

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

② Date de dépôt : 13.04.01.

③③ **Priorité :** 14.04.00 DE 10018553.

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.12.01 Bulletin 01/52.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.

⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demendeur(s) : ROBERT BOSCH GMBH Gesellschaft
mit beschränkter Haftung — DE.

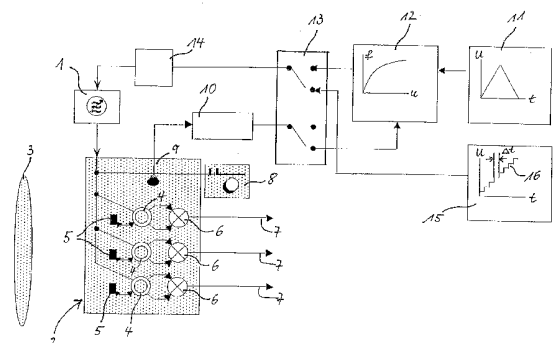
72 Inventeur(s) : WINTER KLAUS, WINNER HERMANN et LEINBAUM STEPHAN.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET HERRBURGER.

54 PROCÉDE DE DETECTION ET DE CORRECTION DES DEFAUTS DE LINEARITE D'UN SYSTEME RADAR HYPERFREQUENCE.

(57) Procédé, selon lequel, un oscillateur d'émission (1) génère un signal d'émission modulé en fréquence selon une fonction prédéterminée. A partir du mélange du signal d'émission avec un signal reçu, réfléchi par l'objet, on détermine la distance entre le radar et l'objet, et on examine des caractéristiques de linéarité du radar à l'aide d'un signal de référence. On utilise les résultats pour la correction. Dans des fenêtres de temps prédéterminées (Δt), au lieu d'une tension de commande produisant une modulation de fréquence, on applique une tension de commande de contrôle (16), constante prédéterminée sur l'oscillateur (1) et, pendant la fenêtre (Δt), on actualise la caractéristique tension/fréquence d'un composant (12) pour générer la caractéristique de fonction pour la modulation de fréquence en tenant compte du signal de référence. Pendant le fonctionnement du radar, en dehors de la fenêtre de temps (Δt), on utilise la caractéristique actualisée.



Etat de la technique

L'invention concerne un procédé de détection et de correction de défauts de linéarité dans un système radar hyperfréquence, selon lequel, avec un oscillateur d'émission, on génère un signal
5 d'émission modulé en fréquence selon une fonction prédéterminée, à partir du mélange du signal d'émission avec un signal reçu, réfléchi par l'objet, on détermine la distance entre le système radar hyperfréquence et l'objet, et on examine les caractéristiques de linéarité du système radar hyperfréquence à l'aide d'un signal de référence et on utilise les
10 résultats respectifs pour effectuer la correction.

On connaît par exemple selon le document DE 197 13 967 A1, un capteur radar hyperfréquence FMCW (FMCW : ondes continues modulées en fréquence) dans un système de mesure de distance dans l'environnement d'un véhicule automobile. Un tel capteur
15 radar comporte comme éléments essentiels, un oscillateur d'émission, un mélangeur et un système d'antenne pour émettre et recevoir les ondes radars réfléchies par un objet. Le signal émis est par exemple modulé en fréquence selon une fonction de rampe prédéterminée pour qu'en fonction du temps de parcours du signal réfléchi et ensuite reçu,
20 on dispose d'une fréquence modifiée entre temps par la rampe de modulation du signal d'émission ; cette différence des fréquences est alors une mesure directe de distance.

La linéarité de la fonction de rampe ou de la rampe de fréquence d'émission, évoquée ci-dessus a une importance capitale pour
25 la précision de la mesure, la netteté de la séparation et la sensibilité du radar hyperfréquence FMCW. Pour garantir la création de rampes de fréquence, linéaires pour la modulation, dans le dispositif connu, on a un oscillateur de référence dont le signal de sortie est mélangé au signal d'émission, en parallèle à la mesure de distance proprement dite, directement dans le capteur radar. A partir de la démodulation de ce si-
30 gnal, on obtient une grandeur de référence contenant un éventuel défaut de linéarité dans la branche d'émission du capteur radar et qui peut être prise en compte pour l'exploitation.

