



(11) (21) (C) **2,102,249**
(22) 1993/11/02
(43) 1994/05/04
(45) 2000/08/22

(72) Gourgue, Frédéric, FR

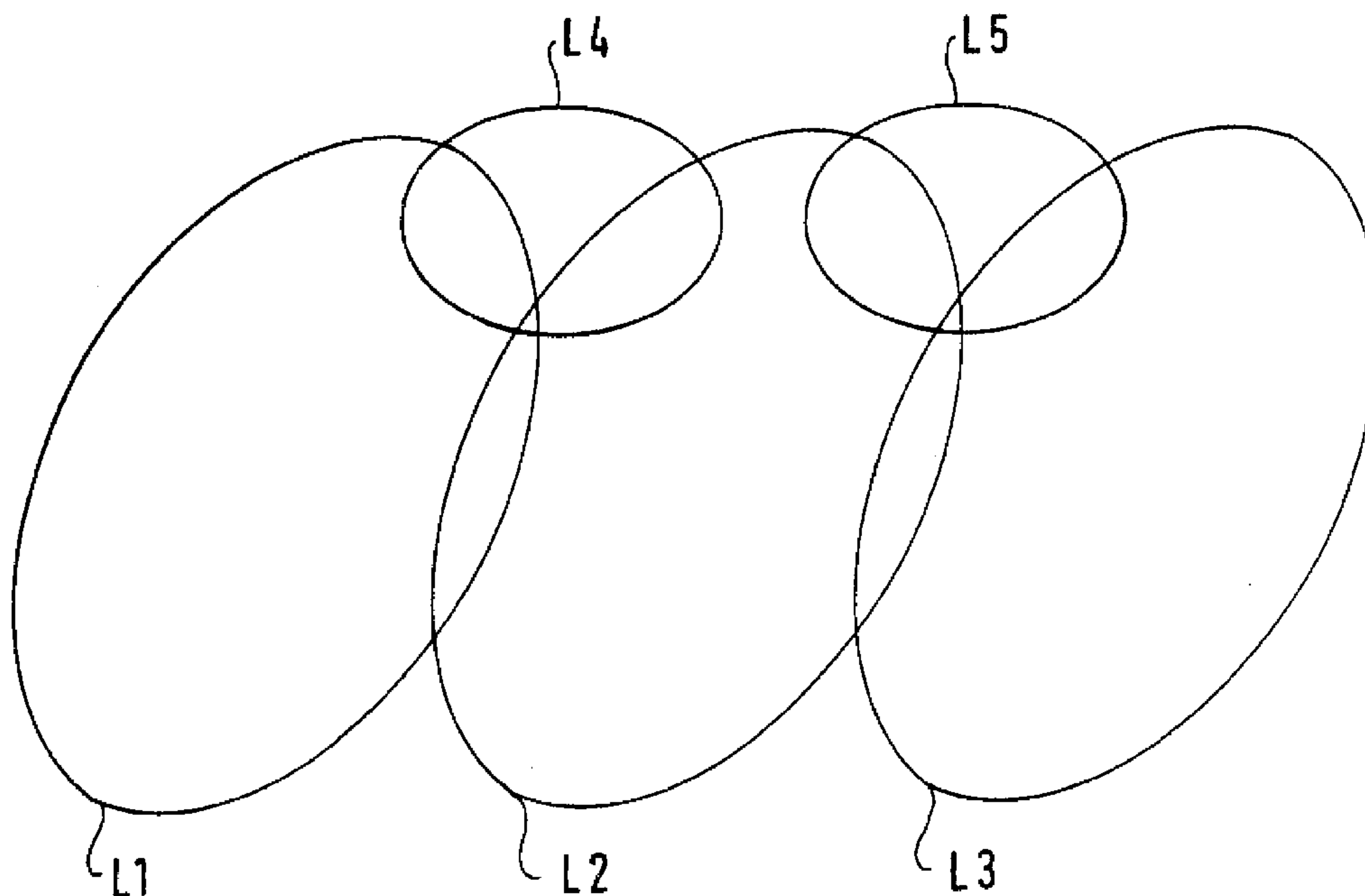
(73) ALCATEL RADIOTELEPHONE, FR

(51) Int.Cl.⁵ H04B 7/01, H04B 7/19

(30) 1992/11/03 (92 13 156) FR

(54) **DISPOSITIF DE CORRECTION D'UN DECALAGE DE
FREQUENCE DU A L'EFFET DOPPLER DANS UN SYSTEME
DE TRANSMISSION**

(54) **DEVICE FOR COMPENSATING THE DOPPLER FREQUENCY
SHIFT IN A TRANSMISSION SYSTEM**



(57) La présente invention concerne un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission. Le dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler s'applique dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif. Le décalage de fréquence qui est la différence entre les fréquences du signal transmis mesurées au récepteur et à l'émetteur se présente comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique du lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction de la position du récepteur dans le lobe d'émission. Le dispositif comprend des moyens pour accorder le récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme de la fréquence émise et de la fréquence centrale.



