(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 683 326**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **91 13489**

(51) Int Cl[5] : G 01 S 13/74

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 31.10.91.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 07.05.93 Bulletin 93/18.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *Société dite: LE CENTRE THOMSON D'APPLICATIONS RADARS* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Gascard Anne et Le Chevalier François.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :** Malbec Sylvie.

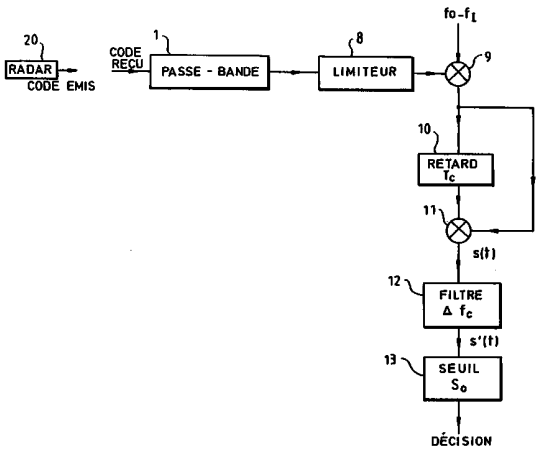
(54) Procédé d'interrogation d'un répondeur radar et répondeur pour la mise en œuvre du procédé.

(57) La présente invention concerne un procédé d'interrogation d'un répondeur radar et répondeur pour la mise en œuvre du procédé.

Selon l'invention, les signaux d'interrogation sous forme de codes composés de deux impulsions espacées d'une durée T_c et de fréquences porteuses respectives telles que leur différence Δf_c soit non nulle. A chaque couple de valeurs (T_c, Δf_c) correspond un unique répondeur capable de comprendre le message qui lui est destiné.

Pour ce faire, un répondeur radar selon l'invention dispose de moyens pour mesurer la différence Δf entre la fréquence porteuse d'un signal reçu à l'instant courant et celle du signal reçu un intervalle de temps T_c auparavant, et de moyens pour comparer la valeur Δf mesurée avec la valeur Δf_c affectée au répondeur.

L'invention est particulièrement intéressante pour le suivi en temps réel de la trajectoire de différents mobiles sur les champs d'essais de tir.



FR 2 683 326 - A1

PROCEDE D'INTERROGATION D'UN REPONDEUR RADAR ET REPONDEUR POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROCEDE

La présente invention concerne un procédé d'interrogation d'un répondeur radar et répondeur pour la mise en oeuvre du procédé.

Sur les champs d'essais de tir, les différents mobiles que l'on teste, par exemple des missiles, sont équipés de répondeurs afin d'assurer le suivi en temps réel de leur trajectoire.

Un code d'interrogation émis par les radars environnant est affecté à chaque répondeur, de telle sorte qu'un seul mobile puisse répondre à l'interrogation qui lui est destinée. Les codes utilisés à l'heure actuelle sont constitués de deux impulsions émises sur porteuse et séparées d'un intervalle de temps T_C correspondant au paramètre du code. A la réception d'un tel code, chaque répondeur réagissant sur le front montant des impulsions, mesure le paramètre T_C, le compare avec le paramètre qui lui est affecté, et, en cas de correspondance, répond à l'interrogation.

Un premier inconvénient de ce type de codes réside dans la limitation du nombre de codes possibles, et par conséquent, du nombre de mobiles testés : en effet, la norme actuelle fixe l'intervalle de temps maximal entre deux impulsions à environ 12 μs, et, compte tenu du pouvoir de discrimination des répondeurs actuels qui est sensiblement de 1 μs, seulement dix codes différents sont utilisés, répartis entre 3 μs et 12 μs.

La possibilité d'affecter à des groupes de répondeurs différentes fréquences porteuses est exclue du fait de la grande dynamique de puissance des signaux reçus qui ne permet pas de faire une discrimination en fréquence suffisante à un coût raisonnable.

