(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 130 101***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **21 13057**

(51) Int Cl[8] : ***H 03 H 11/04*** *(2022.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 07.12.21.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 09.06.23 Bulletin 23/23.

(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) :** *THALES Société anonyme* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** CHAN WAI PO Francis, PETIT Vincent et LOUIS Bruno.

(73) **Titulaire(s) :** THALES Société anonyme.

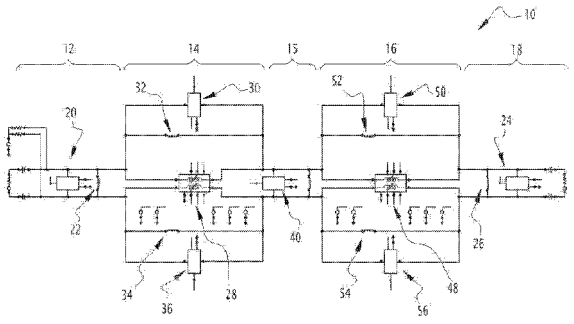
(74) **Mandataire(s) :** Lavoix.

(54) Filtre radiofréquence adaptif présentant une linéarité améliorée.

(57) Filtre radiofréquence adaptif présentant une linéarité améliorée

Un radiofréquence adaptif (10) comporte une entrée, une sortie, au moins une inductance passive fixe (22, 26, 32, 34, 50, 54) et au moins une inductance active variable (28, 48) connectées entre l'entrée et la sortie.

Figure pour l'abrégé : Figure 3



FR 3 130 101 - A1

Description

Titre de l'invention : Filtre radiofréquence adaptif présentant une linéarité améliorée

[0001] L'invention concerne le domaine du traitement des signaux, notamment pour les radiocommunications et les systèmes radar.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement des filtres radiofréquence adaptifs, aussi nommés filtres agiles, ou filtres reconfigurables. Les filtres adaptifs sont capables d'être reconfigurés pour changer en temps réel certaines de leurs propriétés, telles que la bande passante et la fréquence de coupure, en fonction des besoins.

[0003] Généralement, les filtres adaptifs sont construits soit à partir de filtres passifs, soit à partir de filtres actifs.

[0004] Les filtres passifs comportent des inductances passives, dont la valeur est fixe. Les inductances ne peuvent donc pas être modifiées, mais les performances et les propriétés du filtre peuvent être modifiées en temps réel en réglant des condensateurs variables qui sont associés aux inductances.

[0005] Cette solution présente néanmoins des inconvénients.

[0006] D'une part, les filtres passifs présentent un encombrement important, du fait de la taille des inductances passives. En effet, les filtres passifs ne sont généralement performants que sur une bande de fréquence relativement étroite. Pour disposer d'un filtre passif capable d'être utilisé sur une large bande de fréquence, il est souvent nécessaire lors de la conception de dupliquer des parties entières du filtre, chacune de ces parties de filtre étant optimisée sur une bande de fréquence donnée, le filtre devant ensuite être commuté par l'utilisateur pour sélectionner la partie de filtre correspondant aux besoins. On comprend que cette duplication de parties entières du filtre accroit l'encombrement et la complexité de fabrication du filtre.

[0007] D'autre part, pour des raisons pratiques, les filtres passifs sont généralement fabriqués au moyen de technologies d'intégration sur silicium. Toutefois, les inductances passives issues de ces technologies présentent souvent un facteur de qualité faible, ce qui contribue à des pertes d'insertion importantes.

[0008] Les filtres actifs comportent quant à eux des inductances actives variables, c'est à dire des circuits électroniques actifs simulant le comportement d'inductances, ces circuits pouvant comporter des éléments tels que des gyrateurs et/ou des amplificateurs.

[0009] Le brevet US 6184747 B1 décrit un exemple d'un filtre actif comportant un gyrateur.

[0010] Toutefois, les performances en linéarité des filtres actifs, par exemple quantifiées par le point d'interception du troisième ordre (IIP3), ne sont généralement pas suffisantes

pour de nombreuses applications. De plus, la consommation électrique des inductances actives variables est généralement élevée, ce qui peut être rédhibitoire dans certaines applications.

[0011] C'est à ces inconvénients qu'entend plus particulièrement remédier l'invention en proposant un filtre radiofréquence adaptif amélioré.

[0012] A cet effet, un aspect de l'invention concerne un filtre radiofréquence adaptif comportant une entrée, une sortie, au moins une inductance composite variable comportant au moins une inductance passive fixe et au moins une inductance active variable, l'inductance composite variable étant connectée entre l'entrée et la sortie du filtre radiofréquence.

[0013] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires, un tel filtre radiofréquence peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toute combinaison techniquement admissible :

[0014] - le filtre radiofréquence comporte en outre un condensateur variable associé à ladite au moins une inductance active variable.

[0015] - le filtre radiofréquence peut comporter en outre une résistance négative associée à ladite au moins une inductance active variable.

[0016] - le filtre radiofréquence comporte un premier inter-étage connecté à l'entrée du filtre, le premier inter-étage comportant une inductance passive fixe connectée en série ou en parallèle avec une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[0017] - le filtre radiofréquence comporte un autre inter-étage connecté à la sortie du filtre, ledit inter-étage comportant une inductance passive fixe connectée en série ou en parallèle avec une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[0018] - une inductance active variable est connectée en parallèle de l'inductance passive fixe pour former une inductance composite variable.

[0019] - le filtre radiofréquence comporte une inductance active variable connectée entre l'entrée et la sortie du filtre, ainsi qu'un premier condensateur variable, une première inductance passive fixe, une deuxième inductance passive fixe et un deuxième condensateur variable respectivement connectés en parallèle de l'inductance active variable.

