

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②

N° 81 08549

⑤④ Dispositif de récupération de porteuse pour une modulation d'amplitude et de phase à seize états et système de réception de données numériques comprenant un tel dispositif.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. ³). H 04 L 27/00.

②② Date de dépôt 29 avril 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 5-11-1982.

⑦① Déposant : LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE ET DE PHYSIQUE APPLIQUEE, L.E.P., société anonyme, résidant en France.

⑦② Invention de : Hikmet Sari.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Christian Landousy, société civile SPID,
209, rue de l'Université, 75007 Paris.

DISPOSITIF DE RECUPERATION DE PORTEUSE POUR UNE MODULATION D'AMPLI-
TUDE ET DE PHASE A SEIZE ETATS ET SYSTEME DE RECEPTION DE DONNEES
NUMERIQUES COMPRENANT UN TEL DISPOSITIF

La présente invention a trait à un système de réception
de données numériques transmises selon le principe de la modulation
d'amplitude et de phase à seize états dite MAQ 16 et concerne, plus
précisément, un dispositif de récupération de porteuse pour un tel
5 système.

La modulation dite MAQ 16 est obtenue en additionnant deux
ondes porteuses en quadrature modulées en amplitude (niveaux 1 ou 3)
et en phase (0 ou π). Le signal modulé est de la forme :

$$x(t) = (2a_k + 1) \sin(\omega t + b_k \pi) + (2c_k + 1) \cos(\omega t + d_k \pi)$$

10 (avec a_k, b_k, c_k, d_k égaux à 0 ou à 1, et t compris entre kT et
 $(k+1)T$, T étant la durée d'un symbole). L'article "Design and
performances of a 200 Mbits/s 16 QAM digital radio system" de
I. Horikawa, T. Murase et Y. Saito, paru dans la revue IEEE
Transactions on Communications, décembre 1979, volume COM-27, N° 12,
15 pages 1953 à 1958, décrit un dispositif relativement simple de récupé-
ration de porteuse pour une modulation MAQ 16. Comme le montre la
figure 1, qui représente la constellation des points en modulation
MAQ 16, huit seulement parmi les seize états de cette modulation ont
des phases égales à $\pm \pi/4$ ou $\pm 3\pi/4$, c'est-à-dire les mêmes phases
20 qu'une modulation à déplacement de phase à quatre états dite MDP4.
Les auteurs de l'article cité préconisent donc de n'opérer la récupé-
ration de porteuse que lorsque le signal occupe l'un de ces huit états,

et donc de récupérer la porteuse d'une modulation MAQ 16 à l'aide d'une boucle de récupération de porteuse pour modulation MDP4.

L'inconvénient de cette méthode apparaît cependant rapidement. En supposant que tous les états de la modulation MAQ 16 sont équiprobables, la boucle de récupération devrait, statistiquement, fonctionner pendant la moitié du temps. Mais, si le signal émis comporte une longue séquence dont les états ont des phases différentes de $\pm \pi/4$ et de $\pm 3\pi/4$, la boucle ne fonctionne plus pendant cette séquence et risque de décrocher, c'est-à-dire de ne plus suivre l'évolution de la phase.

Le but de l'invention est donc de proposer un système de réception de données numériques à modulation MAQ 16 dans lequel le dispositif de récupération de porteuse fonctionne de façon ininterrompue et indépendante du signal émis.

L'invention concerne à cet effet un dispositif de récupération de porteuse qui comprend successivement :

(A) un ensemble de six voies (V_1) à (V_6) en parallèle comprenant chacune en série un circuit de multiplication (M_i) et un filtre passe-bas (F_i), cet ensemble prélevant le signal de sortie du canal de transmission pour délivrer trois paires de signaux ($p(t), q(t)$), ($r(t), s(t)$), ($u(t), v(t)$) ;

(B) en sortie de cet ensemble, un circuit de sélection de l'une de ces trois paires de signaux comprenant d'une part un circuit de détection d'amplitude et de signe qui prélève en sortie des circuits de multiplication (M_3) et (M_4) la paire de signaux ($r(t), s(t)$) et génère un signal numérique α égal à 1 ou à 0 selon que la valeur de $r(t)^2 + s(t)^2$ est respectivement comprise ou non entre deux valeurs de seuil déterminées et un signal numérique β égal aussi à 1 ou à 0 selon la valeur de l'expression

$$\left[\text{signe}(r(t)) \oplus \text{signe}(s(t)) \right] \oplus \text{signe} \left[|r(t)| - |s(t)| \right]$$
 dans laquelle \oplus est l'opérateur OU exclusif, et d'autre part un circuit de commutation qui prélève l'une ou l'autre des trois paires de signaux selon les valeurs de α et β ;