De plus, les résultats non satisfaisants obtenus par l'utilisation de ces codes ont conduit la demanderesse à étudier les causes de

fausses réponses ou de manques de réponses de la part des mobiles : les fausses réponses surviennent lorsque deux impulsions parasites forment un code, c'est-à-dire, sont décalées d'un intervalle de temps T_C caractéristique d'un répondeur. Ces fausses réponses sont relativement fréquentes compte tenu de la présence, sur le champ de tir, et à proximité, de nombreux radars n'ayant pas tous la fonction d'interroger les mobiles. Quant aux manques de réponses, ils peuvent survenir soit à la suite d'une fausse réponse, chaque réponse étant suivie d'un temps mort durant lequel le répondeur ne réagit plus aux interrogations, soit lorsqu'une impulsion parasite se produit juste avant une impulsion de code, masquant alors le front montant de cette dernière.

Un but de l'invention est de proposer un nouveau type de codes permettant de tester un plus grand nombre de mobiles, sans avoir à apporter des modifications trop importantes au niveau des radars interrogateurs.

Un autre but de l'invention est de diminuer sensiblement les erreurs du type fausses réponses ou manques de réponses.

Plus précisément, un objet de l'invention concerne un procédé d'interrogation, à partir de radars, de répondeurs radars, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- émettre, à partir d'au moins un radar, des signaux d'interrogation sous forme de codes composés de deux impulsions espacées d'une durée T_C et de fréquences porteuses respectives telles que leur différence Δf_C soit non nulle, les valeurs du couple (T_C, Δf_C) étant variables pour chaque code de sorte qu'un code ne soit destiné qu'à un seul répondeur radar ;

- mesurer, au niveau de chaque répondeur radar, la différence Δf entre la fréquence porteuse d'un signal reçu à l'instant courant et celle du signal reçu un intervalle de temps T_C auparavant, où T_C est propre à chaque répondeur ;

- comparer la valeur de Δf avec la valeur Δf_C affectée à chaque répondeur ;

- répondre en cas d'égalité entre Δf et Δf_C.

Un autre objet de l'invention est un répondeur radar apte à répondre à une interrogation conforme au procédé selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens pour mesurer la différence Δf entre la fréquence porteuse d'un signal reçu à l'instant courant et celle du signal reçu un intervalle de temps T_C auparavant ;

- des moyens pour comparer la valeur de Δf avec une valeur Δf_C propre au répondeur et décider de répondre en cas d'égalité.

L'invention, ainsi que ses avantages, seront mieux compris au vu de la description suivante, en référence aux figures annexées :

- la figure 1 est un premier mode de réalisation possible d'un dispositif de réception, équipant un répondeur et capable de reconnaître un code temps-fréquence selon l'invention ;

- la figure 2 est un second mode de réalisation possible de ce même dispositif selon l'invention.

Le procédé selon l'invention propose donc d'interroger les répondeurs en émettant un signal codé suivant un code formé de deux impulsions espacées d'une durée T_C, et émises sur deux porteuses différentes f_1 et f_2, choisies par exemple dans la bande C. Par rapport aux codes utilisés actuellement, le code temps-fréquence selon l'invention présente ainsi un paramètre supplémentaire que l'on choisit comme étant la différence Δf_C entre les deux fréquences porteuses f_1 et f_2. Le choix de ce paramètre vient du fait qu'il est plus facile de mesurer un décalage en fréquence, en prenant par exemple une des fréquences porteuses comme référence, que de mesurer la valeur absolue d'une fréquence.

De plus, le nombre de codes disponibles est plus important puisqu'il augmente, pour une même durée maximale d'interrogation de 12 μs, dans un rapport égal au nombre de paramètres Δf_C utilisés.

Par ailleurs, le taux de fausses réponses et par suite, de manque de réponses, diminue d'un facteur correspondant à la probabilité que deux impulsions parasites données soient décalées en fréquence de Δf_c.

L'émission d'un nouveau code temps-fréquence impose au récepteur de chaque répondeur d'être équipé de moyens pour mesurer le décalage en fréquence Δf_c. La mesure de Δf_c peut s'effectuer soit par mesure des deux fréquences, soit en mélangeant les deux impulsions et en mesurant la fréquence du signal résultant.

