



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑰ Numéro de dépôt : **94401348.1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup> : **H04H 1/00**

⑱ Date de dépôt : **16.06.94**

⑳ Priorité : **17.06.93 FR 9307309**

⑦② Inventeur : **Theisen, Yves**  
**12 rue de Luppy**  
**F-57580 Beux (FR)**

④③ Date de publication de la demande :  
**21.12.94 Bulletin 94/51**

⑧④ Etats contractants désignés :  
**DE ES GB IT SE**

⑦④ Mandataire : **Rodhain, Claude et al**  
**Cabinet Claude Rodhain S.A.**  
**3, rue Moncey**  
**F-75009 Paris (FR)**

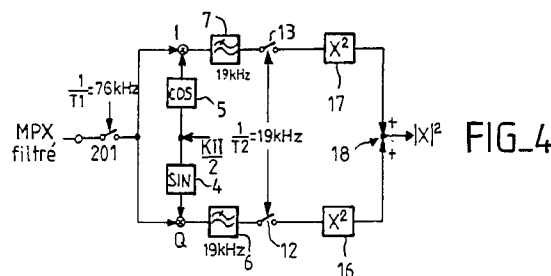
⑦① Demandeur : **TELEDIFFUSION DE FRANCE,**  
**société anonyme**  
**10, rue d'Oradour sur Glane**  
**F-75015 Paris (FR)**

⑤④ **Procédé et dispositif de démodulation numérique de données numériques.**

⑤⑦ L'invention concerne un procédé de démodulation numérique de données numériques selon lequel le signal radiodiffusé est filtré pour séparer le signal d'information.

Le procédé de démodulation comporte les étapes suivantes :

- a) échantillonnage du signal d'information à une fréquence d'échantillonnage  $F_0$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à la fréquence de la sous-porteuse, pour obtenir un signal échantillonné,
- b) séparation du signal échantillonné en deux signaux en quadrature,
- c) filtrage des deux signaux en quadrature pour en éliminer au moins les signaux de fréquence supérieure à  $(F_0 - B)$ , B désignant la demi-largeur de bande du signal d'information,
- d) élévation au carré et sommation des deux signaux en quadrature filtrés pour restituer un signal de données.



La présente invention a pour objet un procédé de démodulation numérique de données numériques, dans lequel une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé est modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée.

La demande de brevet français FR-2 677 195 déposée par la demanderesse et dont le titre est "**procédé de démodulation de signaux RDS par voie numérique, et démodulateur mettant en oeuvre ce procédé**", a pour objet un procédé du type précité, procédé selon lequel le signal radiodiffusé est préalablement filtré pour séparer le signal d'information.

Selon cette antériorité, la démodulation RDS est réalisée de manière numérique, mais, le filtrage du signal d'entrée ainsi que sa mise en forme sont réalisés de manière analogique en amont du convertisseur analogique-numérique.

Il est souhaitable, notamment en raison des performances des circuits numériques, ainsi que pour des raisons de coûts, de réaliser le maximum de fonctions en technique numérique.

L'invention a pour objet un procédé de démodulation numérique selon au moins la mise en forme des signaux et, selon lequel un mode de réalisation préféré, à la fois la mise en forme et le filtrage des signaux sont réalisés de manière numérique.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la mise en forme numérique des signaux est réalisée grâce à un procédé de démodulation numérique de données numériques dans lequel une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé est modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, procédé selon lequel le signal radiodiffusé est préalablement filtré pour séparer le signal d'information, caractérisé par les étapes suivantes :

- a) échantillonnage du signal d'information à une fréquence d'échantillonnage  $F_0$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à la fréquence de la sous-porteuse (par exemple égale au  $4/3$  de la fréquence de la sous-porteuse, ou un multiple de cette valeur, en particulier pour une application au "RDS"), pour obtenir un signal échantillonné,
- b) séparation du signal échantillonné en deux signaux en quadrature,
- c) filtrage des deux signaux en quadrature pour en éliminer au moins les signaux de fréquence supérieure à  $(F_0 - B)$ , B désignant la demi-largeur de bande du signal d'information, de manière à réaliser ladite mise en forme,
- d) élévation au carré et sommation des deux signaux en quadrature filtrés pour restituer un signal de données.

Le procédé comporte avantageusement, entre l'étape c) et l'étape d), une étape de sous-échantillonnage dans un rapport  $2^p$  avec p entier, notamment  $p = 1$ .

Un tel sous-échantillonnage peut être réalisé par simple suppression d'un échantillon sur deux.

Pour réaliser de manière numérique à la fois la mise en forme et le filtrage du signal, l'invention propose un procédé de démodulation numérique dans lequel la sous-porteuse d'un signal radiodiffusé est modulé par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse pour un signal périodique de fréquence prédéterminée, procédé selon lequel le signal radiodiffusé est filtré pour séparer le signal d'information, caractérisé par les étapes suivantes :

- a) échantillonnage du signal radiodiffusé à une fréquence d'échantillonnage  $F_1$  multiple de la fréquence prédéterminée (par exemple égale à un multiple de au moins  $4/3$  de la fréquence de la sous-porteuse ou un multiple de cette valeur) et supérieure à 2 fois la fréquence maximale du spectre de la sous-porteuse modulée, pour obtenir un signal échantillonné,
- b) filtrage du signal échantillonné de manière à supprimer la partie de son spectre située en-dessous du quart de ladite fréquence d'échantillonnage  $F_1$  pour obtenir un signal échantillonné filtré,
- c) sous-échantillonnage du signal échantillonné filtré pour obtenir un signal sous-échantillonné, cette étape pouvant par exemple se faire simplement par suppression d'un échantillon sur deux,
- d) séparation du signal sous-échantillonné, en deux signaux en quadrature,
- e) filtrage des deux signaux en quadrature de manière à éliminer au moins en majeure partie les composantes ne comportant pas d'information du signal d'information,
- f) élévation au carré des signaux en quadrature filtrés lors de l'étape d) pour restituer un signal de données.

Selon un mode de réalisation préféré de l'étape d), celle-ci comporte les sous-étapes suivantes :

- d-1) premier filtrage desdits deux signaux en quadrature pour éliminer les fréquences supérieures au quart de la fréquence de sous-échantillonnage,
- d-2) premier sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature filtrés lors de la sous-étape d-1),
- d-3) filtrage de mise en forme appliqué aux deux signaux générés lors de l'étape d-2).

Un filtrage complet de la composante résiduelle du multiplex peut être obtenu grâce au fait que l'étape d-2) comporte également, après ledit premier sous-échantillonnage, les sous-étapes suivantes :

d-2-1) deuxième filtrage des deux signaux en quadrature soumis au premier échantillonnage pour éliminer la partie du spectre supérieure au quart de la fréquence du premier sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature,

d-2-2) deuxième sous-échantillonnage des deux signaux soumis au deuxième filtrage.

