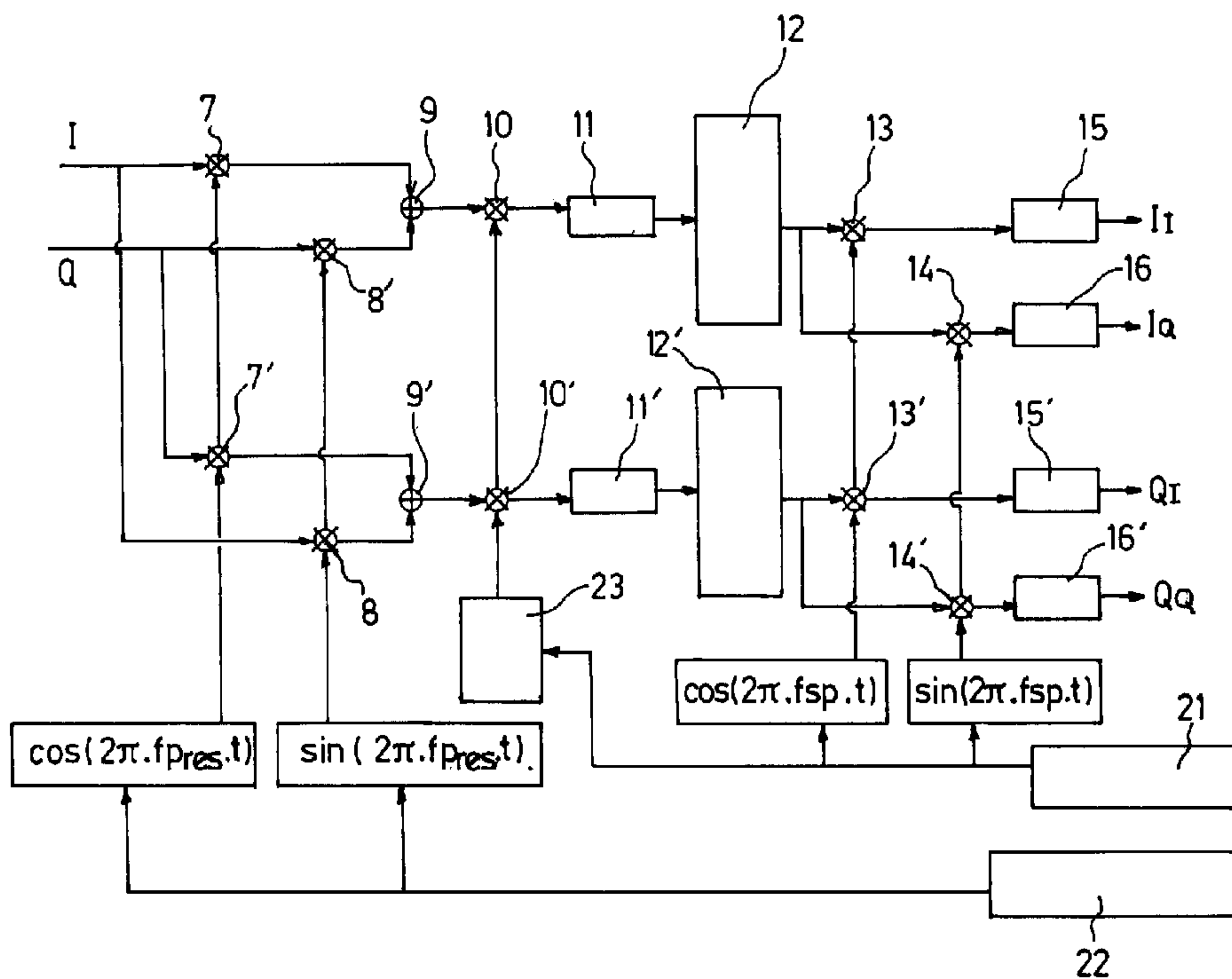




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2007/12/12  
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2008/07/31  
 (45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2016/01/26  
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2009/06/23  
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2007/002051  
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2008/090276  
 (30) **Priorité/Priority:** 2006/12/28 (FR0611486)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. G01S 19/24** (2010.01)  
 (72) **Inventeur/Inventor:**  
 RICHARD DE LATOUR, ANTOINE, FR  
 (73) **Propriétaire/Owner:**  
 CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (C.N.E.S.),  
 FR  
 (74) **Agent:** GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) **Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE RECEPTION D'UN SIGNAL DE RADIONAVIGATION A MODULATION BOC**  
 (54) **Title: METHOD AND DEVICE FOR RECEIVING A BOC MODULATION RADIO-NAVIGATION SIGNAL**



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un récepteur et un procédé de réception d'un signal radioélectrique de navigation modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ , dans lequel, ledit signal radioélectrique est transformé en bande de base sur deux voies I, Q, caractérisé en ce que des codes pseudo-aléatoires modifiés, en nombre K, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé, sont générés localement par un générateur (23) de codes modifiés, chaque code modifié présentant sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1/\alpha \cdot f_{sp}$ , la forme du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, et étant décalé temporellement d'une durée  $T_k$  du code pseudo-aléatoire modifié précédent; sur chaque voie, le signal est multiplié par les K codes modifiés et est corrélé en phase et en quadrature par deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
31 juillet 2008 (31.07.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2008/090276 A3**(51) Classification internationale des brevets :  
G01S 5/14 (2006.01)[FR/FR]; 2, place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex  
01 (FR).(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2007/002051

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : RICHARD  
DE LATOUR, Antoine [FR/FR]; 134 avenue Jean Rieux,  
F-31500 Toulouse (FR).(22) Date de dépôt international :  
12 décembre 2007 (12.12.2007)(74) Mandataire : CABINET BARRE LAFORGUE &  
ASSOCIES; 95, rue des Amidonniers, F-31000 Toulouse  
(FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

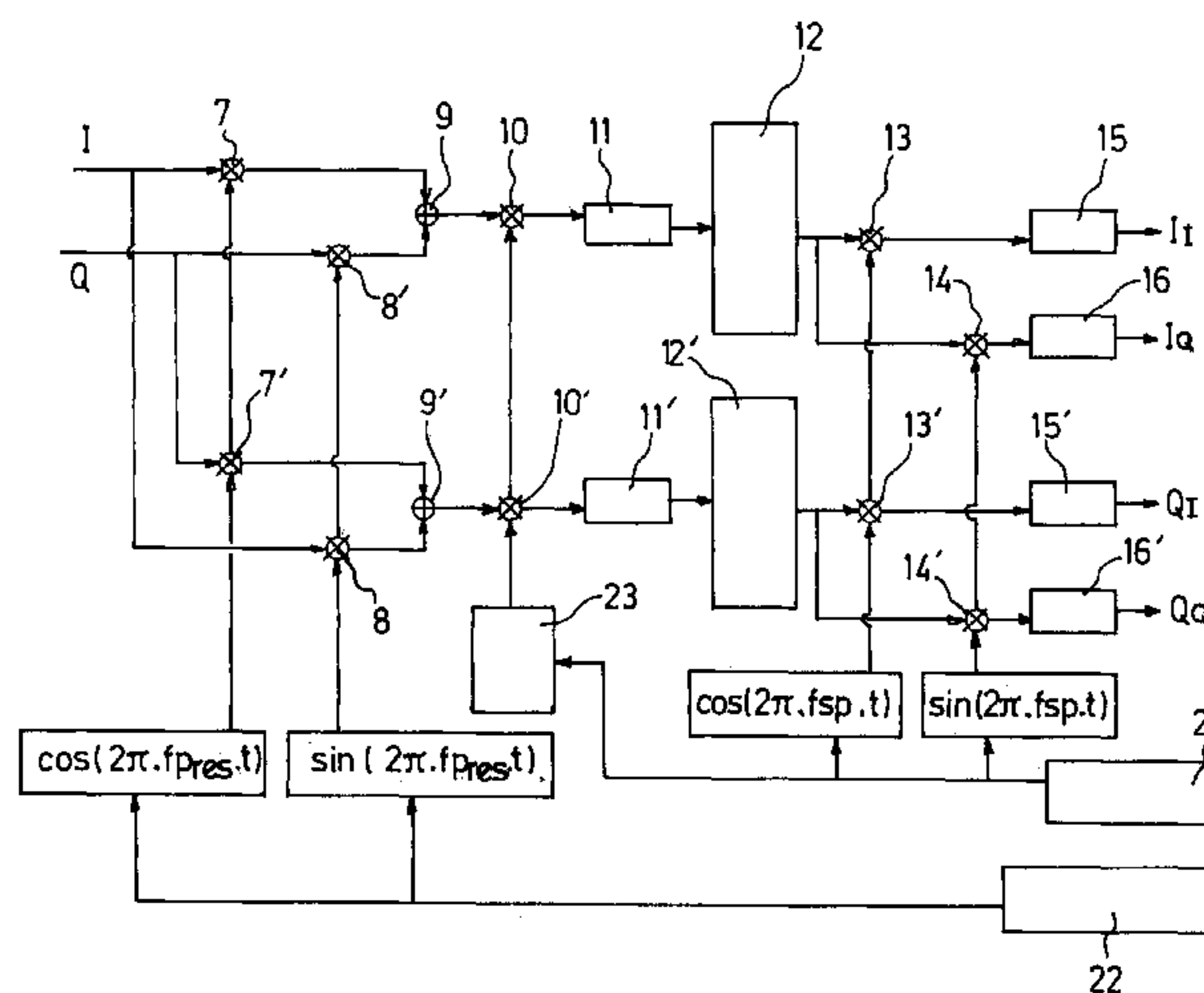
(30) Données relatives à la priorité :  
0611486 28 décembre 2006 (28.12.2006) FR(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,  
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,  
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR RECEIVING A BOC MODULATION RADIO-NAVIGATION SIGNAL

