

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication : **2 896 308**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **07 52575**

51) Int Cl<sup>8</sup> : G 01 B 9/02 (2006.01), G 01 J 9/02

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 09.01.07.

30) Priorité : 13.01.06 DE 102006001731.5.

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.07.07 Bulletin 07/29.

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.*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

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

72) Inventeur(s) : FRANZ STEFAN et FLEISCHER MATTHIAS.

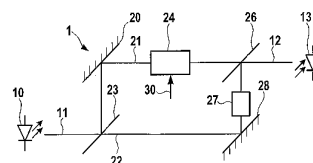
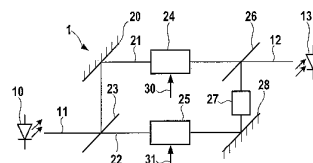
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET HERRBURGER.

54) INTERFEROMETRE HETERODYNE.

57) Interféromètre hétérodyne (1) comportant deux bras d'interféromètre (21, 22) et un modulateur optique (24) pour modifier la fréquence du faisceau passant par l'un des bras (21) de l'interféromètre ainsi qu'un dispositif de commande pour régler la variation de fréquence du faisceau et une installation de détection (23) pour exploiter le faisceau sortant (12) interféré.

Un faisceau d'entrée (11) conduit dans l'interféromètre hétérodyne (1) est modulé avant sa répartition entre les bras (21, 22) de l'interféromètre en amplitude par une fréquence différente de la variation de fréquence du faisceau dans le modulateur optique (24).



FR 2 896 308 - A1



### **Domaine de l'invention**

La présente invention concerne un interféromètre hétéro-  
dyne comportant deux bras d'interféromètre et un modulateur optique  
pour modifier la fréquence du faisceau passant par l'un des bras de  
l'interféromètre ainsi qu'un dispositif de commande pour régler la va-  
5 riation de fréquence du faisceau et une installation de détection pour  
exploiter le faisceau sortant interféré.

### **Etat de la technique**

Les interféromètres hétérodynes combinent des compo-  
10 santes de rayonnement cohérentes à une fréquence légèrement diffé-  
rente. Au niveau de l'installation de détecteur, on obtient ainsi un  
signal à la fréquence de la différence des deux composantes de rayon-  
nement encore appelées fréquences hétérodynes. L'information par  
exemple sous la forme ou la rugosité des surfaces est contenue dans la  
15 phase de la fréquence détectée.

Les composantes cohérentes de faisceau s'obtiennent en  
utilisant une source lumineuse commune dont on divise le faisceau par  
exemple à l'aide d'un diviseur de faisceau pour obtenir deux faisceaux  
partiels. Pour obtenir des fréquences de rayonnement différentes dans  
20 les deux faisceaux partiels, il est connu de modifier la fréquence d'au  
moins un faisceau partiel par des modulateurs acousto optiques. A  
l'aide d'un modulateur acousto optique en fonction de la fréquence de  
commande choisie, on produit un décalage de fréquence de l'ordre de  
quelques 10 MHz et de manière caractéristique de l'ordre de 35 MHz.  
25 S'il est prévu maintenant un modulateur acousto optique pour un fais-  
ceau partiel, la fréquence de commande de l'installation de détection  
correspond à la fréquence hétéro reçue. Un premier inconvénient de  
cette réalisation est que les mêmes fréquences de la commande électri-  
que du modulateur acousto optique et l'exploitation dans l'installation  
30 de détection ne permettent pratiquement pas d'éviter de perturber le  
signal utile dans le détecteur par le signal de commande du modula-  
teur. Un autre inconvénient réside dans la fréquence d'exploitation éle-  
vée. Pour de telles fréquences élevées il faut mettre en œuvre des  
moyens relativement importants pour éviter la diaphonie, le bruit et les  
35 réflexions.

Il est ainsi avantageux pour les deux faisceaux partiels d'avoir pour chaque modulateur acousto optique, une fréquence de commande différente. La fréquence hétérodyne est donnée par la différence des fréquences de commande et elle peut être pratiquée de manière appropriée. Comme la fréquence d'exploitation d'installation de détecteur est différente de la fréquence de commande des modulateurs acousto optiques, ce qui permet d'éviter dans une très large mesure la perturbation des signaux du détecteur, en même on obtient une fréquence hétérodyne relativement faible en général de l'ordre de grandeur de quelques 100 kHz ce qui permet d'exploiter simplement la différence de phase pour calculer la géométrie de la surface à mesurer. L'inconvénient de cette construction est de nécessiter deux modulateurs acousto optique ce qui augmente le coût.