Dans les systèmes de radar hyperfréquence actuels, pour
35 avoir une linéarité suffisamment bonne de la rampe de fréquence, on

utilise éventuellement une régulation de fréquence (boucle de régulation FFL ou PLL) réalisée avec d'éventuels moyens de commutation supplémentaires en règle générale nécessaires. Ces moyens de régulation de fréquence et les composants correspondants de circuit doivent être vérifiés en permanence quant à leur aptitude à fonctionner, car un comportement défaillant du circuit de régulation de fréquence conduit à une modulation avec des rampes de fréquence non suffisamment linéaires.

Les dispositifs connus permettent ainsi certes une régulation de fréquence en temps réel sur la fréquence de modulation souhaitée avec une correction des non linéarités ; toutefois, il faut à cet effet mettre en oeuvre des circuits relativement importants.

Avantages de l'invention

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients cités des procédés connus, par un procédé du type défini ci-dessus, caractérisé en ce que dans des fenêtres de temps prédéterminées, au lieu d'une tension de commande produisant une modulation de fréquence, on branche une tension de commande de contrôle, constante prédéterminée sur l'oscillateur d'émission, pendant la fenêtre de temps, on actualise la caractéristique tension/fréquence d'un composant pour générer la caractéristique de fonction pour la modulation de fréquence en tenant compte du signal de référence, et pendant le fonctionnement du système radar hyperfréquence, en dehors de la fenêtre de temps, on utilise la caractéristique actualisée tension/fréquence pour la modulation de fréquence.

Ainsi dans des fenêtres de temps prédéterminées, au lieu d'une tension de commande produisant une modulation de fréquence prévue pour les cycles de mesure normaux, on fournit à l'oscillateur d'émission une tension de commande de contrôle constante prédéterminée, ou une série successive de telles tensions.

De manière simple, on peut alors, utiliser le signal de référence obtenu pour chaque tension de commande de contrôle constante, et qui doit correspondre à une valeur de la fréquence de l'oscillateur d'émission, pour corriger la caractéristique de la modulation de fréquence et ainsi compenser les défauts de linéarité.

En principe, l'invention est également caractérisée en ce qu'à l'aide d'une fonction de test, on mesure la caractéristique tension/fréquence de l'oscillateur d'émission qui travaille dans la plage des ondes millimétriques.

5 La commande de contrôle de l'oscillateur se fait par une tension de commande constante appliquée pendant la fenêtre de temps prédéterminée à l'oscillateur d'émission (VCO). La tension de contrôle est convertie dans l'oscillateur d'émission en une fréquence d'émission qui est mélangée à la fréquence d'un oscillateur de référence (DRO), par
10 exemple à sa sixième harmonique. La fréquence de mélange est alors proportionnelle à la fréquence d'émission de l'oscillateur, la fréquence de l'oscillateur de référence étant choisie pour que la fréquence mélangée se situe dans une plage inférieure à 1 GHz.

 Pour le type habituel de rampes comme fonctions de modulation pour l'oscillateur d'émission, à partir du résultat de la mesure,
15 on génère une fonction rampe corrigée de manière appropriée dans la plage de tensions et qui tient compte de la non linéarité de la caractéristique tension/fréquence de l'oscillateur d'émission et la compense. De telles non linéarités peuvent par exemple être produites par une
20 rampe de fréquence non linéaire en mode normal du fait d'un défaut du générateur de rampe ou d'un circuit de régulation (boucle PLL ou FLL), ainsi que par un défaut de fonctionnement d'un oscillateur de référence (DRO) ou d'une conversion défectueuse U/f par l'oscillateur d'émission (oscillateur GUNN).

25 Selon un mode de réalisation préférentiel, on exécute le procédé selon l'invention à l'aide d'une rampe de contrôle en escalier dont les différents niveaux forment la fenêtre de temps Δt avec des tensions de commande, d'amplitude chaque fois différente ; les niveaux ont chacun un échelon constant éventuellement prédéterminé. Sur chaque
30 niveau, on détermine alors la valeur effective de la fréquence de l'oscillateur d'émission.