La figure 1 représente un schéma-bloc d'un mode de réalisation possible d'un dispositif de réception équipant un répondeur, et capable de reconnaître une interrogation qui lui est destinée, cette interrogation étant formée d'un code temps-fréquence selon l'invention. Cette interrogation est émise par exemple par un radar 20.

Le répondeur est caractérisé par les deux paramètres T_c et Δf_c correspondant respectivement à la durée entre les deux impulsions du code qu'il sait reconnaître à la différence (f_2-f_1) entre les porteuses f_1 et f_2 de chaque impulsion. Le signal ou code reçu par le dispositif est classiquement filtré par un passe-bande 1 de gabarit assez grand pour laisser passer les fréquences porteuses. Le signal filtré est alors démodulé par une fréquence f_o, choisie par exemple parmi les deux fréquences f_1 et f_2, à l'aide d'un mélangeur 2. Le signal issu du mélangeur 2 a une fréquence comprise entre 0 et 20 MHz qu'il est possible de mesurer grâce à un dispositif de détection 3 de signal, par exemple du type comparaison à un seuil d'amplitude, qui fournit l'instant t_o de détection servant d'instant de déclenchement à un dispositif de mesure 4 de la fréquence f(t) du signal démodulé. La mesure de f(t) peut se faire par exemple en comptant les passages à zéro du signal démodulé.

Dans l'optique de pouvoir mesurer la différence de fréquence Δf entre les deux impulsions, et dans l'hypothèse où ces impulsions sont bien séparées d'un intervalle de temps T_c, les valeurs de fréquences

mesurées sont stockées pendant une durée T_C dans un dispositif de stockage 5. Si l'on note Δt la tolérance faite sur l'intervalle de temps T_C, typiquement de l'ordre de 300 μs, le dispositif selon l'invention prévoit préférentiellement de faire des mesures de fréquences et de stocker ces mesures tous les $\frac{\Delta t}{2}$. Avantageusement, le dispositif de stockage 5 est un registre à décalage de longueur T_C, capable de mémoriser $T_C/\Delta t$ valeurs dans autant de cases mémoire. Lorsqu'aucune détection de signal n'est effectuée au niveau du dispositif de détection 3, la case d'entrée du registre est mise systématiquement à une valeur fixe ne pouvant correspondre à une fréquence possible. Chaque valeur de f(t) arrivant dans le registre à décalage est soustraite à la valeur stockée un intervalle de temps T_C auparavant par l'intermédiaire d'un dispositif de calcul 6 fournissant la différence de fréquence Δf recherchée. Un dispositif de comparaison 7 compare alors Δf avec le paramètre Δf_C du répondeur. L'égalité est obtenue dans le cas où le code reçu était effectivement adressé à ce répondeur. Ce dernier peut prendre, le cas échéant, la décision de répondre à l'interrogation.

La figure 2 représente un autre mode de réalisation du dispositif de réception d'un code temps-fréquence selon l'invention, dans lequel la mesure du paramètre Δf_C s'effectue par le mélange des deux impulsions reçues et la mesure de la fréquence du signal résultant ; plus précisément, en se référant à la figure 2, le signal reçu est toujours filtré par un passe-bande 1, comme dans le cas de la figure 1. Le signal filtré est ensuite appliqué à un limiteur 8 qui permet d'éliminer les problèmes dus à une grande dynamique en puissance. Pour simplifier le traitement, le signal issu du limiteur 8 est alors transposé en fréquence intermédiaire par un mélangeur 9, puis, le signal résultant est multiplié au niveau d'un mélangeur 11 par le même signal retardé d'une durée Tc par une ligne à retard 10. La détection du code s'effectue ensuite grâce à un filtre passe-bande 12 centré sur Δf_C, suivi d'un comparateur 13.

