



(11)

EP 4 191 793 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
07.06.2023 Bulletin 2023/23

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 3/44 (2006.01) H01Q 19/28 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22208983.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 3/446; H01Q 19/28

(22) Date de dépôt: **23.11.2022**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **BORIES, Serge**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **CLEMENTE, Antonio**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beaumont**
4, Place Robert Schuman
B.P. 1529
38025 Grenoble Cedex 1 (FR)

(30) Priorité: **01.12.2021 FR 2112800**

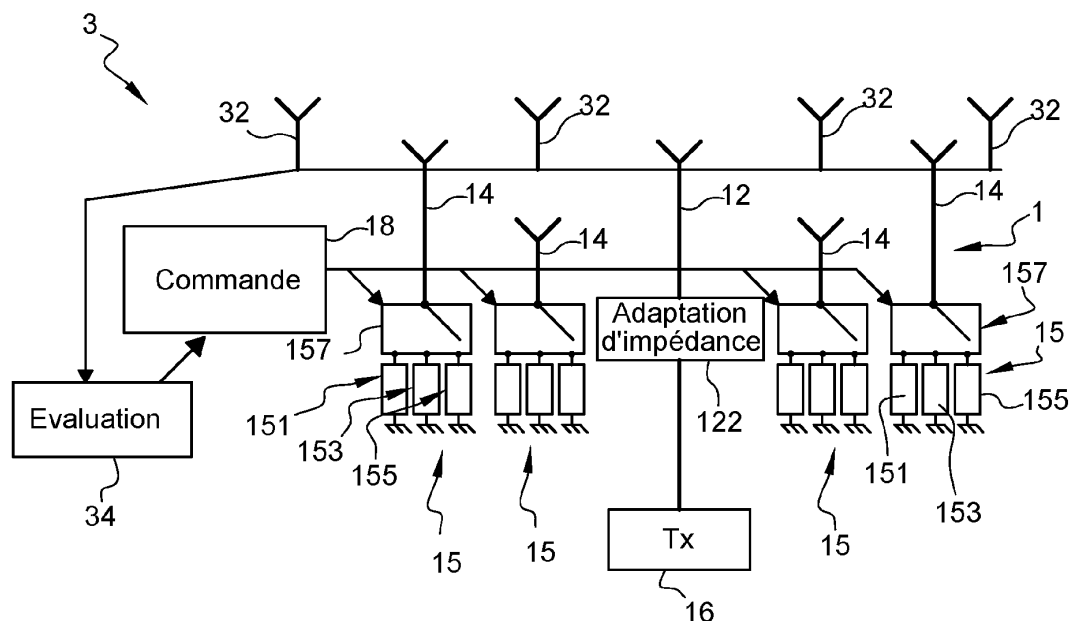
(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(54) **SYSTÈME ANTENNAIRE À RAYONNEMENT CONTRÔLÉ**

(57) La présente description concerne un système antenneur comportant un élément d'antenne (12) d'émission ou de réception, un réseau d'éléments d'antenne parasites (14) associés individuellement à des charges reconfigurables (15), une ou plusieurs antennes (32) en champ proche et un circuit (18, 34) de réglage

de la configuration du réseau d'éléments d'antenne parasites en fonction d'un rayonnement capté par la ou les antennes en champ proche pendant une émission radiofréquence par l'élément d'antenne d'émission ou de réception.

Fig. 1



Description

Domaine technique

[0001] La présente description concerne de façon générale les réseaux d'antennes et plus particulièrement les antennes compactes et directives. La présente description s'applique plus particulièrement aux réseaux d'antennes reconfigurables.

Technique antérieure

[0002] Les réseaux d'antennes sont largement utilisés dans les systèmes de détection ou de transmission radiofréquence, notamment dans les systèmes de télécommunication.

[0003] Les antennes dites directives ou super directives sont basées sur un réseau d'éléments d'antenne. Elles sont généralement réalisées à partir d'un réseau d'éléments d'antenne dans lequel les antennes sont pondérées et configurées pour focaliser le faisceau dans une direction donnée. Ceci peut être implémenté sous la forme d'une architecture à éléments parasites (une seule antenne, excitée par un générateur, qui est couplée à une ou plusieurs antennes dites parasites, reliées à une condition de charge donnée) ou d'une architecture basée sur le contrôle de l'amplitude et la phase associées à chaque élément du réseau d'antennes. Les architectures d'antennes à éléments parasites exploitent les couplages et interférences entre les différents éléments d'antenne pour régler le diagramme de rayonnement de l'antenne avec un lobe principal (utile) dans une direction donnée (antenne unidirectionnelle) et de largeur angulaire donnée, ou plusieurs lobes utiles dans différentes directions (antenne pluridirectionnelle).

[0004] De telles antennes sont particulièrement sensibles à leur environnement, qui est susceptible d'engendrer des distorsions dans le diagramme de rayonnement de l'antenne. Ce problème est d'autant plus critique que l'antenne est petite en taille électrique (taille physique rapportée à la longueur d'onde). De plus, plus l'antenne est petite, plus elle est sensible aux perturbations de son environnement proche. Par exemple, dans un dispositif de télécommunication de type téléphone, une telle antenne est sensible aux perturbations engendrées par les mouvements de la main ou les changements de position du corps d'un utilisateur par rapport à l'antenne.

[0005] On a déjà proposé des systèmes d'étalonnage de réseaux d'antennes qui modifient les coefficients de pondération des éléments d'antennes en fonction de conditions de fonctionnement pendant des phases d'étalonnage de l'antenne.

[0006] Le document US 2015/0115978 décrit un système antennaire dans lequel un réseau de sondes électro-optiques réparties dans le radôme de l'antenne est utilisé dans des phases d'étalonnage pendant lesquelles une antenne distincte, dédiée à l'étalonnage, émet. Les coefficients associés à chaque élément d'an-

tenne sont réglés, pendant cette phase d'étalonnage, en fonction des signaux reçus par les différents éléments d'antenne et de signaux rétro-modulés par les sondes électro-optiques.

[0007] Le document US 2016/0036127 décrit un système d'antennes reconfigurable, dans lequel une antenne reconfigurable en fréquence est associée à des éléments d'émission parasites pour régler la directivité. Ces éléments sont associés à des composants de mesure pour l'adaptation d'impédance et à d'autres éléments de réglage pour ajuster le diagramme de rayonnement. Ces mesures et réglages ne s'accompagnent cependant pas de rétroaction en vue du réajustement des charges qui contrôlent le diagramme de rayonnement.

[0008] Les systèmes d'étalonnage connus ne sont pas adaptés à un réglage en temps réel du diagramme de rayonnement, en particulier lorsqu'ils requièrent un élément d'émission dédié à l'étalonnage. Or, un tel réglage serait souhaitable notamment pour des antennes sensibles à des perturbations environnementales proches.

[0009] De plus, la précision requise pour l'ajustement des coefficients de pondération d'amplitude et de phase des différents éléments d'antenne en raison de la miniaturisation des antennes rend les solutions de mesure indirecte (mesure d'impédance) inadaptées.

Résumé de l'invention

[0010] Il existe un besoin pour une antenne d'émission ou réception directive ou super directive adaptée à être ajustée en temps réel.

