

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 099 667

②1 N° d'enregistrement national : 19 08586

⑤1 Int Cl⁸ : H 03 K 5/02 (2019.01), H 03 K 5/13, H 03 B 1/04

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 29.07.19.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.02.21 Bulletin 21/05.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : STMICROELECTRONICS S.r.l.
Société de droit italien — IT.

⑦② Inventeur(s) : PALLOTTA Andrea.

⑦③ Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS S.r.l. Société
de droit italien.

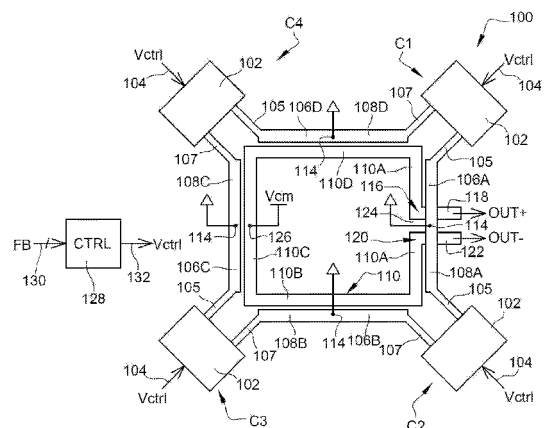
⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

⑤④ Oscillateur commandé en tension à transformateur actif distribué.

⑤⑦ Oscillateur commandé en tension à
transformateur actif distribué

La présente invention concerne un oscillateur comman-
dé en tension comprenant plusieurs coeurs d'oscillateur
couplés magnétiquement en série.

Figure pour l'abrégé : Fig. 1



FR 3 099 667 - A1



Description

Titre de l'invention : *Oscillateur commandé en tension à transformateur actif distribué*

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne d'une manière générale le domaine des oscillateurs commandés en tension (VCO) et en particulier un VCO à transformateur actif distribué.

Technique antérieure

[0002] Les communications sans fil radiofréquences utilisent généralement des oscillateurs commandés en tension pour la mise en oeuvre de l'oscillateur local au niveau de l'émetteur et/ou du récepteur, par exemple pour produire des fréquences porteuses, la génération d'horloges, la récupération de bits, etc. La croissance considérable des communications sans fil et la rareté et les coûts des droits de réservation de parties du spectre de fréquences ont fait augmenter la demande en nombre de canaux de fréquences disponibles, en particulier pour les communications mobiles. Cette demande impose des exigences de plus en plus rigoureuses relatives à la quantité de bruit de phase des oscillateurs locaux. En effet, le bruit de phase limite l'efficacité spectrale des communications par une liaison sans fil.

[0003] En outre, l'importance de la réduction du bruit de phase dans les oscillateurs commandés en tension ne se limite pas au champ des communications sans fil, mais celle-ci est également pertinente dans d'autres domaines tels que la génération d'horloges de circuits intégrés, ainsi que pour les applications de détection et de radar.

[0004] Le bruit de fréquence correspond généralement à des fluctuations aléatoires de fréquence à court terme de la forme d'onde sinusoïdale produite par l'oscillateur VCO.

[0005] Il existe dans la technique le besoin d'un oscillateur VCO pouvant être mis en oeuvre en utilisant une technologie à semiconducteurs à base de silicium, telle que la technologie CMOS (Complementary MOS) ou BiCMOS (Bipolar CMOS) et présentant un bruit de phase relativement faible.

Résumé de l'invention

[0006] Un objet de modes de réalisation décrits ici est de répondre au moins partiellement à un ou plusieurs besoins de l'art antérieur.

[0007] Selon un mode de réalisation, on prévoit un oscillateur commandé en tension comprenant plusieurs coeurs d'oscillateur couplés magnétiquement en série. Par exemple, les coeurs d'oscillateur sont couplés en série par induction électromagnétique, également connue sous le nom de couplage inductif, par exemple par l'intermédiaire d'une boucle inductive commune.

- [0008] Selon un mode de réalisation, les plusieurs coeurs d'oscillateur comprennent M coeurs d'oscillateur, M étant égal à 4 ou plus.
- [0009] Selon un mode de réalisation, chaque coeur d'oscillateur comprend des première et seconde parties inductives, les première et seconde parties inductives de chacun des coeurs d'oscillateur étant magnétiquement couplées à une boucle inductive commune.
- [0010] Selon un mode de réalisation, l'oscillateur commandé en tension comprend en outre une première ligne de sortie reliée à une extrémité de la boucle inductive commune et une seconde ligne de sortie reliée à l'autre extrémité de la boucle inductive commune.
- [0011] Selon un mode de réalisation, la boucle inductive commune présente une forme de polygone régulier à au moins quatre côtés et les première et seconde parties inductives sont positionnées de manière à être adjacentes aux côtés de la boucle inductive commune.
- [0012] Selon un mode de réalisation, la première partie inductive du coeur d'oscillateur est positionnée de manière à être adjacente à un premier côté de la boucle inductive commune et sa seconde partie inductive est positionnée de manière à être adjacente à un deuxième côté de la boucle inductive commune, une première extrémité de chacune des première et seconde parties inductives étant reliée à un circuit d'excitation du coeur d'oscillateur.
- [0013] Selon un mode de réalisation, la boucle inductive commune comprend : une connexion de tension de mode commun au point milieu d'un premier de ses côtés ou à un sommet entre deux de ses côtés ; et les première et seconde lignes de sortie différentielles reliées à un deuxième de ses côtés opposé au premier côté.
- [0014] Selon un mode de réalisation, chaque coeur d'oscillateur comprend un varacteur et un amplificateur différentiel dont un premier noeud de sortie est relié à une extrémité de la première partie inductive et un second noeud de sortie est relié à une extrémité de la seconde partie inductive, le varacteur étant relié entre les premier et second noeuds de sortie.
- [0015] Selon un mode de réalisation, chaque coeur d'oscillateur est adapté à être activé de façon sélective.
- [0016] Selon un autre aspect, la présente invention prévoit un dispositif de communication comprenant : un circuit d'antenne de pilotage d'une ou plusieurs antennes ; et l'oscillateur commandé en tension ci-dessus.

Brève description des dessins

- [0017] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :
- [0018] [fig.1] la figure 1 est une vue en plan illustrant un oscillateur VCO selon un exemple

de réalisation de la présente invention ;

- [0019] [fig.2] la figure 2 est un schéma électrique d'un coeur d'oscillateur de la figure 1 selon un exemple de réalisation ;
- [0020] [fig.3] la figure 3 est un schéma électrique d'un amplificateur différentiel correspondant à un bloc Gm du coeur d'oscillateur de la figure 2 selon un exemple de réalisation de la présente invention ;
- [0021] [fig.4] la figure 4 illustre schématiquement un oscillateur VCO selon un autre exemple de réalisation de la présente invention ;
- [0022] [fig.5] la figure 5 illustre schématiquement un dispositif de communication sans fil comprenant un oscillateur VCO selon un exemple de réalisation de la présente invention ;
- [0023] [fig.6] la figure 6 est un graphique représentant le bruit de phase en fonction de la fréquence de décalage de porteuse ;
- [0024] [fig.7] la figure 7 illustre schématiquement un oscillateur VCO selon un autre exemple de réalisation de la présente invention ; et
- [0025] [fig.8] la figure 8 illustre schématiquement un oscillateur VCO selon encore un autre exemple de réalisation de la présente invention.

