

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.06.24 Bulletin 24/26.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sment public — FR.

72 Inventeur(s) : PEKCOKGULER Naci et MORCHE
Dominique.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sment public.

74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE SPECTRE RF ET DE DÉTECTION DE SIGNAL.

57 Dispositif de surveillance de spectre RF et de détec-
tion de signal (100), comprenant :- un circuit abaisseur de
fréquence en bande de base I/Q (102) recevant un signal
RF, ayant une première sortie délivrant une composante
abaissée en fréquence en bande de base en phase, et une
deuxième sortie délivrant une composante abaissée en fré-
quence en bande de base en quadrature ; - un premier cir-
cuit de détection de signe d'amplitude (114) délivrant en
sortie un premier signal de signe d'amplitude représentatif
du signe de l'amplitude de la composante en phase ; - un
deuxième circuit de détection de signe d'amplitude (118) dé-
livrant en sortie un deuxième signal de signe d'amplitude re-
présentatif du signe de l'amplitude de la composante en
quadrature ; - un circuit de détection de signe de fréquence
(120), couplé à des sorties des circuits de détection de signe
d'amplitude, et délivrant en sortie un signal de signe de fré-
quence représentatif du signe de la différence de phase
entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude,
et ainsi du signe de fréquence du signal RF abaissé en fré-
quence en bande de base.

Figure de l'abrégé : Figure 1.



Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE SPECTRE RF ET DE DÉTECTION DE SIGNAL

Domaine technique

[0001] Cette invention concerne le domaine de la surveillance de spectre radiofréquence (RF) et de la détection de signal, avec un accent sur la faible consommation d'énergie et sans aucune information préalable sur la condition du spectre.

Art antérieur

[0002] Un spectre est une ressource qui est hautement régulée par les instances dirigeantes. Il existe des bandes de spectre libres, telles que la bande ISM (industrielle, scientifique et médicale) de 2,4 GHz avec une bande passante de 100 MHz, qui suscitent beaucoup d'intérêt. Il existe plusieurs normes de communication sans fil et de nombreuses applications industrielles utilisant cette bande ISM dans lesquelles des canaux de normes de communication complètement différentes se chevauchent. Ceci rend le spectre de cette bande (et également d'autres bandes) très complexe et la coexistence de signaux dans cette bande très difficile.

[0003] Cet encombrement augmente la nécessité de la surveillance de spectre et de la détection de signal à coexister avec l'activité d'interférence. Les signaux disponibles par liaison radio peuvent se situer n'importe où dans cette bande. Il peut s'agir de signaux de communication modulés à large bande ou de tout type de produits industriels ou commerciaux émettant de l'énergie se situant dans la bande. C'est une tâche très compliquée de surveiller un tel spectre complexe sans aucune connaissance préalable.

[0004] Un autre intérêt de la surveillance de spectre est d'identifier un signal d'intérêt par liaison radio pour faire fonctionner une radio sans fil de manière opportuniste pour faire des économies d'énergie, comme dans un réveil par radio par exemple.

[0005] Généralement, l'abaissement de fréquence et le filtrage sont des étapes de pré-traitement requises pour extraire des informations avec une consommation d'énergie minimale à partir d'une bande de fréquence donnée située à des hautes fréquences. Par conséquent, la bande passante de traitement requise peut être réduite sans aucune perte d'information.

[0006] Des abaissements de fréquence en basse IF (fréquence intermédiaire) ou haute IF peuvent être mises en œuvre dans une architecture hétérodyne. Ces options requièrent un filtrage passe-bande RF (BFP) avant l'abaissement de fréquence, qui ne soit pas centré autour de la fréquence d'oscillateur local (LO). Les filtres utilisés pour ce BFP RF peuvent être hors puce, tels que des filtres SAW, mais avec l'inconvénient

d'augmenter le coût du circuit utilisant ces filtres, et requérant une consommation d'énergie élevée et une grande superficie de puce.

[0007] En variante à des abaissments de fréquence en basse-IF ou haute-IF, un abaissement de fréquence en bande de base, ou abaissement de fréquence en zéro-IF, peut être réalisé, à savoir abaisser en fréquence autour de la composante continue ou de 0. Cet abaissement de fréquence en bande de base requiert un filtrage centré autour d'une fréquence de LO. Cette fonction de transfert de filtre peut être mise en œuvre entièrement sur puce avec une bande de base pour une transformation d'impédance RF par l'intermédiaire d'un mélangeur passif. Ceci réduit drastiquement le coût et la consommation d'énergie comparativement aux filtres SAW utilisés pour les abaissments de fréquence en basse-IF ou haute-IF. Toutefois, l'image de la bande est repliée sur elle-même et cette architecture requiert une architecture homodyne et ainsi un traitement de signal complexe pour préserver les informations en bande de base.

[0008] La détection d'énergie est l'opération de complexité et de consommation d'énergie la plus basse qui puisse être utilisée pour détecter des signaux après un abaissement de fréquence en bande de base. La détection d'énergie peut être réalisée sur le signal de bande de base pour détecter l'existence d'un signal dans une bande de fréquence. Toutefois, les informations extraites sont très limitées et l'usage est limité à des tâches de détection très simples.

Résumé de l'invention

[0009] Un objectif de la présente invention est de fournir un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal à faible consommation d'énergie qui puisse détecter des signaux dans un spectre dans diverses conditions et sans aucune information préalable sur la condition du spectre.

[0010] À cette fin, l'invention propose un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal, comprenant :

- un circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q, comprenant une entrée configurée pour recevoir un signal RF, une première sortie configurée pour délivrer une composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF, et une deuxième sortie configurée pour délivrer une composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF ;
- un premier circuit de détection de signe d'amplitude comprenant une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q, et configuré pour délivrer en sortie un premier signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase ;
- un deuxième circuit de détection de signe d'amplitude comprenant une entrée

couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q, et configuré pour délivrer en sortie un deuxième signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;

- un circuit de détection de signe de fréquence, comprenant des entrées couplées à des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude, et configuré pour délivrer en sortie un signal de signe de fréquence dont la valeur d'amplitude, ou une présence ou une absence d'oscillations dans le signal de signe de fréquence, dépend du signe de la différence de phase entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude, et est représentative du signe de fréquence d'un signal RF abaissé en fréquence en bande de base comprenant la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF et la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF.

[0011] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal proposé réalise tout d'abord un abaissement de fréquence en bande de base I/Q du signal RF tout en divisant le signal en une composante en phase et une composante en quadrature. Les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude (qui peuvent être considérés comme des signaux numériques) sont alors générés de telle manière que la valeur d'amplitude de chacun de ces signaux dépend du signe de l'amplitude des composantes abaissées en fréquence en bande de base respectivement. Enfin, un signal de signe de fréquence, qui est représentatif du signe de la différence de phase, ou du retard, entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude, est généré.

[0012] Contrairement aux signaux réels, les signaux complexes ont un spectre non symétrique. La détection du signe de fréquence d'un signal complexe tel que proposé dans l'invention détermine sur quelle moitié du spectre le signal se situe. Ainsi, une information très utile sur le contenu du spectre et l'emplacement des signaux disponibles dans le spectre est extraite de cette information. Par conséquent, une quantité bien plus importante d'informations peut être extraite sur le contenu du spectre. L'extraction de ces éléments caractéristiques est réalisée avec une information de différence de phase entre les signaux I et Q et un taux de passage par zéro de ces signaux I ou Q.

[0013] L'abaissement de fréquence en bande de base mis en œuvre par le dispositif permet de réduire la bande passante de traitement requise au minimum.

[0014] La détection du signe de fréquence d'un signal complexe tel que proposé dans l'invention est plus sûre qu'une simple détection d'énergie. En effet, si un filtre passe-bande complexe est appliqué à des signaux et qu'une simple détection d'énergie est réalisée sur les signaux filtrés, l'énergie extraite peut être supérieure à un seuil en fonction de l'atténuation du filtre et de l'intensité du signal hors bande, et une mauvaise détection peut se produire. Un signal hors bande peut se situer au niveau de

la fréquence image. Si une détection d'énergie est réalisée sur des signaux I ou Q directement sans les combiner pour obtenir le signal $S = I + jQ$, le contenu d'image sera fusionné avec le contenu souhaité. Dans ce cas, il est impossible de comprendre si le signal provient d'une fréquence positive ou négative avec une simple détection d'énergie. Si une détection d'énergie est réalisée après reconstruction du signal $S = I + jQ$, l'image peut ne pas être entièrement supprimée et peut rester dans la bande souhaitée en raison des imperfections de traitement. Il n'est pas possible d'évaluer cet effet avec une simple détection d'énergie. Un signal hors bande peut être à une fréquence différente de la fréquence image mais il peut toujours provoquer une mauvaise détection s'il a suffisamment de puissance.

[0015] La fonction de détection de signe de fréquence proposée peut atténuer ces mauvaises détections. Si le signal se situe sur le côté opposé du spectre par rapport au côté où le filtre se situe, le signe de fréquence éliminera les mauvaises détections même si la détection d'énergie identifie l'existence d'un signal.

[0016] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon l'invention peut être utilisé pour toute bande de fréquence arbitraire et/ou pour tout signal arbitraire, indépendamment des valeurs des fréquences de la bande de spectre et de la complexité des signaux à détecter. Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut être utilisé pour détecter des signaux analogiques de toute forme telle que des sinusoïdes, des ondes triangulaires, des ondes carrées, etc., qui couvre tout signal industriel ou médical, ou des signaux modulés, qui couvre les signaux de communication.

[0017] L'architecture proposée du dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut être mise en œuvre avec une faible puissance, un faible coût et une haute précision. Par ailleurs, il n'existe aucune ambiguïté dans le résultat obtenu entre la différence de phase de fréquence positive et négative.