(C) une boucle de réglage de phase composée elle-même successivement d'un circuit de traitement dit de Costas, qui prélève les deux signaux ainsi sélectionnés et délivre un signal proportionnel à l'erreur de phase sur le signal reçu, d'un filtre de boucle et d'un

oscillateur commandé en tension ;

(D) un circuit de déphasage, qui prélève le signal de sortie de l'oscillateur pour l'envoyer sur une deuxième entrée des circuits de multiplication (M_1) à (M_6), cet envoi étant effectué avec un déphasage nul sur (M_1), de θ sur (M_3) et de 2θ sur (M_5), et avec un déphasage de $\pi/2$ sur (M_2), de $\theta + \pi/2$ sur (M_4) et de $2\theta + \pi/2$ sur (M_6), θ étant égal à $\pi/4 - \text{Arctg } 1/3$.

Dans la structure ainsi proposée, on a considéré que les seize états d'un signal ayant subi une modulation MAQ 16 pouvaient être considérés comme résultant de l'union des états de quatre modulations MDP4 distinctes, dont les deux premières (figures 2a et 2b) correspondent à des états de mêmes phases mais peuvent être distinguées l'une de l'autre à l'aide d'une détection d'amplitude et dont les deux autres (figures 2c et 2d) correspondent à des états de même amplitude mais peuvent être distinguées l'une de l'autre à l'aide d'une détection de signe, en faisant intervenir les projections sur les axes $\cos \omega t$ et $\sin \omega t$.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront de façon plus précise dans la description qui suit et dans les dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs, dans lesquels :

- la figure 1 représente la constellation des seize états d'un signal modulé selon une modulation MAQ 16 ;
- les figures 2a à 2d illustrent la décomposition d'une modulation MAQ 16 en quatre modulations MDP4 ;
- la figure 3 montre un exemple de réalisation du dispositif de récupération de porteuse selon l'invention ; et
- la figure 4 représente deux exemples de réalisation du circuit de traitement de Costas prévu dans le dispositif de la figure 3.

Le dispositif de récupération de porteuse conforme à l'invention comprend successivement, dans l'exemple de réalisation décrit en référence à la figure 3, un ensemble de six voies V_1 à V_6 en parallèle placées en sortie d'un canal de transmission 10 et fournissant à une boucle de réglage de phase 11 une des trois paires de signaux de sortie de ces voies, selon la valeur de deux coefficients

fournis à un circuit de commutation 12 par un circuit de détection d'amplitude et de signe, un circuit de déphasage 14 permettant de fournir de façon rétroactive aux six voies V_1 à V_6 le signal de correction délivré par la boucle 11.

5 Les six voies V_1 à V_6 comprennent chacune en série un circuit de multiplication (M_1 à M_6) et un filtre passe-bas (F_1 à F_6). Chaque première entrée des circuits de multiplication M_1 à M_6 reçoit le signal de sortie du canal de transmission 10, et chaque deuxième

10 de déphasage 14 décrit en détail plus loin. En sortie des filtres F_1 à F_6 sont respectivement disponibles des signaux $p(t)$, $q(t)$, $r(t)$, $s(t)$, $u(t)$, et $v(t)$. Le circuit de commutation 12 transmet à la boucle de réglage de phase 11 une paire de signaux $g(t)$, $h(t)$ qui est égale à l'une des trois paires de signaux ($p(t)$, $q(t)$), ($r(t)$, $s(t)$) ou

15 ($u(t)$, $v(t)$). Le choix de celle des paires qui est transmise est imposé au circuit de commutation 12 par les valeurs des deux signaux numériques α et β fournis au circuit 12 par le circuit de détection d'amplitude et de signe. Ce dernier prélève en effet les signaux

20 $r(t)$ et $s(t)$ présents en sortie des deux filtres passe-bas F_3 et F_4 et effectue sur eux des tests d'amplitude et de signe, selon le processus décrit ci-dessous.