[0020] - ladite au moins une inductance active variable comporte un gyrateur et un condensateur variable connecté en sortie du gyrateur.

[0021] - le gyrateur est construit à partir d'amplificateurs à transconductance.

[0022] - chaque amplificateur à transconductance peut comporter une résistance négative réglable pour compenser les pertes du filtre radiofréquence.

[0023] - le filtre comporte un système électronique de commande configuré pour modifier

au moins un paramètre de fonctionnement du filtre radiofréquence, tel que la fréquence de coupure, ou la bande passante, ou le gain.

[0024] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation d'un filtre radiofréquence adaptif, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

[0025] [Fig.1] la [Fig.1] représente un exemple d'un filtre radiofréquence ;

[0026] [Fig.2] la [Fig.2] représente schématiquement une inductance composite variable faisant partie du filtre radiofréquence adaptif de la [Fig.1] et comportant une inductance fixe et une inductance variable ;

[0027] [Fig.3] la [Fig.3] représente un filtre radiofréquence adaptif selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

[0028] [Fig.4] la [Fig.4] représente un filtre radiofréquence adaptif selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

[0029] [Fig.5] la [Fig.5] illustre des performances d'un filtre radiofréquence adaptif conforme à l'invention.

[0030] La [Fig.1] représente un exemple de filtre radiofréquence adaptif 2 comportant une entrée IN pour recevoir un signal radiofréquence et une sortie OUT. Par exemple, l'entrée IN comporte une ou plusieurs bornes d'entrée. La sortie OUT comporte une ou plusieurs bornes de sortie.

[0031] Le filtre radiofréquence adaptif 2 est un circuit électronique comportant une pluralité de composants électroniques, notamment des inductances.

[0032] Un aspect de l'invention vise notamment à proposer un filtre radiofréquence adaptif comportant une ou plusieurs inductances passives fixes combinées avec une ou plusieurs inductances actives variables.

[0033] Pour cela, on utilise avantageusement au moins une inductance composite variable comportant une inductance fixe et une inductance variable.

[0034] La combinaison des deux types d'inductances permet de bénéficier, dans un même filtre, d'une meilleure linéarité qu'en utilisant seulement des inductances actives, tout en réduisant l'encombrement et les pertes d'insertion liées aux inductances passives.

[0035] Cela permet également de régler plus finement l'inductance équivalente et ainsi de bénéficier d'une meilleure agilité, par exemple une plus grande facilité à reconfigurer le filtre.

[0036] A titre d'illustration, la [Fig.2] représente une inductance composite variable 4 (ou inductance hybride) comportant une inductance passive fixe 6 et une inductance active variable 8, toutes deux connectées en parallèle.

[0037] L'inductance passive fixe 6 est, par exemple, un composant passif tel qu'une bobine.

[0038] L'ensemble 4 est, par exemple, une portion d'un filtre radiofréquence adaptif 2.

[0039] En variante, d'autres façons de coupler une inductance passive fixe 6 avec une inductance active variable 8 sont possibles. Par exemple, on peut construire une inductance composite variable dans laquelle l'inductance passive fixe 6 est connectée en série avec l'inductance active variable 8.

[0040] En pratique, pour former un filtre radiofréquence adaptif 2, on peut former plusieurs inductances composites variables 4, comportant chacun une ou plusieurs inductances passives fixes 6 couplées (en série, ou en parallèle, par exemple) avec une ou plusieurs inductances actives variables 8, ces inductances composites variables 4 étant ensuite connectées entre elles à la manière de modules.

[0041] Optionnellement, comme illustré sur la [Fig.2], l'inductance composite variable 4 peut être associée à une résistance négative 9, qui sera décrite plus en détail dans ce qui suit. Par exemple, la résistance négative est connectée en parallèle avec l'inductance active variable 8, d'autres façons d'associer la résistance négative 9 étant possibles en variante.

[0042] La [Fig.3] représente un filtre radiofréquence adaptif 10 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0043] Dans ce mode de réalisation, le filtre 10 comporte plusieurs ensembles de composants, nommés inter-étages, parmi lesquels un premier inter-étage 12, un deuxième inter-étage 14, un troisième inter-étage 15, un quatrième inter-étage 16 et un cinquième inter-étage 18. Ces inter-étages sont par exemple connectés en série entre les bornes d'entrée et de sortie du filtre 10. Au moins une partie de ces ensembles de composants comporte une inductance composite variable 4.

[0044] L'inter-étage 12 comporte un condensateur variable 20, ici connecté en parallèle avec l'entrée du filtre 10, et une inductance passive fixe 22 (analogue à l'inductance 6), telle qu'une bobine, ici connectée en parallèle avec le condensateur variable 20.

[0045] Dans d'autres modes de réalisation, l'inductance passive fixe 22 pourrait être connectée, en série ou en parallèle, à au moins une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[0046] L'inter-étage 18 comporte un condensateur variable 24, ici connecté en parallèle avec la sortie du filtre, et une inductance passive fixe 26 (analogue à l'inductance 6), ici connectée en parallèle avec le condensateur variable 24.

[0047] Dans d'autres modes de réalisation, l'inductance passive fixe 26 pourrait être connectée, en série ou en parallèle, à au moins une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[0048] Par exemple, l'inter-étage 18 peut être construit de façon similaire ou symétrique par rapport à l'inter-étage 12, d'autres modes de réalisation étant néanmoins possibles en variante. Cependant, les valeurs de capacité et d'inductance des composants de l'inter-étage 18 ne sont pas forcément identiques à celles de l'inter-étage 12.

[0049] L'inter-étage 14 comporte au moins une inductance active variable, et de préférence deux inductances actives variables 8, ici comprises dans le module 28, les inductances actives variables du module 28 étant ici connectées en série avec l'inter-étage 12.

