

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 751 421

21 N° d'enregistrement national : 88 06812

51 Int Cl⁶ : G 01 S 13/52, G 01 S 13/94

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.05.88.

30 Priorité : 21.05.87 GB 8712059.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 23.01.98 Bulletin 98/04.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : GEC MARCONI LIMITED — GB.

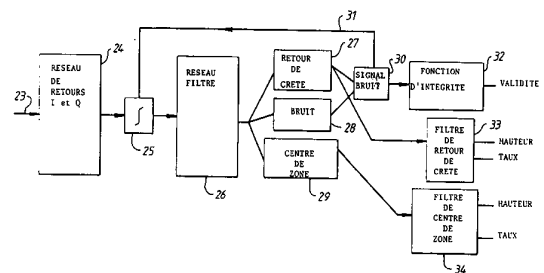
72 Inventeur(s) : SEVERWRIGHT ROBERT ANTHONY.

73 Titulaire(s) : .

74 Mandataire : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 ALTIMÈTRE RADAR A EMISSION CONTINUE.

57 Un altimètre radar à émission continue comprend une mémoire (24, 26), un moyen servant à emmagasiner dans la mémoire sous forme numérique un réseau de signaux de retour représentatifs de la variation de l'amplitude réfléchie avec la longueur du trajet, un moyen (27) servant à adresser la mémoire afin d'identifier un retour de crête représentatif des objets les plus hauts sur le terrain, un moyen (28) répondant au réseau en déterminant son rapport signal-bruit, et un moyen (29) répondant à la hauteur à laquelle ledit retour de crête a lieu et au rapport signal-bruit en déterminant une hauteur de "centre de zone" représentatif de la surface la plus basse sur le terrain. L'altimètre fournit donc non seulement le niveau de crête, représentant par exemple le sommet des arbres et des bâtiments, mais également le niveau du sol.



FR 2 751 421 - A1



La présente invention concerne un altimètre radar à émission continue qui se révèle particulièrement utile dans un aéronef cherchant à éviter d'être détecté.

05 Les altimètres radar classiques analysent typiquement le niveau des objets les plus hauts se trouvant au sol. Toutefois, en particulier lorsqu'une adaptation au contour du terrain est nécessaire soit pour le suivi automatique d'un terrain préalablement repéré sur carte ou pour la cartographie d'un terrain inconnu, le niveau du sol est considéré comme plus important que le niveau des
10 structures et de la végétation se trouvant au sol. Par conséquent, c'est un but de la présente invention de fournir un altimètre radar qui donne non seulement l'indication du niveau de crête, mais aussi celle du niveau du sol, tout en maintenant sa faible aptitude à être détecté.

15 L'invention fournit un altimètre radar à émission continue, comprenant une mémoire, un moyen servant à emmagasiner dans la mémoire, sous forme numérique, un réseau de signaux de retour représentatifs de la variation de l'amplitude réfléchie en fonction de la longueur du trajet, un moyen d'adressage de la
20 mémoire servant à identifier un retour de crête représentatif de l'objet le plus élevé se trouvant sur le terrain et à déterminer la hauteur à laquelle le retour de crête se produit, un moyen répondant au réseau de signaux en déterminant le rapport signal-bruit, un moyen répondant à la hauteur à laquelle ledit retour de
25 crête se produit et au rapport signal-bruit en déterminant une hauteur de "centre de zone" représentative de la surface la plus basse sur le terrain, et un moyen de sortie produisant une indication de la hauteur à laquelle la crête se produit et de la hauteur du "centre de zone".