Le circuit de détection d'amplitude et de signe comprend d'abord un circuit de détection d'amplitude 21, composé de deux

25 élévateurs au carré 31 et 32, d'un additionneur 33, de deux comparateurs 34 et 35 et d'une porte OU-exclusif 36. Les seuils des comparateurs 34 et 35 sont égaux à $3/2$ et $7/2$ respectivement (dans le cas où les niveaux de la modulation MAQ 16 sont 1, 3, -1 et -3), et le signal numérique α de sortie de la porte 36 prend la valeur 1 si la valeur de $r(t)^2 + s(t)^2$ est comprise entre $3/2$ et $7/2$ ou reste à la valeur 0

30 dans le cas contraire. Le circuit de détection d'amplitude et de signe comprend également un circuit de détection de signe 22, composé d'un circuit (41, 42, 43) de soustraction des valeurs absolues de $r(t)$ et $s(t)$, de trois comparateurs 44, 45 et 46 (de comparaison à zéro), et de deux portes OU-exclusif 47 et 48. Le signal numérique β de sortie

35 de la porte 48 prend la valeur 0 ou 1 selon le résultat logique du test effectué dans le circuit 13 et correspondant à l'expression :

$$\beta = \left[\text{signe}(r(t)) \oplus \text{signe}(s(t)) \right] \oplus \text{signe} \left[|r(t)| - |s(t)| \right]$$

dans laquelle \oplus désigne l'opérateur OU-exclusif et dans laquelle la fonction $\text{signe}(x)$ est par exemple égale à 1 si x est positif et à 0 si x est négatif. Ces circuits 21 et 22 permettent donc de connaître α et β , et, par là, de connaître la nature du signal reçu : si $\alpha = 0$, le signal se trouve dans l'un des états des deux modulations MDP4 des figures 2a et 2b, tandis que, si $\alpha = 1$, ce signal se trouve dans l'un des états de la modulation MDP4 de la figure 2d si $\beta = 0$ ou dans l'un des états de la modulation MDP4 de la figure 2c si $\beta = 1$. Le circuit de commutation 12 peut alors assurer le transfert de la paire de signaux selon la loi suivante :

(a) $\alpha = 0$: $g(t), h(t) = r(t), s(t)$.

(b) $\alpha = 1$ et $\beta = 0$: $g(t), h(t) = u(t), v(t)$.

(c) $\alpha = 1$ et $\beta = 1$: $g(t), h(t) = p(t), q(t)$.

Sur la paire de signaux qui lui est transmise après commutation appropriée du circuit 12, la boucle de verrouillage de phase 11 effectue un traitement de Costas dans le circuit 51. Ce circuit de traitement de Costas 51 peut être analogique, avec deux comparateurs à zéro 61 et 62, deux circuits de multiplication 63 et 64 et un circuit de soustraction 65 (voir la figure 4a), ou bien numérique, avec un additionneur 71 et un soustracteur 72, quatre comparateurs à zéro 73 à 76 et trois portes OU-exclusif 77 à 79 (voir la figure 4b) ; ces exemples de circuits de traitement sont connus et sont décrits le premier dans l'ouvrage "Phaselock techniques" de F.M. Gardner (John Wiley and Sons, 1979), et le second dans l'article de Horikawa, Murase et Saito déjà cité. Le signal d'erreur $e(t)$ délivré par le circuit 51 de traitement de Costas est alors envoyé, par l'intermédiaire d'un filtre de boucle 52, vers un oscillateur 53 commandé en tension. La sortie de l'oscillateur 53 constitue le signal de sortie de la boucle 11, qui est envoyé sur les deuxièmes entrées des circuits de multiplication M_1 à M_6 , directement pour le circuit M_1 et par l'intermédiaire du circuit à déphasage 14 pour les circuits M_2 à M_6 . Ce circuit 14 impose un déphasage de $\pi/2$ au signal envoyé sur M_2 , de $\theta = \pi/4 - \text{Arctg } 1/3$ au signal envoyé sur M_3 ,

de $\pi/2 + \theta$ au signal envoyé sur M_4 , de 2θ au signal envoyé sur M_5 ,
et de $\pi/2 + 2\theta$ au signal envoyé sur M_6 . Enfin, les signaux de
sortie $r(t)$ et $s(t)$ des voies V_3 et V_4 , qui constituent ici les
signaux démodulés en phase et en quadrature, sont envoyés vers un
5 circuit de décision, non représenté.