[0050] Par exemple, en configuration différentielle, le bloc 28 est équivalent à deux inductances variables 8 de même valeur : l'une connectée entre l'entrée positive et la sortie positive et l'autre entre l'entrée négative et la sortie négative du bloc 28.

[0051] L'inter-étage 14 comporte également un premier condensateur variable 30, une première inductance passive fixe 32, une deuxième inductance passive fixe 34 et un deuxième condensateur variable 36.

[0052] Par exemple, chacun de ces éléments 30, 32, 34 et 36 est connecté en parallèle des inductances actives variables 28.

[0053] Dans cet exemple, une première inductance composite variable de l'inter-étage 14 est formée par l'association de la première inductance passive fixe 32 et d'une des inductances actives variables du module 28. Une deuxième inductance composite variable de l'inter-étage 14 est formée par l'association de la deuxième inductance passive fixe 34 et de l'autre des inductances actives variables du module 28. Les deux inductances composites variables sont ici de même valeur.

[0054] L'association d'une inductance composite variable avec un condensateur variable permet de former un circuit résonnant LC variable.

[0055] L'inter-étage 14 est connecté en série avec l'inter-étage 16, ici par l'intermédiaire de l'inter-étage 15, ce dernier comportant un condensateur variable 40 et une inductance passive fixe, connectés en parallèle entre eux.

[0056] L'inter-étage 16 comporte au moins une inductance active variable 8 et de préférence deux inductances actives variables 8, ici comprises dans un module 48 (analogue au module 28), les inductances actives variables du module 48 étant ici connectées en série entre l'inter-étage 15 et l'inter-étage 18.

[0057] L'inter-étage 16 comporte également un premier condensateur variable 50, une première inductance passive fixe 52, une deuxième inductance passive fixe 54 et un deuxième condensateur variable 56.

[0058] Par exemple, chacun de ces éléments 50, 52, 54 et 58 est connecté en parallèle de l'inductance active variable 28. Par exemple, l'inter-étage 16, qui présente une configuration différentielle, est construit de façon analogue ou symétrique ou identique à l'inter-étage 14, d'autres modes de réalisation étant toutefois possibles en variante.

[0059] Dans cet exemple, une première inductance composite variable de l'inter-étage 16 est formée par l'association de la première inductance passive fixe 52 et d'une des inductances actives variables du module 48. Une deuxième inductance composite variable de l'inter-étage 16 est formée par l'association de la deuxième inductance passive fixe 54 et de l'autre des inductances actives variables du module 48.

[0060] Bien que cela ne soit pas illustré en détail sur la [Fig.2], le filtre 10 peut également comporter une ou plusieurs résistances négatives 9, cette ou ces résistances négatives 9 étant de préférence associées à au moins une des inductances actives variables, voire à chacune des inductances actives variables.

[0061] Le filtre 10 comporte également un système d'alimentation électrique, qui n'est pas représenté sur la [Fig.3], et qui est configuré, par exemple, pour alimenter électriquement des composants actifs du filtre 10, tels que les condensateurs variables et les inductances actives.

[0062] Le filtre 10 peut également comporter un système électronique de commande configuré pour modifier au moins un paramètre de fonctionnement du filtre, tel que la fréquence de coupure, ou la bande passante, ou le gain. Cette modification est par exemple réalisée en pilotant un ou plusieurs des éléments variables du filtre 10, tels que les condensateurs variables et/ou les inductances actives variables.

[0063] On comprendra que cet exemple de filtre 10 est donné à des fins d'illustration et qu'en variante, de nombreux autres filtres peuvent être construits de façon similaire, par exemple en combinant des ensembles de composants (inter-étages) de façon différente selon les propriétés désirées, au moins une partie de ces ensembles de composants comportant de préférence une inductance composite variable 4.

[0064] La [Fig.4] représente un filtre radiofréquence adaptif 10' selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0065] Le filtre radiofréquence 10' est largement identique au filtre radiofréquence 10, mis à part que le filtre radiofréquence 10' comporte deux inductances actives variables additionnelles 70 et 72 placées respectivement dans l'étage d'entrée 12 et dans l'étage de sortie 18, par exemple en étant connectée en parallèle de l'inductance passive fixe 22 ou 26.

[0066] En pratique, les inductances actives variables additionnelles 70 et 72 n'ont pas forcément les mêmes valeurs et peuvent être pilotées indépendamment, bien qu'elles puissent être identiques dans certains exemples.

[0067] Par exemple, chacune des inductances actives variables additionnelles 70 et 72 comporte une inductance variable réglable 8 telle que précédemment décrite.

[0068] Dans cet exemple, une inductance composite variable de l'inter-étage 12 est formée par l'association de l'inductance passive fixe 22 et d'une inductance active variable additionnelle (l'une des inductances du module 70). De façon analogue, une inductance composite variable de l'inter-étage 18 est formée par l'association de l'inductance passive fixe 26 et d'une inductance active variable additionnelle (par exemple l'une des inductances du module 72).

[0069] Mis à part ces différences, tout ce qui a été décrit en référence au filtre 10 de la [Fig.3] s'applique aussi au filtre radiofréquence 10' dans ce deuxième mode de réa-

lisation.

[0070] De nombreuses autres variantes du filtre 10 ou 10' peuvent être construites en combinant des inductances passives fixes, des condensateurs variables et des inductances actives variables. Dans ces variantes, le nombre et la disposition des différents éléments constitutifs du filtre peuvent être différents de ceux des exemples présentés ci-dessus.