 Ce contrôle de linéarité se fait pendant le fonctionnement du système de radar hyperfréquence de manière cyclique, par exemple une fois par seconde. Avantageusement, après un nombre prédéterminé
35 de cycles de mesure, de préférence après chaque dixième cycle de me-

sure et une fois lors de l'initialisation du radar hyperfréquence, on commute la rampe de contrôle en escalier sur l'oscillateur d'émission et on exploite alors la rampe de contrôle pour déterminer à partir des valeurs mesurées de la fréquence, la différence des échelons de fréquence par rapport aux échelons de la rampe de contrôle. Les différences d'échelons des niveaux voisins sont additionnées en amplitude et on compare la somme à un seuil d'erreur.

Pour que la mémoire nécessaire au calcul effectué ci-dessus soit aussi faible que possible, on forme un indicateur de linéarité (δ) que l'on obtient par le calcul successif des sommes des différences d'échelons. Pour cela, on augmente l'oscillateur d'émission de la fréquence la plus petite possible sur toute la plage de commande selon des pas d'amplitude constante ; dans le cas idéal, pour la fréquence intermédiaire, on obtient une courbe en escalier avec un échelon chaque fois constant. Dans l'étape suivante, on forme l'amplitude de la différence d'échelons $|\text{Ech}|$, du niveau (n) jusqu'au niveau ($n-1$), pour un nombre total de (k) niveaux ; ensuite, on additionne toutes les différences d'échelons. On obtient ainsi selon la relation suivante, l'indicateur de linéarité δ :

$$\delta = \sum_{n=1}^{k-1} |\Delta \text{Ech}_{n+1} - \Delta \text{Ech}_n| \quad (1),$$

$$\text{Ech}_n = f_{\text{niv}}(n) - f_{\text{niv}}(n-1) \quad (2)$$

La fréquence du signal de référence obtenu par le mélange peut être divisée par un diviseur de fréquence selon un mode de réalisation avantageux pour que dans la fenêtre de temps prédéterminée, elle puisse être mesurée avec une précision suffisante. On obtient ainsi une association directe entre la valeur appliquée de la tension de contrôle et la fréquence de l'oscillateur.

L'invention permet avantageusement, pendant la fenêtre de temps évoquée, d'actualiser la caractéristique tension/fréquence du composant pour générer la fonction utilisée pour la modulation en fréquence en tenant compte du signal de référence et pendant le fonctionnement du système radar hyperfréquence, on utilise en dehors de la

fenêtre de temps, la caractéristique tension/fréquence actualisée pour la modulation en fréquence de l'oscillateur d'émission. Ainsi, de manière simple, en modifiant la tension de commande de contrôle dans des fenêtres de tension successives, on peut déterminer l'ensemble de la caractéristique tension/fréquence ou l'actualiser si par exemple celle-ci a changé sous l'effet des influences de la température. Ensuite, on peut tenir compte de la caractéristique ainsi trouvée pour générer une rampe de modulation pour le tracé de la tension de commande en fonctionnement normal, pour émettre finalement une rampe de fréquence linéaire pour le radar hyperfréquence.

Globalement, le procédé selon l'invention permet une construction peu coûteuse d'un système radar hyperfréquence avec des composants de régulation de fréquence nécessaires car l'actualisation ou la correction de la caractéristique tension/fréquence sont intégrées comme ordres de commande dans un programme pour la génération de la rampe servant à la modulation de fréquence sans nécessiter la mise en oeuvre de circuits supplémentaires, importants. De plus, le procédé tel que proposé est très résistant vis-à-vis des variations des caractéristiques des composants de l'électronique de régulation et de plus elle peut s'adapter très facilement à de nouvelles conditions de fonctionnement.

Dessins

Un procédé selon l'invention pour la saisie et la correction des défauts de linéarité d'un système radar hyperfréquence sera décrit ci-après à l'aide d'un exemple de réalisation représenté dans les dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma par blocs des composants de circuits et de fonctions d'un système radar hyperfréquence avec une rampe de contrôle pour un contrôle de linéarité,
- la figure 2 montre une courbe en escalier de la rampe de contrôle pour commander un oscillateur d'émission dans le système radar hyperfréquence de la figure 1,
- la figure 3 montre une courbe en escalier mesurée pour les contrôles de linéarité, par rapport à la courbe en escalier exacte.