Le principe de fonctionnement du dispositif dont on
vient de décrire la structure est donc le suivant. Puisque les phases
d'une modulation MAQ 16 sont les phases de trois modulations MDP4
décalées de l'angle θ (en réalité quatre, comme on l'a vu, mais deux
10 d'entre elles ont les mêmes phases), on démodule le signal reçu sur
trois paires de porteuses correspondant aux axes respectifs de ces
trois modulations, dans les voies (V_1, V_2) , (V_3, V_4) , (V_5, V_6) respec-
tivement. Une détection d'amplitude et de signe permet alors de déter-
miner à laquelle des modulations MDP4 des figures 2a à 2d appartient
15 le signal et quelle paire de signaux doit être injectée dans la
boucle 11 par le circuit de commutation 12. Il y a donc, dans le dis-
positif selon l'invention, récupération de la porteuse d'une modulation
MDP4 par une boucle de Costas, mais cette boucle est associée à des
circuits logiques décidant de celle des trois paires de signaux de
20 démodulation qui doit être prise en compte pour subir le traitement
de Costas et permettre la détermination de l'erreur de phase sur le
signal reçu et sa réintroduction à l'entrée du dispositif.

REVENDEICATIONS :

1. Dans un système de réception de données numériques transmises en modulation d'amplitude et de phase à seize états dite MAQ 16, dispositif de récupération de porteuse caractérisé en ce qu'il comprend successivement :
- 5 (A) un ensemble de six voies (V_1) à (V_6) en parallèle comprenant chacune en série un circuit de multiplication (M_i) et un filtre passe-bande (F_i), cet ensemble prélevant le signal de sortie du canal de transmission (10) pour délivrer trois paires de signaux ($p(t)$, $q(t)$), ($r(t)$, $s(t)$), ($u(t)$, $v(t)$) ;
- 10 (B) en sortie de cet ensemble, un circuit de sélection de l'une des trois paires de signaux comprenant d'une part un circuit de détection d'amplitude et de signe qui prélève en sortie des deux filtres F_3 et F_4 la paire de signaux ($r(t)$, $s(t)$) et génère un signal numérique α égal à 1 ou à 0 selon que la valeur de $r(t)^2 + s(t)^2$ est respectivement comprise ou non entre deux valeurs de seuil déterminées et un signal numérique β égal aussi à 1 ou à 0 selon la valeur de l'expression
- 15
$$\left[\text{signe}(r(t)) \oplus \text{signe}(s(t)) \right] \oplus \text{signe} \left[\left| r(t) \right| - \left| s(t) \right| \right]$$
 dans laquelle \oplus est l'opérateur OU exclusif, et d'autre part un circuit de commutation (12) qui prélève l'une ou l'autre des trois paires de signaux selon les valeurs de α et β ;
- 20 (C) une boucle de réglage de phase (11) composée elle-même successivement d'un circuit de traitement (51) dit de Costas, qui prélève les deux signaux ainsi sélectionnés et délivre un signal proportionnel à l'erreur de phase sur le signal reçu, d'un filtre de boucle (52) et d'un oscillateur (53) commandé en tension ;
- 25 (D) un circuit de déphasage (14), qui prélève le signal de sortie de l'oscillateur (53) pour l'envoyer sur une deuxième entrée des circuits de multiplication (M_1) à (M_6), cet envoi étant effectué avec un déphasage nul sur (M_1) de θ sur (M_3) et de 2θ sur (M_5), et avec un déphasage de $\pi/2$ sur (M_2), de $\theta + \pi/2$ sur (M_4) et de $2\theta + \pi/2$ sur (M_6), θ étant égal à $\pi/4 - \text{Arctg } 1/3$.
- 30 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit de détection d'amplitude et de signe comprend :
- 35

- (a) un circuit de détection d'amplitude (21),
composé de deux éleveurs au carré (31) et (32) recevant respective-
ment les signaux $r(t)$ et $s(t)$, d'un additionneur (33), de deux compa-
rateurs (34) et (35) et d'une porte OU-exclusif (36), et en sortie
5 duquel est disponible la valeur de α ;
- (b) un circuit de détection de signe (22), compo-
sé d'un circuit (41, 42, 43) de soustraction des valeurs absolues
de $r(t)$ et $s(t)$, de trois comparateurs (44), (45) et (46) de comparai-
son à zéro, et de deux portes OU-exclusif (47) et (48), et en sortie
10 duquel est disponible la valeur de β ;
- et en ce que le circuit de commutation (12) transmet à la boucle (11)
($r(t)$, $s(t)$) si $\alpha = 0$, ($u(t)$, $v(t)$) si $\alpha = 1$ et $\beta = 0$, et ($p(t)$, $q(t)$)
si $\alpha = 1$ et $\beta = 1$.
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, carac-
15 térisé en ce que le circuit de traitement (51) est numérique.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2,
caractérisé en ce que le circuit de traitement (51) est analogique.
5. Système de réception de données numériques transmises
en modulation d'amplitude et de phase à seize états dite MAQ 16 carac-
20 térisé en ce qu'il comprend un dispositif de récupération de porteuse
selon l'une des revendications 1 à 4.