[0071] Dans de nombreux modes de réalisation, les condensateurs variables 30, 36, 50 et 56 sont réalisés en utilisant des diodes à capacité variable (par exemple des diodes varactors). On peut également utiliser des batteries de condensateurs comportant plusieurs condensateurs capables d'être sélectivement connectés ou déconnectés au moyen d'interrupteurs pilotables, tels que des transistors utilisés comme interrupteurs.

[0072] Les valeurs de capacité équivalente de ces condensateurs variables sont sélectionnées selon la bande de fréquence ciblée pour le fonctionnement du filtre. Cette sélection peut se faire de façon logicielle, par exemple par un système électronique de commande du filtre 10, afin de piloter les commandes au moyen d'un signal de commande

[0073] Par exemple, dans les cas d'une batterie de condensateurs, on peut piloter les interrupteurs numériquement avec une tension de commande appliquée sur une électrode de commande des interrupteurs (par exemple, sur la grille d'un transistor à effet de champ).

[0074] Dans de nombreux modes de réalisation, chaque inductance active réglable 8, 28, 48, 70, 72 comporte un circuit électronique actif simulant le comportement d'une inductance.

[0075] Ce circuit électronique peut, par exemple, comporter un ou plusieurs gyrateurs (« gyrator » en anglais), et/ou des amplificateurs, ou tout autre élément approprié.

[0076] De préférence, chaque inductance active réglable 8, 28, 48, 70, 72 comporte plusieurs gyrateurs connectés en série et/ou en parallèle, un condensateur variable étant associé à au moins une partie des gyrateurs, de préférence à chaque gyrateur.

[0077] Par exemple, les gyrateurs peuvent être construits à partir d'amplificateurs à transconductance, aussi nommés cellules à transconductance.

[0078] Chaque cellule à transconductance est associé à un condensateur variable C_{out} placé en sortie, de telle façon que la valeur de l'inductance variable (Lvar) soit une fonction de la transconductance (gm) et de la capacité (C_{out}) du condensateur correspondant.

[0079] Par exemple, chaque cellule à transconductance est un élément quadripôle qui comporte deux bornes d'entrée (par exemple, une borne positive et une borne négative) et deux bornes de sortie (par exemple, une borne positive et une borne négative).

[0080] Dans un premier exemple de construction, on peut former une inductance active variable 8 en construisant un gyrateur en associant deux cellules à transconductance

connectées en parallèle entre elles entre des bornes d'entrée du circuit de l'inductance active et des bornes de sortie du circuit de l'inductance active, chacun de ces gyrateurs.

[0081] Par exemple, dans chacun des gyrateurs, la borne positive de la sortie de la deuxième cellule à transconductance est connectée à la borne négative de l'entrée de la première cellule à transconductance, et la borne négative de la sortie de la deuxième cellule à transconductance est connectée à la borne positive de l'entrée de la première cellule à transconductance. La borne négative de la sortie de la première cellule à transconductance est connectée à la borne négative de l'entrée de la deuxième cellule à transconductance, et la borne positive de la sortie de la première cellule à transconductance est connectée à la borne positive de l'entrée de la deuxième cellule à transconductance.

[0082] Un condensateur variable est connecté entre les première et deuxième bornes de sortie de chacune des cellules à transconductance. Selon des modes de réalisation, ces condensateurs peuvent être directement intégrés à chaque cellule à transconductance, ou ils peuvent être connectés à la sortie de chaque cellule à transconductance.

[0083] Afin de rendre l'inductance active variable, chacun de ces condensateurs C_{out} est configuré de façon à être variable et réglable (c'est-à-dire que la valeur de capacité peur être modifiée par un utilisateur), par exemple en étant piloté électriquement par un système électronique de commande du filtre 10. A cette fin, chaque condensateur variable peut être réalisé comme précédemment décrit, par exemple en comportant des diodes à capacité variable contrôlables en tension, ou par tout moyen approprié.

[0084] Dans un deuxième exemple de construction, on peut former une inductance active variable 8 en connectant deux gyrateurs en série, entre des bornes d'entrée du circuit de l'inductance active et des bornes de sortie du circuit de l'inductance active, chacun de ces gyrateurs comportant l'association de deux cellules à transconductance connectées en parallèle entre elles, tel qu'expliqué précédemment.

[0085] Là encore, un condensateur variable est connecté entre les première et deuxième bornes de sortie de chacune des cellules à transconductance. Selon des modes de réalisation, ces condensateurs peuvent être directement intégrés à la cellule à transconductance, ou alternativement peuvent être connectés à la sortie de chaque cellule à transconductance.

[0086] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles.

[0087] De préférence, chaque cellule à transconductance comporte une résistance négative réglable, ou convertisseur d'impédance négative, qui sert à compenser les pertes du filtre.

[0088] Par exemple, la valeur équivalente de la résistance négative, telle la résistance négative 9, est contrôlable en plaçant une résistance positive réglable en parallèle de la résistance négative. Dans un tel exemple, la résistance positive réglable peut être construite à partir d'un transistor à effet de champ (tel qu'un transistor MOSFET)

fonctionnant en triode. Ainsi connecté, ce transistor fonctionne comme une résistance et sa valeur de résistance équivalente peut être réglée en variant la tension de la grille appliquée sur le transistor. D'autres implémentations sont néanmoins possibles en variante.

[0089] Les résistances négatives sont connues et ne sont pas décrites plus en détail. Un exemple de résistance négative est décrit dans l'article de C. Andriesei et al. « Negative resistance based tuning of an RF bandpass filter », Proceedings of the 4th European Conference on Circuits and Systems for Communications, ECCSC, Juillet 2008, Bucarest, Roumanie, DOI : 10.1109/ECCSC.2008.4611651. Cet exemple de construction n'est pas limitatif et d'autres implémentations sont possibles en variante.

