

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2020/127903 A1**

(43) Date de la publication internationale  
25 juin 2020 (25.06.2020)

(51) Classification internationale des brevets :

*H01L 41/04* (2006.01)      *G01S 15/89* (2006.01)  
*H01F 1/153* (2006.01)      *H04R 3/00* (2006.01)  
*H02N 2/00* (2006.01)

(71) **Déposant** : THALES [FR/FR] ; TOUR CARPE DIEM,  
Place des Corolles, Esplanade Nord, 92400 COURBEVOIE  
(FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2019/086570

(72) **Inventeurs** : THOMAS, Philippe ; THALES DMS  
FRANCE, Route de Ste Anne du Portzic, 29238 BREST  
Cedex 03 (FR). BATY, Pierre ; THALES DMS FRANCE,  
Route de Ste Anne du Portzic, 29238 BREST Cedex 03  
(FR).

(22) Date de dépôt international :

20 décembre 2019 (20.12.2019)

(74) **Mandataire** : DERVAL, Estelle et al. ; MARKS &  
CLERK FRANCE, Immeuble Visium, 22, avenue Aristide  
Briand, 94117 ARCUEIL Cedex (FR).

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1873486      20 décembre 2018 (20.12.2018) FR

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

(54) Title: TUNING DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF D'ACCORD

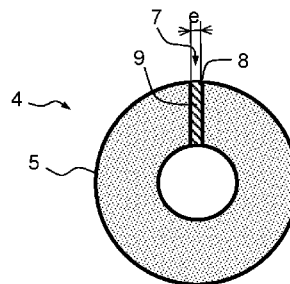


FIG.5

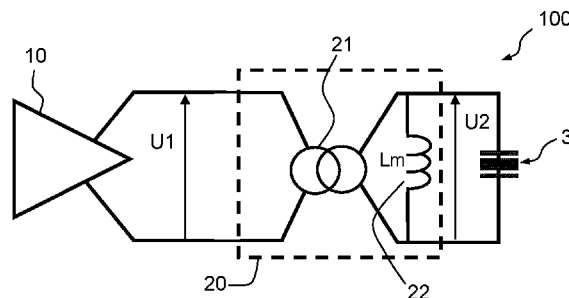


FIG.6

(57) **Abstract**: Tuning device (100) having a tuning inductor (22) designed to be tuned with a capacitor of an assembly consisting of at least one piezoelectric transducer (3) at a frequency of use of the assembly consisting of at least one piezoelectric transducer, the tuning device comprising a toroidal magnetic core (4) which comprises a magnetic portion (5) made of a nanocrystalline ferromagnetic material, an assembly consisting of at least one air gap (7) made of a non-magnetic material and at least one winding of a conductive element wound around the toroidal magnetic core.

(57) **Abstrégé** : Dispositif d'accord présentant (100) une inductance d'accord (22) destinée à être accordée avec une capacité d'un ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3) à une fréquence d'utilisation de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique,



WO 2020/127903 A1

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

le dispositif d'accord comprenant un noyau magnétique torique (4) comprenant une partie magnétique (5) à base d'un matériau ferro-magnétique nanocristallin, un ensemble d'au moins un entrefer (7) en matériau amagnétique et au moins un enroulement d'un élément conducteur réalisé autour du noyau magnétique torique.

## Description

### Titre de l'invention : Dispositif d'accord

[0001] Le domaine de l'invention est celui des dispositifs d'accord. Ces dispositifs trouvent une utilité pour l'alimentation des transducteurs piézoélectriques, notamment dans le domaine des sonars, par exemple des antennes d'émission d'ondes acoustiques.

[0002] La nature capacitive d'un transducteur piézoélectrique représente une difficulté majeure pour son alimentation. En effet, certains transducteurs « consomment » une puissance réactive qui peut-être plus de cinq fois supérieure à leur maximum de puissance active (i.e. ce qui est réellement transmis dans l'eau). Il est ainsi indispensable de limiter le niveau de la puissance réactive fournie pour l'alimentation d'un ou plusieurs transducteur(s) piézo-électrique(s) afin d'éviter de sur-dimensionner les étages de puissance placés en amont. Or, pour maximiser la puissance émise par le transducteur, il est judicieux de l'exciter électriquement à sa fréquence de résonance mécanique. L'ajout, en amont du transducteur, d'une inductance dont la valeur est accordée avec la capacité du transducteur à une fréquence proche de la résonance mécanique du transducteur permet de réaliser un ensemble ne consommant que de la puissance active et minimise ainsi le dimensionnement des convertisseurs.

[0003] Un transformateur élévateur peut aussi être prévu pour adapter le niveau de tension de la source à celui du transducteur piézoélectrique. L'inductance magnétisante de ce dernier peut également servir d'inductance d'accord.