2102249

PRECIS DE LA DIVULGATION

La présente invention concerne un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission. Le dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler s'applique dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif. Le décalage de fréquence qui est la différence entre les fréquences du signal transmis mesurées au récepteur et à l'émetteur se présente comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique du lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction de la position du récepteur dans le lobe d'émission. Le dispositif comprend des moyens pour accorder le récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme de la fréquence émise et de la fréquence centrale.

B

Dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission

La présente invention concerne un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission.

Dans les systèmes de transmission considérés, un émetteur transmet un signal à destination d'un récepteur, ces deux éléments étant en mouvement relatif. Il en est ainsi, par exemple, dans un système de transmission par satellite lorsque l'émetteur ou le récepteur placé dans un satellite est en communication avec un équipement terrestre, pour autant que ce satellite soit mobile par rapport à la terre, c'est-à-dire qu'il ne soit pas en orbite géostationnaire. Le signal transmis qui se présente sous la forme d'une onde porteuse modulée est soumis à l'effet Doppler, phénomène connu de l'homme du métier qui ne nécessite donc pas de développement supplémentaire. Il en résulte un décalage de fréquence sur l'onde porteuse selon qu'elle est mesurée à l'émetteur ou au récepteur. Ce décalage, vu du récepteur qui en ignore l'existence, se traduit par un déplacement apparent de la fréquence de l'onde porteuse sur laquelle ce récepteur doit s'accorder, ce qui a pour effet de dégrader la qualité du signal transmis. Il est donc nécessaire de corriger ce décalage de fréquence. Tant que celui-ci reste limité, un dispositif classique d'asservissement de fréquence présent dans le récepteur tel qu'une boucle à verrouillage de phase permet une correction efficace. Par contre, lorsque le décalage de fréquence est important, ce qui est le cas notamment dans les systèmes de radiocommunications par satellite, le dispositif connu nécessaire à la correction est nettement plus complexe et, partant, plus coûteux; on citera à titre d'exemple la double boucle à verrouillage de phase dont l'homme du métier connaît la difficulté de mise au point.

La présente invention a ainsi pour but un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet

Doppler qui s'adapte dans un système de transmission où le récepteur est prévu pour compenser des variations limitées de la fréquence de l'onde porteuse. Pour la clarté de l'exposé, on assimilera maintenant l'onde porteuse et le
5 signal transmis.

Le dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler s'applique dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement
10 relatif. Le décalage de fréquence qui est la différence entre les fréquences du signal transmis mesurées au récepteur et à l'émetteur se présente comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique du lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction de la position du
15 récepteur dans le lobe d'émission. Selon l'invention, le dispositif comprend des moyens pour accorder le récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme de la fréquence émise et de la fréquence centrale.

20 Ainsi, le dispositif d'asservissement de fréquence du récepteur est considérablement simplifié.

De plus, de manière avantageuse, la fréquence centrale vaut sensiblement la demi-somme des valeurs extrêmes que peut prendre le décalage de fréquence dans le lobe
25 d'émission.

Selon un premier mode de réalisation, les moyens pour accorder le récepteur imposent à l'émetteur une fréquence d'émission égale à la fréquence d'accord du récepteur diminuée de la fréquence centrale.

30 Le dispositif de correction étant donc disposé dans l'émetteur, le récepteur ne nécessite pas de moyens spécifiques.

Selon un deuxième mode de réalisation, les moyens pour accorder le récepteur lui imposent comme fréquence d'accord
35 la fréquence d'émission de l'émetteur augmentée de la fréquence centrale.

Dans ce cas, les moyens de l'invention sont disposés non plus dans l'émetteur mais dans le récepteur.

