(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 614 155**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **87 05264**

(51) Int Cl⁴ : H 03 L 7/10.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 14 avril 1987.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 42 du 21 octobre 1988.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : THOMSON-CSF.* — FR.

(72) **Inventeur(s)** : Rémy Journeau, Thomson-CSF, SCPI.

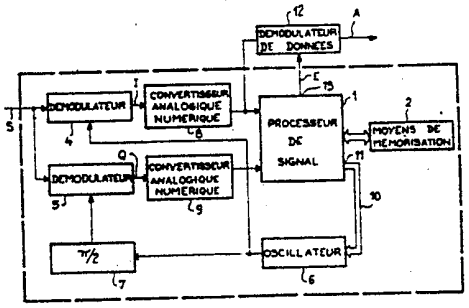
(73) **Titulaire(s)** :

(74) **Mandataire(s)** : Georges Lincot, Thomson-CSF, SCPI.

(54) Indicateur numérique d'accrochage d'une boucle à verrouillage de phase de type costas.

(57) L'indicateur numérique d'accrochage est couplé aux sorties des premier et deuxième démodulateurs 4, 5 d'une boucle de Costas pour commander la fréquence et la phase de l'oscillateur local 6 de la boucle. Il fournit un signal E d'indication d'accrochage lorsque l'énergie du signal 3 appliquée à l'entrée de la boucle 4 est supérieure à un seuil d'énergie déterminé par le niveau de bruit en sortie des démodulateurs.

Application : télécommunication par satellite.



FR 2 614 155 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

Indicateur numérique d'accrochage d'une boucle à verrouillage de phase de type Costas

La présente invention concerne un indicateur numérique d'accrochage d'une boucle à verrouillage de phase de type Costas. Elle s'applique notamment à la réalisation de récepteurs de télécommunication par satellite.

Les boucles à verrouillage de phase de type Costas comportent classiquement deux étages de démodulation. Le premier étage démodule un signal haute fréquence de la forme par exemple A x Cos(ω t + φ). Ce signal haute fréquence est mélangé dans le premier étage à un signal produit par un oscillateur local à commande ajustable. Dans le deuxième étage, le signal haute fréquence est démodulé par un signal déphasé de ¶/2rds par rapport au signal fourni par l'oscillateur. Un discriminateur de phase agit sur une entrée de commande de l'oscillateur pour rendre minimal l'écart de phase $\Delta\varphi$ entre la phase φ du signal appliqué à l'entrée de la boucle et la phase $\hat{\varphi}$ du signal de même fréquence fourni par l'oscillateur. L'écart de phase $\Delta\varphi$ produit à la sortie du premier démodulateur un signal de la forme I = Acos $\Delta\varphi$. La valeur du signal I tend vers la valeur A lorsque l'erreur de phase $\Delta\varphi$ tend vers 0 c'est-à-dire lorsque la boucle à verrouillage de phase est accrochée.

Pour adapter des boucles de Costas à la démodulation de signaux porteurs de données numériques la conception des discriminateurs doit tenir compte du fait que le terme A du signal change de signe au rythme des informations binaires. Bien qu'il existe des solutions analogiques à ce problème, il n'existe pas dans les réalisations connues de dispositifs indicateurs qui puissent signaler de façon certaine l'accrochage des boucles de Costas numériques de sorte que, l'instant à partir duquel la démodulation des données peut avoir lieu n'est jamais connu de façon précise. Il en résulte que les informations qui

sont reçues, en début de réception d'une trame numérique de message par exemple, peuvent être perdues.

Le but de l'invention est de pallier les inconvénients précités.

A cet effet, l'invention a pour objet, un indicateur numérique d'accrochage d'une boucle à verrouillage de phase de type Costas comprenant un premier et un deuxième démodulateur d'un signal d'entrée, les premier et deuxième démodulateurs étant excités respectivement par deux signaux en phase et en quadrature avec un signal fourni par un oscillateur local, caractérisé en ce que l'indicateur numérique d'accrochage est couplé aux sorties des premier et deuxième démodulateurs pour commander la fréquence et la phase de l'oscillateur local et fournit un signal d'indication d'accrochage lorsque l'énergie du signal obtenu en sortie du premier démodulateur est supérieure à un seuil d'énergie déterminé par le niveau de bruit en sortie de ce démodulateur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront ci-après à l'aide de la description faite en regard de la figure unique du dessin annexé qui représente un indicateur numérique d'accrochage selon l'invention inséré dans une boucle de Costas.