L'invention concerne également un démodulateur numérique permettant de réaliser de manière numérique au moins la mise en forme du signal, ce démodulateur numérique démodulant une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé modulé par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, et comprenant un filtre de séparation restituant en sortie le signal d'information, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un échantillonneur recevant à son entrée le signal d'information, ledit échantillonneur ayant une fréquence d'échantillonnage  $F_0$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à la fréquence de la sous-porteuse (par exemple,  $F_0=4/3$  de la fréquence de la sous-porteuse ou un multiple de cette valeur), et fournissant en sortie un signal échantillonné,
- un multiplieur à deux branches dont l'entrée, est couplée à la sortie de l'échantillonneur et produisant à la sortie de ses branches deux signaux en quadrature,
- une paire de filtres numériques ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'une des deux branches et produisant à sa sortie, l'un de deux signaux en quadrature filtrés, chacun des filtres de ladite paire ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer au moins les signaux de fréquence supérieure à  $(F_0 - B)$ , B désignant la demi-largeur de branche du signal d'information, de manière à réaliser ladite mise en forme,
- un circuit de recombinaison présentant deux entrées dont chacune est couplée à la sortie d'un des filtres de la paire de filtres et produisant à sa sortie un signal de données qui est la somme des carrés des signaux d'entrée du circuit de recombinaison.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le démodulateur comporte un élément de sous-échantillonnage dans un rapport  $2^p$ , avec p entier, interposée entre la sortie des filtres de ladite paire et le circuit de recombinaison pour sous-échantillonner lesdits deux signaux en quadrature filtrés, par exemple par suppression d'un échantillon sur 2.

Selon un mode de réalisation préféré permettant de réaliser, de manière numérique, à la fois la mise en forme et le filtrage du signal d'entrée, l'invention

concerne un démodulateur numérique d'une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un échantillonneur recevant à son entrée, le signal radiodiffusé et produisant à sa sortie, un signal échantillonné, ledit échantillonneur ayant une fréquence d'échantillonnage  $F_1$  multiple de la fréquence prédéterminée (par exemple  $F_1 = 4/3$  de la fréquence de la sous-porteuse ou un multiple de cette valeur) et supérieure à 2 fois la fréquence maximale du spectre de la sous-porteuse modulée,
- un premier filtre numérique dont l'entrée est couplée à la sortie de l'échantillonneur et produisant à sa sortie un signal échantillonné filtré, le premier filtre ayant une courbe de réponse supprimant au moins la partie du spectre du signal échantillonné qui est située au-dessous du quart de ladite fréquence d'échantillonnage  $F_1$ ,
- un premier élément de sous-échantillonnage dont l'entrée est couplée à la sortie du premier filtre numérique et dont la sortie produit un signal sous-échantillonné,
- un multiplieur à deux branches dont l'entrée est couplée à la sortie du premier élément de sous-échantillonnage et produisant à la sortie de ses branches deux signaux en quadrature,
- une paire de filtres numériques ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'une des deux branches et produisant à sa sortie l'un de deux signaux en quadrature filtrés, chacun des filtres de ladite paire ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer au moins en majeure partie les composantes ne comportant pas d'information du signal d'information,
- un circuit de recombinaison présentant deux entrées dont chacune est couplée à la sortie d'un des filtres de ladite paire de filtres et produisant à sa sortie un signal de données qui est la somme des carrés des signaux d'entrée de circuit de recombinaison.

Selon un mode de réalisation avantageux, ladite paire de filtres numériques comporte :

- une paire de premiers éléments de filtrage dont l'entrée est couplée à la sortie d'une desdites deux branches, et ayant une bande passante permettant d'éliminer des fréquences supérieures au quart de la fréquence de sous-échantillonnage,
- une paire de premiers éléments de sous-échantillonnage ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'un des premiers éléments de filtrage,

- une paire de deuxièmes éléments de filtrage de mise en forme ayant chacun une entrée couplée à la sortie des éléments de sous-échantillonnage de ladite paire et dont les sorties constituent les sorties des filtres de ladite paire de filtres numériques.

Selon un mode de réalisation préféré, le démodulateur comporte également :

- une paire de troisièmes éléments de filtrage dont les entrées sont couplées aux sorties respectives de la paire d'éléments de sous-échantillonnage, les troisièmes éléments de filtrage ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer la partie du spectre supérieure au quart de la fréquence d'échantillonnage des premiers éléments de sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature,
- une paire de deuxièmes éléments de sous-échantillonnage ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'un des troisièmes éléments de filtrage, et ayant chacun une sortie couplée à une entrée d'un des deuxièmes éléments de filtrage.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre d'exemple non limitatif, dans le cadre d'une démodulation de données RDS, en liaison avec les dessins qui représentent :

- la figure 1, un schéma de la structure d'un circuit selon l'art antérieur précité,
- la figure 2, un schéma illustrant le premier mode de réalisation de l'invention dans lequel la mise en forme du signal est réalisée de manière numérique,
- la figure 3, un schéma du mode de réalisation préféré de l'invention selon lequel la mise en forme et le filtrage sont réalisés de manière numérique,
- la figure 4, un mode de réalisation du schéma de la figure 2,
- la figure 5, un mode de réalisation du schéma préféré de la figure 3,
- la figure 6, un schéma de filtre connu en soi susceptible d'être utilisé dans les modes de réalisation des figures 4 et 5,
- les figures 7a à 7f, respectivement, en 7a, le spectre d'un multiplex FM en bande de base présentant des données RDS, en 7b, le spectre du multiplex précédant après échantillonnage à 152 kHz, en 7c, un spectre de ce multiplex après sous-échantillonnage à 76 kHz, en 7d, le spectre de la figure 7c auquel est appliqué l'opération de quadrature, en 7e, le spectre du signal de la figure 7d après filtrage et sous-échantillonnage à 38 kHz, et en 7f, le spectre du signal échantillonné à 19 kHz après filtrage de mise en forme.

Le système RDS (Radio Data System) est un sys-

tème de diffusion de données numériques selon une sous-porteuse d'un signal de radiodiffusion en modulation de fréquence, dont les spécifications ont été définies par l'Union Européenne de Radiodiffusion dans la norme CENELEC EN50067. Le système RDS est destiné à être utilisé dans les émetteurs de radio en modulation de fréquence, qui fonctionnent dans la bande de 87,5 à 108 MHz.

Le système est utilisé pour transmettre des informations d'aide aux automobilistes qui possèdent un véhicule équipé d'un auto-radio permettant de réaliser des changements automatiques de fréquences, d'afficher le nom de la station et/ou diffuser des informations concernant le trafic routier, etc... Il est également utilisé comme support de transmission de radiomessagerie.

Le type de modulation employé en RDS est une modulation d'amplitude à deux bandes latérales avec suppression de porteuse et codage différentiel par des signaux biphasé, la fréquence de la sous-porteuse étant 57 kHz (valeur correspondant à l'harmonique 3 de la sous-porteuse du signal pilote stéréo à 19 kHz du signal radiodiffusé) et les bandes latérales étant situées à 1187,5 Hz de la fréquence centrale de la sous-porteuse.