Le fonctionnement du dispositif de la figure 2 sera mieux compris au vu de la formulation mathématique suivante :

Supposons que le code reçu par le dispositif de la figure 2 soit constitué, conformément à l'invention, de deux impulsions, de fronts, par exemple montants, séparés par une durée T, la première impulsion transmettant un signal $s_1(t)$ de fréquence porteuse f_1, et la deuxième impulsion transmettant un signal $s_2(t)$ de fréquence porteuse f_2. Les deux signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ ont par exemple une même amplitude E, de sorte que l'on peut écrire :

$$\begin{cases} s_1(t) = E\sin(2\pi f_1 t) \\ s_2(t) = E\sin(2\pi f_2 t) \end{cases}$$

Le limiteur 8 limite alors l'amplitude des deux signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ à une valeur A correspondant au plus à la plus petite amplitude susceptible d'être reçue.

En sortie du mélangeur 11, le signal s'écrit :

$$\begin{cases} S(t) = \dfrac{A^2}{2}\left[\cos(2\pi\Delta f\, t) - \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)\right] \\ \text{Avec } \Delta f = \left|f_2 - f_1\right| \text{ si } T = T_c \\ S(t) = 0 \quad \text{si } T \neq T_c \end{cases}$$

Lorsque le signal s(t) est non nul, son passage par le filtre passe-bande 12 centré sur Δf_c et de fonction gain G(f) permet d'obtenir un signal s'(t) tel que :

$$s'(t) = G(\Delta f)\frac{A^2}{2}\cos 2\pi\Delta f\, t$$

Le comparateur 13, par comparaison à un seuil d'amplitude S_0, permet alors de détecter uniquement les signaux s'(t) de fréquence Δf_c.

Notons que le seuil d'amplitude S_o doit satisfaire à la double inégalité suivante :

$$\frac{A^2}{2} G(\Delta f_m) < S_o < \frac{A^2}{2} G(\Delta f_c)$$

Δf_m étant la première valeur de Δf que l'on souhaite rejeter.

A l'issue de la comparaison, le dispositif peut prendre ou non la décision de répondre au code reçu.

Pour des raisons de coûts et de faible encombrement, on choisira préférentiellement une ligne à retard 10 à ondes de surface.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'interrogation, à partir de radars, de répondeurs radars, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- émettre, à partir d'au moins un radar, des signaux d'interrogation sous forme de codes composés de deux impulsions espacées d'une durée T_c et de fréquences porteuses respectives telles que leur différence Δf_c soit non nulle, les valeurs du couple (T_c, Δf_c) étant variables pour chaque code de sorte qu'un code ne soit destiné qu'à un seul répondeur radar ;

- mesurer, au niveau de chaque répondeur radar, la différence Δf entre la fréquence porteuse d'un signal reçu à l'instant courant et celle du signal reçu un intervalle de temps T_c auparavant, où T_c est propre à chaque répondeur ;

- comparer la valeur de Δf avec la valeur Δf_c affectée à chaque répondeur ;

- répondre en cas d'égalité entre Δf et Δf_c.

2. Procédé d'interrogation selon la revendication 1, caractérisé en ce que, après démodulation des signaux reçus, la mesure de la différence Δf consiste à :

- détecter la présence d'un signal pour déclencher des mesures de fréquence ;

- faire une pluralité de mesures de la fréquence des signaux successifs reçus ;

- stocker lesdites mesures ;

- soustraire à la mesure courante de la fréquence la mesure effectuée un intervalle de temps T_c auparavant.

3. Procédé d'interrogation selon la revendication 2, caractérisé en ce que les mesures effectuées sur des signaux nuls sont remplacées par une valeur déterminée, non représentative d'une fréquence possible.

4. Procédé d'interrogation selon la revendication 1, caractérisé en ce que la mesure de la différence Δf consiste à mélanger ledit signal reçu à l'instant courant avec ledit signal reçu un intervalle de temps T_c auparavant pour obtenir un signal résultant de fréquence Δf, et en ce que la comparaison de la valeur Δf avec Δf_c consiste à effectuer un filtrage passe-bande centré sur Δf_c dudit signal résultant et à comparer le signal filtré à un seuil S_o.