[0090] Grâce à l'invention, en combinant une ou plusieurs inductances passives fixes avec une ou plusieurs inductances actives variables avec une ou plusieurs résistances négatives 9, on peut construire un filtre radiofréquence adaptif présentant une meilleure linéarité qu'en utilisant seulement des inductances actives, tout en réduisant l'encombrement et les pertes d'insertion liées à l'emploi des seules inductances passives.

[0091] Les éléments variables du filtre radiofréquence, tels que les inductances variables actives et les condensateurs variables, permettent au filtre radiofréquence de passer d'une bande de fréquence à une autre, sans avoir besoin de dupliquer des portions entières du circuit pour obtenir un fonctionnement satisfaisant sur de larges bandes de fréquence. Ainsi, le filtre radiofréquence est moins encombrant et moins complexe à concevoir que les filtres radiofréquence passifs connus.

[0092] Contrairement aux solutions à inductances passives connues, les pertes d'insertion peuvent avantageusement être réduites et contrôlées grâce aux résistances négatives intégrées aux inductances actives variables.

[0093] La [Fig.5] met en évidence des performances du filtre 10 de la [Fig.3], notamment pour illustrer l'amélioration des performances en linéarité du filtre 10, au moyen de mesures de distorsion d'intermodulation réalisées sur le filtre 10.

[0094] Sur le graphe 80, l'axe des abscisses correspond à la puissance d'entrée de signaux de test fournis au filtre 10, tandis que l'axe des ordonnées correspond à la puissance de sortie des signaux mesurés.

[0095] La première courbe 82 correspond à la fréquence fondamentale des signaux de test tandis que la deuxième courbe 84 correspond au produit l'intermodulation de troisième ordre. Les fréquences des signaux de test sont, dans cet exemple, égales à 9,75GHz (« 1st tone ») et à 9,74 GHz (« 2nd tone »), respectivement.

[0096] Dans ces exemples, la tension d'alimentation du filtre est égale à 1,2V, l'amplitude du courant d'alimentation du filtre est égale à 80mA, et le point d'interception du troisième ordre (IIP3) en entrée, extrapolé à partir des courbes 82 et 84, est égal à

+6dBm.

[0097] D'autres essais, non illustrés, réalisés pour d'autres tensions d'alimentation et pour d'autres fréquences, ont permis de montrer que les performances en linéarité peuvent être encore plus améliorées, par exemple pour obtenir un point d'interception du troisième ordre (IIP3) allant jusqu'à plus de +20dBm.

[0098] Ces performances en linéarité et en consommation électrique sont meilleures que celles de filtres adaptifs classiques, tels que des filtres construits uniquement à partir d'inductances actives.

[0099] Des essais similaires menés sur des filtres adaptifs ayant une fonction similaire mais construits uniquement à partir d'inductances actives à base de gyrateurs ont montré que ces filtres actifs présentent, par comparaison, un point d'interception du troisième ordre égal à -10dBm et une consommation électrique de 160mA pour tout le filtre pour une tension d'alimentation de 1,2V, ce qui est le double de la consommation du filtre 10 dans l'exemple illustré ci-dessus.

[0100] Ainsi, associer judicieusement des inductances actives et des inductances passives pour former un filtre adaptif procure de meilleures performances, notamment en matière de linéarité et de consommation électrique, tout en réduisant la complexité de la conception du filtre.

[0101] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles.

[0102] Toute caractéristique de l'un des modes de réalisation ou variante décrite ci-dessus, peut être mise en œuvre dans les autres modes de réalisation et variantes décrits.

Revendications

[Revendication 1] Filtre radiofréquence adaptif (10 ; 10') comportant une entrée (IN), une sortie (OUT), au moins une inductance composite variable (4) comportant une inductance passive fixe (6) et au moins une inductance active variable (8), l'inductance composite variable (4) étant connectée entre l'entrée et la sortie du filtre radiofréquence.

[Revendication 2] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon la revendication 1, lequel comporte en outre un condensateur variable associé à ladite au moins une inductance active variable (8).

[Revendication 3] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon la revendication 1 ou la revendication 2, lequel comporte en outre une résistance négative (9) associée à ladite au moins une inductance active variable.

[Revendication 4] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon l'une quelconque des revendications précédentes, lequel comporte un premier inter-étage (12) connecté à l'entrée du filtre, le premier inter-étage (12) comportant une inductance passive fixe (22) connectée en série ou en parallèle avec une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[Revendication 5] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon l'une quelconque des revendications précédentes, lequel comporte un autre inter-étage (18) connecté à la sortie du filtre, ledit inter-étage (18) comportant une inductance passive fixe (26) connectée en série ou en parallèle avec une inductance active variable pour former une inductance composite variable.

[Revendication 6] Filtre radiofréquence (10') selon la revendication 4 ou la revendication 5, dans lequel une inductance active variable (70, 72) est connectée en parallèle de l'inductance passive fixe (22, 26) pour former une inductance composite variable.

[Revendication 7] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon l'une quelconque des revendications précédentes, lequel comporte une inductance active variable (28, 48) connectée entre l'entrée et la sortie du filtre, ainsi qu'un premier condensateur variable (30, 50), une première inductance passive fixe (32, 52), une deuxième inductance passive fixe (34, 54) et un deuxième condensateur variable (36, 56) respectivement connectés en parallèle de l'inductance active variable (28, 48).

