

Brevet N° **8 1 6 2 8**
du **28 Août 1979**
Titre délivré : **21 AVR. 1979** 1980

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre
de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes
Service de la Propriété Industrielle
LUXEMBOURG

aj. 6 M.
28.2.80

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

La Société Anonyme dite : COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TELECOMMUNICATIONS (1)
CIT-ALCATEL, 12, rue de la Baume 75008 PARIS, FRANCE, représentée par
Monsieur Jean-Paul RIPPINGER, RESIDENCE VAL STE CROIX, 2-4 Allée Léopold (2)
Goebel, LUXEMBOURG, agissant en qualité de Mandataire

dépose ce vingt-huit Août mil neuf cent soixante-dix-neuf (3)
à 10.30 heures, au Ministère de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes, à Luxembourg :

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant :
PROCEDE DE REGENERATION DE L'ONDE PORTEUSE DE MODULATION D'UN SIGNAL (4)
MODULE COMPORTANT DES RAIES SYMETRIQUES PAR RAPPORT A CETTE PORTEUSE
ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE

déclare, en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont) :
Jacques DAVID, Ingénieur, CREC'H HUET BRELEVEZEZ 22300 LANNION, FRANCE. (5)
Hubert MIONET, Ingénieur, 29, rue des Frères LE MONTREER
22700 PERROS-GUIREC, FRANCE.

2. la délégation de pouvoir, datée de PARIS le 8 Août 1979
3. la description en langue française de l'invention en deux exemplaires ;
4. les quatre planches de dessin, en deux exemplaires ;
5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg,
le vingt-huit Août mil neuf cent soixante-dix-neuf

revendique pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
(6) brevet déposée(s) en (7) FRANCE
le 30 Août 1978, sous le N° 78 24 994 (8)

au nom de la Demanderesse (9)
élit domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
RESIDENCE VAL STE CROIX, 2-4 Allée Léopold Goebel (10)

sollicite la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes
susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à six mois.
Le Mandataire

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie Nationale
et des Classes Moyennes, Service de la Propriété Industrielle à Luxembourg, en date du :

28 Août 1979

à 10.30 heures de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes,
p. d.



A 68007

(1) Nom, prénom, firme, adresse — (2) s'il s'agit d'un représentant, par qui agissant en qualité de mandataire — (3) date du
dépôt en toutes lettres — (4) titre de l'invention — (5) noms et adresses — (6) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité
— (7) pays — (8) date — (9) déposant original — (10) adresse — (11) 6, 12 ou 18 mois.

Brevet N°

81628

du 28 Août 1979

Titre délivré :

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre
de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes
Service de la Propriété Industrielle
LUXEMBOURG

10.6.111.
28.2.80
Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

La Société Anonyme dite : COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TELECOMMUNICATIONS (1)
CIT-ALCATEL, 12, rue de la Baume 75008 PARIS, FRANCE, représentée par
Monsieur Jean-Paul RIPPINGER, RESIDENCE VAL STE CROIX, 2-4 Allée Léopold (2)
Goebel, LUXEMBOURG, agissant en qualité de Mandataire

dépose ce vingt-huit Août mil neuf cent soixante-dix-neuf (3)
à 10.30 heures, au Ministère de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes, à Luxembourg :

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant :
PROCÉDE DE REGENERATION DE L'ONDE PORTEUSE DE MODULATION D'UN SIGNAL (4)
MODULE COMPORTANT DES RAIES SYMETRIQUES PAR RAPPORT A CETTE PORTEUSE
ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE

déclare, en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont) :
Jacques DAVID, Ingénieur, CREC'H HUET BRELEVEVEZ 22300 LANNION, FRANCE. (5)
Hubert MIONET, Ingénieur, 29, rue des Frères LE MONTREER
22700 PERROS-GUIREC, FRANCE.

2. la délégation de pouvoir, datée de PARIS le 8 Août 1979
3. la description en langue française de l'invention en deux exemplaires ;
4. les quatre planches de dessin, en deux exemplaires ;
5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg,
le vingt-huit Août mil neuf cent soixante-dix-neuf

revendique pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
(6) brevet déposée(s) en (7) FRANCE
le 30 Août 1978, sous le N° 78 24 994 (8)

au nom de la Demanderesse (9)
élit domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
RESIDENCE VAL STE CROIX, 2-4 Allée Léopold Goebel (10)

solicite la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes
susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à six mois.

Le Mandataire

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie Nationale
et des Classes Moyennes, Service de la Propriété Industrielle à Luxembourg, en date du :

28 Août 1979

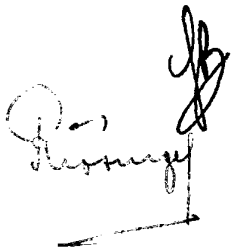
à 10.30 heures

Pr. le Ministre
de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes,
p. d.

A 68007

(1) Nom, prénom, firme, adresse — (2) s'il y a lieu, représentée par ... agissant en qualité de mandataire — (3) date du
dépôt en toutes lettres — (4) titre de l'invention — (5) noms et adresses — (6) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité
— (7) pays — (8) date — (9) déposant original — (10) adresse — (11) 6, 12 ou 18 mois.

PBy/NV
F° 10041
CIT-ALCATEL/T
4 pl.

 Revendication de la priorité d'une demande de brevet déposée en
FRANCE, le 30 Août 1978, sous le N° 78 24 994

BREVET D'INVENTION

PROCEDE DE REGENERATION DE L'ONDE PORTEUSE DE MODULATION D'UN SIGNAL
MODULE COMPORTANT DES RAIES SYMETRIQUES PAR RAPPORT A CETTE PORTEUSE
ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE

Invention de Jacques DAVID et Hubert MIONET

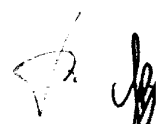
Société Anonyme dite

COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TELECOMMUNICATIONS CIT-ALCATEL

L'invention concerne un procédé de régénération de l'onde
porteuse de modulation d'un signal modulé présentant , au moins au
voisinage de la fréquence de la porteuse, un spectre essentiellement
constitué de raies symétriques par rapport à la fréquence de la porteuse.

5 L'invention concerne également un dispositif de mise en
oeuvre de ce procédé et s'applique notamment à la démodulation synchrone
de signaux modulés.

Il est connu, pour récupérer la porteuse d'un signal modulé,
lorsque ce signal comporte au moins un reste de porteuse, d'utiliser
10 un oscillateur local à fréquence variable, commandable en tension,



pour engendrer une porteuse locale, un discriminateur de phase auquel sont appliqués d'une part le signal modulé et d'autre part la porteuse locale, et un filtre passe-bas connecté entre la sortie du discriminateur de phase et une entrée de commande de l'oscillateur local. Cette solution
5 connue est décrite dans de nombreux ouvrages ; à titre d'exemple, on peut se reporter à l'ouvrage de A. Blanchard "Phase-locked loops : application to coherent receiver design" (chapitre 3, page 42) publié en 1975 à New York par John Wiley and Sons.

Si une telle solution peut convenir lorsque le signal modulé
10 de départ ne comporte pas de fréquences très proches de la fréquence de la porteuse de modulation, il n'en est pas de même dans le cas contraire. En effet, dans ce dernier cas, les risques que l'oscillateur local n'accroche non pas sur la fréquence de la porteuse de modulation mais sur une autre fréquence contenue dans le signal de départ et
15 proche de cette dernière sont élevés.

L'invention apporte une solution nouvelle à ce problème de récupération de porteuse, particulièrement bien adaptée au cas où le signal modulé comporte des fréquences très proches de celle de la porteuse, ce que l'on rencontre en pratique lorsque le signal
20 modulant est un signal de télévision par exemple.

