

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②①

**N° 80 02225**

⑤④ Dispositif de détection d'ondes électromagnétiques, typiquement lumineuses, en quadrature de phase avec balance hétérodyne. Application aux vélocimètres Doppler et gyromètres Sagnac.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). G 01 J 9/04; G 01 C 19/58; G 01 P 3/36.

②② Date de dépôt..... 1<sup>er</sup> février 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 32 du 7-8-1981.

⑦① Déposant : ELECTRICITE DE FRANCE, service national, résidant en France.

⑦② Invention de : Jean-Loup Lesne.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Bonnet-Thirion, G. Foldés,  
95, bd Beaumarchais, 75003 Paris.

L'invention se rapporte en général à la détection de signaux de modulation différentielle entre deux faisceaux primaires cohérents d'ondes électromagnétiques, typiquement lumineuses, par interférence entre les deux faisceaux primaires.

Lorsqu'un phénomène physique intervient sur le trajet d'un faisceau d'ondes électromagnétiques, typiquement lumineuses, pour induire une modulation corrélative de ces ondes, la détermination des paramètres de modulation permet la mesure du phénomène à travers les relations, supposées connues, entre les paramètres du phénomène et ceux de la modulation. On prend ici la modulation dans un sens large incluant le résultat de toute modification de paramètres qui définissent l'onde électromagnétique, considérée en un point de l'espace, amplitude, fréquence phase, polarisation. Par ailleurs, comme modulation de phase et de fréquence sont indissociables en leurs effets, on ne les distinguera qu'en référence à leur cause directe. Parmi les phénomènes qui induisent une modulation des ondes électromagnétiques on peut citer les effets Doppler et Fizeau, induisant une modulation de fréquence (ou de phase) respectivement par diffusion réfléctive sur des objets et par entraînement par un fluide transparent, animés d'une vitesse relative suivant la direction du trajet des ondes, et l'effet Sagnac, induisant une modulation de phase par rotation d'un milieu transparent autour d'un axe perpendiculaire à un plan de propagation du faisceau. En raison de la faible profondeur de modulation induite par ces phénomènes, les paramètres de modulation ne peuvent être pratiquement mesurés que par interférence entre faisceaux d'ondes cohérents porteurs de modulations différentes, l'interférence des faisceaux faisant apparaître un signal différentiel de modulation. Dans la pratique, on fera interférer deux faisceaux convergents qui seront dits faisceaux primaires en amont du point de convergence origine des interférences. Ou bien la modulation n'affectera qu'un seul des deux faisceaux, et l'autre servira de référence, ou la modulation affectera les deux faisceaux en opposition, en sorte de doubler le signal

différentiel de modulation.

Pour obtenir la cohérence des deux faisceaux primaires à leur origine (avant modulation) il est de pratique constante de les dériver d'une source unique à cohérence spatio-temporelle, typiquement un laser cohérent.

La détection hétérodyne des faisceaux interférents, sensible aux termes en différence de fréquence des faisceaux, mais non aux termes en fréquences de ces faisceaux présente une grande sensibilité au signal utile, et est en outre relativement insensible aux bruits non corrélés avec les ondes incidentes.

Toutefois, lorsqu'un des faisceaux primaires est nettement plus intense que l'autre, le bruit propre de ce faisceau (bruit engendré par le laser) se transpose à la détection hétérodyne, ce qui dégrade fâcheusement le rapport signal bruit du signal détecté. On connaît des montages, dits de détection avec balance hétérodyne qui comportent un moyen semi-réflecteur où convergent les faisceaux primaires et adapté à séparer ces faisceaux en deux faisceaux secondaires comprenant chacun une composante de chaque faisceau primaire, la composante d'un faisceau primaire dans un faisceau secondaire et celle de l'autre faisceau primaire dans l'autre faisceau secondaire ayant subi une variation de phase de  $90^\circ$  dans le même sens et un ensemble de détection avec deux détecteurs d'ondes recevant chacun un des faisceaux secondaires respectivement et couplés à un amplificateur différentiel délivrant ainsi le signal de modulation. On comprendra que selon cette disposition les systèmes d'interférence des deux faisceaux secondaires sont en opposition de phase, ainsi que les signaux détectés appliqués aux entrées de l'amplificateur différentiel. Le signal de sortie utile est donc doublé en amplitude et quadruplé en puissance. Les bruits non corrélés entre eux voient leur puissance s'additionner dans l'amplificateur de sorte que le rapport signal bruit est amélioré de 3 dB par le montage. De plus, si le bruit propre d'un faisceau primaire est prépondérant, les signaux de bruits entraînés par les composantes de ce faisceau dans les deux faisceaux

secondaires sont corrélés entre eux et se compensent dans l'amplificateur différentiel, de sorte que dans ce cas on peut obtenir une amélioration de 10 à 13 dB sur le rapport signal bruit par rapport à un montage à un seul détecteur.

- 5 Les signaux délivrés par les systèmes de détection hétérodynes en soi ne contiennent qu'une information de fréquence, différence entre les fréquences des faisceaux primaires, sans donner d'information sur le sens de la différence, autrement dit de la phase relative d'une onde  
10 par rapport à l'autre. Or la connaissance de cette phase relative est utile notamment pour des mesures de vitesses, la phase étant indicative du sens de la vitesse par rapport à la direction de propagation du faisceau, et devient indispensable si la mesure interférométrique vise la détermination d'une variation de marche de faisceau, qui s'ob-  
15 tient par intégration de la vitesse, et n'a de signification que si le signe de la phase instantanée est pris en compte.