[0018] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut être utilisé pour différents types d'applications : détection de bande vide, détection de bande occupée, FFT (transformée de Fourier rapide) grossière, démodulation (par exemple FSK), et synchronisation. Le dispositif proposé peut également être utilisé en Bluetooth pour réaliser une détection de RSSI (indication d'intensité de signal reçu) et une détection d'occupation de canal pour une génération de séquence de saut de fréquence adaptatif. Le dispositif proposé peut également être utilisé en faible énergie Bluetooth (BLE) pour détecter des paquets de notification, qui peuvent arriver avec une période de 20 ms à 10 s.

[0019] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut être utilisé à la façon d'un réveil par radio pour détecter un signal d'intérêt pour activer le récepteur radio principal. Par conséquent, il pourrait réduire drastiquement la consommation

d'énergie globale du système. Tous les dispositifs à faible puissance utilisant une communication sans fil tel qu'un internet des objets, des nœuds de capteur sans fil à faible puissance, des dispositifs portables et implantables à faible puissance, etc. peuvent bénéficier du dispositif proposé.

- [0020] Le dispositif proposé peut être utilisé dans des clés de voiture intelligentes, ce qui nécessite de détecter la voiture à proximité avec une très faible consommation d'énergie pour déverrouiller la voiture ou activer certaines autres fonctions.
- [0021] Dans un premier mode de réalisation, le circuit de détection de signe de fréquence peut comprendre une bascule D, une entrée de données de la bascule D étant couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude, et une entrée d'horloge de la bascule D étant couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude. Dans ce premier mode de réalisation, le circuit de détection de signe de fréquence délivre en sortie un signal numérique ayant une valeur 0 ou 1 selon le signe de la fréquence du signal complexe délivré en sortie par le circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q, et ainsi ne nécessite pas de circuit d'affichage additionnel. Dans cette configuration, la valeur d'amplitude du signal de signe de fréquence est représentative du signe de fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base.
- [0022] Dans une variante du premier mode de réalisation, le circuit de détection de signe de fréquence peut comprendre :
 - une bascule T, une entrée de données de la bascule T étant couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude, une entrée d'horloge de la bascule T étant couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude, et
 - un détecteur d'oscillation comprenant une entrée couplée à la sortie de la bascule T et configuré pour délivrer en sortie un signal dont la valeur dépend de l'oscillation ou non du signal délivré en sortie par la bascule T.
- [0023] Dans cette variante, la présence ou l'absence d'oscillations dans le signal de signe de fréquence est représentative du signe de fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base.
- [0024] Chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude peut comprendre l'un des éléments suivants : un amplificateur à limitation d'amplitude, un comparateur, un comparateur à bascule de Schmitt, un comparateur réglé au temps d'horloge, un circuit transconducteur couplé à un comparateur de courant.
- [0025] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre une première unité de filtrage comportant un premier filtre passe-bas et/ou un premier filtre passe-bande complexe de bande de base et comprenant au moins une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base

I/Q et une sortie couplée à l'entrée du premier circuit de détection de signe d'amplitude, et une deuxième unité de filtrage comportant un deuxième filtre passe-bas et/ou un deuxième filtre passe-bande complexe de bande de base et comprenant au moins une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q et une sortie couplée à l'entrée du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude. Par exemple, les filtres passe-bande complexes de bande de base peuvent être utilisés pour éliminer par filtrage les signaux en dehors de la bande ISM et pour éliminer par filtrage certaines parties à l'intérieur de la bande ISM. Par conséquent, il est possible de diviser la bande ISM en bandes plus petites. Par exemple, dans des conditions de spectre très encombré et compliqué, cela améliore la puissance de traitement et la précision du dispositif tout en réduisant la consommation d'énergie du dispositif puisque les circuits après les filtres passe-bande complexes de bande de base peuvent travailler avec un spectre moins complexe et nécessiteraient par conséquent une consommation d'énergie inférieure.

- [0026] Dans un deuxième mode de réalisation, le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre au moins un compteur dont une entrée est couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude, et configuré pour délivrer en sortie une fréquence moyenne du signal RF abaissé en fréquence en bande de base. Ce deuxième mode de réalisation peut permettre, grâce à la valeur obtenue de la fréquence moyenne du signal RF abaissé en fréquence en bande de base, d'éviter une mauvaise détection si un fort signal hors bande se situe du même côté que la bande d'intérêt, ou dans le cas où il existe de multiples signaux dans le spectre et où la majeure partie de la puissance se situe du même côté du spectre.
- [0027] Dans un troisième mode de réalisation, le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre :
- un calculateur de valeur moyenne comprenant une entrée couplée à la sortie du circuit de détection de signe de fréquence, et configuré pour délivrer en sortie un signal dont la valeur correspond à la moyenne du signal de signe de fréquence, et
 - un circuit de comparateur configuré pour comparer le signal délivré en sortie par le comparateur de valeur moyenne à une valeur seuil haute et/ou une valeur seuil basse.
- [0028] La comparaison de la valeur moyenne du signal de signe de fréquence à la (aux) valeur(s) seuil permet une détection de signal unique/multiple parce que la moyenne des signaux de signe de fréquence dépendra du contenu du signal sur le contenu du spectre côté positif et négatif.
- [0029] Dans un exemple de mode de réalisation, le calculateur de valeur moyenne peut comprendre un filtre passe-bas, par exemple un intégrateur.
- [0030] Dans un exemple de mode de réalisation, le circuit de comparateur peut comprendre :

- un premier comparateur de tension comprenant une première entrée couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne et une deuxième entrée configurée pour recevoir la valeur seuil haute, et
- un deuxième comparateur de tension comprenant une première entrée couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne et une deuxième entrée configurée pour recevoir la valeur seuil basse, et
- une porte OU exclusif ayant deux entrées couplées aux sorties des premier et deuxième comparateurs de tension.

[0031] Les différentes variantes décrites précédemment pour le premier mode de réalisation peuvent s'appliquer aux deuxième et/ou troisième modes de réalisation.

[0032] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre un élément de réception comprenant un amplificateur de bruit faible et/ou un filtre passe-bande RF, une entrée de l'élément de réception étant configurée pour recevoir le signal RF, et une sortie de l'élément de réception étant couplée à l'entrée du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q. Le filtre passe-bande RF permet d'améliorer l'immunité vis-à-vis des interférences et des signaux indésirables se situant en dehors de la bande d'intérêt. L'amplificateur de bruit faible améliore les performances de bruit du dispositif, et ainsi améliore la sensibilité du dispositif. Le dispositif peut également comprendre une antenne destinée à recevoir le signal RF, une entrée de l'élément de réception (ou l'entrée du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q si le dispositif ne comprend pas l'élément de réception) étant couplée à l'antenne.

[0033] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut être configuré pour détecter au moins un signal appartenant à une bande ISM de 2,4 GHz.

[0034] Le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre :

- un premier circuit de détection d'énergie comprenant une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q ;
- un premier circuit de détection de franchissement de seuil comprenant une entrée couplée à une sortie du premier circuit de détection d'énergie ;
- un deuxième circuit de détection d'énergie comprenant une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q ;
- un deuxième circuit de détection de franchissement de seuil comprenant une entrée couplée à une sortie du deuxième circuit de détection d'énergie.

[0035] Dans ce cas, le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal peut en outre comprendre :

- plusieurs premiers filtres passe-bande complexes de bande de base ayant chacun des entrées couplées aux première et deuxième sorties du circuit abaisseur de

fréquence en bande de base I/Q et une sortie couplée à une entrée de l'un parmi plusieurs premiers circuits de détection de signe d'amplitude ;

- plusieurs deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base ayant chacun des entrées couplées aux première et deuxième sorties du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q et une sortie couplée à une entrée de l'un parmi plusieurs deuxièmes circuits de détection de signe d'amplitude ;
- plusieurs premiers circuits de détection d'énergie comprenant chacun une entrée couplée à la sortie de l'un des premiers filtres passe-bande de bande de base ;
- plusieurs premiers circuits de détection de franchissement de seuil comprenant chacun une entrée couplée à une sortie de l'un des premiers circuits de détection d'énergie ;
- plusieurs deuxièmes circuits de détection d'énergie comprenant chacun une entrée couplée à la sortie de l'un des deuxièmes filtres passe-bande de bande de base ;
- plusieurs deuxièmes circuits de détection de franchissement de seuil comprenant chacun une entrée couplée à une sortie de l'un des deuxièmes circuits de détection d'énergie.

[0036] L'invention propose également un procédé de surveillance de spectre RF et de détection de signal, comprenant :

- la réception d'un signal RF ;
- l'abaissement de fréquence en bande de base I/Q du signal RF en une composante abaissée en fréquence en bande de base en phase et une composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;
- la génération d'un premier signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase, et d'un deuxième signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;
- la génération d'un signal de signe de fréquence dont la valeur d'amplitude, ou la présence ou l'absence d'oscillations dans le signal de signe de fréquence, dépend du signe de la différence de phase entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude, et est ainsi représentative du signe de fréquence d'un signal RF abaissé en fréquence en bande de base comprenant la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF et la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF.

[0037] Tout au long du texte de cette demande, le terme « couplé » peut désigner soit une connexion directe entre deux éléments, sans élément intermédiaire entre eux, soit une connexion indirecte entre ces deux éléments, à savoir une connexion formée à travers au moins un élément intermédiaire.

Brève description des dessins

[0038] La présente invention sera mieux comprise après lecture de la description de modes de réalisation donnés à titre d'exemple donnés simplement à titre informatif et aucunement limitatif en référence aux dessins joints dans lesquels :

la [Fig.1] montre schématiquement un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.2] montre des exemples de signaux de domaine temporel obtenus dans le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon le premier mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.3],

la [Fig.4],

la [Fig.5],

la [Fig.6] et

la [Fig.7] montrent différentes mises en œuvre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude du dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon l'invention ;

la [Fig.8] montre schématiquement le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.9] montre des exemples de signaux de domaine temporel obtenus dans le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon la variante du premier mode de réalisation de l'invention tel que montré sur la [Fig.8] ;

la [Fig.10] montre schématiquement un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.11] montre schématiquement un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.12] montre schématiquement un exemple de mise en œuvre d'une partie du dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon le troisième mode de réalisation de l'invention ;

la [Fig.13] montre schématiquement un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon le deuxième mode de réalisation de l'invention et comprenant plusieurs éléments optionnels ;

la [Fig.14] montre schématiquement un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal selon un quatrième mode de réalisation de l'invention.