Selon l'invention, on élabore, à partir du signal modulé de départ et d'une porteuse locale engendrée par un générateur local à fréquence commandable, deux signaux images dont les spectres de fréquence sont des images du spectre du signal modulé éventuellement
25 limité à une bande de fréquences autour de la fréquence de la porteuse de modulation et présentent entre eux un décalage en fréquence proportionnel à l'écart entre les fréquences des porteuses locales et de modulation, à un retournement près, dans l'un des deux spectres images, autour de la fréquence image de la fréquence de la porteuse de modulation,



on fait battre entre eux ces deux signaux images, on isole le signal de battement différentiel par un filtre passe-bas, et on applique ce signal de battement en commande de l'oscillateur local.

Dans un premier mode de réalisation, les deux signaux que l'on fait battre entre eux sont l'un le signal de départ et l'autre un signal résultant d'une transposition du signal de départ par une onde de transposition de fréquence double de la fréquence de la porteuse délivrée par l'oscillateur local.

Dans un second mode de réalisation, les deux signaux que l'on fait battre entre eux sont l'un le signal de départ et l'autre un signal résultant de deux transpositions successives de ce signal par, respectivement, deux ondes de transposition dont les fréquences sont équidistantes de la fréquence de la porteuse délivrée par l'oscillateur local.

Dans un troisième mode de réalisation, les deux signaux que l'on fait battre entre eux résultent chacun d'une transposition du signal de départ, les ondes utilisées pour ces deux transpositions ayant des fréquences équidistantes de la fréquence de la porteuse délivrée par l'oscillateur local.

On peut considérer que, d'une certaine façon, le premier mode est un cas particulier des deux autres ; cela reviendrait à prendre deux ondes de transposition dont l'une serait de fréquence nulle et l'autre de fréquence double de la fréquence de l'oscillateur local.

A l'aide des figures schématiques ci-jointes, on va décrire ci-après, à titre non limitatif, comment l'invention peut être mise en oeuvre. Il doit être compris que les éléments décrits et représentés peuvent, sans sortir du cadre de l'invention, être remplacés par d'autres éléments assurant les mêmes fonction techniques. Lorsqu'un même élément

est représenté sur plusieurs figures il y est désigné par le même signe de référence.

Il doit être compris dans la description qui va suivre que certaines grandeurs représentées généralement par des lettres grecques sont désignées ici à l'aide de l'alphabet latin. En particulier les deux lettres π représentant le rapport du périmètre du cercle à son diamètre.

Les figures 1, 2 et 3 sont des schémas de démodulateurs synchrones d'un signal modulé en modulation d'amplitude, comportant un circuit de récupération de porteuse selon l'invention. Elles illustrent les trois modes de réalisation précités, respectivement.

Dans la suite, on considèrera, de façon non limitative, le cas d'un signal de départ résultant d'une modulation d'amplitude en bande latérale résiduelle d'une porteuse de fréquence F_0 par un signal de télévision.

Pour fixer les idées les fréquences mises en jeu sont par exemple : valeur nominale de la fréquence F_0 de la porteuse de modulation : 20 397 kHz, spectre du signal de départ s'étendant entre (20 397 - 5 500) kHz et (20 397 + 500) kHz et constitué par des raies distantes de multiples de 50 Hz de la raie correspondant à la porteuse.

Les démodulateurs représentés dans les figures 1, 2 et 3 comportent chacun un circuit de récupération de porteuse RP selon l'invention, à l'entrée duquel est appliqué le signal modulé de départ S0 et qui délivre en réponse une porteuse locale de fréquence F. La démodulation proprement dite du signal modulé S0 est assurée par un modulateur 8 recevant d'une part ce signal et d'autre part la porteuse locale à travers un ensemble de déphasage ED dont le rôle apparaîtra plus clairement

par la suite, suivi d'un filtre passe-bas 18 en sortie duquel on recueille le signal démodulé utile SU.

Dans chacun des circuits de récupération de porteuse, la porteuse locale, de fréquence F et présentant un déphasage ϕ par rapport à la porteuse de modulation, est engendrée par un oscillateur local OL à fréquence variable commandable en tension. Celui-ci est inclus dans une boucle à verrouillage de phase commandée par un signal de départ à spectre limité SL résultant du signal S0 dont le spectre a été limité, par un filtre passe-bande PBO, à une bande de fréquence autour de la fréquence F_0 de la porteuse de modulation. Dans l'exemple chiffré considéré, ce filtre passe-bande, constitué par exemple par un filtre à quartz, a une fréquence centrale de 20 397 kHz et une largeur de bande de l'ordre de 20 kHz. La fréquence F de l'oscillateur local évolue dans une plage de variation de ± 500 Hz autour de 20 397 kHz, la fréquence F_0 de la porteuse de modulation ne s'écartant pas, bien entendu, de plus de 500 Hz de sa valeur nominale.

Les trois circuits de récupération de porteuse des démodulateurs représentés dans les figures 1, 2 et 3 diffèrent par la structure de leur boucle à verrouillage de phase.

Dans le circuit de la figure 1, la porteuse locale F , engendrée par l'oscillateur local OL, est appliquée à un doubleur de fréquence 2 qui délivre en réponse une onde OT11 de fréquence $2F$. Le signal à spectre limité SL est transposé par l'onde OT11. Pour ce faire, il est appliqué à un modulateur M11 qui reçoit par ailleurs l'onde OT11. Un filtre passe-bas PB11 placé en sortie de ce modulateur sélectionne la bande inférieure de modulation et fournit un signal S11. Un discriminateur de phase D1 effectue le battement entre le signal à spectre limité SL et le signal S11 délivré par le filtre passe-bas PB11. Le

signal, soit S12, résultant de ce battement est appliqué, à travers un filtre de boucle FB, en commande de l'oscillateur local OL.

Le filtre de boucle FB est constitué par exemple par un amplificateur opérationnel 6 monté en filtre passe-bas et muni à cette fin d'une résistance d'attaque R1 et d'une impédance de réaction formée par une capacité C en série avec une résistance R2. Les valeurs, soit R1 et R2, des résistances d'attaque et de réaction sont choisies de façon que le rapport $\frac{R2}{R1}$ soit au moins égal à 1 et de préférence supérieur à 1, et inférieur à 10, par exemple de l'ordre de 4. En outre, C étant la valeur de la capacité de réaction, l'expression $\frac{1}{R2C}$ est choisie de préférence entre 100 et 1000 rad/s, par exemple de l'ordre de 400 rad/s.

On a illustré de façon schématique, dans la figure 4, le spectre des signaux intervenant dans le circuit de récupération de porteuse selon la figure 1. Pour des raisons pratiques évidentes, on n'a pas conservé partout la même échelle de fréquence, et l'écart $F - F_0$ a été exagéré.

On a représenté en a) le spectre du signal SL. Bien que le spectre du signal modulé tel que reçu SO ne soit pas symétrique par rapport à l'axe vertical passant par la fréquence F_0 de la porteuse de modulation puisque l'on se place dans le cas d'une modulation à bande latérale résiduelle, on peut considérer qu'une telle symétrie existe après filtrage par le filtre PBO qui limite le spectre au voisinage de la fréquence F_0 . Le spectre du signal SL est donc formé, ainsi qu'on l'a illustré, de deux bandes latérales symétriques l'une de l'autre par rapport à la raie correspondant à la porteuse. Ces deux bandes sont constituées essentiellement par une succession de raies équidistantes. La bande inférieure apparaît hachurée.

On a illustré en b) la transposition du signal SL par l'onde OT11. La raie de l'onde OT11 à la fréquence $2F$, apparaît en pointillés ainsi que le spectre de la bande supérieure de modulation éliminée par le filtre passe-bas PB11. Seul apparaît en traits pleins le spectre du signal S11, constitué par la bande inférieure de modulation. Ce spectre est une image du spectre du signal SL et présente par rapport à ce dernier spectre un décalage de $2(F - F_0)$, à un retournement près autour de la raie correspondant à la porteuse.