- On utilise fréquemment, pour lever l'indétermination  
20 du signe de la phase en détection hétérodyne un artifice consistant à décaler d'une valeur connue la fréquence de l'un des faisceaux primaires, à l'aide par exemple de réseaux tournants ou de dispositifs transducteurs opto-électriques et optoacoustiques. On trouvera la description  
25 de telles dispositions notamment dans la littérature technique relative à la vélocimétrie Doppler. Grâce au décalage initial de fréquences d'un des faisceaux, le décalage introduit par le phénomène étudié vient s'ajouter ou se retrancher du décalage initial. Toutefois les fluctuations  
30 de fréquence dues au dispositif décaleur se traduisent par un affaiblissement du rapport signal bruit, et introduisent une zone d'incertitude au voisinage du zéro de décalage de fréquence dû au phénomène étudié, avec pour corollaire une dérive de l'origine des variations de marche  
35 déterminées par intégration. On peut certes restreindre l'étendue de la zone d'incertitude en contrôlant la valeur instantanée du décalage systématique introduit, et en utilisant cette valeur instantanée comme terme correctif

pour le décalage mesuré, grâce à des dispositifs électroniques nécessairement complexes. Mais de toute façon cette disposition ne permet d'atteindre la phase qu'à travers sa dérivée par rapport au temps, la fréquence.

- 5 On connaît par ailleurs des dispositifs interférométriques qui permettent de déterminer la phase relative de deux faisceaux cohérents. On peut par exemple faire tomber les deux faisceaux rendus colinéaires, l'un étant en polarisation circulaire et l'autre en polarisation linéaire,
- 10 sur un réflecteur sélectif en polarisation, tel qu'un cube optique avec un plan de coupe passant par les diagonales parallèles de deux faces opposées, et orienté de telle sorte que les faisceaux colinéaires entrent dans ce cube perpendiculairement à une face formant dièdre à  $45^\circ$  avec le
- 15 plan de coupe, et que le plan de polarisation du faisceau polarisé linéairement soit parallèle à une diagonale de la face d'entrée (dans ce montage le cube est dit polariseur). On obtient ainsi un faisceau réfléchi par le plan de coupe, et un faisceau transmis sortant par la face opposée à la
- 20 face d'entrée, ces deux faisceaux étant en quadrature de phase, en sorte que la détection de ces faisceaux donne des signaux respectivement proportionnels aux cosinus directeurs de l'angle de phase, sinus et cosinus. Par des dispositions soignées, on peut apprécier des différences de
- 25 phase de l'ordre du degré, correspondant à des différences de marche de 2 à 3 millièmes de longueur d'onde.

- Toutefois la précision des déterminations de phase exige que le rapport signal bruit soit assez élevé, avec pour corollaire que les puissances des faisceaux incidents
- 30 soient équilibrées, étant donné que la puissance de bruit propre à chaque faisceau incident passe également dans les deux faisceaux sortants, de sorte que si un des faisceaux est nettement plus puissant que l'autre, le rapport signal bruit se détériore en fonction de la racine carrée du rapport des puissances des faisceaux incidents. Si les condi-
- 35 tions d'observation du phénomène conduisent à utiliser deux faisceaux primaires de puissances nettement différentes, l'équilibrage des faisceaux pour la détection nécessite

une atténuation du faisceau le plus puissant, et le signal détecté est atténué corrélativement.

Il apparaissait donc que les deux procédés de détection, détection avec balance hétérodyne et détection en quadrature de phase possédaient leurs avantages propres, sensibilité ou précision, de sorte que s'imposait un choix entre l'un ou l'autre procédé, en sacrifiant soit la précision, soit la sensibilité, suivant que l'une ou l'autre de ces qualités était jugée de moindre importance.

Or dans le cadre de la présente invention, il a été découvert qu'il était possible de surmonter l'apparente incompatibilité de la détection en quadrature de phase et de la détection avec balance hétérodyne, afin de bénéficier de la précision de la mesure de phase en quadrature, et de l'amélioration du rapport signal bruit apportée par la détection avec balance hétérodyne, pour l'ensemble des mesures.

A cet effet l'invention propose un dispositif de détection de signal différentiel de modulation entre deux faisceaux primaires cohérents d'ondes électromagnétiques, comportant un moyen semi-rélecteur où convergent les faisceaux primaires et adapté à séparer ces faisceaux en deux faisceaux secondaires comprenant chacun une composante de chaque faisceau primaire, la composante d'un faisceau primaire dans un faisceau secondaire, et celle de l'autre faisceau primaire dans l'autre faisceau secondaire ayant subi une variation de phase de  $90^\circ$  dans le même sens, et un ensemble de détection avec deux détecteurs d'ondes recevant chacun un des faisceaux secondaires respectivement et couplés à un amplificateur différentiel délivrant ainsi le signal de modulation, dispositif fournissant une information de phase différentielle sous forme de cosinus directeurs, caractérisé en ce qu'il comporte deux filtres polariseurs insérés respectivement sur le trajet des faisceaux primaires et confèrent au faisceau traversant l'un une polarisation circulaire et l'autre une polarisation rectiligne orientée à  $45^\circ$  d'un axe optique du moyen semi-rélecteur, deux moyens réflecteurs sélectifs insérés respective-

ment sur les trajets des faisceaux secondaires et adaptés à diviser le faisceau secondaire reçu en deux faisceaux tertiaires en quadrature de phase, l'un transmis et l'autre réfléchi, et deux ensembles de détection recevant l'un des  
5 faisceaux tertiaires transmis et l'autre les faisceaux tertiaires réfléchis issus respectivement de l'un et l'autre des moyens réflecteurs sélectifs et un moyen de comparaison entre les signaux délivrés par les deux ensembles de détection extrayant les cosinus directeurs.