De préférence, selon un troisième mode de réalisation, les moyens pour accorder le récepteur se composent d'un premier module disposé dans l'émetteur et d'un deuxième module disposé dans le récepteur, l'un de ces modules au moins présentant une capacité de correction inférieure à la fréquence centrale, le système de transmission étant prévu pour répartir la correction du décalage de fréquence entre ces deux modules.

10 Dans ce cas, les moyens de l'invention sont partagés entre l'émetteur et le récepteur et, d'ailleurs, l'invention vise séparément chacun de ces modules.

La présente invention vise donc un module incorporé dans un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif, ledit décalage de fréquence qui est la différence entre des fréquences dudit signal transmis mesurées audit

20 récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, le dispositif comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale, des premier et deuxième modules étant

30 les moyens pour accorder ledit récepteur se composant

3a

dudit module incorporé dans le dispositif de correction, qui constitue un des premier et deuxième modules, l'un desdits modules au moins présentant une capacité de correction inférieure à ladite fréquence centrale, ledit système de transmission étant prévu pour répartir une correction du décalage de fréquence entre ces deux modules.

10 En outre, l'invention s'applique également dans un équipement prévu pour une communication bidirectionnelle au moyen d'un signal pour chaque sens de communication. Un tel équipement comprend un dispositif comme précisé ci-dessus pour chacun de ces signaux.

La présente invention vise donc un équipement pour une communication bidirectionnelle au moyen d'un signal pour chaque sens de communication, comprenant pour chacun de ces signaux un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif, ledit décalage de fréquence qui est la différence entre des fréquences

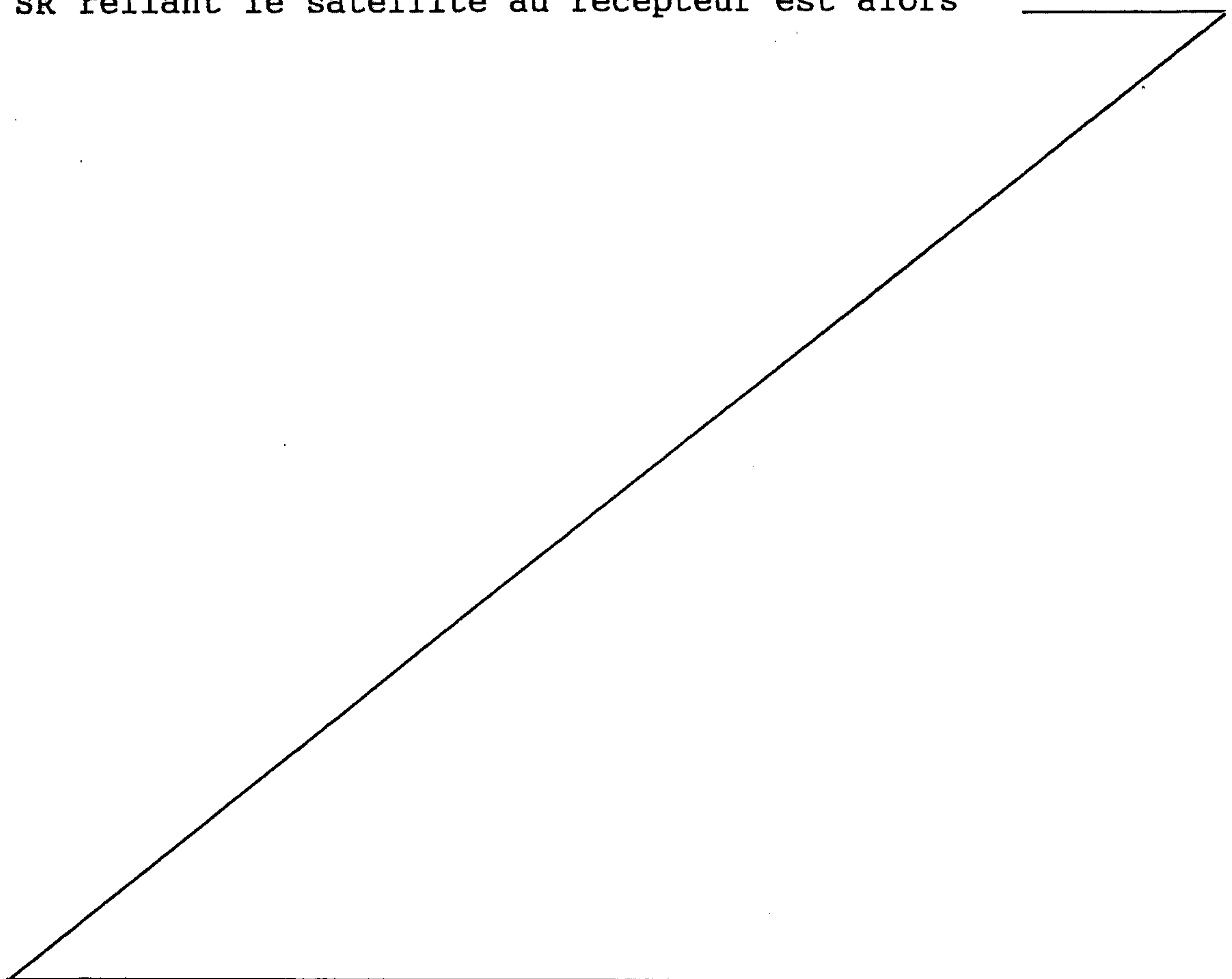
20 dudit signal transmis mesurées audit récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, le dispositif comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale.