[0011] Il existe un besoin pour une antenne reconfigurable dont les réglages sont effectués à partir de mesures directes de rayonnement.

[0012] Un mode de réalisation pallie tout ou partie des inconvénients des réseaux d'antennes reconfigurables connus.

[0013] Un mode de réalisation prévoit un système antennaire comportant :

- un élément d'antenne d'émission ou de réception ;
- un réseau d'éléments d'antenne parasites associés individuellement à des charges reconfigurables ;
- une ou plusieurs antennes en champ proche ; et
- un circuit de réglage de la configuration du réseau d'éléments d'antenne parasites en fonction d'un rayonnement capté par la ou les antennes en champ proche pendant une émission radiofréquence par l'élément d'antenne d'émission ou de réception.

[0014] Selon un mode de réalisation, le circuit est configuré pour ajuster des valeurs d'impédance des charges reconfigurables en fonction d'une comparaison, à des données de référence, de données représentatives d'un diagramme de rayonnement du système.

[0015] Selon un mode de réalisation, les données de référence sont représentatives de diagrammes de rayonnement du système en présence de perturbations.

[0016] Selon un mode de réalisation, l'écart entre deux éléments d'antenne est inférieur au quart de la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau.

[0017] Selon un mode de réalisation, l'écart entre chaque antenne en champ proche et l'élément d'antenne le plus proche est inférieur au dixième de la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau.

[0018] Selon un mode de réalisation, le système comprend exactement huit d'éléments d'antenne parasites équidistants de l'élément d'antenne d'émission ou de réception et répartis tous les 45° autour dudit élément.

[0019] Selon un mode de réalisation, l'élément d'antenne d'émission ou de réception et le réseau d'éléments d'antenne parasites associés individuellement aux charges reconfigurables font partie d'un réseau d'éléments d'antenne reconfigurable.

[0020] Un mode de réalisation prévoit un procédé de configuration du système antenne tel que décrit, comprenant les étapes suivantes :

- a) identifier, parmi un ensemble de données de référence, des données de référence les plus proches possible de données représentatives d'un diagramme de rayonnement du système ; et
- b) ajuster des valeurs d'impédance des charges reconfigurables en fonction des données de référence identifiées.

[0021] Selon un mode de réalisation, les données de référence sont représentatives de diagrammes de rayonnement du système en présence de perturbations.

[0022] Selon un mode de réalisation, à l'étape b), les valeurs d'impédance des charges reconfigurables sont ajustées à des valeurs de référence associées aux données de référence identifiées à l'étape a).

[0023] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, préalablement à l'étape a), une étape d'enregistrement des données de référence, lesdites données étant représentatives de diagrammes de rayonnement du système en présence de perturbations.

Breve description des dessins

[0024] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation et modes de mise en œuvre particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 représente, de façon très schématique, un mode de réalisation d'un système antenne ;

la figure 2 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation d'agencement d'antennes dans un système antenne du type de celui de la figure 1 ;

la figure 3 représente, de façon très schématique et sous forme de blocs, un exemple d'architecture fonctionnelle d'un mode de réalisation de système antenne ;

la figure 4 représente, de façon très schématique et sous forme de blocs, un mode de mise en œuvre d'un procédé d'asservissement de paramètres des éléments d'antenne d'un système antenne ;

la figure 5 illustre, de façon très schématique et par un chronogramme, la mise en œuvre de l'asservissement du réglage d'un réseau d'antennes configurable ;

la figure 6 est un diagramme illustrant un mode de mise en œuvre d'un procédé d'apprentissage ; et

la figure 7 est un diagramme illustrant un mode de mise en œuvre d'un procédé d'ajustement, en cas de perturbation, d'un champ émis par le système antenne de la figure 3.

Description des modes de réalisation

[0025] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation et modes de mise en œuvre peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

[0026] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation et modes de mise en œuvre décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les applications susceptibles de mettre en œuvre les réseaux d'antennes reconfigurables de la présente description ne sont pas détaillées, les modes de réalisation et modes de mise en œuvre décrits étant compatibles avec les applications usuelles mettant en œuvre des réseaux d'antennes reconfigurables.

[0027] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.

[0028] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence, sauf précision contraire, à l'orientation des figures.

[0029] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

[0030] Selon les modes de réalisation et modes de mise en œuvre décrits, on prévoit d'associer, à un réseau d'éléments d'antenne constituant une antenne directive reconfigurable, des éléments de mesure du rayonnement en champ proche autour du réseau d'antennes.

[0031] Les antennes super directives reconfigurables peuvent se répartir en trois catégories selon la nature du système réglant la directivité.

[0032] Une première catégorie concerne les antennes à éléments parasites, dans lesquelles un seul des éléments du réseau d'antennes est actif (c'est-à-dire excité par le signal radiofréquence à émettre, ou signal utile, et/ou relié à un détecteur du rayonnement capté) tandis que les autres éléments du réseau sont chargés par des impédances calculées pour conférer à l'élément actif un lobe de rayonnement souhaité. Typiquement, les éléments d'antenne secondaires sont associés à des charges présentant des impédances déterminées en fonction des contributions parasites souhaitées sur l'élément d'antenne principal pour concentrer le lobe de l'antenne principale dans la direction souhaitée.

[0033] Une deuxième catégorie concerne les antennes constituées d'un réseau phasé numérique, dans lequel chaque élément d'antenne est relié à une chaîne d'émission-réception radiofréquence. Des coefficients de pondération individuels d'amplitude et de phase sont affectés à chaque élément d'antenne en bande de base (en amont de l'amplificateur et du déphaseur de chaque antenne), afin que le réseau présente une directivité souhaitée.

[0034] Une troisième catégorie concerne les antennes constituées d'un réseau phasé analogique dans lequel, comme pour le réseau phasé numérique, chaque élément d'antenne émet et/ou reçoit une portion du signal utile. Toutefois, dans le cas des antennes à réseau phasé analogique, la division de puissance et les pondérations d'amplitude et de phase affectées à chaque élément sont effectuées au niveau de chaque élément d'antenne, par un réglage de l'amplificateur et du déphaseur qui lui sont associés.

[0035] Le diamètre du réseau antennaire est dit « compact » si l'espacement radial entre l'élément central et les éléments parasites est inférieur à $0,25\lambda$ (λ), où λ représente la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande de fréquences de fonctionnement du réseau d'antennes.

[0036] Dans la description qui suit, on prendra pour exemple un réseau d'antennes selon la première catégorie, c'est-à-dire un réseau dans lequel un seul des éléments d'antenne est actif en étant connecté au transmetteur radiofréquence et émet ou interprète le signal utile.

[0037] La figure 1 représente, de façon très schématique, un mode de réalisation d'un système antennaire d'émission radiofréquence.