Description de l'exemple de réalisation

La figure 1 montre un schéma par blocs comprenant les éléments principaux de l'invention dans un système radar hyperfré-
quence FMCW. Un oscillateur d'émission commandé en tension 1 (os-
cillateur VCO-GUNN) travaille par exemple dans une plage de fréquence
5 de 76,5 GHz ; son signal de sortie est appliqué à un composant émet-
teur/récepteur 2. Ce composant émetteur/récepteur 2 précédé d'une
lentille 3 peut par exemple faire partie d'un capteur radar d'un véhicule
permettant de déterminer sa distance par rapport à un objet, par exem-
ple un véhicule qui précède.

Le signal d'émission est appliqué au composant émet-
teur/récepteur 2 par un composant de couplage 4 à trois antennes 5
pour la saisie latérale d'un objet ; le signal réfléchi, par l'objet, reçu, est
mêlé dans un mélangeur 6 au signal d'émission f_{GUNN} et le signal de
15 mélange est utilisé sur les sorties 7 de la manière déjà décrite dans le
préambule de la description pour mesurer l'intervalle. Il est en outre
prévu un oscillateur de référence 8 dont le signal de sortie est combiné
au signal d'émission f_{GUNN} pour donner un signal de fréquence intermé-
diaire f_{ZF} . On a en outre un composant mélangeur 9 dont le signal de
20 sortie passe par un diviseur de fréquence 10 pour générer le signal de
référence décrit ci-après. La combinaison des signaux du composant 2
se fait selon un procédé de couplage caractéristique en technique hy-
perfréquence.

En fonctionnement normal, un générateur de rampe 11
25 génère un signal de rampe linéaire $u(t)$; à partir de celui-ci, un compo-
sant 12 fournit une caractéristique tension/fréquence $f(u)$. A partir d'un
composant de régulation 13 qui réalise en général les ordres de com-
mande du programme en procédant par programme ; un pilote 14 peut
moduler l'oscillateur d'émission 1 commandé en tension avec une fré-
quence suivant la courbe caractéristique du composant 12.

Un générateur de tension de contrôle 15 génère dans la
fenêtre de temps prédéterminée Δt , une tension de commande de con-
trôle constante prédéterminée ; il s'agit ici d'une rampe de contrôle 16
commutée dans la fenêtre de temps Δt par le composant de régulation
35 13 sur l'oscillateur d'émission 1.

Le signal de contrôle fourni par le diviseur de fréquence 10 dans cette fenêtre de temps Δt et qui correspond à une certaine valeur de la fréquence de l'oscillateur d'émission 1, est alors appliqué à un composant de régulation 13 pour corriger la caractéristique tension/fréquence du composant 12. Pour la fonction de modulation de l'oscillateur d'émission 1, à partir des signaux de contrôle, on génère une rampe de tension corrigée, convenant pour la plage de tension ; cette rampe tient compte des défauts de linéarité dans le système radar hyperfréquence.

La figure 2 montre en s'appuyant sur la rampe de contrôle 16 du générateur d'essai 15, la fréquence idéale qui en résulte f_{GUNN} de l'oscillateur d'émission 1 passant de f_{min} à f_{max} suivant une tension de commande U_{DAC} , avec des niveaux S1 à S6 qui s'écartent l'un de l'autre par des échelons H1 à H6. On calcule un indicateur de linéarité δ selon la formule

$$\delta = \sum_{n=1}^{k-1} |\Delta \text{Ech}_{n+1} - \Delta \text{Ech}_n| \text{ avec}$$

$$\text{Ech}_n = f_{\text{niv}}(n) - f_{\text{niv}}(n-1)$$

et la somme de toutes des différences d'échelon est ensuite comparées à la valeur fixe maximale f_{max} .