[0039] Les parties identiques, similaires ou équivalentes des diverses figures décrites ci-dessous portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

[0040] Les différentes parties montrées sur les figures ne sont pas nécessairement montrées

à une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

[0041] Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent s'entendre comme non mutuellement exclusives et peuvent être combinées les unes avec les autres.

[0042] **Description détaillée des modes de réalisation particuliers**

[0043] Un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 selon un premier mode de réalisation est décrit ci-dessous en lien avec la [Fig.1].

[0044] Le dispositif 100 comprend un circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q 102. Le circuit 102 comprend une entrée 104 sur laquelle un signal RF est appliqué. Par exemple, le dispositif 100 peut être une partie d'un récepteur de signal RF, et l'entrée 104 peut être couplée à une antenne à partir de laquelle le signal RF est reçu, un LNA (amplificateur à faible bruit) amplifiant le signal RF reçu par l'antenne, et un BPF (filtre passe-bande) filtrant le signal RF reçu au niveau de la bande d'intérêt. Ces composantes ne sont pas montrées sur la [Fig.1]. Par exemple, le signal RF peut appartenir à une bande ISM de 2,4 GHz, et peut correspondre à un signal WLAN. Le signal RF est des signaux analogiques de toute forme telle qu'une sinusoïde, une onde triangulaire, une onde carrée, etc. tel qu'utilisé dans toute application industrielle ou médicale. Le signal RF peut également être un signal modulé, tel qu'utilisé dans les applications de communication. Pour simplifier la description de l'invention, on considère qu'un signal RF sinusoïdal est appliqué sur l'entrée 104.

[0045] L'entrée 104 est divisée en deux de telle manière que le signal RF est appliqué sur une première entrée d'un premier multiplicateur 106, ou premier mélangeur, et sur une première entrée d'un deuxième multiplicateur 108, ou deuxième mélangeur.

L'abaissement de fréquence en bande de base du signal RF est obtenu par mélange du signal RF avec un signal LO, par exemple généré à partir d'un oscillateur local (non montré sur la [Fig.1]), ayant une fréquence f_{LO} dont la valeur est égale à ou très proche de la fréquence porteuse du signal RF. Selon un exemple de mode de réalisation, le signal LO peut correspondre à un signal sinusoïdal (toutefois d'autres types de signal peuvent être utilisés). Par exemple, si le signal RF appartient à la bande ISM entre 2 400 MHz et 2 500 MHz, la fréquence f_{LO} peut être égale à 2 450 MHz pour obtenir un signal de bande de base ayant une fréquence entre -50 MHz et 50 MHz. Le signal LO est appliqué sur une deuxième entrée du premier multiplicateur 106. Le circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q 102 comprend également un déphaseur en quadrature 110 recevant sur une entrée le signal LO et délivrant en sortie le signal LO déphasé de 90° comparativement au signal LO d'origine. Le signal LO déphasé de 90° est appliqué sur une deuxième entrée du deuxième multiplicateur 108.

[0046] Les premier et deuxième multiplicateurs 106, 108 et le déphaseur en quadrature 110 peuvent être fabriqués tel que décrit dans le document C. Andrews et A. C. Molnar, "A

Passive Mixer-First Receiver With Digitally Controlled and Widely Tunable RF Interface,” dans IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 45, n° 12, pages 2696-2708, Déc. 2010, ou dans le document P. Song et H. Hashemi, “mm-Wave Mixer-First Receiver With Selective Passive Wideband Low-Pass Filtering,” dans IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, n° 5, pages 1454-1463, Mai 2021.

- [0047] Le circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q 102 comprend une première sortie, correspondant à une sortie du premier multiplicateur 106, sur laquelle une composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF est délivrée, et une deuxième sortie, correspondant à une sortie du deuxième multiplicateur 108, sur laquelle une composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF est délivrée.
- [0048] Le dispositif 100 comprend en outre une première unité de filtrage comportant, dans cet exemple, un premier filtre passe-bas 112 comprenant une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q 102 et une sortie couplée à l'entrée d'un premier circuit de détection de signe d'amplitude 114. Le dispositif 100 comprend également une deuxième unité de filtrage comportant, dans cet exemple, un deuxième filtre passe-bas 116 comprenant une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q 102 et une sortie couplée à l'entrée du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118. Le signal délivré en sortie par le premier filtre passe-bas 112 (à savoir le signal délivré en sortie par la première unité de filtrage) est appelé signal I sur la [Fig.1], et le signal délivré en sortie par le deuxième filtre passe-bas 116 (à savoir le signal délivré en sortie par la deuxième unité de filtrage) est appelé signal Q sur la [Fig.1]. Les premier et deuxièmes filtres passe-bas 112, 116 peuvent avoir des fréquences de coupure égales à 50 MHz lorsque la fréquence de bande de base est entre -50 MHz et 50 MHz.
- [0049] Les composantes abaissées en fréquence en bande de base en phase et en quadrature du signal RF délivré en sortie par les premier et deuxième multiplicateurs 106, 108, et ainsi également les signaux I et Q , ont la même fréquence puisque ce sont une partie réelle et imaginaire du même signal.
- [0050] Le premier circuit de détection de signe d'amplitude 114 est configuré pour délivrer en sortie un premier signal numérique de signe d'amplitude dont la valeur dépend du signe de l'amplitude du signal I . Sur la [Fig.1], le signal délivré en sortie par le premier circuit de détection de signe d'amplitude 114 est appelé I_{sign} . Le deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118 est configuré pour délivrer en sortie un deuxième signal numérique de signe d'amplitude dont la valeur dépend du signe de l'amplitude du signal Q . Sur la [Fig.1], le signal délivré en sortie par le premier circuit de détection de signe d'amplitude 118 est appelé Q_{sign} .
- [0051] Le dispositif 100 comprend en outre un circuit de détection de signe de fréquence

120, comprenant des entrées couplées à des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118, et configuré pour délivrer en sortie un signal de signe de fréquence (appelé *Freq. Sign* sur la [Fig.1]) dont la valeur dépend du signe de la différence de phase entre les premier et deuxième signaux numériques de signe d'amplitude I_{sign} et Q_{sign} . Par exemple, dans le premier mode de réalisation décrit ici, le circuit de détection de signe de fréquence 120 correspond à une bascule D ayant une entrée de données couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 (couplée à la sortie du premier circuit de détection de signe d'amplitude 114 dans l'exemple montré sur la [Fig.1]), et une entrée d'horloge couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 (couplée à la sortie du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118 dans l'exemple montré sur la [Fig.1]).

[0052] La [Fig.2] montre des exemples de signaux de domaine temporel obtenus dans le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 montré sur la [Fig.1]. Les signaux montrés dans la partie gauche de la [Fig.2] sont obtenus lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est positive, et les signaux montrés dans la partie droite de la [Fig.2] sont obtenus lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est négative. Afin de simplifier la description, les signaux I et Q sont considérés comme correspondant à des sinusoïdes. Ainsi, lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est positive, l'instant du passage par zéro dans une direction de front montant du signal I est survenu avant l'instant du passage par zéro dans une direction de front montant du signal Q . À l'inverse, lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est négative, l'instant du passage par zéro dans une direction de front montant du signal I est survenu après l'instant du passage par zéro dans une direction de front montant du signal Q .

[0053] Des circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 convertissent des sinusoïdes modulées en ondes carrées qui changent de valeurs à des instants correspondant à des instants de passage par zéro des sinusoïdes. Le circuit de détection de signe de fréquence 120, qui correspond à une bascule D dans l'exemple de mode de réalisation montré sur la [Fig.1], échantillonne l'amplitude de I_{sign} à l'instant de front montant Q_{sign} pour détecter le signe de fréquence du signal RF. Ainsi, le circuit de détection de signe de fréquence 120 délivre en sortie un signal « 1 » lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est positive, et il délivre en sortie un signal « 0 » lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est négative.

[0054] Dans le dispositif 100 montré sur la [Fig.1], si la fréquence à détecter est positive, le signal I est en avance sur le signal Q de 90 degrés. Si la fréquence est négative, le signal Q est en avance sur le signal I de 90 degrés. Si l'amplitude du signal I est

positive à un instant de passage par zéro du signal Q dans la direction de front montant, cela signifie que la fréquence détectée est positive. Si l'amplitude du signal I est négative à un instant de passage par zéro du signal Q dans la direction de front montant, cela signifie que la fréquence détectée est négative.

[0055] Ce principe peut être étendu à l'instant du passage par zéro dans une direction de front descendant. Si l'amplitude du signal I est positive à un instant de passage par zéro du signal Q dans la direction de front descendant, cela signifie que la fréquence détectée est négative. Si l'amplitude du signal I est négative à un instant de passage par zéro du signal Q dans la direction de front descendant, cela signifie que la fréquence est positive. À titre de variante, le dispositif 100 peut être fabriqué de telle manière qu'il utilise ces propriétés, par exemple en utilisant une bascule D déclenchée par front négatif en tant que circuit de détection de signe de fréquence 120.

[0056] En variante, ce principe peut être étendu et basé sur des instants de passage par zéro de signal I . Par exemple, si l'amplitude du signal Q est positive à l'instant de passage par zéro du signal I dans la direction de front montant, cela signifie que la fréquence détectée est négative. Si l'amplitude du signal Q est négative à l'instant de passage par zéro du signal I dans la direction de front montant, cela signifie que la fréquence détectée est positive. Si l'amplitude du signal Q est positive à l'instant de passage par zéro du signal I dans la direction de front descendant, cela signifie que la fréquence détectée est positive. Si l'amplitude du signal Q est négative à l'instant de passage par zéro du signal I dans la direction de front descendant, cela signifie que la fréquence détectée est négative. Dans ces configurations, le signal Q_{sign} est appliqué sur l'entrée de données et le signal I_{sign} est appliqué sur l'entrée d'horloge de la bascule D (qui peut être déclenchée par front positif ou négatif).