30 Pour permettre une meilleure compréhension de l'invention, on va maintenant décrire un mode de réalisation préféré de l'invention à titre d'exemple seulement, en relation avec le schéma de fonctionnement simplifié annexé d'un altimètre radar, où :

35 Les figures 1a et 1b sont les deux moitiés du schéma de fonctionnement, liées entre elles par la ligne 23.

On se reporte d'abord à la figure 1a. L'altimètre radar comprend un émetteur 1 qui produit, à destination d'une antenne émettrice 7, un signal de radiofréquence centré sur 4,3 GHz à l'aide d'un amplificateur de puissance 6. L'émetteur 1 est un oscillateur de micro-onde délivrant 10 milliwatts. On ajuste à volonté le niveau de puissance d'émission de l'amplificateur de puissance 6 à l'aide d'une unité de commande de puissance 4, commandée par des moyens décrits de manière plus détaillée ci-après, de sorte que la puissance émise soit la puissance minimale nécessaire pour assurer un rapport signal-bruit approprié dans le signal reçu après traitement. Le signal de radiofréquence (RF) venant de l'émetteur 1 est mélangé par un mélangeur 3 avec des signaux binaires venant d'un générateur 11 de code à 100 MHz (le générateur de code rapide) et d'un générateur 18 de code à 3 MHz (le générateur de code lent), ces signaux ayant été combinés dans un dispositif de combinaison 5. Alors qu'il est appelé, par commodité, le générateur de code à 3 MHz, en fait, le générateur de code lent produit un code à 3,225 MHz, si bien qu'un micro-signal du code lent représente un cycle complet de 31 micro-signaux du code rapide. Il est important que, quelles que soient les valeurs choisies pour les vitesses des codes rapide et lent, la vitesse rapide soit un multiple entier de la vitesse lente. Le signal de sortie du dispositif de combinaison 5 est la somme, modulo 2, des deux codes produits respectivement par les générateurs de code rapide et de code lent, qui sont des codes P/N pseudo-aléatoires spécialement choisis pour donner la meilleure performance dans cette application particulière. Dans le mode de réalisation préféré, on choisit le code de façon que l'émission soit, de manière effective, une émission du type bruit ayant une largeur de bande à 3 dB de 100 MHz, lorsqu'on utilise un débit de micro-signaux de 100 MHz.

Il est évident que le choix du débit de micro-signaux du générateur de code rapide repose sur un compromis : l'aptitude de l'altimètre radar à résoudre une hauteur avec une précision élevée est proportionnelle au débit de micro-signaux. Ainsi, le signal de sortie émis est un signal centré sur 4,3 GHz qui s'étend sur une largeur de bande de 100 MHz (à moins 3 dB) grâce à un codage en

modulation de phase à séquençement direct numérique pseudo-aléatoire, avec un débit de micro-signaux de 100 MHz.

05 Le signal réfléchi par le sol, ainsi que par des objets se trouvant sur le sol, est reçu par une antenne réceptrice 14 et est amplifié par un amplificateur à faible bruit (LNA) 13. Les antennes 7 et 14 sont placées de manière que le signal de l'émetteur soit atténué idéalement d'au moins 90 dB entre les deux antennes.

10 Le signal de sortie du LNA 13 est mélangé dans un mélangeur analogique 12, à une radiofréquence de 4,3 GHz, avec un signal codé à l'aide du code venant du générateur de code rapide 11 afin de désétaler le signal reçu. Le signal avec lequel le signal de sortie du LNA est mélangé est obtenu de la manière suivante. Un oscillateur local 8, par exemple un générateur de signal
15 fonctionnant à 500 MHz, produit un signal de sortie qui est mélangé dans un mélangeur 9 avec une partie du signal venant de l'émetteur 1, obtenue de la part d'un coupleur 2 à partir du signal de sortie de l'émetteur. Le signal venant du mélangeur 9, qui représente le signal de l'émetteur décalé en fréquence de la fréquence centrale de la bande passante de l'amplificateur de fréquence intermédiaire
20 (IF), est ensuite en outre mélangé dans un mélangeur 10 avec un deuxième signal de sortie du générateur de code rapide 11. Ce signal de sortie supplémentaire comprend un code à spectre étalé représentant une partie du code émis et soumis à un déphasage ou un retard ajustables relativement au code de l'émetteur : on peut
25 commander le retard sur un intervalle de 0 à 30 micro-signaux si le code court possède une longueur de 31 micro-signaux. Le mélange du signal reçu de la part du LNA 13 avec l'oscillateur local modulé résulte en un signal dont la largeur de bande est réduite de
30 100 MHz à 3 MHz (à moins 3 dB) qui est centré sur la fréquence IF.