La demande de brevet française FR-2 177 195 précitée décrit une fonction de démodulation RDS réalisée de façon numérique après filtrage et mise en forme analogique du signal multiplex. L'avantage majeur d'une démodulation RDS par voie numérique est de pouvoir être effectuée par voie logicielle au moyen d'un micro-processeur, composant qui en tout état de cause préexiste à l'intérieur du récepteur pour assurer les fonctions aval de décodage des signaux numériques bruts.

Selon le brevet précité, il est toujours nécessaire d'utiliser des filtres pour effectuer le préfiltrage du signal pour séparer les signaux d'information du multiplex, et pour réaliser le filtrage de mise en forme proprement dit. Ceci nécessite en l'état actuel de la technique, la mise en oeuvre de filtres extérieurs.

Sur la figure 1, on a représenté sous forme de schéma par bloc un circuit selon l'art antérieur, qui comporte un circuit analogique de mise en forme du signal 100, opérant à partir d'un signal d'entrée à 57 kHz préfiltré. Le circuit de mise en forme reçoit en entrée la sous-porteuse à 57 kHz modulée par les signaux RDS et délivre en sortie l'enveloppe positive, c'est-à-dire le signal modulant, contenant les données RDS. Ce signal modulant est appliqué à un convertisseur analogique-numérique 200 réalisant d'une façon en elle-même classique, l'échantillonnage et la conversion du signal analogique en un signal numérique (par exemple sur 8 ou 12 bits). Un processeur numérique 3 assure la fonction de démodulation, c'est-à-dire la reconnaissance des symboles binaires successifs véhiculés par la porteuse modulée. Cet ensemble délivre en sortie, à partir de la sous-

porteuse à 57 kHz modulée, d'une part des données RDS sous forme numérique brute (succession de bits de données), et d'autre part, un signal synchrone d'horloge de cadencement de ces données à 1187,5 Hz, générées d'après le flux de données démodulées, ce qui permet d'être sûr de son parfait synchronisme.

L'invention propose (figure 2) de mettre en oeuvre le processeur de traitement des données pour réaliser également la mise en forme. Selon la figure 2, le multiplex FM est introduit à l'entrée du convertisseur analogique-numérique 201 dont la sortie attaque le processeur 301 de mise en forme et de traitement cadencé par une horloge de référence à 76 kHz et produit en sortie des signaux d'horloge et de données analogues à ceux de la figure 1.

Dans le mode de réalisation préféré de la figure 3, le convertisseur analogique-numérique 202 reçoit à son entrée le multiplex FM, et fournit sur 8 ou 12 bits des signaux échantillonnés au processeur 302 qui présente les fonctions à la fois de mise en forme et de filtrage du signal pour produire en sortie les signaux de données et d'horloge. Le convertisseur 202 et le processeur de traitement du signal 302 sont cadencés par une horloge de référence à 152 kHz.

Le signal RDS est une sous-porteuse à 57 kHz ajouté au signal stéréophonique ou monophonique et dont le débit des données est de 1187,5 bits/s. Le train de données subit un codage différentiel, et est ensuite codé sous forme de symbole biphasé et filtré par un filtre de mise en forme. Le signal ainsi obtenu subit une modulation d'amplitude à porteuse supprimée autour de la sous-porteuse à 57 kHz.

La démodulation du signal RDS pour obtenir le train de données envoyé avant modulation, se fait classiquement en passant par les 5 étapes suivantes :

- extraction de la sous-porteuse à 57 kHz du signal multiplex stéréophonique ou monophonique par un filtrage passe-bande (qui est réalisé en amont dans le cas de la figure 2, par le processeur 302 dans le cas de la figure 3),
- filtrage de mise en forme à la réception (réalisé de manière numérique que ce soit à la figure 2 ou à la figure 3),
- récupération de l'horloge binaire et décodage des symboles biphasés, également réalisé par le processeur 301 ou le processeur 302.

L'intérêt d'un démodulateur numérique s'explique essentiellement par les points suivants :

- amélioration de la qualité des filtres : il est en effet possible de réaliser des filtres numériques à phase strictement linéaire. Ceci permet de régler tous les problèmes de détérioration du signal liés au délai de groupe des filtres analogiques,
- suppression des problèmes de réglage : la reproductibilité absolue des systèmes numéri-

ques éliminent les problèmes typiques de la technique analogique (tolérance sur les composants, dérive en température, etc),

- possibilité de changer les propriétés des filtres : les coefficients des filtres numériques sont facilement reprogrammables, et il est donc possible d'adapter aisément les filtres en fonction de la qualité de la réception,
- miniaturisation plus facile à réaliser en technique numérique et consommation plus faible,
- démodulation améliorée par rapport au bruit, et par rapport à l'interférence entre symboles, en particulier ; elle est optimale dans le cas où le filtrage et le filtrage de mise en forme sont réalisés de manière numérique. En d'autres termes, le seuil de démodulation (possibilité de démoduler dans le bruit) est nettement amélioré par rapport aux autres procédés numériques.

Selon la figure 4, le signal multiplex filtré introduit à l'entrée du convertisseur analogique-numérique 201 est échantillonné à la fréquence d'échantillonnage  $F_0$  de 76 kHz (soit  $4/3$  de 57 kHz). Le signal est ensuite séparé en deux composantes pour être démodulé en bandes de base selon le principe de la boucle de Costas. Le signal est séparé en deux parties prenant chacune des branches le signal est multiplié dans les multiplieurs I et Q par une porteuse en quadrature par rapport à la porteuse de l'autre branche. L'opération de quadrature du signal se résume à une opération très simple étant donné que la sous-porteuse à 19 kHz du signal MPX filtré est échantillonnée quatre fois par période. Deux échantillons consécutifs sont ainsi en quadrature l'un par rapport à l'autre.

Dans la première branche 5 le signal est multiplié par  $\cos \omega_0 kt = 0, 1$  ou  $-1$ .  $k =$  nombre entier,  $\omega_0 =$  pulsation du signal ( $2\pi \times 19$  kHz),  $T =$  période d'échantillonnage ( $1/T = 76$  kHz). Dans la seconde branche 4 le signal est multiplié par ce même coefficient décalé d'une période d'échantillonnage (sinus). Les deux signaux obtenus sont en quadrature. Un filtrage passe-bas, réalisé par des filtres 6 et 7, est appliqué aux signaux en quadrature pour éliminer les termes à la fréquence double et pour éviter un repliement de spectre lors de prochains sous-échantillonnages. Le filtre est choisi de manière à éliminer les fréquences supérieures à 19 kHz ce qui correspond au quart de la fréquence d'échantillonnage (voir figure 7d). La forme de la courbe de réponse du filtre présente un plateau autour de la fréquence correspondant aux signaux RDS et une pente décroissante pour éliminer les signaux de fréquences supérieures à 19 kHz. On choisit de préférence une pente la plus faible possible pour limiter l'ordre du filtre. Le filtrage étant réalisé, le signal peut à nouveau être sous-échantillonné, en sautant un échantillon sur deux (fréquence d'échantillonnage de 38 kHz) ou bien en rejetant un échantil-

lon sur quatre (fréquence d'échantillonnage de 19 kHz). L'échantillonnage à 19 kHz permet de diminuer les calculs dans l'étape ultérieure qui consiste en une élévation au carré par des circuits 16 et 17 pour récupérer le signal biphase à la sortie d'un sommateur 18.