[0057] Différentes mises en œuvre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 sont décrites ci-dessous.

[0058] Tel que montré sur la [Fig.3], chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 peut correspondre à un amplificateur à limitation d'amplitude formé par un amplificateur différentiel recevant sur son entrée inverseuse le signal I ou Q à travers une résistance R . L'entrée non inverseuse de chacun des amplificateurs à limitation d'amplitude est couplée à une tension de référence, par exemple la terre. La sortie de chacun des amplificateurs à limitation d'amplitude est couplée à son entrée inverseuse à travers deux diodes Zener connectées l'une à l'autre en série mais inversées l'une par rapport à l'autre.

[0059] En variante, tel que montré sur la [Fig.4], chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 peut correspondre à un comparateur recevant sur son entrée non inverseuse le signal I ou Q . L'entrée non inverseuse de chacun des comparateurs est couplée à une tension de référence, par exemple la terre. Un avantage

de cette configuration est que les comparateurs sont plus faciles à concevoir dans une technologie CMOS puisqu'elle ne nécessite pas de diode ou de circuit de rétroaction. Elle peut également permettre d'obtenir des vitesses supérieures.

- [0060] En variante, tel que montré sur la [Fig.5], chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 peut correspondre à un comparateur à bascule de Schmitt recevant sur son entrée non inverseuse le signal I ou Q . L'entrée non inverseuse de chacun des comparateurs à bascule de Schmitt est couplée à une tension de référence, par exemple la terre. Un avantage de cette configuration est que le comparateur à bascule de Schmitt améliore une immunité au bruit du circuit.
- [0061] En variante, tel que montré sur la [Fig.6], chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 peut correspondre à un comparateur réglé au temps d'horloge recevant sur son entrée non inverseuse le signal I ou Q . L'entrée non inverseuse de chacun des comparateurs réglés au temps d'horloge est couplée à une tension de référence, par exemple la terre. Le même signal d'horloge est appliqué sur l'entrée d'horloge des deux comparateurs réglés au temps d'horloge. Un avantage de cette configuration est que les comparateurs réglés au temps d'horloge sont plus rapides et ont une meilleure sensibilité que les comparateurs à temps continu. Cette architecture peut être utilisée avec un rapport de suréchantillonnage suffisamment élevé qui serait déterminé par le contenu à la plus haute fréquence.
- [0062] En variante, tel que montré sur la [Fig.7], chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 peut correspondre à un circuit transconducteur couplé à un comparateur de courant. Les signaux I et Q sont appliqués sur les entrées non inverseuses des circuits transconducteurs. L'entrée inverseuse de chacun des circuits transconducteurs est couplée à une tension de référence, par exemple la terre. Les sorties des circuits transconducteurs sont couplées aux entrées des comparateurs de courant, et les signaux I_{sign} et Q_{sign} sont délivrés sur les sorties des comparateurs de courant. Cette configuration est avantageusement utilisée pour les applications à haute fréquence et peut améliorer la performance pour les signaux de haute fréquence.
- [0063] Les différentes mises en œuvre précédemment divulguées en lien avec les Figs. 3 à 7 peuvent être combinées de telle manière que l'un des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 est fabriqué conformément à l'une de ces mises en œuvre et que l'autre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 est fabriqué conformément à une autre de ces mises en œuvre.
- [0064] Une variante du dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 selon le premier mode de réalisation est décrite ci-dessous en lien avec la [Fig.8].
- [0065] Comparativement au dispositif 100 décrit précédemment en lien avec la [Fig.1], le circuit de détection de signe de fréquence 120 du dispositif 100 montré sur la [Fig.8] comprend une bascule T. Une entrée de données de la bascule T est couplée à l'une des

sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 (couplée à la sortie du premier circuit de détection de signe d'amplitude 114 dans l'exemple montré sur la [Fig.8]), et une entrée d'horloge de la bascule T est couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 (couplée à la sortie du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118 dans l'exemple montré sur la [Fig.8]). Le circuit de détection de signe de fréquence 120 du dispositif 100 montré sur la [Fig.8] comprend en outre un détecteur d'oscillation comprenant une entrée couplée à la sortie de la bascule T et configuré pour délivrer en sortie un signal dont la valeur dépend de l'oscillation ou non du signal délivré en sortie par la bascule T.

[0066] La [Fig.9] montre des exemples de signaux de domaine temporel obtenus dans le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 montré sur la [Fig.8]. Les signaux montrés dans la partie gauche de la [Fig.9] sont obtenus lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est positive, et les signaux montrés dans la partie droite de la [Fig.9] sont obtenus lorsque la fréquence du signal RF abaissé en fréquence en bande de base est négative. Les signaux I , Q , I_{sign} et Q_{sign} sont similaires à ceux décrits précédemment en lien avec la [Fig.2]. La valeur du signal délivré en sortie par la bascule T est inversée lorsque la valeur appliquée sur l'entrée de données est 1 au niveau du front montant d'horloge, et la valeur du signal délivré en sortie par la bascule T est préservée lorsque la valeur appliquée sur l'entrée de données est 0 au niveau du front montant d'horloge. Par conséquent, la valeur du signal délivré en sortie par la bascule T oscille à la moitié de la fréquence du signal appliqué sur l'entrée d'horloge lorsque la fréquence du signal détecté appliqué est positive et elle sera soit la constante 0 ou 1 lorsque la fréquence du signal détecté est négative. Le détecteur d'oscillation est utilisé pour générer des sorties numériques 0 et 1. Optionnellement, la sortie de bascule T oscillante peut être utilisée comme un déclencheur d'autres opérations dans le dispositif 100.

[0067] Les différentes mises en œuvre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 décrits précédemment peuvent être appliquées pour le dispositif 100 montré sur la [Fig.8].

[0068] Un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 selon un deuxième mode de réalisation est décrit ci-dessous en lien avec la [Fig.10].

[0069] Comparativement au dispositif 100 selon le premier mode de réalisation, le dispositif 100 selon le deuxième mode de réalisation comprend une première unité de filtrage comportant, dans l'exemple décrit ici, le premier filtre passe-bas 112 et un premier filtre passe-bande complexe de bande de base 140 connectés l'un à l'autre en série. La sortie du premier multiplicateur 106 est couplée à l'entrée du premier filtre passe-bas 112. La sortie du premier filtre passe-bas 112 est couplée à l'entrée du premier filtre

passer-bande complexe de bande de base 140. La sortie du premier filtre passer-bande complexe de bande de base 140 est couplée à l'entrée du premier circuit de détection de signe d'amplitude 114.

- [0070] Le dispositif 100 comprend également une deuxième unité de filtrage comportant, dans l'exemple décrit ici, le deuxième filtre passer-bas 116 et un deuxième filtre passer-bande complexe de bande de base 142 connectés l'un à l'autre en série. La sortie du deuxième multiplicateur 108 est couplée à l'entrée du deuxième filtre passer-bas 116. La sortie du deuxième filtre passer-bas 116 est couplée à l'entrée du deuxième filtre passer-bande complexe de bande de base 142. La sortie du deuxième filtre passer-bande complexe de bande de base 142 est couplée à l'entrée du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118.
- [0071] Sur la [Fig.10], des filtres 140, 142 sont montrés comme étant interconnectés pour illustrer que chacun des filtres 140, 142 reçoit, sur les entrées, les sorties du stade précédent, à savoir ici les sorties des premier et deuxièmes filtres passer-bas 112, 116.
- [0072] Le dispositif 100 comprend en outre un compteur 122 dont une entrée est couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 (couplée à la sortie du premier circuit de détection de signe d'amplitude 114 dans l'exemple montré sur la [Fig.10]). Le compteur 122 peut compter, pendant une période de temps prédéterminée, le nombre de front montant du signal I_{sign} ou Q_{sign} , et est configuré pour délivrer en sortie une fréquence moyenne du signal RF abaissé en fréquence en bande de base, obtenu par normalisation de la valeur du compteur avec la période de temps prédéterminée, qui donnera le taux de passage par zéro, donc la fréquence moyenne.
- [0073] Dans ce deuxième mode de réalisation, le dispositif 100 réalise, outre la fonction de détection de fréquence, une extraction de fréquence moyenne. En effet, un taux de passage par zéro d'un signal unique correspond à la fréquence centrale de ce signal. Un taux de passage par zéro de multiples signaux correspond à la moyenne de fréquences centrales de signal pondérées selon leurs niveaux de puissance. Si un fort signal hors bande se situe du même côté que la bande d'intérêt, ou dans le cas où de multiples signaux existent dans le spectre et la majeure partie de la puissance se situe du même côté du spectre que le filtre, utiliser seulement les éléments caractéristiques de détection d'énergie et de signe de fréquence permet seulement de détecter l'existence d'un signal et l'emplacement de la majeure partie de la puissance du signal existant (du côté positif ou négatif du spectre). Avec l'extraction de fréquence moyenne réalisée dans ce deuxième mode de réalisation, si la fréquence moyenne, appelée f_{avg} , n'est pas proche de la fréquence centrale du spectre obtenu au niveau de la sortie des unités de filtrage, à savoir le filtre passer-bas 112 ou 116 dans l'exemple décrit ici, le signal détecté sera identifié correctement comme un brouilleur. Si f_{avg} est proche de la

fréquence centrale du spectre obtenu au niveau de la sortie des unités de filtrage, le signal détecté sera identifié correctement comme appartenant à la bande d'intérêt.

[0074] Les différentes mises en œuvre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 et du circuit de détection de signe de fréquence 120 décrit précédemment peuvent être appliquées pour le dispositif 100 selon le deuxième mode de réalisation.