Comme précédemment mentionné, l'atténuation d'un signal dans le trajet direct entre les antennes 7, 14 de l'émetteur et du récepteur vaut idéalement au moins 90 dB, mais il y a inévitablement certaines fuites dans les signaux. On peut minimiser ceci
35 en fournissant le signal qui provient du coupleur 2 à un réseau en quadrature et à quatre atténuateurs (non représentés) de façon

qu'un signal d'annulation puisse être produit. Avant d'atteindre le réseau en quadrature, le signal est étalé par le code venant du générateur de code rapide, mais fait l'objet d'un petit retard ajustable. Un processeur de commande central (non représenté) 05 servant à commander le fonctionnement du circuit des figures 1a et 1b dispose de toutes les informations nécessaires pour lui permettre d'ajuster les quatre atténuateurs variables de manière à les faire "grimper" jusqu'à un niveau de fuite minimal.

Le signal de sortie du mélangeur 12 est fourni via un 10 amplificateur de fréquence intermédiaire 15 et une unité de commande automatique de gain 16, commandés par l'unité centrale de commande, l'amplificateur 15 et l'unité de commande automatique de gain 16 fonctionnant tous deux à une largeur de bande d'environ 3 MHz. L'amplificateur de fréquence intermédiaire 15 élimine par 15 filtrage tous les produits non voulus, puis amplifie le signal restant, qui est mélangé dans un mélangeur 17 avec la fréquence intermédiaire venant de l'oscillateur local 8, afin de ramener le signal à la fréquence de bande de base. Ce signal analogique de bande de base est converti en signal numérique par un convertisseur 20 analogique-numérique sur-échantillonné à un seul bit (non représenté).

Le signal résultant, qui est maintenant sous forme numérique, contient l'information de hauteur à résolution élevée, mais doit encore être désétalé à l'aide du code venant du générateur de code lent. Cette opération est réalisée par un circuit de 25 traitement numérique 20, 21, 22, produisant des données de sortie sur la ligne 23, lesquelles sont traitées en outre par un moyen de traitement de données représenté schématiquement sur la figure 1b, de manière à produire une information de hauteur voulue.

Pour produire les données de hauteur dans les limites 30 d'un intervalle acceptable, par exemple pour le pilote d'un aéronef volant à basse altitude, plusieurs canaux parallèles 19, 20, 21 sont prévus, au lieu d'un seul canal, de sorte que le traitement numérique se partage entre ces canaux. Les canaux parallèles 35 fonctionnent à l'aide de codes venant du générateur de code lent qui sont décalés en phase les uns par rapport aux autres, si bien

que chacun d'eux est en fait responsable de la production de données de sortie pour une bande de hauteurs différente. En revenant à la figure 1a, on voit que le signal provenant du mélangeur 17 est mélangé, après conversion à la forme numérique, dans un mélangeur numérique 20A (20B, 20C), par exemple une porte OU exclusif, avec un signal venant du générateur de code lent 18 suivant une phase relative au code correspondant appliqué par l'émetteur qui est ajustée par le processeur central de commande. Les signaux de sortie désétales venant des mélangeurs 20A, 20B, 20C sont ensuite envoyés à des intégrateurs 21A, 21B, 21C respectifs qui effectuent une intégration temporelle du signal de manière à améliorer le rapport signal-bruit. Les signaux de sortie de tous les intégrateurs 21A, 21B, 21C des canaux de traitement numérique parallèles sont fournis à un processeur 20, qui établit, sous forme réelle et imaginaire, un réseau de données de sortie représentatives de la variation de l'amplitude avec la hauteur et intégrées sur une tranche de temps particulière. Ce réseau s'établit dans une mémoire du calculateur représentée sur la figure 1b comme étant le réseau de retours I et Q 24.