Il a été constaté expérimentalement que l'oscillateur local s'accroche sur une valeur de fréquence qui fait coïncider (toujours à un retournement près) les spectres des signaux SL et S11, c'est-à-dire sur la valeur de la fréquence F_0 de la porteuse de modulation, et qu'il existe deux valeurs différant de π (à 2π près) du déphasage pour lesquelles la boucle est en équilibre stable.

Pour expliquer un tel fonctionnement, on va considérer un cas simplifié, celui où le spectre du signal SL appliqué en commande de la boucle à verrouillage de phase ne comporte qu'une raie latérale d'amplitude B , décalée de f_0 , de chaque côté de la raie correspondant à la porteuse d'amplitude A . Ce signal SL est de la forme :

$$SL = A \cos[2\pi F_0 t + \phi'] + B \cos[2\pi (F_0 - f_0)t - b + \phi'] + B \cos[2\pi (F_0 + f_0)t + b + \phi']$$

où $+b$ et $-b$ sont les déphasages respectifs, par rapport à la porteuse de modulation, des deux composantes du signal S_0 correspondant aux deux raies latérales considérées et ϕ' est le déphasage introduit par le filtre passe-bande de limitation du spectre du signal modulé. Tous les déphasages sont donnés modulo 2π .

12 d

La porteuse locale délivrée par l'oscillateur local étant de la forme $\cos (2\pi Ft + \phi)$, l'onde de transposition OT11 peut s'écrire :

$$OT11 = \cos 2 (2\pi Ft + \phi)$$

- 5 Le signal S11 constitué par la bande inférieure de modulation sélectionnée par le filtre passe-bas PB11, s'écrit donc :

$$\begin{aligned} S11 = & \frac{A}{2} \left[\cos 2\pi (2F - F_o)t + 2\phi - \phi' + \phi''_1 \right] \\ & + \frac{B}{2} \cos \left[2\pi (2F - F_o + f_o)t + 2\phi + b - \phi' + \phi''_1 \right] \\ & + \frac{B}{2} \cos \left[2\pi (2F - F_o - f_o)t + 2\phi - b - \phi' + \phi''_1 \right] \end{aligned}$$

- 10 où ϕ''_1 est le déphasage introduit par le filtre passe-bas PB11.

La bande inférieure, S'12, du signal S12 obtenu en sortie du discriminateur de phase s'écrit :

$$\begin{aligned} S'12 = & \left[\frac{A^2}{4} + \frac{B^2}{2} \right] \cos 2\pi (2F - 2F_o) t + 2\phi - 2\phi' + \phi''_1 \\ & + \frac{AB}{2} \cos \left[2\pi (2F - 2F_o + f_o) t + 2\phi + b - 2\phi' + \phi''_1 \right] \\ 15 & + \frac{AB}{2} \cos \left[2\pi (2F - 2F_o - f_o) t + 2\phi - b - 2\phi' + \phi''_1 \right] \\ & + \frac{B^2}{4} \cos \left[2\pi (2F - 2F_o + 2f_o) t + 2\phi + 2b - 2\phi' + \phi''_1 \right] \\ & + \frac{B^2}{4} \cos \left[2\pi (2F - 2F_o - 2f_o) t + 2\phi - 2b - 2\phi' + \phi''_1 \right] \end{aligned}$$

c'est-à-dire

$$S'12 = \left[\frac{A^2}{4} + \frac{B^2}{2} \right] \cos 2\pi (2F - 2F_o) t + 2\phi - 2\phi' + \phi''_1$$

Handwritten signature

$$\begin{aligned}
& + AB \cos \left[2\pi (2F - 2F_0) t + 2\phi - 2\phi' \right. \\
& \quad \left. + \phi''_1 \right] \cdot \cos (2\pi f_0 t + b) \\
& + \frac{B^2}{2} \cos \left[2\pi (2F - 2F_0) t + 2\phi - 2\phi' \right. \\
& \quad \left. + \phi''_1 \right] \cdot \cos (4\pi f_0 t + 2b)
\end{aligned}$$

5 On posera pour la suite $\phi_a = 2\phi - 2\phi' + \phi''_1$

Le filtre de boucle étant conçu pour laisser passer non seulement une éventuelle composante continue mais également les composantes basses fréquences du signal S12, un point d'équilibre de la boucle correspond nécessairement à un couple de valeurs $(F ; \phi_a)$ qui annule S'12
10 (indépendamment de t bien entendu).

Il est facile de voir qu'il n'existe que deux couples de valeurs $(F ; \phi_a)$ qui satisfont cette condition : $(F = F_0 ; \phi_a = \frac{\pi}{2})$
 $(F = F_0 ; \phi_a = \frac{3\pi}{2})$

On va voir que pour un oscillateur local donné l'un de
15 ces couples correspond à un point d'équilibre stable et l'autre à un point d'équilibre instable. Pour ce faire on va considérer le fonctionnement du système au voisinage de ces points d'équilibre, après avoir réécrit le signal S12 sous la forme :

$$\begin{aligned}
S'12 &= \frac{A^2}{4} \cos \left[2\pi (2F - 2F_0) t + \phi_a \right] \\
20 \quad & + AB \cos \left[2\pi (2F - 2F_0) t + \phi_a \right] \cdot \cos (2\pi f_0 t + b) \\
& + B^2 \cos \left[2\pi (2F - 2F_0) t + \phi_a \right] \cdot \cos^2 (2\pi f_0 t + b)
\end{aligned}$$

Au voisinage du premier point d'équilibre ($F = F_0$, $\phi_a = \frac{\pi}{2}$)
le signal peut se mettre sous la forme :

$$S'_{12} = \frac{A^2}{4} \cos\left(\frac{\pi}{2} + d\phi\right) + AB \cos\left(\frac{\pi}{2} + d\phi\right) \cdot \cos(2\pi f_0 t + b) \\ + B^2 \cos\left(\frac{\pi}{2} + d\phi\right) \cdot \cos^2(2\pi f_0 t + b)$$

5 c'est-à-dire :

$$S'_{12} = -\frac{A^2}{4} \sin(d\phi) \left[1 + 4 \frac{B}{A} \cos(2\pi f_0 t + b) \right. \\ \left. + 4 \frac{B^2}{A^2} \cos^2(2\pi f_0 t + b) \right]$$

Il est facile de voir que l'expression entre crochets est un carré parfait et n'est jamais négative. Elle ne peut éventuellement s'annuler que pour des valeurs discrètes de t . Il s'ensuit que le signal S'_{12} est de signe opposé à celui de la variation $d\phi$. Si l'on utilise un oscillateur dont les variations de fréquence sont de même signe que le signal qu'on lui applique en commande, ce premier point d'équilibre considéré est un point d'équilibre stable.

15 Au voisinage du second point d'équilibre ($f=F_0$; $\phi_a = \frac{3\pi}{2}$)
le signal S'_{12} peut se mettre sous la forme :

$$S'_{12} = \frac{A^2}{4} \cos\left(\frac{3\pi}{2} + d\phi\right) + AB \cos\left(\frac{3\pi}{2} + d\phi\right) \cdot \cos(2\pi f_0 t + b) \\ + B^2 \cos\left(\frac{3\pi}{2} + d\phi\right) \cdot \cos^2(2\pi f_0 t + b)$$

c'est-à-dire :

$$20 \quad S'_{12} = \frac{A^2}{4} \sin(d\phi) \left[1 + 4 \frac{B}{A} \cos(2\pi f_0 t + b) + 4 \frac{B^2}{A^2} \cos^2(2\pi f_0 t + b) \right]$$

Handwritten signature

En raisonnant comme précédemment, on déduit que le signal S12 est de même signe que la variation $d\phi$. Si l'on utilise comme indiqué précédemment un oscillateur dont les variations de fréquence sont de même signe que le signal qu'on lui applique en commande, ce second point d'équilibre est un point d'équilibre instable. Si par contre on utilise un oscillateur dont les variations de fréquence sont de signes opposés à celui du signal qu'on lui applique en commande, ce second point d'équilibre est stable, mais le premier ne l'est pas.