(54) Titre : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE RÉCEPTION D'UN SIGNAL DE RADIONAVIGATION À MODULATION BOC

Fig 4



(57) **Abstract:** The invention relates to a receiver and to a method for receiving a radio-electric navigation signal modulated by a carrier at a frequency  $f_p$ , a sub-carrier at a frequency  $f_{sp}$  and a pseudo-random code at a frequency  $f_c$ , in which said radio-electric signal is converted into a two-way base band I, Q, characterized in that K modified pseudo-random codes, where  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  being a predetermined integer, are generated locally by a modified code generator, each modified code having, during a time duration  $T_k$  where  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , the shape of the pseudo-random code without the sub-carrier, and being offset in time by a duration  $T_k$  of the preceding modified pseudo-random code; in both ways, the signal is multiplied by the K modified codes and is phase- and quadrature-correlated by two phase and quadrature sub-carriers generated locally.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un récepteur et un procédé de réception d'un signal radioélectrique de navigation modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ , dans lequel, ledit signal radioélectrique est transformé en bande de base sur deux voies I, Q, caractérisé en ce que des codes pseudos-aléatoires modifiés, en nombre K, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé,

[Suite sur la page suivante]



WO 2008/090276 A3

**WO 2008/090276 A3**

LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

**(88) Date de publication du rapport de recherche internationale:**

18 septembre 2008

---

sont générés localement par un générateur (23) de codes modifiés, chaque code modifié présentant sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1/\alpha \cdot f_{sp}$ , la forme du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, et étant décalé temporellement d'une durée  $T_k$  du code pseudo-aléatoire modifié précédent; sur chaque voie, le signal est multiplié par les  $K$  codes modifiés et est corrélé en phase et en quadrature par deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement.

## PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE RÉCEPTION D'UN SIGNAL DE RADIONAVIGATION À MODULATION BOC

L'invention concerne un procédé et un dispositif de réception de signaux de radionavigation modulés émis par des satellites d'un système de navigation destinés à permettre une détermination autonome de la position du dispositif de réception dans un repère propre à ce système.

Les principaux systèmes de radionavigation actuellement disponibles sont le système américain GPS (« Global Positioning System »), le système russe GLONASS (« Global Orbitography Navigation Satellites System ») et le nouveau système européen GALILEO constitué de trente satellites en orbite moyenne.

Le positionnement d'un terminal de réception, dit dans tout le texte récepteur, dans un tel système est fondé sur la connaissance des distances, dites pseudo-distances, entre ce récepteur et plusieurs satellites de ce système (au moins trois pour un positionnement en trois dimensions, en pratique quatre pour lever l'incertitude sur le décalage d'horloge entre le système et le récepteur). Chaque pseudo-distance est dérivée de la position du satellite et de la mesure du temps de propagation d'un signal entre le satellite équipé d'une horloge propre et le récepteur.

Pour chaque système, les positions des satellites sont déterminées à partir d'un réseau de stations sol indépendant des récepteurs. Ces positions sont transmises aux récepteurs par les satellites eux-mêmes. Dès lors, chaque récepteur peut évaluer le retard de tels signaux reçus par rapport aux horloges des satellites, qui sont toutes synchrones. Chaque récepteur peut ainsi déduire de la mesure de ces retards et de la connaissance des positions des satellites, les pseudo-distances correspondantes. La précision du positionnement est donc directement liée à la précision de la mesure de ces retards.

Typiquement, ces signaux sont construits par la modulation de données binaires à faible débit régulier qui correspondent à des informations nécessaires au récepteur pour le calcul de la position (identification du satellite, référence temporelle, correction ionosphérique, almanachs ou éphémérides, etc.)

par des séquences binaires pseudos-aléatoires cadencées à haute fréquence  $f_c$ . Ces signaux sont ensuite transposés dans la plage de fréquence d'émission par modulation avec une porteuse d'émission de fréquence  $f_p$ .

Le récepteur peut ainsi extraire les données contenues dans le signal reçu par une première démodulation à l'aide d'une porteuse générée localement aux fins de transposer le signal en bande de base et une deuxième démodulation à l'aide de séquences pseudo-aléatoires générées localement. La mesure du retard est dérivée de la mesure du retard des séquences pseudo-aléatoire et de la mesure du retard de la porteuse.

Par ailleurs, aux fins de permettre notamment la cohabitation des systèmes GPS et GALILEO dans la bande de fréquence connue sous le nom de bande E2-L1-E1 [1559 MHz à 1591 MHz], où les seules bandes disponibles pour le système GALILEO consistent en deux bandes de 4 MHz agencées de part et d'autre de la bande L1 déjà occupée par le système GPS, il a été nécessaire de définir une modulation particulière, dite modulation à porteuse à double décalage ou BOC (« Binary Offset Carrier »), qui a la particularité de présenter un spectre composé d'au moins deux lobes principaux décalés symétriquement par rapport à la fréquence centrale de la bande L1 (1575,42 MHz).

D'autre part, le nouveau signal militaire du système GPS connu sous le nom de code-M (ou M-code) utilise des modulations BOC pour les bandes de fréquences L1 [1563 MHz à 1587 MHz] et L2 [1215 MHz à 1237 MHz].

Le système GALILEO prévoit également la transmission de signaux à modulation BOC dans la bande de fréquences E6 [1260 MHz à 1300 MHz].

La construction de tels signaux BOC utilise en plus des séquences binaires pseudo-aléatoires précédemment décrites, une sous-porteuse carrée de fréquence  $f_{sp}$ . Un signal BOC est typiquement noté BOC( $m,n$ ) où,  $m$  et  $n$  définissent respectivement le rapport entier entre la fréquence  $f_{sp}$  de la sous-

porteuse de ce signal BOC et la fréquence de la séquence binaire pseudo-aléatoire d'un signal GPS émis sur la bande L1, cette fréquence valant 1,023MHz, et le rapport entier entre la fréquence  $f_c$  de la séquence binaire pseudo-aléatoire de ce signal BOC et cette fréquence de la séquence binaire pseudo-aléatoire d'un signal GPS émis sur la bande L1 valant 1,023MHz. Ces paramètres permettent notamment de comparer un signal BOC à un signal GPS émis sur la bande L1. De plus, la fréquence centrale d'un signal BOC étant la fréquence centrale de la bande L1, il est aisé de réaliser des récepteurs bi-modes GPS et GALILEO.

10 Il existe différents procédés et dispositifs de réception de tels signaux BOC. Typiquement, un récepteur d'un signal BOC comprend un premier module, dit dans toute la suite module radiofréquence, adapté pour permettre la numérisation du signal analogique reçu, et un deuxième module, dit dans toute la suite module numérique, adapté pour démoduler le signal numérisé en vue d'en extraire les informations transmises par le satellite et l'évaluation des différents retards.

FR 2 848 743 décrit par exemple un procédé de traitement d'un signal BOC comprenant une première étape de traitement du signal analogique consistant à effectuer une translation en fréquence des deux lobes principaux du signal l'un vers l'autre par la multiplication du signal d'entrée par un signal analogique du type  $\cos(\omega.t)$  en vue de permettre une numérisation du signal par un échantillonnage peu consommateur en énergie et une seconde étape de traitement consistant à démoduler le signal ainsi numérisé par des corrélations du signal avec une porteuse, une sous-porteuse et des codes générés localement.