Sur cette figure l'indicateur numérique d'accrochage comporte un processeur de signal 1, du type par exemple de celui qui est fabriqué par la société Thomson semiconducteurs sous la référence TS 68930, couplé par ses ports d'entrée-sortie à des moyens de mémorisation 2. La boucle de Costas est représentée à l'intérieur d'un rectangle en pointillés 3. Elle comprend outre le processeur de signal 1 et les moyens de mémorisation 2, un premier démodulateur 4, un deuxième démodulateur 5, un oscillateur à commande numérique 6 et un circuit déphaseur 7 de ¶/2rds. Les sorties des démodulateurs 4 et 5 sont reliées au processeur de signal 1 au travers respectivement de deux convertisseurs analogiques numériques 8 et 9.

Les démodulateurs 4 et 5 peuvent être éventuellement constitués de façon connue par des circuits multiplieurs à deux entrées. Ils reçoivent chacun sur une entrée le signal S à démoduler. Le signal sortant de l'oscillateur 6 est appliqué sur la deuxième entrée du démodulateur 4 et d'autre part, sur la deuxième entrée du démodulateur 5 au travers du déphaseur 7.

La phase et la fréquence de l'oscillateur 6 sont commandées par le processeur de signal 1 au moyen d'un mot de commande binaire appliqué sur un bus de commande 10 reliant une sortie 11 du processeur de signal 1 à une entrée de commande en fréquence et en phase de l'oscillateur 6.

La sortie du démodulateur 4 est reliée d'autre part, à un démodulateur de données 12 commandé par un signal E fourni par une porte 13 du processeur de signal 1.

Le signal S qui est appliqué sur les premières entrées des démodulateurs 4 et 5 ressort suivant deux composantes I et Q qui sont appliquées sur les deux entrées respectives du processeur de signal 1 au travers des convertisseurs analogiques numériques 8 et 9.

Si $S = A_{(t)} \cos(\omega t + \varphi)$ où $A_{(t)} = \pm 1$ est l'expression du signal S appliqué aux entrées des démodulateurs 4 et 5 et si $B \times \cos(\omega t + \hat{\varphi})$ est l'expression du signal fourni par l'oscillateur 6, les signaux I et Q obtenus sont représentables par des relations de la forme

$I = A_{(t)} \cos \Delta\varphi$ + "bruit" $= I_s$ + "bruit 1"

$Q = A_{(t)} \sin \Delta\varphi$ + "bruit" $= Q_s$ + "bruit 2"

avec $\Delta\varphi = \varphi - \hat{\varphi}$; "bruit 1 et bruit 2" étant les bruits qui entachent les composantes utiles I_s et Q_s des composantes I et Q des signaux sortant des démodulateurs 4 et 5.

Pour s'affranchir des variations d'amplitude en ± 1 du signal $A_{(t)}$, le processeur 1 calcule une expression de la forme :

$$I^2 - Q^2 = A^2 \times \cos 2\Delta\varphi$$

où I^2 et Q^2 représentent les énergies des signaux I et Q. Lorsque l'accrochage de la boucle est réalisé, c'est-à-dire

lorsque $\Delta\varphi$ est voisin de 0, l'expression $I^2 - Q^2$ est voisine de A^2.

Cependant le calcul précédent qui permet de connaître l'énergie du signal en cours d'accrochage n'est valable que si l'on tient compte également de l'énergie cumulée du signal et de son bruit.

En désignant par n_I et n_Q les composantes de bruit accompagnant les signaux I_S et Q_S, le calcul précédent reste valable si ces bruits sont centrés et décorrélés, et en calculant l'expression :

$P_1 = (I_S + n_I)^2 - (Q_S + n_Q)^2$

on obtient l'énergie moyenne du signal S.