[Revendication 8] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite au moins une inductance active

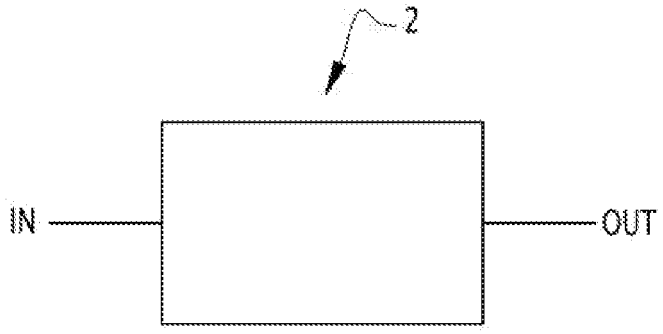
variable (8, 28, 48, 70) comporte un gyrateur et un condensateur variable (C_{out}) connecté en sortie du gyrateur.

[Revendication 9] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon la revendication 8, dans lequel le gyrateur est construit à partir d'amplificateurs à transconductance (gm).

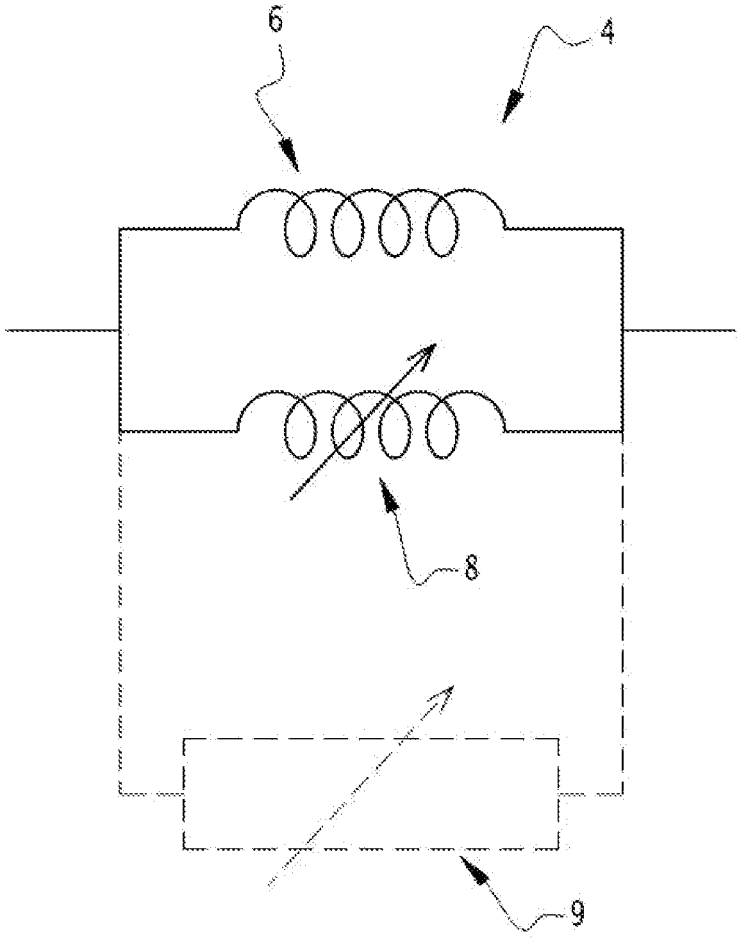
[Revendication 10] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon la revendication 9, dans lequel chaque amplificateur à transconductance (gm) comporte une résistance négative réglable, pour compenser les pertes du filtre radiofréquence (10 ; 10')..

[Revendication 11] Filtre radiofréquence (10 ; 10') selon l'une quelconque des revendications précédentes, lequel comporte un système électronique de commande configuré pour modifier au moins un paramètre de fonctionnement du filtre radiofréquence, tel que la fréquence de coupure, ou la bande passante, ou le gain.

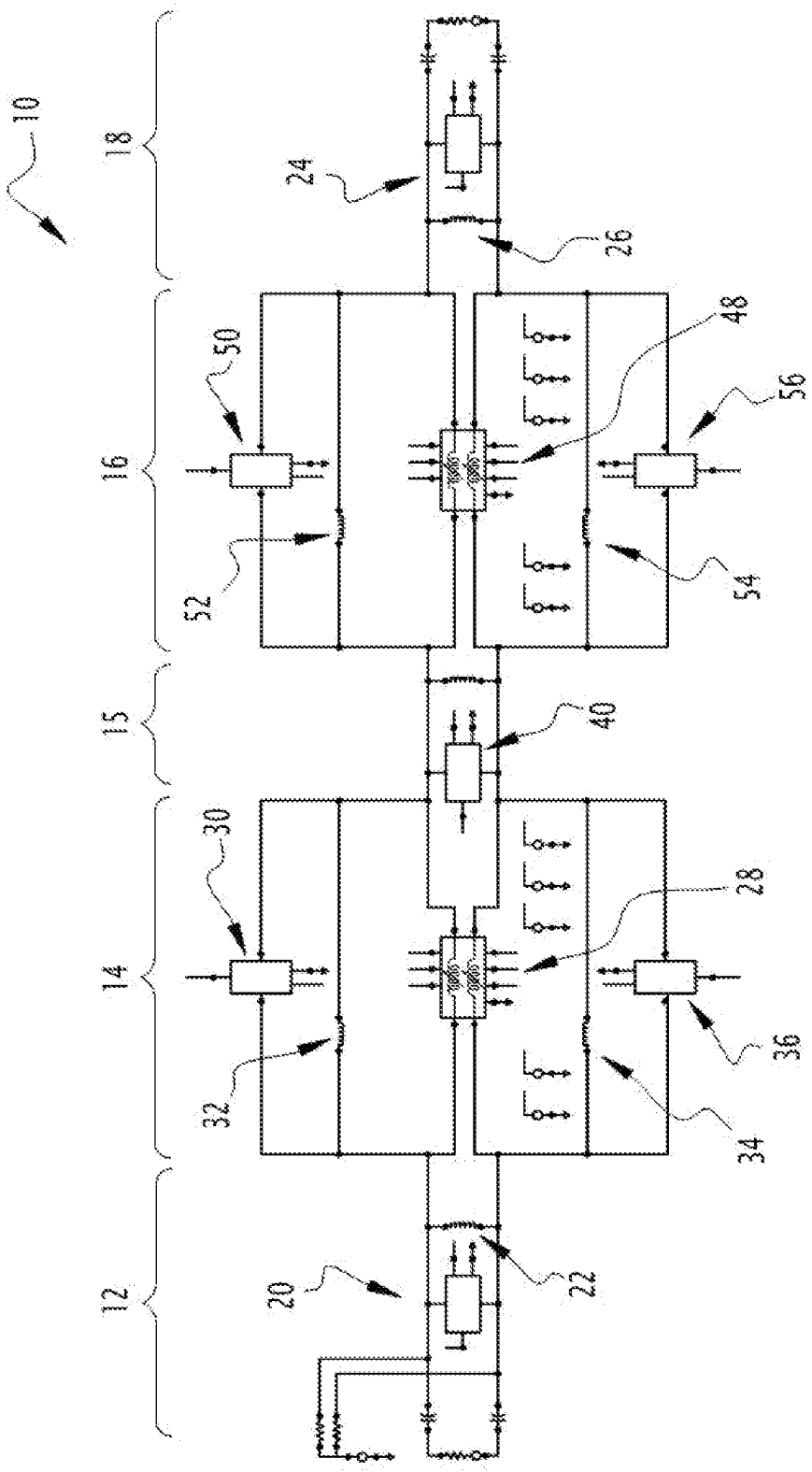
[Fig. 1]