- 10 Les filtres polariseurs confèrent aux faisceaux primaires les paramètres de polarisation convenables pour une détection en quadrature de phase, le moyen semi-réflecteur fournit, à partir de ces faisceaux primaires deux faisceaux secondaires convenant pour une détection avec balance hétéro-  
15 rodyne. Mais cette détection avec balance hétérodyne n'est effectuée qu'après que les moyens réflecteurs sélectifs aient divisé chacun des faisceaux secondaires en deux faisceaux tertiaires en quadrature de phase, et est appliquée à l'une et l'autre des paires de faisceaux tertiaires issus  
20 respectivement de chacun des faisceaux secondaires. Ainsi les deux ensembles de détection fournissent chacun un signal issu d'une détection avec balance hétérodyne, avec un bon rapport signal bruit, tandis que la comparaison des deux signaux fournit l'information sur la phase avec la  
25 précision inhérente à la détection quadratique, opérant sur des signaux modulés (faisceaux) à faible niveau de bruit.

En disposition préférée les ondes électromagnétiques seront des ondes lumineuses en faisceaux primaires dérivés d'un faisceau émis par un laser.

- 30 De préférence le moyen semi-réfléchissant, prévu pour deux faisceaux primaires orthogonaux, comporte un plan de réflexion orienté en sorte que sa normale soit bissectrice extérieure de l'angle droit formé par les faisceaux, l'axe optique étant la normale commune aux deux faisceaux primaires.  
35 Le plan de réflexion peut être la surface d'une lame semi-réfléchissante recouverte d'un dépôt semi-transparent, ou un plan de coupe d'un cube optique passant par les diagonales parallèles de deux faces opposées du cube; un tel

plan de coupe réfléchit les composantes polarisées parallèlement à l'axe optique défini précédemment, et transmet les composantes polarisées perpendiculaires à cet axe optique, et est semi-réflecteur pour une orientation convenable de la polarisation de l'onde incidente.

De préférence les filtres polariseurs sont des lames demi-onde ou quart d'onde, à la longueur d'onde du faisceau de laser. Les propriétés de telles lames pour modifier l'état de polarisation d'un faisceau, en fonction de l'orientation d'une direction privilégiée de la lame par rapport aux directions de polarisation du faisceau, sont bien connues d'un homme du métier.

Les moyens de réflexion sélectifs sont de préférence des cubes optiques avec un plan de coupe passant par deux diagonales parallèles de deux faces opposées du cube, que l'on oriente par rapport au faisceau secondaire incident et ses directions de polarisation, cette orientation consistant à la mise en parallèle des axes optiques de ces cubes et du moyen semi-réflecteur.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'ailleurs de la description qui va suivre, à titre d'exemple, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

les figures 1A et 1B représentent des montages de l'état de la technique pour une détection avec balance hétérodyne, utilisant respectivement une lame semi-réfléchissante et un cube optique semi-réflecteur ;

la figure 2 représente un montage de l'état de la technique pour une détection en quadrature de phase ;

la figure 3 représente un montage de détection selon l'invention ;

la figure 4 représente schématiquement un montage de vélocimétrie Doppler ;

la figure 5 représente schématiquement un gyromètre à effet Sagnac.

Selon la disposition représentée figure 1A, deux faisceaux cohérents primaires 1 et 2, issus d'un même faisceau laser polarisé et ayant reçu une modulation, tombent ortho-

gonaux sur une lame semi-réfléchissante 3, dont la normale est située dans le même plan que les faisceaux 1 et 2 et constitue la bissectrice extérieure de l'angle droit formé par ces faisceaux. La densité superficielle du dépôt métallique semi-réfléchissant couvrant la lame est telle que les composantes transmise et réfléchie de chaque faisceau sont sensiblement égales. Il résulte de la disposition angulaire que les faisceaux secondaires 4 et 5 comportent chacun une composante transmise d'un des faisceaux et une composante réfléchie de l'autre. Ces faisceaux secondaires 4 et 5 tombent respectivement sur deux détecteurs photoélectriques 6 et 7, branchés en sortie aux deux entrées, directe et inverseuse d'un amplificateur différentiel 8 dont la sortie est référencée 9.

Comme une réflexion apporte un déphasage de  $90^\circ$  à l'onde réfléchie par rapport à l'onde transmise, les faisceaux 4 et 5 sont sièges de systèmes d'interférence en opposition de phase.