5. Répondeur radar apte à répondre à une interrogation conforme au procédé selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens pour mesurer la différence Δf entre la fréquence porteuse d'un signal reçu à l'instant courant et celle du signal reçu un intervalle de temps T_c auparavant ;
- des moyens pour comparer la valeur de Δf avec une valeur Δf_c propre au répondeur et décider de répondre en cas d'égalité.

6. Répondeur radar selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il dispose d'un mélangeur (2) des signaux reçus avec une fréquence f_o pour démoduler ces signaux, et en ce que les moyens pour mesurer la différence Δf comprennent :

- un dispositif de détection (3) de signal pour déclencher des mesures de fréquence ;
- un dispositif de mesure (4) de la fréquence des signaux successifs reçus déclenchés par le dispositif de détection (3) pour effectuer une pluralité de mesures ;
- un dispositif de stockage (5) desdites mesures ;
- un dispositif de calcul (6) qui soustrait à la mesure courante de la fréquence, la mesure effectuée un intervalle de temps T_c auparavant.

7. Répondeur radar selon la revendication 6, caractérisé en ce que le dispositif de détection (3) est du type comparaison de l'amplitude du signal reçu à un seuil d'amplitude.

8. Répondeur radar selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le dispositif de mesure (4) de la fréquence des signaux compte les passages à zéro desdits signaux.

9. Répondeur radar selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que le dispositif de mesure (4) effectue des mesures tous les $\Delta t/2$, Δt étant la tolérance faite sur l'intervalle de temps T_C.

10. Répondeur radar selon la revendication 9, caractérisé en ce que le dispositif de stockage (5) est un registre à décalage de longueur T_C, capable de mémoriser $T_C/\Delta t$ valeurs dans autant de cases mémoire.

11. Répondeur radar selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer Δf comprennent :

- une ligne à retard (10) de retard T_C, qui retarde d'un intervalle de temps T_C le signal reçu ;
- un mélangeur (11) qui mélange ledit signal reçu à l'instant courant avec le signal retardé ;

et en ce que les moyens pour comparer Δf avec Δf_C sont constitués d'un filtre passe-bande (12) centré sur Δf_C et d'un comparateur (13) du signal issu du filtre (12) à un seuil S_O.

12. Répondeur radar selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il dispose, en outre, d'un mélangeur (9) qui transpose le signal reçu en fréquence intermédiaire.

13. Répondeur radar selon l'une quelconque des revendications 11 ou 13, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, un limiteur (8) d'amplitude limitant l'amplitude des signaux reçus à une valeur A correspondant au plus à la plus petite amplitude susceptible d'être reçue.