[0038] Ce système comporte un réseau 1 d'éléments

d'antenne géométriquement répartis dans l'espace. En prenant l'exemple d'un réseau à un seul élément actif, le réseau 1 comporte un élément ou antenne 12 d'émission et plusieurs éléments ou antennes 14 répartis autour de l'élément 12. Pour réaliser une antenne super directive, les éléments 12 et 14 sont de préférence disposés les uns par rapport aux autres avec des distances inter-éléments comprises entre $0,5\lambda$ et $0,2\lambda$, plus préférentiellement comprises entre $0,25\lambda$ et $0,5\lambda$, où λ (λ) représente la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande de fréquences de fonctionnement de l'antenne. En d'autres termes, l'écart entre deux éléments d'antenne 12, 14 du réseau 1 est inférieur à la moitié, de préférence inférieur au quart, de la longueur d'onde λ de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau.

[0039] Selon un mode de réalisation préféré, les éléments 14 sont de préférence sensiblement équidistants de l'élément 12 et répartis de façon régulière autour de l'élément 12. Les éléments 14 sont, par exemple, situés sur le pourtour d'un cercle centré sur l'élément 12 et répartis à intervalles réguliers sur le pourtour de ce cercle. Le réseau 1 comporte, de préférence, huit éléments 14 équidistants de l'élément 12. Dans ce cas, les éléments 14 sont répartis tous les 45° autour de l'élément 12.

[0040] L'élément d'émission 12 est relié, de préférence par l'intermédiaire d'un réseau d'adaptation d'impédance 122 (Adaptation d'impédance), à un circuit électronique d'émission 16 (Tx). Des éléments usuels (non représentés) transmettent au circuit 16 des signaux radiofréquence à émettre en fonction de l'application. Dans les modes de réalisation plus particulièrement visés par la présente description, la fréquence centrale de la bande de fréquences d'émission est de l'ordre du gigahertz, de préférence d'une valeur comprise entre 100 MHz et 7 GHz.

[0041] Chaque élément parasite 14 est associé à une charge configurable 15, de préférence constituée de composants passifs commutables pour former des impédances de valeurs variables. Dans l'exemple de la figure 1, chaque charge configurable 15 est symbolisée par trois impédances 151, 153 et 155, reliées d'une part à la masse et, d'autre part, individuellement à un sélecteur 157 de connexion d'une des impédances 151, 153 et 155 à l'élément d'antenne parasite associé 14. Bien que l'on ait représenté en figure 1 trois impédances 151, 153 et 155 pour chaque charge configurable 15, il est évident que les charges configurables 15 peuvent chacune comporter un nombre quelconque d'impédances. Chaque sélecteur 157 est commandable individuellement à partir d'un circuit électronique numérique 18 (Commande) de commande de fréquence centrale et de direction de faisceau.

[0042] Il ne s'agit que d'un exemple et toute structure usuelle de charge parasite configurable peut être utilisée. On peut notamment prévoir une variante dans laquelle les impédances 151, 153 et 155 de tout ou partie des charges configurables 15 sont remplacées par un seul composant présentant une impédance variable. Le sé-

lecteur 157 peut alors être omis, le composant d'impédance variable étant dans ce cas connecté d'une part à la masse et, d'autre part, directement à l'élément 14 qui lui est associé.

[0043] L'architecture décrite jusqu'ici en relation avec la figure 1 pourra être remplacée par tout système antenne à réseau d'antennes reconfigurable, qu'il soit à éléments parasites ou à réseau phasé de plusieurs éléments d'antenne actifs.

[0044] Selon les modes de réalisation décrits, on prévoit d'associer, au réseau 1 d'éléments d'antenne reconfigurable, un dispositif 3 comportant une ou plusieurs antennes en champ proche 32 de mesure du rayonnement émis par le réseau 1. Chaque antenne en champ proche 32 est reliée à un circuit électronique 34 (Évaluation) d'évaluation du rayonnement en champ proche.

[0045] Les résultats fournis par les mesures de rayonnement en champ proche sont interprétés par le circuit 34 pour fournir, au circuit 18, des paramètres de réglage des différentes charges 15. On crée ainsi en quelque sorte une boucle de rétroaction afin d'asservir le rayonnement du réseau d'antennes sur des paramètres de rayonnement (diagramme de rayonnement) souhaités. Dans une réalisation pratique, les circuits 18 et 34 peuvent être confondus et comporter un microcontrôleur de mise en œuvre d'un programme ou algorithme d'interprétation des mesures des signaux captés par les antennes 32 et de détermination des paramètres des charges 15.

[0046] Par « en champ proche » on entend une mesure du champ électromagnétique effectuée à une distance très faible par rapport (de l'ordre de dix fois à vingt fois inférieure) à la longueur d'onde λ correspondant à la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau. Cette distance correspond par exemple à un espacement entre les éléments d'antenne 14 associés aux charges configurables 15 pour former le faisceau. Typiquement, on considère que la zone réactive autour d'une antenne, c'est-à-dire sa sensibilité à la présence d'éléments perturbateurs tels qu'une main, est de l'ordre de $\lambda/2\pi$, soit environ $\lambda/6$. Ainsi, selon un mode de réalisation préféré, chaque antenne 32 est disposée à une distance maximale d'environ $\lambda/10$ de l'élément d'antenne 12 ou 14 qui lui est le plus proche. En d'autres termes, l'écart entre chaque antenne en champ proche et l'élément d'antenne 12 ou 14 le plus proche du réseau 1 est inférieur au dixième de la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau. Les sondes ou antennes 32 peuvent être disposées de manière uniforme ou non-uniforme autour du système antenne, par exemple en fonction du type de rayonnement à échantillonner.

[0047] À titre d'exemple particulier de réalisation, pour un système antenne adapté à une fréquence de fonctionnement de l'ordre du gigahertz, les éléments d'antenne 12 et 14 du réseau d'antennes 1 sont espacés les uns des autres d'une distance maximale de l'ordre de quelques (moins de 10) centimètres. Les antennes 32

sont respectivement espacées de l'élément d'antenne 12 ou 14 qui leur est le plus proche d'une distance d'environ quelques millimètres à quelques centimètres.

[0048] Selon les modes de réalisation décrits, les distances respectives entre les antennes 12, 14 et 32 sont fixes. Ainsi, même si les antennes 32 ont un impact sur le diagramme de rayonnement du système, il est aisé de prendre en compte ces paramètres dans l'algorithme d'analyse des rayonnements captés par les antennes en champ proche 32.

[0049] De préférence, dans un réseau d'antennes à éléments parasites passifs, le nombre d'antennes 32 est inférieur ou égal au nombre d'éléments d'antenne parasites 14 et chaque antenne 32 est associée à un élément d'antenne parasite 14. Dans un réseau d'antennes à éléments parasites actifs ou reconfigurables, le nombre d'antennes 32 est de préférence égal au nombre d'éléments d'antenne 12 et 14 du réseau 1.

[0050] La figure 2 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation d'agencement d'antennes dans un système antenne du type de celui de la figure 1.

[0051] Selon ce mode de réalisation, on prévoit entre quatre et douze (douze, dans la représentation de la figure 2) éléments d'antenne 14 répartis en un premier groupe de six éléments d'antenne 141 et un deuxième groupe de six éléments d'antenne 142, disposés sur deux cercles concentriques autour de l'élément d'antenne 12. On prévoit également un nombre d'antennes 32 fonction du nombre d'éléments d'antenne 141 ou 142, par exemple entre quatre et douze (six dans la représentation de la figure 2). Les antennes 32 sont réparties sur un troisième cercle concentrique et extérieur aux cercles d'éléments 141 et 142.