1/2

FIG. 1

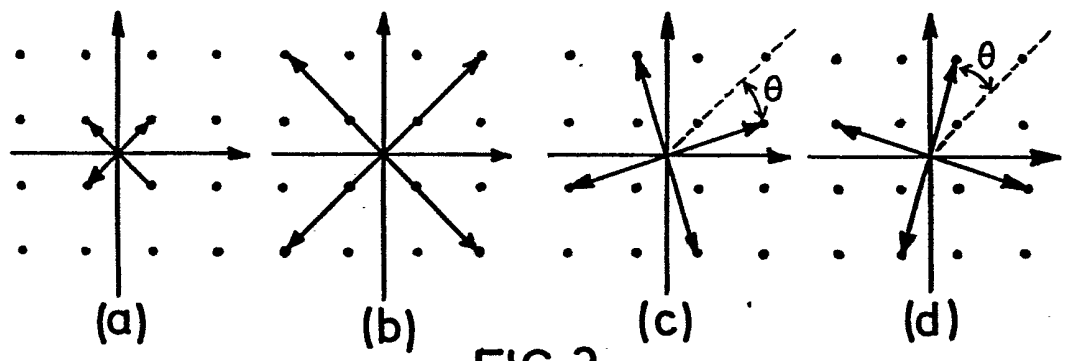
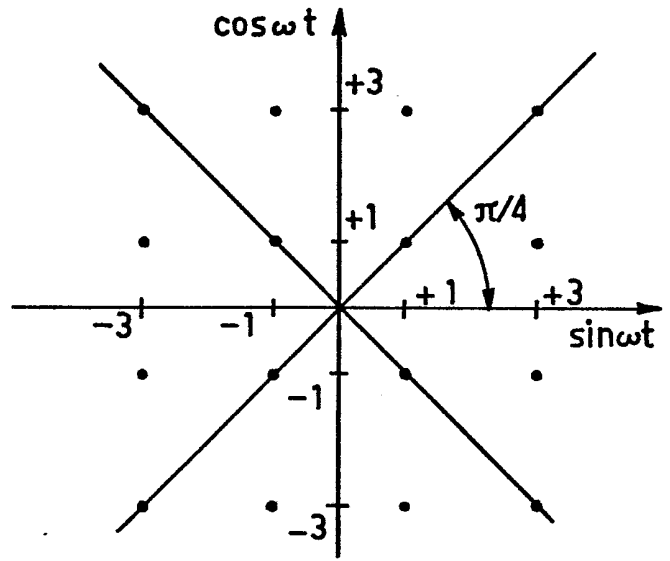


FIG. 2

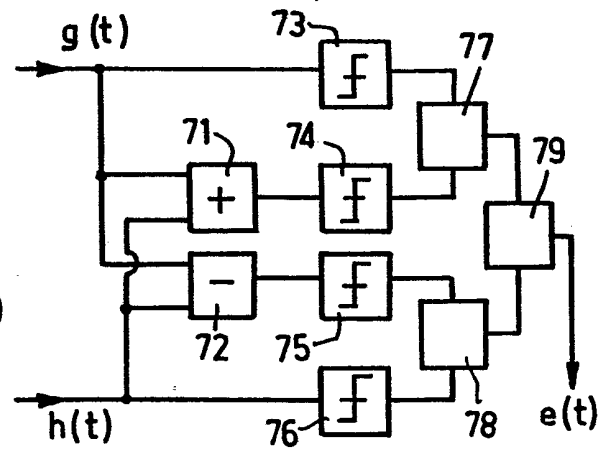
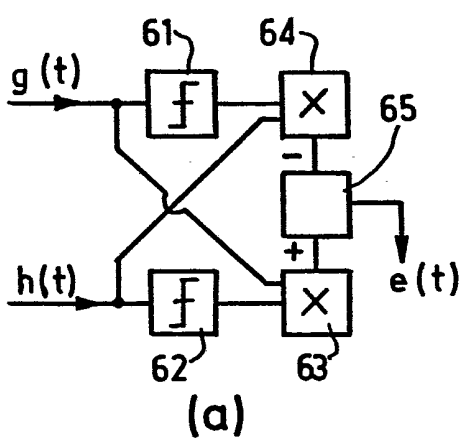


