflector (11),
 in a fourth step, starting from the components E_{rx} , E_{ry} , E_{ix} and E_{iy} determined in the second and in the third step, to deduce therefrom some values of the desired principal reflection coefficients R_{xx} , R_{yy} and cross-reflection coefficients R_{xy} , R_{yx} to be induced by the corresponding dissymmetrical radiating element (20).

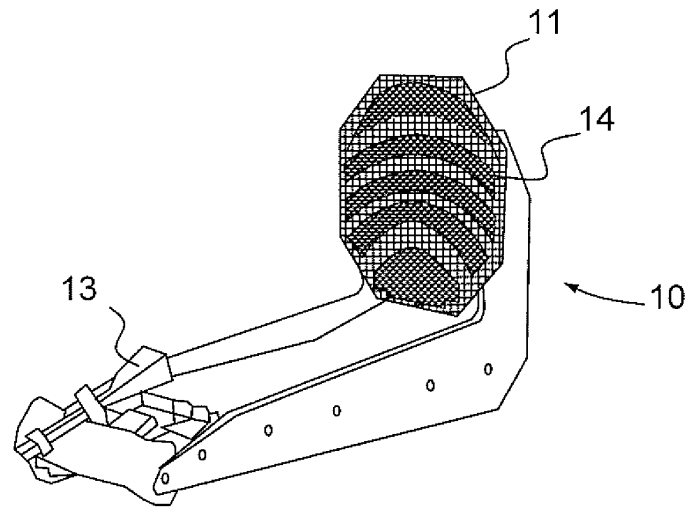


FIG. 1

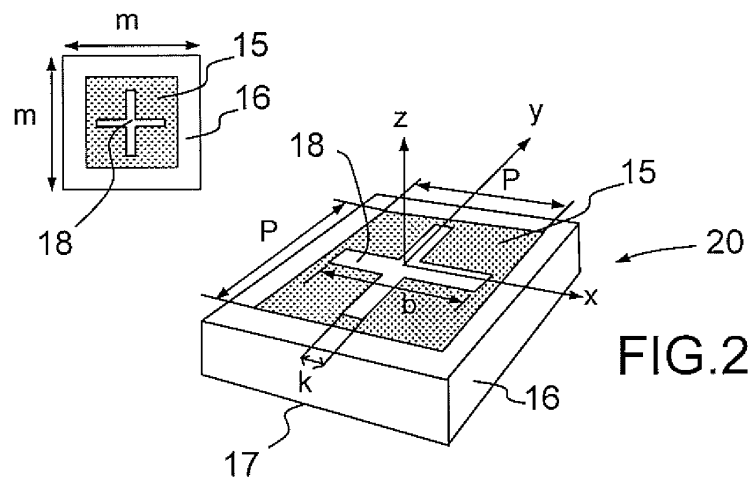


FIG. 2

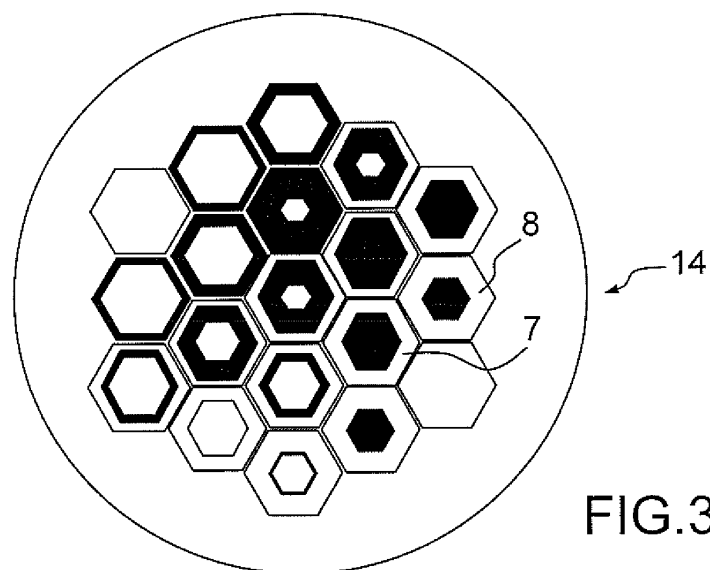


FIG. 3

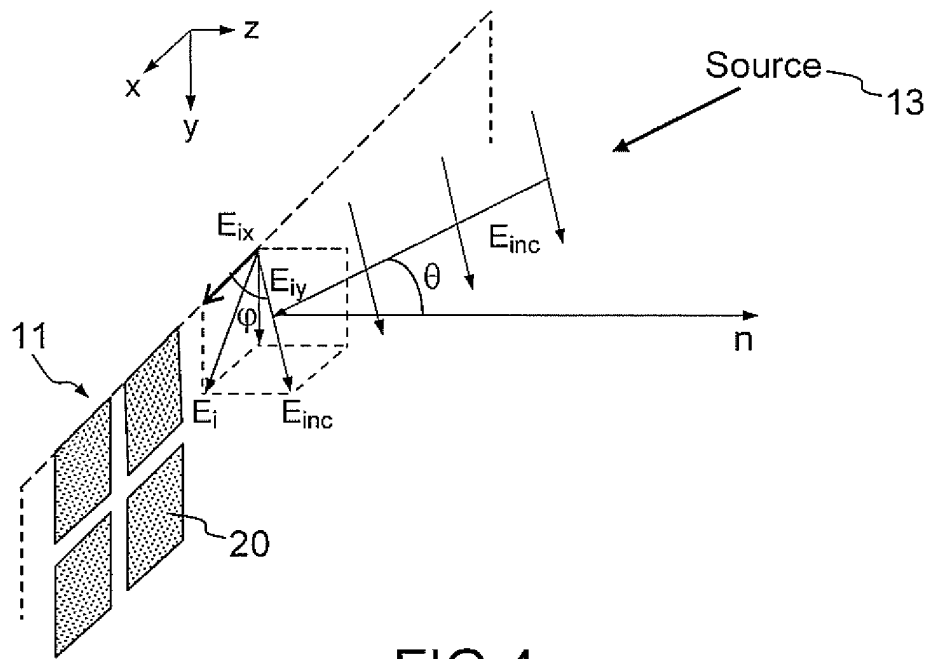


FIG. 4a

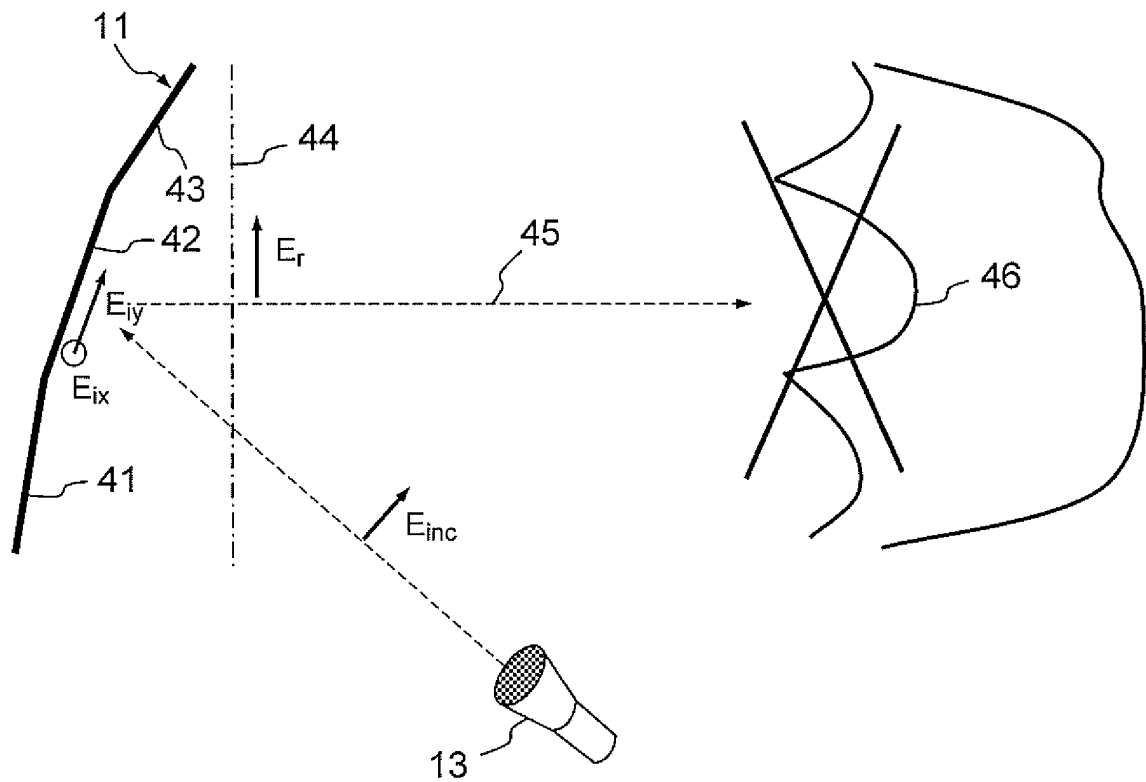


FIG. 4b

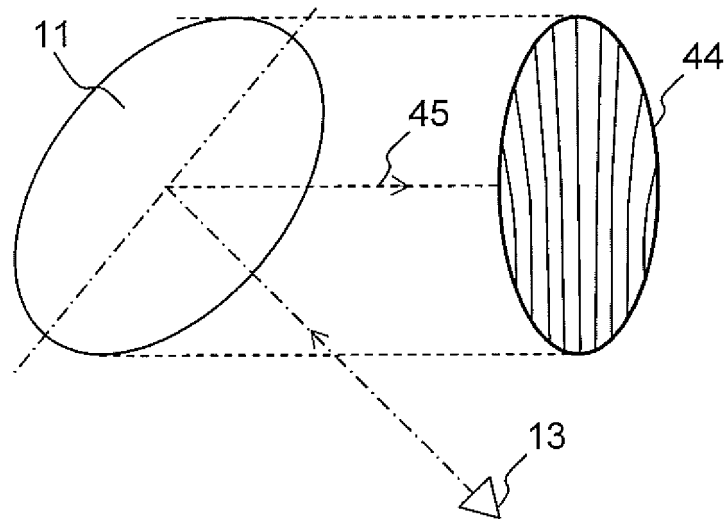


FIG. 5a

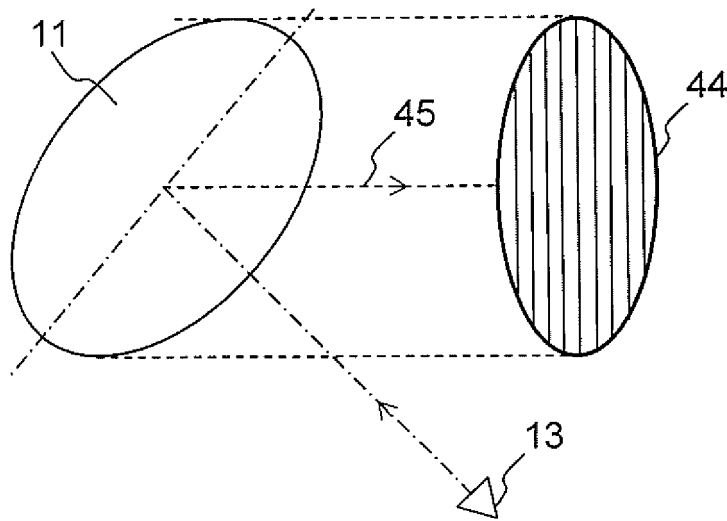