On considérera, par exemple, que l'on utilise un oscillateur dont les variations de fréquence sont de même signe que le signal qu'on lui applique en commande. La boucle à verrouillage de phase a donc un point d'équilibre stable, ($F = F_0$; $\phi_a = \frac{\pi}{2}$), qui correspond en fait à l'une ou l'autre des deux valeurs suivantes pour le déphasage ϕ que présente la porteuse locale engendrée par l'oscillateur local par rapport à la porteuse de modulation

$$\phi = \frac{\pi}{4} + \phi' - \frac{\phi''_1}{2} \quad \text{et} \quad \phi = \frac{\pi}{4} + \phi' - \frac{\phi''_1}{2} + \pi$$

Pour permettre la démodulation synchrone du signal modulé, il est nécessaire que le modulateur 8 assurant cette démodulation reçoive une porteuse en phase avec la porteuse de modulation. La porteuse locale délivrée par l'oscillateur local OL doit être déphasée avant d'être appliquée à ce modulateur. C'est le rôle de l'ensemble de déphasage ED. Celui-ci comporte un déphaseur de π , 10, commandable, suivi d'un déphaseur 12 à déphasage réglable, ainsi qu'un circuit de commande 11 commandant le déphaseur de π à partir du signal de sortie du modulateur 8.

Le déphaseur à déphasage réglable, manuellement par exemple, permet de compenser le terme en $\frac{\pi}{4} + \phi' - \frac{\phi''_1}{2}$ qui intervient dans les deux valeurs possibles de ϕ à l'équilibre de la boucle et

par suite de ramener le déphasage soit (a) de la porteuse de démodulation par rapport à la porteuse de modulation à 0 ou π . Le déphaseur de π , sous la commande de son circuit de commande, permet de ramener automatiquement ce déphasage (a) à 0. Pour ce faire le circuit de commande du déphaseur de π comporte un filtre passe-bas 14 sélectionnant la composante continue du signal de sortie du modulateur 8, suivi d'un détecteur de signe 16 qui reçoit cette composante continue, et qui, en fonction du signe - ou + qu'il détecte, commande ou non l'introduction d'un déphasage de π sur la porteuse délivrée par l'oscillateur local. Il est facile de voir, en effet, que ladite composante continue est de la forme $A \cos(a)$ où A est l'amplitude de la porteuse dans le signal modulé de départ ; elle est donc négative ou positive selon que (a) vaut π ou 0 et donc que l'introduction d'un déphasage de π s'avère nécessaire ou non. Le signal démodulé apparaît en sortie d'un filtre passe-bas 18 alimenté par le modulateur 8.

En variante, le déphaseur de π pourrait être placé dans la boucle à verrouillage de phase elle-même, en sortie de l'oscillateur local.

On notera que dans certains cas, autres que celui considéré ici où le signal modulant est un signal de télévision, c'est-à-dire un signal ayant une composante continue non nulle, il peut être indifférent que le déphasage (a) soit égal à 0 ou π . C'est le cas par exemple de signaux dont la composante moyenne est nulle.

Le déphaseur de π et son circuit de commande sont alors bien entendu inutiles et il n'est pas nécessaire que le signal modulé comporte un résidu de porteuse. Il a été constaté en effet que le circuit de récupération selon l'invention permet de récupérer la fréquence

et la phase, à pi près, de la porteuse de modulation même en l'absence de tout résidu de porteuse dans le signal modulé ; pour expliquer ceci on peut se reporter au cas simplifié vu précédemment : le fait d'annuler A, amplitude de la porteuse, ne change pas le résultat en
 5 ce qui concerne l'équilibre de la boucle.

Dans la figure 2, on a illustré le second mode de réalisation de l'invention permettant d'éviter l'emploi de fréquence aussi élevée que 2F. Dans le circuit de récupération de porteuse représenté ici, la porteuse locale engendrée par l'oscillateur local est appliquée
 10 à un modulateur auxiliaire 22 qui reçoit par ailleurs une onde auxiliaire de fréquence $f_2 = \frac{F}{N_2}$, délivrée par un diviseur de fréquence 24 recevant lui-même la porteuse locale. La sortie du modulateur auxiliaire est connectée aux entrées respectives de deux filtres dont l'un, passe-bas PB21, sélectionne la composante basse-fréquence, soit OT21, et
 15 l'autre, passe-haut PH21, la composante haute fréquence, soit OT22, issues du modulateur auxiliaire.

Le signal à spectre limité SL est transposé successivement par les ondes OT21 et OT22. Pour ce faire, il est appliqué à un premier modulateur M21 qui reçoit par ailleurs l'onde de transposition OT21.
 20 Un filtre passe-bas PB22 placé en sortie de ce premier modulateur sélectionne la bande inférieure de modulation et délivre un signal S21 qui est appliqué à un second modulateur M22 recevant par ailleurs l'onde de transposition OT22. Un filtre passe-bas PB23 placé en sortie de ce second modulateur sélectionne la bande inférieure de modulation S22.
 25 Un discriminateur de phase D2 effectue le battement entre le signal SL et le signal S22 et applique le signal de battement, soit S23, au filtre de boucle FB dont le signal de sortie commande l'oscillateur local OL.

Le filtre de boucle peut être analogue à celui du circuit de récupération selon la figure 1.

Le rapport N_2 dans lequel on divise la fréquence de la porteuse locale pour obtenir la fréquence f_2 est choisi de telle sorte que la fréquence $(F + f_2)$ de l'onde de transposition OT22 est toujours supérieure à la plus haute fréquence contenue dans le signal modulé à spectre limité SL, et que la fréquence $(F - f_2)$ de l'onde de transposition OT21 est toujours inférieure à la plus basse fréquence contenue dans ce signal. A titre indicatif, dans l'exemple chiffré considéré, la fréquence f_2 peut être de l'ordre de quelques centaines de kilohertz. On notera qu'il serait possible, en variante, d'utiliser, pour engendrer l'onde auxiliaire, un oscillateur auxiliaire de fréquence f_2 à la place du diviseur de fréquence représenté dans la figure 2.

On a illustré de façon schématique, dans la figure 5, le spectre des signaux intervenant dans le circuit de récupération de porteuse selon la figure 2.

On a repris en a) le spectre du signal SL. On a illustré en b) la transposition du signal SL par l'onde OT21. La raie de l'onde OT21, à la fréquence $F - f_2$, apparaît en pointillés ainsi que le spectre de la bande supérieure de modulation éliminée par le filtre passe-bas PB22. On a également représenté en pointillés le spectre symétrique de celui de la bande supérieure de modulation par rapport à la raie de l'onde de transposition, qui se trouve du côté des fréquences négatives et qui fournit par retournement autour de l'axe de fréquence zéro le spectre de la bande inférieure de modulation sélectionnée par le filtre passe-bas PB22. Seul ce dernier spectre est représenté en traits pleins.

La transposition par l'onde OT22 de la bande inférieure

de cette première modulation, obtenue en sortie du filtre PB22, est illustrée en c). La raie de l'onde OT22, à la fréquence $F + f_2$, est représentée en pointillés ainsi que le spectre de la bande supérieure de cette seconde modulation. Le spectre de la bande inférieure correspondante qui constitue le signal S22 apparaît seul en traits pleins.

5 Ce spectre est une image de celui du signal SL et présente par rapport à ce dernier spectre un décalage de $2(F - F_0)$, à un retournement près autour de la raie correspondant à la porteuse de modulation ; il est identique à celui du signal S11 qui est engendré dans le circuit

10 de récupération selon la figure 1 et qui apparaît en 4b).

Comme dans le cas du circuit selon la figure 1, l'oscillateur local s'accroche sur une valeur de fréquence qui fait coïncider (à un retournement près) les spectres des signaux SL et S22, c'est-à-dire sur la valeur de la fréquence F_0 de la porteuse de modulation,

15 et il existe deux valeurs différant de π (à 2π près) du déphasage ϕ que présente la porteuse engendrée par l'oscillateur local par rapport à la porteuse de modulation pour lesquelles la boucle est en équilibre stable.