Les interféromètres hétérodynes peuvent par exemple être de type Mach-Zehnder ou de type Michelson. Le montage Mach-Zehnder a l'avantage que le ou les modulateurs acousto optiques ne sont parcourus qu'une seule fois par un faisceau partiel. Dans le cas de l'interféromètre Michelson, le faisceau partiel respectif traverse deux fois le modulateur acousto optique. On influence le faisceau partiel par le modulateur acousto optique qui est alors d'autant plus difficile à manipuler.

La présente invention a pour but de développer un interféromètre hétérodyne permettant une exploitation sans perturbation des signaux d'interférence pour une même réalisation économique.

#### **Avantages de l'invention**

Le problème de l'invention est résolu en ce qu'un faisceau d'entrée dans l'interféromètre hétérodyne doit être modulé avant sa division entre les bras de l'interféromètre avec un faisceau dépendant de la fréquence selon différentes fréquences dans le modulateur optique. La fréquence hétérodyne résulte de la combinaison de la fréquence de commande pour la modulation de fréquence d'un modulateur optique et la fréquence de modulation d'amplitude du signal d'entrée. On peut la choisir pour qu'elle soit différente de la fréquence de commande de la modulation en fréquence ou en amplitude. On évite ainsi des perturbations de l'exploitation par diaphonie entre les signaux de commande

dans l'installation de détection. On a néanmoins les mêmes avantages que dans une réalisation à deux modulateurs optiques dans les deux bras de l'interféromètre avec toutefois seulement un modulateur optique ce qui se traduit par une économie importante pour la fabrication de l'interféromètre hétérodyne.

Selon un mode de réalisation préférentiel de l'invention, l'amplitude du faisceau d'entrée est sinusoïdal ou en forme d'impulsion rectangulaire par modulation. Le contraste d'interférence, précis dépend de la forme choisie pour la modulation d'amplitude. Grâce à une modulation sous la forme d'impulsions rectangulaires étroites, on peut augmenter le contrat d'interférence jusqu'à un facteur 2. Cela permet de compenser la perte d'intensité du signal de mesure qui s'observe tout d'abord par comparaison avec une construction à deux modulateurs acousto optiques pour compenser.

La modulation de l'amplitude du faisceau d'entrée permet ainsi de prévoir un dispositif de hachage ou une source de tension modulable en intensité. La fréquence de la modulation à l'amplitude peut être prédéfinie par la vitesse de rotation du dispositif hacheur et par la fréquence de la commande du faisceau de rayonnement. L'utilisation d'un hacheur a l'avantage que la source de rayonnement est constante pour un rayonnement constant correspondant pour la caractéristique et on peut utiliser des sources de faisceau dont on ne peut pas moduler directement l'intensité. La modulation d'intensité de la source de rayonnement elle-même se fait sans composant mobile et ainsi fragile et nécessitant beaucoup d'entretien. On utilise en particulier des sources de rayonnement constituées par des diodes laser ou des composants SLED. L'entrée de modulation existe fréquemment ou elle peut être installée ultérieurement de façon économique.

Une fréquence hétérodyne que l'on peut bien séparer des perturbation par diaphonie des signaux de commande de modulation d'amplitude et de modulation en fréquence s'obtient en réalisant l'installation de détection pour mesurer à une fréquence hétérodyne en fonction de la somme ou de la différence entre la variation de fréquence du faisceau dans le modulateur optique et la fréquence de modulation de l'amplitude du faisceau d'entrée. La mesure d'une fréquence hétéro-

dyne formée par la somme des fréquences nécessite une détection en bande étroite par l'installation de détection. La mesure de la fréquence de différence est en principe plus simple car pour de telles fréquences basses, l'exploitation électronique de la différence de phase est possible  
5 d'une manière plus simple. Les deux fréquences hétérodynes sont toutefois suffisamment éloignées des deux fréquences de commande du modulateur optique et de la modulation en amplitude du faisceau d'entrée.

Selon un autre développement de l'invention, la fréquence hétérodyne est formée à partir de la variation de fréquence du  
10 faisceau dans le modulateur optique, de la fréquence de modulation de l'amplitude du faisceau d'entrée et d'un mélange électronique dans l'installation de détecteur. La fréquence de la modulation d'amplitude et la fréquence du mélange électronique dans l'installation de détection  
15 forment l'équivalent de la fréquence décrite ci-dessus pour la modulation d'amplitude pour un interféromètre hétérodyne selon l'invention sans le mélange électronique dans l'installation de détection. La fréquence hétérodyne résulte de la différence entre la variation de fréquence dans le modulateur optique et de la somme des fréquences de la  
20 modulation en amplitude et de la fréquence d'addition dans l'installation de détection. On obtient une variation de fréquence simple, facile à régler par une commande correspondante pour le faisceau grâce à un modulateur optique comme modulateur acousto optique.