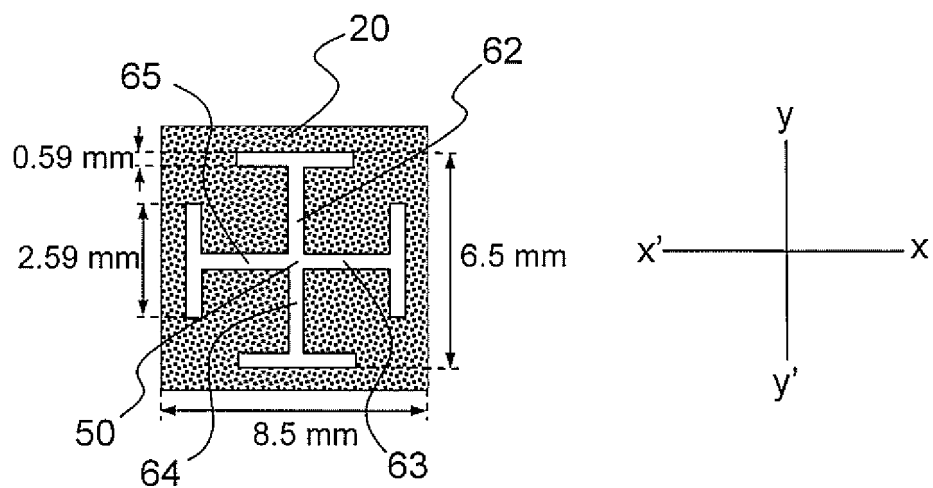


FIG. 5b



60		61	
-0.2dB/45.4°	-29.3dB/-45.2°	-0.1dB/42.9°	-21.1dB/-126°
-29.2dB/-45.2°	-0.2dB/45.6°	-21.8dB/32.8°	-0.2dB/42.5°
Matrice élément symétrique		Matrice souhaitée	

FIG.6a

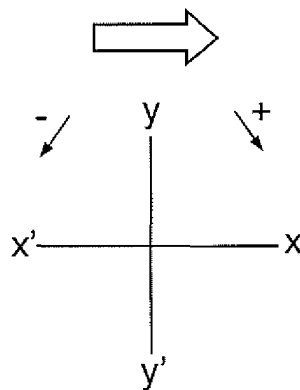
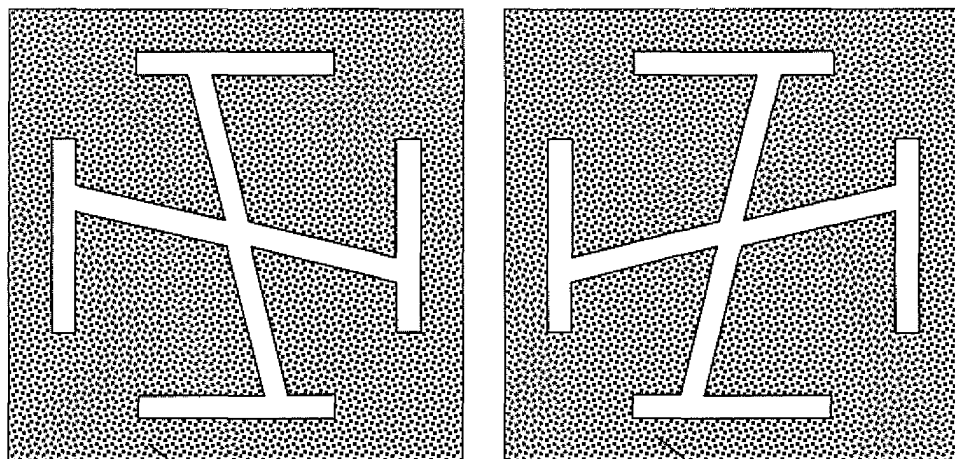
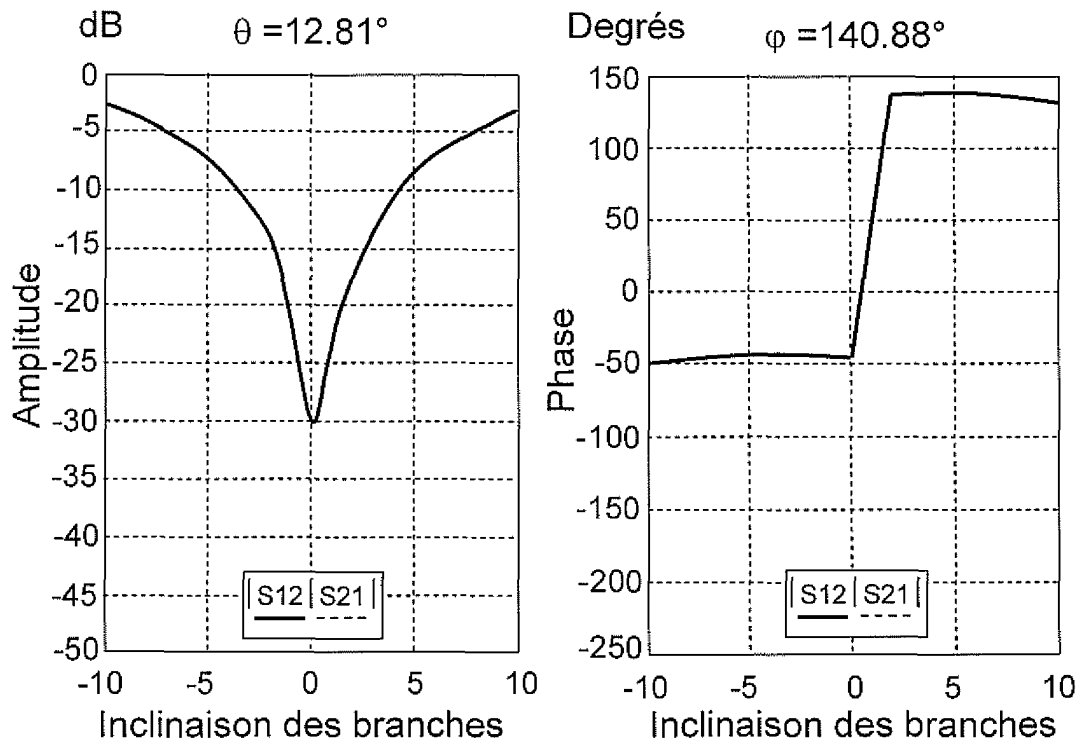