En effet si l'on appelle  $\omega$  la pulsation moyenne des ondes dans les faisceaux, et  $\delta$  la pulsation différentielle les élongations des ondes dans les faisceaux 1 et 2 s'expriment, avec une origine arbitraire des temps par les équations :

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_1 \cos (\omega + \delta / 2) t \\ e_2 &= E_2 \cos (\omega - \delta / 2) t \end{aligned} \right\} (1)$$

Les élongations dans les faisceaux secondaires s'expriment alors par :

$$\left. \begin{aligned} 2e_4 &= E_1 \cos (\omega + \delta / 2) t + E_2 \sin (\omega - \delta / 2) t \\ 2e_5 &= E_1 \sin (\omega + \delta / 2) t + E_2 \cos (\omega - \delta / 2) t \end{aligned} \right\} (2)$$

Les courants de sortie des détecteurs photoélectriques 6 et 7 sont sensiblement proportionnels aux puissances lumineuses incidentes, et ne comportent pas de termes à fréquence correspondant aux fréquences lumineuses. Les signaux détectés sont donc au premier ordre de la

forme :

$$\left. \begin{aligned} e_6 &= K E_1 E_2 \sin \delta t \\ e_7 &= -K E_1 E_2 \sin \delta t \end{aligned} \right\} (3)$$

5 et donc en opposition de phase à la fréquence de modulation différentielle. En sortie 9 de l'amplificateur différentiel 8 la tension de signal sera donc proportionnelle à  $2 \sin \delta t$ . Les signaux parasites détectés en phase sont annulés en sortie 9. Les puissances des signaux non corrélés, 10 tels que les bruits, s'ajoutent en sortie 9, de sorte que les signaux utiles étant doublés en tension, donc quadruples en puissance, le rapport signal bruit est amélioré de 3 dB par rapport à une détection hétérodyne classique. De plus des bruits propres au faisceau le plus intense, tels 15 que résultant de battement de modes ou de bruits de plasma du laser source, parviennent corrélés aux deux détecteurs, de sorte qu'expérimentalement on constate des gains de rapport de signal bruit qui sont couramment de 10 à 13 dB.

Le montage représenté figure 1B se distingue du précédent en ce que la lame semi-réfléchissante 3 est remplacée par un cube optique 13 qui comporte un plan de coupe 13a passant par deux diagonales parallèles de deux faces opposées. Ce plan de coupe diagonal constitue une discontinuité d'indice, l'indice dans le plan étant inférieur à 20 l'indice de la matière à transparence optique dont est formé le cube. Les ondes polarisées dans un plan d'incidence sur le plan de coupe (plan comprenant l'axe du faisceau incident et la normale au plan de coupe au point d'incidence) sont transmises sans réflexion sur le plan de coupe, 25 tandis que les ondes polarisées perpendiculairement à ce plan d'incidence sont réfléchies sans transmission. On appellera ci-après axe optique d'un cube à plan diagonal de coupe l'axe situé dans le plan de coupe et perpendiculaire aux faces opposées du cube dont les diagonales sont 30 situées dans le plan de coupe.

Les faisceaux primaires 11 et 12 sont orthogonaux entre eux et dirigés perpendiculairement aux faces d'incidence sur le cube. Les faisceaux 11 et 12 sont polarisés

linéairement dans deux plans, orthogonaux entre eux et orientés symétriquement à  $45^\circ$  de l'axe optique du tube. Les faisceaux secondaires sortants 14 et 15 sont le siège de systèmes d'interférence en opposition de phase, analogues à ceux des faisceaux 4 et 5 dans la figure 1A, de sorte que les signaux de sortie des détecteurs 16 et 17, et celui de l'amplificateur différentiel 18 sur la sortie 19 correspondent en tous points aux signaux de sortie des détecteurs 6 et 7 et de l'amplificateur 8 de la figure 1A.

10 Le montage représenté figure 2 est destiné à une détection en quadrature de phase.

Le faisceau 21 est constitué par la superposition collinéaire de deux faisceaux cohérents avec une modulation différentielle. L'un de ces faisceaux est polarisé circulairement et l'autre linéairement. Le faisceau composite 21 tombe normalement sur une face d'un cube optique 22, avec un plan de coupe diagonal 22a, qui passe par une arête de la face d'incidence. L'axe optique du cube 22 est orienté à  $45^\circ$  du plan de polarisation du faisceau incident qui est à polarisation linéaire. Le faisceau transmis 23, et le faisceau réfléchi 24, orthogonaux, comportent l'un et l'autre des composantes issues des faisceaux incidents collinéaires dans le faisceau composite 21. En raison des propriétés de réflexion sélective en fonction de la direction de polarisation du plan de coupe 22a, mentionnées précédemment, les signaux délivrés par les détecteurs 25 et 26 recevant respectivement les faisceaux transmis 23 et réfléchi 24, sont respectivement proportionnels au cosinus et au sinus de l'angle de phase de la modulation différentielle entre les faisceaux incidents. Ces cosinus et sinus seront dits ensembles cosinus directeurs de l'angle de phase, par référence aux cosinus directeurs d'un vecteur. La quadrature de phase des signaux détectés pourrait aisément se démontrer par un calcul analogue au calcul des équations (1) à (3). Bien entendu, si la phase différentielle varie, il apparaît une fréquence différentielle, dérivée de la phase différentielle, qui affectera les deux signaux de sortie des détecteurs 25 et 26, ces signaux restant en quadrature.

Si l'on remarque que la détection en balance hétérodyne de la figure 1B, et la détection en quadrature de la figure 2 ne se distinguent que par l'orientation des faisceaux primaires, respectivement orthogonaux et colinéaires, il apparaît que ces modes de détection constituent une alternative exclusive, chaque terme de l'alternateur comportant ses avantages spécifiques, qui semblent inconciliables dans l'état de la technique.