[0075] Lorsqu'une sinusoïde unique ou un signal modulé unique existe dans le spectre, on s'attend à ce qu'un élément caractéristique de signe de fréquence soit robuste et une constante 0 ou 1 en fonction du signe de la fréquence. Toutefois, lorsque de multiples signaux existent sur un côté opposé du spectre, un élément caractéristique de signe de fréquence fluctuera entre 0 et 1 en fonction des fréquences centrales de signal et des puissances de signal. Par conséquent, l'existence d'un signal unique et multiple peut être distinguée par observation de l'activité sur la sortie de l'élément caractéristique de signe de fréquence. Cette information additionnelle peut être utilisée pour analyser la complexité (encombrement) du spectre.

[0076] Un dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal 100 selon un troisième mode de réalisation est décrit ci-dessous en lien avec la [Fig.11].

[0077] Pour faire la distinction entre l'existence d'un signal unique et multiple, le dispositif 100 selon le troisième mode de réalisation comprend en outre :

- un calculateur de valeur moyenne 124 comprenant une entrée couplée à la sortie du circuit de détection de signe de fréquence 120, et configuré pour délivrer en sortie un signal analogique dont la valeur correspond à la moyenne du signal de signe de fréquence *Freq. Sign* ;

- un circuit de comparateur 126 configuré pour comparer le signal délivré en sortie par le comparateur de valeur moyenne 124 à une valeur seuil haute et/ou une valeur seuil basse ;

[0078] Dans ce troisième mode de réalisation, la moyenne du signal de signe de fréquence *Freq. Sign* dépendra du contenu du signal sur le contenu du spectre côté positif et négatif. L'existence d'un signal unique et multiple est alors détectée par comparaison de cette valeur moyenne aux valeurs seuils hautes et/ou basses déterminées. Ainsi le dispositif 100 selon le troisième mode de réalisation peut être utilisé pour identifier l'existence d'un signal multiple et peut être configuré dans un mode de traitement plus puissant pour résoudre les détections erronées en cas d'existence de signal multiple.

[0079] La [Fig.12] montre un exemple de mise en œuvre du calculateur de valeur moyenne 124 et du circuit de comparateur 126. Dans cet exemple, le calculateur de valeur moyenne 124 comprend un intégrateur, et le circuit de comparateur 126 comprend :

- un premier comparateur de tension 128 comprenant une première entrée (entrée inverseuse sur la [Fig.12]) couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne 124 et

une deuxième entrée (entrée non inverseuse sur la [Fig.12]) sur laquelle une valeur seuil haute $V_{th,H}$ est appliquée, et

- un deuxième comparateur de tension 130 comprenant une première entrée (entrée non inverseuse sur la [Fig.12]) couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne 124 et une deuxième entrée (entrée inverseuse sur la [Fig.12]) sur laquelle une valeur seuil basse $V_{th,L}$ est appliquée, et
- une porte OU exclusif 132 ayant deux entrées couplées aux sorties des premier et deuxième comparateurs de tension 128, 130.

[0080] Dans cette configuration, l'intégrateur calcule la moyenne du signal de signe de fréquence *Freq. Sign*, appelée $avg(f.sign)$ sur la [Fig.12]. Lorsque des signaux existent sur un seul côté du spectre surveillé, ce signal moyen $avg(f.sign)$ est en dessous de $V_{th,L}$ ou au-dessus de $V_{th,H}$ et la valeur de sortie délivrée par la porte OU exclusif 132 sera 1. Lorsque des signaux existent sur les deux côtés du spectre surveillé, le signal moyen $avg(f.sign)$ sera entre les seuils et la valeur de sortie délivrée par la porte OU exclusif 132 sera 0.

[0081] Les différentes mises en œuvre des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude 114, 118 et du circuit de détection de signe de fréquence 120 décrit précédemment peuvent être appliquées pour le dispositif 100 selon le troisième mode de réalisation. De plus, le dispositif 100 selon le troisième mode de réalisation peut comprendre le compteur 122 tel que divulgué précédemment dans le deuxième mode de réalisation.

[0082] La [Fig.13] montre un exemple du dispositif 100 selon le deuxième mode de réalisation, dans une configuration comprenant plusieurs éléments optionnels additionnels.

[0083] Un premier élément optionnel additionnel du dispositif 100 est une antenne 134 à travers laquelle le signal RF est reçu.

[0084] Le dispositif 100 comprend également un filtre passe-bande RF 136 dont une entrée est couplée à l'antenne 134. Le filtre 136 filtre le signal RF reçu au niveau de la bande d'intérêt.

[0085] Un autre élément optionnel du dispositif 100 est un LNA (amplificateur de bruit faible) 138 ayant une entrée couplée à une sortie du filtre 136 et une sortie couplée aux premières entrées des premier et deuxième multiplicateurs 106, 108.

[0086] Dans la configuration montrée sur la [Fig.13], le dispositif 100 comprend le filtre passe-bande RF 136 et le LNA 138, l'entrée du filtre passe-bande 136 étant couplée à l'antenne 134, la sortie du filtre passe bande 136 étant couplée à l'entrée du LNA 138, et la sortie du LNA 138 étant couplée aux premières entrées des premier et deuxième multiplicateurs 106, 108.

[0087] Dans une variante, le dispositif 100 peut comprendre le filtre passe-bande RF 136

sans le LNA 138 (à savoir avec la sortie du filtre 136 directement couplée aux premières entrées des premier et deuxième multiplicateurs 106, 108). Dans une autre variante, le dispositif 100 peut comprendre le LNA 138 sans le filtre passe-bande RF 136 (à savoir avec l'entrée du LNA 138 directement couplée à l'antenne 134). Dans une autre variante, le dispositif 100 peut comprendre le LNA 138 ayant son entrée couplée à l'antenne 134 et sa sortie couplée à l'entrée du filtre passe-bande RF 136. Dans une autre variante, le dispositif 100 peut ne comprendre ni le filtre passe-bande RF 136 ni le LNA 138 (l'antenne 134 étant directement couplée aux premières entrées des premier et deuxième multiplicateurs 106, 108).

[0088] Le dispositif 100 montré sur la [Fig.13] comprend une première unité de filtrage comportant, outre le premier filtre passe-bas 112, un premier filtre passe-bande complexe de bande de base 140 dont une entrée est couplée à la sortie du premier filtre passe-bas 112. Le signal délivré en sortie par le premier filtre passe-bas est appelé signal BB_i . La sortie du premier filtre passe-bande complexe de bande de base 140 est couplée à l'entrée du premier circuit de détection de signe d'amplitude 114. Le dispositif 100 comprend également une deuxième unité de filtrage comportant, outre le deuxième filtre passe-bas 116, un deuxième filtre passe-bande complexe de bande de base 142 dont une entrée est couplée à la sortie du deuxième filtre passe-bas 116. Le signal délivré en sortie par le deuxième filtre passe-bas est appelé signal BB_o . La sortie du deuxième filtre passe-bande complexe de bande de base 142 est couplée à l'entrée du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 118. Les premier et deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base 140, 142 permettent au traitement de se concentrer sur une petite partie du signal de bande de base avant les opérations réalisées par le premier et le deuxième circuit de détection de signe d'amplitude 114, 118.

[0089] La [Fig.14] montre un exemple du dispositif 100 selon un quatrième mode de réalisation. Comparativement aux modes de réalisation précédents, le dispositif 100 selon ce quatrième mode de réalisation comprend plusieurs éléments additionnels afin de déterminer plusieurs autres informations concernant le signal RF reçu par le dispositif 100.

[0090] Tel que divulgué précédemment, le dispositif 100 comprend les éléments 134, 136, 138, 106, 108, 110, 112 et 118. Toutefois, dans des variantes de modes de réalisation, le dispositif 100 peut comprendre seulement une partie des éléments.

Les signaux obtenus au niveau des sorties des filtres passe-bas 112, 116 sont appliqués sur les entrées d'un premier bloc 200 qui comprend au moins les circuits 114, 118 et 120 correspondant à ceux décrits précédemment pour les autres modes de réalisation. Dans l'exemple montré sur la [Fig.14], le premier bloc 200 comprend également le compteur 122. Le premier bloc 200 peut également comprendre les

circuits 124, 126 décrits précédemment.

- [0091] Outre la détection du signe de fréquence du signal complexe et la détermination de la fréquence moyenne du signal RF abaissé en fréquence en bande de base réalisée par le bloc 200 (et également l'identification de l'existence d'un signal multiple si le premier bloc 200 comprend les circuits 124, 126), le dispositif 100 comprend un bloc 202 réalisant une détection d'énergie dans la bande abaissée en fréquence, et ainsi dans la bande RF.
- [0092] Pour réaliser cette détection d'énergie, le bloc 202 comprend un premier circuit de détection d'énergie 204. Ce premier circuit 204 est non linéaire. Dans l'exemple de la [Fig.14], le premier circuit 204 comporte un circuit 206 pour calculer le carré ou la valeur absolue du (des) signal (signaux) présent(s) dans la bande étudiée. Un tel circuit 206 pour calculer la valeur absolue du carré du (des) signal (signaux) comprend par exemple un redresseur qui laisse seulement passer les signaux positifs ou un circuit redresseur basé sur des diodes ou un circuit calculant la valeur absolue du signal. Le calcul du carré du (des) signal (signaux) peut être réalisé en utilisant un mélangeur ou un circuit différentiel tel que décrit par exemple dans le document "Performance of a Simple Architecture of an Analog CMOS Detector for MB-UWB Receiver" par M Mroue et al., IEEE ICUWB, Sep 2009, Vancouver, Canada. Pages 107-112. En variante, le circuit 206 peut correspondre à un circuit détecteur d'enveloppe.
- [0093] Le premier circuit 204 comprend également, dans l'exemple de la [Fig.14], un filtre passe-bas 208 utilisé pour stabiliser le signal délivré en sortie par le circuit 206 en moyennant l'énergie de ce signal sur une certaine période. La fréquence de coupure de ce filtre 208 est avantageusement choisie de telle manière qu'elle n'est ni trop basse (ce qui permet d'avoir une précision d'énergie satisfaisante mais, en revanche, une longue durée de mesure) ni trop haute (mesure rapide mais inexacte). À titre d'exemple, la fréquence de coupure du filtre passe-bas 208 peut être entre la valeur de la bande passante du signal et 1/5 de cette valeur. Un tel filtre passe-bas 208 comprend par exemple une source de courant couplée à un condensateur.
- [0094] Cette détection d'énergie peut être répétée jusqu'à ce qu'une énergie non nulle soit détectée dans la bande de fréquence RF, ce qui signifie qu'au moins un signal est présent dans la bande de fréquence RF dans laquelle la détection est réalisée. En l'absence de détection d'énergie, le taux avec lequel le premier circuit 204 réalise la détection d'énergie et/ou la durée pendant laquelle chaque détection d'énergie est réalisée par le premier circuit 204 peut être ajusté(e) selon les caractéristiques d'un ou plusieurs signaux recherchés et/ou un taux d'occupation de la bande de fréquence RF.
- [0095] Entre deux détections d'énergie consécutives, le dispositif 100 peut être placé dans un état de fonctionnement réduit, ou en attente, dans lequel certains circuits du dispositif 100 ne sont pas alimentés, ce qui permet de réduire la consommation

électrique du dispositif 100.