[0004] Dans le domaine des antennes d'émission sonars, l'obtention d'émissions directionnelles nécessite de pouvoir régler la phase et l'amplitude pour chaque transducteur, d'où la nécessité d'associer un amplificateur à chaque transducteur ou groupe de transducteurs. Une bobine d'accord doit être prévue entre chaque amplificateur et son ou ses transducteur(s). Par ailleurs, afin de limiter la distance sur laquelle circule la puissance réactive, il est préférable d'installer ce dispositif d'accord au plus près du transducteur mais des considérations pratiques peuvent

conduire à l'intégrer sur une même carte électronique que l'étage de puissance destiné à exciter le transducteur piézoélectrique.

[0005] Jusqu'à quelques dizaines de kHz, les circuits magnétiques des bobines d'accord de l'art antérieur sont le plus souvent des circuits standards, comme des tores en matériau ferromagnétique du type poudre d'alliage de fer noyée dans une matrice organique, de type MPP, Sendust etc. ou des circuits de ferrite avec un entrefer. Ces circuits magnétiques sont lourds et volumineux donc peu adaptés à l'intégration de plusieurs bobines d'accord sur une même carte électronique.

[0006] Par ailleurs, comme visible sur la figure 1 représentant la courbe d'hystérésis magnétique de l'induction B en fonction du champ magnétique d'un matériau ferromagnétique de l'art antérieur, l'inductance L, correspondant sensiblement à la pente de la courbe représentée sur la figure 1, varie avec le champ H et donc le courant I. Cette caractéristique est défavorable à l'accord de l'inductance avec la capacité du transducteur piézoélectrique à une fréquence prédéterminée avec une large dynamique de puissance émise.

[0007] Un but de l'invention est de limiter au moins un des inconvénients précités.

[0008] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif d'accord présentant une inductance d'accord destinée à être accordée avec une capacité d'un ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique à une fréquence d'utilisation de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique, le dispositif d'accord comprenant un noyau magnétique torique comprenant une partie magnétique à base d'un matériau ferromagnétique nanocristallin, un ensemble d'au moins un entrefer en matériau amagnétique et au moins un enroulement d'un élément conducteur réalisé autour du noyau magnétique torique.

[0009] Avantageusement, le noyau magnétique torique peut comprendre un unique entrefer ou plusieurs entrefers.

[0010] Avantageusement, chaque entrefer est dimensionné de sorte que le coefficient d'épanouissement latéral des lignes de champ magnétique de chaque entrefer soit inférieur ou égal à 2.

- [0011] Dans un premier mode de réalisation, le dispositif d'accord est une bobine de mode différentiel.
- [0012] Dans un deuxième mode de réalisation, le dispositif d'accord est un transformateur d'adaptation permettant d'accorder une tension d'entrée du transformateur avec une tension d'entrée du transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord étant l'inductance magnétisante du transformateur.
- [0013] Avantageusement, l'inductance d'accord est sensiblement fixe sur une plage d'induction s'étendant de 0 T à 1 T.
- [0014] Avantageusement, la fréquence d'utilisation est comprise entre 4000 Hz et 7000 Hz.
- [0015] L'invention se rapporte également à un dispositif piézoélectrique comprenant le dispositif d'accord selon l'invention et l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord étant accordée avec une capacité de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique à une fréquence d'utilisation de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique.
- [0016] La fréquence d'utilisation est comprise dans un intervalle de fréquences comprenant la fréquence de résonance de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique.
- [0017] Dans un mode particulier de réalisation, la fréquence d'utilisation est sensiblement la fréquence de résonance mécanique du transducteur piézoélectrique.
- [0018] Le dispositif d'accord peut être une bobine de mode différentiel montée en parallèle ou en série avec l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique. En variante, le dispositif d'accord est un transformateur d'adaptation permettant d'adapter une tension d'entrée du transformateur avec une tension d'entrée de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord étant l'inductance magnétisante du transformateur.
- [0019] Avantageusement, le dispositif piézoélectrique comprend un étage de puissance destiné à exciter d'au moins un transducteur piézoélectrique via le dispositif d'accord.

[0020] Avantageusement, l'étage de puissance et le dispositif d'accord sont montés sur une même carte électronique.

[0021] L'invention se rapporte également à une antenne sonar comprenant un dispositif piézoélectrique selon l'invention. Le transducteur piézoélectrique est un transducteur électroacoustique.

[0022] [Fig.1] La figure 1 déjà décrite représente schématiquement une courbe d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique de l'art antérieur,

[0023] [Fig.2] La figure 2 représente schématiquement un exemple de dispositif piézoélectrique selon l'invention comprenant un dispositif d'accord selon l'invention,

[0024] [Fig.3] La figure 3 représente schématiquement un noyau magnétique d'un dispositif d'accord selon l'invention,

[0025] [Fig.4] La figure 4 déjà décrite représente schématiquement une courbe d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique nanocristallin,

[0026] [Fig.5] La figure 5 représente schématiquement un noyau magnétique d'un dispositif d'accord selon l'invention,

[0027] [Fig.6] La figure 6 représente schématiquement un deuxième exemple de dispositif d'accord selon l'invention.