Selon la forme de réalisation choisie et représentée figure 3, deux faisceaux primaires de lumière cohérente 31 et 32 orthogonaux convergent sur le plan diagonal de coupe d'un cube optique 37. Les faisceaux 31 et 32 sont à polarisation linéaire, mais sur le trajet du faisceau 31 on a disposé une lame quart d'onde 33 avec son axe à  $45^\circ$  du plan de polarisation du faisceau, de sorte que le faisceau 35 convergeant de la lame soit polarisé circulairement. Sur le trajet du faisceau 32, une lame demi-onde 34, convenablement orientée, confère au faisceau émergeant 36 une polarisation linéaire à  $45^\circ$  de l'axe optique du cube 37. Suivant la terminologie usuelle les lames quart d'onde et demi-onde sont des lames qui apportent des déphasages respectivement de  $90^\circ$  et  $180^\circ$ , pour une longueur d'onde choisie, entre deux composantes à polarisations orthogonales dont l'une est parallèle à l'axe optique de la lame.

Les faisceaux secondaires 38 et 39, qui correspondent respectivement aux faisceaux 14 et 15 de la figure 1B, les dispositions des faisceaux primaires 35 et 36 étant identiques à celles des faisceaux 11 et 12 de cette figure 1B, forment donc des systèmes d'interférence en opposition de phase. Les faisceaux 38 et 39 tombent respectivement sur des cubes optiques à plan diagonal de coupe 40 et 41, qui donnent naissance à des faisceaux tertiaires transmis et réfléchi. Les faisceaux transmis tombent respectivement sur les détecteurs 42 et 45, et les faisceaux réfléchis sur les détecteurs 44 et 43. La disposition relative des cubes 40 et 41 par rapport respectivement aux faisceaux 38 et 39 est identique à celle du cube 22 par rapport au faisceau 21 de la figure 2. Aussi les faisceaux tertiaires

sortant de chacun des cubes 40 et 41 sont en quadrature de phase, tandis qu'ils sont en opposition de phase avec le faisceau tertiaire homologue sortant de l'autre cube. Les détecteurs 44 et 43 sont branchés à l'entrée d'un amplificateur différentiel 46, et les détecteurs 42 et 45 à l'entrée d'un amplificateur différentiel 47. Ainsi les signaux sur les sorties 48 et 49 des amplificateurs respectifs 46 et 47 sont obtenus l'un et l'autre par détection avec balance hétérodyne, les signaux aux deux entrées des amplificateurs différentiels étant en opposition de phase, tandis que ces signaux de sortie sont en quadrature et respectivement proportionnels aux cosinus directs de la phase de modulation différentielle.

En envoyant ces signaux de sortie à un appareillage électronique d'exploitation (non représenté) on pourra extraire par des processus connus, toutes les informations relatives aux différences de marche entre faisceaux primaires. Notamment la comparaison entre les signaux d'entrées, compte tenu du signe de leur élongation fournit une détermination de la différence de marche avec une résolution inférieure à une longueur d'onde, le comptage réversible des alternances du signal cosinus, le signe du signal sinus correspondant donnant alors l'information sur le sens du comptage, donne une information sur la variation par nombre entier de longueurs d'onde, et la détermination de la fréquence d'un signal d'entrée fournit une mesure de la vitesse de différence de marche, en valeur absolue, tandis que la comparaison des signaux d'entrée fournit l'information sur le signe de cette vitesse.

On va décrire maintenant des applications du dispositif de détection selon l'invention.

Le vélocimètre Doppler représenté figure 4 comporte un laser 50 fonctionnant en mode  $TEM_{00}$  qui émet un faisceau cohérent 51 à polarisation linéaire dans le plan de figure. Une lame demi-onde 52 est disposée sur le trajet du faisceau 51, et son axe optique est orientable par rotation de la lame autour de l'axe du faisceau, en sorte de faire tourner le plan de polarisation du faisceau émergeant 51a

d'un angle réglable, autrement dit de régler les amplitudes relatives des composantes du faisceau 51a polarisées respectivement dans le plan de figure, et perpendiculairement à ce plan. Le faisceau 51a tombe sur un cube 53 à plan diagonal de coupe avec son axe optique perpendiculaire au plan de figure. La composante du faisceau 51a polarisée dans le plan de figure donne naissance au faisceau transmis 51b, tandis que la composante du faisceau 51a polarisée perpendiculairement au plan de figure forme le faisceau réfléchi 51c. Ainsi le réglage d'orientation de la lame demi-onde 52 dose le rapport d'intensité entre le faisceau transmis 51b qui sera utilisé comme faisceau de mesure, et le faisceau réfléchi 51c qui sera utilisé comme faisceau de référence.

Le faisceau transmis 51b traverse, sans réflexion, un cube optique 54 à plan diagonal de coupe d'axe optique normal au plan de figure, et pénètre dans un canal de transmission qui comporte notamment une lame quart d'onde 55a ayant son axe optique à  $45^\circ$  du plan de polarisation du faisceau, de sorte que le faisceau émergeant est polarisé circulairement. En outre le canal 55 focalise le faisceau en un point de mesure 56 où ce faisceau sera rétrodiffusé par des éléments dont on veut mesurer la vitesse suivant l'axe du faisceau. Le faisceau rétrodiffusé est affecté d'un effet Doppler représentatif de la vitesse à mesurer, et de plus est polarisé avec un moment de polarisation circulaire inversé par rapport au faisceau incident. Ce faisceau rétrodiffusé revient à travers le canal 55 où la lame quart d'onde 55a lui confère une polarisation linéaire perpendiculaire au plan de figure, de sorte qu'il se réfléchit sur le plan de coupe du cube 54 pour donner le faisceau 51d.