30 L'invention apparaîtra de manière plus précise dans le cadre de la description de modes de réalisation donnés à titre d'exemple en référence aux figures annexées qui représentent:

3b

- la figure 1, un repère lié à un satellite dans lequel figure un équipement terrestre,
- la figure 2, la projection de plusieurs lobes d'émission correspondant à divers émetteurs situés dans le satellite.

10 On considère dans un premier temps qu'un satellite S est pourvu d'un émetteur qui émet un signal radio à destination d'un récepteur R intégré dans un équipement terrestre. On peut alors définir, comme représenté dans la figure 1, un repère orthogonal lié au satellite Sxyz où l'axe S_x donne le sens de déplacement du satellite, l'axe S_y représente la verticale dirigée vers le centre de la terre et, par conséquent, l'axe S_z est la normale au plan Sxy de sorte que le repère ainsi formé soit un trièdre direct. La droite SR reliant le satellite au récepteur est alors



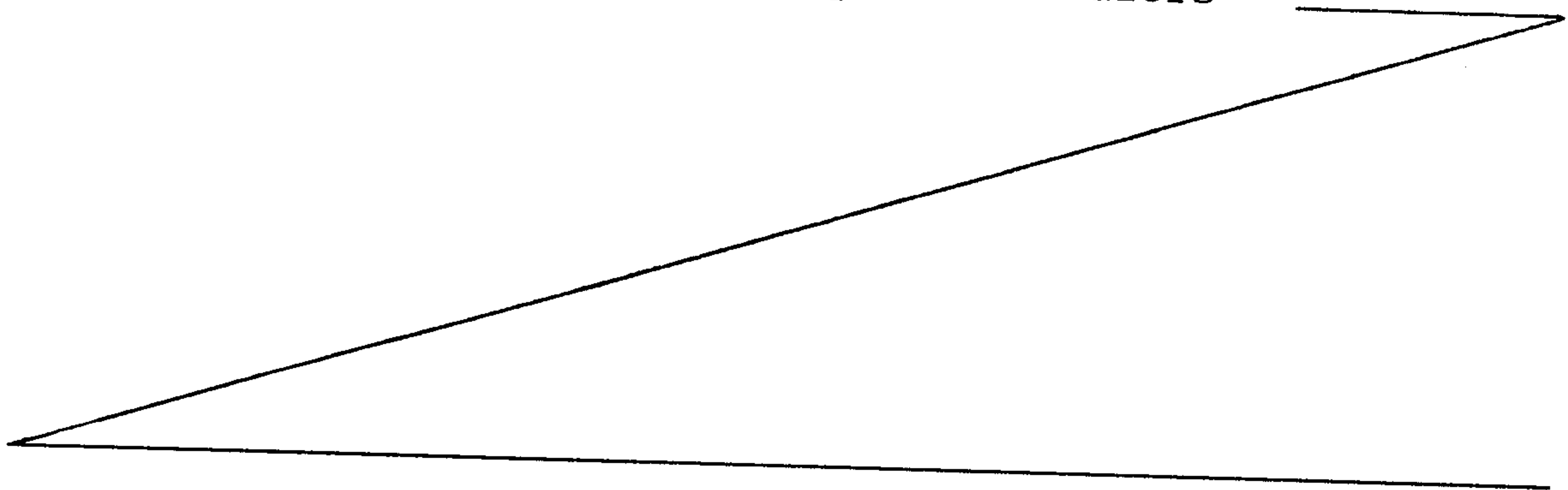
transmis mesurées audit récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, le dispositif comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale.