Description des modes de réalisation

- [0026] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.
- [0027] Sauf indication contraire, on utilise le terme "connecté" pour désigner une connexion électrique directe entre éléments de circuit, tandis que l'on utilise le terme "relié" ou "couplé" pour désigner une connexion électrique entre éléments de circuit qui peut être directe ou s'effectuer par l'intermédiaire d'un ou plusieurs éléments.
- [0028] Dans la description qui suit, sauf indication contraire, lorsque l'on se réfère à des qualificatifs de position absolue tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc. ou à des qualificatifs de position relative tels que les termes "au-dessus", "au-dessous", "supérieur", "inférieur", etc. ou à des qualificatifs d'orientation tels qu'"horizontal", "vertical", etc., on se réfère à l'orientation représentée dans les figures, ou à un oscillateur VCO tel qu'orienté en utilisation normale.
- [0029] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement" et "de l'ordre de" signifient à 10% près, de préférence à 5% près.
- [0030] On a proposé de réduire le bruit de phase dans un oscillateur VCO en couplant plusieurs coeurs d'oscillateur en parallèle les uns avec les autres. En effet, on a représenté le bruit de phase d'un oscillateur VCO comme étant proportionnel à sa ré-

sistance, cette résistance pouvant être réduite en prévoyant plusieurs coeurs d'oscillateur disposés en parallèle. La difficulté est toutefois que le couplage en parallèle de plusieurs coeurs d'oscillateur entraîne des problèmes de topologie particulièrement ardu, voire insurmontables, quand le nombre de coeurs est supérieur ou égal à quatre.

- [0031] La figure 1 est une vue en plan illustrant un oscillateur VCO 100 selon un exemple de réalisation de la présente invention et à partir de coeurs d'oscillateur couplés en série formant un transformateur actif distribué (SDAT).
- [0032] L'oscillateur VCO 100 de l'exemple de la figure 1 comprend quatre coeurs d'oscillateur C1, C2, C3 et C4 magnétiquement couplés en série. Par exemple, les coeurs d'oscillateur sont couplés en série par induction électromagnétique, également connue sous le nom de couplage inductif, par exemple par l'intermédiaire d'une boucle inductive commune.
- [0033] Chaque coeur d'oscillateur comprend par exemple un circuit d'excitation 102 recevant un signal de commande Vctrl par une ligne d'entrée 104 et présentant des sorties 105 et 107. En outre, chaque coeur d'oscillateur comprend en outre une partie inductive 106 reliée à la sortie 105 du circuit d'excitation 102 et une partie inductive 108 reliée à la sortie 107 du circuit d'excitation 102. Les parties inductive 106, 108 sont positionnées de manière à être adjacentes aux côtés d'une boucle inductive commune 110. Ainsi, les parties inductives 106, 108 des coeurs d'oscillateur sont par exemple disposées de manière à former des segments d'un bloc primaire d'un transformateur 1:1 et la boucle inductive commune forme un bloc secondaire du transformateur 1:1.
- [0034] Dans l'exemple de la figure 1, la boucle inductive commune 110 est de forme carrée et les parties inductives 106, 108 de chaque coeur d'oscillateur sont formées de manière à être adjacentes à différents côtés de la boucle inductive 110.
- [0035] Par exemple, une partie inductive 106A du coeur d'oscillateur C1 est formée de manière à être adjacente à un côté 110A de la boucle inductive commune 110 et une partie inductive 108D du coeur d'oscillateur C1 est formée de manière à être adjacente à un côté 110D de la boucle inductive commune 110.
- [0036] De même : une partie inductive 106B du coeur d'oscillateur C2 est formée de manière à être adjacente à un côté 110B de la boucle inductive commune 110 et une partie inductive 108A du coeur d'oscillateur C2 est formée de manière à être adjacente à un côté 110A de la boucle inductive commune 110 ; une partie inductive 106C du coeur d'oscillateur C3 est formée de manière à être adjacente à un côté 110C de la boucle inductive commune 110, et une partie inductive 108B du coeur d'oscillateur C3 est formée de manière à être adjacente au côté 110B de la boucle inductive commune 110 ; et une partie inductive 106D du coeur d'oscillateur C4 est formée de manière à

être adjacente à un côté 110D de la boucle inductive commune 110 et une partie inductive 108C du coeur d'oscillateur C4 est formée de manière à être adjacente au côté 110C de la boucle inductive commune 110.

- [0037] Chacune des parties inductives 106, 108 présente par exemple une inductance comprise entre 10 et 100 pH et par exemple comprise entre 20 et 30 pH pour une fréquence d'oscillation d'environ 50 GHz.
- [0038] Chaque couple de parties inductives 106A, 108A ; 106B, 108B ; 106C, 108C ; et 106D, 108D, formées de manière à être adjacentes à un même côté 110A à 110D de la boucle inductive commune carrée 110, est par exemple formée par une bande continue de piste conductrice, les extrémités de chaque bande étant reliées aux sorties correspondantes du circuit d'excitation 102 d'un coeur d'oscillateur correspondant, et un point milieu 114 de chaque bande étant relié à un rail d'alimentation, tel que VDD. Chaque bande continue de piste conductrice formant un couple de parties inductives 106, 108 présente par exemple une longueur totale comprise entre 50 et 150 μm , par exemple d'environ 80 μm .
- [0039] La boucle inductive commune 110 comprend par exemple une bande carrée de piste conductrice, continue sauf le long du côté 110A, où l'une de ses extrémités 116 est reliée à une ligne de sortie 118 de l'oscillateur VCO 100 et son autre extrémité 120 est reliée à une ligne de sortie 122 de l'oscillateur VCO 100, les lignes de sortie 118, 122 délivrant respectivement les signaux différentiels de sortie OUT+, OUT- de l'oscillateur VCO 100. Les extrémités 116, 120 de la boucle inductive 110 sont par exemple séparées l'une de l'autre par un intervalle 124 autour du point milieu du côté 110A de la boucle inductive commune. En outre, un point 126 à la hauteur du point milieu du côté opposé 110C de la boucle inductive commune 110 est par exemple relié à une tension d'alimentation de mode commun V_{cm} , qui impose un niveau de mode commun sur les signaux de sortie différentiels OUT+, OUT-.
- [0040] Chacun des coeurs d'oscillateur C1 à C4 reçoit par exemple la même tension de commande V_{ctrl} , produite par le circuit de commande (CTRL) 128. Par exemple, le circuit de commande 128 fait partie d'une boucle de commande et reçoit donc un signal de rétroaction FB basé sur une évaluation de la fréquence du signal de sortie différentiel OUT+, OUT- et produit la tension de commande V_{ctrl} en fonction de ce signal de rétroaction FB.
- [0041] Alors qu'à l'exemple de la figure 1, les circuits d'excitation 102 des coeurs d'oscillateur C1 à C4 sont positionnés aux coins de la boucle inductive commune carrée 110 et les parties inductives 106, 108 sont formées de manière à être adjacentes à différents côtés de la boucle inductive commune carrée 110, d'autres dispositions seraient possibles, comme on le décrira en référence à la figure 7.
- [0042] La figure 7 est une vue en plan illustrant un oscillateur VCO 700 selon un autre