25 Cette technique générale de démodulation d'un signal BOC présente l'inconvénient de recourir à de nombreuses intégrations, ce qui implique la consommation d'une grande quantité d'énergie. Dès lors, un récepteur mettant en œuvre un tel procédé doit être régulièrement réalimenté en énergie, limitant ainsi son autonomie.

30 FR 2 853 967 décrit un procédé d'acquisition d'un signal de radionavigation du type BOC, cette acquisition étant effectuée par un

récepteur comprenant une voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature entre le signal reçu et deux porteuses en phase et en quadrature générées localement, une voie de corrélation de sous-porteuse en phase et en quadrature entre les signaux en sortie de la voie de corrélation de porteuse et  
5 deux sous-porteuses générées localement et une voie de corrélation de code généré localement.

L'inconvénient d'un tel traitement réside toujours dans la consommation excessive d'énergie nécessaire pour assurer la démodulation du signal. En particulier, en phase de poursuite, les voies de corrélation requièrent  
10 huit intégrateurs. Or, une intégration est une opération nécessitant une grande quantité de ressources énergétiques.

L'invention vise à proposer un procédé et un dispositif de réception d'un signal de radionavigation de type BOC peu consommateurs en ressources calculatoires et énergétiques.

15 L'invention vise en particulier à proposer un procédé et un dispositif de réception d'un signal BOC dont la démodulation du signal consomme moins d'énergie que la démodulation du signal des procédés et dispositifs de l'art antérieur.

L'invention vise également à proposer un procédé et un  
20 dispositif de réception d'un signal BOC dont la démodulation du signal soit rapide.

L'invention vise également à proposer un procédé de réception d'un signal BOC qui puisse permettre aussi bien l'acquisition que la poursuite du signal.

25 L'invention vise également à proposer un procédé de réception d'un signal BOC qui puisse permettre la démodulation d'un signal à sous-porteuse faible ou élevée.

L'invention vise également à proposer un procédé et un  
30 dispositif de réception d'un signal BOC comprenant deux sous-porteuses distinctes.

Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de réception

d'un signal composite radioélectrique de navigation comprenant au moins un signal, dit signal BOC, modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ , dans lequel :

- 5                                   - le signal radioélectrique est transposé sur une fréquence intermédiaire et numérisé,
- le signal numérisé est corrélé en phase et en quadrature avec deux porteuses locales en phase et en quadrature générées par un oscillateur local de porteuse contrôlé numériquement de manière à fournir un
- 10 signal en bande de base comprenant une voie, dite voie I, et une voie, dite voie Q en quadrature par rapport à la voie I, caractérisé en ce que :
  - des codes pseudos-aléatoires successifs, dits codes modifiés, en nombre  $K$ , où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé, sont
  - 15 générés localement par un générateur numérique de codes modifiés, chaque code modifié présentant sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , la forme du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, deux codes modifiés successifs étant décalés temporellement d'une durée  $T_k$ ,
  - sur chaque voie, le signal en bande de base est
  - 20 multiplié par les  $K$  codes pseudos-aléatoires modifiés,
    - sur chaque voie, les  $K$  signaux résultants sont intégrés sur une période de temps prédéterminée,
    - sur chaque voie, les  $K$  résultats d'intégrations sont entrelacés temporellement,
    - 25                                   - sur chaque voie, le signal ainsi généré est corrélé en phase et en quadrature par deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement,
    - sur chaque voie, le signal en sortie de la voie de corrélation de sous-porteuse est intégré sur une période de temps prédéterminée.

30                                   Un procédé selon l'invention remplace le traitement

couramment utilisé par la plupart des récepteurs de signaux de radionavigation à modulation BOC comprenant pour chacune des voies I et Q, une étape de corrélation du signal reçu par des codes pseudo-aléatoires générés localement avec leur sous-porteuse en phase et en quadrature, par une étape de génération de codes modifiés permettant une étape de corrélation du signal reçu par les codes modifiés préalablement à une étape de corrélation des signaux résultants par deux sous-porteuses en phase et en quadrature générés localement.

Un tel procédé permet de réduire le nombre d'intégrations nécessaires pour assurer la démodulation du signal BOC reçu. En particulier, la génération de  $K$  codes modifiés, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé, permet de ramener la démodulation d'un signal BOC comprenant une porteuse, une sous-porteuse et des codes pseudo-aléatoire, à la démodulation d'un signal comprenant une porteuse et une sous-porteuse. En d'autres termes, l'étape de démodulation du code de l'art antérieur est remplacée par une étape de génération de codes modifiés couplée à une étape de démodulation de la sous-porteuse. L'étape de corrélation sur le code de l'art antérieur est ainsi éliminée, ce qui réduit le nombre d'intégrations nécessaires pour la démodulation d'un signal BOC.

Un procédé selon l'invention est donc moins consommateur en ressources énergétiques que les procédés de l'art antérieur.

Chaque code modifié présente sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , la forme du code sans sous-porteuse et est décalé temporellement du code modifié suivant d'une durée  $T_k$ . Cela signifie que la somme des  $K$  codes modifiés ainsi générés représente le code sans sous-porteuse sur une bribe de temps de durée  $1 / f_c$ .

Selon un mode de réalisation de l'invention, la corrélation du signal en bande de base par ces  $K$  codes modifiés et l'intégration des signaux résultants sur une période prédéterminée peuvent être réalisées par la génération d'un premier code modifié multiplié au signal en bande de base et transmis à un premier bloc d'intégration. Le premier code modifié est ensuite transmis à une

bascule de durée  $T_k$  pour effectuer un décalage temporel de durée  $T_k$  de ce code de manière à générer le deuxième code modifié. Ce deuxième code modifié est multiplié au signal en bande de base et transmis à un deuxième bloc d'intégration. L'opération peut être répétée jusqu'à la génération du dernier code modifié et l'intégration du dernier signal résultant.

Selon une variante de réalisation, le générateur de code modifié peut être remplacé par un générateur de code pseudo-aléatoire associé à un module adapté pour effectuer un lien séquentiel avec  $K$  blocs d'intégrations.

Un procédé selon l'invention permet la réception d'un signal de radionavigation en assurant la numérisation du signal et la démodulation du signal numérisé.

Typiquement, la réception d'un signal de radionavigation comprend un premier traitement, dit traitement d'acquisition du signal, et un deuxième traitement, dit traitement de poursuite du signal.

Avantageusement et selon l'invention, un procédé selon l'invention comprend les étapes dans lesquelles,

- une estimation d'énergie est calculée à partir des signaux de sortie de voies.
- une estimation de la phase de la porteuse est calculée à partir desdits signaux de sortie de voie intégrés.

Ces deux étapes permettent d'estimer le retard du code pseudo-aléatoire basé sur une estimation d'énergie et la correction sur la phase de la porteuse au cours du traitement d'acquisition du signal.

Une fois l'estimation du retard du code et de la phase de la sous-porteuse réalisés, un procédé selon l'invention est adapté pour assurer le traitement de poursuite du signal.

Avantageusement et selon l'invention, en phase de poursuite,

- une estimation de la phase de la porteuse est calculée à partir des signaux de sortie de voies,
- une estimation de la phase de la sous-porteuse est

calculée à partir des signaux de sortie de voies,

- une correction de la phase de la porteuse et du retard du code est effectuée si ladite énergie estimée diminue au cours du temps,

- une démodulation des données de navigation  
5 transmises par le signal BOC est réalisée.

Un procédé selon l'invention permet l'acquisition du signal et la poursuite du signal. Ces deux traitements sont réalisés en minimisant le recours aux ressources énergétiques, en limitant le nombre d'intégration nécessaire à la démodulation du signal.

10 L'estimation de l'énergie du signal peut être réalisée par tous les moyens connus.

Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, l'estimation d'énergie est réalisée par une somme quadratique de chacun des signaux de sortie de voies.

15 L'estimation de la phase de la sous-porteuse peut être réalisée par tous les moyens connus.

Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, l'estimation de la phase de la sous-porteuse est réalisée par un estimateur du type arctangente.

20 Un procédé selon l'invention comprend une étape de génération de  $K$  codes pseudo-aléatoires modifiés, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ .  $K$  traduit le découpage effectué par la sous-porteuse sur une brique de code pseudo-aléatoire. Dès lors, la valeur de l'entier  $\alpha$  dépend de la forme de la sous-porteuse, notamment du signe de la sous-porteuse. Un procédé selon l'invention permet le  
25 traitement de tout signal BOC, quel que soit le découpage effectué par la sous-porteuse sur une brique de code pseudo-aléatoire.