Selon la figure 5, à la fois la mise en forme et le filtrage du multiplex sont réalisés d'une manière numérique. L'architecture présentée est basée sur la technique de sous-échantillonnage. Elle permet de réduire fortement la fréquence du travail ainsi que l'ordre des filtres numériques utilisés en démodulation. Ceci permet de diminuer de manière importante le nombre de calculs effectués par le processeur 302.

Un signal à bande étroite situé autour d'une sous-porteuse peut être échantillonné à une fréquence égale à la largeur de bande de ce signal sans qu'il y ait de repliement de spectre. Dans le cas du RDS, la largeur de bande 2B du signal à 57 kHz est de 4750 Hz. Cette fréquence correspond à la fréquence minimale à laquelle le signal de données peut être échantillonné.

Le signal multiplex en bande de base est composé d'une partie audio à basse fréquence, et du signal de données autour de 57 kHz (voir figure 7a).

Le signal de donné n'est pas filtré, le signal n'est donc pas à bande étroite au moment de l'échantillonnage par l'échantillonneur 202. Le multiplex MPX est échantillonné par le convertisseur analogique 202 à la fréquence de 152 kHz. La fréquence d'échantillonnage  $F_1$  est choisi de manière telle que :

$$F_1 = 2^n \times 1187,5 \text{ Hz.}$$

Cette fréquence est supérieure à deux fois la fréquence maximum du spectre du signal RDS du multiplex. Il n'y a donc pas de recouvrement de spectre (voir figure 7b).

La première étape consiste à réaliser un filtrage de manière à annuler le spectre du signal situé en-dessous du quart de la fréquence d'échantillonnage  $F_1$ , c'est-à-dire en-dessous de 38 kHz. La forme de ce filtre est représentée à la figure 7b. Le filtre choisi est un filtre passe-bande qui ne modifie pas le signal de données et dont la pente est la plus faible possible pour limiter l'ordre du filtre.

Le signal est alors sous-échantillonné en 23 à la fréquence de 76 kHz. En pratique, ce sous-échantillonnage est opéré par rejet d'un échantillon sur deux. Le spectre du signal ainsi constitué est composé du spectre du signal analogique filtré qui se répète tous les 76 kHz (voir figure 7c). Une nouvelle fréquence porteuse apparaît à 19 kHz ainsi que des résidus du signal audio (représentés en pointillés) à des fréquences légèrement supérieures.

L'étape suivante doit permettre de démoduler le signal de données en bandes de base (figure 7d). Cette démodulation est basée sur le principe de la boucle de Costas. La démodulation n'est pas cohérente, la récupération de phase se faisant dans une

étape ultérieure. Le signal est séparé en deux parties, et dans chacune des branches le signal est multiplié par une porteuse qui est en quadrature par rapport à la porteuse de l'autre branche.

Dans la première branche, le signal est multiplié par :

$\cos \omega_0 kT$ , qui a pour valeur 0, 1 ou -1 avec la même convention de notation que précédemment. Dans la seconde branche, le signal est multiplié par ce même coefficient décalé d'une période d'échantillonnage, ce qui fait que les deux signaux obtenus sont en quadrature. L'opération de quadrature du signal se résume par une opération très simple puisque les coefficients multiplicatifs sont égaux 0, 1, ou -1. Ceci s'explique par le fait que la sous-porteuse à 19 kHz est échantillonnée quatre fois par période. Deux échantillons consécutifs sont donc en quadrature l'un par rapport à l'autre.

Un filtrage passe-bas (filtres 26 et 27) est réalisé sur les signaux en quadrature pour éliminer les termes à la fréquence double ainsi que pour éviter un repliement de spectre lors du prochain sous-échantillonnage. Le filtre est donc choisi de manière à éliminer les fréquences supérieures à 19 kHz, c'est-à-dire au quart de la fréquence d'échantillonnage. La forme de ce filtre est représenté à la figure 7d. Le filtrage étant réalisé, le signal peut à nouveau être sous-échantillonné en 28 et 29 en rejetant un échantillon sur deux, ce qui fait que la nouvelle fréquence d'échantillonnage est égale à 38 kHz et son spectre est représenté à la figure 7e.

Il reste à filtrer les deux signaux en quadrature par le filtre de mise en forme de réception 34 et 35. Toutefois, pour approcher le plus fidèlement possible la caractéristique en cosinus de ce filtre, l'ordre des filtres numériques utilisé doit être élevé. Ceci signifie donc que le nombre de calculs à réaliser pour le filtrage pourrait être lui-même élevé. En divisant encore la fréquence d'échantillonnage par deux, on réduit par deux l'ordre du filtre ainsi que le nombre d'échantillons par bits, ce qui permet de diviser le nombre de calculs par quatre. Pour obtenir cette diminution du nombre des calculs, sans faire d'approximation sur le filtre en cosinus, on est conduit à mettre en oeuvre un second filtrage passe-bas par les filtres 30 et 31 dans chacune des branches pour éviter un repliement de spectre. En effet, les résidus de signal audio apparaissent encore dans le spectre et les filtres 30 et 31 sont donc choisi de manière à éliminer la partie du spectre supérieure à 9,5 kHz (voir les pointillés à la figure 7e).

En rejetant un échantillon sur deux (en 32 et 33), on obtient une fréquence d'échantillonnage réduite à 19 kHz, ce qui semble en pratique être la fréquence minimale permettant de réaliser une bonne acquisition de l'horloge binaire en présence de bruit et de conserver l'information de phase du signal RDS.

C'est donc à ce niveau de l'algorithme de démo-

dulation que le filtrage de mise en forme (voir figure 7f) est réalisé. Ces filtres ont une caractéristique passe-bande en forme de cosinus coupant à 2375 Hz. Enfin, une simple opération d'élévation au carré par les circuits 36 et 37 permet de récupérer le carré du signal biphasé à la sortie du sommateur 38.

C'est à partir de l'élévation au carré du signal biphasé qu'est réalisée l'acquisition de l'horloge binaire ainsi que la prise de décision sur les symboles.