Pour expliquer ce fonctionnement, on peut considérer le même cas simplifié que précédemment. Ces calculs conduisent alors

20 pour la bande inférieure du signal S23, à une expression tout à fait analogue à celle trouvée pour la bande inférieure du signal S12.

L'ensemble de déphasage à travers lequel est appliquée la porteuse engendrée par l'oscillateur local au modulateur assurant

25 la démodulation du signal modulé de départ a le même rôle que l'ensemble de déphasage du démodulateur de la figure 1 et il est constitué de façon tout à fait analogue.

On notera qu'il serait possible, en variante de ce second mode de réalisation de l'invention, d'intervertir l'ordre dans lequel s'effectuent les deux transpositions successives du signal SL. On transposerait alors le signal SL par l'onde OT22 de fréquence $(F + f_2)$ et la bande inférieure de cette première modulation serait transposée ensuite par l'onde OT21 de fréquence $(F - f_2)$. Le discriminateur de phase effectuerait le battement entre le signal SL et la bande supérieure de cette seconde modulation.

Par ailleurs et bien que ce soit moins intéressant car cela conduit à l'utilisation de fréquences plus élevées, il serait possible de choisir pour la fréquence f_2 une valeur supérieure à celle de la fréquence F (pour $f_2 = F$ on retrouve le premier mode de réalisation). Dans ce cas, effectuer une transposition par une onde à la fréquence $F - f_2$ et sélectionner la bande inférieure ou la bande supérieure de modulation reviendrait en pratique à effectuer une transposition par une onde à la fréquence $-(F - f_2)$ et sélectionner la bande supérieure ou la bande inférieure de modulation.

La figure 3, illustre le troisième mode de réalisation de l'invention. Comme dans le circuit de récupération de porteuse selon la figure 2, la porteuse locale engendrée par l'oscillateur local OL est appliquée à un modulateur auxiliaire 32 qui reçoit par ailleurs une onde auxiliaire, ici de fréquence $f_3 = \frac{F}{N_3}$, délivrée par un diviseur de fréquence 34 recevant lui-même la porteuse locale. La sortie du modulateur auxiliaire 34 est connectée aux entrées respectives de deux filtres dont l'un, passe-bas PB31 sélectionne la composante basse-fréquence, soit OT31, et l'autre, passe-haut PH31 la composante haute fréquence, soit OT32, issues du modulateur auxiliaire.

Le signal à spectre limité SL subit ici deux transpositions

en parallèle, par les ondes OT31 et OT32 respectivement. Pour ce faire il est appliqué d'une part à un premier modulateur M31 qui reçoit par ailleurs l'onde de transposition OT31 et d'autre part à un second modulateur M32 qui reçoit par ailleurs l'onde de transposition OT32.

- 5 Deux filtres passe-bas PB32 et PB33, placés en sortie du premier et du second modulateur, respectivement, sélectionnent les bandes inférieures de modulation. Un discriminateur de phase D3 effectue le battement entre les deux signaux délivrés par les filtres PB32 et PB33, soient S31 et S32 respectivement. Le signal, soit S33, résultant de ce battement
10 est appliqué, à travers un filtre de boucle FB, en commande de l'oscillateur local.

Le filtre de boucle peut être analogue à celui du circuit de récupération selon la figure 1.

- Le rapport N_3 dans lequel on divise la fréquence de la porteuse
15 locale pour obtenir la fréquence f_3 est choisi de la même façon que le rapport N_2 , et la fréquence f_3 peut être, comme la fréquence f_2 , de l'ordre de quelques centaines de kilohertz dans l'exemple chiffré considéré. En variante, le diviseur par N_3 pourrait être remplacé par un oscillateur auxiliaire à la fréquence f_3 , indépendant de l'oscil-
20 lateur local à la fréquence F.

On a illustré de façon schématique, dans la figure 6, le spectre des signaux intervenant dans le circuit de récupération de porteuse selon la figure 3.

- On a repris en a) le spectre du signal SL. On a illustré
25 en b) la transposition du signal SL par l'onde OT31, qui est tout à fait analogue à la transposition du signal SL par l'onde OT21. Apparaissent en pointillés : la raie de l'onde OT31, à la fréquence $(F - f_3)$,

le spectre de la bande supérieure de modulation éliminée par le filtre passe-bas PB32, et le spectre symétrique de ce dernier par rapport à la raie de l'onde de transposition, qui se trouve du côté des fréquences négatives, et qui fournit par retournement autour de l'axe de fréquence zéro le spectre de la bande inférieure de modulation sélectionnée par le filtre passe-bas PB32. Seul ce dernier spectre qui est celui du signal S31, apparaît en traits pleins.

On a illustré en c) la transposition du signal SL par l'onde OT32. La raie de l'onde OT32, à la fréquence $(F + f_3)$, ainsi que le spectre de la bande supérieure de modulation éliminée par le filtre passe-bas PB33 ont été représentés en pointillés, tandis que le spectre de la bande inférieure de modulation sélectionnée par le filtre PB33 apparaît en traits pleins. Ce dernier spectre est celui du signal S32.

Les spectres des signaux S31 et S32 sont tous deux des images du spectre du signal SL et présentent entre eux un décalage de

$$F + f_3 - F_0 + F - f_3 - F_0 = 2(F - F_0),$$

à un retournement près autour de la raie image de la raie de la porteuse de modulation dans l'un de ces deux spectres images.

Ici encore, l'oscillateur local s'accroche sur une valeur de fréquence qui fait coïncider (à un retournement près) les spectres des signaux que l'on fait battre entre eux, S31 et S32, c'est-à-dire sur la valeur de la fréquence F_0 de la porteuse de modulation, et il existe deux valeurs différant de π du déphasage ϕ que présente la porteuse engendrée par l'oscillateur local par rapport à la porteuse de modulation pour lesquelles la boucle est en équilibre stable.

Si l'on considère encore une fois le cas simplifié déjà vu précédemment, les calculs conduisent, pour la bande inférieure

ou signal S33 à une expression du même type que celle trouvée pour la bande inférieure du signal S12.

L'ensemble de déphasage ED est de constitution semblable à celle de l'ensemble de déphasage du démodulateur de la figure 1.

- 5 Comme pour la fréquence f_2 dans le second mode de réalisation, on pourrait ici choisir pour la fréquence f_3 une valeur supérieure à celle de la fréquence F (pour $f_3 = F$ on retrouve le premier mode de réalisation) ; effectuer une transposition par une onde à la fréquence $F - f_3$ et sélectionner la bande inférieure de modulation
- 10 reviendrait alors en pratique à effectuer une transposition par une onde à la fréquence $-(F - F_3)$ et sélectionner la bande supérieure de modulation.

REVENDICATIONS

1/ Procédé de régénération de l'onde porteuse de modulation d'un signal modulé dont le spectre de fréquence comporte des raies dont les fréquences sont symétriques deux à deux par rapport à l'axe de fréquence passant par la fréquence de cette porteuse, comportant les opérations suivantes :

- on crée une porteuse locale à fréquence commandable,
 - on fait une discrimination de phase entre deux signaux dépendant de cette porteuse locale et du signal modulé,
 - et on commande la fréquence de la porteuse locale par le signal résultant de cette discrimination après élimination des fréquences hautes,
- caractérisé par le fait qu'on effectue, à partir de la porteuse locale, et d'un signal dit de départ comportant certaines au moins des composantes du signal modulé, correspondant dans le spectre de fréquence à des raies symétriques deux à deux par rapport à l'axe de fréquence passant par la fréquence de la porteuse de modulation, des opérations de modulation et de filtrage de manière à obtenir deux signaux images dont les spectres de fréquences sont des images du spectre du signal de départ, le spectre de l'un de ces signaux images étant retourné par rapport à celui du signal de départ, et l'écart entre les fréquences images de la fréquence de la porteuse de modulation dans les spectres de ces deux signaux images étant proportionnel à l'écart entre les fréquences de l'oscillateur et de la porteuse de modulation,
- et on fait ladite discrimination de phase entre ces deux signaux images.