FIG.6b

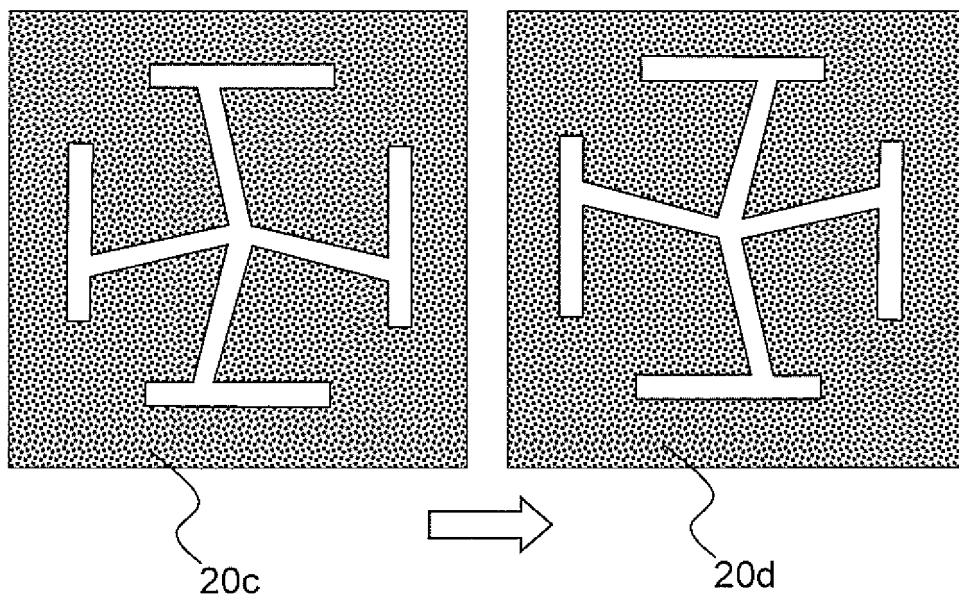
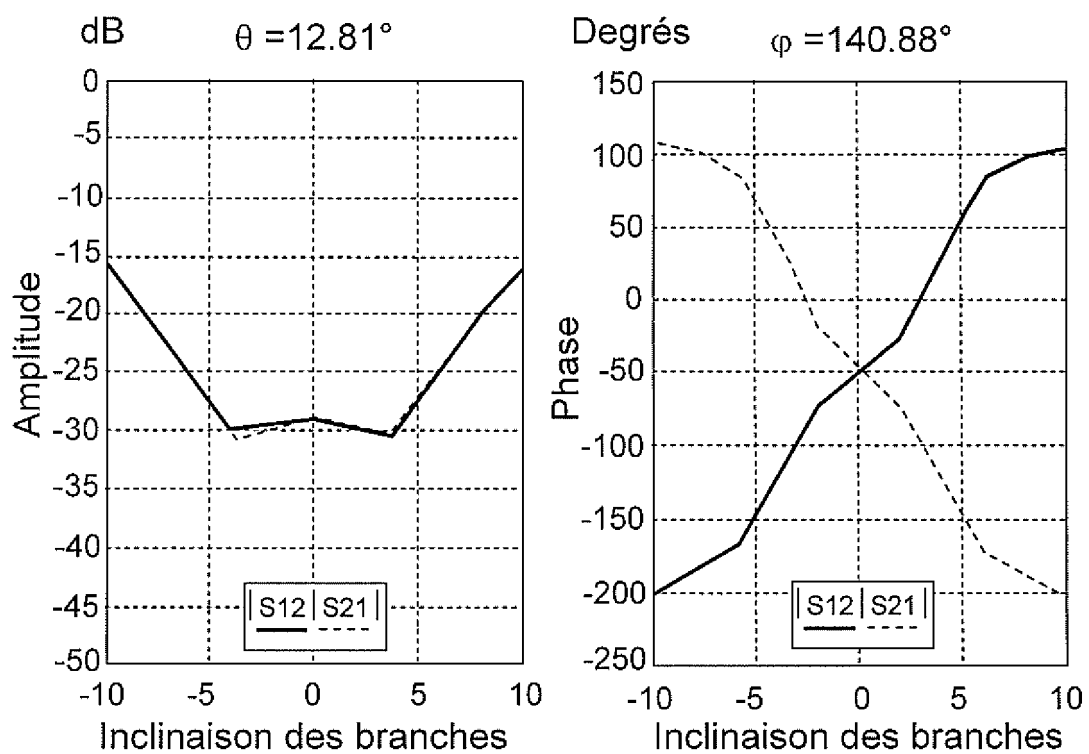