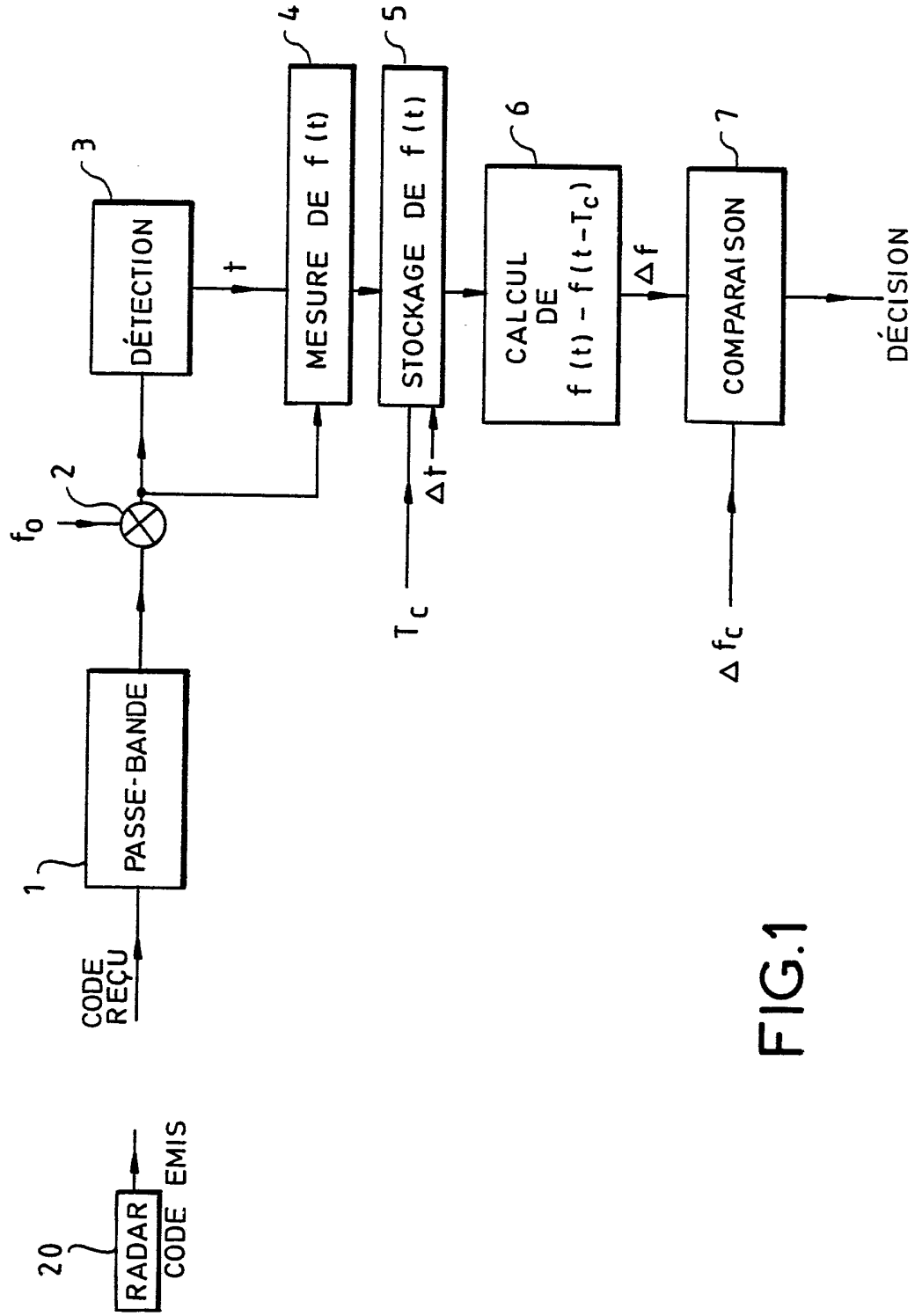

20
RADAR
CODE EMIS
CODE REÇU
1
PASSE-BANDE
f_o
2
3
DÉTECTION
t
4
MESURE DE f (t)
5
STOCKAGE DE f (t)
T_c
Δt
6
CALCUL DE f (t) - f (t-T_c)
Δf
7
COMPARAISON
Δf_c
DÉCISION