2/ Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que

- l'un des signaux images est constitué par le signal de départ lui-même
- l'autre signal image étant obtenu par les opérations suivantes :
- on module la porteuse locale par elle-même pour obtenir une onde de transposition de fréquence double,
- on module le signal de départ par cette onde de transposition,
- et on filtre le signal obtenu ainsi pour ne laisser subsister que le signal de battement différentiel.

3/ Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que

- l'un des signaux images est constitué par le signal de départ lui-même,
- l'autre signal image étant obtenu par les opérations suivantes :
- on crée deux ondes de transposition dont les fréquences sont symétriques par rapport à la fréquence de la porteuse locale, et suffisamment écartées de cette dernière fréquence pour se trouver de part et d'autre du spectre de raies du signal de départ,
- on module le signal de départ en série par ces deux ondes de transposition, chacune de ces deux modulations étant suivie d'un filtrage ne laissant subsister que l'une des deux bandes de modulation de manière à obtenir, après ces deux modulations et filtrages, un signal image dont le spectre soit retourné par rapport au spectre du signal de départ et décalé de ce dernier spectre du double de l'écart entre les fréquences de la porteuse locale et de la porteuse de modulation.

0.4

4/ Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les deux signaux images sont obtenus par les opérations suivantes :

- on crée deux ondes de transposition dont les fréquences sont symétriques par rapport à la fréquence de la porteuse locale, et suffisamment écartées de cette dernière fréquence pour se trouver de part et d'autre du spectre de raies du signal de départ,
- on module le signal de départ en parallèle par les deux ondes de transposition chacune de ces deux modulations étant suivie par un filtrage ne laissant subsister que l'une des deux bandes de modulation qui constitue un signal image, de manière que le spectre des deux signaux image ainsi obtenus soit retournés l'un par rapport à l'autre et décalés l'un de l'autre du double de l'écart entre les fréquences de la porteuse locale et de la porteuse de modulation.

5/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le signal modulé résulte d'une modulation d'amplitude en bande latérale résiduelle, caractérisé par le fait que l'on effectue un filtrage passe-bande de ce signal modulé de façon à limiter son spectre à une zone où il est sensiblement symétrique par rapport à l'axe de fréquence passant par la fréquence de la porteuse de modulation, le signal modulé à spectre limité ainsi obtenu constituant ledit signal de départ.

6/ Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que l'on effectue en outre une opération de déphasage de grandeur réglable sur la porteuse locale.

7/ Procédé selon la revendication 6, caractérisé par le fait que ladite opération de déphasage comporte une inversion de phase commutable.

8/ Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait qu'il comporte en outre

- une opération de modulation du signal modulé par la porteuse locale ayant subi ladite opération de déphasage
- et une opération de filtrage passe-bas du signal résultant de cette modulation,
- ladite opération d'inversion de phase étant commandée par le signal résultant de cette opération de filtrage.

9/ Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, appliqué à un signal de départ comportant une succession de raies équidistantes.

10/ Dispositif de régénération de l'onde porteuse de modulation d'un signal modulé dont le spectre de fréquence comporte des raies symétriques deux à deux par rapport à l'axe de fréquence passant par la fréquence de cette porteuse, dispositif comportant :

- un oscillateur local pour créer une porteuse locale à fréquence commandable,
- un discriminateur de phase pour faire une discrimination de phase entre deux signaux dépendant de cette porteuse locale et du signal modulé,
- et un filtre de bande pour laisser passer seulement les fréquences basses du signal de sortie du discriminateur de phase et pour commander la fréquence de l'oscillateur local à l'aide du signal résultant,

ph. Jf

caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens de modulation et de filtrage recevant d'une part la porteuse locale et d'autre part un signal dit "de départ" comportant certaines au moins des composantes du signal modulé correspondant dans le spectre de fréquence à des raies symétriques deux à deux par rapport à l'axe de fréquence passant par la fréquence de la porteuse de modulation, ces moyens de modulation et de filtrage fournissant deux signaux images dont les spectres de fréquences sont des images du spectre du signal de départ, le spectre de l'un de ces signaux images étant retourné par rapport à celui du signal de départ, et l'écart entre les fréquences images de la fréquence de la porteuse de modulation dans les spectres de ces deux signaux images étant proportionnel à l'écart entre les fréquences de l'oscillateur et de la porteuse de modulation,

- ledit discriminateur de phase faisant la discrimination de phase entre ces deux signaux images.

11/ Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que lesdits moyens de modulation et de filtrage comportent

- un doubleur de fréquence recevant la porteuse locale et fournissant une onde de transposition de fréquence double.
- un modulateur modulant le signal de départ par cette onde de transposition,
- et un filtre passe-bas filtrant le signal de sortie de ce modulateur pour ne laisser subsister que le signal de battement différentiel,
- les deux dits signaux images étant constitués l'un par le signal de départ lui-même et l'autre ; par ledit signal de battement différentiel.

12/ Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que lesdits moyens de modulation et de filtrage comportent :

- un générateur d'ondes de transposition pour créer deux ondes de transposition dont les fréquences sont symétriques par rapport à la fréquence de la porteuse locale et suffisamment écartées de cette dernière fréquence pour se trouver de part et d'autre du spectre de raies du signal de départ,
- deux modulateurs pour moduler le signal de départ en série par ces deux ondes de transposition, chacun de ces modulateurs étant pourvu à sa sortie d'un filtre ne laissant subsister que l'une des deux bandes de modulation, de manière à obtenir un signal image dont le spectre soit retourné par rapport au spectre du signal de départ et décalé de ce dernier spectre du double de l'écart entre les fréquences de la porteuse locale et de la porteuse de modulation,
- l'autre signal image étant constitué par le signal de départ lui-même.

13/ Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que lesdits moyens de modulation et de filtrage comportent

- un générateur d'ondes de transposition pour créer deux ondes de transposition dont les fréquences sont symétriques par rapport à la fréquence de la porteuse locale et suffisamment écartées de cette dernière pour se trouver de part et d'autre du spectre de raies du signal de départ,
- deux modulateurs pour moduler le signal de départ en parallèle par ces deux ondes de transposition, chacun de ces modulateurs étant pourvu à sa sortie d'un filtre ne laissant subsister que l'une des deux bandes de modulation, chacune des deux bandes subsistantes constituant

l'un des dits signaux images, de manière que les spectres des deux signaux images ainsi obtenus soient retournés l'un par rapport à l'autre et décalés l'un de l'autre du double de l'écart entre les fréquences de la porteuse locale et de la porteuse de modulation.

14/ Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que ledit filtre de bande est constitué par un amplificateur opérationnel monté en filtre passe-bas et muni à cette fin d'une résistance d'attaque de valeur R_1 et d'une impédance de réaction formée par condensateur de capacité C en série avec une résistance de valeur R_2 , le rapport R_2/R_1 étant compris entre 1 et 10, l'expression $1/C R_2$ étant comprise entre 100 et 1000 rad/s.

15/ Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que ledit rapport est sensiblement égal à 4, ladite expression valant sensiblement 400 rad/s.