La durée sur laquelle les signaux de sortie sont intégrés représente un compromis entre un usage maximal de la puissance émise, visant à minimiser la puissance rayonnée et à ainsi réduire la probabilité d'une détection, et la minimisation du retard entre l'émission et l'obtention d'une information sur la hauteur. Ce compromis n'est pas toujours fixé au même point, puisqu'il sera par exemple affecté par la nature du sol et la hauteur au-dessus du sol à laquelle vole un aéronef transportant l'altimètre radar. Plus l'aéronef est haut, et plus faible sera le rapport signal-bruit dans le signal reçu pour une puissance émise donnée, mais plus sera long le retard admissible entre l'émission et l'obtention de l'information.

Si l'on suppose que le signal émis occupe une largeur de 100 MHz à 3 dB, il est, après désétalement, réduit à une largeur de bande théoriquement nulle, qui vaut, en pratique, 100 Hz. Si le signal de sortie du démodulateur, ou unité de désétalement, 20A (20B, 20C) est intégré sur 10 millisecondes par exemple, ceci

représente un filtre d'une largeur de bande de 100 Hz. Le bruit présentant une composante de fréquence au-dessus de 100Hz sera donc ramené à zéro par l'intégration. Il a été trouvé qu'une intégration effectuée sur une durée d'environ 10 millisecondes produisait des données ayant un rapport signal-bruit approprié.

05 Le réseau résultant, qui contient des nombres représentant les amplitudes dans l'ordre des retards, est ensuite encore traité par les moyens de traitement de hauteur 25 à 34, comme représenté sur la figure 1b. Ces traitements peuvent être entièrement réalisés par des moyens logiciels.

10 Lorsque cela est nécessaire, on effectue une intégration temporelle supplémentaire à l'aide d'une unité d'intégration 25 dont la durée d'intégration est commandée par un signal 31 venant d'un comparateur signal-bruit 30 en fonction d'un critère prédéterminé. Plus le rapport signal-bruit est bas, et plus longue sera la durée d'intégration de manière à améliorer ce rapport : ainsi, le signal 31 représente un étage de réaction. L'intégration effectuée dans l'unité 25 est une accumulation directe des composantes en phase et en quadrature de phase pour chaque valeur de retard du réseau 24 des retours I et Q (réels et imaginaires). Il est important que cette intégration soit adaptée avec précision au temps du code, de manière à diminuer les lobes latéraux temporels. Pour cette raison, les générateurs de code varient en synchronisme avec la période d'intégration. Le signal de sortie de l'unité d'intégration 25 est accumulé dans un réseau filtré 26, qui est analysé à l'aide d'un processeur numérique du type à "tri par échange de paires de clés" pour permettre de trouver la valeur maximale de l'amplitude et sa position sur l'axe des hauteurs. Cette information est délivrée et emmagasinée sous forme de "retour de crête" 27. Le bruit est également analysé pour les n crêtes les plus élevées, par exemple les quatre crêtes les plus élevées, et une moyenne de celui-ci est calculée et emmagasinée dans une unité 28 de mémorisation de bruit. Le bruit peut être identifié par exemple comme comprenant tous signaux ayant des retards appartenant à l'intervalle compris entre 5 mètres et quatre/cinq fois la hauteur du retour de crête ; selon une autre possibilité, si le

7

retour de crête est très proche du retard zéro, on peut identifier le bruit comme étant les signaux qui sont compris entre 50 % et 100 % de la hauteur maximale.

05 De plus, on analyse le réseau filtré 26 pour localiser une hauteur moyenne des signaux significatifs, lesquels sont généralement déplacés par rapport au retour de crête. On peut utiliser plusieurs algorithmes permettant de déterminer cette hauteur moyenne ; le but est d'identifier la hauteur du sol. Cette information est emmagasinée dans une mémoire de "centre de zone" 29.