En cas de dépassement de la valeur maximale f_{max} , cette situation est exploitée comme une détection positive de défauts et on effectuera alors une correction de la courbe caractéristique comme cela a été décrit à propos de la figure 1. Comme les excursions de fréquence H1-H6 ne peuvent éventuellement pas être déterminées de manière exacte dans une fenêtre de temps Δt , il convient de déterminer pour un nombre minimum d'états nécessaires de comptage de différence, par fréquence de niveau, si l'on est en présence d'une imprécision minimale correspondante pour le calcul de l'échelon et ainsi également pour le calcul de la somme de toutes les différences d'échelons. De plus, le nombre total de niveaux et la somme maximale des différences

d'échelons pour lesquelles on veut une réaction de défaut doivent être pris en compte.

A l'aide de circuits électroniques commandés par micro-
processeur, on peut déterminer la fréquence des niveaux à partir des
5 signaux mesurés. A l'aide d'une commande d'interruption (mode hor-
loge), on détermine le nombre de changements de niveau produits selon
une direction définie de la cadence du processeur (sens du haut vers le
bas ou du bas vers le haut) à l'intérieur d'une période du signal de réfé-
rence. De manière interne, un compteur sera incrémenté à chaque
10 changement de niveau et à l'aide d'une interruption, il est maintenant
possible pour chaque flanc positif (ou négatif) du signal de référence, de
lire l'état de comptage. Dans une cadence du processeur à 28,5 MHz, on
obtient un intervalle de temps Δt de l'ordre $\pm 70\text{ns}$. Pour minimiser le
défaut de calcul de la fréquence des niveaux, à la place d'effectuer le
15 calcul sur une période seulement, on peut le faire sur (n) périodes et
alors diviser l'état de comptage de différence par (n). Comme également
pour une mesure sur (n) périodes, on aura un défaut maximum de l'état
du compteur de différence de ± 1 , on obtient par la division consécutive,
un défaut maximum de $\pm 1/n$.

20 A la figure 3, la ligne en pointillés représente la courbe en
escalier, exacte 16 avec les niveaux S1-S5 et le trait continu représente
la courbe mesurée 17. Les différences positives et négatives $\Delta s1... \Delta s5$
sont également représentées ici à chacun des échelons entre les niveaux
S1 et S5. Pour surveiller la linéarité à l'aide de la somme des différences
25 d'excursions, l'erreur systématique sera maximale si les échelons cal-
culés présentent un défaut maximum positif ou maximum négatif. On
arrive à cela si le défaut lors d'un calcul de fréquence de niveau est al-
ternativement positif et négatif au maximum comme cela apparaît à la
figure 3. Pour l'indicateur de linéarité δ , on obtient ainsi une erreur
30 systématique dans le cas le plus défavorable :

$$\delta = (\Delta s1 + 2 * \Delta s2 + \Delta s3) + (\Delta s2 + 2 * \Delta s3 + \Delta s4) + (\Delta s3 + 2 * \Delta s4 + \Delta s5) + \dots (3)$$

ou

$$35 \quad \delta = \sum_{n=2}^{k-1} (\Delta s_{n-1} + 2 * \Delta s_{n+1}) \quad (4)$$

$$\delta = \Delta s_1 + 3 * \Delta s_2 + 4 * \sum_{n=3}^{k-2} \Delta s_n + 3 * \Delta s_{k-1} + \Delta s_k \quad (5)$$

En tenant compte des valeurs des fréquences pour des
5 différences d'échelons $\Delta s_1 \dots \Delta s_5$, il est alors possible par une simple
transformation de cette équation, de déterminer pour un nombre maxi-
mum d'erreurs systématiques, le nombre nécessaire (n) de niveaux. On
obtient par exemple pour une fréquence de rampe inférieure d'environ
400 MHz et un échelon global d'environ 200 MHz et globalement 10 ni-
10 veaux, pour une erreur systématique maximale de 1 MHz, un nombre
minimum nécessaire (n) égal à 36.