- [0096] La fréquence du signal représentant l'énergie du signal RF est également déterminée. Pour ceci, le signal obtenu au niveau de la sortie du premier circuit 204 est appliqué sur l'entrée d'un premier filtre passe-haut 210 qui permet de supprimer la composante CC du (des) signal (signaux) présent(s) dans la bande de fréquence. Le signal obtenu au niveau de la sortie du premier filtre passe-haut 210 est appliqué à l'entrée d'un circuit de détection de franchissement de seuil 212. Ce circuit 212 compte, pendant une période donnée, le nombre de fois que le signal d'entrée franchit une valeur seuil qui correspond par exemple à 0 (avec dans ce cas le circuit 212 qui correspond à un détecteur ZCR (« passage par zéro »)). La valeur obtenue au niveau de la sortie de circuit 212 permettra de déterminer la fréquence moyenne de l'énergie du signal reçu.
- [0097] Lorsqu'un ou plusieurs signaux sont détectés dans la bande de fréquence, les étapes de détection d'énergie peuvent être répétées de façon à définir l'évolution de l'énergie du (des) signal (signaux) RF détecté(s) en fonction du temps.
- [0098] Dans le mode de réalisation donné à titre d'exemple montré sur la [Fig.14], le dispositif 100 comprend en outre des circuits pour déterminer d'autres éléments caractéristiques du (des) signal (signaux) détecté(s) :
- un circuit 214 déterminant, à partir du signal obtenu au niveau de la sortie du premier circuit 204, le temps d'établissement du (des) signal (signaux) détecté(s). À titre d'exemple, pour mesurer le temps de réglage, le circuit 214 peut réaliser une comparaison entre deux différentes intégrations de l'énergie détectée obtenue en utilisant différentes fréquences de coupure dans le filtre passe-bas 208 du circuit de détection d'énergie 204. Le temps de réglage est alors déterminé par détection du passage des deux fonctions obtenues, ou par échantillonnage de plusieurs valeurs obtenues au niveau de la sortie des deux intégrations ;
 - un détecteur de valeur de crête 216 recevant en tant qu'entrée les signaux délivrés en sortie par le premier filtre passe-haut 210. Ce détecteur de crête 216 comprend par exemple un circuit intégrateur ;
 - un circuit 218 déterminant, à partir d'un signal délivré en sortie par le détecteur 216, l'amplitude maximale du (des) signal (signaux) ;
 - un circuit 220 déterminant, à partir d'un signal délivré en sortie par le circuit 218, la bande passante du (des) signal (signaux).
- [0099] D'autres éléments caractéristiques du (des) signal (signaux) détecté(s) peuvent être déterminés, comme par exemple la pente initiale de l'énergie et/ou la valeur après établissement de l'énergie et/ou l'écart-type après établissement de ce ou ces signaux.
- [0100] Les différents éléments caractéristiques déterminés par le bloc 202 sont obtenus à partir du signal BB_i . Le dispositif 100 comprend également un deuxième bloc 222 comprenant des circuits similaires à ceux du bloc 202, mais recevant en tant qu'entrée

le signal BB_Q . Les opérations décrites précédemment réalisées par le bloc 202 sont ainsi également réalisées par le bloc 222 sur le signal BB_Q .

- [0101] Dans le dispositif 100 décrit en lien avec la [Fig.14], la détermination des éléments caractéristiques de signal est réalisée simultanément pour la bande de fréquence RF entière par les circuits des blocs 200, 202 et 222 décrits précédemment, et également pour une ou plusieurs sous-bandes du spectre RF afin d'affiner la caractérisation du (des) signal (signaux) présent(s) dans la bande de fréquence RF. Pour ceci, la détection et la caractérisation est réalisée dans une ou plusieurs sous-bandes de fréquence par d'autres éléments similaires à ceux décrits précédemment pour les blocs 200, 202 et 222, et qui forment une ou N autres chaînes de détection, N étant un nombre entier supérieur ou égal à 2.
- [0102] Ainsi le dispositif 100 comprend un ou plusieurs premiers filtres passe-bande complexes de bande de base 140_1 - 140_N et un ou plusieurs deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base 142_1 - 142_N recevant en tant qu'entrées les signaux BB_I et BB_Q , chaque chaîne de détection comprenant l'un de ces premiers filtres passe-bande complexes de bande de base 140_1 - 140_N et l'un de ces deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base 142_1 - 142_N . La sortie de chacun des filtres 140_1 - 140_N et des filtres 142_1 - 142_N est couplée à l'entrée d'un bloc 200_1 - 200_N , par exemple identique au bloc 200 décrit précédemment. La sortie de chacun des premiers filtres 140_1 - 140_N est également couplée à l'entrée d'un bloc 202_1 - 202_N , par exemple identique au bloc 202 décrit précédemment, et la sortie de chacun des deuxièmes filtres 142_1 - 142_N est également couplée à l'entrée d'un bloc 222_1 - 222_N , par exemple identique au bloc 222 décrit précédemment.
- [0103] Ainsi chaque chaîne de détection comprenant l'un des premiers filtres passe-bande complexes de bande de base 140_1 - 140_N et l'un des deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base 142_1 - 142_N permet de déterminer les éléments caractéristiques du signal tel qu'expliqué précédemment pour les blocs 200, 202, 222, mais pour les différentes sous-bandes définies par les filtres 140_1 - 140_N et 142_1 - 142_N .
- [0104] D'autres éléments caractéristiques du (des) signal (signaux) RF présent(s) dans les sous-bandes RF peuvent être déterminés, tels que la pente initiale de l'énergie et/ou la valeur après établissement de l'énergie et/ou l'écart-type après établissement de ce ou ces signaux.
- [0105] En fonction des informations obtenues avec les éléments décrits précédemment du dispositif 100 et des informations recherchées, plusieurs étapes additionnelles peuvent être mises en œuvre par le dispositif 100, correspondant à plusieurs modes de fonctionnement du dispositif 100, afin de compléter ces étapes précédentes et d'affiner la détection et l'identification des signaux présents dans le spectre RF.
- [0106] Dans un premier mode de fonctionnement, si l'information obtenue précédemment

est suffisante, il est possible de réaliser une classification et/ou un comptage des signaux identifiés précédemment. La classification est réalisée à partir des éléments caractéristiques des signaux qui ont été déterminés. La classification qui est réalisée peut correspondre par exemple à une classification des signaux détectés selon leur type (WiFi, Bluetooth, Micro-ondes, etc.), leur norme (802.11b, 802.11 g, etc.), leur bande passante, leur vitesse, etc. Pour pouvoir obtenir une classification des signaux, le dispositif 100 peut mettre en œuvre des algorithmes déterministes ou un traitement de données du type intelligence artificielle tel qu'un apprentissage automatique.

- [0107] Dans un deuxième mode de fonctionnement, les étapes mises en œuvre précédemment peuvent être répétées dans une ou plusieurs autres sous-bandes du spectre RF comprenant un ou plusieurs signaux souhaités.
- [0108] Dans un troisième mode, il est possible de répéter les étapes mises en œuvre précédemment en masquant un ou plusieurs signaux indésirables dans le spectre, lorsque de tels signaux indésirables ont été identifiés précédemment. Pour ceci, il est possible de choisir les instants de mise en œuvre des étapes d'identification de fréquence de façon à éviter la présence de ce ou ces signaux indésirables dans le spectre analysé et/ou à annuler ce ou ces signaux précédemment identifiés dans le spectre analysé (par l'intermédiaire d'une soustraction de ce ou ces signaux). Ceci est similaire à une augmentation de la dynamique de traitement de la chaîne de réception par séparation des signaux grâce aux premiers et deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base 140_1 - 140_N , 142_1 - 142_N , en tirant avantage de l'analyse du signal ou des signaux les plus forts dans un filtre dédié et en annulant ce ou ces signaux à travers une boucle de rétroaction.
- [0109] Le pilotage des circuits du dispositif 100, à savoir l'envoi de signaux dans les divers circuits du dispositif 100 et le réglage des paramètres de ces circuits, peuvent être réalisés par un circuit de commande.
- [0110] Les divers circuits du dispositif 100 peuvent être mis en œuvre sous la forme d'une puce de semi-conducteur.
- [0111] En variante à la configuration montrée sur la [Fig.14], le dispositif 100 peut comprendre les filtres 140_1 - 140_N , 142_1 - 142_N et les blocs 200_1 - 200_N , 202_1 - 202_N , 222_1 - 222_N , mais pas les blocs 200, 202 et 222. Dans cette variante, les éléments caractéristiques du signal reçu sont extraits seulement pour les différentes sous-bandes définies par les filtres 140_1 - 140_N , 142_1 - 142_N , et non à partir du spectre RF entier.
- [0112] Dans tous les modes de réalisation décrits précédemment, il est possible que les filtres passe-bas 112, 116 correspondent à des filtres passe-bas complexes ou réels.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100), comprenant :
- un circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102), comprenant une entrée (104) configurée pour recevoir un signal RF, une première sortie configurée pour délivrer une composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF, et une deuxième sortie configurée pour délivrer une composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF ;
 - un premier circuit de détection de signe d'amplitude (114) comprenant une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102), et configuré pour délivrer en sortie un premier signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase ;
 - un deuxième circuit de détection de signe d'amplitude (118) comprenant une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102), et configuré pour délivrer en sortie un deuxième signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;
 - un circuit de détection de signe de fréquence (120), comprenant des entrées couplées à des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118), et configuré pour délivrer en sortie un signal de signe de fréquence dont la valeur d'amplitude, ou une présence ou une absence d'oscillations dans le signal de signe de fréquence, dépend du signe de la différence de phase entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude, et est représentative du signe de fréquence d'un signal RF abaissé en fréquence en bande de base comprenant la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF et la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF.
- [Revendication 2] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon la revendication 1, dans lequel le circuit de détection de signe de fréquence (120) comprend une bascule D, une entrée de données de la bascule D étant couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118), et une entrée