En général, la sous-porteuse d'un signal à modulation BOC, présente deux niveaux. La valeur de l'entier  $\alpha$  est dépendante du nombre de niveaux de la sous-porteuse. En l'occurrence, pour une sous-porteuse à deux  
30 niveaux, la valeur de l'entier  $\alpha$  doit être un multiple de 4.

Dès lors, avantageusement et selon l'invention la valeur de

l'entier  $\alpha$  est fixé à 4.

Néanmoins, pour une sous-porteuse présentant un nombre supérieur de niveaux, la valeur de l'entier  $\alpha$  est fixée à une valeur multiple de ce nombre de niveaux de cette sous-porteuse.

5 Un procédé selon l'invention permet la réception d'un signal BOC à un canal et la réception d'un signal BOC à deux canaux, notamment un canal pilote et un canal de données. Pour ce faire, un procédé selon l'invention comprend une étape de génération de codes pseudo-aléatoires modifiés pour le canal pilote, et une étape de génération de codes pseudo-  
10 aléatoires modifiés pour le canal de données. Toutes les autres étapes sont sur chaque canal, pilote et de données, similaires à celles précédemment mentionnées.

L'invention s'étend à un récepteur d'un signal composite de radionavigation comprenant au moins un signal modulé par une porteuse, une  
15 sous-porteuse carrée, et un code pseudo-aléatoire.

Pour ce faire, l'invention concerne également un récepteur d'un signal composite radioélectrique de navigation comprenant au moins un signal, dit signal BOC, modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-  
porteuse de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ ,  
20 comprenant :

- un circuit de corrélation de résidu de porteuse en phase et en quadrature entre ledit signal BOC et deux porteuses locales en phase et en quadrature générées par un oscillateur local de porteuse de manière à  
fournir un signal en bande de base comprenant une voie, dite voie I, et une voie,  
25 dite voie Q, en quadrature par rapport à ladite voie I, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un générateur numérique de  $K$  codes pseudo-aléatoires, dits codes modifiés, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé, chaque code modifié présentant sur une brève de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , la  
30 forme du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, et étant décalé

temporellement d'une durée  $T_k$  du code pseudo-aléatoire modifié précédent,

- un circuit de corrélation en phase et en quadrature entre le signal en bande de base et les  $K$  codes pseudos-aléatoires modifiés,

5 - un circuit de corrélation en phase et en quadrature entre les signaux résultants et deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement.

Avantageusement, un récepteur selon l'invention comprend un estimateur de phase de porteuse, un estimateur de phase de sous-porteuse et un estimateur d'énergie.

10 Avantageusement, un récepteur selon l'invention comprend un estimateur de phase de sous-porteuse du type arctangente.

Un procédé selon l'invention est avantageusement mis en œuvre dans et par un récepteur selon l'invention.

L'invention concerne en outre un procédé de réception d'un 15 signal de radionavigation et un récepteur d'un signal de radionavigation, caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante qui présente à titre d'exemple 20 non limitatif un mode de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés ; sur ces dessins :

- la figure 1 est une vue schématique d'un récepteur d'un signal de radionavigation selon l'invention,

25 - la figure 2 est une vue schématique des signaux de modulation d'un signal BOC, d'un signal BOC résultant, et de codes pseudo-aléatoires modifiés générées selon l'invention,

- la figure 3 est une vue schématique d'un module radiofréquence d'un récepteur selon un mode de réalisation de l'invention adapté pour convertir un signal radioélectrique reçu en un signal numérique en bande de 30 base,

- la figure 4 est une vue schématique d'un module

numérique d'un récepteur selon un mode de réalisation de l'invention,

- la figure 5 est une vue schématique d'un module numérique d'un récepteur selon un mode de réalisation de l'invention en phase de poursuite.

5 Le récepteur de la figure 1 comprend une antenne 1 adaptée pour recevoir un signal radioélectrique en provenance d'un satellite, un module 2 radiofréquence adapté pour mettre en forme le signal radioélectrique reçu pour son traitement par un module 4 numérique. Le module 2 radiofréquence réalise des fonctions connues d'amplification, de filtrage et de translation spectrale du  
10 signal reçu. Le module 2 radiofréquence est associé à un module 3 de numérisation adapté pour échantillonner le signal à la sortie du module 2 radiofréquence. Ce signal numérisé est projeté sur des voies en phase et en quadrature d'un module 4 numérique. Le module 4 numérique réalise des fonctions de désétalement du signal et des données. Ce module 4 peut également  
15 réaliser des opérations de rapprochement des lobes pour les signaux à sous-porteuse élevée. Le module 4 numérique permet de fournir à au moins trois sorties 40, 41, 42, respectivement, les données transmises par le signal reçu, une estimation de la phase de la porteuse et une estimation du retard.

Le module 4 numérique réalise par corrélation du signal  
20 d'entrée avec des signaux de référence générés localement, le désétalement du signal de donnée. Cette opération nécessite l'alignement temporel du signal de référence généré localement et l'estimation de l'erreur de phase porteuse-référence locale.

Un signal modulé selon une modulation BOC comporte une  
25 porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ .

La figure 2e présente un signal de radionavigation selon une modulation BOC. Un tel signal est par exemple obtenu par un code pseudo-aléatoire tel que représenté sur la figure 2a, une sous-porteuse telle que  
30 représentée sur la figure 2b et une porteuse telle que représentée sur la figure 2d.

La figure 2c est une représentation du code pseudo-

aléatoire avec sous-porteuse. Selon ce mode de réalisation, le rapport  $m/n$  vaut 1 et le nombre de codes pseudo-aléatoires modifiés vaut 4.

La réception d'un signal modulé selon une telle modulation BOC comprend des étapes de numérisation du signal reçu pour donner un signal numérique, dit signal en bande de base, et des étapes de démodulation du signal numérisé.

La numérisation du signal comporte une étape d'échantillonnage du signal à une fréquence d'échantillonnage  $f_e$ . Il est connu que la fréquence d'échantillonnage, pour respecter le critère de Shanon-Nyquist qui évite le repliement du spectre, doit être supérieure ou égale à la largeur de bande du spectre du signal. Le spectre d'un signal BOC ayant une bande de fréquence large, le respect de ce critère implique une fréquence  $f_e$  élevée, ce qui implique une consommation importante d'énergie pour l'échantillonnage du signal. Dès lors, selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, la numérisation du signal est suivie d'une étape de translation des lobes du signal BOC les uns vers les autres pour réduire la bande de fréquence, ce qui permet de réduire la fréquence des traitements de corrélation et donc de réduire la consommation d'énergie.

Ces étapes de numérisation du signal peuvent être réalisés par un module radiofréquence de numérisation du signal tel que représenté sur la figure 3.

En sortie d'une antenne 1 de réception, un filtrage passe-bande du signal est de préférence réalisé par un filtre 31 passe-bande de manière à éliminer le bruit ou les interférences en dehors de la bande de fréquence de réception. Ce filtre 31 passe-bande peut-être réalisé par tous moyens connus, par exemple par un filtre céramique. Le signal résultant est de préférence, tel que représenté sur la figure 3, amplifié par un amplificateur 32 faible bruit.

Selon un mode de réalisation avantageux, le signal résultant est multiplié par un oscillateur local pour redescendre à une fréquence intermédiaire  $f_{IF}$  avant numérisation. Pour ce faire, le signal à la sortie de

l'amplificateur 32 est multiplié par un signal de la forme  $\cos(2\pi.(f_p - f_{IF}).t)$  par un oscillateur 43 local à l'aide d'un multiplicateur 33 adapté pour effectuer la multiplication du signal amplifié par ce signal généré.

De préférence, le signal résultant est filtré au moyen d'un  
5 filtre passe-bande 34 qui peut être de tout type.

Le signal résultant est ensuite numérisé par un convertisseur 36 analogique numérique.

Le signal résultant est multiplié, sur une première voie, dite voie I, par un signal de la forme  $\cos(2\pi.f_{IF}.t)$  généré par un oscillateur 40  
10 contrôlé numériquement à l'aide d'un multiplicateur 41 adapté pour effectuer la multiplication du signal numérisé par ce signal généré. Ce même signal est également multiplié, sur une seconde voie, dite voie Q, par un signal de la forme  $\sin(2\pi.f_{IF}.t)$  généré par l'oscillateur 40 contrôlé numériquement à l'aide d'un multiplicateur 41' adapté pour effectuer la multiplication du signal numérisé par  
15 ce signal généré.

Sur chacune des voies I et Q, le signal résultant est filtré au moyen d'un filtre 39, 39' passe-bas ou passe bande. Ces filtres 39, 39' peuvent être de tout type.