exemple de réalisation de la présente invention et à partir de coeurs d'oscillateur couplés en série formant un transformateur actif distribué (SDAT). L'oscillateur VCO 700 présente de nombreux éléments communs avec l'oscillateur VCO 100 de la figure 1, et de mêmes éléments sont désignés par de mêmes références et ne seront pas décrits à nouveau en détail. Dans l'oscillateur VCO 700, les circuits d'excitation 102 des coeurs d'oscillateur C1 à C4 sont positionnés à proximité des points milieux des côtés de la boucle inductive commune carrée 110 et les parties inductives 106, 108 d'un coeur d'oscillateur donné sont formées de manière à être adjacentes à un même côté de la boucle inductive commune carrée 110. Dans cette disposition, les lignes de sortie 118, 122 sont par exemple positionnées à un coin de la boucle inductive commune 110 et la connexion de mode commun 126 est par exemple positionnée au niveau du coin opposé de la boucle inductive commune 110.

- [0043] En outre, il serait possible de supprimer un ou plusieurs coeurs d'oscillateur dans les modes de réalisation des figures 1 et 7. Par exemple, une solution à partir de seulement deux coeurs d'oscillateur pourrait être réalisée en supprimant les coeurs C1 et C2, y compris leurs parties inductive correspondantes 106A, 108D, 108A et 106B, ou en supprimant les coeurs C3 et C4, y compris leurs parties inductive correspondantes 106C, 108B, 108C et 106D.
- [0044] En prévoyant des coeurs d'oscillateur magnétiquement couplés en série comme le représentent les figures 1 et 7, les résistances des coeurs s'ajouteront. Toutefois, le bruit de phase reste réduit. En effet, on peut montrer que le bruit de phase est proportionnel à la résistance de réservoir de résonance et inversement proportionnelle au carré de l'amplitude du signal de sortie. En couplant magnétiquement plusieurs coeurs d'oscillateur en série, leurs oscillations s'ajouteront, augmentant l'amplitude et permettant de réduire le bruit de phase.
- [0045] La figure 2 est un schéma électrique du coeur d'oscillateur C1 des figures 1 et 7 selon un exemple de réalisation. Les autres coeurs d'oscillateur C2 à C4 sont par exemple mis en oeuvre par un circuit analogue.
- [0046] Le circuit d'excitation 102 comprend par exemple un varacteur 202 commandé par le signal V_{ctrl} , qui est par exemple un signal de commande analogique. Le varacteur 202 est relié entre les lignes de sortie 105, 107 du circuit d'excitation 102. Le circuit 102 comprend également par exemple un amplificateur différentiel 206 (G_m) dont les sorties différentielles positive et négative sont reliées aux lignes de sortie 105 et 107, respectivement. En outre, la sortie positive de l'amplificateur 206 est reliée à son entrée négative et la sortie négative de l'amplificateur 206 est reliée à son entrée positive. Une résistance 204 représentée en traits tiretés à la figure 2 représente la résistance de réservoir du coeur d'oscillateur, les résistances des coeurs étant présentées en série dans les modes de réalisation des figures 1 et 7.

- [0047] On a représenté le varacteur 202 comme étant connecté entre les lignes d'entrée 105, 107, mais selon une variante 210 représentée à la figure 2, les bornes du varacteur 202, c'est-à-dire les lignes 105, 107, peuvent être court-circuitées à VDD par l'intermédiaire des interrupteurs 212, 214 respectivement reliés entre les lignes 105, 107 et le rail d'alimentation VDD. Par exemple, les interrupteurs 212, 214 sont mis en oeuvre par des transistors MOS relativement petits et sont par exemple commandés par un signal de validation EN, permettant l'activation sélective du coeur d'oscillateur.
- [0048] La figure 3 est un schéma électrique de l'amplificateur différentiel 206 du coeur d'oscillateur de la figure 2 selon un exemple de réalisation de la présente invention. Dans l'exemple de la figure 3, l'amplificateur différentiel 206 est mis en oeuvre par un couple différentiel 304, 306, par exemple mis en oeuvre par des transistors MOS ou bipolaires, chacun relié par l'intermédiaire de ses noeuds conducteurs de courants principaux entre les lignes de sortie 105, 107, respectivement et un rail de tension de masse GND. Les émetteurs ou sources des transistors 304, 306 peuvent également être court-circuités à un noeud commun dans certains modes de réalisation, le noeud commun pouvant être connecté par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une source de courant au rail de masse. Les noeuds de commande des transistors 304, 306 sont reliés l'un à l'autre par l'intermédiaire de résistances 308, 310. En outre, le noeud de commande du transistor 304 est par exemple relié à la ligne de sortie 107 par l'intermédiaire d'un condensateur 312, et le noeud de commande du transistor 306 est par exemple relié à la ligne de sortie 105 par l'intermédiaire d'un condensateur 314.
- [0049] Bien sûr, la figure 3 ne propose qu'un exemple de mise en oeuvre de l'amplificateur différentiel 206, et de nombreuses variantes de circuit pourraient être utilisées. Par exemple, dans des variantes de réalisation, les condensateurs 312 et 314 pourraient être remplacés par des courts-circuits.
- [0050] Les exemples des figures 1 et 7 sont basés sur quatre coeurs d'oscillateur mais la forme de la boucle inductive commune peut être adaptée à plus de quatre coeurs d'oscillateur, comme on le décrira maintenant plus en détail en référence à la figure 4.
- [0051] La figure 4 illustre schématiquement un oscillateur VCO 400 selon un autre exemple de réalisation de la présente invention, de nouveau à partir de coeurs d'oscillateur couplés en série formant un transformateur actif distribué (SDAT). L'exemple de la figure 8 comprend huit coeurs d'oscillateur C1 à C8 couplés magnétiquement en série, chaque coeur d'oscillateur étant mis en oeuvre par un circuit analogue à celui de la figure 2, y compris le circuit d'excitation 102. Par exemple, les coeurs d'oscillateur C1 à C8 sont couplés en série par induction électromagnétique, également connue sous le nom de couplage inductif, par exemple par l'intermédiaire d'une boucle inductive commune.
- [0052] Chaque coeur d'oscillateur C1 à C8 de l'oscillateur VCO 400 présente une partie

inductive 406 reliée à la ligne de sortie 105 du circuit d'excitation 102 et une partie inductive 408 reliée à la ligne de sortie 107 du circuit d'excitation 102. Les parties inductive 406, 408 sont positionnées de manière à être adjacentes aux côtés d'une boucle inductive commune 410.