- d'horloge de la bascule D étant couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118).
- [Revendication 3] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon la revendication 1, dans lequel le circuit de détection de signe de fréquence (120) comprend :
- une bascule T, une entrée de données de la bascule T étant couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118), une entrée d'horloge de la bascule T étant couplée à l'autre des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118), et
 - un détecteur d'oscillation comprenant une entrée couplée à la sortie de la bascule T et configuré pour délivrer en sortie un signal dont la valeur dépend de l'oscillation ou non du signal délivré en sortie par la bascule T.
- [Revendication 4] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel chacun des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114, 118) comprend l'un des éléments suivants : un amplificateur à limitation d'amplitude, un comparateur, un comparateur à bascule de Schmitt, un comparateur réglé au temps d'horloge, un circuit transconducteur couplé à un comparateur de courant.
- [Revendication 5] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre une première unité de filtrage comportant un premier filtre passe-bas (112) et/ou un premier filtre passe-bande complexe de bande de base (140) et comprenant au moins une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) et une sortie couplée à l'entrée du premier circuit de détection de signe d'amplitude (114), et une deuxième unité de filtrage comportant un deuxième filtre passe-bas (116) et/ou un deuxième filtre passe-bande complexe de bande de base (142) et comprenant au moins une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) et une sortie couplée à l'entrée du deuxième circuit de détection de signe d'amplitude (118).
- [Revendication 6] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant en outre au moins un compteur (122) dont une entrée est couplée à l'une des sorties des premier et deuxième circuits de détection de signe d'amplitude (114,

- 118), et configuré pour délivrer en sortie une fréquence moyenne du signal RF abaissé en fréquence en bande de base.
- [Revendication 7] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant en outre :
- un calculateur de valeur moyenne (124) comprenant une entrée couplée à la sortie du circuit de détection de signe de fréquence (120), et configuré pour délivrer en sortie un signal dont la valeur correspond à la moyenne du signal de signe de fréquence, et
 - un circuit de comparateur (126) configuré pour comparer le signal délivré en sortie par le comparateur de valeur moyenne (124) à une valeur seuil haute et/ou une valeur seuil basse.
- [Revendication 8] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon la revendication 7, dans lequel le calculateur de valeur moyenne (124) comprend un filtre passe-bas, par exemple un intégrateur.
- [Revendication 9] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 7 et 8, dans lequel le circuit de comparateur (126) comprend :
- un premier comparateur de tension (128) comprenant une première entrée couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne (124) et une deuxième entrée configurée pour recevoir la valeur seuil haute, et
 - un deuxième comparateur de tension (130) comprenant une première entrée couplée à la sortie du calculateur de valeur moyenne (124) et une deuxième entrée configurée pour recevoir la valeur seuil basse, et
 - une porte OU exclusif (132) ayant deux entrées couplées aux sorties des premier et deuxième comparateurs de tension (128, 130).
- [Revendication 10] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant en outre un élément de réception comprenant un amplificateur de bruit faible et/ou un filtre passe-bande RF, une entrée de l'élément de réception étant configurée pour recevoir le signal RF, et une sortie de l'élément de réception étant couplée à l'entrée du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102).
- [Revendication 11] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel le dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) est configuré pour détecter au moins un signal appartenant à une bande ISM de 2,4 GHz.
- [Revendication 12] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100)

selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre :

- un premier circuit de détection d'énergie (204) comprenant une entrée couplée à la première sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) ;
- un premier circuit de détection de franchissement de seuil (214) comprenant une entrée couplée à une sortie du premier circuit de détection d'énergie (204) ;
- un deuxième circuit de détection d'énergie comprenant une entrée couplée à la deuxième sortie du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) ;
- un deuxième circuit de détection de franchissement de seuil comprenant une entrée couplée à une sortie du deuxième circuit de détection d'énergie.

[Revendication 13] Dispositif de surveillance de spectre RF et de détection de signal (100) selon la revendication 12, comprenant :

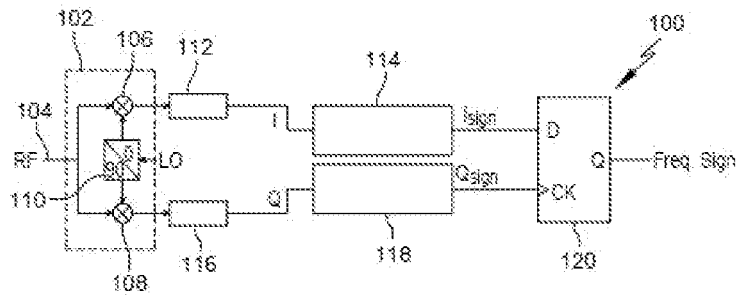
- plusieurs premiers filtres passe-bande complexes de bande de base (140_1 - 140_N) ayant chacun des entrées couplées aux première et deuxième sorties du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) et une sortie couplée à une entrée de l'un parmi plusieurs premiers circuits de détection de signe d'amplitude (114) ;
- plusieurs deuxièmes filtres passe-bande complexes de bande de base (142_1 - 142_N) ayant chacun des entrées couplées aux première et deuxième sorties du circuit abaisseur de fréquence en bande de base I/Q (102) et une sortie couplée à une entrée de l'un parmi plusieurs deuxièmes circuits de détection de signe d'amplitude (118) ;
- plusieurs premiers circuits de détection d'énergie (204) comprenant chacun une entrée couplée à la sortie de l'un des premiers filtres passe-bande de bande de base (140_1 - 140_N) ;
- plusieurs premiers circuits de détection de franchissement de seuil (214) comprenant chacun une entrée couplée à une sortie de l'un des premiers circuits de détection d'énergie (204) ;
- plusieurs deuxièmes circuits de détection d'énergie comprenant chacun une entrée couplée à la sortie de l'un des deuxièmes filtres passe-bande de bande de base (142_1 - 142_N) ;
- plusieurs deuxièmes circuits de détection de franchissement de seuil comprenant chacun une entrée couplée à une sortie de l'un des deuxièmes circuits de détection d'énergie.

[Revendication 14] Procédé de surveillance de spectre RF et de détection de signal,

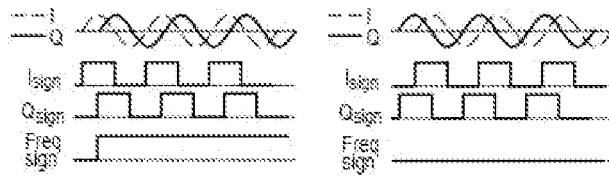
comprenant :

- la réception d'un signal RF ;
- l'abaissement en fréquence en bande de base I/Q du signal RF en une composante abaissée en fréquence en bande de base en phase et une composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;
- la génération d'un premier signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase, et d'un deuxième signal de signe d'amplitude dont la valeur d'amplitude dépend du signe de l'amplitude de la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature ;
- la génération d'un signal de signe de fréquence dont la valeur d'amplitude, ou la présence ou l'absence d'oscillations dans le signal de signe de fréquence, dépend du signe de la différence de phase entre les premier et deuxième signaux de signe d'amplitude, et représentative du signe de fréquence d'un signal RF abaissé en fréquence en bande de base comprenant la composante abaissée en fréquence en bande de base en phase du signal RF et la composante abaissée en fréquence en bande de base en quadrature du signal RF.