10 Le comparateur 30 de rapport signal-bruit reçoit comme signal d'entrée le retour de crête 27 et le niveau de bruit 28, et fournit un signal de réaction 31, comme ci-dessus mentionné. Le comparateur 30 fournit également un signal de sortie à une unité de fonction d'intégrité 32 qui détermine si les données devant être
15 produites par l'altimètre sont susceptibles d'avoir un sens : elles ne signifient rien si le rapport signal-bruit est trop bas. L'unité de fonction d'intégrité 32 fournit un signal de sortie représentatif de la validité des autres données de sortie.

20 Le signal de sortie de l'unité 27 de retour de crête est en outre traité de manière qu'il soit obtenu un retard présentant l'amplitude de la crête moins une fraction prédéterminée (par exemple un/cinq) de la différence entre le signal de crête et le niveau de bruit. Ce signal de crête est ensuite de nouveau filtré dans un filtre 33 de retour de crête qui fournit un signal de
25 sortie représentatif de la hauteur de crête, par exemple les sommets des immeubles ou des arbres. Un filtre de centre de zone 34 produit également un post-filtrage des données de centre de zone 29, afin de fournir un signal de sortie représentatif de la hauteur du centre de zone, par exemple le niveau du sol. Pour un aéronef
30 qui demande une adaptation au contour du terrain, cette information relative au niveau du sol est évidemment nécessaire en plus de l'information relative au niveau de crête. L'information relative au niveau du sol est caractéristique du terrain, et peut être mise en concordance avec des cartes de contour du terrain, tandis que
35 l'information relative au niveau de crête est nécessaire pour pouvoir voler en toute sécurité.

Le post-filtrage effectué par le filtre 33 de retour de crête et le filtre de centre de zone 34 possède trois fonctions importantes : il réduit le bruit dans le signal de sortie, il fait que le signal de sortie est correct pour un taux constant de variation de hauteur (agissant comme filtre de deuxième ordre), et
05 il assure une certaine résistance vis-à-vis de verrouillages erronés sur des signaux de bruit ou des signaux parasites en ne validant un signal de sortie qu'après que le filtre a commencé de suivre les signaux bruts.

10 Le rapport signal-bruit déterminé par le comparateur 30 peut être utilisé pour faire varier la puissance émise, à l'aide de l'unité de commande de puissance 4, aussi bien que, en plus de cela, ou à la place de cela, pour faire varier la période d'intégration temporelle dans l'unité 25.

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

REVENDEICATIONS

1. Un altimètre radar à émission continue, caractérisé en ce qu'il comprend une mémoire (24, 26), un moyen servant à emmagasiner dans la mémoire, sous forme numérique, un réseau de signaux de retour représentatifs de la variation de l'amplitude réfléchie avec la longueur du trajet, un moyen (27) servant à adresser la mémoire afin d'identifier un retour de crête représentatif de l'objet le plus haut sur le terrain et de déterminer la hauteur à laquelle le retour de crête se produit, un moyen (28, 29) répondant au réseau placé dans la mémoire en déterminant le rapport signal-bruit afin de déterminer une hauteur de "centre de zone" représentative de la surface la plus basse sur le terrain, et un moyen de sortie servant à donner une indication de la hauteur à laquelle la crête se produit et de la hauteur de "centre de zone".
2. Altimètre radar à émission continue selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen de sortie comprend un moyen servant à filtrer des signaux de sortie successifs qui sont représentatifs de la hauteur à laquelle le retour de crête a lieu, afin de réduire le bruit et les informations erronées.
3. Altimètre radar à émission continue selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le moyen de sortie comprend un moyen servant à filtrer des signaux de sortie successifs qui sont représentatifs de la hauteur de "centre de zone" afin de réduire le bruit et les informations erronées.
4. Altimètre radar à émission continue selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la mémoire comprend un réseau de retours et un réseau filtré, et le moyen d'emmagasinage emmagasine à répétition dans le réseau de retours les signaux reçus sur l'étendue d'intervalles successifs d'une longueur prédéterminée, effectue une intégration temporelle du réseau de retours et emmagasine le résultat dans le réseau filtré.