[0052] La figure 3 représente, de façon très schématique et sous forme de blocs, un exemple d'architecture fonctionnelle d'un mode de réalisation de système antenne.

[0053] Cette figure illustre les principaux éléments du système antenne interagissant.

[0054] On retrouve :

- le circuit électronique d'émission 16 (Transmetteur radiofréquence) relié à l'antenne d'émission 12 (Antenne d'émission) ;
- un réseau 1415 (Réseau parasite reconfigurable) d'éléments parasites reconfigurables (éléments 14 et charges 15, figure 1) ;
- un réseau d'antennes ou sondes en champ proche 32 (Sondes) ; et
- des circuits électroniques 1834 (Unité de traitement) remplissant, entre autres, les fonctions d'interprétation des mesures des signaux captés par les antennes 32 et de détermination des paramètres des charges du réseau 1415.

[0055] Dans l'exemple représenté, le système comporte en outre une mémoire 20 (Mémoire). La mémoire

20 comprend par exemple au moins une région mémoire de stockage non volatil et au moins une autre région mémoire de stockage volatil.

[0056] Le système peut également comporter un ou plusieurs autres éléments. Ces éléments sont symbolisés, en figure 2, par un bloc fonctionnel 22 (FCT).

[0057] Comme l'illustre la figure 3, l'antenne 12, les éléments 14 du réseau parasite 1415 et les sondes 32 sont dans une relation de couplage électromagnétique (Couplage EM).

[0058] La figure 4 représente, de façon très schématique et sous forme de blocs, un mode de mise en œuvre d'un procédé d'asservissement de paramètres des éléments d'antenne 14 du réseau 1 sur des valeurs de consigne (REF) pour un diagramme de rayonnement donné du réseau 1.

[0059] Lorsque le système antenne entre dans un mode d'émission (bloc 52, Émission), le circuit 16 est activé et génère un signal radiofréquence (bloc 54, Génération signal). S'ensuit une émission en champ lointain (bloc 56, Champ lointain) par le réseau selon un diagramme de rayonnement conditionné par les paramètres des antennes parasites 14. Par champ lointain, on entend à une distance du système supérieure à une dizaine de mètres.

[0060] En parallèle, le champ électromagnétique émis en proximité immédiate du réseau 1 est capté (bloc 72, Détection champ proche) par les antennes 32, et les signaux mesurés sont envoyés par celles-ci au circuit 34. Le circuit 34 procède alors à une analyse (bloc 74, Analyse) de ces signaux par rapport à des valeurs de référence ou de consigne (REF). Si les signaux mesurés par les antennes 32 diffèrent des valeurs de référence, le circuit 34 ordonne (bloc 76, Paramètres), par l'intermédiaire du circuit 18, la reconfiguration des impédances de charge 151, 153 et 155 connectées aux éléments d'antenne 14.

[0061] La modification des paramètres des antennes parasites 14, ou de leur contexte immédiat, est immédiate et modifie donc le diagramme de rayonnement du système 1. Les étapes de détection 72, d'analyse 74 et de réglage 76 sont, de préférence, effectuées en boucle (rebouclage de la sortie du bloc 76 sur l'entrée du bloc 72) tant que le réseau 1 émet. Ainsi, il est possible de prévoir, au niveau de l'algorithme d'analyse et de détermination des paramètres de commande des charges configurables 151, 153 et 155, des résultats sous la forme d'augmentations ou de réductions progressives de telle ou telle impédance de chaque charge configurable.

[0062] La figure 5 illustre, de façon très schématique et par un chronogramme, la mise en œuvre de l'asservissement du réglage d'un réseau d'antennes reconfigurable.

[0063] Cette figure représente, de façon simplifiée, un exemple de perturbation d'un lobe principal d'émission par rapport à un niveau de consigne ou de référence REF (Directivité de référence (REF)). En supposant l'arrivée d'une perturbation p (Perturbation (p)), par exemple le

mouvement d'une main, dans l'environnement du système, cette perturbation p se traduit par une déformation du diagramme de rayonnement du réseau 1, ou de la direction du lobe, ou encore de la directivité (Directivité dans la direction d'usage (dBi)). La mise en œuvre des étapes de mesure (Détection) et d'analyse du rayonnement capté par les antennes en champ proche 32 corrige (Boucle de convergence) cette dérive en modifiant les paramètres du réseau reconfigurable (les charges 151, 153 et 155) d'antennes 1 jusqu'à retrouver la direction de référence REF.

[0064] Le nombre de points de mesure du rayonnement en champ proche, donc d'antennes 32, dépend de l'application et, notamment, de la résolution ou finesse souhaitée dans le nombre de situations de perturbations à caractériser.

[0065] Un avantage du système décrit tient au fait qu'il permet un asservissement en temps réel du réseau d'antennes d'émission. En effet, les mesures des signaux captés par les antennes 32 du dispositif 3 ainsi que l'analyse et l'interprétation effectuées par le circuit 34 ne requièrent aucune intervention spécifique du système d'émission. Il suffit que celui-ci émette.

[0066] Un autre avantage tient au fait qu'un asservissement en temps réel permet également de compenser d'éventuelles variations du diagramme de rayonnement dues à des évolutions de conditions de fonctionnement telles que la température.

[0067] Par rapport à un système à sondes optiques, un avantage du système décrit est qu'il ne requiert pas d'émission par une antenne spécifique.

[0068] Toutefois, bien que le système décrit soit particulièrement performant pour régler un réseau d'antennes d'émission, on peut alternativement le mettre en œuvre pour un réseau d'antennes de réception. Dans ce cas, on prévoit périodiquement une phase de fonctionnement pendant laquelle le système commute en émission d'un signal par le réseau d'antennes 1. De préférence, pour ne pas perturber la réception, on prévoit qu'une telle phase d'émission et de réglage soit effectuée avec un rapport cyclique (durée de la phase d'émission par rapport à sa périodicité) inférieur à 10 %, de préférence inférieure à 1 %, soit par exemple pendant 1 ms toutes les 100 ms.

[0069] Un système antenne tel que décrit est particulièrement avantageux dans des applications telles que des applications de diagnostics de réseaux d'antennes, des applications de communications radiofréquences de type RFID utilisant des lecteurs miniatures multistandard, des applications d'équipements de mesure de compatibilité électromagnétique ou d'antennes pour chambres d'essai, des radars directifs miniatures, des antennes super directives compactes, etc.

[0070] La figure 6 est un diagramme illustrant un mode de mise en œuvre d'un procédé d'apprentissage. À titre d'exemple, une région mémoire de stockage non volatil de la mémoire 20 (figure 3) stocke des instructions de code de programme qui, lorsqu'elles sont exécutées par

l'unité de traitement 1834, permettent la mise en œuvre de ce procédé.

[0071] À une première étape (bloc 81, Commander l'antenne pour obtenir un diagramme Di de rayonnement), on commande l'antenne 12 (figure 1) de sorte que le réseau 1 émette un champ électromagnétique présentant un diagramme Di de rayonnement. Le diagramme Di correspond par exemple à une situation dans laquelle l'émission de champ, par le réseau 1, n'est soumise à aucune perturbation.