Si la sous-porteuse est élevée, on peut de manière  
20 optionnelle utiliser un signal du type  $\cos^2(\pi.\omega.t)$  pour réduire la fréquence des traitements.

Ainsi, selon ce mode de réalisation de l'invention, sur chaque voie, le signal résultant est multiplié par un signal de la forme  $\cos^2(\pi.\omega.t)$ ,  $\omega$  dépendant de la fréquence de la sous-porteuse, du rythme du code pseudo-aléatoire et de la fréquence d'échantillonnage. Ce signal est par exemple généré  
25 par un oscillateur 37 numérique. Les multiplications entre les signaux en sortie des filtres 39, 39' et le signal généré par l'oscillateur 37 numérique sont réalisées par deux multiplicateurs 35, 35' agencés respectivement sur chaque voie I et Q.

Selon ce mode de réalisation de l'invention, sur chaque  
30 voie, le signal est à nouveau filtré par un filtre passe-bande 38, 38' agencé

respectivement sur chacune des voies I et Q.

Le signal est ainsi prêt à être démodulé.

Dans le cas de la réception d'un signal BOC à des fins de positionnement d'un récepteur, la démodulation du signal a pour but de permettre  
5 la mesure du retard de propagation à partir de la différence entre le temps d'émission du code par le satellite et le temps de réception du code par le récepteur.

De plus, un signal radioélectrique émis par un satellite en mouvement reçu par un récepteur est soumis à un effet doppler, inconnu du  
10 récepteur.

Dès lors, la démodulation du signal se fait par corrélation du signal BOC reçu avec une porteuse, une sous-porteuse et des codes générés au niveau du récepteur. Cette sous-porteuse et ces codes générés au niveau du récepteur sont initialisés pour présenter un retard et un effet doppler a priori  
15 inconnu.

Dans une première phase, dite phase d'acquisition, l'énergie d'une fonction d'autocorrélation entre le signal reçu et le signal généré localement est évaluée en vue de la recherche d'un maximum. Ce maximum d'énergie est caractéristique d'un déphasage minimal entre le signal reçu et le  
20 signal généré. Ce déphasage minimal indique que les valeurs de retard et d'effet doppler utilisés pour l'évaluation de l'énergie sont proches des valeurs effectives.

Ces valeurs sont ensuite affinées dans une deuxième phase, dite phase de poursuite.

Comme représenté sur la figure 4, le signal numérisé est un  
25 signal complexe comportant une voie I et une voie Q.

Un procédé selon l'invention mis en œuvre par et dans un récepteur selon l'invention comprend une première étape de multiplication du signal numérisé sur chacune des voies I et Q par des signaux respectifs en phase et en quadrature générés à la fréquence  $f_{pres}$  de la porteuse résiduelle par un  
30 générateur de porteuse.

Un récepteur selon un mode de réalisation de l'invention

pour la mise en œuvre de cette étape peut comprendre, tel que représenté sur la figure 4, un multiplicateur 7 adapté pour effectuer la multiplication du signal en bande de base de la voie I par un signal de la forme  $\cos(2\pi.f_{p_{res}}.t)$ , un multiplicateur 7' adapté pour effectuer la multiplication du signal en bande de base de la voie Q par ce même signal, un multiplicateur 8 adapté pour effectuer la multiplication du signal en bande de base de la voie I par un signal de la forme  $\sin(2\pi.f_{p_{res}}.t)$  et un multiplicateur 8' adapté pour effectuer la multiplication du signal en bande de base de la voie Q par ce même signal.

Les signaux de la forme  $\cos(2\pi.f_{p_{res}}.t)$  et  $\sin(2\pi.f_{p_{res}}.t)$  sont de manière connue générés par un oscillateur à commande numérique.

Sur la voie I, un récepteur selon ce mode de réalisation comprend un sommateur 9 adapté pour effectuer la sommation des signaux à la sortie des multiplicateurs 7 et 8'. Sur la voie Q, un récepteur selon ce mode de réalisation comprend un sommateur 9' pour effectuer la sommation des signaux à la sortie des multiplicateurs 7' et 8.

Un procédé selon l'invention mis en œuvre par et dans un récepteur selon l'invention comprend ensuite une étape de génération de  $K$  codes modifiés, où  $K = \alpha.f_{sp}/f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé.  $K$  traduit le découpage effectué par la sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$  sur une bribe du code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ .

Selon un mode de réalisation, tel que représenté sur les figures 2a à 2i, la fréquence de la sous-porteuse est égale à la fréquence du code pseudo-aléatoire. De plus, la sous-porteuse présente deux niveaux. Selon un mode de réalisation avantageux, l'entier  $\alpha$  est fixé à 4, de telle sorte qu'un générateur de codes modifiés selon l'invention permet la génération de 4 codes pseudo-aléatoires modifiés. Chaque code présente sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1/4.f_{sp}$ , le signe du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse. En d'autres termes, chaque code a la forme d'un créneau de durée  $T_k$ . Les créneaux des différents codes pseudo-aléatoires modifiés sont décalés temporellement deux à

deux successivement d'une valeur  $T_k$ .

Les figures 2f à 2i présente les quatre codes pseudo-aléatoires modifiés ainsi générés.

La génération des  $K$  codes modifiés est réalisée par un  
 5 générateur 23 de codes modifiés. Ce générateur 23 est adapté pour émettre des créneaux de durée  $T_k$ , séparés deux à deux successivement d'une durée  $T_k$ .

Sur chacune des voies I et Q, les signaux à la sortie des sommateurs 9 et 9' sont multipliés par ces  $K$  codes pseudo-aléatoires modifiés au moyen de multiplicateurs 10, 10' respectifs.

10 Sur chaque voie I et Q, les résultats de ces multiplications obtenus à différents instants sont sommés par des éléments de sommation 11, 11'.

Sur chaque voie I et Q, les  $K$  résultats obtenus à la sortie des éléments de sommation 11, 11' sont entrelacés temporellement par des  
 15 dispositifs 12, 12' d'entrelacement de manière à fournir un signal unique en sortie de ces dispositifs d'entrelacement.

Dans une étape suivante, deux opérations sont menées en parallèle sur chaque voie, d'une part, la multiplication du vecteur composé des  $K$  éléments par un signal du type  $\cos(2\pi.f_{sp}.t + \varphi)$  synchronisé sur un front montant  
 20 du code pseudo-aléatoire généré par le récepteur, et d'autre part, la multiplication du vecteur composé des  $K$  éléments par un signal en quadrature de type  $\sin(2\pi.f_{sp}.t + \varphi)$  synchronisé sur le front montant du code pseudo-aléatoire généré par le récepteur. Ces multiplications sont réalisées sur la voie I par des multiplicateurs 13, 14 et sur la voie Q par des multiplicateurs 13', 14'.

25 L'étape suivante consiste à sommer par des éléments de sommations 15, 16, 15', 16' les  $K$  éléments sur chaque voie.

Cette dernière étape permet ainsi la génération de signaux sur quatre voie  $I_I, I_Q, Q_I, Q_Q$ . Dans toute la suite, on notera par  $I_I, I_Q, Q_I, Q_Q$ , les signaux présents sur chacun des voies  $I_I, I_Q, Q_I, Q_Q$ .

30 Pendant la phase d'acquisition, un récepteur selon

l'invention utilise ces quatre sorties pour estimer le retard et la fréquence Doppler ainsi que pour initialiser les boucles de code et de porteuse.

Un récepteur selon l'invention comprend un module 18 d'estimation de l'énergie. Ce module 18 d'estimation de l'énergie est adapté pour  
5 évaluer l'énergie E selon la relation  $E = \sum (I_I^2 + I_Q^2 + Q_I^2 + Q_Q^2)$ .

L'estimation de l'énergie par le module 18 d'estimation permet de déterminer si la poursuite est effectuée sur le pic principal de la fonction d'autocorrélation ou sur un pic secondaire. En particulier, une diminution d'énergie est représentative d'une poursuite sur un pic secondaire.  
10 Dans un tel cas, un module 20 correcteur de phase et de retard est adapté pour effectuer une correction sur l'estimation du retard du code et une correction sur l'estimation de la phase de la porteuse.

Ce module 20 correcteur est adapté pour fournir une phase de la porteuse et un retard de code schématiquement représentés sur les figures 4  
15 et 5 respectivement par un bloc module 22 et un bloc module 21. Selon un mode de réalisation avantageux, cette phase de porteuse et ce retard de code peuvent être, de manière connue, respectivement filtrés par un filtre 52 de boucle sur la porteuse et un filtre 51 de boucle sur le code.