FIG.6c

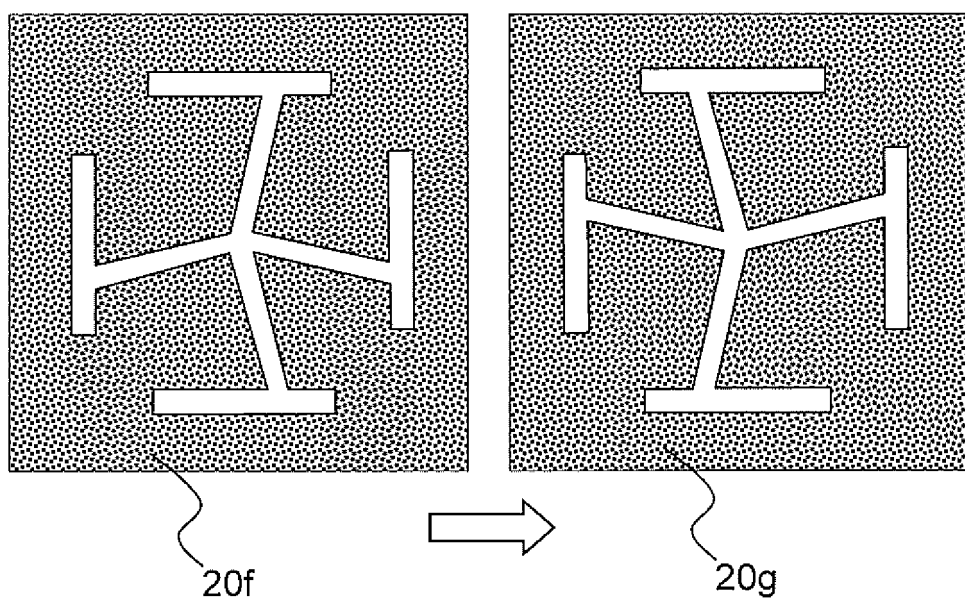
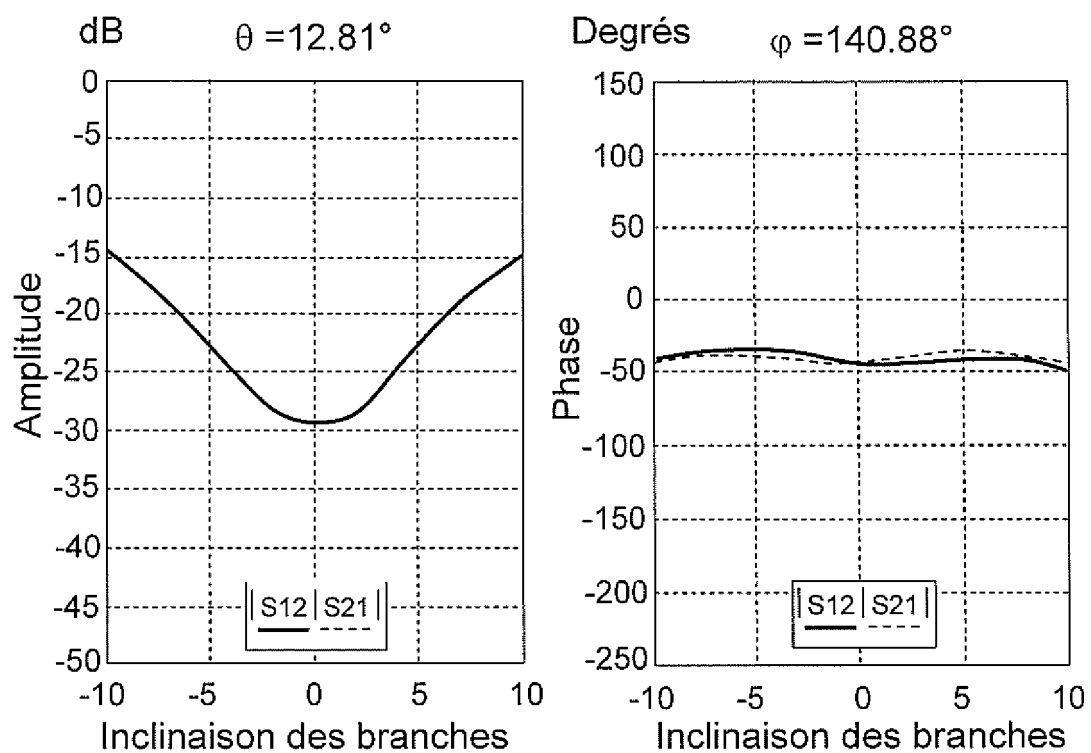