[0028] En figure 2, on a représenté un dispositif piézoélectrique 1 selon l'invention comprenant un exemple de dispositif d'accord 2 selon l'invention.

[0029] Le dispositif piézoélectrique 1 comprend un transducteur piézoélectrique 3, un étage de puissance 10 destiné à mettre en forme un signal d'excitation destiné à exciter le transducteur piézoélectrique, et une bobine d'accord 2 montée en parallèle avec le transducteur piézoélectrique 3. L'étage de puissance 10 peut, par exemple, comprendre un amplificateur comme en figure 2 et/ou convertisseur de puissance, par exemple un onduleur.

[0030] En variante, le dispositif piézoélectrique comprend plusieurs transducteurs piézoélectriques.

[0031] De préférence, la fréquence d'accord est la fréquence de résonance mécanique du transducteur piézoélectrique.

[0032] Selon l'invention, la bobine d'accord 2 comprend, comme visible en figure 3, un noyau magnétique torique 4 comprenant une partie magnétique 5 à base d'un matériau ferromagnétique nanocristallin et au moins un enroulement 6 d'un élément conducteur réalisé autour du noyau magnétique torique 4.

[0033] La figure 4 représente, avec une même échelle que la figure 1, l'hystérésis magnétique de l'induction B en fonction du champ magnétique H appliqué sur un matériau nanocristallin et donc du courant I le traversant. Pour rappel, l'induction B est donnée par  $B = d(\phi)/dt = d(L \cdot I)/dt = L \cdot dI/dt$  quand L est constante (et  $H = N \cdot I / L_e$ ), avec "Le" est la longueur du circuit magnétique, "N" est le nombre de spires et "L" est la valeur de l'inductance.

[0034] L'induction, correspondant sensiblement à la pente d'une des branches B1, B2 de l'hystérésis représenté en figure 4, est fixe et indépendante du champ H et donc du courant entre les deux saturations représentées SAT1, SAT2. Cette caractéristique est favorable à l'accord de l'inductance de la bobine avec la capacité du transducteur à une fréquence prédéterminée car l'inductance est constante, c'est à dire fixe, sur ce domaine de la courbe. Par ailleurs, comme la pente entre les saturations est fixe, la saturation se produit brutalement et de façon prédictible et reproductible, ce qui permet de la calculer aisément.

[0035] L'utilisation d'un matériau nanocristallin permet d'obtenir des circuits d'accord de taille, et de masse réduites (on constate un facteur 2 en volume et en masse par rapport à des tores en poudre d'alliage de fer de type MPP, Sendust etc.) du fait du niveau élevé que peut atteindre l'induction. La saturation du matériau nanocristallin intervient au-dessus de 1,2T sans que la valeur d'inductance ait sensiblement varié, alors que dans ce type d'applications, les matériaux utilisés dans l'art antérieur doivent être utilisés dans leur zone linéaire, soit le plus souvent en-dessous de 0,5T. Une autre caractéristique favorable des matériaux nanocristallin est leur faible niveau de pertes fer.

[0036] Ces caractéristiques (valeur d'inductance indépendante du courant, faible pertes, masse et volume réduits) font des matériaux nanocristallins une technologie particulièrement adaptée à la fonction d'accord, notamment pour la réalisation de sonars directifs qui associent un grand nombre de canaux d'émission.

[0037] Le matériau ferromagnétique nanocristallin peut être un alliage de fer. Il s'agit par exemple d'un alliage de composition de type  $\text{FeCuMSiB}$  où M est un métal de transition, par exemple le Nb. Une composition largement utilisée est du type :  $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_x\text{B}_{22.5-x}$  et contiennent 13.5% ou 16.5% de silicium. Dans cette famille, des cristaux de fer-silicium sont noyés dans une matrice résiduelle amorphe. Les cristaux ont des dimensions de l'ordre du nanomètre. D'autres matériaux de type FeMB peuvent être utilisés. Ils contiennent généralement plus de 80% de fer, 7% de métal de transition et le complément en bore. Les matériaux de cette famille comprennent des nano cristaux de fer pur.

[0038] Il est à noter que les matériaux nanocristallins ferromagnétiques présentent une perméabilité magnétique relative pouvant se situer dans une large gamme de valeurs allant de 200 à 500 000 suivant le matériau choisi et le traitement subi par ce matériau. Des traitements thermiques permettent, par exemple, de réduire la perméabilité magnétique d'un matériau. Or, les bobines d'accord sont destinées à stocker de l'énergie, et dans la majorité des cas le noyau ferromagnétique ne devrait pas dépasser une perméabilité relative de 100. L'homme du métier est donc détourné de l'utilisation de matériaux nanocristallins pour réaliser des bobines d'accord.