FIG. 4

(b)

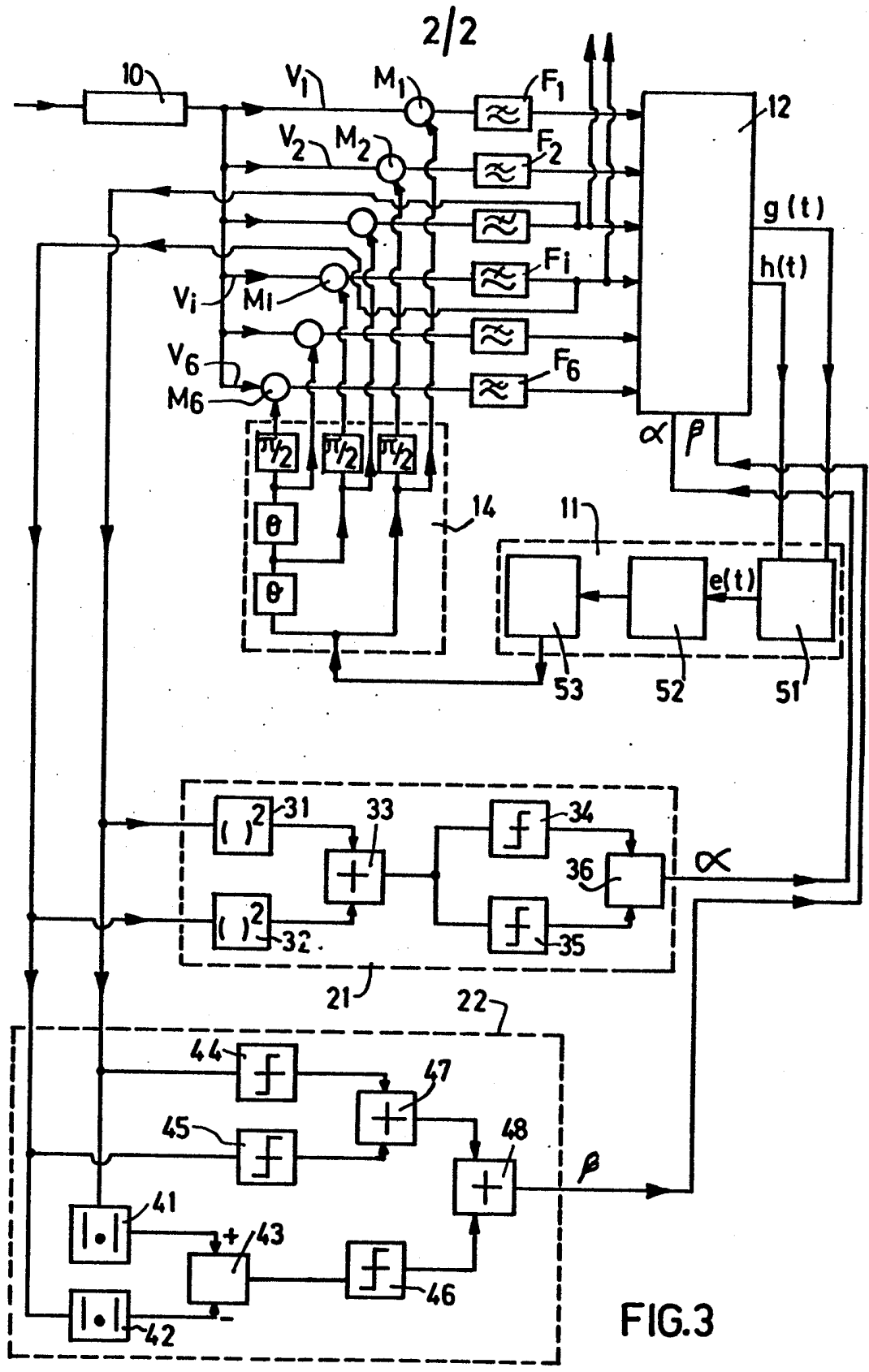


FIG.3