On obtient une construction de mesure précise si  
25 l'interféromètre hétérodyne est de type Mach-Zehnder ou de type Michelson. L'interféromètre Mach-Zehnder offre l'avantage par rapport à l'interféromètre Michelson que le modulateur optique ne sera traversé qu'une fois par le faisceau partiel correspondant. Dans le cas de l'interféromètre Michelson, le faisceau partiel traverse deux fois le  
30 modulateur optique si bien qu'il est plus difficile d'influencer le faisceau partiel.

### **Dessins**

La présente invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide d'exemples de réalisation représentés dans les  
35 dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un interféromètre hétérodyne à deux modulateurs acousto optiques selon l'état de la technique ;
- la figure 2 est une vue schématique d'un interféromètre hétérodyne avec un modulateur acousto optique selon l'état de la technique ;
- 5 - la figure 3 montre un interféromètre hétérodyne selon l'invention avec une source lumineuse modulée en intensité.

### **Description des modes de réalisation**

La figure 1 montre schématiquement un interféromètre hétérodyne 1 à deux modulateurs acousto optiques 24, 25 selon l'état de la technique correspondants à des interféromètres Mach-Zehnder. Une source de rayonnement 10 fournit un faisceau incident 11 à un diviseur de faisceau 23. Le diviseur de faisceau 23 divise le faisceau incident 11 en deux faisceaux partiels appliqués à deux bras d'interféromètre 21, 22. L'un des bras 21 de l'interféromètre conduit le faisceau partiel sur un miroir de renvoi 20 d'un modulateur acousto optique 24 et de là à un autre diviseur de faisceau 26. Dans le second bras d'interféromètre 22, le faisceau partiel est appliqué par le diviseur de faisceau 23 au modulateur acousto optique 25 et de là par l'intermédiaire d'un miroir de renvoi 28 au diviseur de faisceau 26. Le diviseur de faisceau 26 combine les faisceaux partiels des deux bras d'interféromètre 21, 22. Dans l'unité représentée schématiquement comme déphasage 27 entre le miroir de renvoi 28 et le diviseur de faisceau 26, le faisceau partiel du bras 22 de l'interféromètre subit un déphasage  $\Delta\varphi$  dépendant du signal de trajet. Le diviseur de faisceau 26 fournit le faisceau de sortie avec interférence 12 à une installation de détection 13.

Les modulateurs acousto optiques 24, 25 sont commandés par des signaux de commande 30, 31. Le modulateur acousto optique 24 produit un décalage de fréquence  $f_1$  du faisceau partiel passant par le bras 21 de l'interféromètre en fonction de la fréquence de commande  $f_1$  du signal de commande 30. Le second modulateur acousto optique 25 produit un déphasage en fréquence  $f_2$  du faisceau partiel du bras d'interféromètre 22 en fonction de la fréquence de commande  $f_2$  du signal de commande 31. Les fréquences de commande  $f_1$  et  $f_2$  définissent la fréquence hétérodyne du faisceau de sortie avec interférence 12.

L'évolution chronologique de l'intensité  $I$  du faisceau détecté dans l'installation de détection 13 correspond à l'équation suivante :

$$I = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos (2\pi (f_1 - f_2) t - \Delta\phi)$$

5

Dans cette équation,  $U_1$  et  $U_2$  correspondent à l'amplitude de chacun des deux faisceaux partiels ;  $t$  représente le temps. L'intensité du faisceau correspond ainsi à un signal de fréquence  $f_1 - f_2$  et un déphasage  $\Delta\phi$  qui se détecte par voie électronique. La fréquence hétérodyne  $f_1 - f_2$  se distingue significativement des fréquences de commande  $f_1, f_2$  des modulateurs acousto optiques 24, 25 permettant une exploitation sans perturbation dans l'installation de détection 13.