- [0053] Dans l'exemple de la figure 4, la boucle inductive commune 410 est de forme octogonale et chaque coeur d'oscillateur C1 à C8 a ses parties inductives 406, 408 formées de manière à être adjacentes à différents côtés de la boucle inductive 410. Ainsi, les parties inductives 406, 408 des coeurs d'oscillateur sont par exemple disposées de manière à former des segments d'un bloc primaire du transformateur 1:1.
- [0054] Par exemple, une partie inductive 406A du coeur d'oscillateur C1 est formée de manière à être adjacente à un côté 410A de la boucle inductive commune 410 et une partie inductive 408H du coeur d'oscillateur C1 est formée de manière à être adjacente à un côté 410H de la boucle inductive commune 410. De même, les parties inductives 406B à 406H des coeurs d'oscillateur C2 à C8 sont formées de manière à être adjacentes aux côtés 410B à 410H, respectivement, de la boucle inductive commune 410, et les parties 408A à 408G des coeurs d'oscillateur C2 à C8 sont formées de manière à être adjacentes aux côtés 410A à 410G, respectivement, de la boucle inductive commune 410.
- [0055] Chacune des parties inductives 406, 408 présente par exemple une inductance comprise entre 10 et 100 pH et par exemple comprise entre 20 et 30 pH pour une fréquence d'oscillation d'environ 50 GHz.
- [0056] Chaque couple de parties inductives 406A, 408A à 406H, 408H, formées de manière à être adjacentes à un même côté respectif 410A à 410H de la boucle inductive commune octogonale 410, est par exemple formé par une bande continue de piste conductrice, les extrémités de chaque bande étant reliées aux sorties correspondantes des circuits d'excitation correspondants 102 d'un coeur d'oscillateur correspondant, et un point milieu 414 de chaque bande étant relié à un rail d'alimentation, tel que VDD. Chaque bande continue de piste conductrice formant un couple de parties inductives 406, 408 présente par exemple une longueur comprise entre 50 et 150 μm , par exemple d'environ 80 μm .
- [0057] La boucle inductive commune 410 comprend par exemple une bande octogonale de piste conductrice, continue sauf le long du côté 410A, où l'une de ses extrémités 416 est reliée à une ligne de sortie 418 de l'oscillateur VCO 400 et son autre extrémité 420 est reliée à une ligne de sortie 422 de l'oscillateur VCO 400, les lignes de sortie 418, 422 délivrant respectivement les signaux de sortie OUT+, OUT- de l'oscillateur VCO 400. Les extrémités 416, 420 de la boucle inductive 110 sont par exemple séparées l'une de l'autre par un intervalle 424 autour du point milieu du côté 410A de la boucle inductive commune. En outre, un point 426 à la hauteur du point milieu du côté opposé

410E de la boucle inductive commune 410 est par exemple relié à une tension d'alimentation de mode commun V_{cm} , qui impose un niveau de mode commun sur les signaux de sortie différentiels $OUT+$, $OUT-$.

- [0058] Bien que cela ne soit pas représenté à la figure 4, chacun des coeurs d'oscillateur C1 à C8 reçoit par exemple la même tension de commande V_{ctrl} , produite par un circuit de commande analogue au circuit 128 de la figure 1.
- [0059] Comme pour le mode de réalisation de la figure 7, les circuits d'excitation 102 des coeurs d'oscillateur C1 à C8 de l'oscillateur VCO 400 pourraient plutôt être positionnés à proximité des points milieux des côtés de la boucle inductive commune octogonale 410 et les parties inductives 406, 408 d'un coeur d'oscillateur donné pourraient être formées de manière à être adjacentes à un même côté de la boucle inductive commune carrée 410. Dans cette disposition, les lignes de sortie 418, 422 seraient par exemple positionnées à l'un des sommets de la boucle inductive commune 410 et la connexion de mode commun 426 serait par exemple positionnée au niveau du sommet opposé, qui se trouve par exemple exactement au milieu de la boucle inductive commune 410.
- [0060] Il serait en outre possible de supprimer un ou plusieurs coeurs d'oscillateur de l'oscillateur VCO 400. Par exemple, une solution comprenant six coeurs d'oscillateur pourrait être mise en oeuvre en supprimant les coeurs C1 et C2.
- [0061] Bien que les modes de réalisation des figures 1, 4 et 7 illustrent des exemples à quatre et huit coeurs d'oscillateur, respectivement, de façon plus générale, M coeurs pourraient être présents, M étant supérieur ou égal à deux. Dans certains modes de réalisation, M peut être un entier impair. On peut montrer que le gain en termes de réduction de bruit de phase est égal à $10 \cdot \log_{10} M$ dB quand tous les coeurs sont actifs. Ainsi, le gain dans l'exemple des figures 1, 4 et 7 avec $M = 4$ est par exemple de 6 dB de réduction de bruit de phase et le gain dans l'exemple de la figure 4 avec $M = 8$ est par exemple de 9 dB de réduction de bruit de phase. Dans le cas d'un nombre impair de coeurs, la connexion de mode commun est par exemple reliée au sommet opposé au côté duquel les lignes de sortie de l'oscillateur VCO sont formées et en particulier au milieu de la boucle inductive.
- [0062] La figure 8 illustre un exemple d'oscillateur VCO 800 comprenant cinq coeurs couplés magnétiquement en série par l'intermédiaire d'une boucle inductive pentagonale 110. Les éléments de la figure 8 ont été désignés par les mêmes références que ceux des figures 1 et 7 et ne seront pas décrits à nouveau. Toutefois, à la figure 8, des références supplémentaires 106E, 108E et 110E désignent les parties formant le cinquième côté du pentagone.
- [0063] Il serait en outre également possible, dans les modes de réalisation des figures 1 et 4, ou plus généralement dans des modes de réalisation à M coeurs d'oscillateur couplés

magnétiquement en série, d'activer sélectivement certains coeurs seulement. Par exemple, certain ou tous les coeurs d'oscillateur comprennent la variante 210 de la figure 2, comme on le décrira plus en détail en référence à la figure 5.

[0064] La figure 5 illustre schématiquement un dispositif de communication sans fil 500 comprenant un oscillateur VCO 502 selon un exemple de réalisation de la présente invention. L'oscillateur VCO 502 est par exemple mis en oeuvre par le circuit de la figure 1, 4, 7 ou 8 ou un circuit analogue comprenant M coeurs d'oscillateur, où certains des coeurs peuvent être activés de façon sélective. L'oscillateur VCO 502 reçoit par exemple la tension de commande V_{ctrl} d'un circuit de commande (CTRL) 504 ainsi qu'un signal de validation EN pour chaque coeur susceptible d'être sélectivement activé. Un signal de sortie de l'oscillateur VCO 502 est par exemple fourni à un circuit d'antenne 506 relié à une antenne 508. Par exemple, ce signal fournit une fréquence porteuse pour une transmission RF par l'intermédiaire de l'antenne 508.