Comme le montre la figure 8, on peut associer à chaque état logique un symbole biphasé. On peut en détectant le milieu de chaque symbole déterminer si l'état logique correspondant est un 1 ou un 0, ce qui nécessite deux étapes à la modulation réalisée en une seule.

Toutefois pour pouvoir déterminer l'état logique correspondant à un symbole biphasé, il faut réaliser la synchronisation, c'est-à-dire retrouver le début de chaque symbole. Cela est possible en détectant les minima du signal biphasé élevé au carré. Cette technique est une mise en oeuvre dans le brevet FR-2 677 195. Il restera, cependant, une ambiguïté de phase de 180° étant donné que le milieu d'un symbole biphasé correspond à l'état 0 est un minimum. L'instabilité de phase pourra être levée en détectant le milieu d'un symbole 1 qui n'est pas un minimum. En effet, l'échantillon situé à une demi-période ou bit plus tard correspondra au début d'un symbole. Une fois cette synchronisation réalisée, la comparaison, par rapport à un niveau de référence d'échantillon situé au milieu d'un symbole permet de décoder en une seule opération le symbole bi-phase.

A la figure 6, on a représenté un filtre numérique d'ordre 5 présentant cinq circuits retardateurs 46 à 49 cascades, dont chacun retarde le signal d'une période d'échantillonnage T. Un sommateur 50 somme la sortie des amplificateurs 41 à 45 dont l'entrée est connectée respectivement à l'entrée des circuits retardateurs 46 à 49 et à la sortie du circuit retardateur 49. Le calcul des coefficients des filtres mis en oeuvre dans la présente invention aussi bien pour le filtrage que pour la mise en forme peut être effectué de manière connue, en particulier en se reportant à l'ouvrage de M. KUNT intitulé "**Traitement numérique du signal**" (Ed. DUNOD).

## Revendications

1. Procédé de démodulation numérique de données numériques, dans lequel une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé est modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, procédé selon lequel le signal radiodiffusé est préalablement filtré pour séparer le signal d'information, caracté-

risé par les étapes suivantes :

- a) échantillonnage du signal d'information à une fréquence d'échantillonnage  $F_0$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à la fréquence de la sous-porteuse, pour obtenir un signal échantillonné,
- b) séparation du signal échantillonné en deux signaux en quadrature,
- c) filtrage des deux signaux en quadrature pour en éliminer au moins les signaux de fréquence supérieure à  $(F_0 - B)$ , B désignant la demi-largeur de bande du signal d'information,
- d) élévation au carré et sommation des deux signaux en quadrature filtrés pour restituer un signal de données.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fréquence d'échantillonnage  $F_0$  est égale à 4/3 de la fréquence de la sous-porteuse.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte, entre l'étape c) et l'étape d), une étape de sous-échantillonnage dans un rapport  $2^p$  avec p entier.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que  $p = 1$ .

5. Procédé selon une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que ledit sous-échantillonnage est réalisé par suppression d'un échantillon sur  $2^p$ .

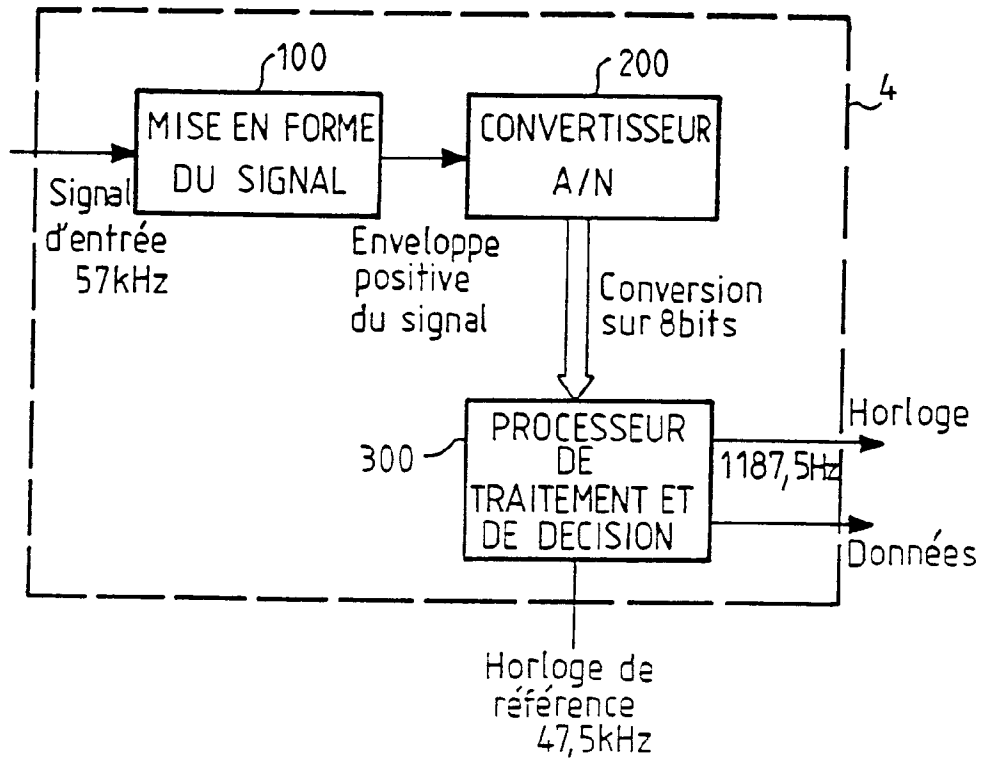
6. Procédé de démodulation numérique dans lequel une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé est modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, procédé selon lequel le signal radiodiffusé est filtré pour séparer le signal d'information, caractérisé par les étapes suivantes :

- a) échantillonnage du signal radiodiffusé à une fréquence d'échantillonnage  $F_1$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à 2 fois la fréquence maximale du spectre de la sous-porteuse modulée, pour obtenir un signal échantillonné,
- b) filtrage du signal échantillonné de manière à supprimer la partie de son spectre située en-dessous du quart de ladite fréquence d'échantillonnage  $F_1$  pour obtenir un signal échantillonné filtré,
- c) sous-échantillonnage du signal échantillonné filtré pour obtenir un signal sous-échantillonné,
- d) séparation du signal sous-échantillonné,

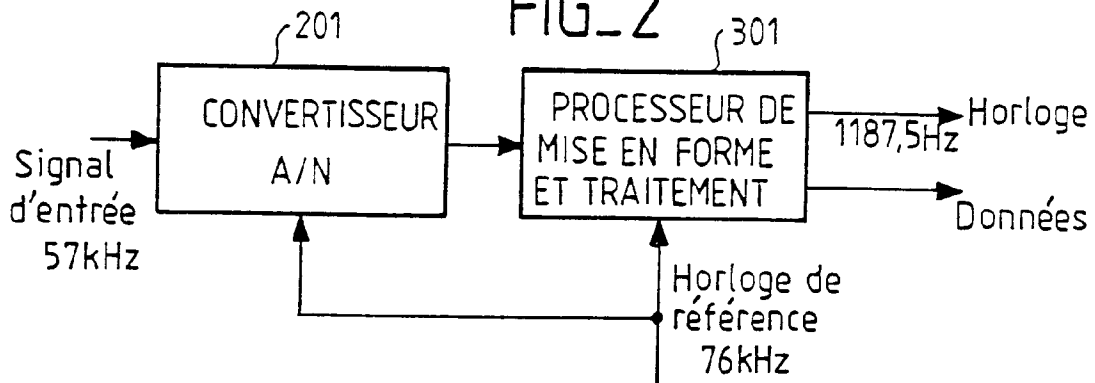
- en deux signaux en quadrature,  
 e) filtrage des deux signaux en quadrature de manière à éliminer au moins en majeure partie les composantes ne comportant pas d'informations du signal d'information, 5  
 f) élévation au carré des signaux en quadrature filtrés lors de l'étape d) pour restituer un signal de données.
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de filtrage d) comporte les sous-étapes suivantes : 10  
 d-1) premier filtrage desdits deux signaux en quadrature pour éliminer les fréquences supérieures au quart de la fréquence de sous-échantillonnage, 15  
 d-2) premier sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature filtrés lors de la sous-étape d-1),  
 d-3) filtrage de mise en forme appliqué aux deux signaux générés lors de l'étape d-2). 20
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'étape d-2) comporte également, après ledit premier sous-échantillonnage, les sous-étapes suivantes : 25  
 d-2-1) deuxième filtrage des deux signaux en quadrature soumis au premier échantillonnage pour éliminer la partie du spectre supérieure au quart de la fréquence du premier sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature, 30  
 d-2-2) deuxième sous-échantillonnage des deux signaux soumis au deuxième filtrage. 35
9. Démodulateur numérique d'une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé modulée par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, et comportant un filtre de séparation restituant à sa sortie le signal d'information, caractérisé en ce qu'il comporte : 40  
 - un échantillonneur (201) recevant à son entrée le signal d'information, ledit échantillonneur ayant une fréquence d'échantillonnage  $F_0$  multiple de la fréquence prédéterminée et supérieure à la fréquence de la sous-porteuse, et fournissant en sortie un signal échantillonné, 45  
 - un multiplieur (4, 5) à deux branches dont l'entrée, est couplée à la sortie de l'échantillonneur et produisant à la sortie de ses branches deux signaux en quadrature, 50  
 - une paire de filtres numériques (6, 7) ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'une des deux branches et produisant à sa sortie, l'un de deux signaux en quadrature fil- 55
- trés, chacun des filtres de ladite paire ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer au moins les signaux de fréquence supérieure à  $(F_0 - B)$ , B désignant la demi-largeur de bande du signal d'information,  
 - un circuit de recombinaison (16, 17) présentant deux entrées dont chacune est couplée à la sortie d'un des filtres de la paire de filtres et produisant à sa sortie un signal de données qui est la somme des carrés des signaux d'entrée du circuit de recombinaison.
10. Démodulateur selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte un élément de sous-échantillonnage (12, 13) dans un rapport  $2^p$ , avec p entier, interposée entre la sortie des filtres (6, 7) de ladite paire et le circuit de recombinaison (16, 17) pour sous-échantillonner lesdits deux signaux en quadrature filtrés.
11. Démodulateur numérique d'une sous-porteuse d'un signal radiodiffusé modulé par un signal d'information porteur de données numériques, cette modulation étant une modulation d'amplitude de la sous-porteuse par un signal périodique de fréquence prédéterminée, caractérisé en ce qu'il comporte :  
 - un échantillonneur (202) recevant à son entrée, le signal radiodiffusé et produisant à sa sortie, un signal échantillonné, ledit échantillonneur ayant une fréquence d'échantillonnage  $F_1$  multiple de la fréquence prédéterminée ainsi que de la fréquence de la sous-porteuse, et supérieure à 2 fois la fréquence maximale du spectre de la sous-porteuse modulée,  
 - un premier filtre numérique (22) dont l'entrée est couplée à la sortie de l'échantillonneur et produisant à sa sortie un signal échantillonné filtré, le premier filtre ayant une courbe de réponse supprimant la partie du spectre du signal échantillonné qui est située en-dessous du quart de ladite fréquence d'échantillonnage  $F_1$ ,  
 - un premier élément (23) de sous-échantillonnage dont l'entrée est couplée à la sortie du premier filtre (22) numérique et dont la sortie produit un signal sous-échantillonné,  
 - un multiplieur (24, 25) à deux branches dont l'entrée est couplée à la sortie du premier élément (23) de sous-échantillonnage et produisant à la sortie de ses branches deux signaux en quadrature,  
 - une paire de filtres numériques (26, 27) ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'une des deux branches et produisant à sa

- sortie l'un de deux signaux en quadrature filtrés, chacun des filtres de ladite paire ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer au moins en majeure partie les composantes ne comportant pas d'information du signal d'information, 5
- un circuit de recombinaison (36, 37) présentant deux entrées dont chacune est couplée à la sortie d'un des filtres de ladite paire de filtres et produisant à sa sortie un signal de données qui est la somme des carrés des signaux d'entrée de circuit de recombinaison. 10
- 12. Démodulateur numérique selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite paire de filtres numériques comporte :** 15
- une paire de premiers éléments de filtrage (26, 27) dont l'entrée est couplée à la sortie d'une desdites deux branches (24, 25), et ayant une bande passante permettant d'éliminer des fréquences supérieures au quart de la fréquence de sous-échantillonnage, 20
  - une paire de premiers éléments (28, 29) de sous-échantillonnage ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'un des premiers éléments de filtrage, 25
  - une paire de deuxièmes éléments de filtrage (34, 35) de mise en forme ayant chacun une entrée couplée à la sortie des éléments (28, 29) de sous-échantillonnage de ladite paire et dont les sorties constituent les sorties des filtres de ladite paire de filtres numériques. 30
- 35
- 13. Démodulateur selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comporte :**
- une paire de troisièmes éléments de filtrage (30, 31) dont les entrées sont couplées aux sorties respectives de la paire de premiers éléments (28, 29) de sous-échantillonnage, les troisièmes éléments de filtrage (30, 31) ayant une courbe de réponse permettant d'éliminer la partie du spectre supérieure au quart de la fréquence d'échantillonnage des premiers éléments (28, 29) de sous-échantillonnage des deux signaux en quadrature, 40
  - une paire de deuxièmes éléments (32, 33) de sous-échantillonnage ayant chacun une entrée couplée à la sortie d'un des troisièmes éléments de filtrage (30, 31), et ayant chacun une sortie couplée à une entrée d'un des deuxièmes éléments de filtrage (34, 35). 45
- 50
- 55