[0072] À une deuxième étape (bloc 82, Provoquer une perturbation du champ émis par l'antenne), postérieure à la première étape 81, on provoque intentionnellement une perturbation du champ électromagnétique rayonné par le réseau 1. Cette perturbation est par exemple causée en plaçant un objet, une main, etc. à proximité, par exemple à une distance de quelques centimètres ou dizaines de centimètres, du réseau 1.

[0073] À une troisième étape (bloc 83, Évaluer un diagramme Dp de rayonnement de l'antenne soumise à la perturbation), postérieure à la deuxième étape 82, on évalue un diagramme Dp de rayonnement émis par le réseau 1. Le diagramme Dp, résultant d'une modification du diagramme Di causée par l'introduction de la perturbation à l'étape précédente, est par exemple évalué comme exposé précédemment en relation avec l'étape 74 du procédé de la figure 4. Des données représentatives du diagramme Dp sont notamment obtenues grâce aux antennes 32 du système 3. Ces données sont par exemple stockées de façon temporaire dans une région mémoire de stockage volatil de la mémoire 20.

[0074] À une quatrième étape (bloc 84, Ajuster les valeurs d'impédances des charges parasites afin de rétablir le diagramme Di), postérieure à la troisième étape 83, on commande, par l'intermédiaire du circuit 18, la reconfiguration des impédances de charge 151, 153 et 155 connectées aux éléments d'antenne 14 de sorte à rétablir, ou à se rapprocher le plus possible, du diagramme Di. En d'autres termes, on cherche à reconfigurer le réseau 1 de sorte qu'il émette, malgré la présence de la perturbation, un champ électromagnétique présentant un diagramme de rayonnement le plus proche possible du diagramme Di rayonné par le réseau 1 en l'absence de perturbations.

[0075] À une cinquième étape (bloc 85, Enregistrer les valeurs d'impédances permettant, à partir du diagramme Dp, de rétablir le diagramme Di), postérieure à la quatrième étape 84, on enregistre ou on stocke les paramètres permettant, lorsque le diagramme Dp de rayonnement est détecté par les antennes 32 du dispositif 3, de rétablir le diagramme Di de rayonnement. Le stockage des paramètres s'effectue par exemple dans une région mémoire de stockage non volatil de la mémoire 20.

[0076] À une sixième étape (bloc 86, Faire cesser la perturbation et appliquer les valeurs d'impédances permettant d'obtenir le diagramme Di en l'absence de perturbations), postérieure à la cinquième étape 85, on retire la perturbation (par exemple, on éloigne l'objet, la main,

etc. par rapport au réseau 1) et on applique les paramètres permettant d'obtenir le diagramme Di de rayonnement en l'absence de perturbations. Pour ce faire, on applique par exemple des paramètres identiques à ceux de la première étape 81.

[0077] Les étapes 81 à 86 du procédé sont par exemple répétées en variant le type de perturbation, la position de l'élément perturbateur (objet, main, etc.) par rapport au réseau 1, le diagramme Di de rayonnement que l'on souhaite obtenir, etc. De façon générale, on cherche à appliquer des perturbations représentatives de situations susceptibles de se produire pendant l'utilisation du réseau 1. On constitue ainsi par exemple, dans la mémoire 20 du système, une table de correspondance entre d'une part des données de référence représentatives des diagrammes de rayonnement du réseau 1 lorsqu'il est soumis à différentes perturbations et, d'autre part, des paramètres, ou valeurs d'impédance de référence, permettant de rétablir ou de se rapprocher du diagramme Di en l'absence de perturbations.

[0078] À titre de variante, on peut prévoir que tout ou partie des données représentatives des diagrammes de rayonnement et des paramètres stockés dans la mémoire 20 du système soient obtenus par simulation, par exemple en simulant un impact de différentes perturbations sur le diagramme de rayonnement du réseau 1 puis en déterminant, par calcul, des paramètres de correction permettant de se ramener au diagramme Di pour chacune de ces perturbations.

[0079] La figure 7 est un diagramme illustrant un mode de mise en œuvre d'un procédé d'ajustement, en cas de perturbation, d'un champ émis par le système antenne de la figure 3. À titre d'exemple, une région mémoire de stockage non volatil de la mémoire 20 (figure 3) stocke des instructions de code de programme qui, lorsqu'elles sont exécutées par l'unité de traitement 1834, permettent la mise en œuvre de ce procédé.

[0080] À une première étape (bloc 91, Commander l'antenne pour obtenir le diagramme Di de rayonnement), on commande l'antenne 12 (figure 1) de sorte que le réseau 1 émette un champ électromagnétique présentant le diagramme Di de rayonnement précédemment décrit en relation avec la figure 6. Le diagramme Di correspond par exemple à une situation dans laquelle l'émission de champ, par le réseau 1, n'est soumise à aucune perturbation.

[0081] À une deuxième étape (bloc 92, En cas de perturbation, évaluer le diagramme Dp de rayonnement de l'antenne soumise à la perturbation), postérieure à la première étape 91, on considère un cas où le réseau 1 est soumis à une perturbation. Le réseau 1 émet alors un champ électromagnétique présentant le diagramme Dp de rayonnement. Pour simplifier, on considère le cas où la perturbation présente à l'étape 92 est similaire à la perturbation volontairement appliquée à l'étape 82 du procédé de la figure 6, et où le diagramme Dp de l'étape 92 correspond au diagramme Dp de l'étape 83 de la figure 6. Toutefois, les étapes ci-dessous sont aisément

adaptables par la personne du métier à un cas où la perturbation est différente de celle de l'étape 82 et où le diagramme Dp est différent de celui de l'étape 83.

[0082] À une troisième étape (bloc 93, Identifier un diagramme Dk de rayonnement se rapprochant du diagramme Dp), postérieure à la deuxième étape 92, on recherche et on identifie un diagramme Dk de rayonnement identique, ou le plus proche possible, du diagramme Dp. À titre d'exemple, l'unité de traitement 1834 parcourt le contenu de la mémoire 20 à la recherche de données représentatives du diagramme Dk se rapprochant au mieux des données représentatives du diagramme Dp. Le diagramme Dk fait par exemple partie d'un ensemble de diagrammes de rayonnement préalablement enregistrés dans la mémoire 20 du système, par exemple lors de la mise en œuvre du procédé de la figure 6 pour différentes perturbations, auxquels correspondent des valeurs d'impédances des charges 15 du réseau 1.

[0083] À une quatrième étape (bloc 94, Appliquer les valeurs d'impédances permettant, à partir du diagramme Dk, de rétablir le diagramme Di), postérieure à la troisième étape 93, on applique les paramètres (valeurs d'impédances) permettant, lorsque le diagramme Dk de rayonnement est détecté par le système 3, de rétablir le diagramme Di ou de se rapprocher au mieux du diagramme Di. Ces paramètres associés au diagramme Dk ont par exemple été préalablement stockés dans la mémoire 20 du système lors de la mise en œuvre du procédé de la figure 6 dans le cas d'une perturbation conduisant au diagramme Dk.