[0065] En fonctionnement, initialement, tous les coeurs d'oscillateur de l'oscillateur VCO 502 sont par exemple actifs, de sorte qu'un signal présentant un bruit de phase relativement faible est par exemple émis au moyen de l'antenne 508. Le circuit de commande 504 évalue alors par exemple la qualité du canal. Par exemple, un ou plusieurs trames ou paquets connus d'un récepteur sont transmis au récepteur, qui est alors en mesure d'évaluer le canal et de renvoyer l'estimation de canal obtenue à l'émetteur et en particulier au circuit de commande 504. Si la qualité est relativement élevée, l'émission se poursuit par exemple à partir de l'activation de tous les coeurs d'oscillateur de manière à obtenir un débit de données de transmission relativement élevé. Si toutefois la qualité de canal s'avère relativement mauvaise, on désactive par exemple un ou plusieurs des coeurs d'oscillateur. En effet, ceci peut permettre de réduire la consommation dans les cas où un bruit de phase réduit n'améliorera pas sensiblement la bande passante du canal.

[0066] La figure 6 est un graphique représentant la densité spectrale du bruit de phase (PHASE NOISE) en bande latérale unique en dBc/Hz, en fonction du décalage par rapport à la fréquence porteuse en Hz, où dBc est le niveau d'amplitude de bruit de phase référencé à la porteuse par bande passante de 1 Hz. Une courbe 602 illustre un exemple basé sur un oscillateur VCO présentant un coeur et une courbe 604 illustre un exemple basé sur un oscillateur VCO tel que celui de la figure 4 comprenant 8 coeurs d'oscillateur. Dans les deux cas, les oscillateurs VCO étaient centrés autour de la plage de fréquences de 60 GHz et utilisaient une technologie à transistors BiCMOS. On observe que la réduction de bruit de phase de 9 dB est obtenu avec un décalage de phase de 1 MHz, où de façon caractéristique les oscillateurs à base de silicium commencent tout juste à éprouver l'effet de bruit thermique (les courbes de la figure 6 sont pratiquement parallèles).

- [0067] Des avantages des modes de réalisation décrits ici sont la réduction du bruit de phase d'un oscillateur VCO en même temps qu'une disposition réalisable du point de vue topologique. En outre, la somme des signaux de sortie de coeur d'oscillateur entraîne un signal de sortie différentiel présentant une amplitude relativement élevée, ce qui signifie que dans certain cas, une amplification n'est pas nécessaire. Dans certains cas, on pourrait utiliser un atténuateur pour régler l'amplitude pour une application donnée, tout en conservant un bruit de phase avantageusement faible.
- [0068] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. L'homme de l'art comprendra que certaines caractéristiques de ces modes de réalisation peuvent être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, bien que l'on ait décrit des mode de réalisation dans lesquels un amplificateur différentiel du circuit d'excitation est connecté ou relié à un rail de masse, et les parties inductive des coeurs d'oscillateur sont connectées ou reliées à un rail de tension positive, dans d'autres modes de réalisation, les tensions d'alimentation des coeurs d'oscillateur pourraient être inversées.
- [0069] En outre, bien que l'on ait décrit des modes de réalisation d'oscillateurs VCO en relation avec les figures 1, 4, 7 et 8 à partir de transformateurs en forme de polygones réguliers à 4, 5 et 8 côtés, on pourrait étendre les principes décrits en relation avec ces figures à un oscillateur VCO comprenant des transformateurs présentant une forme de polygone régulier quelconque.
- [0070] Par ailleurs, bien que l'on ait décrit des exemples à base de technologie à transistors BiCMOS, il apparaîtra à l'homme de l'art que dans des variantes de réalisation, on pourrait utiliser d'autres technologies à transistors, telles que les technologies bipolaire pure ou CMOS.

Revendications

- [Revendication 1] Oscillateur commandé en tension comprenant plusieurs coeurs d'oscillateur (C1 à C8) couplés magnétiquement en série.
- [Revendication 2] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 1, dans lequel les plusieurs coeurs d'oscillateur comprennent M coeurs d'oscillateur (C1 à C8), M étant égal à 4 ou plus.
- [Revendication 3] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque coeur d'oscillateur (C1 à C8) comprend des première et seconde parties inductives (106, 108, 406, 408), les première et seconde parties inductives de chacun des coeurs d'oscillateur étant magné-
tiquement couplées à une boucle inductive commune (110, 410).
- [Revendication 4] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 3, comprenant en outre une première ligne de sortie (118, 418) reliée à une extrémité (116, 416) de la boucle inductive commune (110, 410) et une seconde ligne de sortie (122, 422) reliée à l'autre extrémité (120) de la boucle inductive commune.
- [Revendication 5] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 3 ou 4, dans lequel la boucle inductive commune (110, 410) présente une forme de polygone régulier à au moins quatre côtés et les première et seconde parties inductives (106, 108, 406, 408) sont positionnées de manière à être adjacentes aux côtés de la boucle inductive commune.
- [Revendication 6] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 5, dans lequel la première partie inductive (106, 406) du coeur d'oscillateur (C1 à C8) est positionnée de manière à être adjacente à un premier côté de la boucle inductive (110, 410) commune et sa seconde partie inductive (108, 408) est positionnée de manière à être adjacente à un second côté de la boucle inductive commune, une première extrémité de chacune des première et seconde parties inductives étant reliée à un circuit d'excitation (102) du coeur d'oscillateur.
- [Revendication 7] Oscillateur commandé en tension selon la revendication 5 ou 6, dans lequel la boucle inductive commune (110, 410) comprend :
- une connexion de tension de mode commun au point milieu (126, 426) d'un premier de ses côtés (110C, 410E) ou à un sommet entre deux de ses côtés ; et
 - les première et second lignes de sortie différentielles (418, 422) reliées à un deuxième de ses côtés opposé au premier côté.
- [Revendication 8] Oscillateur commandé en tension selon l'une quelconque des reven-

dications 3 à 7, dans lequel chaque coeur d'oscillateur (C1 à C8) comprend un varacteur (202) et un amplificateur différentiel dont un premier noeud de sortie (105, 405) est relié à une extrémité de la première partie inductive (106, 406) et un second noeud de sortie (107, 407) est relié à une extrémité de la seconde partie inductive (108, 408), le varacteur (202) étant relié entre les premier et second noeuds de sortie.