La figure 2 montre schématiquement un interféromètre hétérodyne 1 comportant un unique modulateur acousto optique 24 selon l'état de la technique de type Mach-Zehnder. La construction correspond pour l'essentiel à la construction décrite à propos de la figure 1 avec les composants dont les fonctions ont déjà été décrites. Contrairement à l'exemple de réalisation de la figure 1, le bras 22 de l'interféromètre ne comporte pas de modulateur acousto optique de sorte que le faisceau partiel passant par le bras 22 de l'interféromètre ne subit pas de décalage en fréquence. L'évolution chronologique de l'intensité  $I$  du faisceau détecté dans l'installation de détection 13 se décrit par l'équation suivante :

25

$$I = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos (2\pi f_1 t - \Delta\phi)$$

La fréquence hétérodyne dans l'installation de détection 13 correspond ainsi à la fréquence  $f_1$  du signal de commande 30 appliqué au modulateur acousto optique 24. L'exploitation dans l'installation de détection 13 doit se faire à la fréquence de commande  $f_1$  du modulateur acousto optique 24 si bien qu'en conséquence on a des perturbations résultant de la diaphonie des signaux électriques, perturbations difficiles à traiter.

30

La figure 3 montre un interféromètre hétérodyne 1 selon l'invention comportant une source lumineuse 10 modulée en intensité également de type Mach-Zehnder. La construction correspond pour l'essentiel à celle représentée à la figure 2. A la différence du mode de réalisation de la figure 2, la source de rayonnement ou du faisceau 10 reçoit un signal de commande 32 qui module l'intensité de la source 10 en fonction d'une fréquence  $f_2$ . Cela se traduit par une évolution chronologique de l'intensité du faisceau atteignant l'installation de détection 13 selon l'équation suivante :

$$I = (U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos (2\pi f_1 t - \Delta\varphi)) (0,5 + 0,5 \cos (2\pi f_2 t))$$

Il en résulte :

$$I = 0,5U_1^2 + 0,5U_2^2 + U_1U_2 \cos (2\pi f_1 t - \Delta\varphi) + 0,5(U_1^2 + U_2^2) \cos(2\pi f_2 t) + 0,5U_1U_2 \cos (2\pi (f_1 + f_2) t - \Delta\varphi) + 0,5U_1U_2 \cos (2\pi (f_1 - f_2) t - \Delta\varphi)$$

L'installation de détection 13 est conçue pour exploiter les signaux basse fréquence de sorte que les composantes haute fréquence  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_1 + f_2$  n'atteignent pas le moyen d'exploitation. L'exploitation tient ainsi compte de l'évolution de l'intensité selon la formule suivante :

$$I = 0,5U_1^2 + 0,5U_2^2 + 0,5U_1U_2 \cos (2\pi (f_1 - f_2) t - \Delta\varphi)$$

Dans cette formule on tient compte de la fréquence hétérodyne  $f_1 - f_2$  ce qui vu dans le temps correspond à la courbe d'intensité du montage représenté à la figure 1 à deux modulateurs acousto optiques. L'intensité moindre du faisceau sortant 11 par rapport à la réalisation à deux modulateurs acousto optiques peut être compensée par un choix approprié du signal de commande 32. Cela permet d'augmenter le contraste de l'interférence d'un coefficient 2 si le signal de commande 32 est constitué par d'étroites impulsions rectangulaires.

Si l'installation de détection 13 est conçue pour l'exploitation de la fréquence  $f_1 + f_2$  on peut exploiter en variante l'évolution de l'intensité donnée par la formule suivante :

5 
$$I = 0,5U_1^2 + 0,5U_2^2 + 0,5U_1U_2 \cos (2\pi (f_1 + f_2) t - \Delta\varphi)$$

La fréquence  $f_1 + f_2$  est également éloignée des fréquences de commande  $f_1$  et  $f_2$  ce qui évite toute diaphonie entre les fréquences de commande et le signal de mesure. La condition pour une exploitation à la fréquence  $f_1 + f_2$  est que l'installation de détection 13 soit à bandes étroites.

Selon un autre mode de réalisation, on peut mélanger électroniquement une partie de la fréquence  $f_2$  dans l'installation de détection 13. L'intensité de la source de rayonnement 12 est modulée en fonction de la fréquence qui correspond par exemple à 90 % de la fréquence  $f_2$ . Les 10 % restant de la fréquence  $f_2$  sont ajoutés dans l'installation de détection 13.