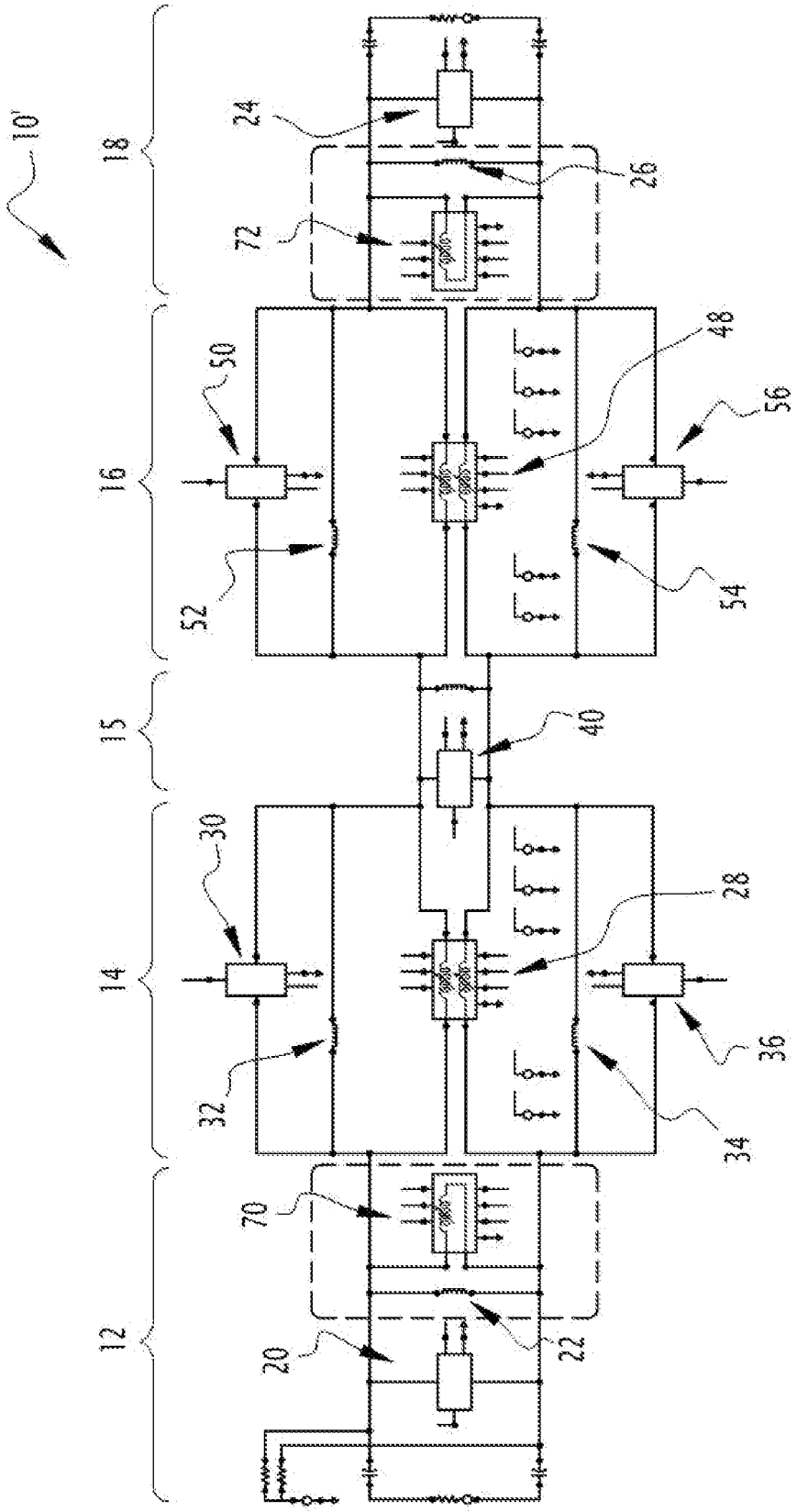
[Fig. 2]