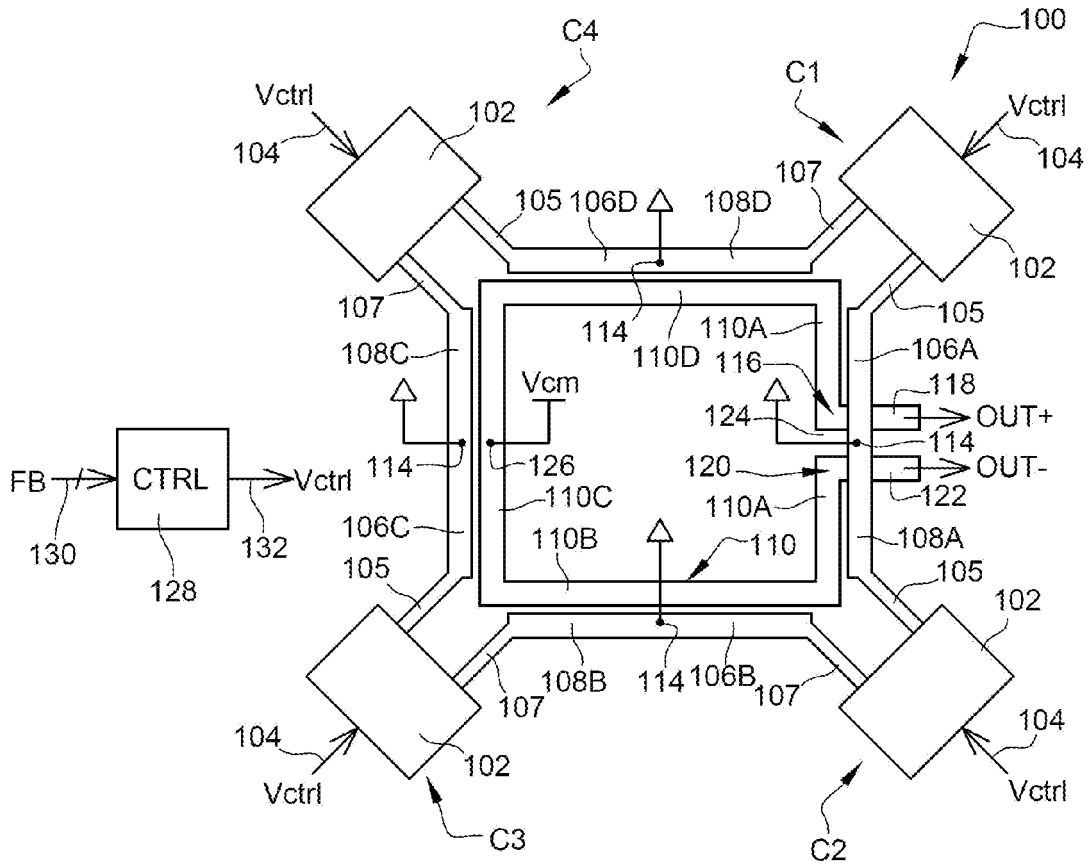
[Revendication 9] Oscillateur commandé en tension selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel chaque coeur d'oscillateur (C1 à C8) est adapté à être sélectivement activé.

[Revendication 10] Dispositif de communication comprenant :

- un circuit d'antenne (506) de pilotage d'une ou plusieurs antennes (508) ; et
- un oscillateur commandé en tension selon l'une quelconque des revendications précédentes.

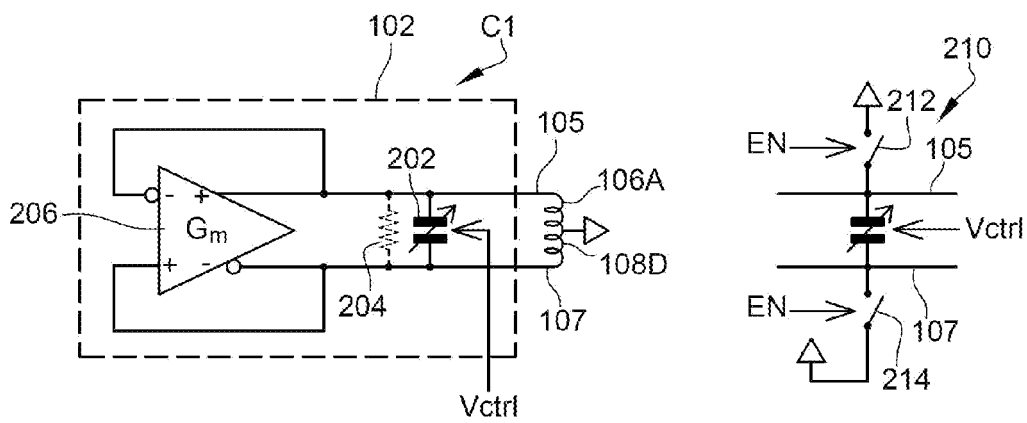
[Fig. 1]

Fig. 1

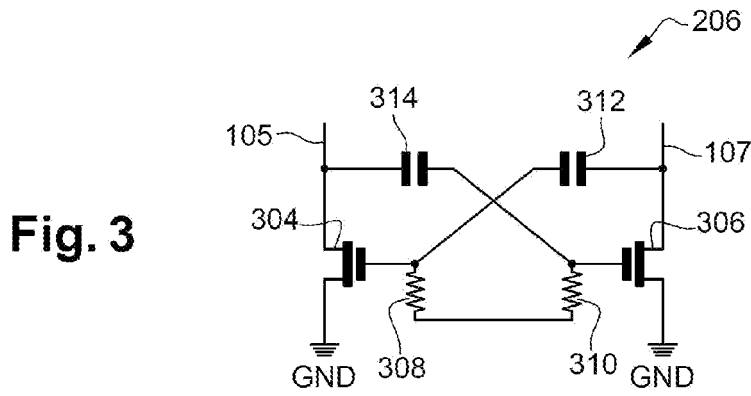


[Fig. 2]