J. B. Chouet
Rossignol

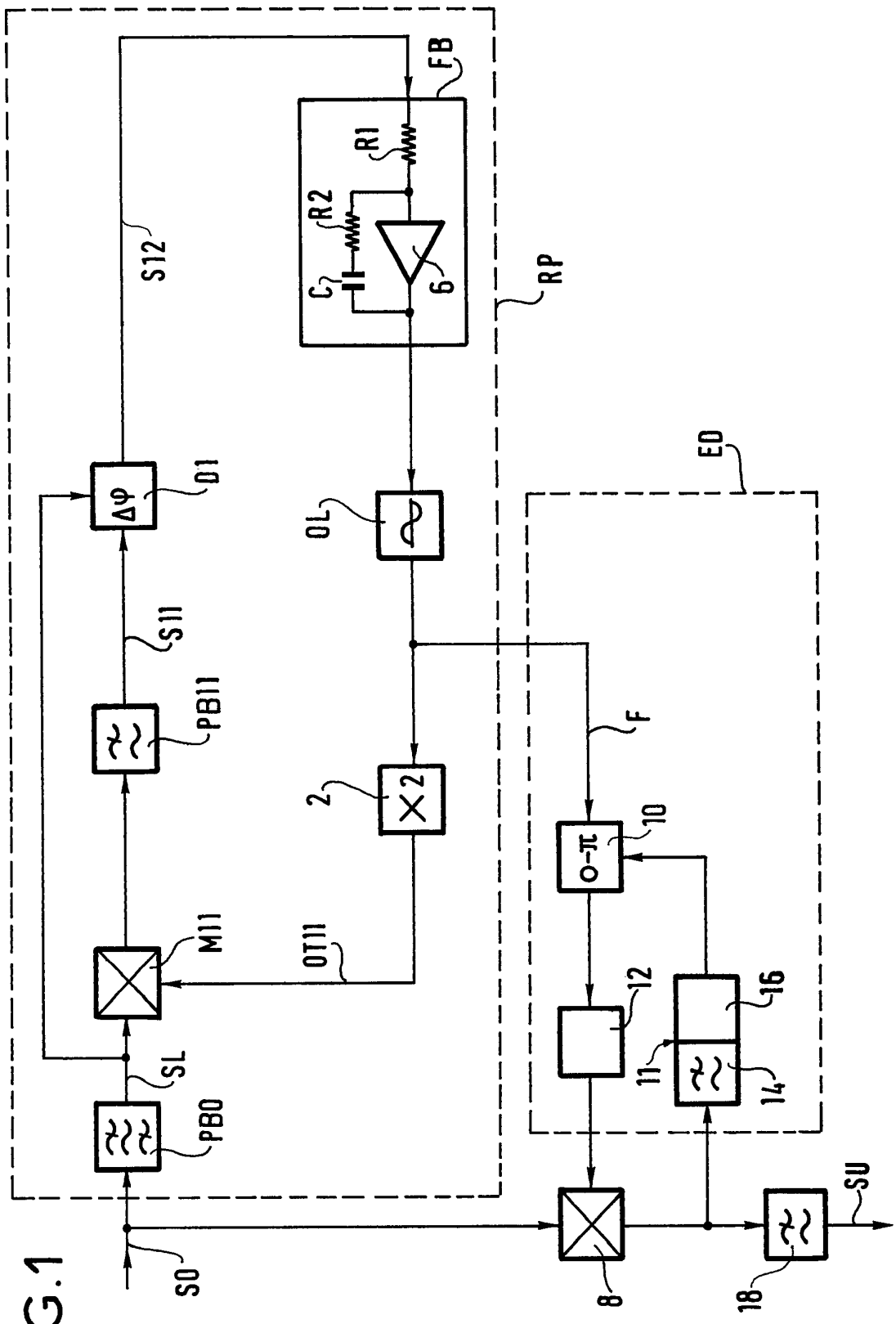
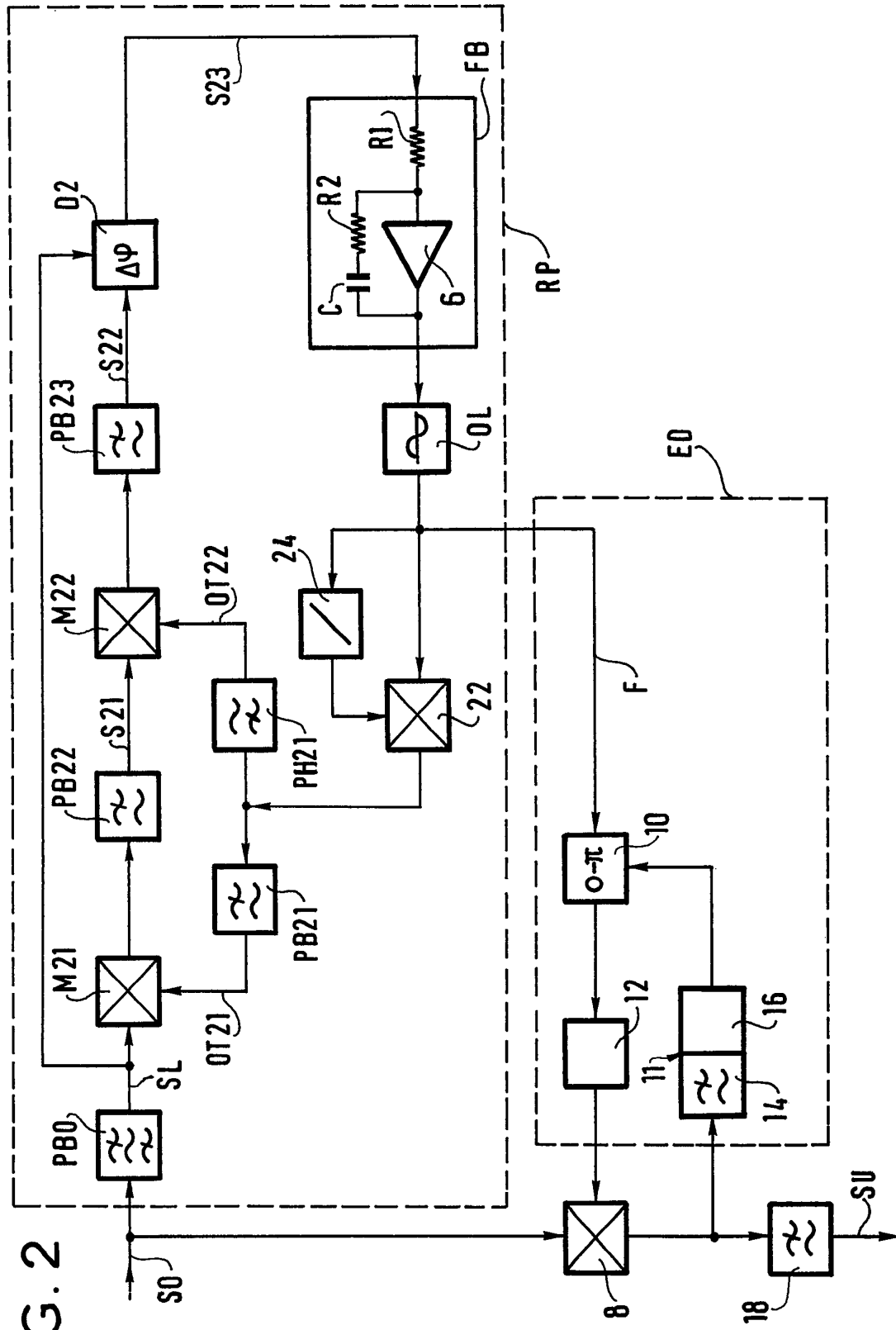