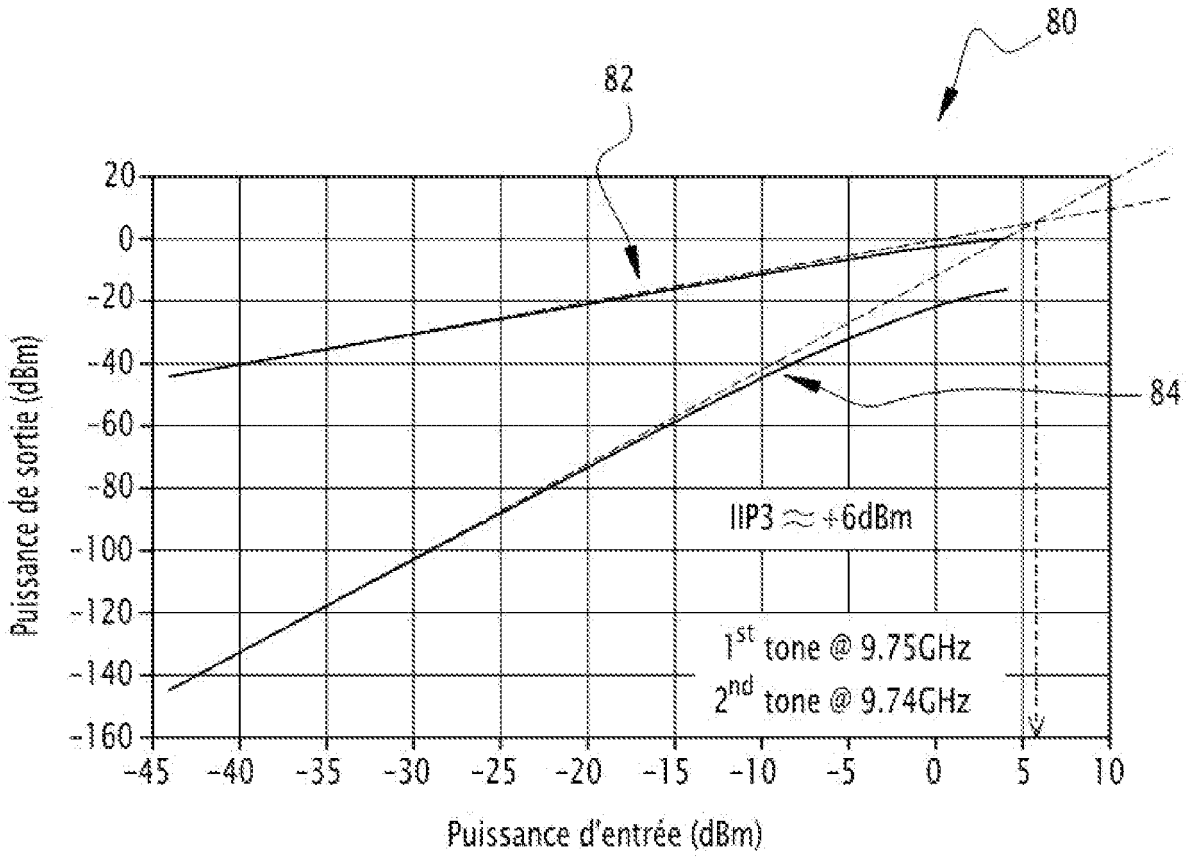
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]


80
82
84
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-45
-40
-35
-30
-25
-20
-15
-10
-5
0
5
10
Puissance de sortie (dBm)
Puissance d'entrée (dBm)
IIP3 ≈ +6dBm
1st tone @ 9.75GHz
2nd tone @ 9.74GHz

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 901947
FR 2113057

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 A	CN 103 905 012 A (UNIV BEIJING TECHNOLOGY) 2 juillet 2014 (2014-07-02) * alinéa [0002] - alinéa [0003] * * alinéa [0021] - alinéa [0046]; figures 1 - 3 * -----	1,2,4,5, 11 3,6-10	H03H11/04
X A	VOROBEV EVGENII ET AL: "Active tunable inductor using non-Foster element", 2017 IEEE CONFERENCE OF RUSSIAN YOUNG RESEARCHERS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (EICONRUS), IEEE, 1 février 2017 (2017-02-01), pages 346-349, XP033088626, DOI: 10.1109/EICONRUS.2017.7910562 [extrait le 2017-04-24] * I. Introduction; page 346 * * II. Design Approach; page 346, colonne de droite - page 347, colonne de gauche; figures 1 - 3 * * III. Tunable Inductor Investigation; page 347, colonne de gauche; figure 4 * -----	1-5,11 6-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H03H
A	US 3 737 801 A (ADAMS D ET AL) 5 juin 1973 (1973-06-05) * colonne 3, ligne 16 - colonne 4, ligne 48; figures 2 - 4 * * colonne 4, ligne 49 - colonne 5, ligne 65; figures 5, 6 * -----	1-11	
A	US 2020/220242 A1 (KIM JONGHYUK [KR] ET AL) 9 juillet 2020 (2020-07-09) * alinéa [0067] - alinéa [0071]; figures 3, 4 * -----	1-11	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
26 juillet 2022	Trafidlo, Renata

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2113057 FA 901947

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 26-07-2022
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
CN 103905012 A	02-07-2014	AUCUN	
US 3737801 A	05-06-1973	US 3680011 A	25-07-1972
		US 3737801 A	05-06-1973
US 2020220242 A1	09-07-2020	EP 3864753 A1	18-08-2021
		KR 20200084682 A	13-07-2020
		US 2020220242 A1	09-07-2020
		WO 2020141941 A1	09-07-2020

EPO FORM P0465