Fig. 2

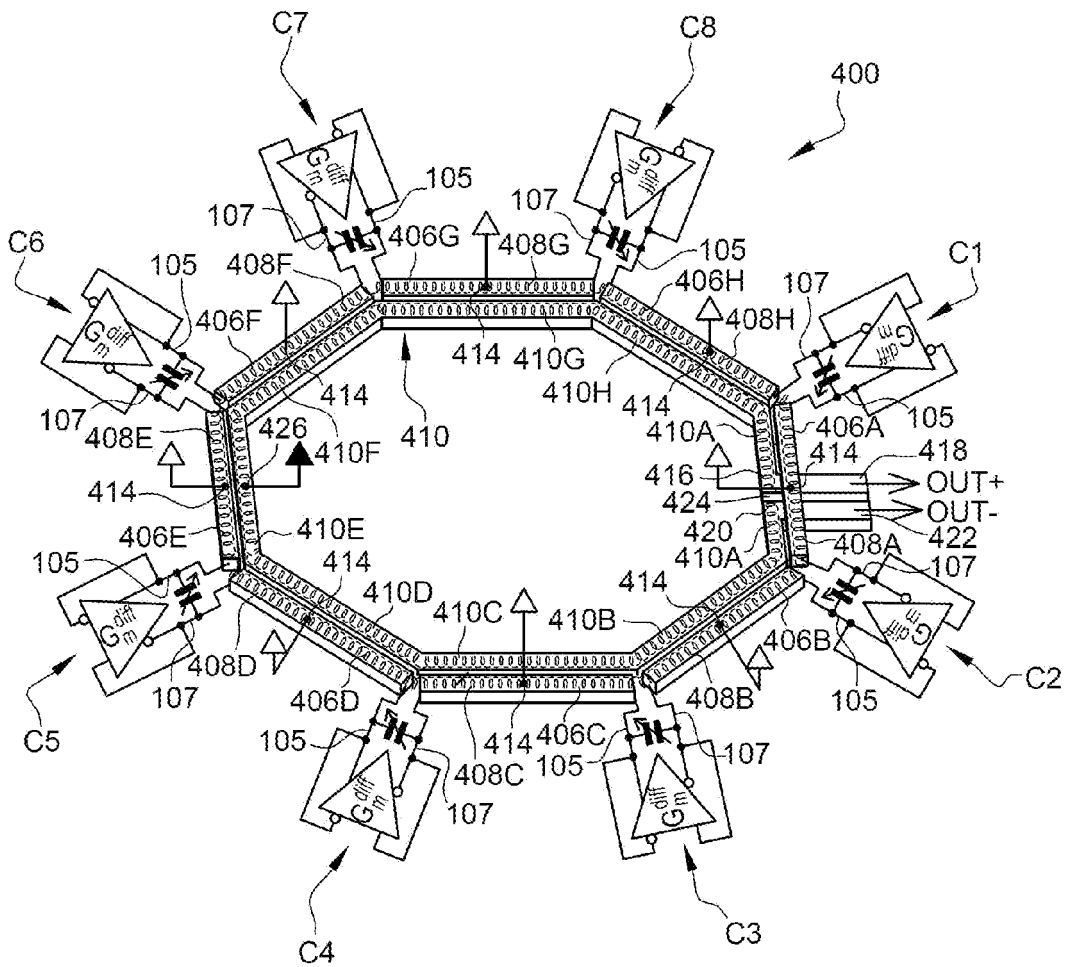


[Fig. 3]

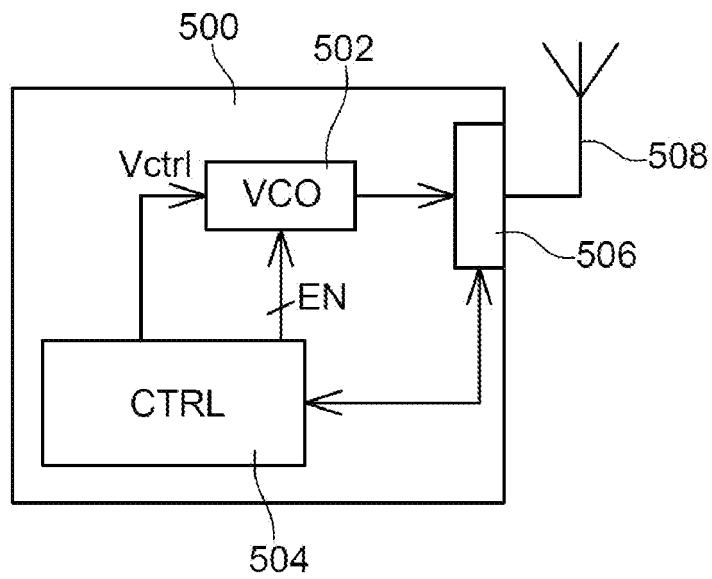


[Fig. 4]

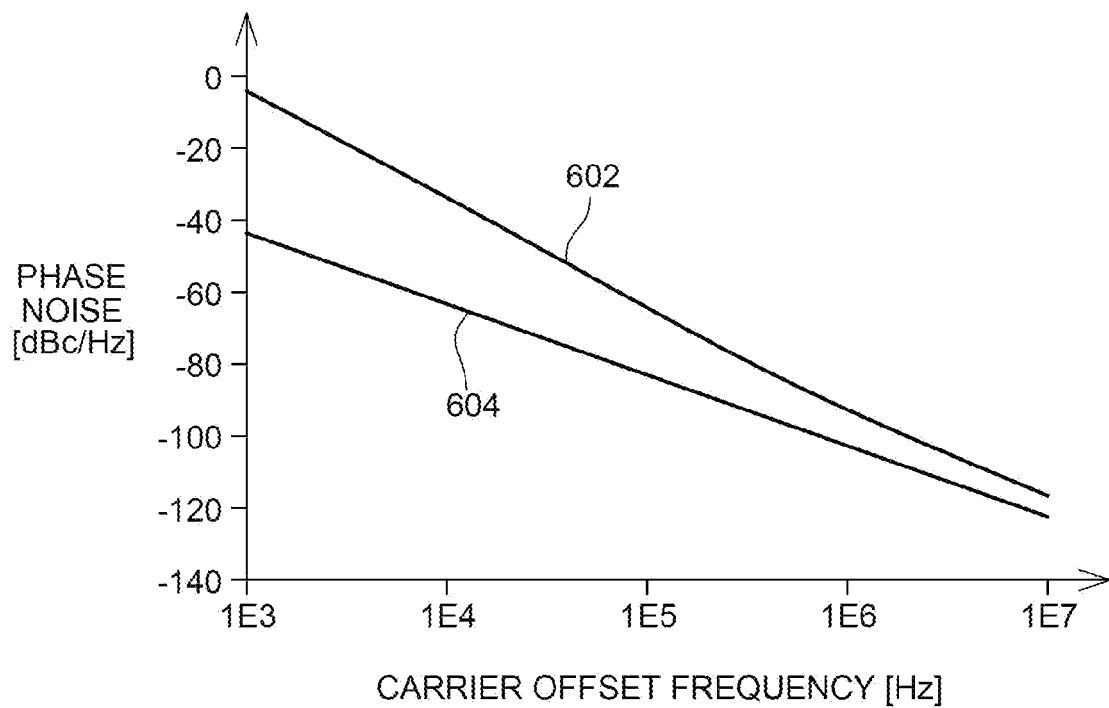
Fig. 4



[Fig. 5]