[0039] Selon l'invention, le noyau magnétique torique 4 comprend un ensemble d'au moins un entrefer 7 en matériau amagnétique. Par entrefer, on entend ici entrefer localisé. Cette caractéristique permet de réduire la perméabilité totale du noyau magnétique ce qui permet le stockage de l'énergie et l'utilisation de la bobine pour réaliser l'accord malgré la valeur importante de la perméabilité relative des matériaux nanocristallins ferromagnétiques.

[0040] Le noyau magnétique torique 4 est obtenu en spiralant une bande de matériau nanocristallin ce qui permet d'obtenir un tore sous forme d'une spirale d'une bande de matériau nanocristallin.

[0041] L'entrefer 7 est ensuite obtenu en sectionnant le tore de sorte à former un volume libre 8, visible en figure 5. Le restant du tore forme la partie magnétique 5 du noyau magnétique 4. La section du tore est, par exemple, réalisée par un disque diamanté ou une meule diamant.



[0042] De préférence, pour éviter d'altérer le matériau, la coupe du tore est réalisée après imprégnation et/ou enrobage dans une résine organique.

[0043] En sus ou en variante, un outillage assure le maintien mécanique de la spirale lors de la coupe afin d'éviter l'éclatement de cette dernière.

[0044] Avantageusement, une cale 9 en matériau amagnétique est insérée dans le volume libre 8 de sorte à obtenir l'entrefer et à éviter toute déformation du tore et de l'entrefer car c'est la précision des dimensions de cet entrefer et notamment de son épaisseur qui détermine de façon prépondérante la valeur de l'inductance. L'épaisseur de la cale 9 est calibrée et correspond à l'épaisseur  $e$  de l'entrefer que l'on souhaite obtenir.

[0045] Le volume libre 8 peut présenter une épaisseur légèrement inférieure à l'épaisseur  $e$  que l'on souhaite obtenir. La cale 9 peut être insérée en déformant légèrement le volume libre 8 lors de son montage.

[0046] La cale 9 peut remplir complètement le volume libre 8. En variante, la cale 9 remplit seulement partiellement le volume libre 8, un matériau de remplissage amagnétique est alors avantageusement inséré dans le restant du volume libre de façon que le noyau magnétique présente une section sensiblement fixe ce qui empêche l'enroulement de venir pénétrer dans ce volume.

[0047] En variante, une colle amagnétique est injectée dans le volume libre et est conformée par un moule configuré pour que la colle remplisse totalement le volume libre et pour que le noyau magnétique 4 présente une section constante.

[0048] En variante, le noyau magnétique torique peut comprendre plusieurs entrefers. Le procédé comprend alors plusieurs étapes de coupe, simultanées ou non, de sorte à réaliser plusieurs volumes libres destinés à former les entrefers localisés. La partie magnétique du noyau magnétique comprend alors plusieurs tronçons séparés deux à deux par un entrefer localisé.

[0049] La présence de plusieurs entrefers permet d'améliorer la capacité de stockage de l'énergie de la bobine d'accord en faisant diminuer la perméabilité magnétique du noyau magnétique par rapport à un seul entrefer localisé de même volume. Cela présente un intérêt non négligeable pour l'utilisation de matériaux nanocristallins ferromagnétiques de perméabilité magnétique élevée,

plus standardisés. Par ailleurs, la réalisation de plusieurs entrefers de volume faible (faible épaisseur ou secteur angulaire de taille réduite) est plus intéressante du point de vue du stockage d'énergie que la réalisation d'un seul entrefer de volume correspondant à la somme des volumes des entrefers, c'est-à-dire dont le secteur angulaire (ou l'épaisseur) est la somme des secteurs angulaires (ou épaisseurs) de la pluralité d'entrefers. En effet, dans ce dernier cas, la valeur du coefficient d'épanouissement latéral des lignes de champ dans les entrefers (« fringing factor » en anglais) augmente. En effet, l'augmentation de l'épaisseur d'un entrefer conduit à une augmentation de la section apparente de celui-ci (par épanouissement des lignes de champ), suivant une loi logarithmique ; ce phénomène limite la réduction attendue de la valeur de l'induction ( $\Phi = B.S$ , avec  $\Phi$  le flux,  $B$  l'induction et  $S$  la section) et augmente les pertes par effet de proximité (les spires au droit de l'entrefer sont prises dans le flux qui n'est plus convenablement canalisé).

[0050] Avantageusement, afin d'optimiser le stockage de l'énergie, les dimensions de chaque entrefer sont définies de façon que le coefficient d'épanouissement latéral des lignes de champ magnétique (appelé « fringing factor » en terminologie anglo-saxonne) de chaque entrefer soit inférieur à 2.

[0051] Les entrefers peuvent présenter les mêmes dimensions ou des entrefers peuvent présenter des dimensions différentes.