FIG.1

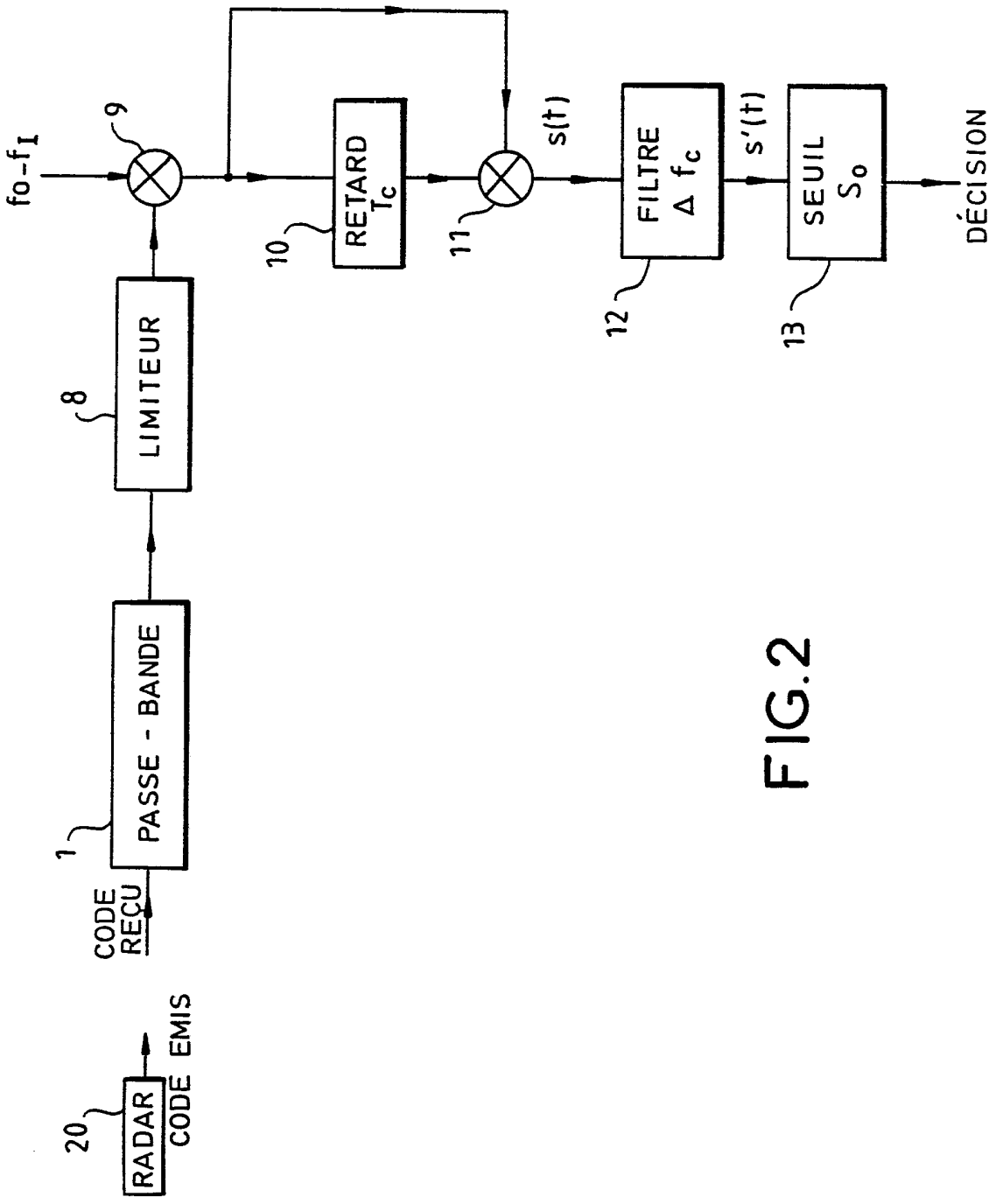

20
RADAR
CODE EMIS
CODE RECU
1
PASSE - BANDE
8
LIMITEUR
fo-f1
9
10
RETARD Tc
11
s(t)
12
FILTRE Δ fc
s'(t)
13
SEUIL So
DÉCISION

FIG.2

2683326

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FR 9113489
FA 468117

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
A	FR-A-2 559 273 (INTERNATIONAL STANDARD ELECTRIC CORPORATION) * page 2, ligne 32 - page 3, ligne 12; revendication 2 *	1
A	US-A-4 646 090 (RCA) * colonne 1, ligne 49 - ligne 68 *	1
A	PROCEEDINGS OF THE I.R.E. vol. 37, no. 11, Novembre 1949, pages 1236 - 1242; C.J. HIRSCH: 'Pulse-Multiplex System for Distance Measuring Equipment (DME)' * Abrégé * * page 1237, alinéa IIIA -alinéa IIIB *	1

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)

G01S

Date d'achèvement de la recherche: 29 JUIN 1992

Examinateur: Francesco Zaccà

3

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant