

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

11 N° de publication : 2 633 127

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 88 08146

51 Int Cl<sup>a</sup> : H 04 L 27/04; H 04 B 1/68, 14/08.

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 17 juin 1988.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPf « Brevets » n° 51 du 22 décembre 1989.

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : TELECOMMUNICATIONS RADIOELECTRIQUES ET TELEPHONIQUES T.R.T., Société anonyme. — FR.

72 Inventeur(s) : Benoît Gelin et Michel Lebourg, Société Civile S.P.I.D.

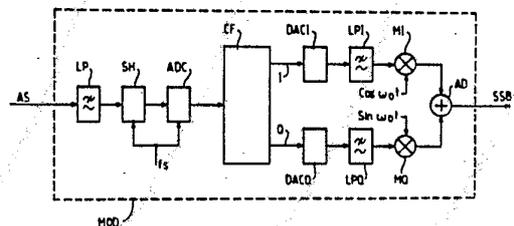
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Hervé Gosson, Société civile S.P.I.D.

54 Procédé de modulation d'un signal en bande latérale unique et modulateur par lequel est mis en œuvre le procédé.

57 Selon le présent procédé, le signal audio AS à émettre en BLU est échantillonné SH, numérisé ADC, filtré au moyen d'un filtre complexe CF effectuant une réjection de la bande latérale non désirée, les coefficients du filtre déterminant la sélection de la bande supérieure ou inférieure. Puis la partie réelle (voie I) et la partie imaginaire (voie Q) du signal complexe sont converties (respectivement DACI, DACQ) en analogique, transposées (respectivement MI, MQ) à la fréquence d'émission sur les deux voies en quadrature et recombinaées AD par addition pour donner le signal modulé SSB dans la bande latérale désirée. Les fonctions purement numériques peuvent être avantageusement réalisées par un processeur de signal capable de travailler en mode complexe.

Application : modulation de signaux BLU ou BLI.



FR 2 633 127 - A1

D

"PROCEDE DE MODULATION D'UN SIGNAL EN BANDE LATÉRALE UNIQUE ET MODULATEUR PAR LEQUEL EST MIS EN OEUVRE LE PROCEDE".

La présente invention a pour objet un procédé numérique de modulation d'un signal audio à émettre en bande latérale unique et le modulateur par lequel est mis en oeuvre le procédé.

05 Un tel procédé de modulation mis en oeuvre par un modulateur est décrit dans l'article : "Arbitrary Spectral Separation of Upper and Lower Sidebands in Linear Modulation" par ASHOK K. GUPTA, publié dans Proceedings of the IEEE, Vol 68, n°6 de Juin 1980. De manière générale la modulation en  
10 bande latérale unique (BLU) est utilisée pour la transmission de la parole. Le fait de ne transmettre qu'une seule bande latérale présente les avantages d'une faible occupation spectrale et d'un rapport puissance d'information utile sur puissance transmise égal à l'unité. Ainsi la BLU est largement utilisée  
15 dans la gamme HF(1,5 à 30MHz) en raison de son faible encombrement spectral.

De manière connue, pour effectuer une modulation en BLU, il est nécessaire de réaliser ou de simuler un dispositif ayant les caractéristiques d'un filtre passe-bande. En  
20 outre, deux types de BLU sont à distinguer, la BLU dite supérieure où seule la bande latérale supérieure est transmise et la BLU dite inférieure où seule la bande latérale inférieure est transmise.

Cependant la génération du signal BLU et la démodulation de celui-ci posent des problèmes complexes qui  
25 peuvent être plus aisément résolus à l'aide de techniques numériques avec un processeur de signal. Dans l'article précité, afin d'éliminer la bande adjacente non désirée, est employé un procédé du type à recombinaison de phase, procédé qui repose  
30 entre autres sur l'utilisation d'un filtre opérant une

transformée de Hilbert sur le signal sur l'une des deux voies à recombinaison. Synthétiser un tel filtre réalisant un déphasage parfait de  $90^\circ$  dans une bande large est éminemment compliqué lorsque sont employées des techniques analogiques, c'est pourquoi de plus en plus couramment sont utilisées des techniques numériques qui permettent des synthèses de filtres quasiment parfaits avec un haut degré de reproductibilité. Néanmoins un filtre opérant une transformée de Hilbert, et donc un déphasage de  $90^\circ$  sur une largeur de bande souhaitée, présente une ondulation dans la bande passante. Or la réjection de la bande adjacente non désirée est fortement dépendante de l'équilibre entre les deux voies à recombinaison. Un premier inconvénient apparaît du fait que ladite ondulation n'étant engendrée que sur la voie déphasée, un déséquilibre est créé entre les deux voies entraînant une réjection imparfaite de la bande adjacente non désirée. Outre cette imperfection un deuxième inconvénient se présente. En effet un filtre permettant de réaliser un déphasage de  $90^\circ$  sur une largeur de bande déterminée n'est efficient qu'au prix d'un nombre de coefficients élevé et donc d'un temps de calcul non négligeable alors que la tendance est de toujours minimiser la durée de traitement d'une fonction pour éviter de surcharger l'organe de calcul de sorte que celui-ci puisse être utilisé à d'autres tâches.

La présente invention propose l'emploi d'un procédé numérique particulièrement bien adapté à la modulation BLU et qui permet de minimiser sensiblement le temps de traitement, elle propose en outre un modulateur par lequel est mis en oeuvre ledit procédé.

Pour cela le procédé numérique de modulation d'un signal audio à émettre en bande latérale unique est remarquable en ce que dans une première étape le signal audio est numérisé à une fréquence d'échantillonnage égale à deux fois la largeur de bande du signal, dans une seconde étape le signal numérisé passe à travers un filtre complexe procédant à la réjection de la bande latérale non désirée, le filtre complexe ayant pour coefficients la suite  $(h_n)$ , avec  $n$  élément de  $N^+$ , pour conserver la bande latérale unique supérieure, la

suite ( $h_n^*$ ), avec  $n$  élément de  $N^+$ , pour conserver la bande latérale unique inférieure, puis dans une troisième étape le signal complexe en sortie du filtre complexe est converti sur deux voies à l'aide de deux dispositifs de conversion numérique analogique, un premier dispositif sur la première voie pour convertir la partie réelle du signal complexe, un second dispositif sur la seconde voie pour convertir la partie imaginaire du signal complexe, ensuite dans une quatrième étape, les signaux relatifs à la partie réelle et à la partie imaginaire du signal complexe sont transposés à la fréquence d'émission sur les deux voies en quadrature au moyen de deux mélangeurs en anneau enfin dans une cinquième étape les signaux transposés sont recombinaés par addition au moyen d'un dispositif additionneur présentant à sa sortie le signal modulé dans la bande latérale unique désirée.

Pour mettre en oeuvre le procédé, le modulateur est, entre autres, constitué d'un dispositif d'échantillonnage suivi d'un dispositif de conversion analogique numérique du signal, d'un filtre complexe, de deux dispositifs de conversion numérique analogique, le premier pour convertir la partie réelle et le second pour convertir la partie imaginaire du signal complexe, de deux mélangeurs en anneau le premier connecté à la sortie du premier dispositif de conversion numérique analogique et le second connecté à la sortie du second dispositif de conversion numérique analogique et enfin d'un dispositif additionneur à la sortie duquel est présenté le signal modulé dans la bande latérale unique désirée.

Selon une application préférée le modulateur par lequel est mis en oeuvre le procédé est remarquable en ce que le filtre complexe effectuant la réjection de la bande latérale non désirée est réalisé sous la forme d'un filtre à réponse impulsionnelle infinie. Un tel choix permet de réduire l'ordre du filtre tout en assurant une excellente sélectivité et une bonne stabilité.

Selon une caractéristique préférée, le démodulateur est élaboré autour d'un processeur de signal susceptible de travailler en mode complexe et effectuant les fonctions pure-

ment numériques, en particulier la conservation de la bande latérale unique inférieure peut être également réalisée lors de la seconde étape du procédé en appliquant au signal un opérateur de conjugaison et en conservant alors les coefficients ( $h_n$ ) du filtre utilisé pour la conservation de la bande latérale unique supérieure.

Ainsi l'emploi d'un filtre complexe pour la réalisation d'un filtre passe-bande non symétrique par rapport à la fréquence nulle permet d'effectuer très facilement une modulation BLU. De plus lorsque le filtre complexe est configuré à partir d'un processeur de signal, ce qui est d'un grand confort d'utilisation, il est possible de sélectionner la bande latérale unique supérieure ou inférieure soit, en changeant les coefficients du filtre complexe, c'est à dire en prenant la suite de coefficients ( $h_n$ ) ou bien ( $h_n^*$ ), soit en appliquant un opérateur de conjugaison sur le signal numérisé tout en gardant la même suite de coefficients ( $h_n$ ). Une commutation aussi aisée de la bande supérieure à la bande inférieure ou inversement est très appréciable et peut être également avantageusement exploitée pour des signaux en bande latérale indépendante (BLI).

La description suivante en regard des dessins annexés, le tout donné à titre d'exemple, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 montre l'évolution du spectre du signal à émettre en bande latérale unique pendant le traitement.

La figure 2 propose un schéma de principe d'une réalisation pratique du modulateur par lequel est mis en oeuvre le procédé selon l'invention.

La figure 1 retraçant l'évolution du spectre du signal à émettre en bande latérale unique à différentes étapes est à examiner en combinaison et en complément de la figure 2 représentant une réalisation pratique du modulateur par lequel est mis en oeuvre le procédé basé sur la notion de filtrage numérique complexe autorisant à une émission en BLU de façon simple et rapide. Le modulateur est avantageusement élaboré autour d'un processeur de signal travaillant en mode complexe

et effectuant les fonctions purement numériques. Un processeur de signal convenant particulièrement bien à l'application de la présente invention est décrit dans la demande française n° 2 569 286, ce processeur de signal est d'autre part fabriqué sous la référence TS 68 930/31.

Afin de mieux appréhender l'idée de l'invention, il convient de faire un rapide rappel concernant la notion de filtre complexe.

Ainsi un filtre complexe se caractérise par une réponse impulsionnelle à valeur complexe. Contrairement à un filtre réel, la symétrie hermitienne n'est pas respectée, ce qui offre la possibilité de réaliser des filtres de type passe-bande non symétriques par rapport à la fréquence zéro.

Pour synthétiser un filtre complexe passe-bande de largeur de bande B et symétrique par rapport à une fréquence F, le cheminement suivant peut être adopté. Dans un premier temps, réaliser la synthèse d'un filtre réel passe-bas et dans un second temps effectuer une transposition de fréquence. Ainsi en ce qui concerne la synthèse d'un filtre réel, les méthodes de synthèse classiques peuvent être adoptées et particulièrement la transformée bilinéaire peut être avantageusement utilisée pour synthétiser un filtre à réponse impulsionnelle infinie du type passe-bas réel centré sur la fréquence zéro et de bande passante égale à B/2. Les coefficients  $h^n$  caractérisent ce filtre dont H(z) est la fonction de transfert en z.

$$H(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} h^n z^{-n}$$

Une fois ce filtre synthétisé, la transposition de fréquence est alors effectuée.

Pour obtenir un filtre complexe centré sur la fréquence désirée F il faut ainsi remplacer z par  $z.e^{-j2\pi FT}$  où T est la période d'échantillonnage. La fonction de transfert du filtre complexe est alors :

$$H(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} h_n^0 z^{-n} e^{jn2\pi FT}$$

soit 
$$H(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} (h_n^0 e^{jn2\pi FT}) \cdot z^{-n}$$

expression qui peut se mettre sous la forme simplifiée :

05 
$$H(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} h_n \cdot z^{-n}$$

où  $h_n = h_n^0 e^{jn2\pi FT}$

Le signal audio AS à émettre en bande latérale unique, présent à l'entrée du modulateur MOD (fig 2) et dont le spectre  $|M(f)|$  est représenté à la figure 1a est, selon le  
10 procédé conforme à l'invention, dans une première étape numérisé à une fréquence d'échantillonnage  $f_s$  égale à deux fois la bande passante B du signal audio AS. Afin de limiter la bande passante B du signal audio ce qui permet également de  
15 réduire la fréquence d'échantillonnage  $f_s$ , le signal audio est tout d'abord avantageusement filtré au moyen d'un filtre passe-bas LP. Le signal à la sortie du filtre LP est alors échantillonné à l'aide du dispositif échantillonneur-bloqueur SH à la fréquence  $f_s$  et numérisé à cette même fréquence au moyen du dispositif de conversion analogique numérique ADC.

20 Dans la seconde étape du procédé selon l'invention le signal ainsi numérisé passe à travers un filtre complexe CF effectuant la réjection de la bande latérale non désirée, le filtre complexe CF ayant pour coefficients la suite  $(h_n)$ , avec n appartenant aux entiers naturels positifs, pour conserver la bande latérale unique supérieure, ou la suite  $(h_n^*)$ ,  
25 conjuguée de  $(h_n)$ , avec n appartenant aux entiers naturels positifs, pour conserver la bande latérale unique inférieure.

La figure 1b montre le gabarit du filtre complexe  $|H(f)|$  lorsqu'est sélectionnée la bande latérale unique supérieure.  
30

Le filtre complexe CF permettant d'éliminer la bande latérale non désirée est réalisé à l'aide de ses coefficients complexes par un processeur de signal. Il est avantageusement synthétisé sous la forme d'un filtre à réponse  
35 impulsionnelle infinie (RII), ce qui permet de réduire l'ordre du filtre et donc par conséquent le nombre de coefficients tout en garantissant une excellente réjection et une bonne stabilité.

Le spectre du signal complexe après filtrage  $|Y(f)|$  et réjection de la bande adjacente non désirée est proposé à la figure 1c et a pour expression :

$$Y(f) = M(f).H(f)$$

05 Dans la troisième étape du procédé conforme à l'invention le signal complexe en sortie du filtre complexe CF est converti sur deux voies I et Q à l'aide de deux dispositifs de conversion numérique analogique, un premier dispositif DACI  
10 pour convertir la partie réelle du signal complexe présentée sur la première voie I, un second dispositif DACQ pour convertir la partie imaginaire du signal complexe présentée sur la seconde voie Q.

Dans la quatrième étape du procédé selon l'invention les signaux relatifs à la partie réelle et à la partie  
15 imaginaire du signal complexe sont transposés à la fréquence d'émission  $f_0$  sur les deux voies I et Q en quadrature au moyen de deux mélangeurs en anneau, le premier mélangeur MI connecté sur la voie I à la sortie du dispositif DACI, le second mélangeur MQ connecté sur la voie Q à la sortie du dispositif DACQ.  
20

La transposition sur la voie I et la voie Q, respectivement, de la partie réelle du signal complexe et de la partie imaginaire du signal complexe est ainsi obtenue par mélange avec un signal de fréquence  $f_0$  en phase représenté sur  
25 la figure 2 par  $\cos \omega_0 t$  ( $\omega_0$  étant la pulsation du signal) et en quadrature représenté sur la figure 2 par  $\sin \omega_0 t$ .

De manière avantageuse le modulateur MOD comporte de plus deux filtres passe-bas permettant de restituer le signal analogique après traitement numérique, le premier LPI inséré entre le dispositif de conversion DACI et le mélangeur  
30 MI, le second LPQ inséré entre le dispositif de conversion DACQ et le mélangeur MQ.

Enfin dans la cinquième étape du procédé selon l'invention les signaux transposés sont recombinaés par addition au moyen d'un dispositif additionneur AD donnant à sa  
35 sortie le signal modulé SSB dans la bande latérale unique désirée. Le signal modulé SSB est ainsi obtenu par recombinaison

des deux voies I et Q.

Le spectre du signal  $|Z(f)|$  après transposition et recombinaison est représenté à la figure 1d, la fréquence  $f_0$ , portée sur l'axe des fréquences  $f$ , correspondant à la fréquence d'émission.

Un tel procédé de modulation d'un signal BLU par filtrage complexe fait appel à une technique purement numérique particulièrement bien adaptée à un processeur de signal susceptible de travailler en mode complexe et permet de réaliser la modulation du signal de façon aisée et efficace. De plus, pour transmettre ou recevoir des signaux en BLU, de manière générale un émetteur est associé à un récepteur, lorsqu'il y a émission il n'y a pas réception et inversement. Ainsi lorsque le démodulateur par lequel est mis en oeuvre un procédé de démodulation par filtrage complexe est élaboré autour d'un processeur de signal synthétisant entre autres un filtre complexe, ce filtre complexe peut être utilisé aussi bien à l'émission pour la modulation du signal qu'à la réception pour la démodulation du signal, ce qui signifie qu'un seul processeur de signal peut être utilisé, sans surcharge de travail, pour la modulation et la démodulation.

En outre dans certaines applications, il peut être avantageux de réaliser le modulateur d'une façon complètement numérique.

Dans ce cas selon une variante du procédé suivant l'invention comportant identiquement les deux premières étapes, dans une troisième étape le mélange des voies I et Q avec deux porteuses en quadrature est réalisé par simple multiplication puis dans une quatrième étape la recombinaison des deux voies est effectuée par addition alors que dans une cinquième étape le signal numérique est converti en analogique avant d'être filtré dans un filtre passe-bas permettant de restituer le signal BLU.

Il est bien évident que seule la phase de conversion de numérique en analogique est déplacée, le procédé restant identique dans son principe essentiel qui est d'opérer un filtrage complexe sur un signal numérique.

REVENDEICATIONS :

1. Procédé numérique de modulation d'un signal audio à émettre en bande latérale unique, caractérisé en ce que dans une première étape le signal audio est numérisé à une fréquence d'échantillonnage égale à 2 fois la largeur de bande du signal, dans une seconde étape le signal numérisé passe à travers un filtre complexe effectuant la réjection de la bande latérale non désirée, le filtre complexe ayant pour coefficients la suite  $(h_n)$ , avec  $n$  élément de  $N^+$ , pour conserver la bande latérale unique supérieure, la suite  $(h_n^*)$ , avec  $n$  élément de  $N^+$ , pour conserver la bande latérale unique inférieure, puis dans une troisième étape le signal complexe en sortie du filtre complexe est converti sur deux voies à l'aide de deux dispositifs de conversion numérique analogique, un premier dispositif sur la première voie pour convertir la partie réelle du signal complexe, un second dispositif sur la seconde voie pour convertir la partie imaginaire du signal complexe, ensuite dans une quatrième étape les signaux relatifs à la partie réelle et à la partie imaginaire du signal complexe sont transposés à la fréquence d'émission sur les deux voies en quadrature au moyen de deux mélangeurs en anneau, enfin dans une cinquième étape les signaux transposés sont recombinaés par addition au moyen d'un dispositif additionneur donnant à sa sortie le signal modulé dans la bande latérale unique désirée.

2. Modulateur par lequel est mis en oeuvre le procédé conforme à la revendication 1 constitué d'un dispositif d'échantillonnage suivi d'un dispositif de conversion numérique du signal, d'un filtre complexe, de deux dispositifs de conversion numérique analogique, le premier pour convertir la partie réelle et le second pour convertir la partie imaginaire du signal complexe, de deux mélangeurs en anneau le premier connecté à la sortie du premier dispositif de conversion numérique analogique et le second connecté à la sortie du second dispositif de conversion numérique analogique et enfin d'un dispositif additionneur à la sortie duquel est présenté le signal modulé dans la bande latérale unique

désirée.

05 3. Modulateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le filtre complexe effectuant la réjection de la bande latérale non désirée est réalisé sous la forme d'un filtre à réponse impulsionnelle infinie.

10 4. Modulateur selon l'une des revendications précédentes, élaboré autour d'un processeur de signal susceptible de travailler en mode complexe et effectuant les fonctions purement numériques, en particulier la conservation de la bande latérale unique inférieure peut être également réalisée lors de la seconde étape du procédé selon la revendication 1, en appliquant au signal un opérateur de conjugaison et en conservant alors les coefficients ( $h_n$ ) du filtre utilisé pour la conservation de la bande latérale unique supérieure.

15 5. Modulateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, placé devant le dispositif d'échantillonnage un filtre passe-bas pour limiter la bande passante du signal audio à émettre en bande latérale unique.

20 6. Modulateur selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte de plus deux filtres passe-bas permettant de restituer le signal analogique après traitement numérique, le premier inséré entre le dispositif de conversion numérique analogique pour convertir la partie réelle du signal complexe et le mélangeur subséquent, le second  
25 inséré entre le dispositif de conversion numérique analogique pour convertir la partie imaginaire du signal complexe et le mélangeur subséquent.

30

35

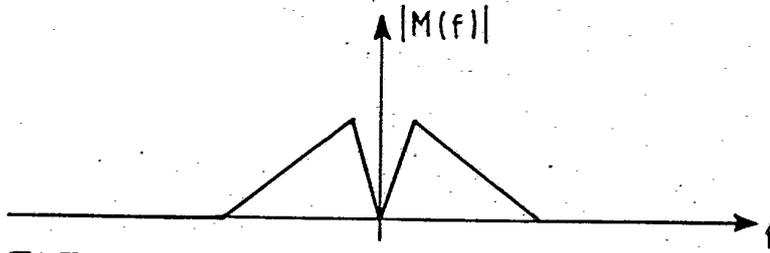


FIG. 1a

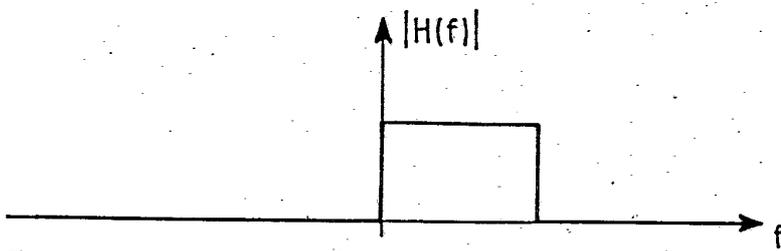


FIG. 1b

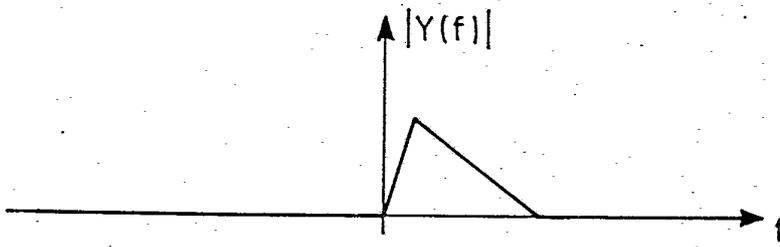


FIG. 1c

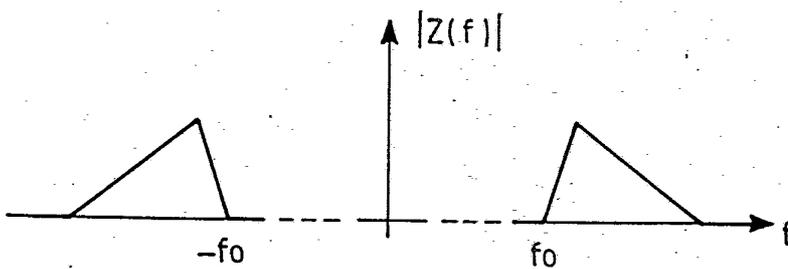


FIG. 1d

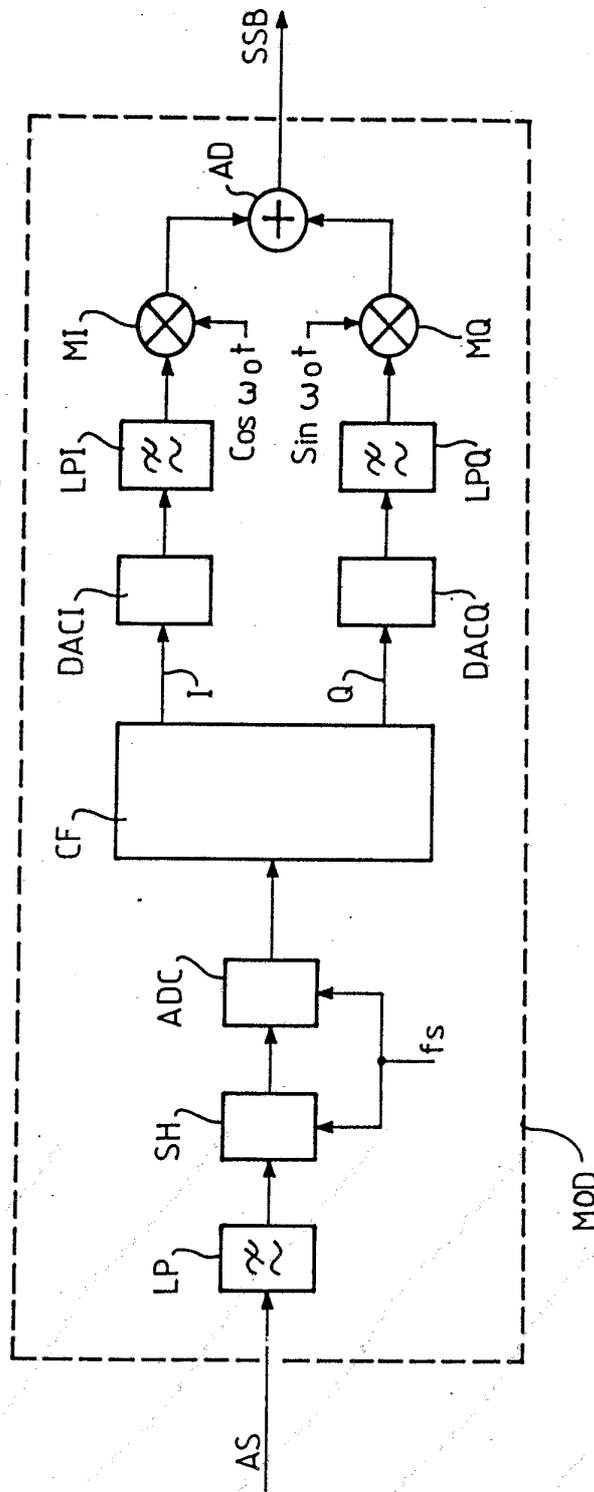


FIG. 2