FIG.1

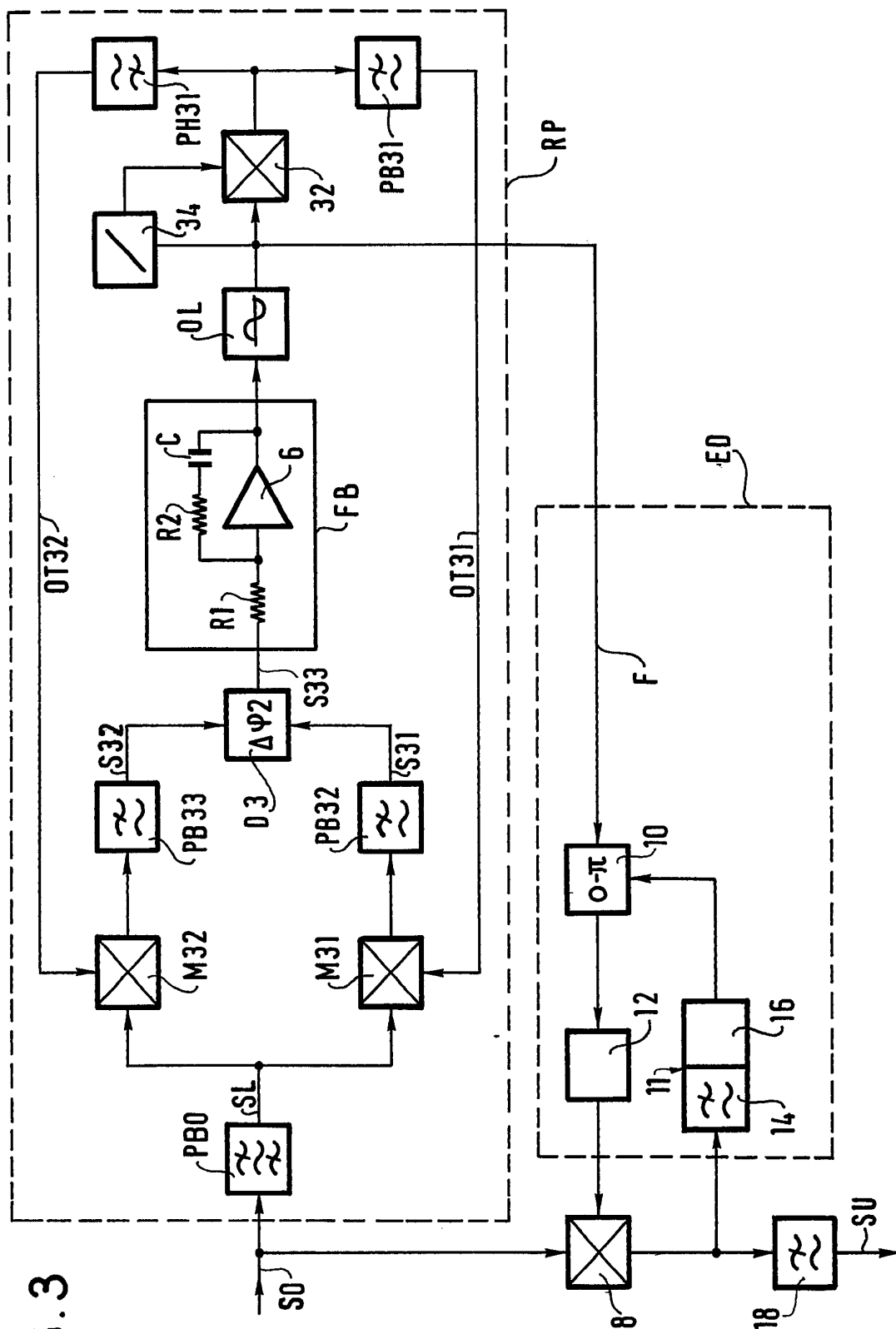
Rising
for design

FIG. 2



Proving
Beach

FIG. 3



Handwritten signature: R. K. Bhandari

FIG. 4

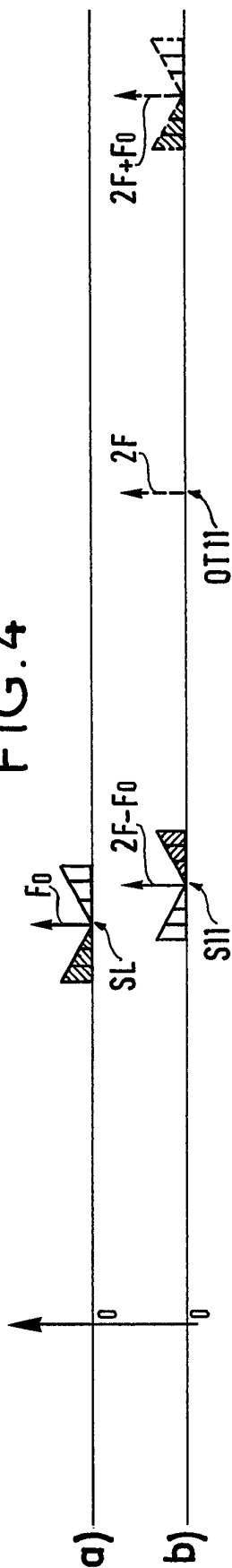


FIG. 5

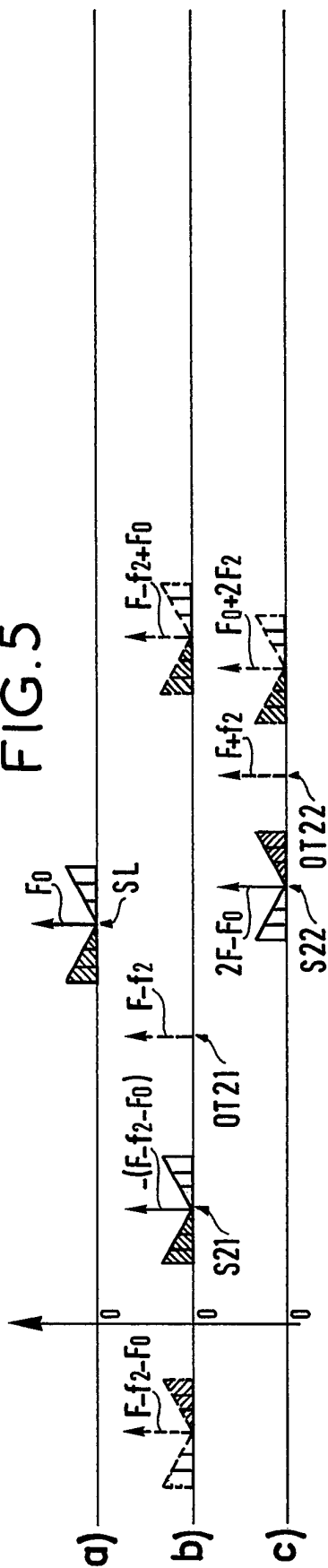
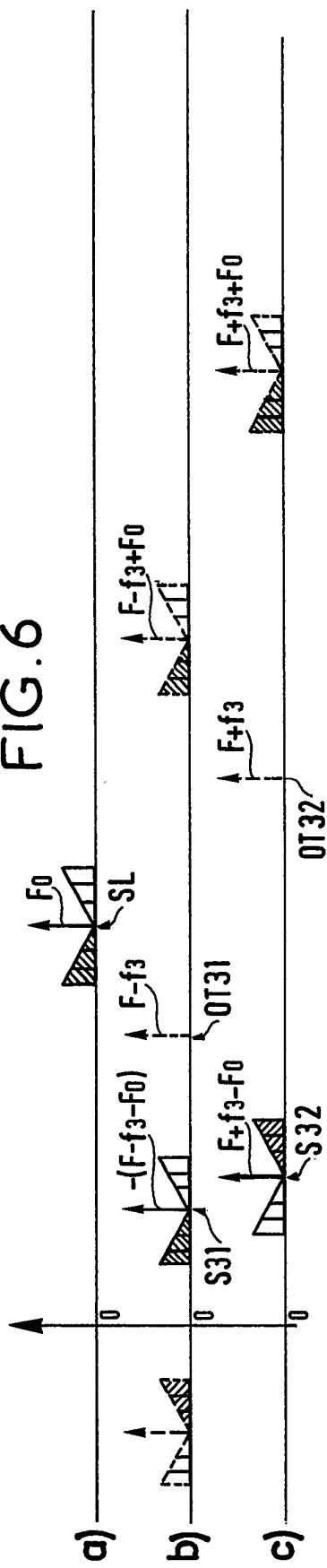


FIG. 6



Handwritten signature
Beauchamp