[0052] Avantageusement, le noyau magnétique 4 comprend un seul entrefer lorsque le matériau nanocristallin présente une perméabilité magnétique faible et plusieurs entrefers lorsque le matériau nanocristallin présente une perméabilité magnétique plus élevée. Le fait de prévoir plusieurs entrefers permet d'utiliser des tores nanocristallins de perméabilité élevée qui peuvent rester bon marché pour former le noyau magnétique en y réalisant les entrefers.

[0053] L'homme du métier détermine le nombre d'entrefers et leurs dimensions en fonction de la perméabilité magnétique du matériau nanocristallin, du coefficient d'épanouissement latéral des lignes de champ magnétique maximal souhaité et de l'inductance souhaitée.

[0054] L'invention a été décrite dans le cadre d'un dispositif d'accord du type bobine.

[0055] La bobine peut être montée en parallèle avec le transducteur piézoélectrique, comme en figure 2, ou en série avec ce dernier.

[0056] L'inductance  $L$  d'accord est donnée par :  $L = 1 / (C \cdot \omega^2)$  où  $C$  est une capacité équivalente du transducteur piézoélectrique à la fréquence d'accord et  $\omega$ , exprimée en radian par seconde, la pulsation propre  $\omega$  à la fréquence d'accord  $f$ , exprimée en hertz. La pulsation propre est reliée la fréquence d'accord par la formule suivante :  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ .

[0057] Lorsque la bobine est montée en parallèle avec le transducteur piézoélectrique, la capacité  $C$  est la capacité équivalente du transducteur dans le modèle du type  $R_p-C_p$  dans lequel le transducteur est modélisé par une résistance en parallèle avec un condensateur.

[0058] Lorsque la bobine est montée en parallèle avec le transducteur piézoélectrique, la capacité équivalente  $C$  est la capacité équivalente du transducteur dans le modèle du type  $R_s-C_s$  dans lequel le transducteur est modélisé par une résistance en série avec un condensateur.

[0059] Dans le cas où la bobine est montée en série ou parallèle avec un ensemble de transducteurs piézoélectriques, la capacité équivalente est la capacité de l'ensemble de transducteurs dans l'un des modèles.

[0060] Dans une variante du dispositif piézoélectrique 100, représentée en figure 6, le dispositif d'accord est du type transformateur d'adaptation 20 configuré pour adapter la tension d'entrée  $U_1$  de l'étage de puissance 10, la tension  $U_2$  du transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord  $L$  étant l'inductance magnétisante  $L_m$  du transformateur d'adaptation. Le transformateur 20 peut être modélisé par un transformateur parfait 21 et une bobine d'accord 22 montée en parallèle avec le transducteur piézoélectrique 3, comme représenté en figure 6. Le dispositif d'accord ou transformateur 20 présente alors une double fonction d'accord et d'adaptation.

[0061] Le transformateur peut être un autotransformateur ou comprendre au moins deux enroulements réalisés autour du noyau magnétique 4 de sorte à former le primaire et le secondaire du transformateur. Le rapport de transformation  $m$  du transformateur est défini pour permettre l'adaptation entre  $U_1$  et  $U_2$ .

[0062] Dans le cas où la bobine d'accord 2 est montée en série, l'étage de puissance est avantageusement un générateur de courant et dans le cas où la bobine d'accord est montée en parallèle, l'étage de puissance est un générateur de tension, tout comme dans le cas où le dispositif d'accord est un transformateur d'accord et d'adaptation.

[0063] Avantageusement, le dispositif d'accord est configuré de façon que l'inductance d'accord  $L$  soit sensiblement fixe sur une plage d'induction s'étendant de 0 Tesla (T) jusqu'à une valeur maximale supérieure ou égale à 1 Tesla (T), c'est-à-dire lorsqu'elle est soumise à une induction comprise dans cette plage. En effet, l'inductance d'accord  $L$  doit être sensiblement fixe sur une ondulation du courant d'excitation du transducteur piézoélectrique. Cela permet d'éviter les distorsions du signal généré par le transducteur piézoélectrique en fonction de la valeur du courant et permet donc de maîtriser ce signal ce qui est indispensable pour la réalisation de mesures sonar.

[0064] Dans le domaine des antennes sonar, l'accord est réalisé à une fréquence d'utilisation comprise entre 4000 Hz et 7000 Hz. A ces faibles fréquences, la masse d'un noyau magnétique de l'art antérieur peut s'avérer très élevée. En effet, la nécessité de conserver une courbe d'aimantation linéaire imposerait de travailler très loin de la saturation, donc d'augmenter encore la masse de matériau magnétique.