L'estimation de la phase de la porteuse est effectuée en  
20 utilisant une fonction du type arctangente. Un récepteur selon l'invention comprend un module 17 d'estimation de la phase de la porteuse. Ce module 17 d'estimation de la phase de la porteuse est adapté pour estimer la phase selon la relation  $\delta\varphi = \arctan(Q_Q/I_Q)$ . Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la phase de la porteuse peut être estimée par d'autres moyens équivalents.

25 En phase de poursuite, outre le module 17 d'estimation de la phase de la porteuse et le module 18 d'estimation de l'énergie, un module 19 d'estimation de la phase de la sous-porteuse est utilisé pour permettre la poursuite du code. Selon l'invention, la phase de la sous-porteuse est proportionnelle au retard du code. L'estimation de la sous-porteuse peut être  
30 réalisée à partir de l'une au moins des paires  $(I_I, I_Q)$ ,  $(Q_I, Q_Q)$ . Sur la figure 5,

le module 19 d'estimation de la phase de la sous-porteuse est réalisé uniquement à partir de la paire  $(I_I, I_Q)$ .

Ce module 17 d'estimation de la phase de la porteuse permet également d'assurer la démodulation des données de navigation  
5 transmises par le signal BOC. Ces données démodulées sont schématiquement représentées par la référence 53 sur la figure 5.

Un récepteur selon l'invention peut comprendre de manière connue des circuits électroniques adaptés pour mettre en œuvre les fonctions des différents modules décrits précédemment. En particulier, les fonctions décrites  
10 peuvent être réalisées par des circuits intégrés, par des circuits analogiques, par des moyens logiciels ou par une combinaison de moyens logiciels et de circuits électroniques.

Un procédé selon l'invention et un récepteur selon l'invention permettent la réception d'un signal BOC comprenant une sous-  
15 porteuse faible ou une sous-porteuse élevée.

Un procédé et un récepteur selon l'invention permettent la réception d'un signal composite de radionavigation comprenant un ou plusieurs signaux BOC.

Un procédé et un récepteur selon l'invention sont particulièrement adaptés et destinés à la réception de signaux transmis par les  
20 systèmes GALILEO et GPS.

Un procédé et un récepteur selon l'invention permettent la réception d'un signal radioélectrique, notamment un signal de radionavigation, qui nécessite moins de ressources énergétiques que les procédés et récepteurs de  
25 l'art antérieur.

## REVENDICATIONS

1/- Procédé de réception d'un signal composite radioélectrique de navigation comprenant au moins un signal, dit signal BOC, modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse carrée de fréquence  $f_{sp}$  et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ , inférieure à la fréquence  $f_{sp}$ , dans lequel :

le signal radioélectrique de navigation est transposé sur une fréquence intermédiaire et numérisé;

le signal numérisé est corrélé en phase et en quadrature par deux porteuses locales en phase et en quadrature générées par un oscillateur local de porteuse contrôlé numériquement de manière à fournir un signal en bande de base comprenant une voie, dite voie I, et une voie, dite voie Q, en quadrature par rapport à ladite voie I;

et dans lequel :

des codes pseudos-aléatoires successifs, dits codes modifiés, en nombre  $K$ , où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé multiple d'un nombre de niveaux de la sous-porteuse, sont générés localement par un générateur numérique de codes modifiés, chaque code modifié présentant sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , la forme et le signe du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, et a dès lors la forme d'un créneau de durée  $T_k$ , les créneaux des différents codes pseudo-aléatoires modifiés étant décalés temporellement deux à deux successivement de la valeur  $T_k$ ;

sur chaque voie, le signal en bande de base est multiplié par les  $K$  codes pseudos-aléatoires modifiés;

sur chaque voie, les  $K$  signaux résultants sont intégrés sur une période de temps prédéterminée;

sur chaque voie, les  $K$  résultats d'intégrations sont entrelacés temporellement de manière à fournir un signal unique;

sur chaque voie, le signal ainsi généré est corrélé en phase et en quadrature par deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement, pour fournir des signaux, dits signaux de sortie de voie; et

sur chaque voie, le signal de sortie de voie est intégré sur une période de temps prédéterminée.

2/- Procédé selon la revendication 1, dans lequel, de manière à permettre une estimation du retard du code pseudo-aléatoire et une correction sur la phase de la porteuse:

une estimation du retard basée sur un calcul d'énergie à partir des signaux de sortie de voies est réalisée; et

une estimation de la phase de la porteuse est calculée à partir desdits signaux de sortie de voie intégrés.

3/- Procédé selon la revendication 2, dans lequel, en phase de poursuite :

une estimation de la phase de la porteuse est calculée à partir des signaux de sortie de voies;

une estimation de la phase de la sous-porteuse est calculée à partir des signaux de sortie de voies;

une correction de la phase de la porteuse et du retard du code est effectuée si ladite énergie estimée diminue au cours du temps; et

une démodulation des données de navigation transmises par le signal BOC est réalisée.

4/- Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, dans lequel ladite estimation d'énergie consiste à effectuer la somme quadratique de chacun des signaux de sortie de voies.

5/- Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel ladite estimation de la phase de la sous-porteuse est une estimation du type arctangente.

6/- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel ledit entier  $\alpha$  est fixé à 4.

7/- Récepteur d'un signal radioélectrique de navigation comprenant au moins un signal, dit signal BOC, modulé par une porteuse de fréquence  $f_p$ , une sous-porteuse de fréquence  $f_{sp}$ , et un code pseudo-aléatoire de fréquence  $f_c$ , comprenant :

un circuit de corrélation de résidu de porteuse en phase et en quadrature entre ledit signal BOC et deux porteuses locales en phase et en quadrature générées par un oscillateur local de porteuse de manière à fournir un signal en bande de base comprenant une voie, dite voie I, et une voie, dite voie Q, en quadrature par rapport à ladite voie I, comprenant :

un générateur numérique de  $K$  codes pseudo-aléatoires, dits codes modifiés, où  $K = \alpha \cdot f_{sp} / f_c$ ,  $\alpha$  étant un entier prédéterminé multiple d'un nombre de niveaux de la sous-porteuse, chaque code modifié présentant sur une bribe de temps  $T_k$ , où  $T_k = 1 / \alpha \cdot f_{sp}$ , la forme et le signe du code pseudo-aléatoire sans sous-porteuse, et a dès lors la forme d'un créneau de durée  $T_k$ , les créneaux des différents codes pseudo-aléatoires modifiés étant décalés temporellement deux à deux successivement de la valeur  $T_k$ ;

un circuit de corrélation en phase et en quadrature entre le signal en bande de base et les  $K$  codes pseudo-aléatoires modifiés, comprenant des moyens d'intégration des  $K$  codes pseudo-aléatoires modifiés sur une période de temps prédéterminée, et des moyens d'entrelacement temporel des  $K$  résultats d'intégration de manière à fournir un signal unique; et

un circuit de corrélation en phase et en quadrature, sur chaque voie, entre les signaux résultants et deux sous-porteuses en phase et en quadrature générées localement, aptes à fournir des signaux, dits signaux de sortie de voie, et comprenant de moyens d'intégration, sur chaque voie, du signal de sortie de voie sur une période de temps prédéterminée.

8/- Récepteur selon la revendication 7, comprenant un estimateur de phase de porteuse, un estimateur de phase de sous-porteuse et un estimateur d'énergie.

9/- Récepteur selon la revendication 8, dans lequel l'estimateur de phase de sous-porteuse est du type arctangente.

10/- Récepteur selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, dans lequel ledit estimateur d'énergie est adapté pour effectuer la somme quadratique des signaux en sortie de voies.

11/- Récepteur selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, dans lequel ledit entier  $a$  est fixé à 4.