Ce faisceau 51d traverse une lame demi-onde 57 orientée de sorte que le plan de polarisation du faisceau émergeant ait tourné de  $45^\circ$  autour de l'axe du faisceau avant de tomber sur un cube optique 60 à plan diagonal de coupe. Par ailleurs le faisceau 51c s'est réfléchi sur un prisme à réflexion totale 58 pour venir converger avec le faisceau

51d sur le plan de coupe du cube 60, après avoir traversé une lame quart d'onde 59 avec son axe optique à  $45^\circ$  du plan de figure, en sorte d'être polarisé circulairement à son incidence sur le cube 60. Ce cube 60, conjointement

5 avec des cubes à plan diagonal de coupe 61 et 63, quatre détecteurs photoélectriques 65 à 68 et deux amplificateurs différentiels 69 et 70 constituent un dispositif de détection en quadrature de phase avec balance hétérodyne, conforme au dispositif décrit en référence à la figure 3.

10 Toutefois on remarquera que les détecteurs 65 et 68 sont précédés de prismes à réflexion totale 64 et 62, de façon que leurs axes de visée soient parallèles à ceux des détecteurs 66 et 67, mais cette disposition accessoire n'a pour but que de donner plus d'accessibilité aux détecteurs.

15 On ne s'étendra pas sur les processus de mesure de vitesses par effet Doppler, qui font l'objet de nombreuses publications, ni sur l'exploitation, à travers l'appareillage électronique de mesure 71 attaqué par les sorties des amplificateurs différentiels 69 et 70, des décalages

20 Doppler induits par les réflexions au point de mesure 56. Il est toutefois à remarquer que le dispositif qui vient d'être décrit donne la composante de vitesse suivant l'axe du faisceau de mesure avec son signe, même pour de faibles vitesses de l'élément réflecteur, c'est-à-dire dans des  
25 conditions où les appareils de l'état de la technique sont imprécis.

La figure 5 représente un gyromètre à effet Sagnac, ou gyroscope optique, destiné à mettre en évidence des rotations d'une plate-forme de mesure autour d'un axe  
30 (perpendiculaire au plan de figure). On connaît l'importance, en navigation aux instruments, de la connaissance des attitudes d'un véhicule par rapport à des axes de références fixes ; problème auquel les gyroscopes à inertie classiques apportent des solutions imparfaites, en raison  
35 des dérives notamment.

Un laser 80 délivre un faisceau 80a à polarisation linéaire, qu'une lame demi-onde 81 oriente à  $45^\circ$  du plan de figure, et que le cube optique 82 à plan diagonal de

coupe divise en deux faisceaux divisionnaires 80b et 80c, orthogonaux et à polarisation respectivement perpendiculaire et parallèle au plan de figure. Ces faisceaux pénètrent aux deux extrémités 83a et 83b respectivement d'une

5 fibre optique 83 spiralisée dans le plan de figure. Les faisceaux 80b et 80c émergent de la fibre optique 83 par les extrémités 83b et 83a respectivement, affectés l'un et l'autre d'un décalage par effet Sagnac, en sens inverse. La fibre optique 83 étant prévue pour ne pas introduire de

10 rotation sensible du plan de polarisation des ondes qui s'y propagent, le cube 82 réunit les deux faisceaux divisionnaires émergents en colinéarité (80d), le faisceau 80c étant chaque fois transmis et le faisceau 80b étant chaque fois réfléchi. Un cube optique 84 à plan diagonal

15 de coupe découple les deux faisceaux 80d en réfléchissant l'un et transmettant l'autre. Une lame demi-onde 86 fait tourner de 45° le plan de polarisation du faisceau réfléchi, qui est ensuite réfléchi orthogonalement par un prisme 88 à réflexion totale pour tomber sur un cube optique

20 89 à plan diagonal de coupe. De son côté le faisceau transmis par le cube 84 est dévié orthogonalement par un prisme 85 à réflexion totale, traverse une lame quart d'onde 87 convenablement orientée qui lui confère une polarisation circulaire avant son incidence sur le cube 89. Le cube 89,

25 conjointement avec des cubes optiques à plan diagonal de coupe 90 et 91, quatre détecteurs photoélectriques 92 à 95, et deux amplificateurs différentiels 96 et 97, constituent un dispositif de détection en quadrature avec balance hétérodyne conforme à celui qui est décrit en référence

30 à la figure 3. Le dispositif électronique d'exploitation 98 reçoit donc deux signaux représentatifs des cosinus directeurs (sinus et cosinus) de la phase différentielle induite par effet Sagnac dans la fibre optique 83, lorsque cette fibre subit une rotation autour de son axe par rapport à des axes de référence fixes dans l'espace. Bien

35 entendu tout le dispositif de gyroscope optique accompagne la fibre optique dans sa rotation.

Les différences de marche des faisceaux circulant en

sens inverse dans la fibre optique 83 sont prises en compte avec une précision de l'ordre de quelques millièmes de longueur d'onde par l'appareillage électronique d'exploitation 98, tandis que par comptage et décomptage des alternances  
5 de l'un des signaux d'entrée en dépendance du signe de l'autre signal, l'indétermination en nombre entier de longueur d'onde de différence de marche est levée.

Il est clair que la conception de la disposition des circuits de l'appareillage électronique 98, qui sort du  
10 cadre de la présente invention, est à la portée d'un homme du métier, et fait partie de l'état de la technique au moins dans son concept général.