10 L'invention apparaîtra de manière plus précise dans le cadre de la description de modes de réalisation donnés à titre d'exemple en référence aux figures annexées qui représentent:

- la figure 1, un repère lié à un satellite dans lequel figure un équipement terrestre,

- la figure 2, la projection de plusieurs lobes d'émission correspondant à divers émetteurs situés dans le satellite.

20 On considère dans un premier temps qu'un satellite S est pourvu d'un émetteur qui émet un signal radio à destination d'un récepteur R intégré dans un équipement terrestre. On peut alors définir, comme représenté dans la figure 1, un repère orthogonal lié au satellite Sxyz où l'axe Sx donne le sens de déplacement du satellite, l'axe Sy représente la verticale dirigée vers le centre de la terre et, par conséquent, l'axe Sz est la normale au plan Sxy de sorte que le repère ainsi formé soit un trièdre direct. La droite SR reliant le satellite au récepteur est alors



complètement définie au moyen de deux angles, le premier angle Θ entre Sz et la projection de SR sur le plan Sxz et le deuxième angle Φ entre Sy et SR.

Un signal transmis par le satellite S, est soumis au
5 niveau du récepteur à un décalage en fréquence Δf qui est déterminé par la fréquence du signal émis f_e , la vitesse du satellite et les deux angles Θ , Φ identifiant la droite SR. Ainsi la fréquence du signal reçu f_r est la somme de la fréquence du signal émis f_e et du décalage de fréquence Δf :
10 $f_r = f_e + \Delta f$.

Par ailleurs, on convient couramment de nommer lobe d'émission la zone de couverture d'un émetteur, c'est-à-dire l'ensemble des points de l'espace où un récepteur peut recevoir le signal transmis par cet émetteur. Il apparaît
15 ainsi que pour un lobe d'émission donné le décalage de fréquence Δf varie dans un intervalle borné par une valeur minimale Δf_{\min} et une valeur maximale Δf_{\max} .

Ces deux valeurs extrêmes dépendent uniquement du système de transmission, à savoir la fréquence du signal
20 transmis, la vitesse du satellite et le lobe d'émission défini comme une fonction des angles Θ et Φ précédemment identifiés; elles ne dépendent pas de la position du récepteur dans le lobe d'émission.

On peut définir une grandeur caractéristique du lobe
25 d'émission, grandeur égale à la demi-somme des valeurs extrêmes Δf_{\min} et, Δf_{\max} du décalage de fréquence. Cette grandeur elle aussi dépend uniquement du système de transmission et l'invention consiste précisément à supprimer son effet en décalant l'émetteur ou le récepteur d'une
30 fréquence équivalente à cette grandeur. Dans la pratique, on choisira une fréquence centrale f_c qui, pour diverses raisons, ne sera peut-être pas exactement égale à la demi-somme des valeurs extrêmes Δf_{\min} , Δf_{\max} , mais qui en sera proche. En effet, il faut souvent satisfaire à certaines
35 contraintes techniques, ne serait-ce qu'au pas de quantification d'un synthétiseur de fréquence, par exemple.

Le point important est que cette fréquence centrale f_c caractéristique du lobe d'émission permette de réduire au minimum la correction de fréquence nécessaire pour toutes les positions du récepteur dans ce lobe. Autrement dit, le

5 décalage de fréquence Δf peut s'analyser comme la somme d'une fréquence centrale f_c indépendante du récepteur et d'une fréquence de position f_p fonction de la position du récepteur dans le lobe d'émission, la fréquence centrale étant choisie de sorte que la correction qui porte sur la

10 seule fréquence de position f_p soit la plus réduite possible:

$$\Delta f = f_c + f_p$$

Selon un premier mode de réalisation, le décalage de fréquence est corrigé dans l'émetteur. Le récepteur étant

15 prévu pour recevoir un signal à une fréquence d'accord f_a , le signal transmis est émis à une fréquence d'émission f_e égale à la fréquence d'accord f_a diminuée de la fréquence centrale f_c :

$$f_e = f_a - f_c$$

20 Il s'ensuit que la fréquence de réception f_r vaut:

$$f_r = f_a + f_p$$

L'erreur à corriger sur la fréquence est bien limitée à la fréquence de position f_p qui elle aussi évolue entre deux bornes f_{pmin} , f_{pmax} .