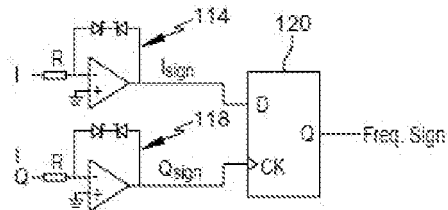
[Fig. 1]

**Fig. 1**

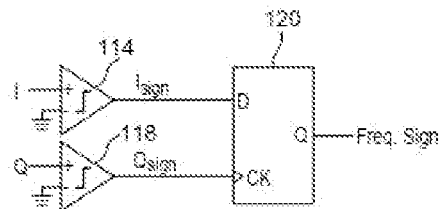
[Fig. 2]

**Fig. 2**

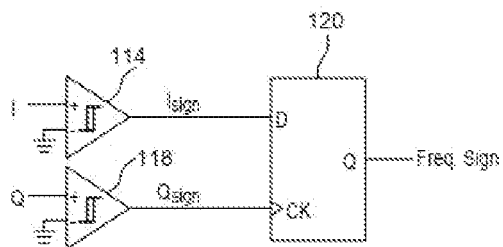
[Fig. 3]

Fig. 3

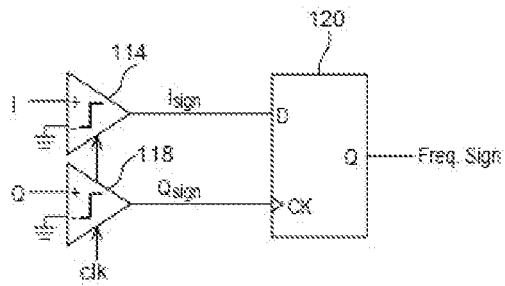
[Fig. 4]

Fig. 4

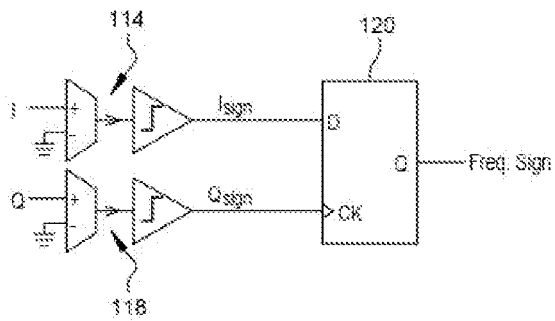
[Fig. 5]

**Fig. 5**

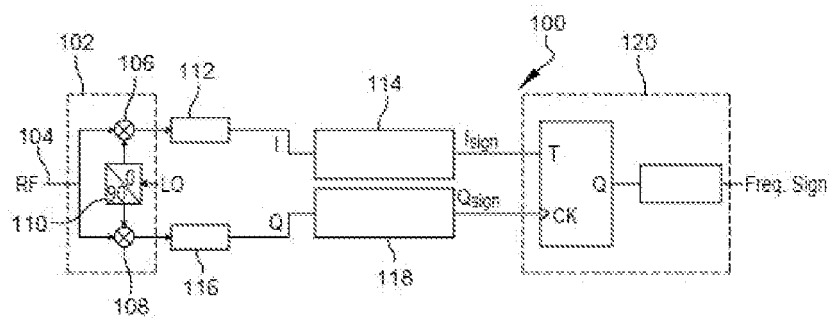
[Fig. 6]

**Fig. 6**

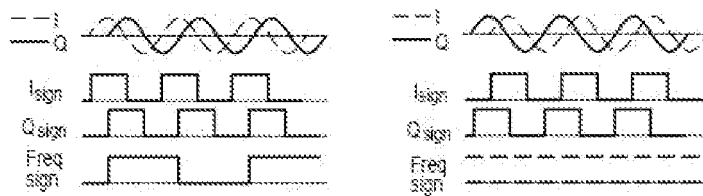
[Fig. 7]

**Fig. 7**

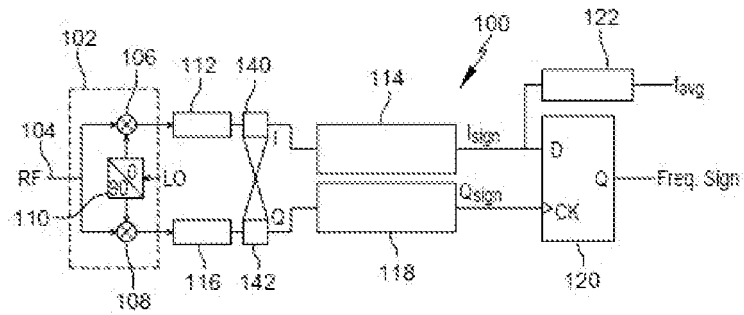
[Fig. 8]

**Fig. 8**

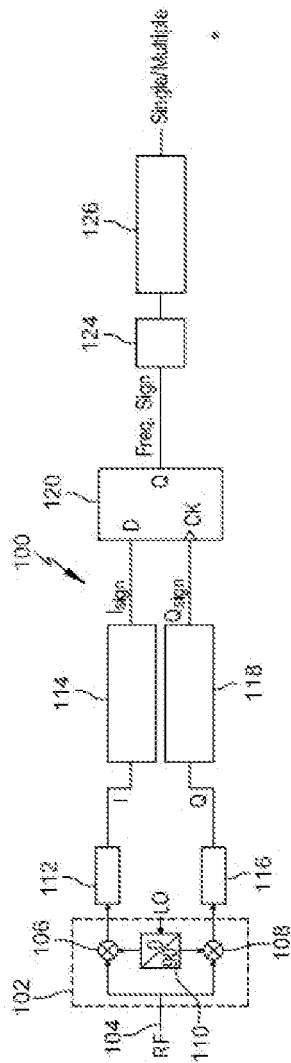
[Fig. 9]

**Fig. 9**

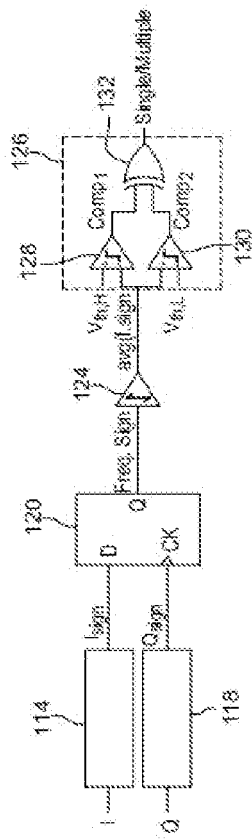
[Fig. 10]

**Fig. 10**

[Fig. 11]

**Fig. 11**

[Fig. 12]

**Fig. 12**

[Fig. 14]

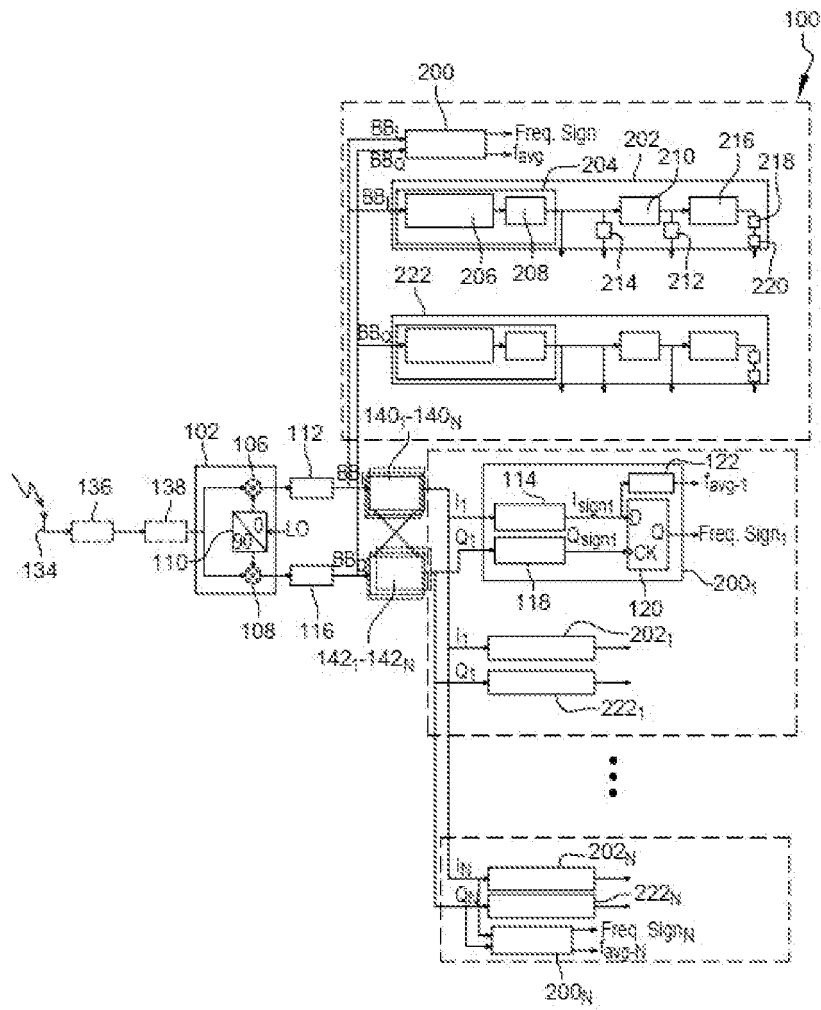


Fig. 14

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 916228
FR 2214253

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JP H10 75268 A (KOKUSAI ELECTRIC CO LTD) 17 mars 1998 (1998-03-17) * alinéa [0052] - alinéa [0062]; figure 1 * -----	1-14	G01R 23/16 H03D 7/16 H04B 1/40 H04W 24/02 H04W 24/08 H04W 4/80
A	JP H10 75269 A (KOKUSAI ELECTRIC CO LTD) 17 mars 1998 (1998-03-17) * alinéa [0049] - alinéa [0054]; figure 1 * -----	1, 14	
A	US 2014/004812 A1 (HAUB DAVID [US] ET AL) 2 janvier 2014 (2014-01-02) * alinéa [0025]; figures 2, 3 * -----	1-14	
A	EP 3 267 646 A1 (NXP BV [NL]) 10 janvier 2018 (2018-01-10) * alinéa [0089] - alinéa [0094]; figure 9 * -----	1-14	
A	US 5 999 575 A (TANAKA RYOHEI [JP] ET AL) 7 décembre 1999 (1999-12-07) * revendication 1 * -----	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04B G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 septembre 2023		Meliani, Chafik	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2214253 FA 916228**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-09-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H1075268 A	17-03-1998	JP 3669786 B2 JP H1075268 A	13-07-2005 17-03-1998
JP H1075269 A	17-03-1998	JP 3669790 B2 JP H1075269 A	13-07-2005 17-03-1998
US 2014004812 A1	02-01-2014	CN 104838585 A US 2014004812 A1 US 2014302809 A1 US 2015349820 A1 WO 2014008233 A1	12-08-2015 02-01-2014 09-10-2014 03-12-2015 09-01-2014
EP 3267646 A1	10-01-2018	CN 107592279 A EP 3267646 A1 US 2018013604 A1	16-01-2018 10-01-2018 11-01-2018
US 5999575 A	07-12-1999	JP H09200165 A US 5999575 A	31-07-1997 07-12-1999