[0084] À une cinquième étape (bloc 95, Une fois la perturbation terminée, appliquer les valeurs d'impédances permettant d'obtenir le diagramme Di en l'absence de perturbations), postérieure à la quatrième étape 94, on suppose que la perturbation a disparu (par exemple, l'objet, la main, etc. s'est éloigné par rapport au réseau 1). On applique alors les paramètres permettant d'obtenir le diagramme Di de rayonnement en l'absence de perturbations. Pour ce faire, on applique par exemple des paramètres identiques à ceux de la première étape 91.

[0085] Un avantage des procédés précédemment décrits en relation avec les figures 6 et 7 tient au fait qu'ils permettent une diminution de temps d'adaptation du réseau 1 en cas de perturbation. Il en résulte une meilleure capacité d'émission et/ou de réception par le réseau 1 malgré la présence de perturbations.

[0086] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, les dimensions du système et les écarts entre antennes dépendent de l'application et notamment de la fréquence du système. De même, le nombre d'éléments d'antenne 12, 14 du réseau 1 et le nombre d'antennes 32 du dispositif 3 dépendent de l'application.

[0087] En outre, bien que cela n'ait pas été décrit en détail, l'adaptation des modes de réalisation et modes

de mise en œuvre décrits à la variante dans laquelle les impédances 151, 153 et 155 de tout ou partie des charges configurables 15 sont remplacées par un seul composant présentant une impédance variable est à la portée de la personne du métier.

[0088] Enfin, la mise en œuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus. En particulier, le choix de la disposition des éléments d'antenne du réseau 1 et des antennes 32 du dispositif 3 dépend de l'application. La personne du métier est notamment capable de disposer les antennes 32 du dispositif 3 de sorte à évaluer le champ émis dans des directions où l'on souhaite rayonner avec une intensité maximale et/ou dans des directions où l'on souhaite rayonner avec une intensité minimale, voire sensiblement nulle.

[0089] En outre, l'adaptation du système décrit à un système antenne dans lequel le réseau d'éléments d'antenne comporte plusieurs antennes émettant avec des coefficients de pondération d'amplitude et de phase fonction du diagramme de rayonnement souhaité est à la portée de la personne du métier.

Revendications

1. Système antenne comportant :

- un élément d'antenne (12) d'émission ou de réception ;
- un réseau d'éléments d'antenne parasites (14) associés individuellement à des charges reconfigurables (15) ;
- une ou plusieurs antennes (32) en champ proche ; et
- un circuit (18, 34) de réglage de la configuration du réseau d'éléments d'antenne parasites en fonction d'un rayonnement capté par la ou les antennes en champ proche pendant une émission radiofréquence par l'élément d'antenne d'émission ou de réception,

dans lequel le circuit (18, 34) est configuré pour ajuster des valeurs d'impédance des charges reconfigurables (15) en fonction d'une comparaison, à des données de référence représentatives de diagrammes (Dk) de rayonnement du système en présence de perturbations, de données représentatives d'un diagramme (Di, Dp) de rayonnement du système.

2. Système selon la revendication 1, dans lequel l'écart entre deux éléments d'antenne (12, 14) est inférieur au quart de la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau.

3. Système selon la revendication 1 ou 2, dans lequel

l'écart entre chaque antenne en champ proche et l'élément d'antenne (12, 14) le plus proche est inférieur au dixième de la longueur d'onde de la fréquence centrale de la bande passante à laquelle est destiné le réseau.

5

4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant exactement huit d'éléments d'antenne parasites (14) équidistants de l'élément d'antenne (12) d'émission ou de réception et répartis tous les 45° autour dudit élément. 10
5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'élément d'antenne (12) d'émission ou de réception et le réseau d'éléments d'antenne (14) parasites associés individuellement aux charges reconfigurables (15) font partie d'un réseau (1) d'éléments d'antenne reconfigurable. 15
6. Procédé de configuration du système antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant les étapes suivantes : 20
 - a) identifier (93), parmi un ensemble de données de référence, les données de référence représentatives des diagrammes (Dk) de rayonnement du système en présence de perturbations les plus proches possible des données représentatives du diagramme (Di, Dp) de rayonnement du système ; et 25
 - b) ajuster (94) les valeurs d'impédance des charges reconfigurables (15) en fonction des données de référence identifiées. 30
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel, à l'étape b), les valeurs d'impédance des charges reconfigurables (15) sont ajustées à des valeurs de référence associées aux données de référence identifiées à l'étape a). 35
8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, comprenant en outre, préalablement à l'étape a), une étape d'enregistrement (85) des données de référence. 40