## Revendications

- [Revendication 1] Dispositif d'accord (2 ; 20) présentant une inductance d'accord (L) destinée à être accordée avec une capacité d'un ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3) à une fréquence d'utilisation de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3), le dispositif d'accord (2 ;20) comprenant un noyau magnétique torique (4) comprenant une partie magnétique (5) à base d'un matériau ferromagnétique nanocristallin, un ensemble d'au moins un entrefer (7) en matériau amagnétique et au moins un enroulement d'un élément conducteur (6) réalisé autour du noyau magnétique torique (4).
- [Revendication 2] Dispositif d'accord (2, 20) selon la revendication 1, dans lequel l'inductance d'accord (L) est sensiblement fixe sur une plage d'induction s'étendant de 0 T à 1 T.
- [Revendication 3] Dispositif d'accord selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fréquence d'utilisation est comprise entre 4000 Hz et 7000 Hz.
- [Revendication 4] Dispositif d'accord (2 ; 20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le noyau magnétique torique (4) comprend un unique entrefer (7).
- [Revendication 5] Dispositif d'accord (2 ; 20) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le noyau magnétique torique (4) présente plusieurs entrefers.
- [Revendication 6] Dispositif d'accord (2 ; 20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque entrefer (7) est dimensionné de sorte que le coefficient d'épanouissement latéral des lignes de champ magnétique de chaque entrefer soit inférieur ou égal à 2.
- [Revendication 7] Dispositif d'accord (2 ; 20) selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif d'accord (2) est une bobine de mode différentiel.
- [Revendication 8] Dispositif d'accord (20) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le dispositif d'accord étant un transformateur transformateur d'adaptation (20) permettant d'adapter une tension d'entrée du

transformateur avec une tension d'entrée du transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord (L) étant l'inductance magnétisante du transformateur.

[Revendication 9] Dispositif piézoélectrique (1 ; 100) comprenant le dispositif d'accord (2 ; 20) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, et l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3), l'inductance d'accord (L) étant accordée avec une capacité de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3) à une fréquence d'utilisation de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3).

[Revendication 10] Dispositif piézoélectrique (1 ; 100) selon la revendication précédente, dans laquelle la fréquence d'utilisation est sensiblement la fréquence de résonance mécanique du transducteur piézoélectrique (3).

[Revendication 11] Dispositif piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, dans lequel le dispositif d'accord est une bobine de mode différentiel (2) montée en parallèle ou en série avec l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique (3).

[Revendication 12] Dispositif piézoélectrique (100) selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, dans lequel le dispositif d'accord est un transformateur d'adaptation (20) permettant d'adapter une tension d'entrée du transformateur avec une tension d'entrée de l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique, l'inductance d'accord (L) étant l'inductance magnétisante ( $L_m$ ) du transformateur.

[Revendication 13] Dispositif piézoélectrique (1 ; 100) selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, comprenant un étage de puissance (10) destiné à exciter l'ensemble d'au moins un transducteur piézoélectrique, en énergie électrique via le dispositif d'accord (2 ; 20).

[Revendication 14] Dispositif piézoélectrique selon la revendication précédente dans lequel l'étage de puissance et le dispositif d'accord sont montés sur une même carte électronique.

[Revendication 15] Antenne sonar comprenant un dispositif piézoélectrique selon la revendication précédente. |