REVENDICATIONS

- 1°) Procédé de détection et de correction de défauts de linéarité dans un système radar hyperfréquence, selon lequel, avec un oscillateur d'émission (1), on génère un signal d'émission modulé en fréquence selon une fonction prédéterminée,
- 5 à partir du mélange du signal d'émission avec un signal reçu, réfléchi par l'objet, on détermine la distance entre le système radar hyperfréquence et l'objet, et
- 10 on examine les caractéristiques de linéarité du système radar hyperfréquence à l'aide d'un signal de référence et on utilise les résultats respectifs pour effectuer la correction,
- caractérisé en ce que
- dans des fenêtres de temps prédéterminées (Δt), au lieu d'une tension de commande produisant une modulation de fréquence, on branche
- 15 une tension de commande de contrôle (16), constante prédéterminée sur l'oscillateur d'émission (1),
- pendant la fenêtre de temps (Δt), on actualise la caractéristique tension/fréquence d'un composant (12) pour générer la caractéristique de fonction pour la modulation de fréquence en tenant compte du signal de
- 20 référence, et
- pendant le fonctionnement du système radar hyperfréquence, en dehors de la fenêtre de temps (Δt), on utilise la caractéristique actualisée tension/fréquence pour la modulation de fréquence.
- 25 2°) Procédé selon la revendication 1,
- caractérisé en ce qu'
- on utilise une rampe de contrôle en forme d'escalier (16) dont les différents niveaux (S1 à S6) forment la fenêtre de temps (Δt) avec des tensions de commande de contrôle, d'amplitude chaque fois différente et
- 30 dont les niveaux (S1-S6) ont chaque fois un échelon prédéterminé (H1 à H6) et pour chacune des marches (S1 à S6), on détermine un signal de contrôle pour générer une valeur de fréquence correspondante (f_{GUNN}) de l'oscillateur d'émission (1).
- 35 3°) Procédé selon la revendication 2,

caractérisé en ce qu'
on additionne en amplitude les différences d'échelons ($\Delta s1$ à $\Delta s5$) de niveaux voisins ($S1 - S5$) et on compare le somme à un seuil d'erreur (f_{max}).

5

4°) Procédé selon la revendication 3,
caractérisé en ce qu'
on détermine un indicateur de linéarité (δ) par le calcul successif des sommes des différences d'échelons ($\Delta s1$ à $\Delta s5$).

10

5°) Procédé selon l'une des revendications 3 à 4,
caractérisé en ce qu'
on détermine les différences d'échelons par l'exploitation des états de comptage d'un circuit commandé par un microprocesseur, et pour atteindre une précision minimale, on fixe pour chaque fréquence de niveau un nombre minimum d'états nécessaires de comptage de différences.

15

6°) Procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce qu'
on détermine la fréquence de niveau à partir du nombre total des niveaux et de la somme maximale des différences d'échelons pour lesquelles une réaction d'erreur doit se produire.