45

50

55

Fig. 1

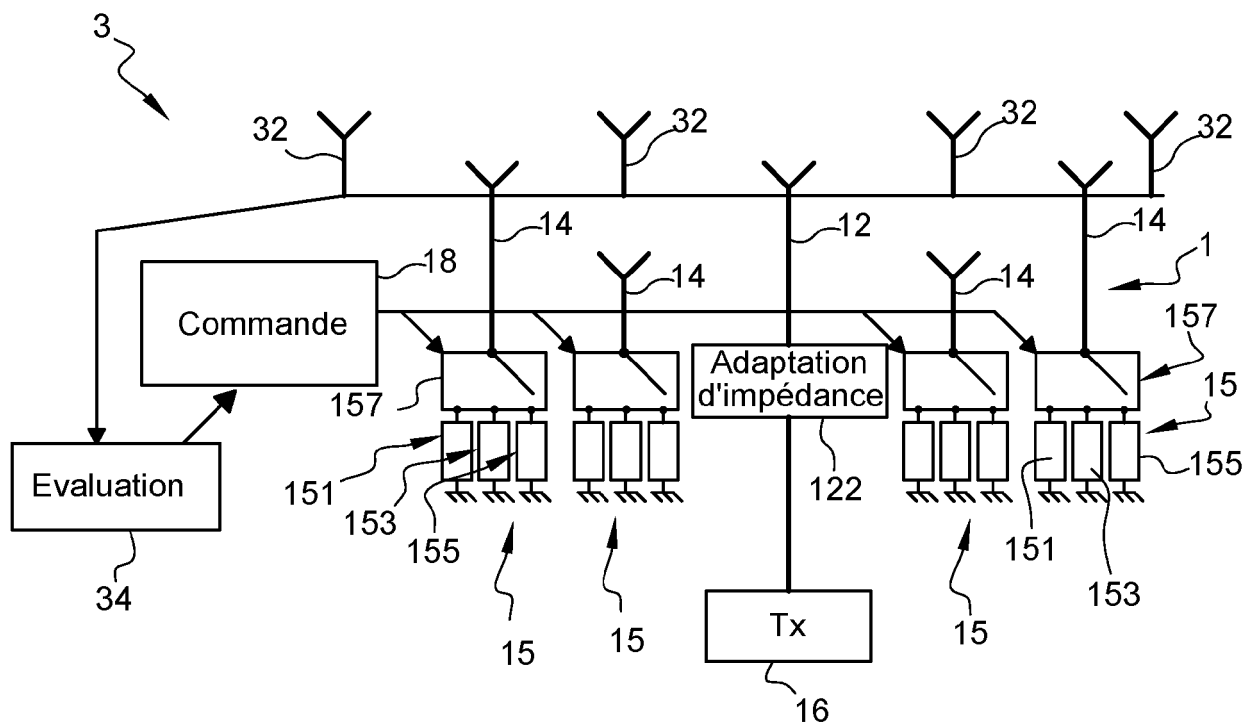


Fig. 2

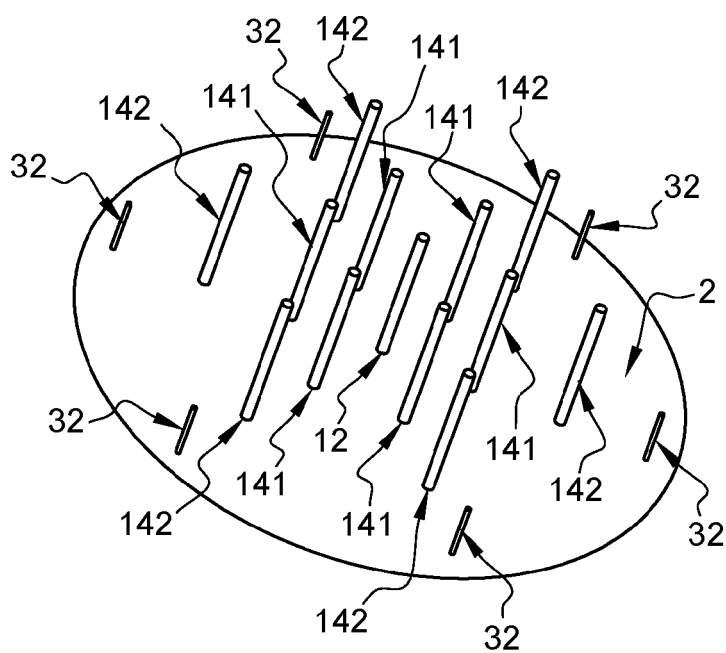


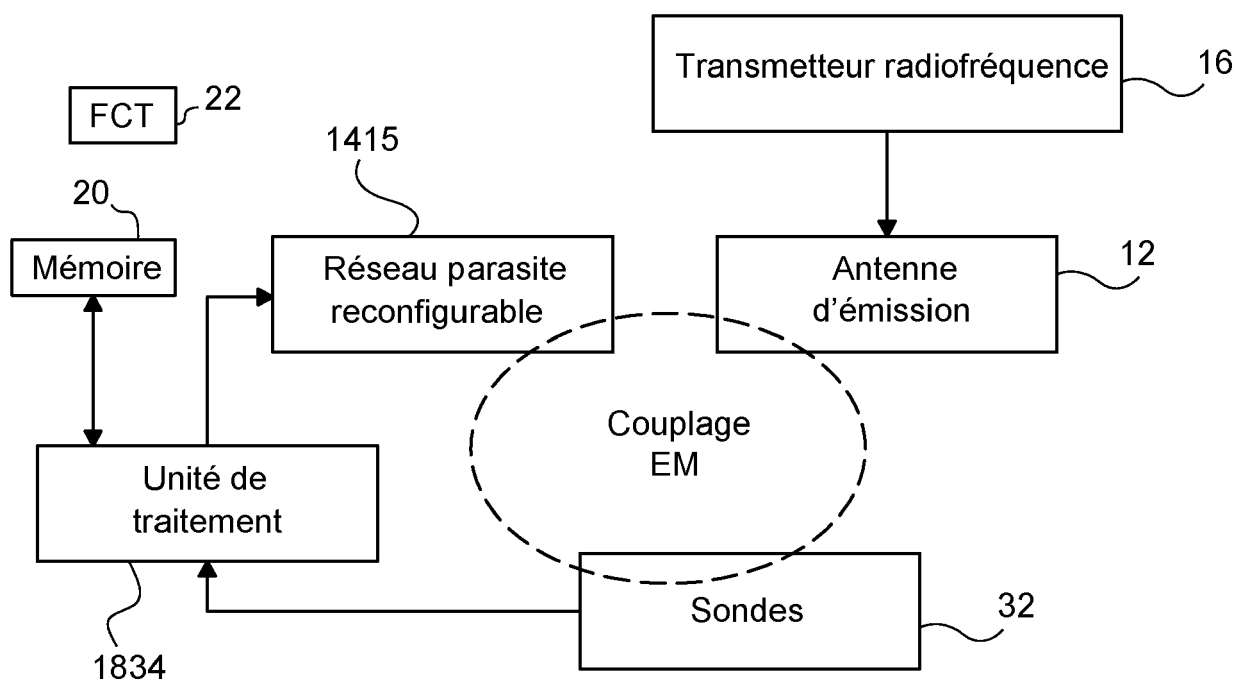
Fig. 3

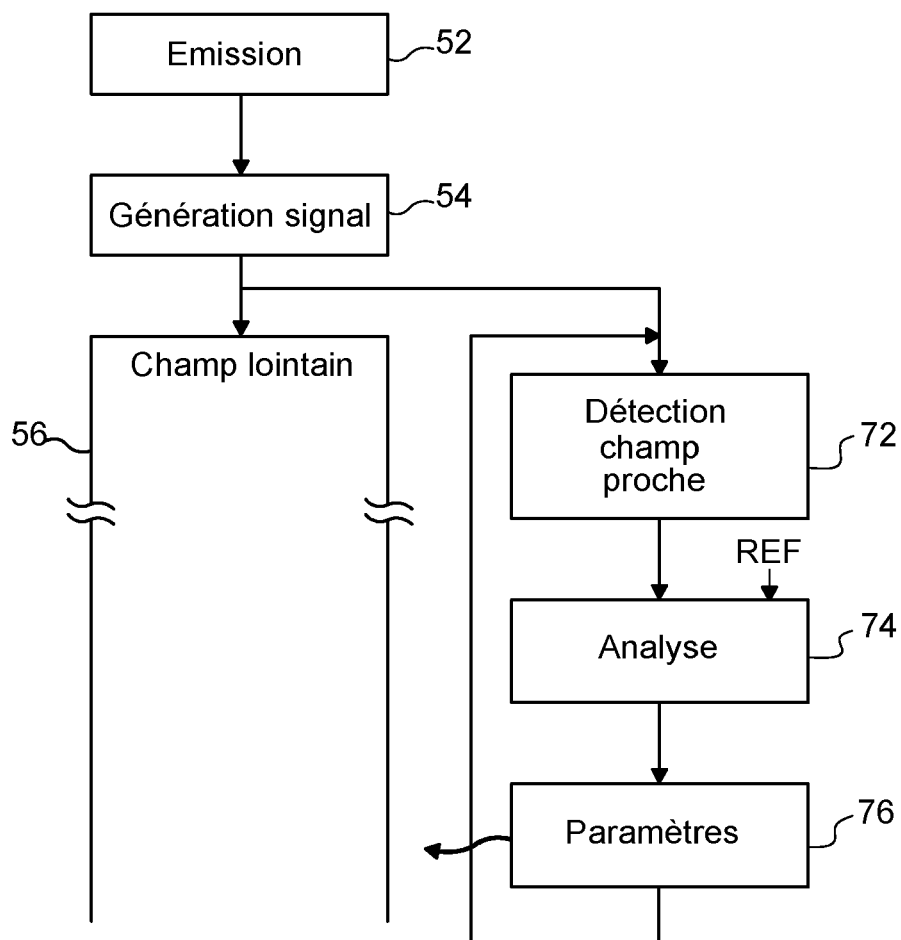
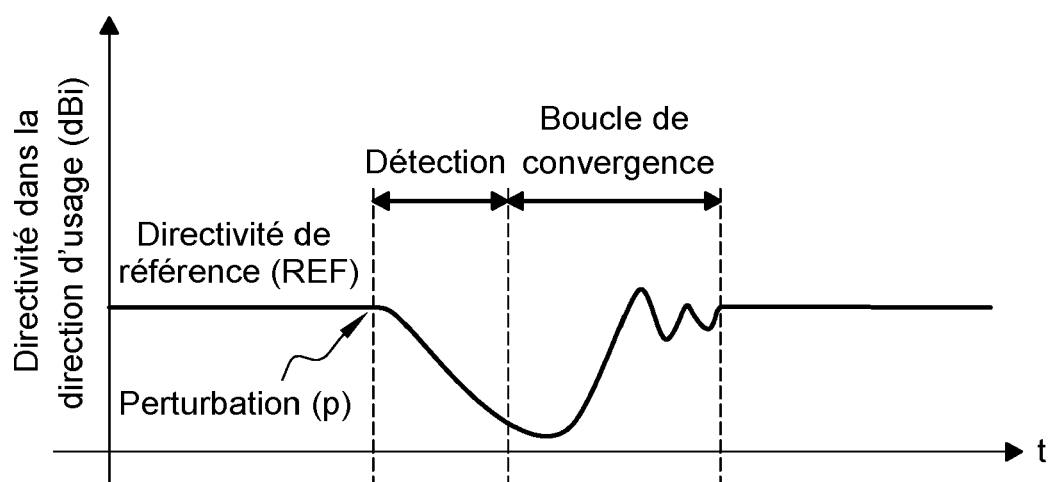
Fig. 4**Fig. 5**