### REVEN DICATIONS

- 1°) Interféromètre hétérodyne (1) comportant deux bras d'interféromètre (21, 22) et un modulateur optique (24) pour modifier la fréquence du faisceau passant par l'un des bras (21) de l'interféromètre ainsi qu'un  
5 dispositif de commande pour régler la variation de fréquence du faisceau et une installation de détection (23) pour exploiter le faisceau sortant (12) interféré, caractérisé en ce qu'un faisceau d'entrée (11) conduit dans l'interféromètre hétérodyne (1)  
10 est modulé avant sa répartition entre les bras (21, 22) de l'interféromètre en amplitude par une fréquence différente de la variation de fréquence du faisceau dans le modulateur optique (24).
- 2°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1,  
15 caractérisé en ce que l'amplitude du faisceau d'entrée (1) est modulée de forme sinusoïdale ou sous forme d'impulsions rectangulaires.
- 3°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1 ou 2,  
20 caractérisé en ce que la modulation de l'amplitude du faisceau d'entrée (1) est assurée par un dispositif hacheur ou une source de faisceaux (10) modulée en intensité.
- 4°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1,  
25 caractérisé en ce que l'installation de détecteur (13) est réalisée pour mesurer à une fréquence hétérodyne correspondant, la somme ou la différence de la variation de fréquence du faisceau dans le modulateur optique (24) et la  
30 fréquence de modulation de l'amplitude du faisceau d'entrée (11).
- 5°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que  
la fréquence hétérodyne est formée à partir de la variation de fréquence  
35 du faisceau dans le modulateur optique (24), la fréquence de modula-

tion de l'amplitude du faisceau incident (11) et le mélange électronique dans l'installation de détection (13).

5 6°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le modulateur optique (24) est un modulateur acousto optique.

10 7°) Interféromètre hétérodyne (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'interféromètre hétérodyne (1) est de type Mach-Zehnder ou Michelson.

Fig. 1

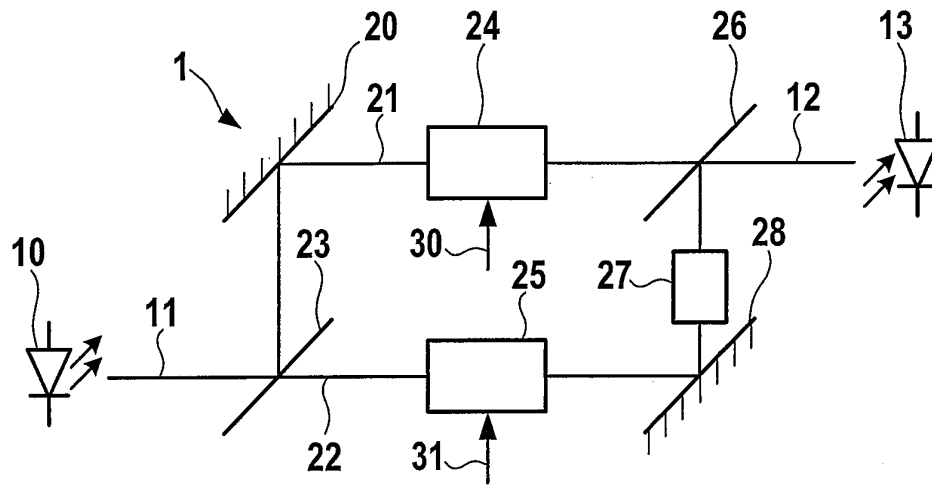


Fig. 2

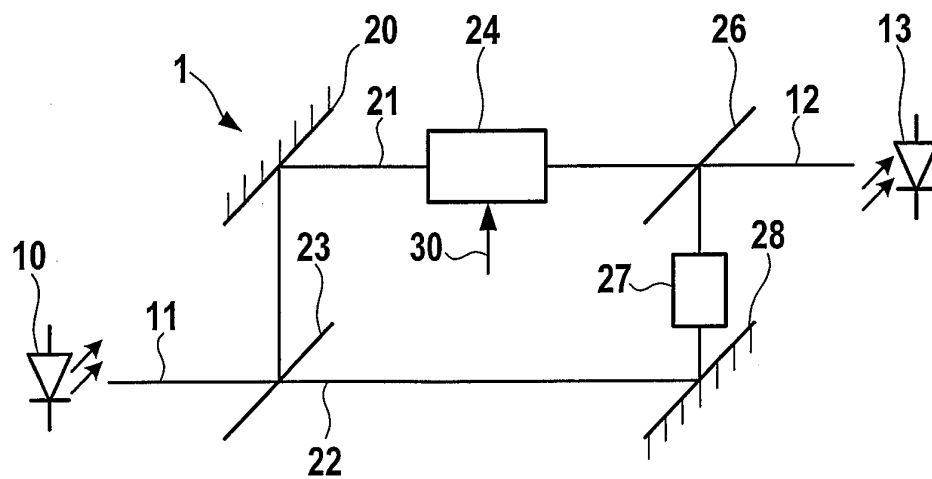


Fig. 3