1/5

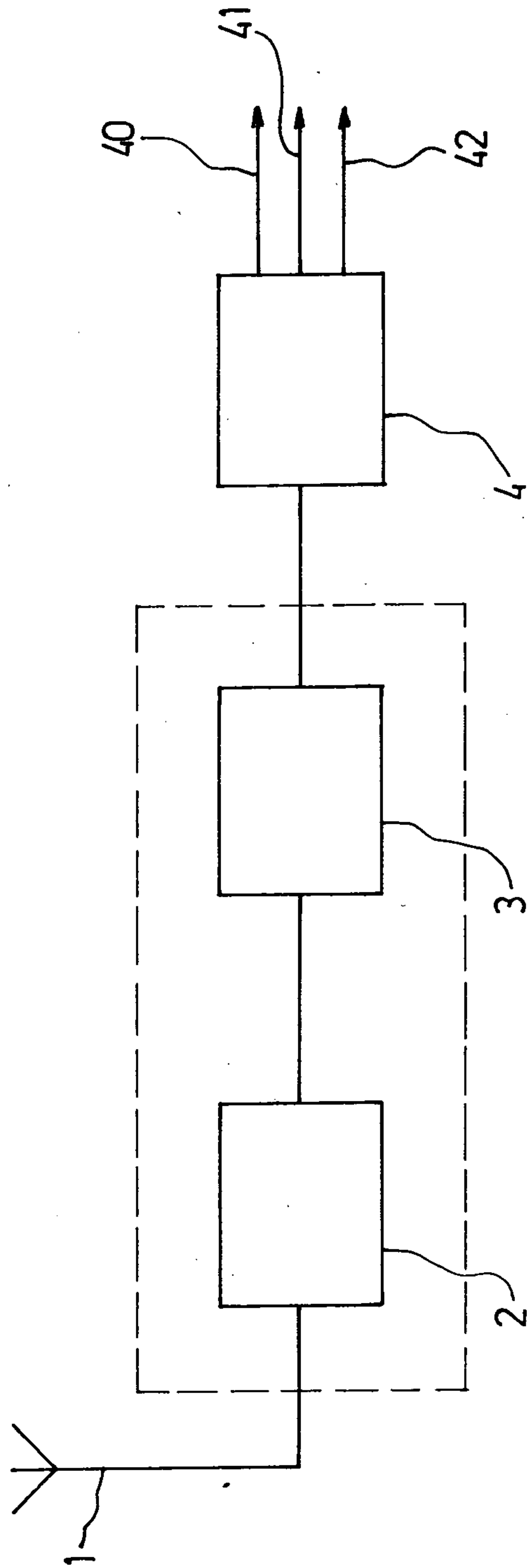
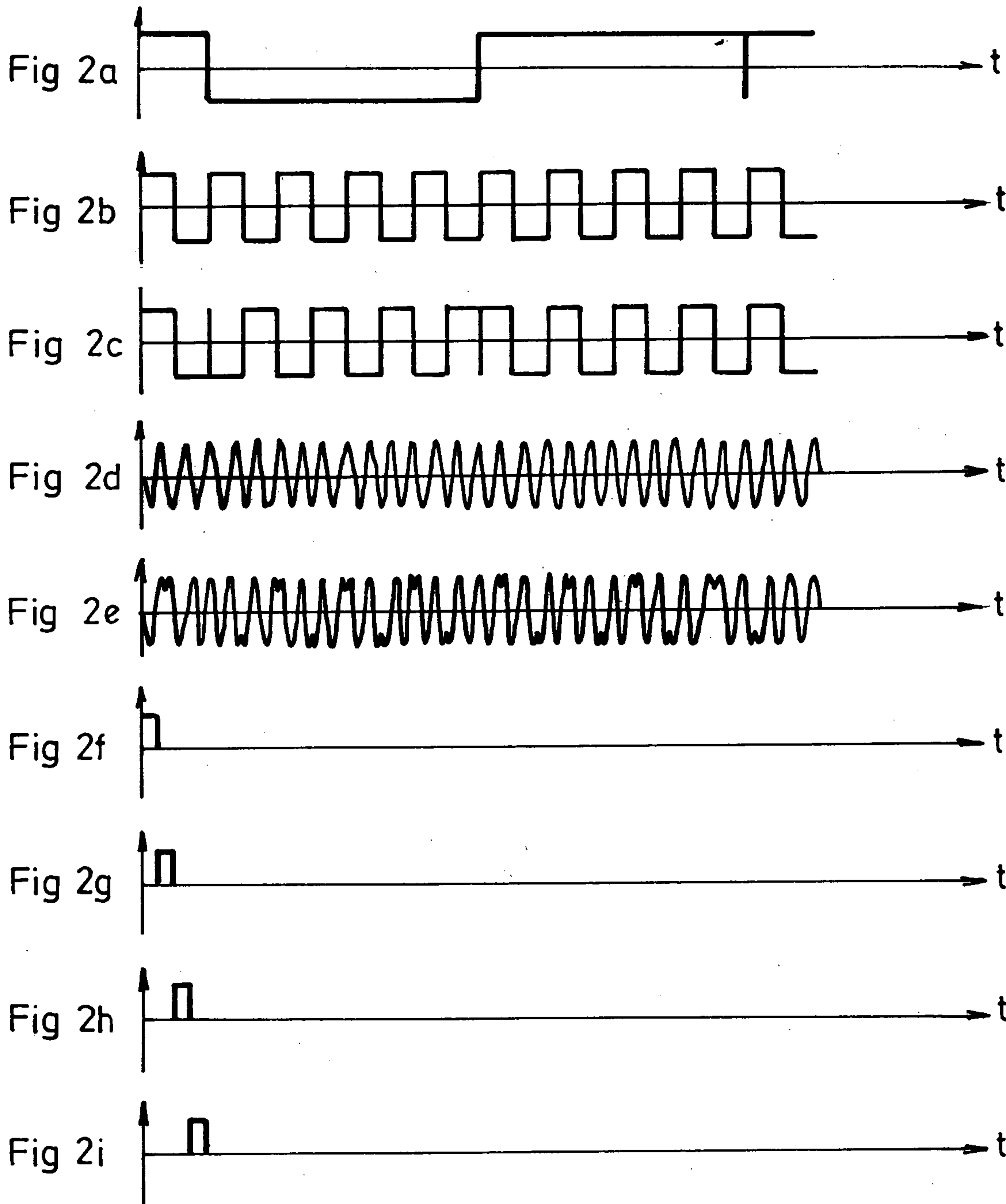