1/2

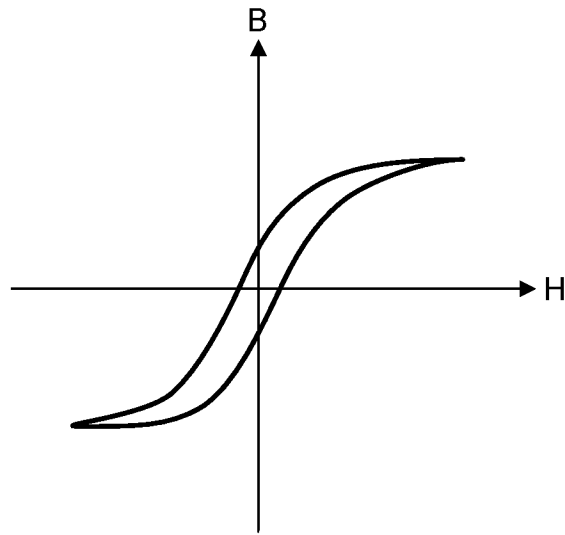


FIG.1

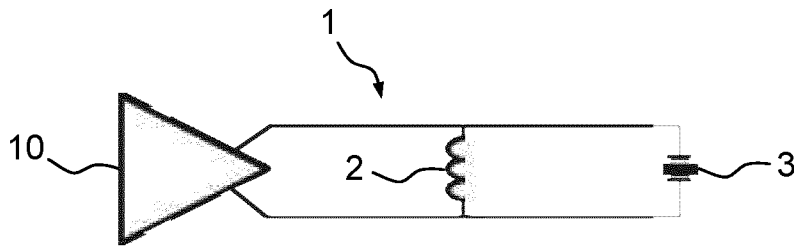


FIG.2

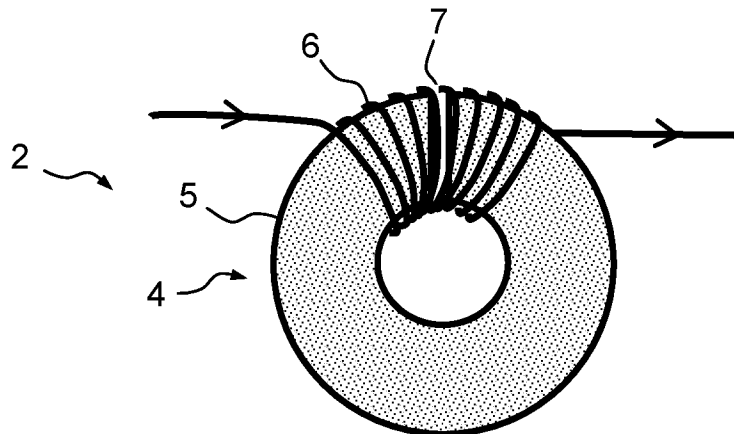


FIG.3

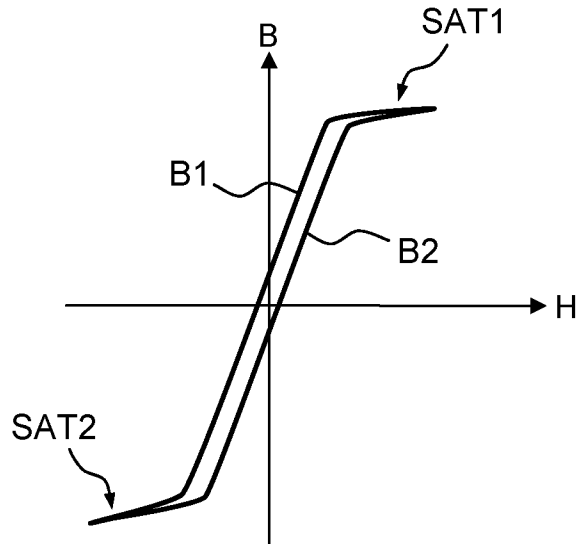


FIG. 4

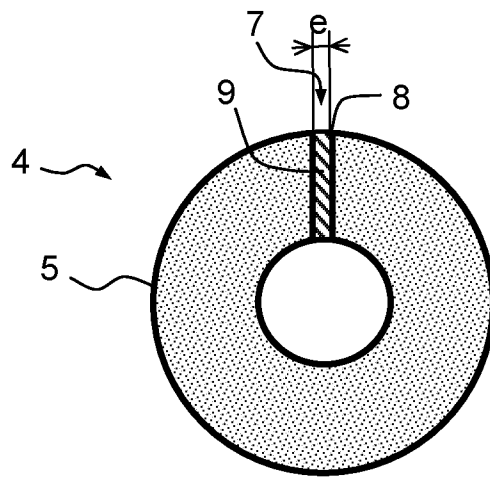


FIG. 5

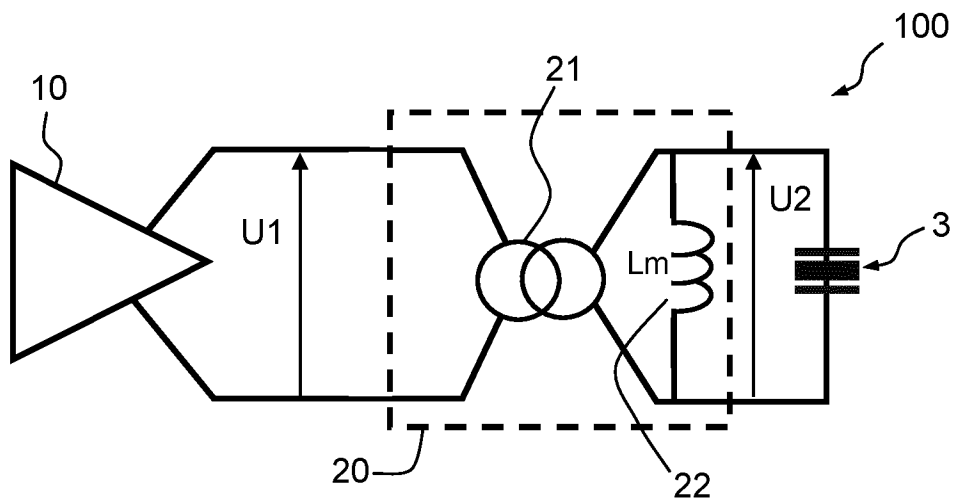


FIG. 6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/086570**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H01L 41/04</b> (2006.01)i; <b>H01F 1/153</b> (2006.01)i; <b>H02N 2/00</b> (2006.01)i; <b>G01S 15/89</b> (2006.01)i; <b>H04R 3/00</b> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L; H01F; H02N; G01S; H04S; H04R		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, INSPEC		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2013334989 A1 (KATAOKA KENICHI [JP]) 19 December 2013 (2013-12-19) paragraph [0082] - paragraph [0085]; figure 15	1,2,4-14
Y	AKIHIRO MAKINO ET AL. "Applications of Nanocrystalline Soft Magnetic Fe-M-B Alloys "NANOPERM(R)"" <i>IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US,</i> Vol. 33, No. 5, 01 September 1997 (1997-09-01), pages 3793-3798 DOI: 10.1109/20.619574 ISSN: 0018-9464, XP011086284 page 3795	1-15
Y	ZHANG YAN ET AL. "Fe-Rich Fe-Si-B-P-Cu Powder Cores for High-Frequency Power Electro" <i>IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US,</i> Vol. 50, No. 11, 01 November 2014 (2014-11-01), pages 1-4, [retrieved on 2014-12-02] DOI: 10.1109/TMAG.2014.2316543 ISSN: 0018-9464, XP011566155 page 2, left-hand column, line 18 - right-hand column, line 21	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>31 January 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>13 February 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Gröger, Andreas</b>  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/086570**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2004088681 A2 (VACUUMSCHMELZE GMBH & CO KG [DE]; HERZER GISELHER [DE] ET AL.) 14 October 2004 (2004-10-14) page 5, line 23 - page 11, line 13	1-15
Y	JP 2010114843 A (NEC CORP) 20 May 2010 (2010-05-20) paragraphs [0001], [0012], [0020], [0021]; figure 2	1-15

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/086570**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013334989	A1	19 December 2013	CN	103516254	A	15 January 2014
				JP	2014003731	A	09 January 2014
				US	2013334989	A1	19 December 2013
WO	2004088681	A2	14 October 2004	AT	377833	T	15 November 2007
				CN	1757079	A	05 April 2006
				EP	1609159	A2	28 December 2005
				ES	2297407	T3	01 May 2008
				JP	5342745	B2	13 November 2013
				JP	6166108	B2	19 July 2017
				JP	2006525655	A	09 November 2006