25 L'invention s'applique naturellement dans le cas général où le satellite comporte plusieurs émetteurs associés chacun à un lobe d'émission.

A titre d'exemple, un satellite d'une altitude de l'ordre de 1300 kms émettant à une fréquence voisine de

30 1,5 GHz produit au moyen de cinq émetteurs, cinq lobes d'émission L1, L2, L3, L4, L5 dont la projection sur la surface terrestre est schématisée dans la figure 2. Les différentes données du système de transmission figurent dans le tableau suivant:

lobe	Δf_{\min}	Δf_{\max}	f_c	$f_{p\min}$	$f_{p\max}$
L1	-30kHz	-10kHz	-20kHz	-10kHz	+10kHz
L2	-10kHz	+10kHz	0	-10kHz	+10kHz
L3	+10kHz	+30kHz	+20kHz	-10kHz	+10kHz
L4	-15kHz	-3kHz	-9kHz	-6kHz	+6kHz
L5	0	18kHz	9kHz	-9kHz	+9kHz

Dans ce cas, un récepteur qui doit fonctionner dans l'un quelconque des lobes d'émission doit corriger un décalage s'étendant de $f_{p\min}$ à $f_{p\max}$ c'est-à-dire de -10kHz à + 10kHz tandis que sans le dispositif de l'invention le décalage à corriger s'étendrait de -30kHz à + 30kHz.

Il va sans dire que l'invention présente un intérêt seulement si la fréquence centrale f_c est différente de zéro. Cependant, si cette fréquence peut être nulle, elle le sera seulement dans un lobe et il faut considérer le cas des autres lobes.

Jusqu'à présent il a été considéré que l'émetteur était dans le satellite et que le récepteur était dans un équipement terrestre. Par équipement terrestre on entend un équipement fixe ou mobile, comme un véhicule par exemple, pourvu que la vitesse de déplacement de cet équipement par rapport à la terre soit faible en comparaison de celle du satellite par rapport à la terre. Il va sans dire que la solution proposée est parfaitement symétrique et qu'elle s'applique si l'émetteur est dans l'équipement terrestre et le récepteur dans le satellite.

Selon un second mode de réalisation, le décalage de fréquence est corrigé non pas dans l'émetteur mais dans le récepteur. Le système de transmission est ainsi conçu que le récepteur connaisse la valeur de la fréquence centrale f_c du lobe d'émission dans lequel il se trouve. Connaissant naturellement la fréquence d'émission f_e du signal transmis, il calculera alors sa fréquence d'accord comme la somme de la fréquence d'émission f_e et de la fréquence centrale f_c :

$$f_a = f_e + f_c$$

Le moyen de communiquer la fréquence centrale au récepteur est à la portée de l'homme du métier et ne sera pas plus développé. On précisera simplement que la fréquence centrale d'un lobe particulier aura pu être communiquée lors
5 du séjour dans le lobe d'émission précédent ou bien qu'au début de la réception, le récepteur essaie de s'accorder avec différentes valeurs de la fréquence centrale jusqu'à ce qu'il en obtienne une qui permette l'accord.

Dans ce mode de réalisation également la solution est
10 symétrique et s'applique que l'émetteur soit dans le satellite et le récepteur dans l'équipement terrestre ou bien que la disposition soit inversée.

De plus, l'invention s'applique également dans le cas général d'une communication bidirectionnelle, c'est-à-dire
15 lorsque un équipement pourvu d'un émetteur et d'un récepteur est en communication respectivement avec un récepteur et un émetteur d'un autre équipement. L'effet Doppler affecte dans ce cas les signaux transmis par l'un et l'autre des équipements. Il faut donc prévoir un dispositif de
20 correction de décalage de fréquence pour chaque signal transmis.

Une solution avantageuse consiste à disposer les deux dispositifs de correction dans le même équipement, ce qui permet de simplifier l'autre équipement en conséquence.

25 Il a été admis jusqu'à présent que le dispositif de correction de décalage de fréquence prenait la forme d'un module unique disposé soit dans l'émetteur, soit dans le récepteur. Il s'agit là d'une simple forme de présentation et non pas de la consistance de l'invention. En effet, pour
30 les raisons les plus diverses, on peut tout à fait envisager que le dispositif de l'invention soit décomposé en deux modules complémentaires disposés le premier dans l'émetteur et le second dans le récepteur. Dans ce cas, chaque module doit se charger d'une partie de la correction de sorte que
35 la correction globale corresponde toujours à la fréquence centrale.