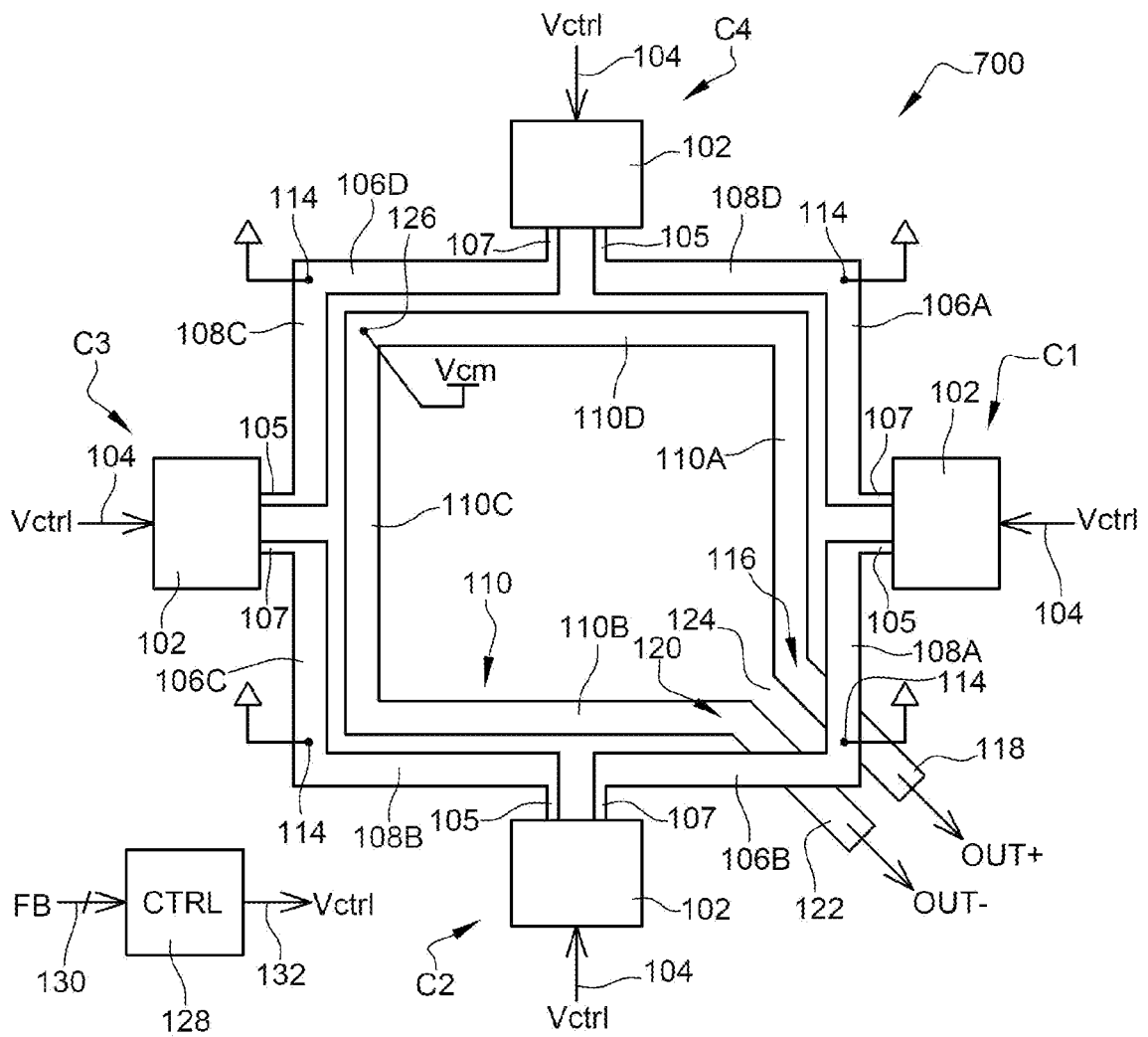
Fig. 5

[Fig. 6]

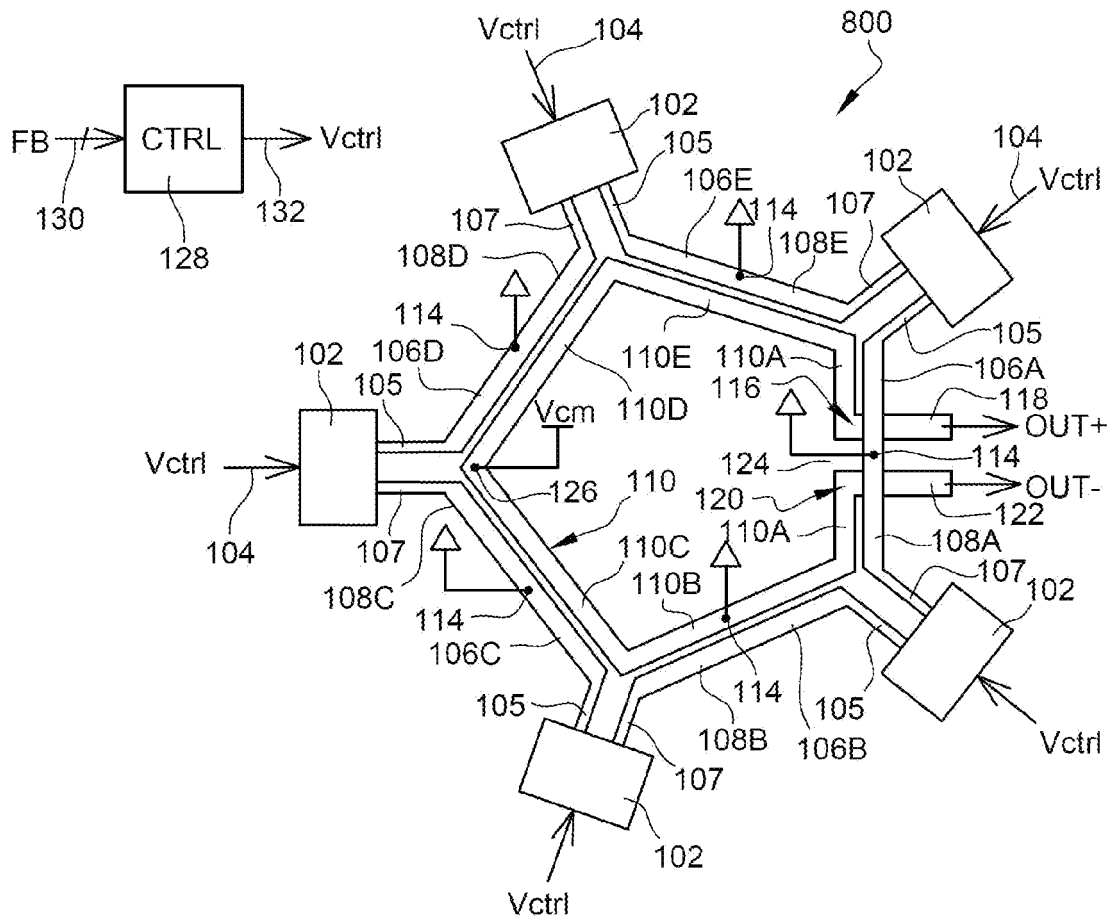
Fig. 6

[Fig. 7]

Fig. 7



[Fig. 8]

Fig. 8



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 871594
FR 1908586

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	US 2014/070898 A1 (SHIRINFAR FARID [US] ET AL) 13 mars 2014 (2014-03-13) * alinéa [0035]; figure 4 * * alinéas [0044], [0045] * * alinéas [0047] - [0049]; figure 7 * * alinéas [0055] - [0057]; figure 9 * -----	1-6,8-10 7	H03K5/02 H03K5/13 H03B1/04
X	US 2004/124931 A1 (HAJIMIRI SEYED-ALI [US] ET AL) 1 juillet 2004 (2004-07-01) * alinéas [0023], [0024]; figure 1A * * alinéas [0028] - [0030]; figures 3A, 3B * -----	1-10	
X A	EP 3 416 284 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 19 décembre 2018 (2018-12-19) * alinéas [0012], [0013], [0015], [0016], [0025]; figures 1A-1C * -----	1,3,4,8-10 2,5-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H03B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 avril 2020		Martínez Martínez, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1908586 FA 871594**

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 **01-04-2020**
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
US 2014070898 A1	13-03-2014	US 2014070898 A1	13-03-2014
		US 2015084708 A1	26-03-2015
		US 2016211801 A1	21-07-2016

US 2004124931 A1	01-07-2004	AT 406688 T	15-09-2008
		AU 2003301377 A1	04-05-2004
		CN 1708896 A	14-12-2005
		EP 1552601 A2	13-07-2005
		KR 20050053779 A	08-06-2005
		US 2004124931 A1	01-07-2004
		WO 2004036751 A2	29-04-2004

EP 3416284 A1	19-12-2018	EP 3416284 A1	19-12-2018
		FR 3067890 A1	21-12-2018
		US 2018367097 A1	20-12-2018