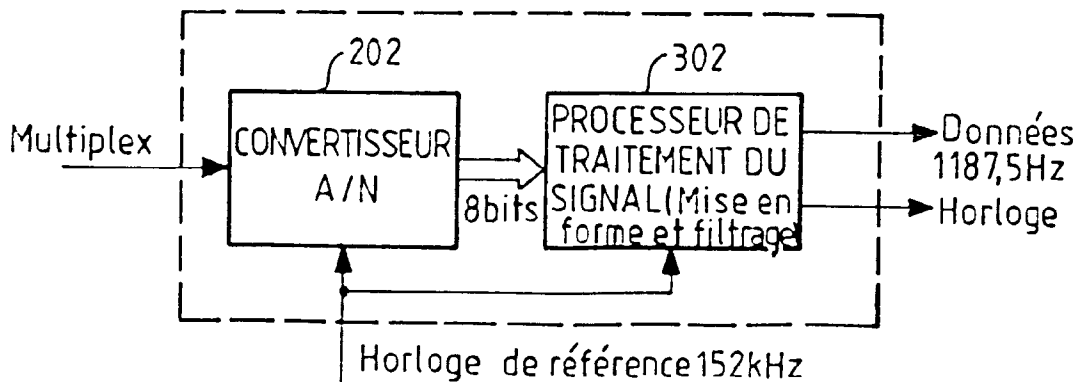
FIG\_1



FIG\_2



FIG\_3



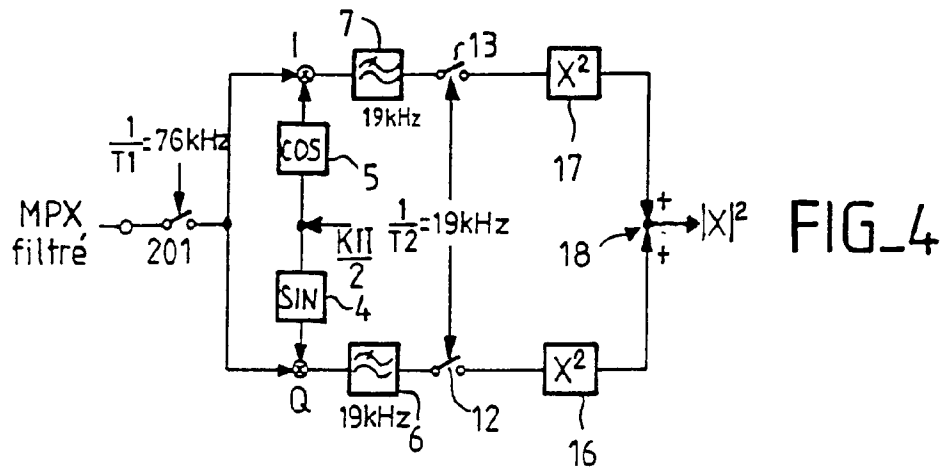


FIG. 4

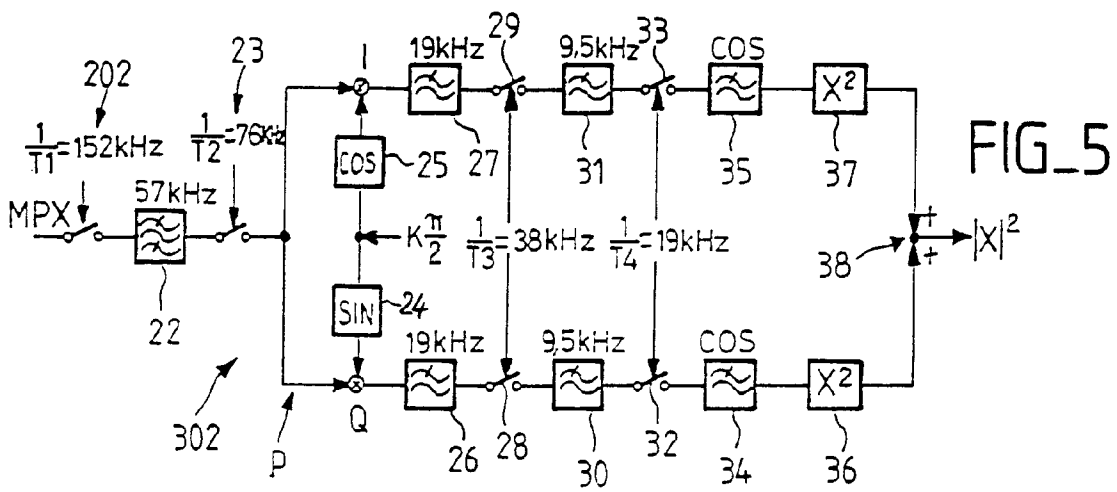


FIG. 5

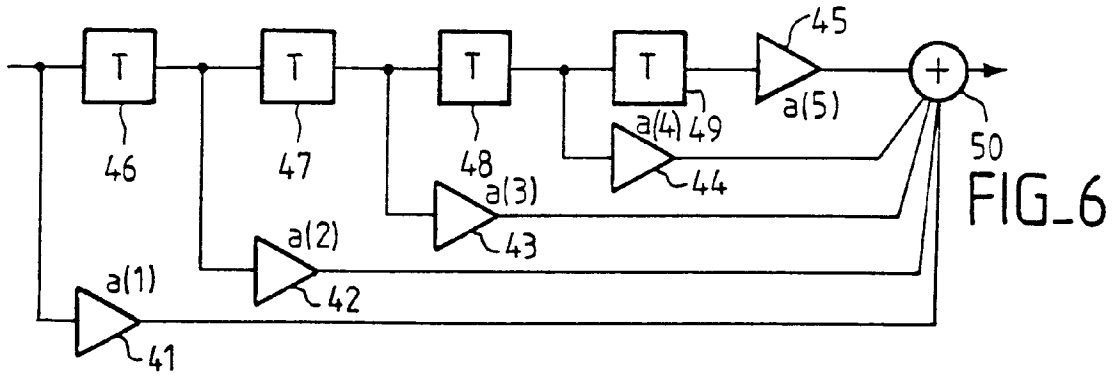


FIG. 6

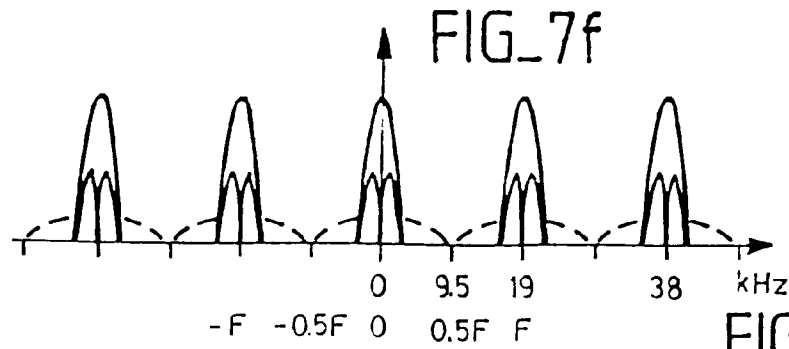


FIG. 7f

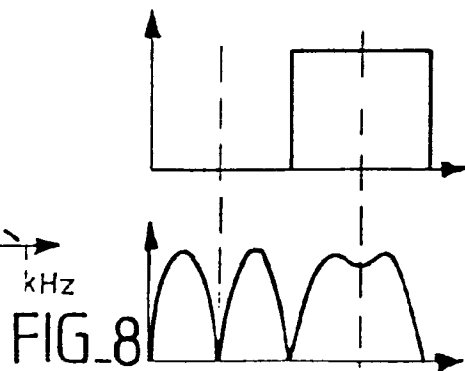
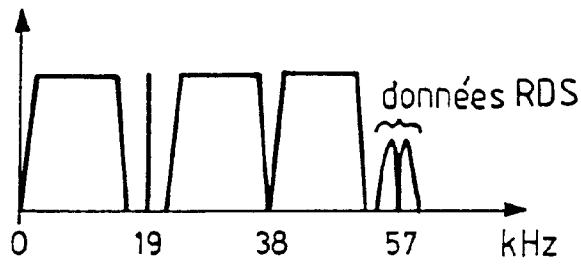
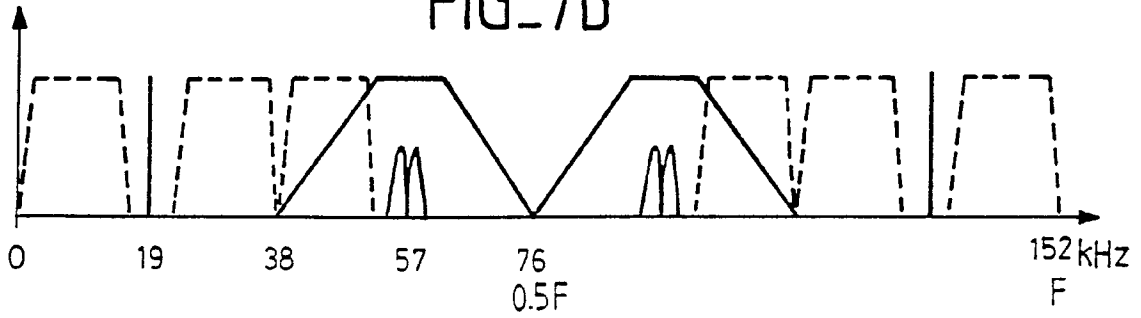


FIG. 8

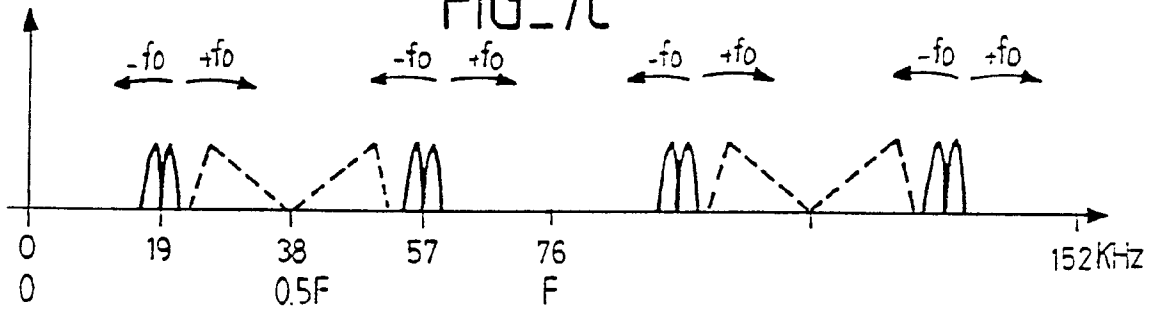
FIG\_7a



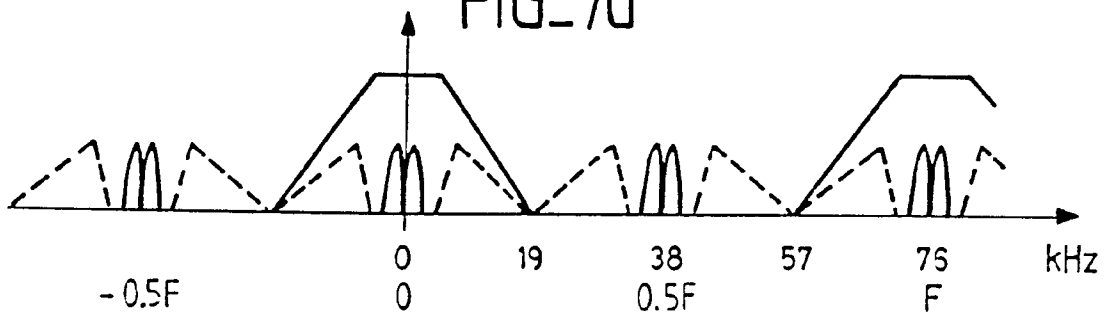
FIG\_7b



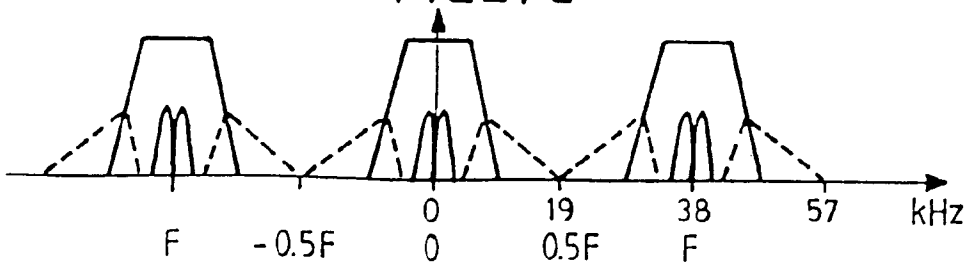
FIG\_7c



FIG\_7d



FIG\_7e





Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 40 1348

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.5)
A	EP-A-0 471 412 (N.V. PHILIPS GLOEILAMPENFABRIEKEN) * colonne 2, ligne 3 - colonne 3, ligne 22; revendication 1; figure 1 * ---	1,6,9,11	H04H1/00
A	EP-A-0 374 996 (N.V. PHILIPS GLOEILAMPENFABRIEKEN) * colonne 1, ligne 40 - colonne 4, ligne 10; revendication 1; figure 1 * ---	1,6,9,11	
A	EP-A-0 200 977 (BLAUPUNKT-WERKE GMBH) * page 2, ligne 17 - page 3, ligne 7; revendication 1; figure 1 * ---	1,6,9,11	
A	FR-A-2 573 589 (ZELLWEGER USTER S.A.) * page 1, ligne 1 - page 2, ligne 28; revendications 1,2 * -----	1,6,9,11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
			H04H H03D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 2 Septembre 1994	Examineur De Haan, A.J.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.92 (P/4C02)