FIG.6d

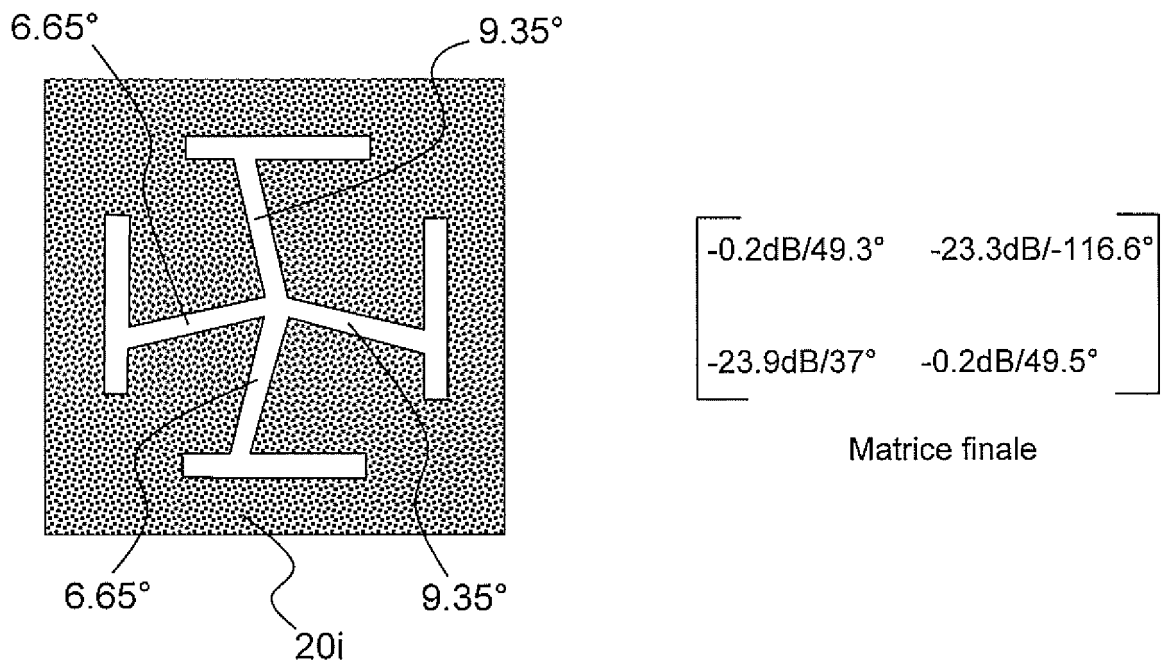


FIG. 6e

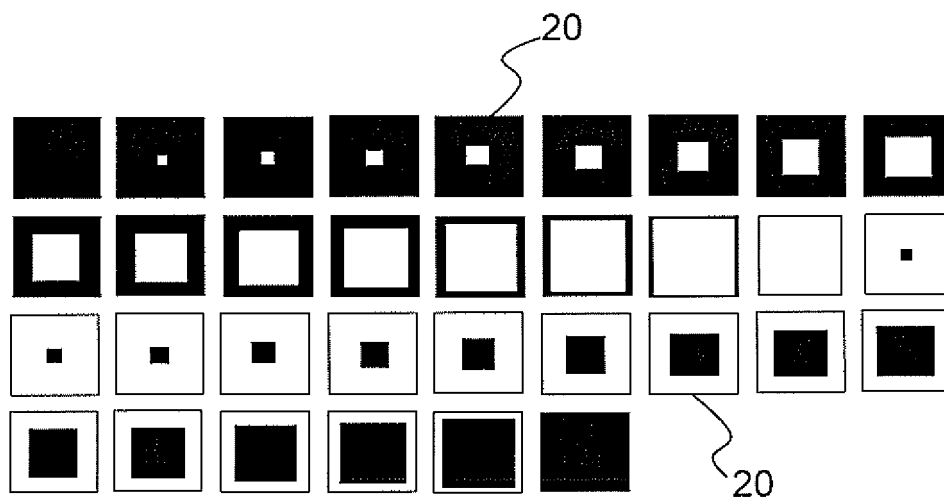


FIG. 7

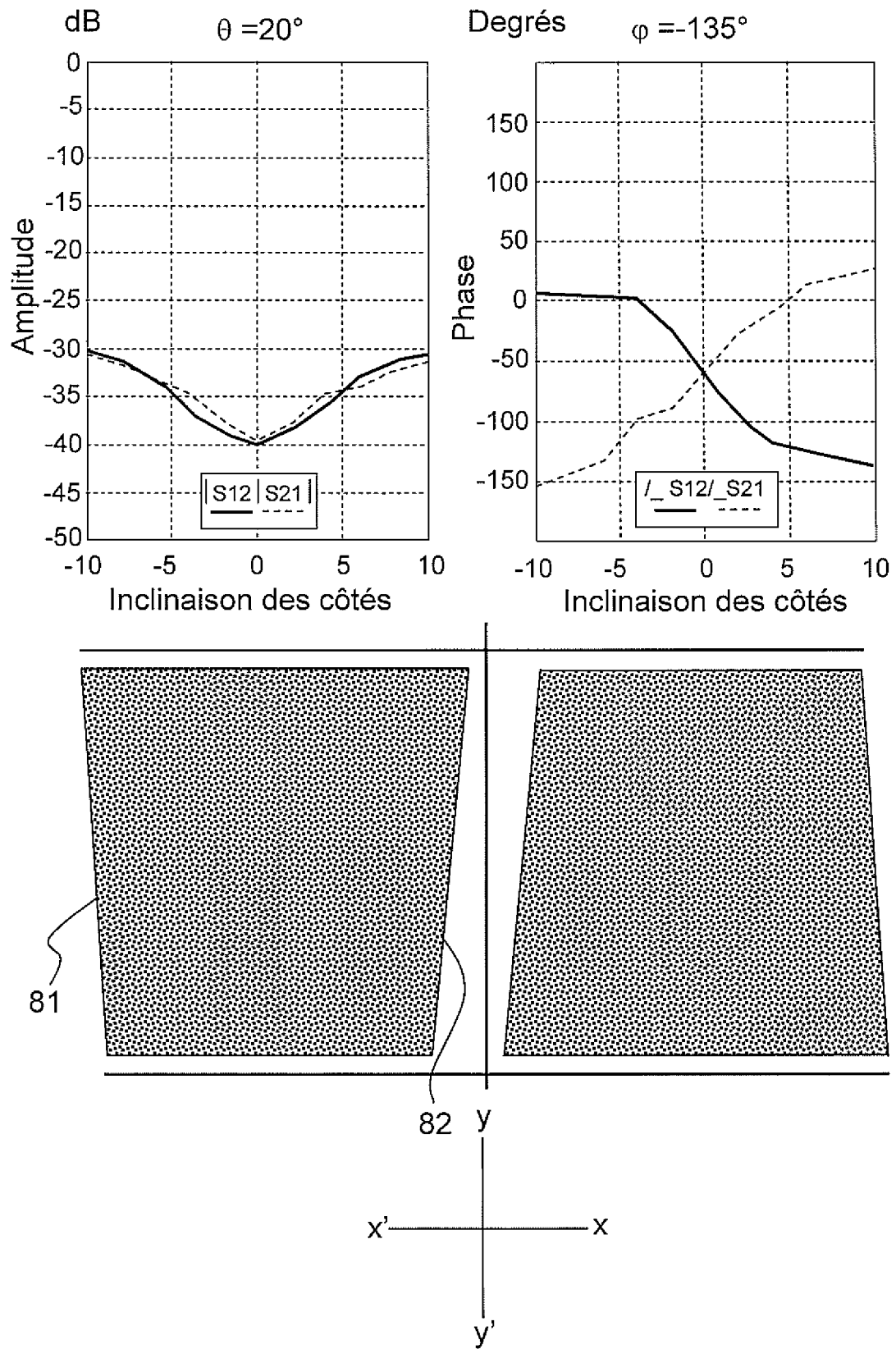


FIG.8a