Par ailleurs il est évident que la présente invention, bien que décrite dans des réalisations faisant appel à des  
15 composants et techniques de l'optique de lumière cohérente issue d'un faisceau émis par un laser, est transposable immédiatement dans la technique des micro-ondes hertziennes guidées. En effet les optiques des ondes lumineuses cohérentes et des micro-ondes hertziennes s'expriment dans un  
20 formalisme unitaire, de sorte que la correspondance entre composants utilisés dans l'une ou l'autre des techniques pour engendrer des ondes polarisées, modifier les paramètres de polarisation ou réfléchir sélectivement des ondes suivant leurs paramètres de polarisation apparaîtra évidente  
25 à l'homme du métier.

En outre la présente description n'a fait référence qu'à deux applications particulières de l'invention, mais il est clair que le cadre de la présente invention ne saurait être restreint à ces applications.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de détection de signal différentiel de modulation entre deux faisceaux primaires cohérents d'ondes électromagnétiques, comportant un moyen semi-réflecteur où  
5 convergent les faisceaux primaires et adapté à séparer ces faisceaux en deux faisceaux secondaires comprenant chacun une composante de chaque faisceau primaire, la composante d'un faisceau primaire dans un faisceau secondaire, et celle de l'autre faisceau primaire dans l'autre faisceau se-  
10 condaire ayant subi une variation de phase de  $90^\circ$  dans le même sens, et un ensemble de détection avec deux détecteurs d'ondes recevant chacun un des faisceaux secondaires respectivement et couplés à un amplificateur différentiel délivrant ainsi le signal de modulation, dispositif fournissant une information de phase différentielle sous forme de  
15 cosinus directeur, caractérisé en ce qu'il comporte deux filtres polariseurs insérés respectivement sur le trajet des faisceaux primaires et conférant au faisceau traversant l'un une polarisation circulaire et l'autre une polarisation rectiligne orientée à  $45^\circ$  d'un axe optique du moyen  
20 semi-réflecteur, deux moyens réflecteurs sélectifs insérés respectivement sur les trajets des faisceaux secondaires et adaptés à diviser le faisceau secondaire reçu en deux faisceaux tertiaires en quadrature de phase, l'un transmis et l'autre réfléchi, et deux ensembles de détection recevant l'un les faisceaux tertiaires transmis et l'autre les  
25 faisceaux tertiaires réfléchis issus respectivement de l'un et l'autre des moyens réflecteurs sélectifs et un moyen de comparaison entre les signaux délivrés par les deux ensembles de détection extrayant les cosinus directeurs.  
30

2. Dispositif selon la revendication 1, où les ondes électromagnétiques sont des ondes lumineuses, caractérisé en ce que les faisceaux primaires sont dérivés d'un faisceau émis par un laser.

35 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les deux faisceaux primaires étant orthogonaux, ledit moyen semi-réflecteur comporte un plan de réflexion orienté en sorte que sa normale soit bissectrice extérieure

de l'angle droit formé par les faisceaux, l'axe optique du moyen semi-rélecteur étant la normale commune aux deux faisceaux primaires.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen semi-rélecteur est une lame semi-réfléchissante.

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen semi-rélecteur est un cube optique avec un plan de coupe formant plan de réflexion et passant par deux diagonales parallèles de deux faces opposées du cube.

6. Dispositif selon une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que lesdits filtres polariseurs sont des lames demi-onde ou quart d'onde du faisceau de laser, orientées de façon connue en soi par rapport aux directions de polarisation des faisceaux primaires.

7. Dispositif selon une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que lesdits moyens rélecteurs sélectifs sont des cubes optiques avec un plan de coupe passant par deux diagonales parallèles de deux faces opposées du cube, et orientés en sorte que le faisceau secondaire incident soit normal à une face du cube formant dièdre à  $45^\circ$  avec le plan de coupe, et que la normale au faisceau dans le plan de coupe soit parallèle à l'axe optique du moyen semi-rélecteur.

8. Vélocimètre à effet Doppler en application du dispositif selon la revendication 2, où un faisceau lumineux cohérent de référence interfère avec un faisceau rétrodiffusé par des centres rélecteurs animés de la vitesse à mesurer et frappés par une fraction du faisceau de référence, caractérisé en ce que faisceaux de référence et rétrodiffusé constituent les deux faisceaux primaires.

9. Vélocimètre selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite fraction du faisceau de référence étant polarisée linéairement une lame quart d'onde est interposée dans le trajet de cette fraction et un trajet colinéaire du faisceau rétrodiffusé, la lame quart d'onde ayant son axe à  $45^\circ$  du plan de polarisation de ladite fraction

du faisceau de référence.

10. Gyromètre à effet Sagnac en application du dispositif selon la revendication 2, où deux faisceaux divisionnaires issus d'un même faisceau de laser traversent en  
5 sens inverse une fibre optique spiralée autour d'un axe parallèle à la rotation à mesurer, caractérisé en ce que les deux faisceaux divisionnaires sortant de la fibre optique constituent les deux faisceaux primaires.

11. Gyromètre selon la revendication 10, caractérisé  
10 en ce qu'un moyen polarisant confère aux deux faisceaux divisionnaires en amont de la fibre optique des polarisations linéaires orthogonales.