5. Altimètre radar à émission continue selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen servant à obtenir lesdits signaux de retour par la corrélation numérique d'un code numérique appliqué à l'onde continue émise par l'altimètre radar avec le signal reçu par l'altimètre radar.

05

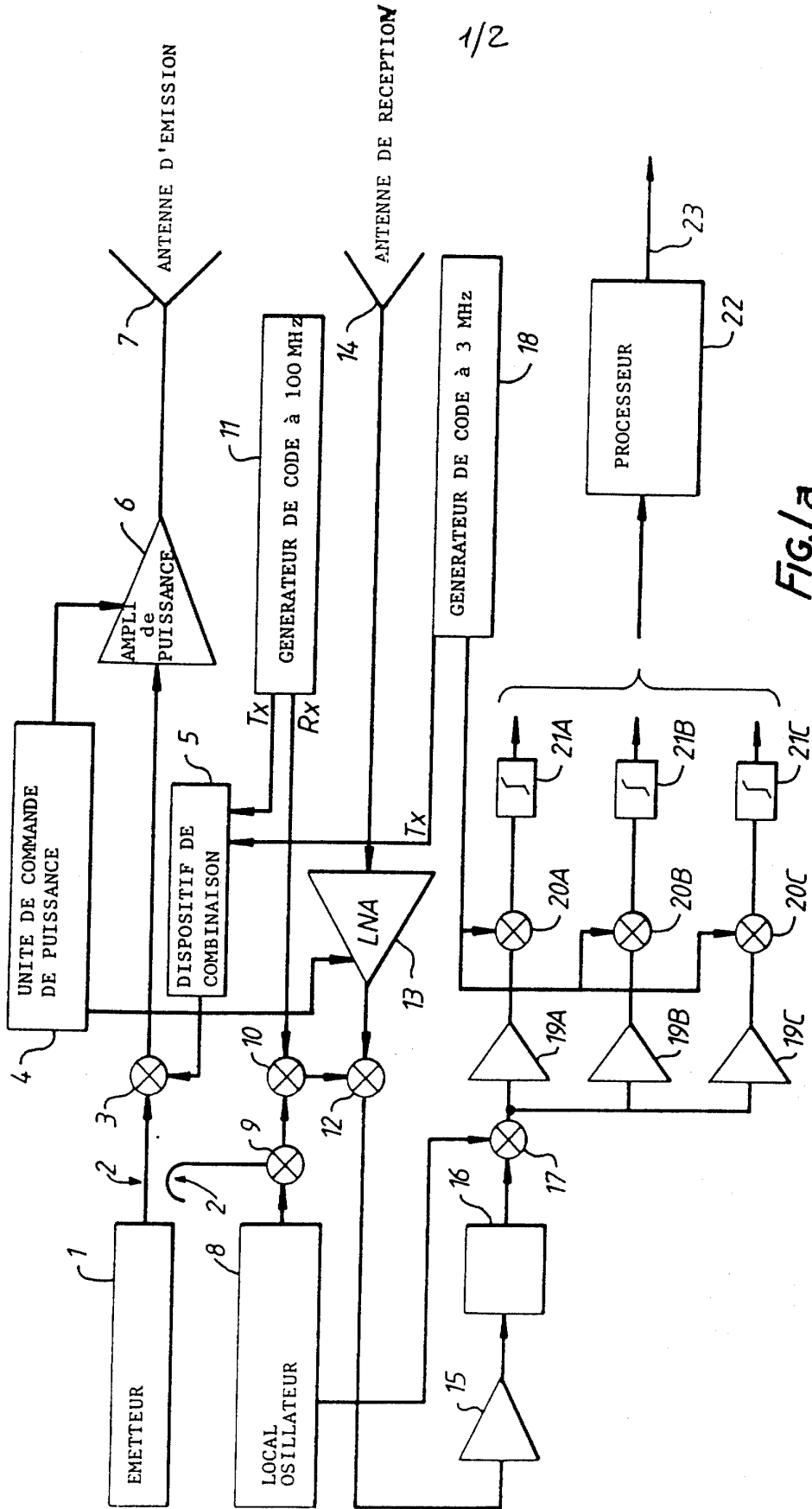


FIG. 1a

1/2

2/2

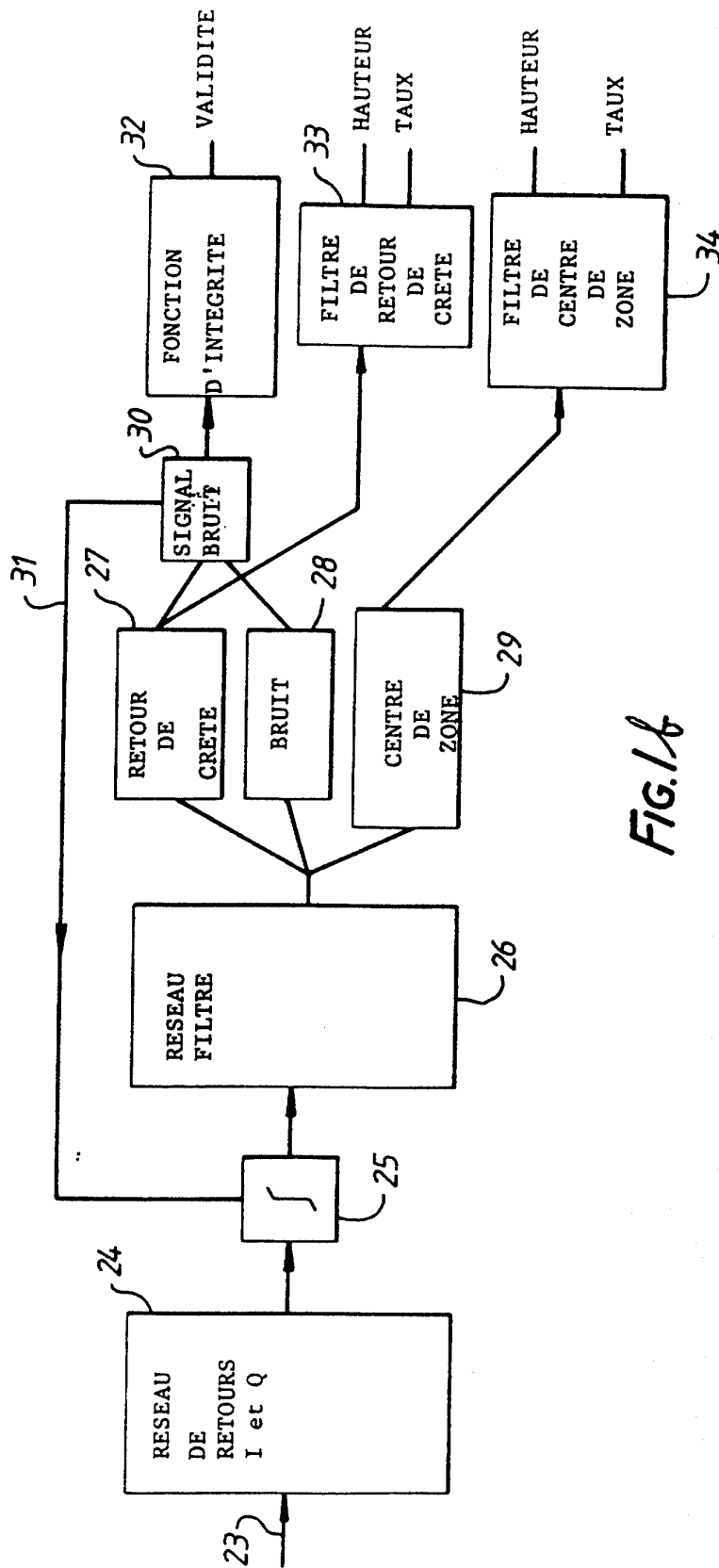


FIG. 1a