Fig. 6

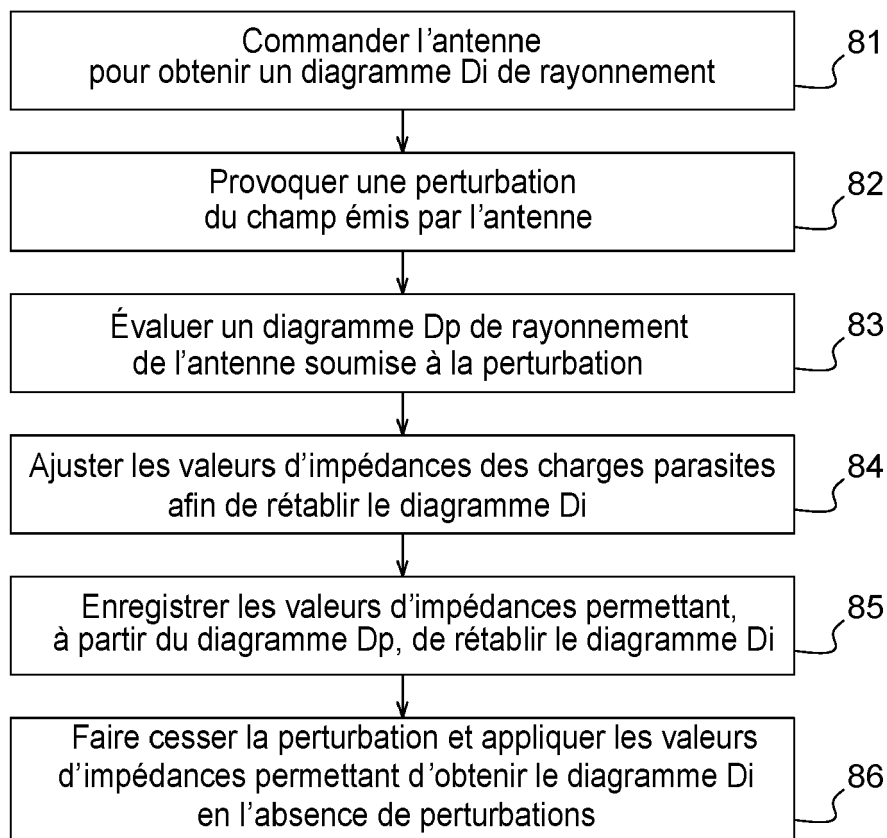
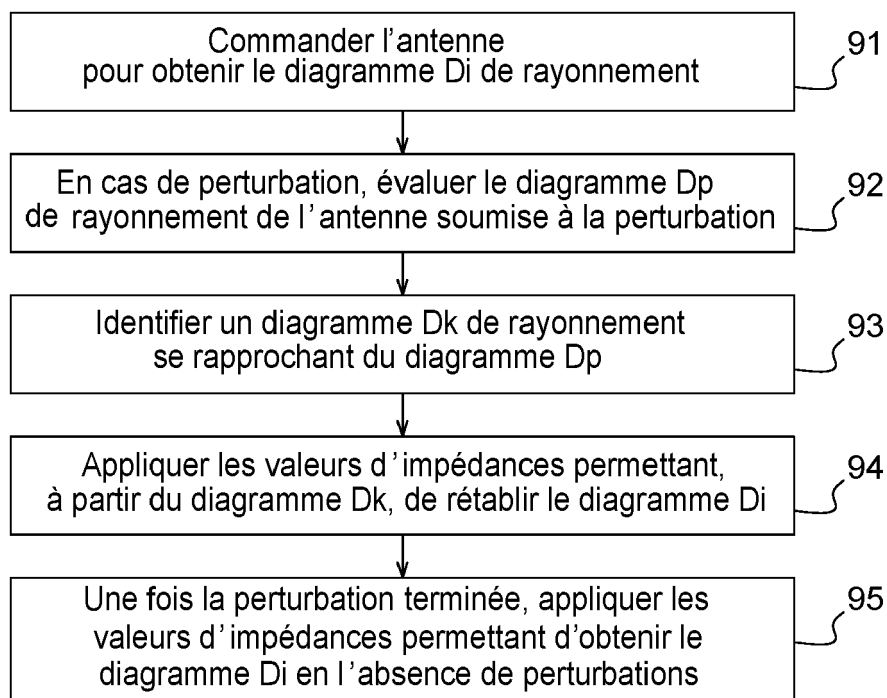


Fig. 7





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 20 8983

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	FR 3 106 240 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 16 juillet 2021 (2021-07-16) * figures 1, 2, 5 * * alinéas [0013] - [0014], [0048], [0052] - [0055], [0065] - [0066], [0070] - [0071] * -----	1-8	INV. H01Q3/44 H01Q19/28
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 22 mars 2023	Examineur Yvonnet, Yannick
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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		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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.****EP 22 20 8983**

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

22-03-2023

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	FR 3106240	A1	16-07-2021	AUCUN
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 20150115978 A [0006]
- US 20160036127 A [0007]