On prendra pour exemple la configuration suivante. L'émetteur est disposé dans l'équipement terrestre et peut appliquer comme correction maximale une fréquence de modification f_1 au moyen du premier module. On peut alors
5 décomposer la fréquence centrale f_c à corriger comme la somme de cette fréquence de modification f_1 et d'une fréquence de compensation f_2 si toutefois la fréquence centrale est supérieure à la fréquence de modification.

Le système de transmission est ainsi prévu que si la
10 fréquence centrale est inférieure à la fréquence de modification, il commande le premier module afin qu'il applique une correction égale à la fréquence centrale et, dans ce cas, le second module est inopérant. Par contre, si la fréquence centrale est supérieure à la fréquence de
15 modification, le système de transmission commande le premier module de sorte qu'il applique une correction valant la fréquence de modification et le second module afin qu'il applique une correction valant la fréquence de compensation.

Pratiquement, on peut agencer le système de
20 transmission pour qu'il requière dans tous les cas une correction égale à la fréquence centrale du premier module. Celui-ci présentant une plage de correction limitée, ne pourra, en tout état de cause appliquer une correction supérieure à la fréquence de modification. Ce point peut,
25 par exemple, faire l'objet d'une spécification ou d'une normalisation. Ainsi, le système de transmission connaissant la fréquence centrale et la fréquence de modification commandera le second module si celle-là est supérieure à celle-ci pour qu'il applique une correction valant la
30 fréquence de compensation, alors que dans le cas contraire il ne requièrera aucune correction de la part du second module.

Cet agencement donné à simple titre d'exemple établit bien qu'il est possible de répartir le dispositif de
35 correction pour partie dans l'émetteur et pour partie dans le récepteur. Cette solution peut présenter un intérêt

2102249

9

notamment si l'émetteur présente une capacité de correction limitée, ceci pour satisfaire à des contraintes d'encombrement, de coût, ou de toute autre nature.

Les réalisations de l'invention, au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit:

1. Dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif, ledit décalage de fréquence qui est la différence entre des fréquences dudit signal transmis mesurées audit récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite fréquence centrale vaut sensiblement la demi-somme de valeurs extrêmes que peut prendre ledit décalage de fréquence dans ledit lobe d'émission.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens pour accorder ledit récepteur imposent audit émetteur que la fréquence mesurée à l'émetteur qui forme une fréquence d'émission soit égale à la fréquence d'accord dudit récepteur diminuée de ladite fréquence centrale.

4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens pour accorder ledit récepteur lui imposent comme fréquence d'accord la fréquence mesurée à l'émetteur qui constitue une fréquence d'émission dudit émetteur, augmentée de ladite fréquence centrale.

5. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens pour accorder ledit récepteur se composent d'un premier module disposé dans ledit émetteur et d'un deuxième module disposé dans ledit récepteur, l'un desdits modules au moins présentant une capacité de correction inférieure à ladite fréquence centrale, ledit système de transmission étant prévu pour répartir une correction du décalage de fréquence entre ces deux modules.

6. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il est placé dans un équipement de radiocommunication mobile par satellite.

7. Module incorporé dans un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif, ledit décalage de fréquence qui est la différence entre des fréquences dudit signal transmis mesurées audit récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, le dispositif comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale, des premier et deuxième modules étant disposés respectivement dans l'émetteur et le récepteur, les moyens pour accorder ledit récepteur se composant dudit module incorporé dans le dispositif de correction, qui constitue un des premier et deuxième

modules, l'un desdits modules au moins présentant une capacité de correction inférieure à ladite fréquence centrale, ledit système de transmission étant prévu pour répartir une correction du décalage de fréquence entre ces deux modules.

8. Module selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il est placé dans un équipement de radiocommunication mobile par satellite.

10

9. Equipement pour une communication bidirectionnelle au moyen d'un signal pour chaque sens de communication comprenant pour chacun de ces signaux un dispositif de correction d'un décalage de fréquence dû à l'effet Doppler dans un système de transmission où un signal est transmis dans un lobe d'émission entre un émetteur et un récepteur en mouvement relatif, ledit décalage de fréquence qui est la différence entre des fréquences dudit signal transmis mesurées audit récepteur et audit émetteur se présentant comme la somme d'une fréquence centrale caractéristique dudit lobe d'émission et d'une fréquence de position fonction d'une position dudit récepteur dans ledit lobe d'émission, le dispositif comprenant des moyens pour accorder ledit récepteur qui présente une fréquence d'accord de sorte que cette fréquence d'accord soit égale à la somme d'une fréquence émise mesurée à l'émetteur et de ladite fréquence centrale.