Fig. 1

2/5



3/5

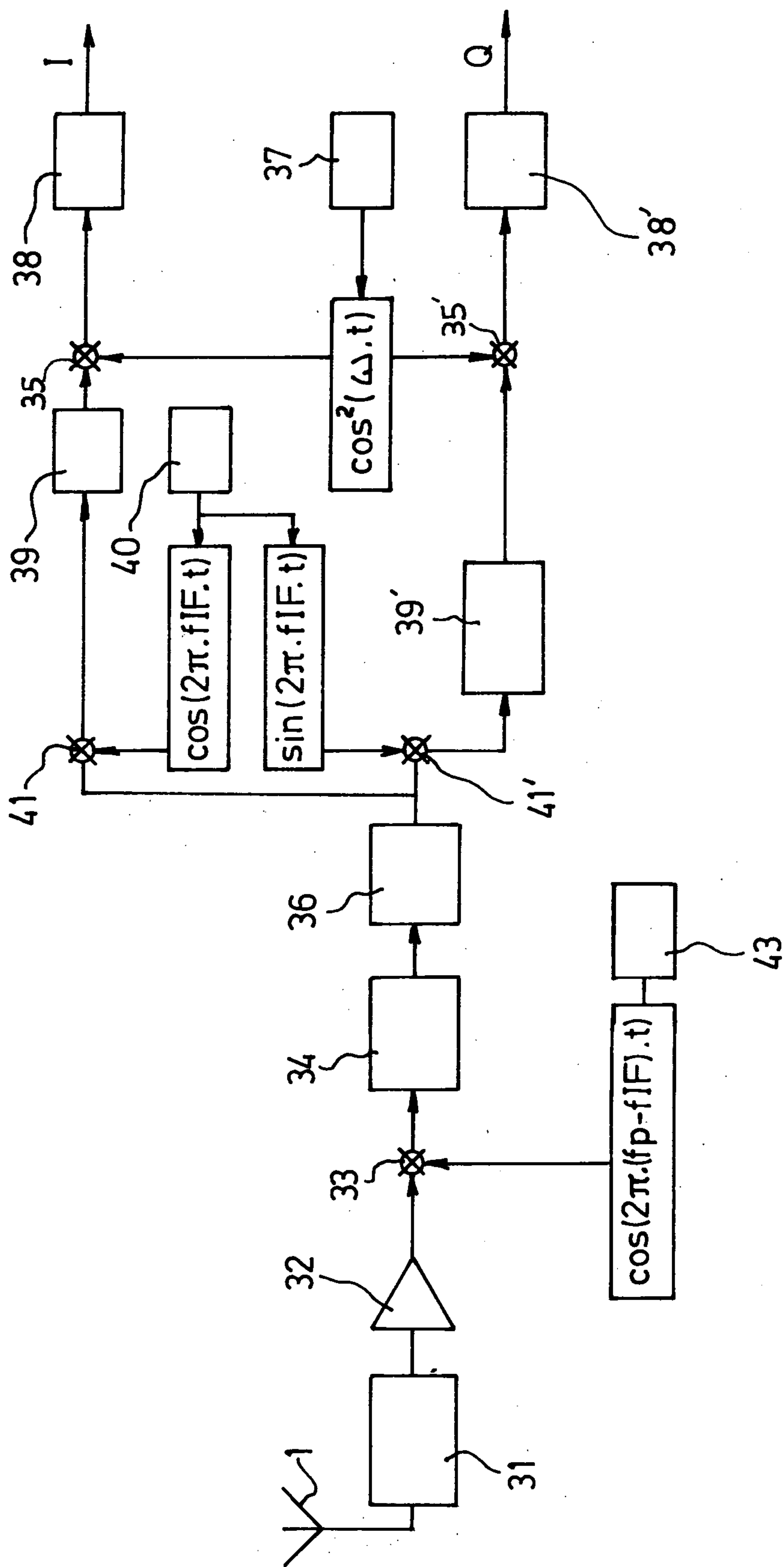


Fig 3

Fig 4

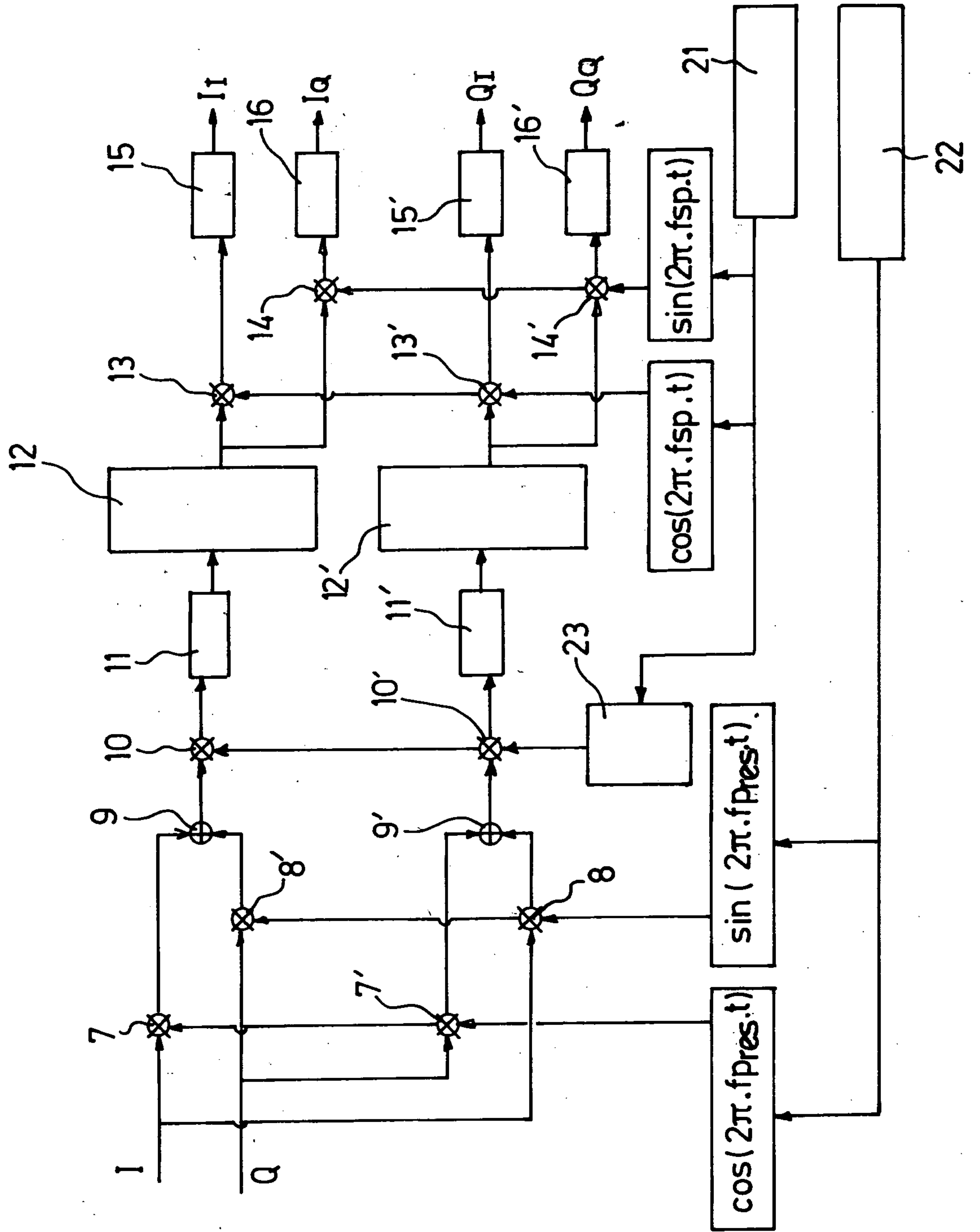


Fig 5

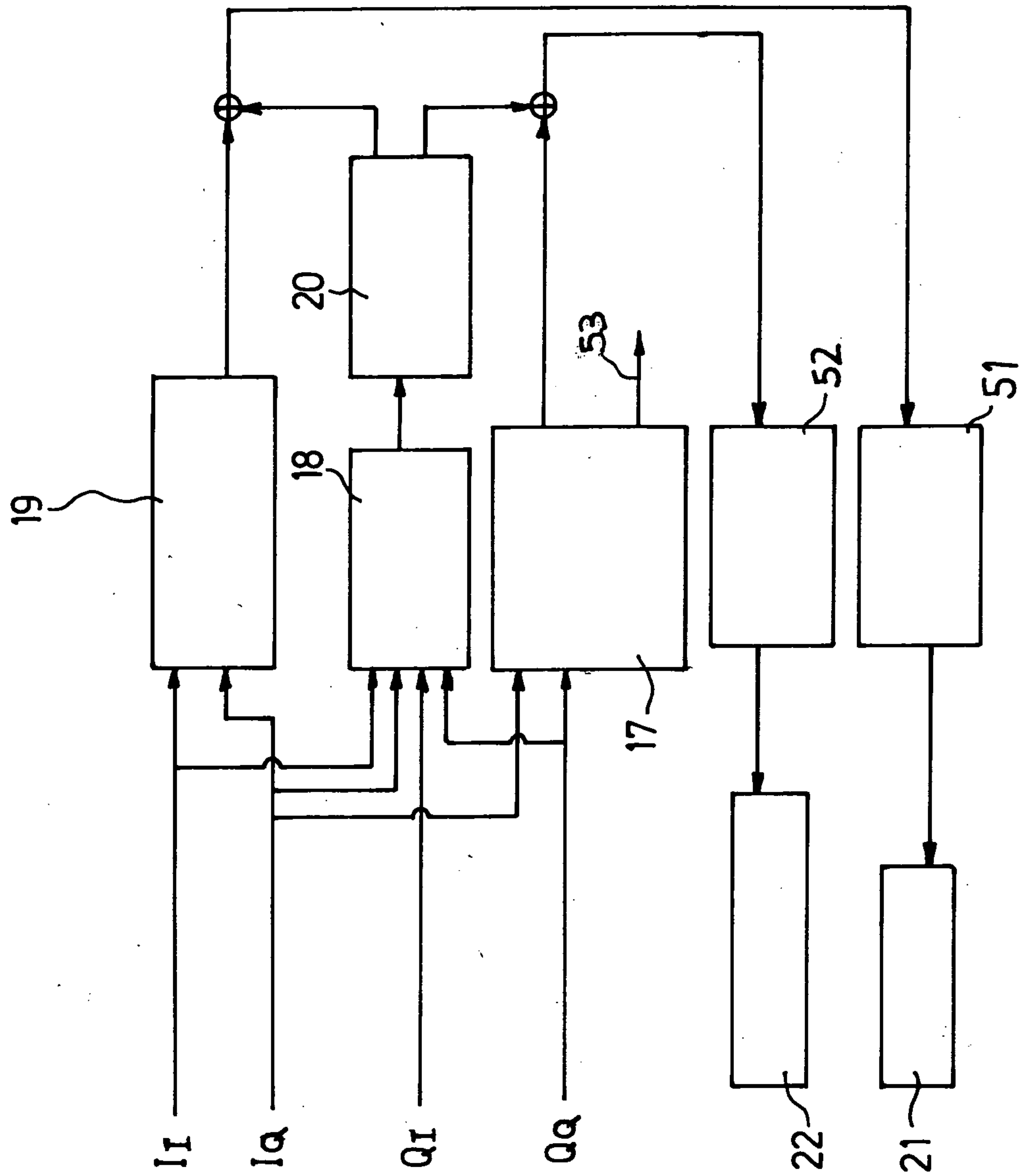


Fig 4