En effet :

$P_1 = I_S{}^2 - Q_S{}^2 + n_I{}^2 - N_Q{}^2 + 2n_I \times I_S - 2n_Q \times Q_S$

Comme il s'agit de bruit centré et décorrélé, les moyennes des composantes n_I et n_Q sont nulles et les moyennes des composantes $n_I{}^2$ et $n_Q{}^2$ s'annulent. Par conséquent P_1 correspond effectivement en moyenne à l'énergie du signal utile.

Pour tenir compte de l'énergie du bruit présent dans la bande de démodulation des démodulateurs 4 et 5 le processeur 1 calcule une expression de la forme :

$\overline{P_2}$ = moyenne de $\left[(I_S+n_I)^2+(Q_S+n_Q)^2\right]$

Le résultat obtenu est de la forme :

$\overline{P_2} = I_S{}^2 + Q_S{}^2 + 2b$

où b est égal à l'énergie des composantes de bruit $n_I{}^2$ et $n_Q{}^2$.

Lorsque l'accrochage est obtenu $I_S{}^2 + Q_S{}^2$ représente l'énergie S_u du signal utile et 2b représente une énergie B en bruit.

Enfin, l'énergie P_1 du signal utile est comparée à l'énergie P_2.

En appliquant à P_2 un coefficient de pondération K<1 et en faisant la différence des énergies P_1 et KP_2, le proces-

seur 1 calcule la différence d'énergie $\Delta E = \overline{P_1} - \overline{KP_2}$, ce qui donne :

$$\Delta E = A^2 \cos 2\ \Delta\varphi - K(S + B)$$

En considérant qu'à l'accrochage $A^2 = S_u$, ΔE peut être mis sous la forme :

$$\Delta E = S_u(\cos 2\Delta\varnothing - K(\frac{S_u - B}{S})) \text{ ou encore :}$$

$$\Delta E = S_u(\cos 2\Delta\varnothing - K_0) \text{ avec } K_0 = \frac{S_u + B}{S_u} \cdot K$$

L'accrochage est obtenu lorsque $\Delta E > 0$ c'est-à-dire lorsque $\cos 2\Delta\varphi > K_0$

Les opérations précédentes sont effectuées par le processeur 1 sur des échantillons des signaux binaires transmis par les convertisseurs analogiques numériques 8 et 9 à partir des composantes I et Q du signal. Pour effectuer ces traitements le processeur 1 calcule des moyennes sur ces échantillons. Si M est le nombre des échantillons par bit des signaux I ou Q et P est un nombre d'échantillons plus petit que M l'expression P_1 peut être mise sous la forme :

$$P_1 = \left(\sum_1^P I\right)^2 - \left(\sum_I^P Q\right)^2$$

et l'expression P_2 peut s'exprimer sous la forme :

$$P_2 = \sum_1^M (I^2 + Q^2)$$

et l'erreur résiduelle ΔE devient

$$\Delta E = \sum_1^L \left\{ \sum_1^{M/P} \left| \left(\sum_1^P I\right)^2 - \left(\sum_1^P Q\right)^2 \right| - K. \sum_1^M (I^2 + Q^2) \right\}$$

où L est le nombre de bits de données sur lequel porte le calcul de l'erreur ΔE résiduelle.

Dans ces conditions l'accrochage est déclaré lorsque

ΔE est plus grand que 0. Ce résultat se manifeste par l'apparition sur la sortie 11 du processeur de signal 1 d'un signal E et par la commande par ce signal du démodulateur de données 10 qui exécute alors la démodulation des données transportées par le signal I.

REVENDICATIONS

1. Indicateur numérique d'accrochage d'une boucle de phase de type Costas comprenant un premier démodulateur (4) et un deuxième démodulateur (5) d'un signal d'entrée, les premier et deuxième démodulateurs (4, 5) étant excités respectivement par deux signaux en phase et en quadrature avec un signal fourni par un oscillateur local (6), caractérisé en ce que l'indicateur numérique d'accrochage est couplé aux sorties des premier et deuxième démodulateurs (4, 5) pour commander la fréquence et la phase de l'oscillateur local (6) et fournit un signal (E) d'indication d'accrochage lorsque l'énergie du signal obtenu en sortie du premier démodulateur (4) est supérieure à un seuil d'énergie déterminé par le niveau de bruit en sortie de ce démodulateur.