20

30

FIG. 1

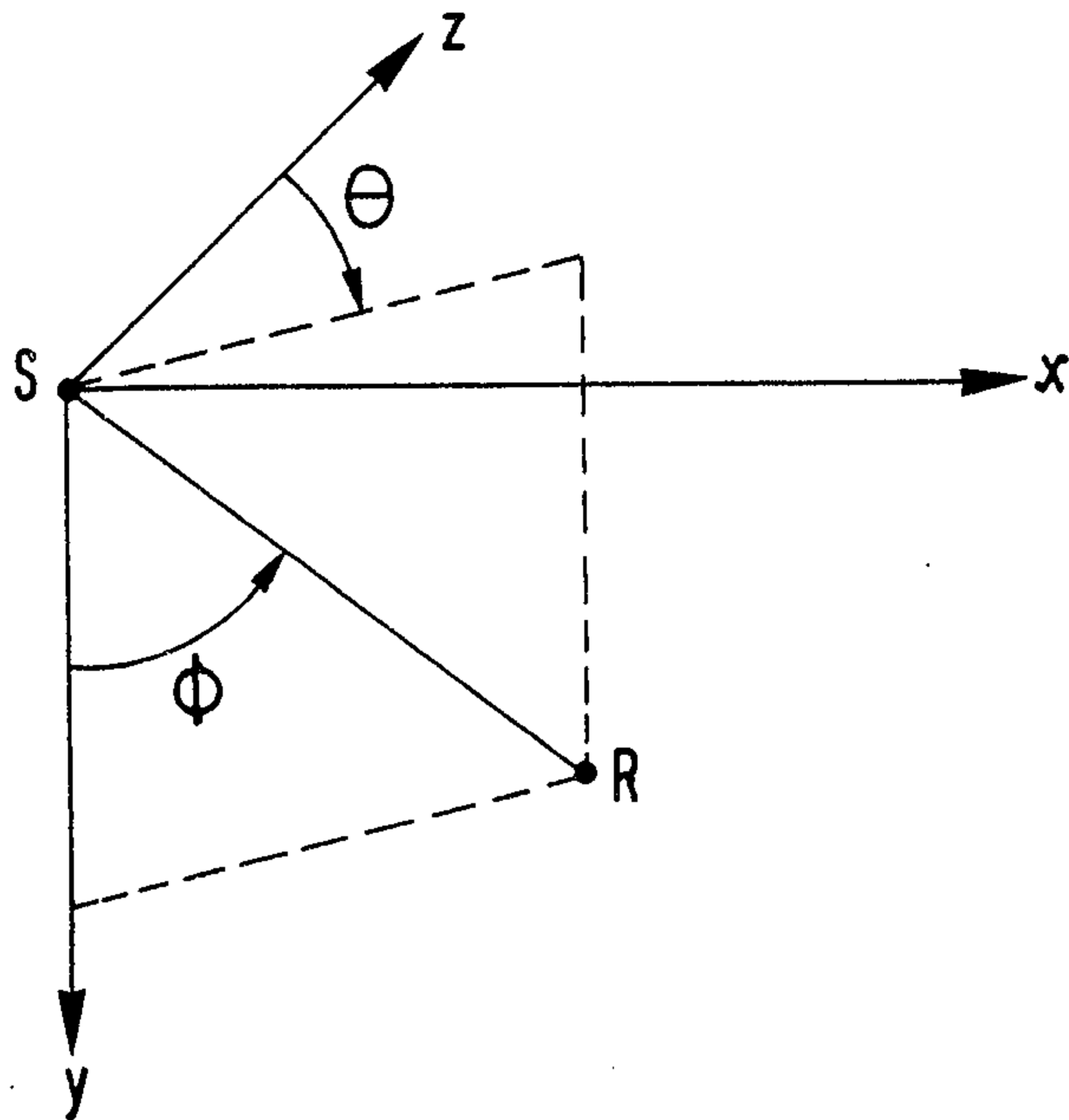


FIG. 2