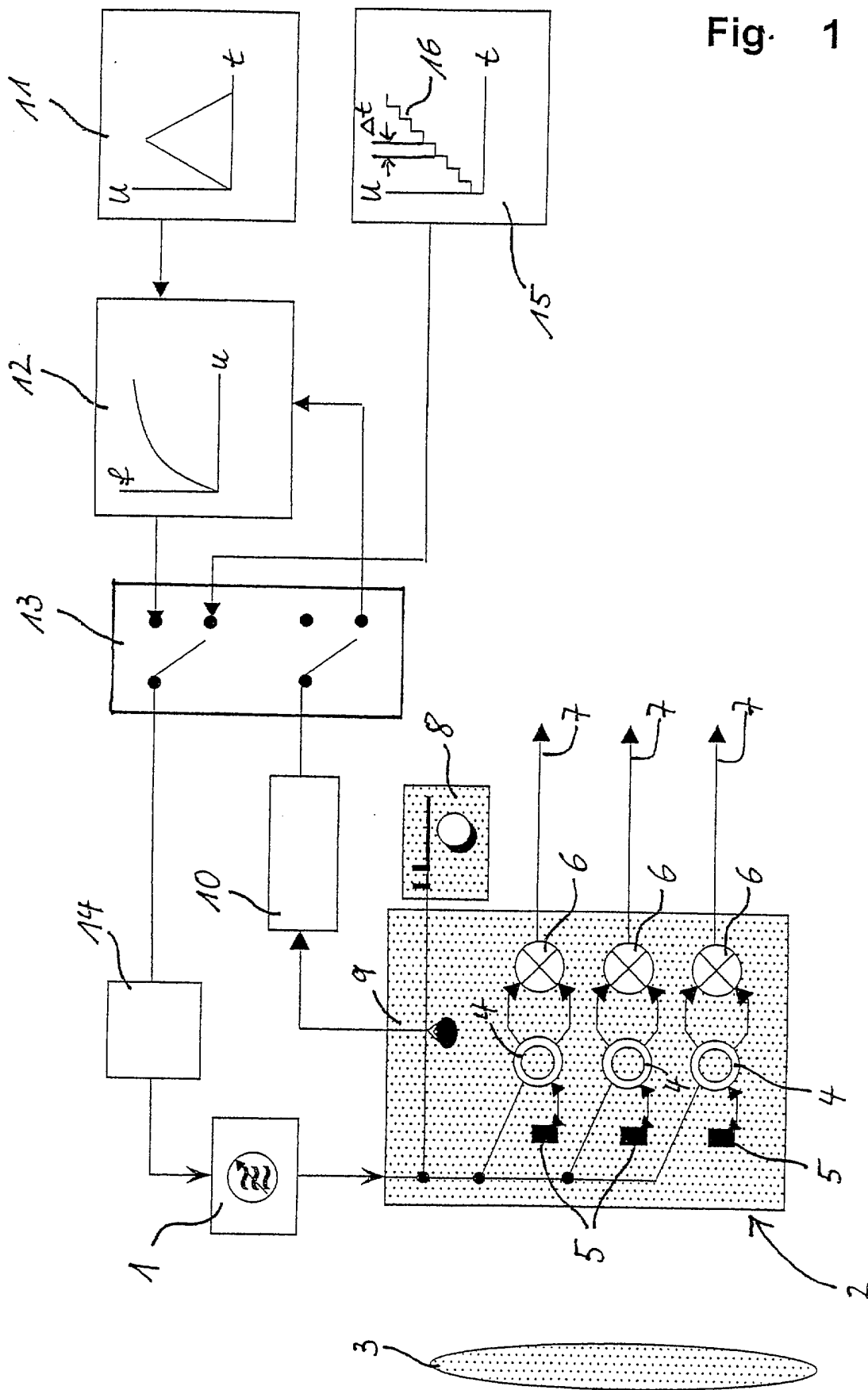
20

7°) Procédé selon la revendication 6,
caractérisé en ce que
pour calculer la fréquence de niveau on mesure sur un nombre (n) de périodes et on divise l'état de comptage de différences ainsi mesuré par le nombre (n).

25

30

Fig. 1



2/2

Fig. 2

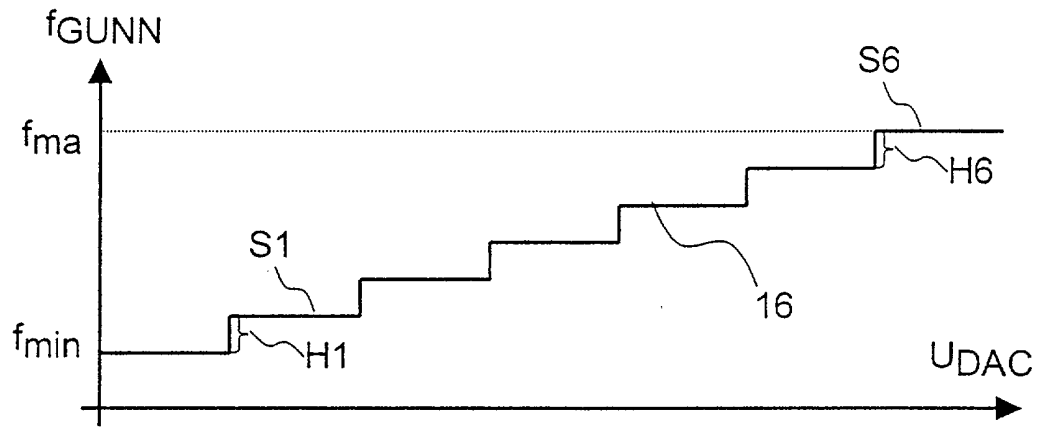


Fig. 3