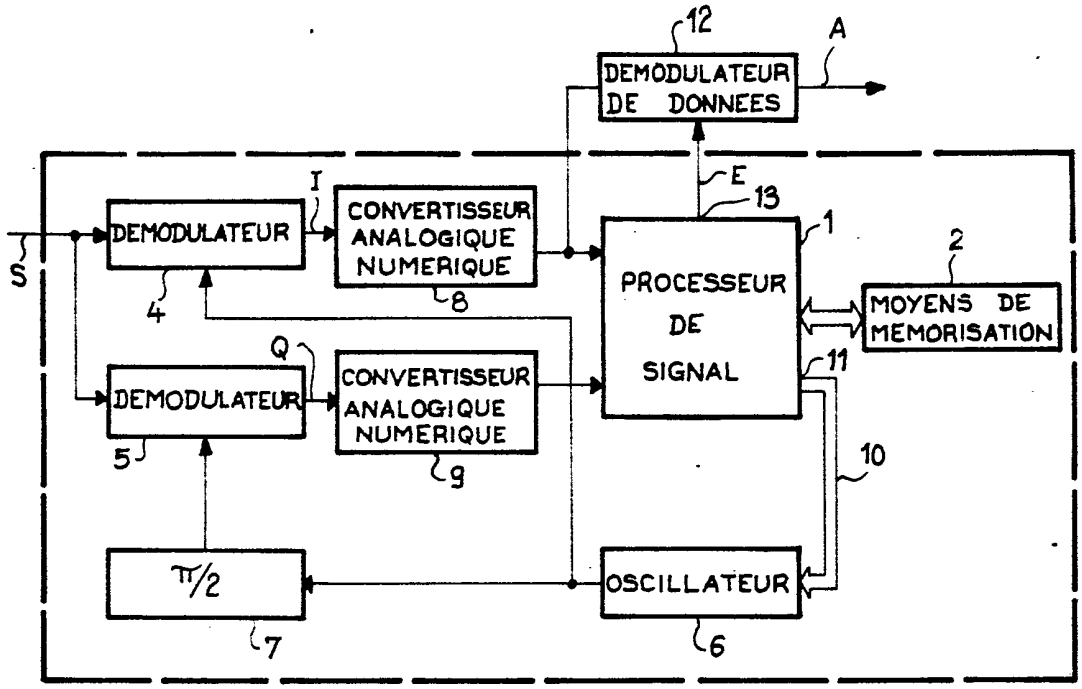
2. Indicateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'énergie du signal d'entrée est mesurée en effectuant la différence des énergies $P_1 = I^2 - Q^2$, des signaux I et Q obtenus en sortie des démodulateurs 4 et 5.

3. Indicateur selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le seuil d'énergie déterminé par le niveau de bruit en sortie des démodulateurs est obtenu en calculant la somme des énergies $P_2 = I^2 + Q^2$ des signaux obtenus en sortie des démodulateurs 4 et 5 en pondérant l'énergie P_2 par un coefficient $K<1$.

4. Indicateur selon l'une quelconque des revendications 1 et 3, caractérisé en ce qu'il comprend un processeur de signal (1) couplé aux sorties des modulateurs (4 et 5) au travers de convertisseurs analogiques numériques (8 et 9).

5. Indicateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les énergies P_1 et P_2 sont calculées à partir des valeurs moyennes des échantillons numériques des signaux I et Q fournis aux sorties des convertisseurs analogiques numériques.

6. Indicateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le signal E d'indication d'accrochage commande un démodulateur de données 12 couplé en sortie du premier démodulateur 4.


12
A
DEMODULATEUR DE DONNEES
E
13
1
2
I
DEMODULATEUR
CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE
PROCESSEUR DE SIGNAL
MOYENS DE MEMORISATION
S
4
8
Q
11
DEMODULATEUR
CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE
10
5
9
π/2
OSCILLATEUR
7
6