FIG. 1A

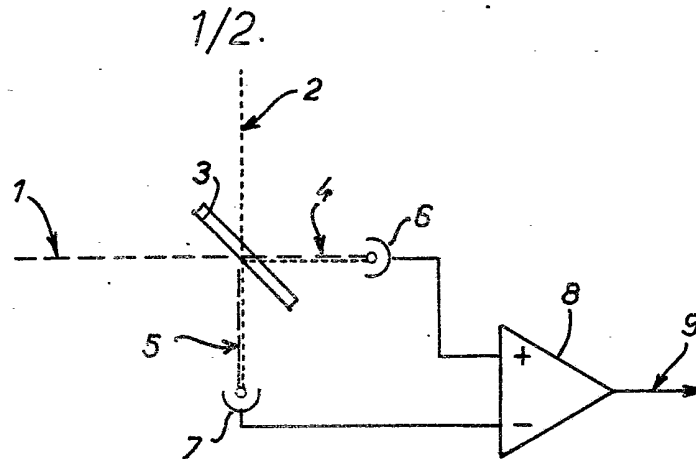


FIG. 1B

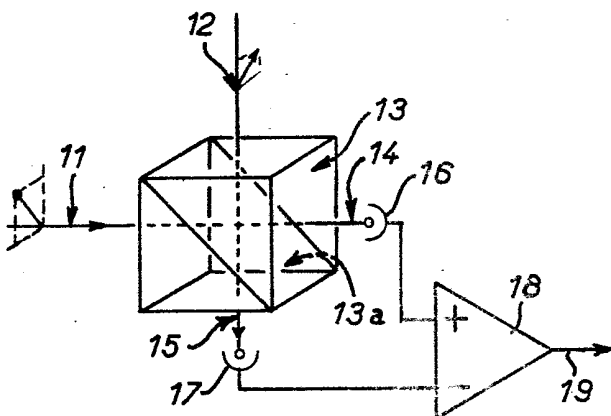


FIG. 2

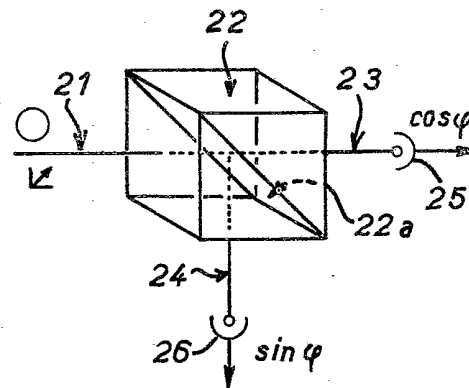
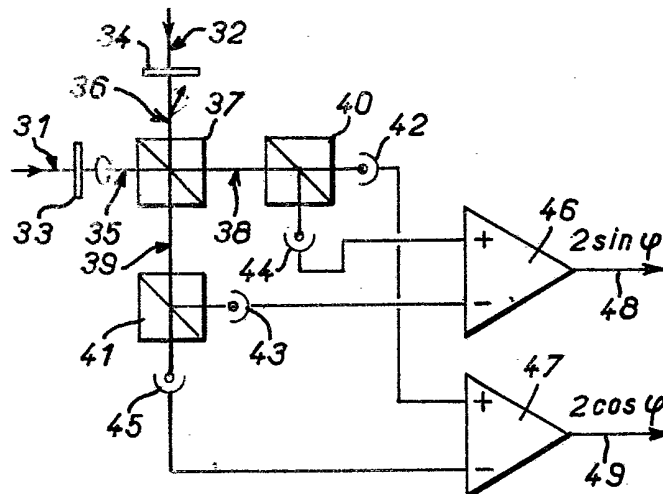


FIG. 3



2/2.

FIG. 4

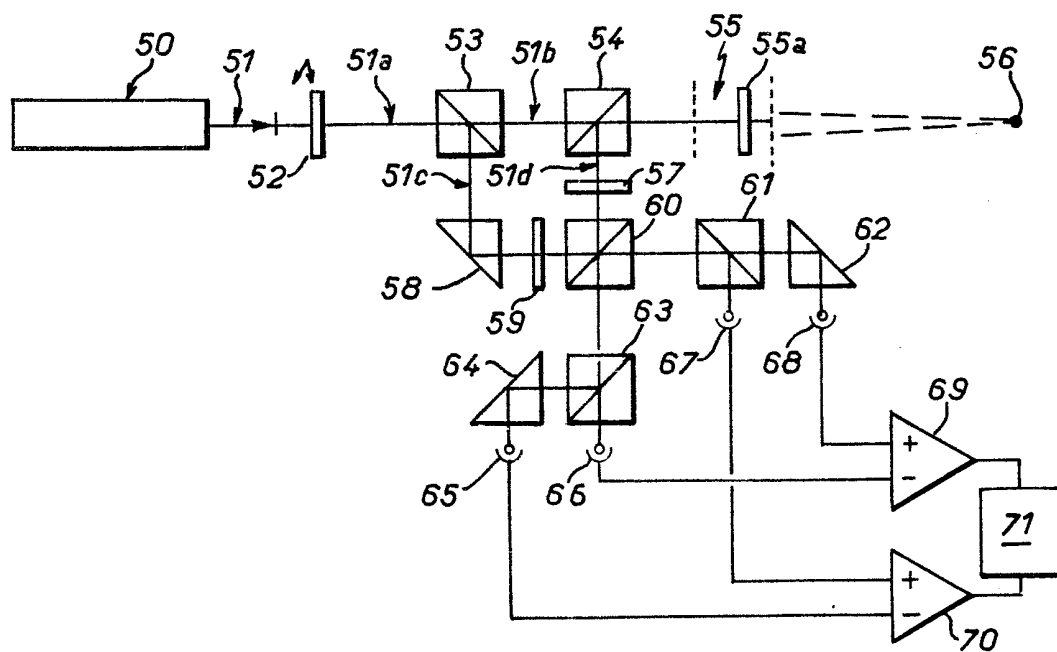


FIG. 5