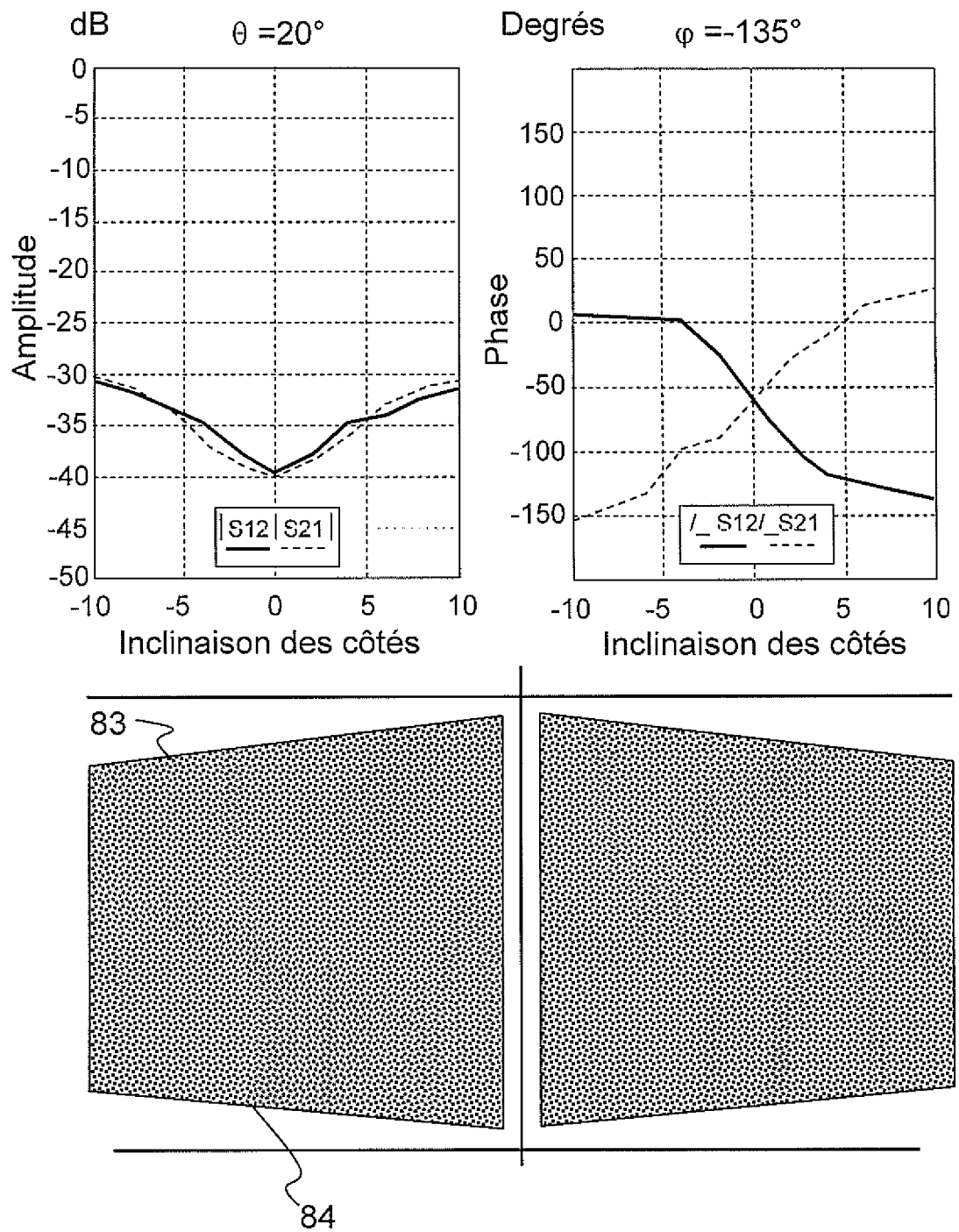


FIG.8b

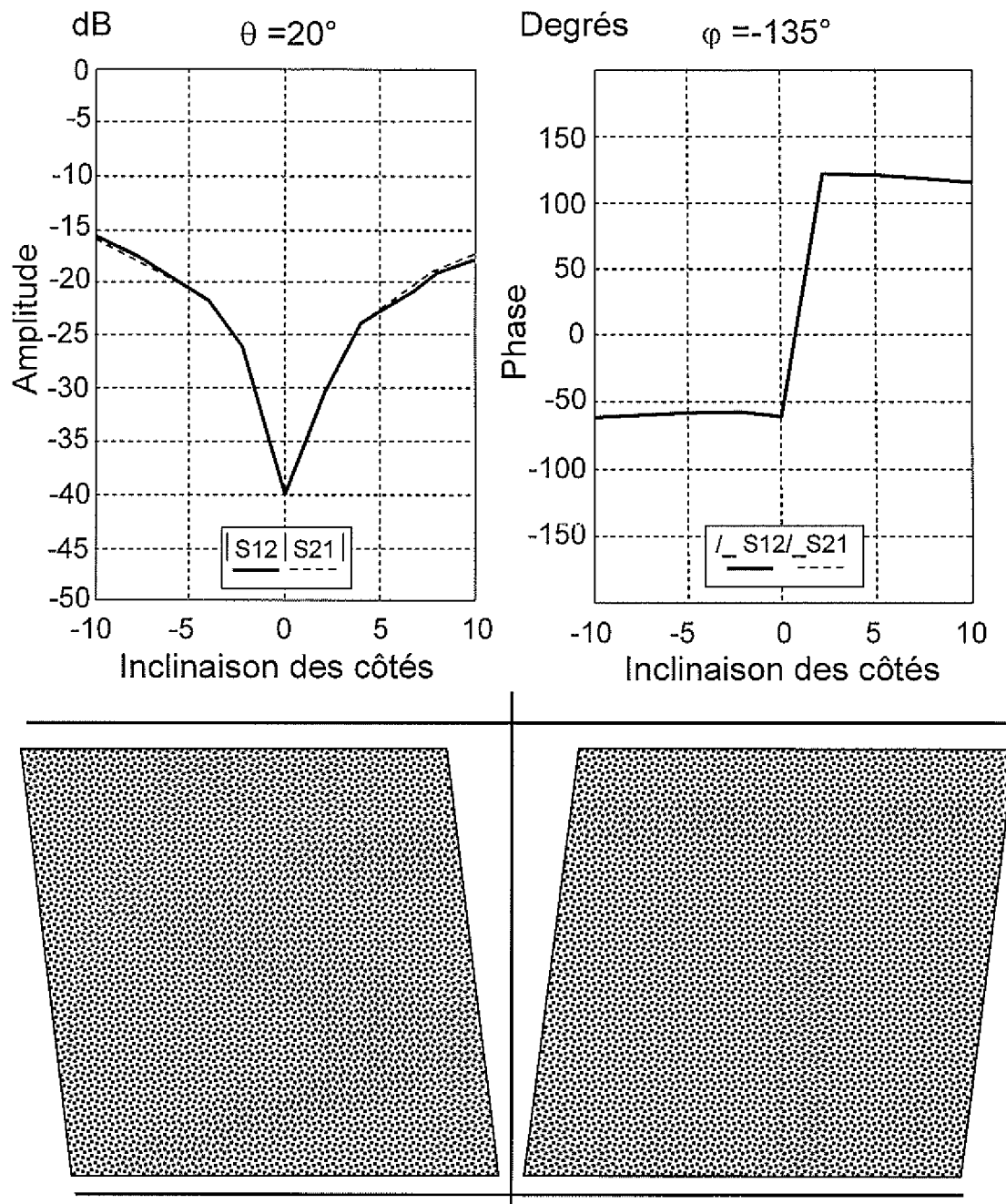


FIG.9a

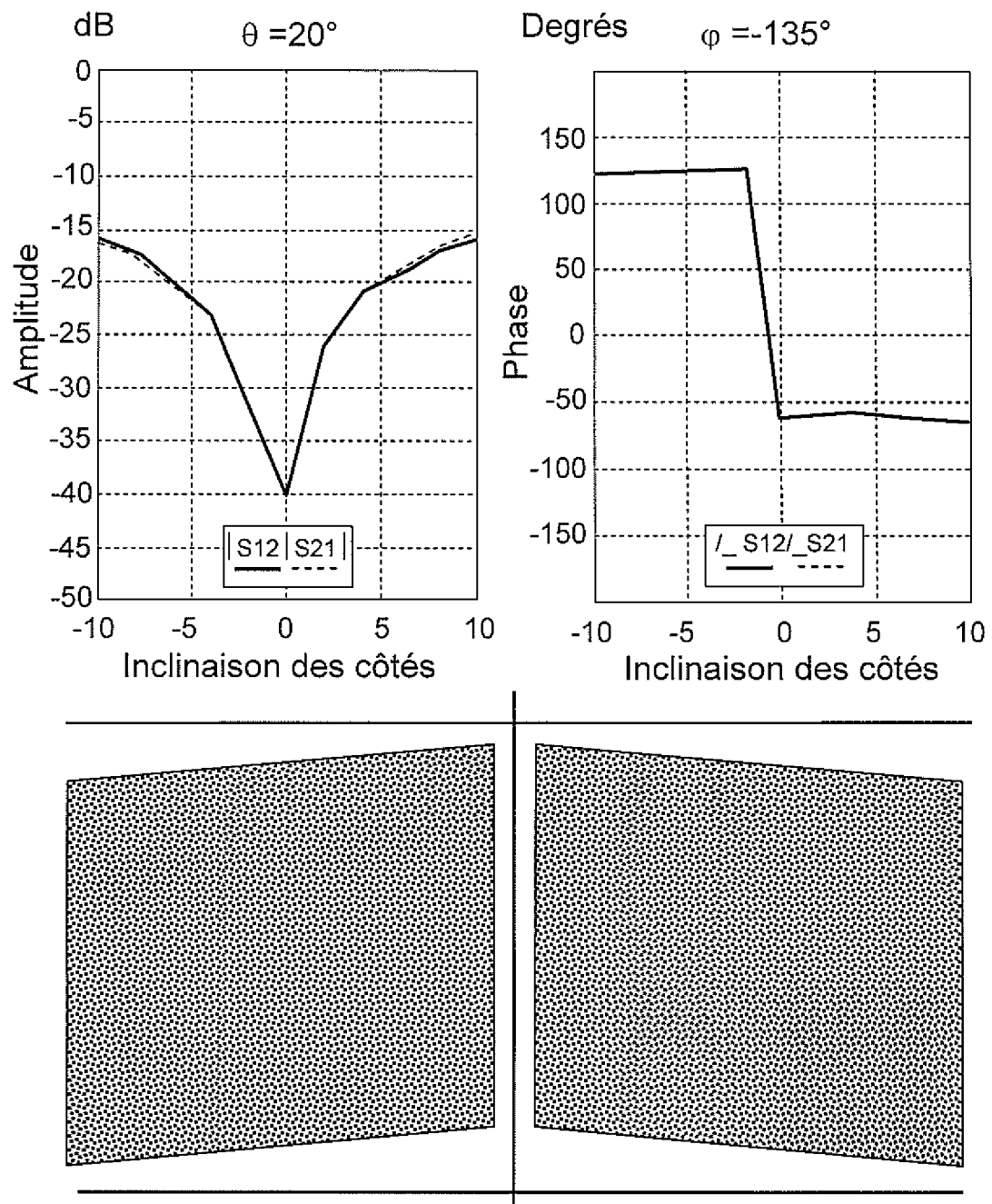


FIG.9b

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 6081234 A [0006]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **G. FRANCESCHETTI.** Campi Elettromagnetici.
1988 [0029]