				JP	2013243370	A	05 December 2013
				KR	20050115944	A	08 December 2005
				RU	2351031	C2	27 March 2009
				US	2006077030	A1	13 April 2006
				US	2019322525	A1	24 October 2019
				WO	2004088681	A2	14 October 2004
JP	2010114843	A	20 May 2010	JP	5212028	B2	19 June 2013
				JP	2010114843	A	20 May 2010

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/086570

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L41/04 H01F1/153 H02N2/00 G01S15/89 H04R3/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L H01F H02N G01S H04S H04R		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2013/334989 A1 (KATAOKA KENICHI [JP]) 19 décembre 2013 (2013-12-19) alinéa [0082] - alinéa [0085]; figure 15 -----	1,2,4-14
Y	AKIHIRO MAKINO ET AL: "Applications of Nanocrystalline Soft Magnetic Fe-M-B Alloys "NANOPERM(R)"", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 33, no. 5, 1 septembre 1997 (1997-09-01), pages 3793-3798, XP011086284, ISSN: 0018-9464, DOI: 10.1109/20.619574 page 3795 ----- -/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  31 janvier 2020	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  13/02/2020	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé  Gröger, Andreas	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	ZHANG YAN ET AL: "Fe-Rich Fe-Si-B-P-Cu Powder Cores for High-Frequency Power Electro", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 50, no. 11, 1 novembre 2014 (2014-11-01), pages 1-4, XP011566155, ISSN: 0018-9464, DOI: 10.1109/TMAG.2014.2316543 [extrait le 2014-12-02] page 2, colonne de gauche, ligne 18 - colonne de droite, ligne 21 -----	1-15
Y	WO 2004/088681 A2 (VACUUMSCHMELZE GMBH & CO KG [DE]; HERZER GISELHER [DE] ET AL.) 14 octobre 2004 (2004-10-14) page 5, ligne 23 - page 11, ligne 13 -----	1-15
Y	JP 2010 114843 A (NEC CORP) 20 mai 2010 (2010-05-20) alinéas [0001], [0012], [0020], [0021]; figure 2 -----	1-15

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2019/086570

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2013334989	A1	19-12-2013	CN 103516254 A	15-01-2014
			JP 2014003731 A	09-01-2014
			US 2013334989 A1	19-12-2013
-----				
WO 2004088681	A2	14-10-2004	AT 377833 T	15-11-2007
			CN 1757079 A	05-04-2006
			EP 1609159 A2	28-12-2005
			ES 2297407 T3	01-05-2008
			JP 5342745 B2	13-11-2013
			JP 6166108 B2	19-07-2017
			JP 2006525655 A	09-11-2006
			JP 2013243370 A	05-12-2013
			KR 20050115944 A	08-12-2005
			RU 2351031 C2	27-03-2009
			US 2006077030 A1	13-04-2006
			US 2019322525 A1	24-10-2019
			WO 2004088681 A2	14-10-2004
-----				
JP 2010114843	A	20-05-2010	JP 5212028 B2	19-06-2013
			JP 2010114843 A	20-05-2010
-----				